

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

No. 22 Enero - Junio 2022

Revista Tecnocientífica URU



Universidad **R**afael **U**rdaneta

Revista Tecnocientífica URU.

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

Universidad Rafael Urdaneta

Av. 2 c/Calle 86, entrada Sur del Parque Vereda del Lago,
Maracaibo, Venezuela. Teléf. (58) (261) - 2000887, Fax (58)(261) 2000868.

Web: <https://uru.edu>

2022 © Los Autores.

De esta edición: Universidad Rafael Urdaneta, Fondo Editorial Biblioteca.
Maracaibo, Venezuela.



Web Tecnocientífica URU: <http://ojs.uru.edu/ojs/index.php/tc>

Web de Revista Arbitradas URU: <http://ojs.uru.edu/ojs/>

Teléfono: (58) (261) - 2000887, Fax (58)(261) 2000868.

Correo Electrónico: tecnocientifica@uru.edu revistatecnocientificauru@gmail.com



Los contenidos están bajo una licencia *Atribución-Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY-SA 3.0 VE)*. Esta licencia permite que los contenidos de los artículos de *Revista Tecnocientífica URU*, se puedan copiar y redistribuir en cualquier medio y formato, así como su adaptación (remezclando, transformando o construyendo a partir del material) para cualquier propósito, incluso para un uso comercial. En cualquier caso, el usuario que utilice sus contenidos debe citar de forma adecuada, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Los términos de la licencia se encuentran disponibles en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/ve/>

Revista Tecnocientífica URU

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

Comité Editorial

Profesor Jubert Pérez
Profesor Sergio de Pool
Profesores Edixon Gutiérrez
Profesora Jhanna Brieva

Profesora Arelis Arrieta
Profesora Russet Riquelme
Profesor Alfredo Villalobos
Profesora Jenny Márquez

Profesor Cezar García
Editor – Jefe (E)

Comité de Asesores

MSc. Oscar Urdaneta (Venezuela)
Dr. Shyam Kalla (India)
Dr. José Sarabia (Venezuela)
Dr. José Rincón (Venezuela)
MSc. Zulay Mármol (Venezuela)
Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)
Dra. Elba Michelena (Panamá)
Dr. Rafael Aracil (España)
Dr. Angel Gonzalez (Venezuela)
Dr. Ever Morales (Ecuador)
Dra. Nola Fernández (Venezuela)
Dr. Helí Lugo (Venezuela)
Dr. Gerardo Aldana (Venezuela)
Dra. Susana Salinas (Estados Unidos)
MSc. Lenin Herrera (Venezuela)
Dra. Laugeny Díaz (Venezuela)
Dr. Alexi Sarmiento (Venezuela)
Dra. Karina Martinez (Estados Unidos)

Dra. Anali Machado (Canadá)
MSc. Ramón Cadenas (Venezuela)
Dr. Maulio Rodríguez (Venezuela)
Dr. Katsuyuki Nishimoto (Japón)
Mgs. Waldo urribarri (Chile)
Dra. Yaxcelys Caldera (Venezuela)
Dra. Oladis de Rincón (Venezuela)
Dr. Nelson Márquez (Venezuela)
Dr. Ramón Cova (Canadá)
Dr. Mourad E.H. Ismail (Estados Unidos)
Dra. Marinela Colina (Venezuela)
Dr. Freddy Isambert (Venezuela)
Dr. Miguel Sánchez (Venezuela)
Dr. Jorge Barrientos (Venezuela)
Dr. Ernesto Cornieles (Venezuela)
MSc. Augusto Galo (Venezuela)
MSc. Nerio Villalobos (Venezuela)
Dra. Liz Añez (Venezuela)

Comité de Técnico

Esp. *Hosglas Sanchez*, Coordinadora Editorial
Lcda. *Liliana Gonzalez*, Asistente Editorial
Mibsay Contreras, Diseño y Maquetación

Br. *Eduardo Paz*, Auxiliar
Br. *Lexibeth Díaz*, Auxiliar

Revista Tecnocientífica URU es un instrumento de divulgación científica adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista arbitrada con periodicidad semestral, contentiva de artículos científicos originales no publicados en las áreas de Ingeniería y Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con éstas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación.

La Revista Tecnocientífica URU está indizada en el Índice y Biblioteca Electrónica de Revistas Venezolanas de Ciencia y Tecnología REVENCYT (Código RVR-070)

Universidad Rafael Urdaneta

Econ. Alfredo León, Rector
MgS. Ramón Rincón, Vicerrector Académico
MgS. Oscar Urdaneta, Secretario

Ing. Cezar García
Decano de la Facultad de Ingeniería

Ing. Rómulo Rincón
Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ing. Gilberto Araujo
Director de la Escuela de Ingeniería en Computación
Director de la Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones

Ing. Nancy Urdaneta
Directora de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Arnaldo Largo
Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Cezar García
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Ángel González
Directora de la Escuela de Ingeniería Industrial

Arq. María Medina
Directora de la Escuela de Arquitectura

Contenido

Artículos

Análisis de una estructura regular aporticada de concreto armado basada en las normas Covenin 1756-2001 y en el proyecto de Norma Covenin 1756-2018.

Analysis of a concrete regular framed structure based on Covenin 1756-2001 Code and the Covenin 1756-2018 Code Project.

Juan Matos, José Vergara y Jesús Medina. 8

Jabón corporal de aceite virgen de coco teóricamente apto para personas diagnosticadas con dermatitis atópica.

Virgin coconut oil body soap theoretically suitable for people diagnosed with atopic dermatitis.

Verónica Montenegro, Erika Santana y Xiomara Mendez. 19

Almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico.

Starch obtained from commercially acquired plantain peel as a raw material for obtaining bioplastic.

Valeria Figueroa, María Vega y Gladys Quevedo. 35

Ingeniería Conceptual de una planta de producción de ácido sulfónico.

Conceptual engineering of a sulfonic acid plant.

Paul Nava, Humberto Vásquez y Maria Da Costa. 50

Análisis de las propiedades nutricionales de un alimento probiótico a base de lentejas.

Analysis of the nutritional properties of a lentil based probiotic food.

Daniela Escola, Junior Rivas y Laugeny Díaz. 63

Plan de mantenimiento para las membranas de osmosis inversa en la planta desmineralizadora de Ciclo 1 de Planta Termozulia..

Maintenance plan for the reverse osmosis membranes in the cycle 1 desmineralization plant of the Termozulia Plant.

Diego Atencio y César García. 76

Sidra artesanal de manzana granny Smith a partir del proceso metabólico de fermentación alcohólica.

Handmade granny smith apple cider from metabolic process of alcoholic fermentation.

Génesis Godoy, Kenyeli Salas y Arelis Arrieta. 94

Normas para la presentación de trabajos científicos 104

Análisis de una estructura regular aporricada de concreto armado basada en la norma COVENIN 1756:2001 y en el proyecto de norma COVENIN 1756:2018¹

Analysis of a concrete regular-framed structure based on COVENIN 1756:2001 code and the COVENIN 1756:2018 code project

Juan Fernando Matos

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: juanmatosmora@gmail.com

José Manuel Vergara

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: vergaradelgadojm@gmail.com

Jesús Medina

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: jesus.medina.60441@uru.edu

Recibido: 17-01-2022

Aceptado: 04-04-2022

Resumen

El objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento sismorresistente de edificaciones de concreto armado en Maracaibo bajo suelos de roca blanda o dura, diseñadas bajo la Norma COVENIN 1756:2001 y bajo el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018 con el propósito de evaluar la respuesta sísmica de las edificaciones según las metodologías de diseño. La investigación es de tipo descriptiva, ya que se determinó el comportamiento ante las acciones sísmicas a través del software ETABS. Además, se manejó un diseño no experimental donde no se manipularon las variables en estudio. Los resultados demostraron cómo las edificaciones realizadas según el proyecto de Norma COVENIN 1756:2001 generan respuestas promedio superiores en 54% en cortantes basales máximos, 42% en pesos sísmicos, 58% en aceleraciones espectrales y mayores derivas. Así, se destaca una gran disminución del coeficiente de aceleración horizontal para Maracaibo y se ausenta la rama horizontal de aceleraciones constantes.

Palabras clave: Sismorresistencia, COVENIN 1756:2018, concreto armado, estructura regular.

Abstract

The objective of this research is to analyze the seismic-resistant behavior of reinforced concrete buildings in Maracaibo under soft or hard rock soils, designed under the COVENIN 1756:2001 Code and under the COVENIN 1756:2018 Code Project with the purpose of evaluating the seismic response of buildings according to design methodologies. The research is descriptive, since the behavior before seismic actions was determined through the ETABS software. In addition, a non-experimental design was handled where the variables under study were not manipulated. The results showed how the buildings made according to the COVENIN 1756:2001 code generate average responses higher by 54% in maximum basal shear, 42% in seismic weights, 58% in spectral accelerations and greater drifts. Thus, it stands out a decrease in the horizontal acceleration coefficient for Maracaibo and the horizontal branch of constant accelerations is absent.

Key words: Seismic-resistance, COVENIN 1756:2018, reinforced concrete, regular structure

Introducción

El 29 de julio de 1967 ocurrió en Caracas un sismo que marcaría un antes y un después en la historia de las normativas sismorresistentes venezolanas. Fue a partir de este evento, que se empezó realizar una actualización de la normativa sismorresistente de manera preventiva, previa a los desastres sísmicos y no posteriores a ellos como se venían realizando.

Posterior al sismo de Caracas de 1967 fue creada la norma provisional MOP de 1967 y esta, en 1982, dio pie a la vigente COVENIN 1756 “Edificaciones Sismorresistentes”. Debido a la imposibilidad de predecir la ocurrencia de los sismos, nuestro único mecanismo de defensa ante los mismos es construir edificaciones que sean capaces de resistir acciones sísmicas, y de esta forma evitar pérdidas materiales y sobre todo humanas, es por ello que se enfatiza la importancia de que estas normativas reciban una constante actualización.

Por lo tanto, se encuentra pertinente y de alto interés en el campo de la ingeniería civil, pues permite efectuar un estudio comparativo sobre las diferencias en la incidencia sísmica presentes en las edificaciones diseñadas bajo la Norma COVENIN 1756:2001[1] y el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2].

Para cumplir con ello, en la presente investigación fueron diseñadas tres edificaciones de 10, 12 y 14 pisos y ubicadas dentro de la zona de estudio, siendo la ciudad de Maracaibo. Estas edificaciones fueron analizadas mediante el software CSI ETABS bajo las metodologías establecidas por las normativas anteriormente mencionadas y posteriormente comparadas para así determinar su exigencia sísmica.

Para lograr el estudio es necesario precisar teóricamente algunos aspectos importantes, tales como los siguientes:

Combinación de acciones. La totalidad de las acciones que debe resistir y transmitir una estructura no actúan sobre en conjunto en un mismo instante, estas pueden o no producirse en distintas etapas de su vida útil. Debido a esto, cuando se estudia la incidencia de cargas sobre una edificación se debe analizar distintas combinaciones de acciones para así encontrar su envolvente de diseño, la cual comprende las solicitaciones que produzcan los efectos más desfavorables sobre los componentes de la estructura. La Norma COVENIN 1753:2006[3] establece las siguientes combinaciones mínimas para el análisis y diseño de estructuras en concreto armado para el estado límite de agotamiento resistente:

$$U = 1.4 (CP + CF) \tag{1}$$

$$U = 1.2 (CP + CF + CT) + 1.6 (CV + CE) + 0.5 CVt \tag{2}$$

$$U = 1.2 CP + 1.6 CD V_i + ({}^3 CV \text{ ó } \pm 0.8 W) \tag{3}$$

$$U = 1.2 CP \pm 1.6 W + {}^3 CV + 0.5 CV t \tag{4}$$

$$U = 1.2 CP + {}^3 CV \pm S \tag{5}$$

$$U = 0.9 CP \pm 1.6 W \tag{6}$$

$$U = 0.9 CP \pm S \tag{7}$$

$$U = 0.9 CP \pm 1.6 CE \tag{8}$$

El factor de combinación de solicitaciones debidas a las acciones variables en las ecuaciones 3 a 5 será 1,00, excepto en pisos y terrazas de edificaciones destinadas a vivienda en que se tomará como 0,50.

Espectro de diseño según COVENIN 1756:2001[1]: La norma 1756:2001[1] permite construir una gráfica de la máxima respuesta de un grupo de osciladores de un grado de libertad, a un movimiento del suelo determinado en función del período de los osciladores. Así, la norma presenta espectros de respuesta tipificados para cuatro tipos de perfiles de suelo y se calculan las ordenadas de los espectros de diseño en función del período fundamental T de la estructura.

Para realizar los espectros de diseño en rangos elásticos e inelástico, se puede utilizar el factor de reducción de respuesta $R > 1$.

$$T < T^+ \quad A_d = \frac{\hat{A} \ddot{A}o \left[1 + \frac{T}{T^+} \right] (\hat{a} - 1)}{1 + \left(\frac{T}{T^+} \right)^c (R - 1)} \quad (9)$$

$$T^+ \leq T \leq T^* \quad A_d = \frac{\hat{A} \ddot{A}o}{R} \quad (10)$$

$$T > T^* \quad A_d = \frac{\hat{A} \ddot{A}o}{R} \left(\frac{T^*}{T} \right)^p \quad (11)$$

Dónde:

A_d : Ordenada del espectro de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de gravedad.

A : Factor de importancia.

A_o : Coeficiente de aceleración horizontal.

Φ : Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal.

B : Factor de magnificación promedio.

T : Es el periodo fundamental de la edificación (seg.)

T_o : $0.25T^*$ Período a partir del cual los espectros normalizados tienen un valor constante (seg.).

T^* : Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante (seg.).

$T^+ \geq T_o$ Período característico de variación de respuesta dúctil (seg.).

$$C = \sqrt[4]{\frac{R}{\beta}}$$

R : Factor de reducción de respuesta.

p : Exponente que define la rama descendente del espectro.

Los valores de T^* , β y p se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Valores de T^* , β y p [2]

FORMA ESPECTRAL	T^* (seg.)	β	p
S1	0.4	2.4	1.0
S2	0.7	2.6	1.0
S3	1.0	2.8	1.0
S4	1.3	3.0	0.8

A continuación, se muestra la gráfica del espectro de respuesta elástica, utilizando un factor de reducción igual a 1.

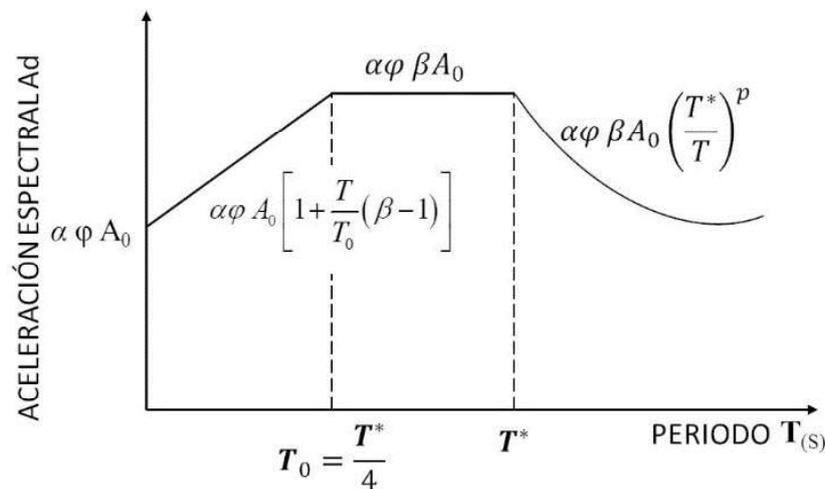


Figura 1. Espectro de respuesta elástica (R=1)[1]

Espectro de diseño según Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2]: A continuación, se exponen las ecuaciones para el diseño del espectro de respuesta inelástica de cinco ramas correspondiente para el sismo de diseño, según lo especificado en el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2] se tiene:

$$A_d(T) = \frac{A_1}{1,5} A_A \quad T \leq T_A \quad (12)$$

$$A_d(T) = \frac{A_1}{1,5} A_A \left[\frac{1}{1,5} + \left(\frac{T^*}{R} - \frac{1}{1,5} \right) \left(\frac{T - T_A}{T^+ - T_A} \right) \right] \quad T_A \leq T \leq T^+ \quad (13)$$

$$A_d(T) = \frac{A_1}{R} \left(\frac{T_C}{T} \right)^{2^*} \quad T^+ \leq T \leq T_C \quad (14)$$

$$A_d(T) = \frac{A_1}{R} \left(\frac{T_C}{T_D} \right)^{2^*} \left(\frac{T_D}{T} \right)^q \quad T_C \leq T \leq T_D \quad (15)$$

Donde:

\$A_d(T)\$: Es la ordenada adimensional del espectro de respuesta inelástica de la componente horizontal del sismo para el periodo de vibración \$T\$ (segundos)

\$R\$: Es el Factor de Reducción de Respuesta

\$A_A, T_A, T_C, T_D, \beta^*\$ y \$q\$ están definidos anteriormente

\$T^+\$: Es el periodo característico.

\$\rho\$: Es el Factor de Redundancia.

\$F_I\$: Es el Factor de Irregularidad.

Tabla 2. Valores del periodo característico \$T^+\$ [2]

R	\$T^+\$
\$R < 5\$	\$0,1 (R-1)\$
\$R \ge 5\$	\$0,4\$

El valor de \$T^+\$ está acotado según la siguiente fórmula:

$$0,25 T_C \leq T^+ \leq T_C \quad (16)$$

Cortante basal: Se define por la Norma COVENIN 2004[4, Pág.13] como “la fuerza cortante horizontal originada por las acciones sísmicas en el nivel de base”.

Se determina a través de la siguiente ecuación:

$$V_o = i A_d W \quad (17)$$

Dónde:

A_d : Ordenada del espectro de respuesta inelástica o de diseño [1] para el periodo T.

W: Peso sísmico total del edificio por encima del nivel base.

μ : Es el mayor de los valores dados por:

En el Proyecto COVENIN 1756:2018[2]:

$$i = 1.4 \left[\frac{N+9}{2N+12} \right] \quad (18)$$

$$i = 0.80 + \frac{1}{20} \left[\frac{T}{T_c} - 1 \right] \quad (19)$$

En la Norma COVENIN 1756:2001[1]:

$$i = 1.4 \left[\frac{N+9}{2N+12} \right] \quad (20)$$

$$i = 0.80 + \frac{1}{20} \left[\frac{T}{T^*} - 1 \right] \quad (21)$$

Dónde:

N: Número de niveles.

T: Periodo fundamental.

T*: Periodo máximo.

Tc: Período característico del espectro

Control de los desplazamientos

Está definida como el desplazamiento lateral total Δ_i del nivel i y se calcula como:

$$\ddot{A}_i = 0.8R\ddot{A}_{ei} \quad (22)$$

Siendo:

R: Factor de reducción de respuesta.

Δ_{ei} : desplazamiento lateral del nivel i, calculado para las fuerzas de diseño en rango elástico, incluyendo efectos traslacionales, P- Δ , y de torsión en planta.

Se conoce como deriva δ_i a la diferencia de los desplazamientos laterales totales en dos niveles consecutivos i.

$$\delta_i = \ddot{A}_i - \ddot{A}_{i-1} \quad (23)$$

Metodología

La presente investigación es de tipo descriptiva, ya que se logró determinar, describir y analizar el comportamiento de estructuras aporticadas de distintas alturas al ser estudiadas bajo el Proyecto de Norma sismorresistente COVENIN 1756:2018[2] y la normativa sismorresistente precedente 1756:2001[1], fundamentándose de esta forma en fuentes documentales, audiovisuales y electrónicas, con las cuales se analizará e interpretarán los distintos factores y variables que inciden en el tema de estudio.

Para esta investigación fue definida como unidad de análisis la respuesta sísmica de las edificaciones y la como unidad informante fue escogida la normativa sismorresistente venezolana con la finalidad de definir

las diferencias en el comportamiento de una edificación con diseño sismorresistente bajo la norma COVENIN 1756:2001[1] frente a una con diseño sismorresistente bajo el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2].

Asimismo, se atendió a un procedimiento metodológico que siguiendo a Sabino [5] nos plantea que las fases de la investigación permiten aclarar las formas que adoptara el diseño de la investigación, definiendo las operaciones concretas que se llevaran a cabo. Con base en lo anteriormente expuesto, para la presente investigación se definieron las fases:

Fase I: Comparación de nomenclaturas, parámetros sísmicos y dimensiones utilizadas.

Consiste en recopilar la información necesaria a través de los instrumentos metodológicos de tipo documental, impresos y digitales relacionados con los análisis sísmicos. Igualmente, se procedió a inspeccionar y analizar las normativas en estudio para lograr definir los aspectos resaltantes, cambios significativos, diferencias en nomenclaturas y parámetros sísmicos.

Fase II: Establecimiento de procedimientos para la obtención de espectros de diseño sísmico.

En esta etapa se llevó a cabo la elaboración de diagramas de flujo como representación gráfica de los pasos a seguir como procedimiento para la realización de los Espectros de Diseño establecidos en las normativas venezolanas.

Fase III: Elaboración de análisis comparativo de espectros de diseño sísmico propuestos por las normativas COVENIN 1756:2001[1] y 1756:2018[2].

Consiste en la construcción de los espectros de diseño sísmico según lo sugerido en cada una de las normativas venezolanas, variando el tipo de suelo y grupo de uso en cada caso. Posteriormente, se graficó cada uno de los espectros

Fase IV: Análisis de cuadros y gráficos comparativos de la respuesta sísmica en edificaciones de concreto armado.

En esta etapa se presenta el modelado de las estructuras en concreto armado necesario para aplicar la posterior metodología de análisis sísmico en las edificaciones según cada una de las normativas evaluadas.

Análisis de resultados

El análisis de los resultados estuvo basado en evaluar la demanda sísmica de las edificaciones aplicando la Norma COVENIN 1756:2001[1] y el Proyecto de Norma COVENIN 1756:2018[2].

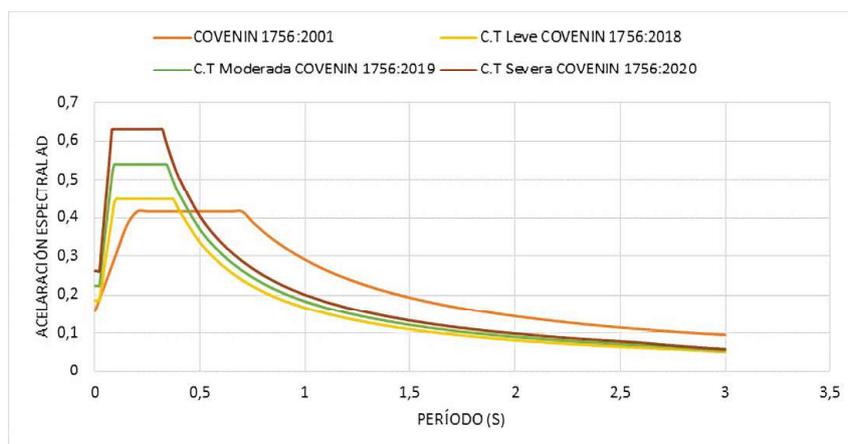


Figura 2. Espectro superpuesto de respuesta elástica- S2 con C

En la Figura 2 se comparó la respuesta sísmica para el tipo de suelo roca blanda o meteorizada, presente en la norma COVENIN 1756:2001[1] como forma espectral S2 y su respectiva nomenclatura en COVENIN 1756:2018[2] siendo esta la clase de sitio C. Se presenta una mayor exigencia sísmica por parte de la propuesta de 2018, no obstante, se destaca la elevada importancia de la condición topográfica para la nueva normativa, ya

que, a través de ella, el espectro de respuesta presenta variaciones significativas, siendo la condición severa la más exigente con aceleraciones espectrales de 0.63 m/s² superiores a la condición topográfica menos exigente, la topografía caracterizada como leve, la cual presenta aceleraciones máximas de 0.45m/s².

De igual forma, es importante resaltar como a partir del periodo 0.5s la Norma COVENIN 1756:2001[1] presenta una mayor exigencia que los tres casos posibles de topografías leve, moderada y severa con el nuevo Proyecto de Norma. Asimismo, la zona de aceleraciones máximas del espectro posee mayores duraciones en aquel construido bajo la Norma COVENIN 1756:2001[1]

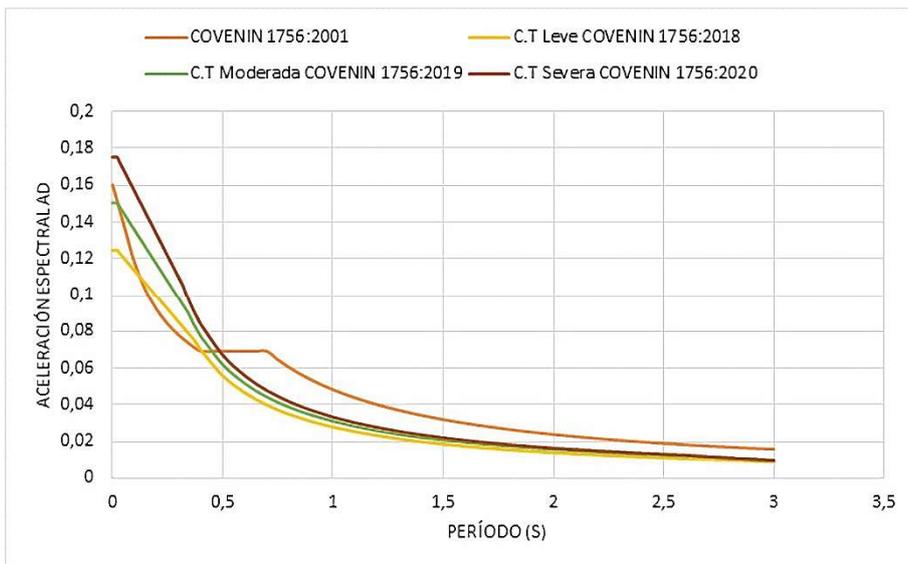


Figura 3. Espectro superpuesto de diseño - S2 con C

En la Figura 3 se aprecia una respuesta sísmica similar para la forma espectral S2 de COVENIN 1756:2001[1] con clase de sitio C para COVENIN 1756:2018[2], asimismo, la variación presentada por la condición topográfica es mínima a partir del periodo 0.4s para la nueva normativa. A partir de la figura 3, se resalta como la variación de la topografía, al igual que en el espectro de respuesta elástico, es capaz de demarcar una diferencia en las exigencias del sismo dentro de los primeros 0.5s, sin embargo, aunque los periodos fundamentales estimados calculados en ambas normativas son equivalentes, al observar la gráfica se evidencian aceleraciones mayores en la Normativa COVENIN 1756:2001[1].

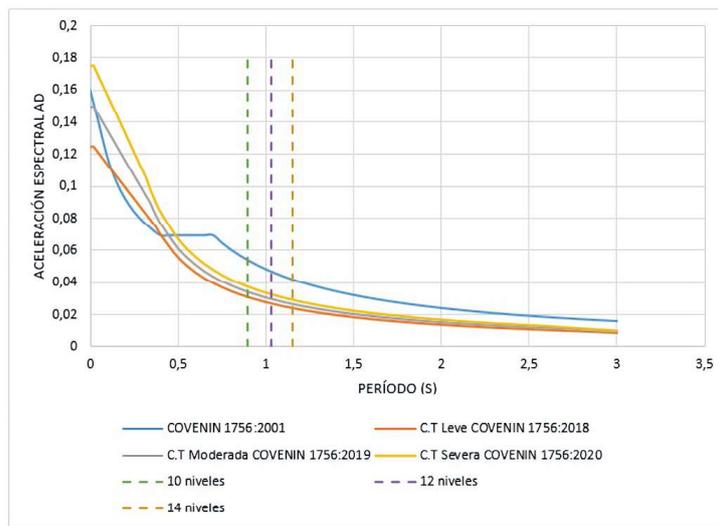


Figura 4. Periodos fundamentales estimados sobre espectros de diseño S2 con clase de sitio C

Es importante resaltar de igual manera los resultados de la Figura 4, en la cual se presentan los periodos fundamentales estimados de las edificaciones. De esta manera, se demostró como en el caso de edificaciones de menores niveles que posean periodos importantes estimados inferiores a 0.5s en Maracaibo, en suelos con clase de sitio C representarían resultados más conservadores que los obtenidos según la norma vigente en el tipo de suelo S2.

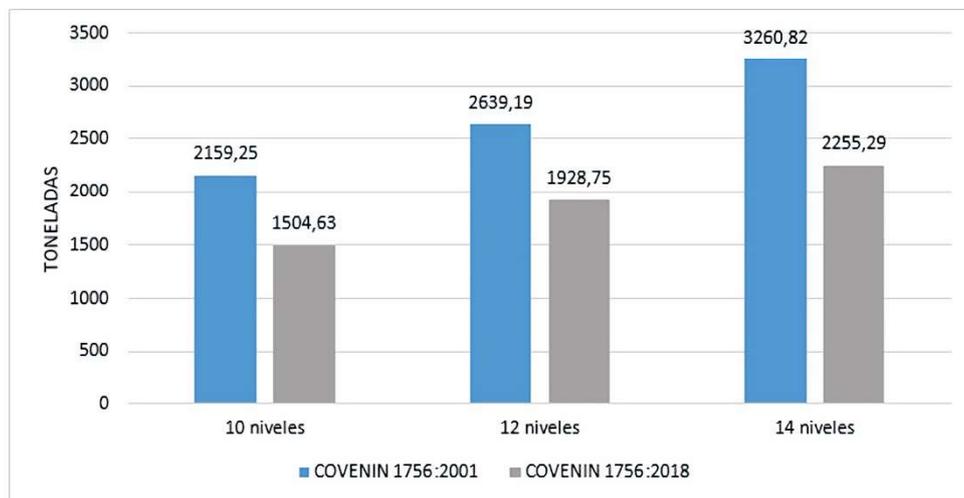


Figura 5. Peso sísmico en estructuras según COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018

Se apreció como el peso sísmico de las edificaciones en todos los análisis realizados fue mayor en un promedio de 54% con la utilización de la normativa COVENIN 1756:2001[1], abarcando valores desde 1.504ton hasta 2255ton en la normativa propuesta y desde 2.159ton hasta 3.260ton en la normativa vigente. Así se reflejan mayores exigencias sísmicas a las edificaciones diseñadas bajo la Norma COVENIN 1756:2001[1].

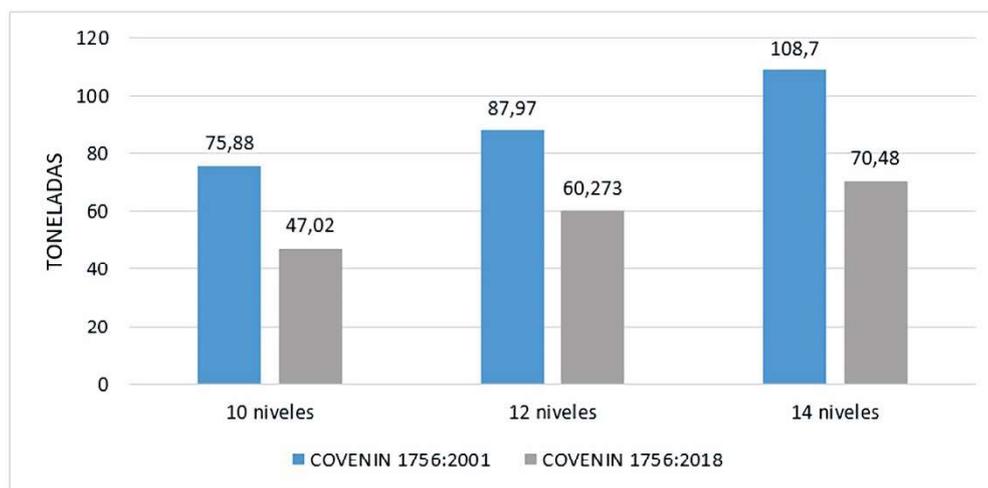


Figura 6. Cortes basales en estructuras según COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018

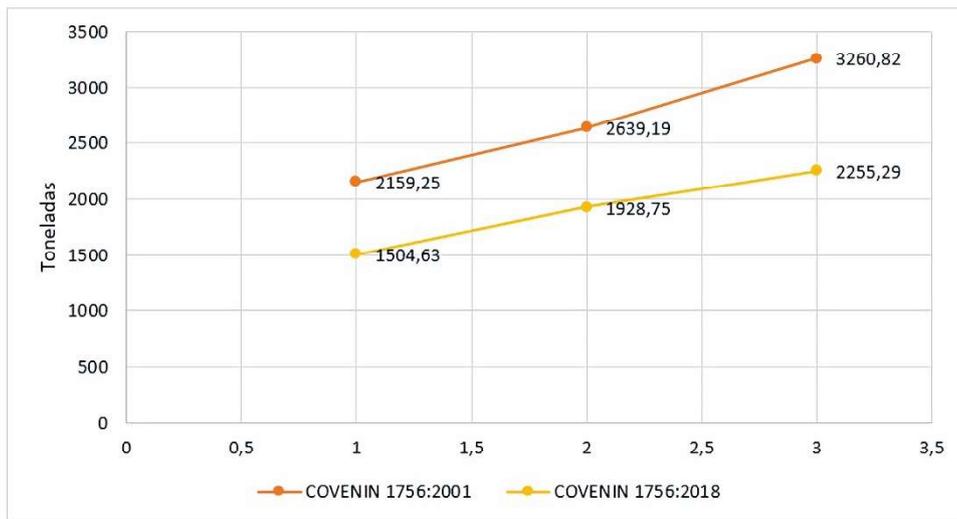


Figura 7 Peso Sísmico por edificación según COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018

De igual manera que el peso sísmico, en la Figura 7, se mostró como el corte basal de las edificaciones, en la Figura 6, en todos los análisis realizados fue mayor con la utilización de la normativa COVENIN 1756:2001[1] en un promedio del 54%. Igualmente, se observó una tendencia constante de aumento de cortantes que refleja variaciones similares con las edificaciones. De este modo, el parámetro del diseño sismorresistente de las edificaciones demuestra resultados más conservadores en la norma vigente a la fecha.

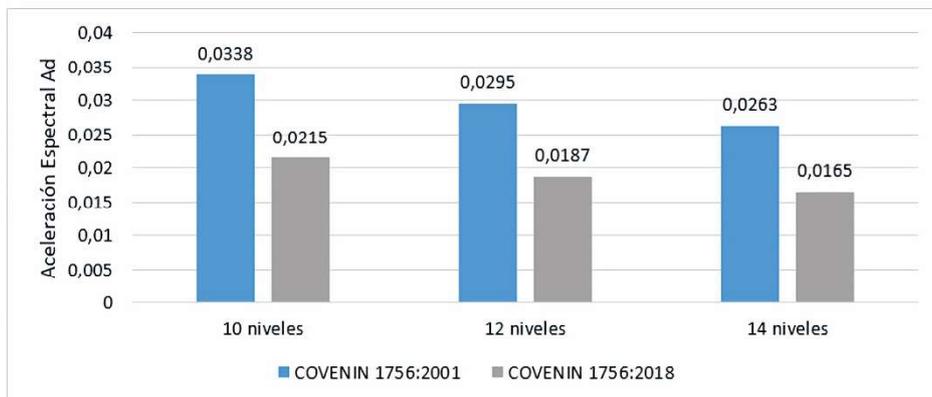


Figura 8. Aceleraciones espectrales en las estructuras según COVENIN 1756:2001 y COVENIN 1756:2018

Para establecer los valores de las aceleraciones espectrales se siguieron los procedimientos específicos de cada normativa, correspondiente al valor de la ordenada a $1,6T_a$ en COVENIN 1756:2018[2] y σT_a , equivalente a $1,55T_a$ para los casos estudiados en la Propuesta de Norma COVENIN 1756:2018[2]. En consecuencia, se graficaron los resultados ilustrados en la Figura 8. De esta manera, se evidenció los valores de la Norma COVENIN 1756:2001[1] son superiores. De tal forma, se presenta un porcentaje promedio superior en un 59%, esto es causado por la influencia de la disminución del coeficiente de aceleración horizontal de Maracaibo que generan valores menos exigentes.

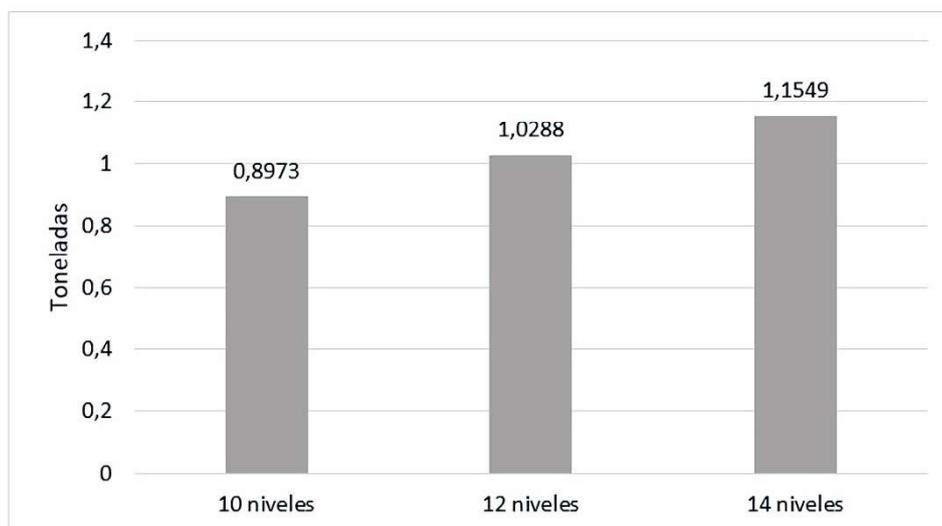


Figura 9. Período fundamental estimado según el número de niveles de las estructuras

El período fundamental y los modos de vibración de una estructura de una edificación son definidos por su masa, rigidez y los elementos que la conforman, es uno de los parámetros claves a comparable e influyentes en el diseño sismorresistente de un edificio. Mientras más alto sea el mismo, su valor será mayor. De ese mismo modo, ha sido ilustrado en los resultados de la Figura 9.

Conclusiones

- Respecto al primer objetivo, se concluyó que dicha normativa vigente presenta ciertas singularidades importantes. Los datos presentados en la tabla 5.1 de la normativa vigente referenciada a la selección de la forma espectral, representa valores generales, con función de orientar al usuario y no deben sustituirse a la realización de ensayos sismo elásticos. Asimismo, indica un único valor de 5% del coeficiente de amortiguamiento para todas las edificaciones, el cual es recomendado disminuir en construcciones más dúctiles.
- Por otro lado, en referencia al segundo objetivo se concluye que la normativa proyectada presenta una diferencia notable en comparación con los espectros de diseño de otras normativas de la región. De tal forma, la rama horizontal de aceleraciones constantes no se evidencia en los espectros de diseño. Esta es de alta importancia en el diseño sísmico. Al mismo tiempo, el valor del coeficiente de aceleración horizontal fue disminuido, factor resaltante ante el aumento de la magnitud y frecuencia de los eventos sísmicos.
- Finalmente, al comparar el comportamiento de ambas normativas se representó una disminución en las aceleraciones, cortante basal y peso sísmico para las condiciones de las edificaciones en estudio. Sin embargo, es relevante destacar cómo la variación de la topografía según la normativa propuesta y dentro de los grupos de importancia B2 logra cambiar los resultados de los espectros inelásticos de diseño, pues dentro de los primeros 0.5s del espectro las topografías moderadas y severas reflejan aceleraciones más exigentes que pueden impactar edificaciones con períodos fundamentales menores.

Referencias bibliográficas

[1] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1756-2001: Edificaciones Sismorresistentes. Comité técnico de normalización CT-03: Construcción. En su reunión No. 7ª de fecha 25-07-2001. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2001).

[2] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1756-1:2018. Construcciones sismorresistentes: (2da. Revisión) Comité técnico de normalización CT-3: Construcción. En Subcomité Técnico SC-10: Estructuras. En su reunión de fecha. 22-05-2019. Caracas, Venezuela. FODENORCA, (2019).

[3] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1753-2006: Proyecto y construcción de obras de concreto estructural. Comité técnico de normalización CT-03: Obras Civiles, Subcomité Técnico SC-1: Edificaciones. En su reunión N° 04-06 de fecha 30-08-2006. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2006).

[4] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 2004-1998: Terminología de las normas COVENIN-MINDUR de edificaciones. Comité técnico de normalización CT-03: Construcción. En su reunión N° 11-98 de fecha 09-12-1998. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1998).

[5] Sabino, C. El proceso de la investigación. Caracas, Panapo, (2002).

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Análisis de una estructura regular aporticada de concreto armado basada en la Norma COVENIN 1756:2001 y en el proyecto de Norma COVENIN 1756:2018, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

Jabón corporal de aceite virgen de coco teóricamente apto para personas diagnosticadas con dermatitis atópica

Virgin coconut oil body soap theoretically suitable for people diagnosed with atopic dermatitis

Verónica Vanesa Montenegro Quarles

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela
Correo electrónico: verovmq20@gmail.com

Erika Cristina Santana Morena

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela
Correo electrónico: erikacsm26@gmail.com

Xiomara Méndez de Luzardo.

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela
Correo electrónico: mendezxioma@gmail.com

Recibido: 17-01-2022

Aceptado: 04-04-2022

Resumen

El objetivo principal fue formular un jabón corporal de aceite virgen de coco teóricamente apto para personas diagnosticadas con dermatitis atópica. El aceite de coco tuvo como características: densidad de 0,8857 g/mL, índice de peróxidos de 2,4086 meqO₂/kg, acidez de 0,0822 %, e índice de refracción de 1,4535. Se seleccionaron el resto de ingredientes basándose en sus funciones y aprobación por la NEA. Se determinaron los porcentajes apropiados, y se elaboraron cinco fórmulas, denominadas alfabéticamente, desechando la primera por propiedades inadecuadas. En sus caracterizaciones fisicoquímicas, la densidad y viscosidad resultaron más bajas de lo normal, formaron buena espuma y obtuvieron valores de pH aptos para dermatitis atópica. Como conclusión, el aceite cumplía con los estándares de calidad, y en conjunto con los demás ingredientes, proporcionaron la capacidad de limpieza, suavidad, hidratación y estabilidad a las fórmulas, resultando la C la más atractiva ante los encuestados.

Palabras clave: Aceite virgen de coco, Jabón corporal, Syndet, Formulación, Dermatitis atópica.

Abstract

The main objective was to formulate a virgin coconut oil body soap theoretically suitable for people diagnosed with atopic dermatitis. The coconut oil had the following characteristics: density of 0.8857 g/mL, peroxide index of 2.4086 meqO₂/kg, acidity of 0.0822 %, and refractive index of 1.4535. The rest of the ingredients were selected based on their functions and approval by the NEA. The appropriate percentages were determined, and five formulas, named alphabetically, were elaborated; discarding the first one due to inadequate properties. In their physicochemical characterizations, the density and viscosity were lower than normal, they formed good foam and obtained pH values suitable for atopic dermatitis. In conclusion, the oil complied with the quality standards, and together with the other ingredients, they provided the formulas with the ability to cleanse, smooth, hydrate and stabilize, with C being the most attractive to those surveyed.

Key words: Virgin coconut oil, Body soap, Syndet, Formulation, Atopic Dermatitis

Introducción

Existe una gran variedad de enfermedades de la piel, como xerosis, rosácea, eczema, entre otras. Según Nutten [1] se estima que la prevalencia de la dermatitis atópica es del 15 al 20 % en niños y del 1 al 3 % en adultos, y la incidencia se ha multiplicado por 2 o 3 durante las últimas décadas en los países industrializados. La dermatitis atópica se clasifica como una enfermedad inflamatoria crónica de la piel, distinguida por una función de barrera alterada, un aumento en la pérdida de agua transepidérmica, una disminución de la capacidad de retención de agua y un bajo porcentaje de lípidos y ceramidas; dando como resultado síntomas como inflamación y picazón que conducen a la irritación de la piel según Varma *et al.* [2].

Los tensoactivos son capaces de remover tanto la suciedad, como los componentes importantes del estrato córneo, incluyendo lípidos y proteínas, lo que puede producir más daños que beneficios [3]. Por esto, se debe cuidar la formulación de un jabón, en busca de mantener el potencial de irritación al mínimo. El término de jabón suave implica que la irritación se minimiza significativamente o está ausente, debido a la combinación de ingredientes y pH ajustado de la formulación [4].

Se debe señalar que el rango normal del pH de la piel es de 4,1 a 5,8, mientras que las personas con dermatitis atópica presentan un pH elevado [3]. Draeos [4] afirma que el pH alto provoca la inflamación del estrato córneo, lo que permite una penetración más profunda no deseada del jabón en la piel, posiblemente causando irritación y picazón. Ananthapadmanabhan *et al.* [5] exponen que los limpiadores a base de jabón tradicional (sales sódicas y potásicas) son de naturaleza alcalina, mientras que el pH de la mayoría de los syndets (limpiadores a base de surfactantes sintéticos) son ligeramente ácidos.

La suavidad de un limpiador también está determinada por las interacciones de sus otros ingredientes con el estrato córneo en sus condiciones de pH formuladas [6]. Por lo que, para obtener un jabón suave, actualmente se ha inclinado por la formulación de limpiadores que puedan compensar el daño del surfactante, proporcionando beneficios que incluyen la deposición de aceites, lípidos y humectantes durante el lavado [5].

De esta forma, el aceite virgen de coco puede introducirse a la formulación de un jabón corporal como uno de sus aditivos, ya que según Chew [7], varios estudios corroboran que este aceite virgen, cuenta con propiedades clave para el manejo de la dermatitis atópica, los cuales son su actividad antioxidante, antiinflamatoria, antibacteriano, hidratante e incluso ayuda en el proceso de cicatrización.

Este artículo se originó del Trabajo Especial de Grado, de Montenegro & Santana [8], titulado “Jabón corporal de aceite virgen de coco teóricamente apto para personas diagnosticadas con dermatitis atópica”, donde se busca introducir un método para la obtención de jabón líquido de limpieza suave sin necesidad de la aplicación de la reacción de saponificación, de manera tal que el aceite virgen de coco proporcione de hidratación a la formulación, acompañado de una variedad de ingredientes aptos para su uso en la dermatitis atópica; basándose en investigaciones tales como la de Galué[9], Osorio *et al.* [10] y Gutiérrez [11] para la determinación de las características del producto terminado, así como en Bratovcic *et al.* [12] para la metodología de elaboración.

Materiales y métodos

La presente investigación fue de tipo descriptivo, aplicado y cuantitativo, con diseño experimental, debido a la necesidad de observar los efectos de la variación de los porcentajes máxicos de los ingredientes en las características fisicoquímicas y sensoriales del jabón. De esta forma, dos unidades de análisis importantes se consideraron, el aceite virgen de coco utilizado como aditivo hidratante principal y el jabón elaborado. A su vez, fue requerido considerar como población los habitantes de las parroquias Coquivacoa y Olegario Villalobos, para la evaluación sensorial del producto final. Esta investigación requirió de la observación directa estructurada para la visualización y análisis de los fenómenos, y observación indirecta estructurada por la necesidad de conformarse con información proveniente de otros autores. A su vez, fue necesario usar técnicas de recolección de datos tales como la entrevista y la encuesta escrita para la recopilación de información.

Caracterización fisicoquímica del aceite virgen de coco adquirido comercialmente a ser utilizado como principal aditivo

Se requirió de la determinación de características pertinentes del aditivo hidratante principal, el aceite virgen de coco, las cuales fueron, densidad, acidez, índice de peróxidos e índice de refracción, haciendo pruebas por triplicado, aplicando los parámetros estadísticos de media y desviación estándar para medir las variaciones entre los resultados. La acidez fue determinada por medio de la Norma COVENIN 325:2001[13], y el índice de peróxidos por la Norma COVENIN 508:2001[14]. A su vez, se utilizó el método de Iovino & Muñoz [15] para la determinación de la densidad para 2, 3 y 4 mL de aceite; y se aplicó el procedimiento del Instructivo del Refractómetro Abbe-3L [16], de Bausch & Lomb (1959) para el índice de refracción.

Selección del surfactante y los aditivos adecuados para ser usados en la formulación del jabón para dermatitis atópica.

Además del aceite virgen de coco, se necesita de surfactantes y distintos aditivos para la formulación completa de jabón. Para la selección de los demás ingredientes se verificó la disponibilidad de los posibles ingredientes en Laboratorio Químico y Cosmético DISA, C.A, en la ciudad de Maracaibo, Edo. Zulia. Se hicieron posteriores análisis de los ingredientes disponibles para la formulación, basándose en la aprobación por la National Eczema Association y sus diferentes funciones.

Establecimiento de las proporciones apropiadas de los ingredientes seleccionados

Se hizo necesario la recopilación de datos, por medio de una guía de entrevistas a dos Licenciados Químicos expertos en la formulación de productos del cuidado personal, para identificar las proporciones adecuadas de los ingredientes surfactantes, hidratantes y humectantes y estabilizantes (antimicrobianos, antioxidantes y quelantes); cuyas respuestas, se analizaron y corroboraron con diferentes autores para el establecimiento de las proporciones a utilizar en cinco fórmulas de jabón, con diferentes proporciones de aceite virgen de coco.

Elaboración del jabón corporal de aceite virgen de coco y los aditivos seleccionados previamente

La elaboración del jabón se realizó basándose en el procedimiento experimental de Bratovcic *et al.* [12]. En primer lugar, se colocaron 300 g de agua a calentar, con agitación vigorosa, y se le agregó un emoliente. Se mezcló aparte el surfactante primario con el espesante hasta crear una pasta, para su mejor solubilización en el agua. Una vez que se solubilizó el emoliente, se agregó la pasta y se esperó hasta que se tornó homogénea. Después se le agregaron los surfactantes secundarios y poco a poco más agua. Posteriormente, asegurando una temperatura menor a 45 °C para evitar la degradación de los compuestos, se agregaron los aditivos oleosos, así como más agua hasta que la mezcla se observó uniforme. Una vez cumplido esto, se añadieron los ingredientes acuosos, agregando después un poco más de agua. Seguidamente, al observar la mezcla homogénea, se agregaron los antimicrobianos. Por último, para regular la viscosidad, se fue agregando espesante a la mezcla en agitación, hasta obtener la viscosidad requerida. Este procedimiento se realizó para cada una de las formulaciones establecidas.

Determinación de las características fisicoquímicas y sensoriales del jabón formulado.

La densidad se midió utilizando el procedimiento de Iovino & Muñoz [15] para 2, 3 y 4 mL de jabón. La formación de espuma se determinó haciendo uso del procedimiento de Galué[9], donde se elaboró una mezcla 2:1 agua-jabón y se mezcló por treinta segundos vigorosamente, y, posterior a la estabilización, se midió con una regla la espuma formada. Finalmente, para medir el pH se utilizó la metodología de Osorio *et al.* [10], por lo que se midieron 10 g de jabón, agitándose a velocidad moderada, antes de insertar el potenciómetro para determinar su pH. Para la medida de la viscosidad, se siguió la norma ASTM 5125-97[17], haciendo uso de un embudo de decantación con una boquilla de 3 mm, así como un cronómetro, que permitió determinar el tiempo de caída de 100 mL de muestra por la boquilla del decantador, encontrándose la viscosidad según la Figura 1.

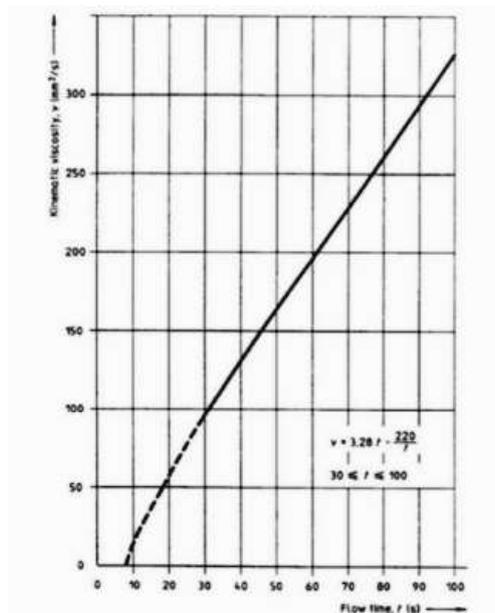


Figura 1. Curva de calibración para una boquilla de 5 mm.[17]

La Figura 1, mostrada anteriormente, define una relación entre la viscosidad cinemática y el tiempo que tardó el fluido, newtoniano o no newtoniano, en abandonar el decantador con boquilla de 5 mm. Para propósitos de la investigación, la Figura 1 permitió establecer la viscosidad cinemática de cada una de las muestras elaboradas a partir del seguimiento del procedimiento explicado.

Finalmente, se llevó a cabo un posterior análisis sensorial (textura, aroma, apariencia y sensación después del uso) de cada muestra, haciendo uso de una encuesta digital. El análisis fue realizado por 21 personas que cumplieran con los siguientes criterios: no ser alérgico al coco, tener entre 18 y 60 años, sufrir o haber sufrido de resequeidad en la piel y estar interesado en la compra de jabones líquidos.

Resultados y discusión

A partir de la metodología aplicada, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos seleccionados, se llevaron a cabo las diferentes actividades mencionadas en el apartado anterior para la obtención de una fórmula de jabón corporal elaborado con aceite virgen de coco, teóricamente apto para aquellas personas diagnosticadas con la condición conocida como dermatitis atópica.

Caracterización fisicoquímica del aceite virgen de coco adquirido comercialmente a ser utilizado como aditivo hidratante principal

Mediante cumplimiento de las actividades se obtuvieron tres medidas para cada uno de los indicadores considerados, es decir, densidad, índice de peróxidos, acidez, e índice de refracción, del aceite de coco adquirido comercialmente. De esta manera se conocen los valores del aceite utilizado en la elaboración del jabón, como se observó en la Tabla 1, se permite una comprensión de cada uno de los factores que se consideró de gran importancia para los objetivos trazados.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del aceite virgen de coco utilizado para la elaboración del jabón [8]

Prueba	Densidad (g·mL ⁻¹)	Índice de peróxidos (meq O ₂ ·kg ⁻¹)	Acidez (%)	Indices de refracción
Prueba 1	0,8797	2,2581	0,0800	1,4535
Prueba 2	0,892	2,7097	0,0867	1,4535
Prueba 3	0,8853	2,2581	0,0800	1,4535
Promedio	0,8857	2,4086	0,0822	1,4535
Desviación estándar	0,006158	0,2607	0,003851	0

La Tabla 1 contiene la desviación estándar de cada uno de los indicadores. Todos los valores de desviación resultaron bajos, por lo que la variación con respecto al promedio es leve, por lo que los resultados son confiables. La densidad tuvo un valor promedio de 0,8857 g/mL, que comparándose con el valor obtenido por Ayu *et al.* [18] de 0,88 g/mL para el aceite virgen de coco, puede decirse que es un valor normal, lo que en consecuencia permitió reafirmar la presencia mayoritaria de ácido láurico en el aceite virgen de coco, dada su densidad de 0,88 g/mL.

De acuerdo con los estándares de parámetros de calidad para el aceite de coco virgen establecidos por la Asian and Pacific Coconut Community (APCC) [19], el valor máximo esperado para la acidez (porcentaje ácidos grasos libres) es del 0,2 %. Pudo afirmarse entonces, a partir de la acidez experimental de 0,0822 %, que el aceite presenta una actividad oxidativa aceptable, casi nula, por lo que el aceite no tiende a deteriorarse con facilidad. Asimismo, el índice de peróxidos resultó ser de un valor promedio de 2,4086 meq O₂/kg, lo cual se encuentra por debajo del límite máximo establecido [19], es decir, está por debajo de 3 meq O₂/kg. Este valor obtenido representa una baja presencia de peróxidos e hidroperóxidos formados por oxidación de lípidos, lo que confirma la baja tendencia a la oxidación del aceite, como lo señaló la acidez.

El índice de refracción del aceite de coco virgen, según la APCC [19], va de 1,4480 a 1,4492 a 40 °C. El índice de refracción presentado en la Tabla 1 se determinó a 25 °C, obteniendo un valor de 1,4535, el cual se encuentra fuera del rango establecido. El índice de refracción de una sustancia líquida disminuye con el aumento de la temperatura [20]. En este caso, hay una diferencia de 20 °C entre los resultados dados por la APCC y el del presente trabajo. La diferencia entre los valores es de 0,0043, por lo que se puede declarar que el aceite es puro.

Selección del surfactante y los aditivos adecuados para ser usados en la formulación del jabón para dermatitis atópica.

Para la selección de los ingredientes, en primer lugar, se determinó la disponibilidad de los posibles ingredientes en el Laboratorio Químico y Cosmético DISA, C.A, y se analizaron sus funciones en una formulación y si estaban o no en la lista de ingredientes para evitar de la National Eczema Association (NEA) [21]. Los ingredientes seleccionados se muestran en la Tabla 2, donde seguidamente se exponen las razones por las cuales se seleccionó cada ingrediente.

Tabla 2. Datos relevantes sobre los ingredientes disponibles seleccionados para la formulación [8]

Ingrediente	Función	Aprobación por la NEA
Lauril éter sulfato de sodio (SLES)	Surfactante primario	Sí
Betaína de coco	Surfactante secundario	Sí
Cocamida MEA	Surfactante secundario	Sí
Sorbitol	Humectante, emulsionante	Sí
Trietanolamina	Antimicrobiano	Sí
Aceite virgen de coco	Hidratante, emoliente, oclusivo	Sí
Estearato de glicerol	Emoliente, emulsionante, perlante	Sí
Alcohol cetosteárico	Emoliente, emulsionante	Sí
Ácido cítrico	Regulador de pH, antimicrobiano	Sí
EDTA tetrasódico	Quelante	Sí
Vitamina E	Antioxidante	Sí
Pantenol	Hidratante	Sí

En la Tabla 2, se observó las características importantes de los ingredientes disponibles seleccionados, siendo todos aprobados por la NEA. Se seleccionó el SLES por tener un valor de número de zeína de aproximadamente 190 mg N/g, lo que se considera bajo, ya que, Spitz [22] expone que un valor de zeína mayor a 200 mg N/g, implica un gran potencial de irritación. Este tiene un valor menor al del otro surfactante primario disponible, el SLS. También utilizó la betaína y la cocamida como surfactantes secundarios para minimizar el potencial de irritación del primario. Draelos [23] afirma que las betaínas generalmente muestran una buena compatibilidad con la piel, al igual que las cocamidas. Por lo que se consideraron aptas.

Se seleccionó el estearato de glicerol por su actividad como emoliente, dado que, es una sustancia segura para el uso para cualquier tipo de piel [24], mientras se mantenga a baja concentración y la persona no sea alérgica al componente. Agregando a esto, se menciona que le proporciona al jabón una apariencia perlada [25]. Por otra parte, también se escogió el alcohol cetosteárico, que según Cafasso [26] trabaja como emoliente, y es un emulsionante que espesa los productos cosméticos, y puede calmar y curar la piel seca. Para la humectación se seleccionó el sorbitol que, además, es emoliente y emulsionante. A su vez, MacLeman [27] declara que también cumple funciones de espesante. Asimismo, se seleccionó el extracto de aloe vera, del cual Chang [28] añade que, contiene antioxidantes y es altamente antiinflamatorio, por lo que puede ayudar a este tipo de piel. Asimismo, se seleccionó el pantenol, que de acuerdo con Pedroja [29] es un agente suavizante, calmante y anti irritante.

Por otro lado, se eligió usar el EDTA tetrasódico por su capacidad quelante, ya que según MacLeman [27] se une a los iones minerales y los inactiva, lo que ayuda en la estabilidad del producto y a prevenir el crecimiento de biofilms. Se seleccionó el ácido cítrico por ser el único regulador de pH disponible, apto para llevar la fórmula a un pH alrededor de 5,5, adecuado para la dermatitis. Además, este ácido tiene actividad antimicrobiana [30].

Por último, se seleccionó como antioxidante a la vitamina E, que según la empresa L'OREAL [31], ayuda a proteger la fórmula de la oxidación. Con base en lo anterior, se puede afirmar que el uso de la vitamina E, fue adecuado para prevenir la oxidación de los lípidos presentes por el aceite de coco. De último, se decidió utilizar el cloruro de sodio como agente viscosante, muy utilizado en la cosmética para este fin.

Establecimiento de las proporciones apropiadas de los ingredientes seleccionados

Para la cantidad del surfactante primario, con base en los datos obtenidos por las entrevistas, los porcentajes van de un 8-15 %. Este dato es confirmado por Leyden & Rawlings [25] quienes mencionan que los porcentajes típicos de surfactante primario en un jabón son de 8-20 %. Por lo se decidió hacer fórmulas con rangos de 8-14 % ya que un porcentaje mayor podría causar irritación. En cuanto a los surfactantes secundarios, según las entrevistas, se pueden utilizar en un rango de 1-10 %. Concordando con esto, Spitz [22] afirma que la adición de la betaína de coco a una solución de SLES, provoca un aumento en la viscosidad. Para buscar una buena viscosidad se optó por variar de 2 al 3,5 % de surfactantes secundarios.

Con relación a los aditivos que ayudan a la hidratación y humectación según las respuestas de las entrevistas, van del 1 % al 2 % o incluso de 3 % o 4 %, dependiendo de lo que se quiere lograr y las pruebas que se quieran hacer, teniendo cuidado con el porcentaje de aceite. Se debe señalar que, Leyden & Rawlings [25] declaran que el ingrediente hidratante suele ser menos del 10 % de la composición, y que los lípidos o aceites a utilizar deberían estar entre 3-5 %. Con base en esto, se declara que un porcentaje adecuado de hidratantes y humectantes es alrededor del 3 %, donde se deben probar diferentes porcentajes del aceite de coco, pero no más del 1,5 % para evitar separación de fases o una fórmula muy grasosa.

En el caso de los agentes antimicrobianos, quelante y regulador de pH, según la información recolectada por las entrevistas, son usados a un valor alrededor del 0,5 %, del cual para el ácido cítrico puede ser de un 0,1 % a 0,075 %, y que las vitaminas antioxidantes pueden estar en un 0,2 %. En relación con este tema, Leyden & Rawlings [25] afirman que el porcentaje normal de los conservantes es del 0,2%. Mientras que, Cassidy [32] sostiene que un porcentaje aceptable es de 0,05 a 1,0 %. Por lo que un rango normal sería del 0,05 al 0,5 % para los conservantes y un 0,2 para el antioxidante, que en este caso es la vitamina E, la cual también tiene la tendencia de hidratación.

En busca de conocer los efectos de los ingredientes y, obtener una formulación adecuada, se optó por establecer los porcentajes variantes en las muestras; a partir de los cambios de los ingredientes, que se consideran de mayor importancia para la adecuada función del jabón los cuales son el surfactante primario y los secundarios, y el aditivo hidratante principal, es decir, el aceite virgen de coco. Esto se describe en la Tabla 3 en los porcentajes máxicos.

Tabla 3. Porcentajes máxicos seleccionados [8]

Porcentaje máxico (%)					
Ingrediente	FA	FB	FC	FD	FE
SLES	8	12	12	14	14
Betaína de coco	1,4	2	2	2	2
Cocamida MEA	0,6	0,6	0,6	0,6	1,5
Aceite virgen de coco	0,5	0,5	1	1	1,5
Glicerina	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Sorbitol	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Extracto de aloe vera	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Trietanolamina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Estearato de glicerol	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Alcohol cetosteárico	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ácido cítrico	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
EDTA tetrasódico	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Vitamina E	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Pantenol	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cloruro de sodio	Qs.	Qs.	Qs.	Qs.	Qs.
Agua	Qs.	Qs.	Qs.	Qs.	Qs.

Así, en la Tabla 3 se presentó los porcentajes de masa establecidos para cada uno de los ingredientes, en cada de las cinco formulaciones consideradas. Se decidió variar la cantidad de los surfactantes para la obtención de una viscosidad apropiada, ya que el SLES, la betaína y la cocamida MEA son también agentes espesantes. Por lo que se debería disminuir la cantidad requerida de cloruro de sodio, el cual en exceso puede causar irritación. Además, al aumentar la cantidad de SLES se debe aumentar la cantidad de surfactantes secundarios, ya que el potencial de irritación sube con este. A su vez, se estableció que el aceite de coco varía desde 0,5 a 1,5 %, sin excederse para evitar la separación de fases. Las proporciones de los demás ingredientes se mantuvieron fijas, a excepción del agua y cloruro de sodio, donde se consideró el Qs (*Quantum satis*), es decir, la cantidad adecuada, siendo determinada en la elaboración.

Elaboración del jabón corporal de aceite virgen de coco y los aditivos seleccionados previamente.

Se elaboró 1 litro de jabón corporal con cada una de las fórmulas establecidas en la fase anterior, añadiendo la cantidad necesaria de agente espesante, es decir, cloruro de sodio, para obtener una apariencia y viscosidad atractiva, sin saturar el jabón líquido de este componente; ya que, mientras el cloruro de sodio funge como agente viscosante y espesante, al saturar la mezcla cumple con las funciones contrarias. La cantidad usada de cada ingrediente en cada una de las fórmulas se presentó en la Tabla 4.

Tabla 4. Cantidad agregada de cada ingrediente [8]

Ingrediente	Masa agregada (g)				
	FA	FB	FC	FD	FE
Lauril éter sulfato de sodio	80	120	120	140	140
Betaína de coco	14	20	20	20	20
Cocamida MEA	6	6	6	6	15
Aceite virgen de coco	5	5	10	10	15
Glicerina	5	5	5	5	5
Sorbitol	2	2	2	2	2
Extracto de aloe vera	3	3	3	3	3
Trietanolamina	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Estearato de glicerol	3	3	3	3	3
Alcohol cetosteárico	2	2	2	2	2
Ácido cítrico	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
EDTA tetrasódico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Vitamina E	2	2	2	2	2
Pantenol	2	2	2	2	2
Cloruro de sodio	18	22	20	20	16
Agua	856	798	805	783	773

De las fórmulas que se presentan en la Tabla 4, la primera, FA, se desechó debido a una baja viscosidad y apariencia similar al agua. Esto se debió a la cantidad insuficiente de surfactante primario para reaccionar con el agente espesante, lo que causó una saturación temprana de la mezcla, por lo que nunca presentó las características esperadas. El resto de las fórmulas se consideraron adecuadas, por lo que se les aplicaron las pruebas de la Fase V.

Otro aspecto para resaltar de la Tabla 4, es el aumento de la cantidad de surfactante primario y secundario, como para la fórmula E, resultó como consecuencia una disminución del espesante cloruro de sodio requerido. Ya que, el cloruro de sodio puede causar deshidratación tópica y el surfactante primario puede librar a la piel de lípidos importantes, por lo que implicó un balance entre la cantidad de espesante y surfactante a agregar para conseguir el producto adecuado, con la menor cantidad de efectos adversos.

Determinación de las características fisicoquímicas y sensoriales del jabón formulado.

Las dimensiones que se consideraron para la fase fueron la dimensión fisicoquímica y la dimensión sensorial. En la dimensión fisicoquímica se obtuvieron resultados de densidad, viscosidad, formación de espuma, y pH. Para la simplificación del análisis, se presentaron los resultados por indicador para cada una de las muestras elaboradas, de esta forma, la Tabla 5 muestra los valores de densidad, la Tabla 6 mostró los valores de viscosidad, la Tabla 7 reveló los valores de formación de espuma, y la Tabla 8 los valores de pH.

Tabla 5. Densidad de las muestras de jabón líquido elaboradas [8]

	FB	FC	FD	FE
Prueba 1 (g/mL)	0,996	0,846	0,989	0,983
Prueba 2 (g/mL)	0,983	0,853	0,998	0,982
Prueba 3 (g/mL)	1,016	0,860	1,002	0,987
Promedio (g/mL)	0,998	0,853	0,996	0,984
Desviación estándar (g/mL)	0,0166	0,0070	0,0067	0,0026

En la Tabla 5 son apreciables los valores obtenidos de densidad para cada una de las fórmulas, así como el promedio de las pruebas y la desviación estándar, que aseguró el grado de confianza de los resultados. Con esto se observó que la densidad es dependiente de los componentes que conforman al jabón. Así pues, FC tuvo la menor densidad, con $0,853 \pm 0,0070$ g/mL, y FB tuvo la mayor densidad, con un valor de $0,998 \pm 0,0166$ g/mL.

Uzwatania, Surya Ningrum & Resti [33] encontraron una densidad de aproximadamente 1,085 g/mL para su jabón líquido, y la National Standardization Agency of Indonesia [34] tiene establecido un rango de 1,010 to 1,100 g/ml para los jabones líquidos. La diferencia de la densidad obtenida con estos valores se debió a la presencia de ingredientes de baja densidad, como el alcohol cetosteárico, el aceite virgen de coco, y el estearato de glicerol.

Tabla 6. Viscosidad de las muestras de jabón líquido elaboradas [8]

	FB	FC	FD	FE
Prueba 1 (mm ² /s)	132,5	51,5	80,0	157,0
Prueba 2 (mm ² /s)	125,7	53,0	80,0	163,0
Prueba 3 (mm ² /s)	125,7	50,0	75,0	163,0
Promedio (mm ² /s)	128,0	51,5	78,3	161,0
Desviación estándar (mm ² /s)	3,9260	1,5000	2,8868	3,4641

A partir de los resultados de la Tabla 6, se determinó a mayor profundidad el efecto del agente espesante y del surfactante en los productos finales. La FB y la FE resultaron tener una mayor viscosidad, en el caso de la primera fórmula se debió a la cantidad de espesante, mientras que, para la fórmula E se debió a la cantidad de surfactantes añadida a la mezcla. Por otro lado, FC presentó una menor viscosidad al contar con la misma cantidad de surfactante que FB, pero una menor cantidad de espesante. Por último, FD obtuvo una viscosidad mayor a la fórmula C debido a la dosis de surfactante primario utilizada.

Los valores obtenidos, y reflejados en la Tabla 6, fueron menores a los de jabones comerciales, como por ejemplo el de Sulistiawati, Astuti & Santosa [35], que obtuvo una viscosidad cinemática mínima de 395,5 mm²/s. Fue posible atribuir esta condición a tres factores: la cantidad de espesante, la cantidad de surfactante, y el número de espesantes utilizados. A pesar de la baja viscosidad en comparación con los jabones comerciales, esto no afectó sus características de formación de espuma o su capacidad hidratante, la cual es de mayor interés en el estudio. Además, los rangos de viscosidad obtenidos se consideraron indicativos de una alta facilidad a la hora de aplicar el jabón, independientemente del tipo de dispensador a utilizar.

Tabla 7. Formación de espuma de las muestras de jabón líquido elaborado [8]

	FB	FC	FD	FE
Prueba 1 (cm)	0,30	0,70	0,70	1,00
Prueba 2 (cm)	0,40	0,50	0,60	1,00
Prueba 3 (cm)	0,30	0,60	0,90	1,00
Promedio (cm)	0,33	0,60	0,73	1,00
Desviación estándar (cm)	0,0577	0,1000	0,1528	0,0000

Los resultados de formación de espuma se ven representados en la Tabla 7, junto con el promedio aritmético de las pruebas y la desviación estándar. La formación de espuma menor fue la FB con $0,33 \pm 0,05773$ cm y la de mayor la FE con $1,00 \pm 0,00$ cm. Es importante recalcar que no este factor no es determinante de la eficiencia de limpieza de un jabón, sino que es dependiente del tipo y cantidad de surfactante utilizado. Greive [36] añade que, los limpiadores sin espuma no son intrínsecamente suaves, los jabones espumosos y no espumosos se pueden diseñar para que sean suaves en la piel.

Los resultados del jabón líquido obtenido a partir de la saponificación con aceite de coco de Galué [9] fueron similares a los determinados en el presente, con una formación de espuma de 0,7 cm. De esta manera, los valores que se obtuvieron en este Trabajo Especial de Grado fueron concordantes con los valores normales de formación de espuma, a excepción de la fórmula B, que presentó una formación menor.

A pesar de la similitud en la composición de la fórmula B y C, la segunda formó una mayor cantidad de espuma, lo que puede ser debido a su menor porcentaje de espesante, ya que, según Behera *et al.* [37] la cantidad de cloruro de sodio puede reducir significativamente el volumen de espuma. Por su parte, la formulación con la mayor formación de espuma fue la E, la cual contiene el mayor porcentaje de surfactante primario, pero, también posee una mayor cantidad de cocamida MEA, el cual es una agente espumante que ayuda a la estabilización de la espuma.

Tabla 8. pH de las muestras de jabón líquido elaborado [8]

	FB	FC	FD	FE
Prueba 1	5,53	5,45	5,17	5,7
Prueba 2	5,50	5,40	5,19	5,73
Prueba 3	5,50	5,45	5,20	5,69
Promedio	5,52	5,43	5,19	5,71
Desviación estándar	0,0173	0,0289	0,0153	0,0208

En la Tabla 8 se observó los valores obtenidos de pH para todas las fórmulas de jabón, siendo destacable el hecho de que resultaron ser ligeramente ácidas. El pH más bajo obtenido fue el de FD, de $5,19 \pm 0,0153$, y el más alto fue el de FE, de $5,71 \pm 0,0208$. Una de las consideraciones más importantes para conocer si un producto de higiene personal puede ser aplicado en la piel, es el valor de pH. Para la formulación de un jabón apto, es necesario que su pH se encuentre dentro del rango normal que posee la piel para no alterar el estrato córneo.

Entre algunos estudios están el de Lukić *et al.* [3] quienes declaran que se considera que valores de pH de 4,1 a 5,8 son reconocidos, dependiendo de la parte del cuerpo. Mientras que, Dlova, Naicker, & Naidoo [38] proponen que un rango aceptable de pH de los jabones para la dermatitis atópica es de 5,4 a 5,9. Por otra parte, la NEA [21] recomienda utilizar limpiadores suaves con un pH debajo del 5,5. En base a esto, se puede afirmar que las muestras de jabón cumplieron con el pH aceptable para la dermatitis atópica, por lo que deben afectar la integridad del estrato córneo en ese aspecto.

La dimensión referente a las características sensoriales consideró cuatro indicadores: el aspecto, la textura, el aroma y la sensación después del uso. Para cada uno de los indicadores se hicieron tres preguntas, en busca de obtener una visión completa de la opinión de las 21 personas encuestadas. Así, la Figura 2 es referente a la apariencia, la Figura 3 a la textura, la Figura 4 al aroma, y la Figura 5 a la sensación después del uso.

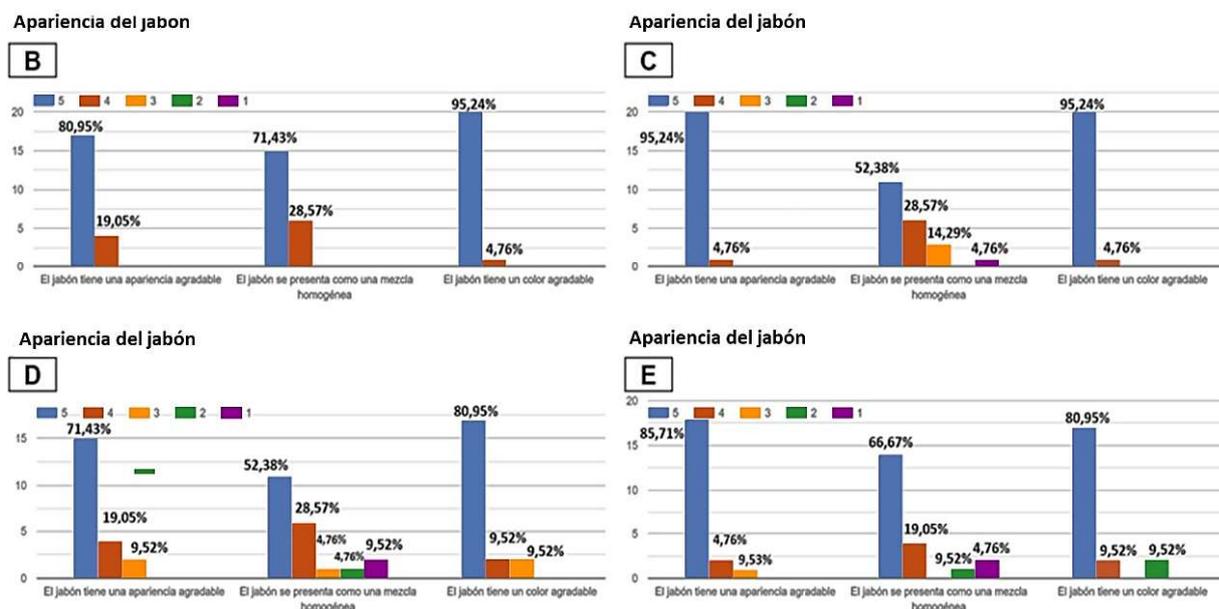


Figura 2. Resultados referentes a la apariencia de las muestras entregadas [8]

En la Figura 2, Los tres factores tomados en cuenta para la apariencia del jabón fueron la percepción de una apariencia agradable, la presentación homogénea de la muestra, y la percepción de un color agradable. Para el primer factor, FC fue la que obtuvo mayor aceptación, seguida, en orden, por FB, FE y FD. Para el segundo factor, por otro lado, la mejor receptividad fue de FB, seguida, en orden, por FC, FE y FD. Para el tercer y último factor, por otro lado, se FC y FB fueron las fórmulas que obtuvieron la mejor respuesta, seguida, en orden, por FD y FE.

La apariencia y color de las fórmulas B y C presentaron un perlado que resulta atractivo a los consumidores, por lo que la respuesta recibida se encontró dentro de las expectativas. Además, cabe destacar que la fórmula B fue la que presentó un mayor grado de estabilidad, recibiendo únicamente respuestas positivas en el factor de homogeneidad. A partir de estos tres factores, fue posible determinar que, en cuanto a apariencia, la fórmula C, fue la más atractiva para las personas encuestadas; seguida por la B, E, y por último la fórmula D. Sin embargo, cabe destacar que todas las fórmulas presentaron una amplia aceptación, estando, en su mayoría “totalmente de acuerdo” con todos los factores seleccionados para el indicador de apariencia.

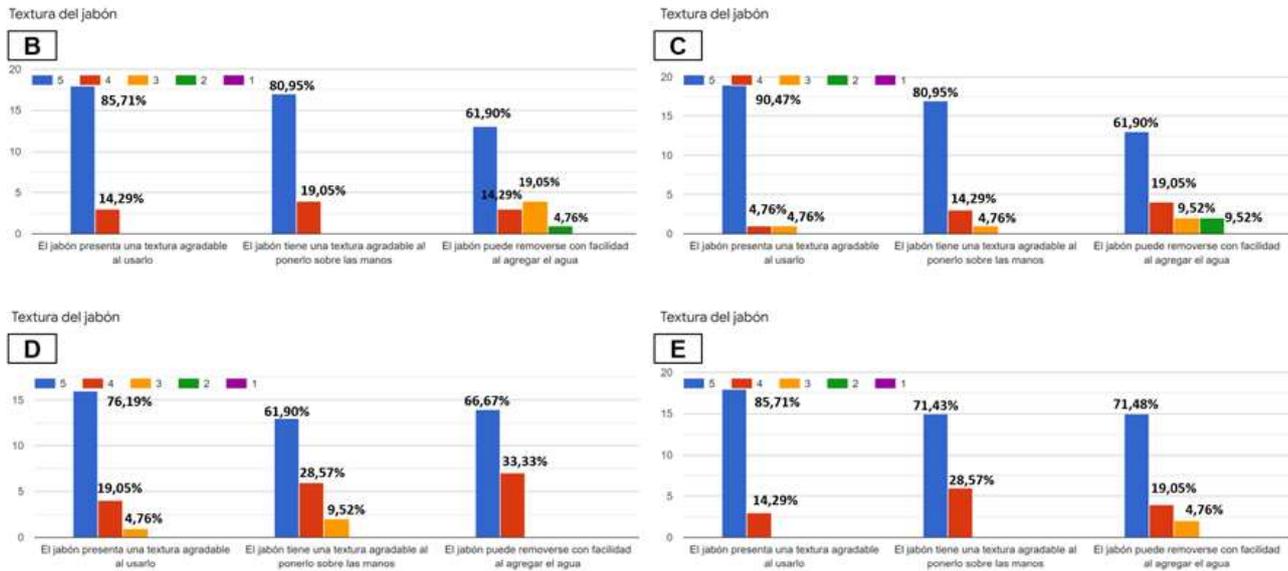


Figura 3. Resultados referentes a la textura de las muestras entregadas. [8]

En el caso de la textura, los tres factores tomados en cuenta, y reflejados en la Figura 3, fueron la percepción de una textura agradable durante su uso, la percepción de una textura agradable tras su aplicación, y la facilidad de remoción. Para el primer factor, las fórmulas con mejor recepción fueron la fórmula B y E, seguidas por la C, y por último la D. La aceptación referente al segundo factor fue encabezada por la fórmula B, seguida, en orden, por FE, FC y FD. Por último, la facilidad de remoción estuvo liderada por la fórmula D, seguida, en orden, por FE, FB, y, por último, FC.

A partir de los resultados, fue posible declarar que ninguna de las fórmulas presenta una textura desagradable al momento de la aplicación y el uso; mientras tanto, en cuanto a la facilidad de remoción, las fórmulas que recibieron al menos una respuesta desfavorable fueron la FB y la FC, las cuales presentan una menor cantidad de surfactante, lo cual puede ser causante de esta sensación, al ser el ingrediente que asegura un buen contacto de los ingredientes lipídicos y acuosos.

Con los tres factores estudiados, se consideró apropiado afirmar, que tanto la fórmula B, como la fórmula E, fueron las más atractivas para las personas encuestadas. Seguida por la D, y por último la fórmula C. Además, fue prudente establecer que, en general, todas resultaron apropiadas, aunque, se presentó una mayor dificultad de remoción para las muestras con menor cantidad de surfactante, resultaron agradables en el resto de los factores tomados en cuenta para el indicador de textura y para la mayoría de las personas encuestadas.

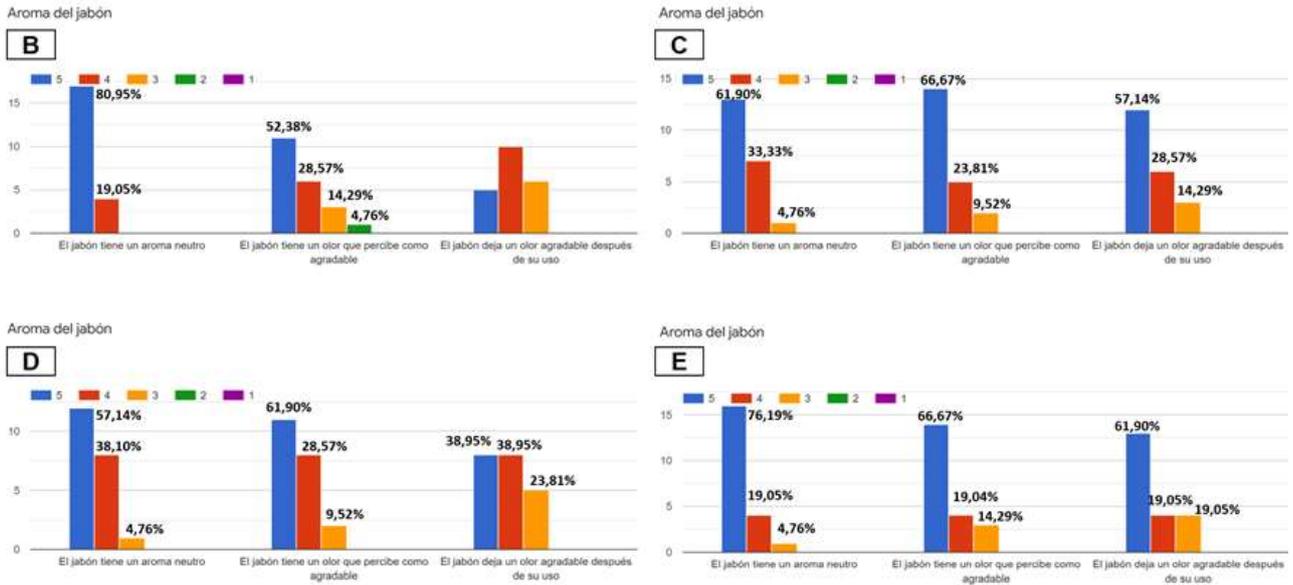


Figura 4. Resultados referentes al aroma de las muestras entregadas. [8]

Para el aroma, los tres factores a considerados fueron la percepción de un olor neutro, la percepción de un aroma agradable, y la percepción de un aroma agradable después del uso. Según se mostró en la Figura 4; en el primer caso, la fórmula más aceptada fue la B, seguida, en orden, por FE, FC y, por último, FD. Para el segundo factor, fue la fórmula C la que encabezó la lista, seguida, en orden, por FD, FE y FB. En el tercer y último factor, la fórmula C fue la que obtuvo una mejor recepción, seguida por FE, FD, y, por último, FB.

Con estos resultados, fue posible determinar que todas las fórmulas contaban con características agradables de aroma, siendo la única fórmula con una respuesta negativa la FB, respectiva al olor en general. Al no tener ningún aditivo de fragancia, era de esperar que el aroma del jabón elaborado fuera neutro. Además, fue posible afirmar que todas las muestras presentaron características de aroma aceptables posterior al uso del producto. De esta manera, se encontró que el jabón más agradable fue el elaborado con la Fórmula C, seguida por FE, FD, y, por último, FB.

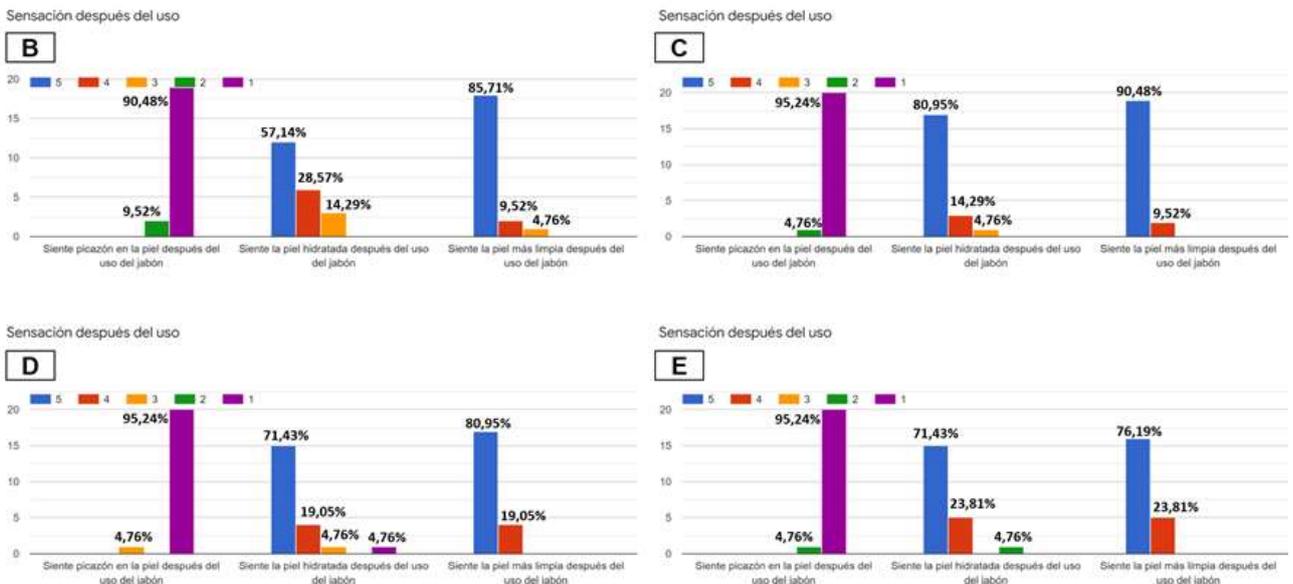


Figura 5. Resultados referentes a la sensación después del uso de las muestras entregadas [8]

En la Figura 5, se observó tres factores para la sensación después del uso, los cuales fueron la sensación de picazón, la sensación de hidratación, y la sensación de limpieza. En el primer caso, las fórmulas C y E fueron las que obtuvieron la mejor recepción, con la mayor cantidad de personas “totalmente en desacuerdo”

con la afirmación, seguidas por FB y, por último, FD. Para el segundo factor, la mayor aceptabilidad fue de la Fórmula C, seguida, en orden, por FB, FE y FD. El tercer factor fue encabezado por la Fórmula C, seguida esta vez por FD, FE, y, por último, FB.

A partir de estos resultados, fue posible afirmar que la fórmula más aceptada fue FC, seguida por, en este caso particular, es decir, para el indicador de sensación después del uso, FB, FE y FD. La Fórmula D pudo resultar menos atractiva debido a la cantidad de surfactante primario, sin aumentar la cantidad de aceite de coco y surfactante no-iónico, siendo estos ingredientes reductores de la irritación provocada por el surfactante primario. Es importante destacar que ninguna persona presentó irritación, lo cual se consideró favorable.

Una vez analizados los cuatro indicadores, y tomando en cuenta todos los factores internos de cada uno de ellos, fue posible determinar a la Fórmula C como la mejor fórmula de todas las elaboradas como parte del desarrollo de la investigación, siendo la más atractiva en cuanto a aroma, apariencia, y sensación después del uso. En segundo lugar, estuvo la Fórmula B, seguida por la Fórmula E, y, por último, la Fórmula D.

Conclusiones

A partir de la caracterización del aceite virgen de coco, se concluyó una alta presencia de ácido láurico con la densidad obtenida, y una alta calidad al encontrarse los valores de índice de peróxido, acidez e índice de refracción dentro de los estándares de la APCC, lo que expusieron su baja tendencia a enranciarse, y su alta pureza.

Todos los ingredientes seleccionados están aprobados por la NEA por lo que se consideraron aptos para la dermatitis atópica. Estos catorce ingredientes, incluyendo el aceite virgen de coco, le otorgan al jabón características de limpieza, suavidad, hidratación y estabilidad.

Basándose en los porcentajes de los ingredientes considerados como normales de los jabones, se establecieron cinco fórmulas para el jabón, variando los porcentajes de surfactante primario, surfactantes secundarios, y aceite virgen de coco.

Las fórmulas B, C, D y E se consideraron apropiadas, siendo desechada la A debido a su apariencia poco atractiva y similar al agua dada la baja cantidad de surfactante y saturación con el agente espesante.

En la caracterización fisicoquímica de cada fórmula, la densidad y la viscosidad de las fórmulas resultaron menores que las de jabones comerciales, debido a una baja proporción de agentes espesantes. Por otro lado, las formaciones de espuma de las fórmulas C, D y E resultaron acordes al valor de un jabón comercial, por lo que se considera una característica atractiva de los jabones, a diferencia de la fórmula B, que produjo una menor espuma.

Los valores de pH se encontraron dentro del rango adecuado para personas con dermatitis atópica para las cuatro fórmulas analizadas, por lo que se consideraron apropiadas para su uso en personas con la condición.

Sobre la base del análisis sensorial, la fórmula C resultó ser la más atractiva ante los encuestados, principalmente por sus características de aroma, apariencia y sensación después del uso, mostrando, a su vez, una textura mejorable, pero considerada como aceptable.

Referencias Bibliográficas

Rafiq, M., & Paramesh, R. (2019). In vitro anti-inflammatory and skin protective properties of Virgin coconut oil. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 9(1), 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.06.012>

MacLeman, E. (2018). Disodium EDTA - The Dermatology Review. *The Dermatology Review*. <https://thederreview.com/disodium-edta/>

[1] Nutten, S. (2015). Atopic Dermatitis: Global Epidemiology and Risk Factors. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 66(1), 8–16. <https://doi.org/10.1159/000370220>

[2] Varma, S. R., Sivaprakasam, T. O., Arumugam, I., Dilip, N., Raghuraman, M., Pavan, K. B., INCOMPLETA

[3] Lukić, M., Pantelić, I., & Savić, S. D. (2021). Towards Optimal pH of the Skin and Topical Formulations: From the Current State of the Art to Tailored Products. *Cosmetics*, 8(3), 69. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8030069>

[4] Draelos, Z. & Thaman, L. A. (2010). *Cosmetic formulation of skin care products*. Informa Healthcare.

[5] Ananthapadmanabhan, K. P., Moore, D. J., Subramanyan, K., Misra, M., & Meyer, F. (2004). Cleansing without compromise: the impact of cleansers on the skin barrier and the technology of mild cleansing. *Dermatologic Therapy*, 17 Suppl 1(s1), 16–25. <https://doi.org/10.1111/j.1396-0296.2004.04s1002.x>

[6] Hawkins, S., Dasgupta, B. R., & Ananthapadmanabhan, K. P. (2021). Role of pH in skin cleansing. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(4), 474–483. <https://doi.org/10.1111/ics.12721>

[7] Chew, Y. (2019). The beneficial properties of virgin coconut oil in management of atopic dermatitis. *Pharmacognosy Reviews*, 13(25), 24. https://doi.org/10.4103/phrev.phrev_29_18

[8] Montenegro & Santana INCOMPLETA

[9] Galue, M. (2019). Estudio de factibilidad técnica para el proyecto de obtención de un jabón de tocador a partir de la saponificación del aceite de coco y cenizas de la cáscara del plátano macho. [Trabajo Especial de Grado].

[10] Osorio Fortich, M. D. R., Matiz Melo, G. E., León Méndez, G., López Olivares, D., & Pájaro, N. P. (2017). Evaluación de la acción antiséptica de un jabón líquido utilizando algunos aceites esenciales como agente activo. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 46(2). <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v46n2.67954>

[11] Gutierrez, K. (2017). Formulación de jabón facial a partir de aceite comestible de soya usado. [Trabajo Especial de Grado].

[12] Bratovcic, A., Nazdragic, S., Odobasic, A., & Sestan, I. (2018). The Influence of Type of Surfactant on Physicochemical Properties of Liquid Soap. *International Journal of Materials and Chemistry*, 8(2), 31–37. <http://article.sapub.org/10.5923.j.ijmc.20180802.02.html>

[13] Comisión Venezolana de Normas Industriales (2001) COVENIN 325-2001: Aceites y Grasas Vegetales: Determinación de la acidez (3ª Rev). Comité técnico de normalización CT-10: Productos Alimenticios, en su reunión N° 2001-07. Caracas, Venezuela. Fondonorma.

[14] Comisión Venezolana de Normas Industriales (2001) COVENIN 508:2001 Aceites y Grasas Vegetales: Determinación del índice de peróxidos (3ª Rev). Comité técnico de normalización CT-10: Productos Alimenticios, en su reunión N° 2001-11. Caracas, Venezuela. Fondonorma.

[15] Iovino, G., & Muñoz, A. (2019). Efecto de la L-Arginina sobre el proceso de fermentación alcohólica de la miel de abeja [Trabajo Especial de Grado]. <http://uru.insiemper.com/educa/biblio/2101-19-12292.pdf>

[16] Thermo Fisher Scientific. (1959). *ABBE-3L User Guide - Thermo Fisher Scientific*. <https://manualzz.com/doc/7483244/abbe-3l-user-guide---thermo-fisher-scientific>

[17] American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard Test Method for Viscosity of Paints and Related Materials by ISO Flow Cups ASTM*. <https://www.astm.org/d5125-97.html>

[18] Ayu, N., Dewi, N., Lasmana, I., & Ani, I. (2019). Analysis Quality Characteristics of Virgin Coconut Oil (VCO): Comparisons With Cooking Coconut Oil (CCO). *ResearchGate*; unknown. https://www.researchgate.net/publication/334726794_Analysis_Quality_Characteristics_of_Virgin_Coconut_Oil_VCO_Comparisons_With_Cooking_Coconut_Oil_CCO

[19] Asian and Pacific Coconut Community. (2009). VIRGIN COCONUT OIL Asian and Pacific Coconut Community. Academia. https://www.academia.edu/31872585/VIRGIN_COCONUT_OIL_Asian_and_Pacific_Coconut_Community

[20] Asociación MetAs & Metrólogos Asociados. (2008). Metrología de Refracción. Docplayer.es. <https://docplayer.es/10151011-Metrologia-de-refraccion.html>

[21] National Eczema Association. (2020). Seal of Acceptance Ingredient Information. National Eczema Association. <https://nationaleczema.org/seal-ingredient-information/>

[22] Spitz, L. (2016). Soap Manufacturing Technology. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-00078-8>

[23] Draelos, Z. D. (2017). The science behind skin care: Cleansers. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 17(1), 8–14. <https://doi.org/10.1111/jocd.12469>

[24] MacLeman, E. (2020). Glyceryl Stearate. *The Dermatology Review*. <https://deepsience.co/glyceryl-stearate/>

[25] Rawlings, A. V., & Leyden, J. J. (2009). Skin moisturization. Informa Healthcare.

[26] Cafasso, J. (2019). Cetearyl Alcohol: What You Need to Know About This Common Ingredient. Healthline; Healthline Media. <https://www.healthline.com/health/cetearyl-alcohol>

[27] MacLeman, E. (2022). Sorbitol - Why Is Sorbitol In My Skincare Product? Deep Science. <https://deepsience.co/sorbitol/>

[28] Chang, K. (2018). Using Aloe Vera has multiple benefits. Baylor College of Medicine. <https://www.bcm.edu/news/benefits-using-aloe-vera#:~:text=%E2%80%9CIt%20contains%20antioxidants%2C%20enzymes%2C>

[29] Pedroja, C. (2018). Why Is Panthenol Used in Cosmetics? Healthline; Healthline Media. <https://www.healthline.com/health/panthenol>

[30] Burel, C., Kala, A., & Purevdorj-Gage, L. (2021). Impact of pH on citric acid antimicrobial activity against Gram-negative bacteria. *Letters in Applied Microbiology*, 72(3), 332–340. <https://doi.org/10.1111/lam.13420>

[31] L'Oréal. (2016). Vitamin E - Ingredient | Inside Our Products. Inside-Our-Products.loreal.com. <https://inside-our-products.loreal.com/ingredients/vitamin-e#:~:text=Due%20to%20its%20antioxidant%20properties>

[32] Cassiday, L. (2016). Surfactants and Skin. *International News on Fats, Oils, and Related Materials*, 27(1), 694–699. https://www.aocs.org/documents/InformPDF/Inform_JAN_2016.pdf

[33] Uzwatania, F., Surya Ningrum, R., & Resti O, S. (2020). FORMULATION OF LIQUID HAND SOAP MADE FROM NEEM SEED OIL AND LEMONGRASS ESSENTIAL OIL. *Indonesian Journal of Applied*. <http://dx.doi.org/10.30997/ijar.v1i3.79>

[34] National Standardization Agency of Indonesia. (2017). SNI 4085:2017

[35] Sulistiawati, E., Astuti, E., & Santosa, I. (2019). The Influence of Strong Reduced Water and Fresh Coconut Oil in Viscosity of Liquid Hand Soap. *IOP Conference Series*, 543(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/543/1/012022>

[36] Greive, K. (2015). Cleansers and moisturizers: The basics. *Wound Practice & Research: Journal of the Australian Wound Management Association*, 23(2), 76–81. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.309050591704236>

[37] Behera, M., Varade, S., Ghosh, P., Paul, P., & Negi, A. (2014). Foaming in Micellar Solutions: Effects of Surfactant, Salt, and Oil Concentrations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(48), 18497–18507. <https://doi.org/10.1021/ie503591v>

[38] Dlova, N. C., Naicker, T., & Naidoo, P. (2017). Soaps and cleansers for atopic eczema, friends or foes? What every South African paediatrician should know about their pH. *South African Journal of Child Health*, 11(3), 146–148. <https://doi.org/10.7196/SAJCH.2017.v11i3.1325>

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Jabón corporal de aceite virgen de coco teóricamente apto para personas diagnosticadas con dermatitis atópica, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela

Almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico

Starch obtained from commercially acquired plantain peel as a raw material for obtaining bioplastic

Valeria Patricia Figueroa Lanza

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: valeria.27637299@uru.edu

María Mercedes Vega Medina

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: maria.29563328@uru.edu

Gladys Ángela Quevedo Contreras

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: gladys.quevedo@uru.edu

Recibido: 17-01-2022

Aceptado: 04-04-2022

Resumen

Se identificaron los métodos de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano por medio de diferentes investigaciones, donde se seleccionó el método seco de Calero, Lapo (2021), ya que fue el más adecuado para su ejecución en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta. Se realizó la extracción del almidón para tres muestras, obteniendo un extracto fino de color marrón, el cual se caracterizó realizando análisis fisicoquímicos presentando: una densidad de 0,4566 g/mL, humedad 7,17%, pH 5,54, acidez 0,189% y temperatura de gelatinización 77,33°C. Posteriormente, se realizó la prueba del yodo verificando la presencia de almidón en el extracto mediante su coloración azul. Por último, un laboratorio externo determinó que el extracto obtenido presentó un contenido de 72,76% (m/m) de almidón, obteniendo un rendimiento del 7,61%. Se concluyó que el almidón extraído presenta características favorables para su uso como materia prima para bioplástico.

Palabras Clave: Almidón, cáscara, plátano, bioplástico, propiedades fisicoquímicas.

Abstract

Starch extraction methods from plantain peels were identified through different researches, where the dry method of Calero, Lapo (2021) was selected, due to it was the most adequate for its execution in the laboratory of Universidad Rafael Urdaneta. Starch extraction was carried out for three samples, obtaining a fine brown extract, which was characterized by physicochemical analysis showing: density of 0.4566 g/mL, humidity 7.17%, pH 5.54, acidity 0,189% and gelatinization temperature 77.33°C. Subsequently, the iodine test was performed by verifying the presence of starch in the extract through its blue coloration. Finally, an external laboratory determined that the extract obtained contained 72,76% (m/m) of starch, obtaining a efficiency of 7,61%. It was concluded that starch extracted presents favorable characteristics for its use as a raw material for bioplastics.

Key Words: Starch, Peel, plantain, bioplastics, physicochemical properties.

Introducción

Con el transcurrir de los años, el plástico se ha convertido en un material indispensable para el ser humano, ya que es implementado en múltiples aplicaciones, como en la industria, farmacéutica y en artículos para el hogar, sin embargo, es responsable de la gran parte de los residuos contaminantes que se acumulan en el planeta, por el hecho de que generan un gran impacto ambiental, derivado a su largo proceso de degradación, Según datos aportados por la Dirección General de Responsabilidad Social [1], una bolsa de plástico común tarda en degradarse 150 años y una botella de polietileno tereftalato más de 1.000 años.

Por lo tanto, el uso de plástico es insostenible y la producción mundial sigue aumentando, se afirma que la situación mundial es dramática [2], donde el plástico alcanzó los 380 millones de toneladas alrededor del mundo en 2015. Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas [3] advirtió que, si no se toman las medidas pertinentes, para el 2050 existirán cerca de 12.000 millones de toneladas de desechos plásticos repartidos en vertederos y en el océano.

En razón a lo anterior, resulta necesario la búsqueda de alternativas que permitan reducir los efectos negativos que generan los plásticos convencionales derivados del petróleo, ante esta problemática surgen los plásticos producidos a base de materiales biológicos. Acciona [4] afirma que, como alternativa, actualmente se está impulsando el empleo de bioplásticos, los cuales consisten en conseguir polímeros naturales a partir de residuos agrícolas, celulosa o almidón de patata o maíz.

El almidón se ha convertido en objeto de estudio en los últimos años, este es un polisacárido, conformado por la amilosa, un polímero lineal y un polímero ramificado conocido como amilopectina Hurtado [5]. Además, Tupa [6] menciona que el almidón es uno de los biopolímeros naturales más abundantes de la naturaleza, el cual ha sido ampliamente estudiado debido a su bajo costo, biodegradable y disponibilidad. Puede ser encontrado en cereales, legumbres, frutas, tubérculos y leguminosas.

Sin embargo, emplear estos alimentos como fuente para la obtención de almidón, podría generar una escasez de los alimentos destinados en principio para el consumo de la población mundial. En la actualidad la Zona Sur del Lago de Maracaibo es la principal productora de plátano en Venezuela, según Olivo *et al.* [7] esta zona constituye más del 60% de la producción nacional del mismo, además, según se conoce que la cáscara de este contiene hasta un 50% de almidón en base seca, permitiendo el aprovechamiento del almidón contenido en el desecho de la fruta, sin afectar el consumo de la población.

Por esta razón, Figueroa y Vega [8] plantean analizar el Almidón obtenido de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico, aprovechando de esta manera el residuo sin afectar el alimento destinado para el consumo de la población, generando una alternativa biodegradable y eco amigable.

Para la cual, por medio de la recopilación de investigaciones relacionadas, se busca conocer los métodos de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano, así como determinar el más conveniente para su aplicación en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta, realizar la ejecución del mismo y analizar el extracto obtenido de manera fisicoquímica, y por último, analizar su uso como materia prima para la producción de bioplásticos.

El presente artículo deriva del trabajo especial de grado desarrollado por Figueroa y Vega [8] titulado almidón obtenido de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico.

Materiales y Métodos

Se recopiló información de las investigaciones de García [9], Pizá *et al* [10], Sayddi *et al.* [11], Calero y Lapo [12] relacionada con la extracción de almidón contenido en la cáscara de plátano verde, donde se seleccionó el método más conveniente para su aplicación en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta. Lo cual se llevó a cabo a través de una investigación de tipo descriptiva, aplicada y cuantitativa, con un diseño documental y experimental que derivaron del trabajo especial de grado de Figueroa y Vega [8]

En la cual se estudió el plátano verde de adquisición comercial, donde específicamente el almidón contenido en la cáscara de plátano verde, representó la unidad de análisis. Se aplicó observación directa e indirecta, y análisis documental como técnicas de recolección de datos. Como instrumento de recolección de datos se utilizaron formatos de tablas para el registro de información y resultados, así como una lista de cotejo para la selección del método más adecuado.

Identificación de los métodos de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Primeramente, se llevó a cabo una recopilación de las fuentes de información, revisando y recolectando todos aquellos Trabajos de Investigación, que presentarán información relacionada con la extracción del Almidón presente en la cáscara de plátano, se registró su información básica, y por último se recopiló el rendimiento, tiempo de ejecución y equipos empleados en el desarrollo de cada investigación.

Selección del método de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano factible en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta

Con las investigaciones recopiladas en el apartado anterior, se realizó una comparación de los métodos de cada una de ellas en función de los indicadores a considerar como rendimiento, tiempo de ejecución y equipos, los cuales permitieron, a través de una lista de cotejo, la selección del método adecuado para la extracción del Almidón a partir de la Cáscara de Plátano en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta.

Extracción del almidón presente en la cáscara de plátano verde de adquisición comercial en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta

Para llevar a cabo la extracción del almidón contenido en la cáscara de plátano verde, se adquirió la materia prima en el mercado Fresconi Fresh Market ubicado en la ciudad de Maracaibo. Los plátanos seleccionados presentaron piel firme de color verde característico de la etapa de inicio de maduración y su masa osciló entre 300 y 420 gr. Una vez seleccionada la materia prima, se realizó el lavado de las cáscaras con agua potable, para eliminar los residuos que contenían, seguidamente se empleó un cuchillo de acero inoxidable, para separar las cáscaras de la pulpa del plátano.

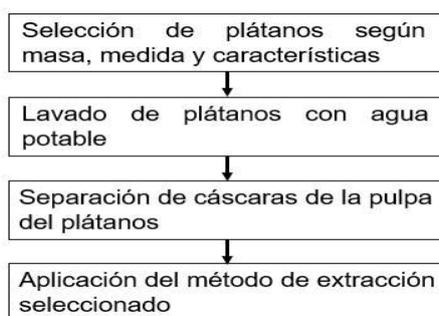


Figura 1. Flujograma del procedimiento experimental para la extracción [8]

Una vez separadas las cáscaras de la pulpa de los plátanos, se procedió a realizar la aplicación del método de extracción seleccionado. En la Figura 1, se presentan los pasos a seguir para la extracción del almidón, donde en primera estancia se detallan los pasos previos de preparación de la materia prima, y por último el paso de aplicación del método de extracción seleccionado, el cual conlleva todas las operaciones de separación para dicho método.

Medición de las propiedades fisicoquímicas del extracto obtenido a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Finalizada la extracción se realizó el análisis físico químico del extracto obtenido, para ello se determinó su Densidad, Humedad pH, Acidez y Temperatura de Gelatinización. La densidad fue determinada empleando

la técnica descrita por Smith [13], la humedad se determinó a partir de la metodología descrita por Acosta *et al.* [14], para el análisis de pH se aplicó el método descrito por ISI [15], la acidez a partir de la técnica descrita por Smith [13] y, por último, la temperatura de gelatinización se midió aplicando el método descrito por Grace [16].

Análisis del rendimiento del almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

El extracto obtenido fue analizado, primeramente, mediante la realización de la prueba cualitativa, en este caso denominada prueba del yodo, siguiendo la metodología descrita por Hernández *et al.* [17] hasta observar el cambio de color de la solución, presentando una coloración azul como reacción positiva en el caso de la presencia del almidón, haciendo uso de una solución de yodo. Una vez obtenido el resultado de la prueba cualitativa, se llevó a cabo una segunda prueba, en este caso cuantitativa, para la determinación de la cantidad exacta de almidón en el extracto obtenido, a través de un laboratorio externo ubicado en la ciudad de Maracaibo. Por último, con el resultado obtenido en la prueba cuantitativa se aplicó la metodología de Calero y Lapo [12] para la determinación del rendimiento.

Resultados y Discusión

Identificación de los métodos de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Tras una búsqueda exhaustiva, se recopilaron las fuentes de información relacionadas con la extracción del Almidón presente en la cáscara de plátano, dando como resultado la Tabla 1, donde se registró la información básica de las investigaciones, esta tabla permitió observar de una manera organizada la información básica de las investigaciones recopiladas.

Tabla 1. Trabajos relacionados a la extracción de Almidón presente en la cáscara de plátano [8]

	Título de la investigación	Autores	Año y lugar de publicación	Tipo de Investigación
1	Determinación de concentración óptima de Ácido Acético-Glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del Almidón de cáscara de Plátano (musa paradisiaca) en Pucallpa	Iber García	2017 Perú	Tesis
2	Análisis experimental de la Elaboración de Bioplástico a partir de la Cáscara de Plátano para el Diseño de una Línea de Producción Alterna para las Chifleras de Piura, Perú	Hamlet Pizá, Sophia Rolando, Claudia Ramirez, Stephanie Villanueva, Ana Zapata	2017 Perú	Proyecto de Investigación
3	Análisis Potencial de Productos Biopoliméricos como Materia Prima para Elaborar Empaques Biodegradables	Sayddi Sałazar y Melanie Ñahui	2019 Perú	Trabajo de investigación
4	Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del Plátano (Musa Paradisiaca) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos.	Mabel Calero, Esthela Lapo	2021 Ecuador	Proyecto de Investigación

La Tabla 1, se describe la información referencial y el enfoque de cada estudio; además, se presentan los autores de cada investigación, así como el año de publicación el cual es de vital importancia, para determinar si se trata de información actualizada. Por otro lado, también se presentó el tipo de investigación, siendo de relevancia para indicar el grado de profundidad del estudio.

Para la selección del método más apropiado, fue necesario primero conocer el rendimiento obtenido para cada Método de Extracción de las diferentes Investigaciones, el tiempo de ejecución, y los equipos empleados, con el fin de evaluar los métodos lo cual se dio a conocer en la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores recopilados de las investigaciones [8]

Nº	Método de Extracción	Rendimiento de Almidón (%)	Tiempo de ejecución (h)	Equipos
1	Método Húmedo descrito por (Flores-Gorosquera et al., 2004) con modificaciones realizadas por (García 2017)	8.32%	29.15	Tamiz N° 225 y 270 Estufa de +30 °C a +300 ° Cocina eléctrica, Micrómetro de 0-2.6 mm Licuadora industrial Balanza digital Balanza analítica Tela Fina (tocuyo) pH metro
2	Método Seco (Pizá et al.2017)	No especifica	25.25	Tamiz 250 um Cocina eléctrica Molino de Maíz Termómetro Balanza Digital Mortero de Cerámica
3	Método Seco (Castillo et al.2015)	No especifica	No especifica	Tamiz Horno de estufa Parrilla Unidad manual de Molienda Termómetro
4.1	Método Seco (Calero, Lapo 2021)	14,15% y 11,81%	2.5	Tamiz 250 um Horno Estufa Molino Manual Gramera Digital Termómetro
4.2	Método Húmedo (Calero, Lapo 2021)	7,3% 6,8%	36.5	Malla Licuadora Termómetro Gramera Digital

Por medio de la Tabla 2 se expresó los resultados del rendimiento de cada método de extracción, donde se observó que el Método No. 2 y 3 no desarrolló este análisis por otro lado los métodos húmedos presentaron un menor rendimiento del almidón, esto es debido a la concentración de agua en las cáscaras. Por lo tanto, el rendimiento representó un factor relevante para la selección del método de extracción más eficiente.

También, el tiempo de ejecución fue expresado en la tabla, dado que, el tiempo de ejecución estimado es considerado un factor de suma importancia para la selección del método de extracción de la presente investigación, ya que permitió precisar un estimado de tiempo para aplicar en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta, tras analizar los datos se concretó que el método 4.1 presentó el menor tiempo de ejecución, con el mayor rendimiento de todas las investigaciones.

Asimismo, los equipos empleados necesarios para la extracción del almidón de la cáscara de plátano, lo que permitió determinar si estos se encontraban disponibles o en su defecto era posible su alcance para la ejecución del método de extracción.

Selección del método de extracción de almidón a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial factible en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta

A partir de la Tabla 3, se presentaron los criterios a evaluar en cada método de las investigaciones recopiladas para realizar en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta, donde se evaluaron en función de sus ventajas, tomando en cuenta los indicadores, como rendimiento, tiempo de ejecución y equipos, los cuales permitieron determinar con efectividad el método más adecuado. La lista de cotejo presentada en la Tabla 3 fue completada a partir del análisis de los datos obtenidos en las Tabla 3.

La información recopilada a través de las investigaciones permitió realizar un análisis de los métodos presentados para una adecuada selección. En la Tabla 3, se dieron a conocer los criterios a evaluar cada método de acuerdo a los indicadores como rendimiento, tiempo de ejecución y equipos empleados.

Tabla 3. Lista de cotejo para la selección del método de extracción [8]

N°	INDICADORES	MÉTODOS				
		1	2	3	4.1	4.2
1	Los equipos empleados para la ejecución del método se encuentran en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta	NO	NO	NO	NO	NO
2	Los equipos no disponibles en el Laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta pueden ser sustituidos	SI	SI	SI	SI	SI
3	Los materiales empleados en el método son de fácil acceso	SI	SI	SI	SI	SI
4	El rendimiento obtenido en el método se considera beneficioso	NO	-	-	SI	NO
5	El tiempo de ejecución es adecuado en relación con el rendimiento obtenido	NO	NO	-	SI	NO
6	Se encuentra detallado el procedimiento a emplear en el Método	SI	SI	NO	SI	SI

¹ García ² Pizá et. al ³ Salazar, Ñahui ^{4.1} Calero, Lapo ^{4.2} Calero, Lapo

La lista de cotejo de la Tabla 3 fue completada, y permitió observar con claridad la metodología más conveniente para ejecutar en la investigación de Figueroa y Vega [8], donde se observó que el Método 4.1, es decir el Método Seco de Calero y Lapo [12], cumplió con la mayoría de los criterios planteados.

Analizando la lista de cotejo, los equipos empleados para la ejecución del método no se encontraban disponibles sin embargo pueden ser sustituidos por otros similares que cumplan la misma función y sea posible su alcance. El método seleccionado emplea materiales de fácil acceso lo cual fue corroborado a partir de la lista de cotejo. Además, fue evaluado el rendimiento, un factor sumamente importante, donde el resultado obtenido por Calero y Lapo [12] se consideró beneficioso, a su vez el tiempo de ejecución para el mismo se consideró adecuado en relación al rendimiento obtenido, siendo posible su aplicación tomando en cuenta la situación actual de pandemia.

Extracción del almidón presente en la cáscara de plátano verde de adquisición comercial en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta

Finalizada la selección del método, se procedió a realizar la ejecución del mismo, para ello se adquirieron 15 plátanos, los cuales en su totalidad presentaron una masa de 5,258 Kg de plátano, esta cantidad fue dividida en 3 muestras para realizar su análisis, resultando 5 plátanos por cada muestra con el fin de obtener suficiente cantidad de almidón, para la realización de los análisis fisicoquímicos posteriores.

Tabla 4. Masa de materia prima seleccionada [8]

Muestra	Cantidad de Plátanos	Masa (g)
1	5	1,67
2	5	1,701
3	5	1,887

Seguidamente, la materia prima a emplear fue preparada, lavando las cáscaras con agua potable, esto se realizó en el laboratorio de química de la Universidad Rafael Urdaneta, para eliminar los residuos de las mismas, seguidamente se empleó un cuchillo de acero inoxidable, para separar las cáscaras de la pulpa del plátano.

Tabla 5. Masa medida para cada muestra [8]

Muestra	Masa del Plátano (g)	Masa de las Cáscaras (g)	Masa de la pulpa (g)
1	1,67	477	1,193
2	1,701	480	1,221
3	1,887	488	1,399

Al finalizar la separación de las cáscaras de la pulpa del plátano, se midió la masa obtenida de las cáscaras de cada muestra, los valores obtenidos se registraron en la Tabla 5 con el fin de emplear estos datos, en las siguientes fases para su análisis.

Una vez preparada la materia prima se comenzó con la aplicación del método de extracción seleccionado, en este caso el Método Seco de Calero y Lapo [12], para ello, se siguieron los pasos presentados en la Figura 2.

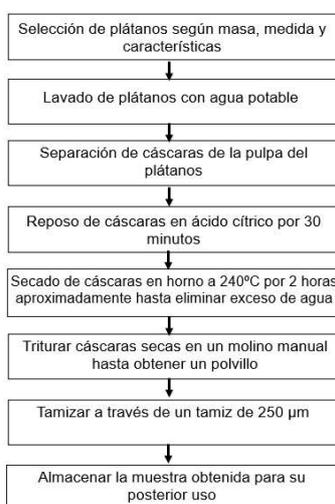


Figura 2. Flujograma del Método de extracción empleado en la presente investigación [8]

Las cáscaras separadas de la pulpa fueron sumergidas en un recipiente con agua destilada y ácido cítrico, este fue preparado al 2%, siguiendo la teoría de García [9], puesto que, en la metodología descrita por Calero y Lapo [12] no proporcionó especificaciones acerca de la concentración de ácido cítrico empleado. Cada muestra en recipientes separados se mantuvo en reposo por un tiempo de 30 minutos, lo que permitió la inhibición del proceso de oxidación.

Siguiendo con la metodología descrita por Calero y Lapo [12] se secaron las cáscaras empleando un horno a una temperatura de 240°C, cada muestra separada en bandejas se introdujo en el horno por un tiempo aproximado de 2 horas, sin embargo, las muestras 1 y 2 al cabo de 2 horas no se encontraban completamente secas por lo que su tiempo fue extendido como se observa en la tabla 6, para garantizar que las cáscaras se secaran completamente.

Tabla 6. Masa obtenida y Tiempo de secado de las cáscaras [8]

Muestra	Masa de las cáscaras antes del secado (g)	Masa de las cáscaras después del secado (g)	Tiempo de secado
1	521	66	2:50
2	533	58	2:40
3	545	84	2:10

En la Tabla 6 se presentan los tiempos de secado para las muestras, se presume que las muestras 1 y 2 tuvieron un tiempo mayor de secado puesto que estas fueron las primeras en ingresar al horno y por lo tanto

posiblemente el equipo no había alcanzado la temperatura establecida, otra posible causa que pudo haber afectado este indicador es la posición en el horno, y su cambio constante para que la misma no se quemara, no le favoreció. Al extraer las muestras del horno, fue medida su masa en una balanza digital, lo cual se registró en la Tabla 6.

Para continuar con la extracción del almidón, se procedió a triturar las cáscaras, para esta actividad el molino manual no se encontraba disponible en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta y adicionalmente no se encontraba bajo un posible alcance, por lo tanto, este equipo fue sustituido por el procesador de alimentos modelo NINJA MASTER QB900B, cumpliendo la misma función que el molino manual. El procesador de alimentos se empleó para triturar las muestras previamente secadas, esta operación se realizó para cada muestra por separado, hasta que se obtuvo un polvillo de color marrón de textura granulosa.

Finalizando con el método de extracción, se realizó el tamizado del polvillo obtenido, empleando un tamiz de 250 μm , el cual permitió la separación de los gránulos de diferentes tamaños presentes en cada muestra, esto ocasionó un cambio notorio en la textura de las muestras, obteniendo un polvillo con una textura mucho más fina similar a la de arena, con pequeños gránulos característicos.



Figura 3. Medición de la masa obtenida después del tamizado [8]

De igual forma, se observaron diferentes tonalidades para las 3 muestras, como se puede observar en la Figura 3, se presume, que esto ocurrió debido a los diferentes tiempos en el horno, así como la posición de las muestras, para realizar el secado total de las cáscaras. De igual forma, se estima que, en el extracto obtenido, adicionalmente aparte del almidón pueden presentarse impurezas de otros componentes como grasas, proteínas y algunas trazas de minerales, lo cual fue analizado en el resto de objetivos.

Tabla 7. Masa obtenida después del tamizado del extracto [8]

Muestra	Masa de las cáscaras después del secado (g)	Masa obtenida después del tamizado (g)
1	66	51
2	58	54
3	84	46

La masa de extracto obtenida para cada muestra fue medida en una balanza digital, obteniendo los valores expresados en la Tabla 7, en líneas generales, las cantidades obtenidas en el tamizado para cada muestra no variaron en gran magnitud, sin embargo, se presume que la cantidad de kilogramos de plátano utilizado para cada muestra y el tamaño del gránulo una vez triturado fueron factores que afectaron la diferencia entre la masa de las muestras.

Como se observó en la Tabla 7, gran parte de la muestra 1 fue tamizada, obteniendo poco residuo, la muestra 2 fue tamizada casi en su totalidad, se presume que, ya que se encontraban más incineradas, las

partículas eran de menor tamaño. Por último, la muestra 3 es la que presentó un mayor residuo, ya que, a diferencia de las muestras anteriores, el tiempo de secado fue menor, por lo tanto, las cáscaras no redujeron tanto su tamaño. Por último, las muestras obtenidas fueron almacenadas en un frasco de vidrio ámbar.

Medición de las propiedades fisicoquímicas del almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Una vez obtenido el extracto de la cáscara de plátano, se realizaron diferentes pruebas para el análisis de sus propiedades fisicoquímicas, iniciando con la determinación de la densidad y humedad del extracto, presentando los resultados obtenidos en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de Densidad y Humedad del extracto [8]

Muestra	Densidad (g/mL)	Humedad (%)
1	0,4606	7,5
2	0,4591	6,04%
3	0,45	7,98%

La Tabla 8 indica los valores obtenidos de densidad y humedad del extracto, donde se puede observar que, para la densidad de las muestras, estas no presentaron una gran diferencia entre sí, no obstante, con respecto a lo reportado por FAO [18] el almidón presenta una densidad promedio de 1,560 g/mL, sin embargo en la presente investigación este resultado varió para el extracto obtenido, pudiendo deberse a que en este caso no solo se analizó el almidón, ya que en el extracto existían otras impurezas de componentes presentes en el mismo, provenientes de las cáscaras de plátano.

Por otro lado, los resultados de porcentaje de humedad contenido en la muestra presentan ligeras variaciones esto se puede analizar considerando los diferentes tiempos de secado, así como su posición en el horno, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, los valores obtenidos se encuentran muy cercanos a los establecidos por Cárdenas [19], para el almidón obtenido a partir de residuos de banano, el cual se encontró en un rango entre 7 y 7,5%. El resultado que varía en mayor magnitud es el de la muestra 2, esto se presume a que debido a la incineración parcial de la misma por la posición en el horno.

Continuando con los análisis fisicoquímicos, se realizó el análisis de pH y próximamente el de Acidez, presentando los datos obtenidos en la Tabla 9, se observó, que en general los valores son similares entre sí, con muy poca variación entre cada muestra, tanto para pH como para acidez.

Tabla 9. Análisis de pH y Acidez del extracto [8]

Muestra	pH	Acidez (%)
1	5.45	0,282
2	5,61	0,252
3	5,57	0,228

Se observó que las medidas de pH del extracto obtenido para cada muestra se encuentran dentro del rango señalado por Holguín [20] citado por Sánchez [21] siendo 4.5 a 6.5 el rango de valores de referencia para los almidones nativos. Lo cual afirma Beltrán *et al.* [22] reportando en su investigación un pH de 5.78 empleado plátano bellaco en estado inmaduro. Los resultados obtenidos demostraron un pH ligeramente ácido, pudiendo deberse al ácido málico, el cual es encontrado en altas proporciones en todas las variedades de plátano.

Con respecto a la acidez obtenida para el extracto, se tiene que Dávila [23] en su investigación, obtuvo para el almidón extraído de plátano bellaco, un porcentaje de acidez de 0.268%. en la Tabla 9 se presentan los valores obtenidos, donde se obtuvieron valores ligeramente menores para la acidez del extracto, lo cual concuerda con lo establecido por Barrera *et al.* [24], que indica que los valores de acidez aumentan a medida

que transcurren los estados de maduración de verde a muy amarillo. Es por ello que los resultados obtenidos evidencian el estado inmaduro del fruto ya que durante la maduración se genera ácido málico, ocasionando un aumento del porcentaje de acidez.

Por último, fue determinada la temperatura de gelatinización del extracto obtenido, la misma se registró al observar el cambio de aspecto del extracto, de normal a uno gelatinoso, con una consistencia viscosa al pasar cierto tiempo en calor, por la desorganización de las moléculas, registrando las temperaturas obtenidas en la Tabla 10.

Tabla 10. Determinación de Temperatura de gelatinización del extracto [8]

Muestra	Temperatura de gelatinización (°C)
1	78
2	76
3	78

Analizando las temperaturas de gelatinización para cada muestra, se observó una pequeña variación entre las muestras 1 y 3 con la muestra 2, sin embargo, Baudui [25], citado por Floríndez & Floríndez, [26], establece que no todos los gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo y temperatura, ya que algunos son más resistentes y pueden requerir más temperatura que otros. Por lo tanto, la temperatura de gelatinización puede variar de acuerdo a las características del gránulo de almidón, se presume que la muestra 1 y 3 presentan en el extracto gránulos de almidón más resistentes que los contenidos en el extracto de la muestra 2.

Las temperaturas de gelatinización obtenidas para cada muestra variaron en un rango de 76-78°C, como se observa en la Tabla 10, por lo tanto, a esa temperatura comenzó el hinchamiento de los gránulos, según García [9], el calentamiento del almidón en soluciones acuosas a temperaturas por arriba de los 60°C provoca la gelatinización, lo cual se evidenció en la presente investigación.

Por otro lado, Núñez [27], indica que el rango de temperaturas donde ocurre el hinchamiento del gránulo se ve influenciado por las fuerzas aglutinantes del mismo, es decir los enlaces que presenta en su composición, y establece que estos varían según el origen del almidón.

Análisis del rendimiento del almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano verde de adquisición comercial

Dentro de la última fase se realizó el análisis del rendimiento del almidón contenido en las muestras de plátano verde, primeramente, se realizó la prueba cualitativa del almidón presente y seguidamente la prueba cuantitativa para la determinación del rendimiento del almidón obtenido.

La prueba cualitativa generó un resultado positivo, a través de la aplicación de la prueba del yodo, se obtuvo una coloración azul de la solución, comprobando de esta manera la presencia de almidón en el extracto obtenido. Donde el yodo reacciona con el almidón formando una solución colorida, esto se debe a la formación de un complejo de coordinación entre las micelas de almidón y de yodo. Aguiar T. et al. [28, p.1] explica que:

La prueba del yodo se da como consecuencia de la formación de cadenas de poliyoduro a partir de la reacción entre el almidón y el yodo presente en el reactivo de Lugol preparado. La amilosa es de estructura lineal, con enlaces α (1-4), que forma hélices en donde se juntan las moléculas de yodo formando un color azul oscuro; mientras que la amilopectina de estructura ramificada, con enlaces α (1-4) (1-6), forman hélices mucho más cortas y las moléculas de yodo son incapaces de juntarse presentando un color intermedio entre anaranjado o amarillo.



Figura 4. Verificación de la presencia de almidón en el extracto [8]

La Figura 4 presenta la coloración obtenida de la solución, una vez comprobada la presencia de almidón en el extracto, se procedió a analizar de forma cuantitativa la muestra. El análisis cuantitativo fue llevado a cabo por un laboratorio externo, ya que para su realización se necesitaba una metodología más compleja, con reactivos y equipos más profesionales, y no era posible su ejecución en el laboratorio de la Universidad Rafael Urdaneta. Asimismo, debido a los altos costos asociados a la realización del análisis, se seleccionó de forma aleatoria la muestra 1 para ser analizada, determinando de esta manera la cantidad de almidón contenido en la muestra.

El laboratorio indicó que el valor obtenido del contenido de almidón en la muestra 1 resultó 72,76 (%m/m). Debido a que el estudio no se pudo realizar para todas las muestras, esta relación obtenida se asumió para el resto de las muestras. A partir de este valor se determinó la cantidad estimada de almidón contenida en cada muestra de extracto, los resultados se registraron en la Tabla 11.

Tabla 11. Cantidad de Almidón obtenido en el extracto [8]

Muestra	Contenido de almidón (% m/m)	Masa obtenida después del tamizado (g)	Cantidad de almidón (g)
1	72,76	51	37,11
2	72,76	54	39,29
3	72,76	46	33,47

La cantidad estimada de almidón contenido en el extracto se presenta en la Tabla 11, generando un resultado satisfactorio, debido a su alto contenido de almidón. Este resultado a su vez confirma la presencia de otros componentes e impurezas en la cáscara de plátano, representando un 27,24% de la composición de la misma, por su parte, una vez obtenido este valor fue posible el cálculo del rendimiento del almidón en las cáscaras de plátano verde, registrando estos valores en la Tabla 12.

Tabla 12. Cantidad de Almidón obtenido y rendimiento a partir de las cáscaras antes de ser secadas [8]

Muestra	Masa de las Cáscaras (g)	Cantidad de almidón (g)	Rendimiento (%)
1	477	37,11	7,78
2	480	39,29	8,19
3	488	33,47	6,86

Como se observó en la Tabla 12 el rendimiento promedio resultó 7,61%, aunque bajo una primera impresión pareciera ser un bajo porcentaje, es importante mencionar que el rendimiento fue calculado en relación a la masa de las cáscaras empleadas, las cuales están compuestas principalmente por agua, esta fue removida a través del secado, donde las cáscaras redujeron en gran proporción su masa, para extraer el almidón.

Los resultados alcanzados para el rendimiento fueron ligeramente menores a los obtenidos por Calero &

Lapo [12] autores del método, los cuales presentaron un rendimiento de 14,15% y 11,81% , sin embargo, esta diferencia se debe a que en su investigación el rendimiento fue calculado a partir de todo el extracto obtenido, debido a que este fue asumido en su totalidad como almidón, lo que implicaría que el método extrae de forma completa el almidón, sin tomar en cuenta las impurezas que pudieran estar presente, aumentando de esta forma el rendimiento del método.

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos por Calero y Lapo [12], se realizó la estimación del rendimiento utilizando el extracto en su totalidad con respecto a masa de las cáscaras inicial, como fue realizado por dichos autores, obteniendo un rendimiento promedio de 10,51%, Como se puede observar son valores relativamente similares, sin embargo, la diferencia obtenida se le puede asumir a la especie de plátano empleado.

Ya que el rendimiento fue estimado en base a la masa de las cáscaras iniciales, sin tomar en cuenta la gran proporción de humedad que estas presentaban, también fue de interés calcular el rendimiento con respecto a las cáscaras ya secadas, una vez eliminada la cantidad de agua y ácido cítrico contenido en las mismas, para ello, el cálculo se realizó en base a la masa de las cáscaras después del secado, los resultados obtenidos se observan en la Tabla 13.

Tabla 13. Rendimiento de almidón obtenido a partir de la masa de las cáscaras secadas [8]

Muestra	Masa de las Cáscaras (g)	Cantidad de almidón (g)	Rendimiento (%)
1	477	37,11	7,78
2	480	39,29	8,19
3	488	33,47	6,86

Se observó que al utilizar como base la masa de las cáscaras después del secado, el rendimiento aumentó en gran proporción, lo que afirma, el gran contenido de humedad presente en las mismas, donde una vez secas y removido el contenido de agua, se demuestra que aproximadamente la mitad del contenido representa almidón.

La ejecución de la presente fase demostró que el método de extracción fue satisfactorio ya que se logró la obtención de almidón, presentando en gran porcentaje del extracto el contenido de este compuesto, a su vez siendo confirmado a través de los resultados de los análisis fisicoquímicos los cuales corresponden a los valores descritos por la literatura para el almidón.

Sin embargo, al corroborar las propiedades fisicoquímicas de la literatura con las obtenidas de forma experimental, se demostró que las impurezas presentes en el extracto no influyeron en gran proporción para estos resultados ya que no representan un mayor porcentaje de la composición del mismo, manteniendo de esta manera las propiedades del almidón, lo que va a permitir su uso como materia prima para obtener bioplástico.

Para finalizar, el extracto obtenido presentó en su mayoría almidón, con características convenientes y adecuadas para ser empleado como materia prima para la obtención de bioplástico, donde la gran cantidad de cáscaras desechadas por el ser humano pueden ser aprovechadas para obtener este compuesto, y a su vez un material que se degrade en un menor tiempo, reduciendo de esta manera los efectos ambientales de los plásticos convencionales.

Conclusiones

La revisión exhaustiva de las investigaciones relacionadas a la extracción de almidón de la cáscara de plátano permitió la recopilación de 5 metodologías para su extracción. Donde, en líneas generales los métodos húmedos presentan un menor rendimiento, con tiempos de ejecución mayores. En su mayoría los equipos necesarios para todas las metodologías son de fácil acceso, o en su defecto estos pueden ser reemplazados por otros que cumplan la misma función.

Se seleccionó el Método Seco de Calero & Lapo [12], para la extracción del almidón de la cáscara de

plátano, ya que presentó ventajas con respecto al resto de investigaciones, donde el rendimiento fue el más alto en comparación con el resto de investigaciones, en este caso 14,15% y 11,81%, con un tiempo de ejecución de 2.5 horas, siendo factible su tiempo de ejecución en los laboratorios de la Universidad Rafael Urdaneta, debido a las restricciones de horario derivadas de la situación pandemia actual.

Al aplicar el método de extracción seleccionado, los tiempos de secado variaron para cada muestra, se presume que la posición de las muestras y la temperatura del horno ocasionaron esta diferencia. Al finalizar la extracción se obtuvo un polvo de color marrón, con textura fina similar a la de arena, con pequeños gránulos característicos. Después del tamizado se obtuvo una cantidad de masa significativa, sin embargo, se estima que, en el extracto obtenido, aparte del almidón pueden presentarse impurezas de otros componentes de las cáscaras, lo cual fue analizado en el resto de los objetivos.

En líneas generales las propiedades fisicoquímicas evaluadas del extracto obtenido evidenciaron en su mayoría resultados similares a los correspondientes para almidón, donde el pH de las muestras se mantuvo dentro del rango de referencia establecido para almidón, por otro lado, la densidad del extracto varió con respecto a la del almidón, pudiendo deberse a la presencia de impurezas. La humedad del extracto presentó valores cercanos al promedio aproximado general para el almidón extraído a partir de residuos de plátano. El porcentaje de acidez fue determinado a partir del ácido málico, los resultados obtenidos para el pH y la acidez evidenciaron el estado inmaduro del fruto. A través de la determinación de la temperatura de gelatinización se observó la formación una masa gelatinosa debido al hinchamiento de los gránulos.

La presencia de almidón fue verificada en el extracto, por medio de la coloración azul de la solución a través de la prueba del yodo. La ejecución de la prueba cuantitativa demostró el contenido en %m/m de almidón presente en el extracto de la muestra 1 analizada. Este porcentaje resultó alto y satisfactorio, y fue asumido para calcular la cantidad estimada de almidón en el resto de las muestras, a través de la cual se determinó el rendimiento de almidón en las cáscaras de plátano para cada muestra. El porcentaje de rendimiento en base a las cáscaras antes de ser secadas resultó 7,61% y este se consideró razonable, debido a los altos contenidos de agua que presentaba la cáscara en principio. Sin embargo, las cifras fueron similares a lo obtenido por Calero y Lapo [12], si se compara con el extracto completo obtenido, por último, para el rendimiento determinado con respecto a las cáscaras ya secadas, se obtuvo un promedio de 54.61% el cual resultó alto debido a que se eliminó todo el contenido de humedad. Finalmente se analizó que el extracto obtenido presenta características deseables de almidón para ser usado como materia prima para bioplástico.

Referencias bibliográficas

- [1] Dirección General de Responsabilidad Social. ¿Sabe cuántos años demora el plástico en degradarse?, (2019). <https://dgrs.unmsm.edu.pe/2019/02/01/sabe-cuantos-anos-demora-el-plastico-en-degradarse/>
- [2] Greenpeace. Plásticos, (2022). <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>
- [3] Organización de las Naciones Unidas. O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta, (2018). <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>.
- [4] Acciona. Qué son los bioplásticos, (2019). https://www.sostenibilidad.com/medio-ambiente/que-son-los-bioplasticos/?_adin=02021864894
- [5] Hurtado, J. Caracterización fisicoquímica y funcional del almidón extraído de la papa china (Colocasia esculenta) cultivada en el pacífico colombiano. (Trabajo de grado en Química, Universidad Santiago de Cali). Cali, Colombia, (2019).
- [6] Tupa, M. Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado. (Tesis doctoral en Ingeniería, Universidad de Buenos Aires). Buenos Aires, Argentina, (2019).
- [7] Olivo, E., Gutiérrez, A., Quintero, M., Molina, L., Anido, J., Ablan, E., Cartay, R., Marcado, C. El cultivo

del plátano en Venezuela. Desde el campo hasta la mesa, (2007). https://bibliofep.fundacionempresaspoliar.org/media/1280477/platano_d_importancia_platano.pdf.

[8] Figueroa, V. y Vega, M. Almidón obtenido a partir de la cascara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico (Trabajo Especial de Grado en Ingeniería Química, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo, Venezuela, (2022).

[9] García, I. Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (musa paradisíaca) en Pucallpa. (Tesis de pregrado en Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Ucayali). Pucallpa, Perú, (2017).

[10] Pizá, H., Rolando, S., Ramírez, C., Villanueva, S., Zapata, A. Análisis experimental de la Elaboración de Bioplástico a partir de la Cáscara de Plátano para el Diseño de una Línea de Producción Alterna para las Chifleras de Piura, Perú. (Proyecto de Investigación en Ingeniería, Universidad de Piura). Piura, Perú, (2017).

[11] Sayddi, K., Salazar, J., Ñahui, M. Análisis Potencial de Productos Biopoliméricos como Materia Prima para Elaborar Empaques Biodegradables. (Trabajo de Investigación en Ingeniería Industrial, Universidad Católica San Pablo). Arequipa, Perú, (2019).

[12] Calero, M. y Lapo, E. Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de plástico, aprovechando residuos del plátano (musa paradisíaca) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos. (Proyecto de investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo). Los Ríos, Ecuador, (2021).

[13] Smith, R. Characterization and analysis of starches. In Whistler, R.L. & Paschall, E. Starch: Chemistry and Technology. New York: Industrial Aspects. Vol II, (1967). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>.

[14] Acosta, J., Gomajoa, H., Benavides, Y., Charfuelan, A., Valenzuela, F., Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. Bionatura Conference Series, Vol., 1, N°1, (2018), 1-18 <https://www.revistabionatura.com/files/CS-2018.01.01.2---Revista-bionatura.pdf>

[15] ISI. Determination of pH in starch and syrup. Dinamarca: Laboratory methods, (1999). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>.

[16] Grace, M. Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, (1977). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

[17] Hernández, I., Martínez, M., Contreras, R., Pérez, R. Extracción de almidón por el método seco en plátano macho, cuadrado y castilla. Revista de Simulación y Laboratorio, Vol., 4, N°13, (2017), 1-7.

[18] FAO. Guía Técnica para producción y análisis de almidón de Yuca, (2007). <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

[19] Cárdenas, M. Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisíaca*) para la elaboración de un biopolímero (Trabajo de Titulación en Ingeniería Biotecnológica de los Recursos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana). Cuenca, Ecuador, (2018).

[20] Holguín, J. Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa. (Proyecto Integral de Grado en Ingeniería Química, Fundación Universidad de América). Bogotá, Colombia, (2019).

[21] Sánchez, Y. Caracterización Físicoquímica del almidón extraído de la almendra y cáscara del mango (*Mangifera Indica L.*). (Trabajo Especial de Grado, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo, Venezuela, (2021).

[22] Beltrán, D., Velásquez, J., Giraldo, G. Caracterización Físicoquímica de la maduración del plátano dominico-harton (*Musa AAB Simmonds*), (2010). <https://ojs.uniquindio.edu.co/ojs/index.php/riuq/article/view/728/831>

[23] Dávila, V. Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco

(Musa paradisiaca). Revista de Investigación Universitaria. Vol., 3, N°2, (2014), .23-28. <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/673/644>.

[24] Barrera, J., Arrazola, G., Cayón, D. Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. Acta Agronómica. Vol., 59, N°1, (2010), 20-29 <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169916223003.pdf>.

[25] Baudui, S. Química de los Alimentos 4ª., ed, (2006). <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/QUIMICA-DE-LOS-ALIMENTOS-4ta-Edicion.pdf>

[26] Florindez, C. y Florindez, G. Caracterización Fisicoquímica del almidón de almendra de mango (Mangifera Indica L) Variedad chico rico, para la obtención de talco medicinal. (Tesis en ingeniería Química, Universidad Nacional de la Amazonia) Iquitos, Perú, (2009).

[27] Núñez, F., Extracción y caracterización del almidón de banano verde y de su residuo de pulpa. (Trabajo de Graduación en Ingeniería Agroindustrial, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras). Honduras, (2003).

[28] Aguiar, C., Carrillo, F., Díaz, S., Parreño, J., Vallejo, L. Prueba del Almidón Prueba del Yodo, (2014). <https://sites.google.com/site/laboratoriosbioquimica/bioquimica-i/prueba-del-almidon>

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

Ingeniería conceptual de una planta de producción de ácido sulfónico

Conceptual engineering of a sulfonic acid plant

Paul Ernesto Nava Rondón

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: paulnava2001@gmail.com

Humberto José Vásquez Pérez

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: humbertojosevasquezperez@gmail.com

María Emilia Da Costa Romero

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: maria.da.8060@uru.edu.ve

Recibido: 17-01-2022

Aceptado: 11-04-2022

Resumen

Con objeto de promover la fabricación de detergentes, herramienta principal en la prevalencia de las condiciones higiénicas, el estudio de enfoque proyectivo propuso una planta de producción de ácido sulfónico, componente principal del producto mencionado, utilizando simuladores como instrumento central de la experimentación realizada; así como el uso de modelos de estimación económica para los posibles costos relacionados. Del primer objetivo se obtuvo una compilación de normativas y criterios, de origen venezolano y estadounidense, para el diseño conceptual productivo y los equipos involucrados. Consecuente a esto, se describió el proceso de producción del ácido como un sistema de 12 pasos y 20 bloques, con la capacidad de producir 11,4 toneladas de producto diarias. La planta ocupa 929,93 m² y tiene la posibilidad de producir 1,1 millones de dólares al día; permitiendo una recuperación del capital en 9 años.

Palabras clave: Ácido sulfónico, simulador aspen, estimación económica, diseño de Equipos

Abstract

In order to promote the manufacture of detergents, the main tool in the prevalence of hygienic conditions, the projective approach study proposed a sulfonic acid plant, the main component of the aforementioned product, using simulators as the central instrument of the experimentation carried out; as well as the use of economic estimation models for possible related costs. From the first objective, a compilation of regulations and criteria, of Venezuelan and American origin, was obtained for the productive conceptual design and the teams involved. Consequently, the acid production process was described as a 12-step, 20-block system, with the capacity to produce 11.4 tons of product per day. The plant occupies 929.93 m² and has the potential to produce 1.1 million dollars per day; allowing for a capital return in 9 years.

Key Words: Sulfonic acid, aspen simulator, estimation of expenses, equipment design.

Introducción

Actualmente, la industria de la sulfonación ha visto una expansión económica considerable con respecto a los últimos años. El ácido sulfónico, a mediados del año 2021, tuvo un precio de venta de 1320\$ por tonelada según Chemanalyst [1]. Este mismo artículo comenta acerca de cómo el mercado ha prosperado en las regiones tanto asiáticas, como europeas y americanas. Chemanalyst [1], indica que las ventas de ácido sulfónico tienen

la capacidad de permanecer estables tanto a mediano como largo plazo en estas regiones, debido al aumento en producción y consumo que demostraron a mediados del año de publicación del artículo.

La estabilidad económica es una de las razones que generan el interés de realizar un diseño para una planta capaz de llevar a cabo el proceso de sulfonación a gran escala. El ácido sulfónico está descrito por Wong & Poli [2] como un compuesto orgánico de azufre que contiene el grupo funcional hidróxido de sulfonilo, el cual se puede expresar de manera lineal: $S(=O)_2-OH$. Además, Block & Britannica [3] representan al ácido sulfónico como el compuesto RSO_3H , siendo R un grupo de combinación orgánico.

Con el fin de obtener este producto se lleva a cabo el proceso de sulfonación. Este mismo queda definido por Gómez [4, p.6] como el “proceso en el cual una molécula de SO_3 (trióxido de azufre) se une químicamente a una cadena orgánica para formar un sulfonato”. Esta definición, es la base bajo la cual se guía el estudio del proceso productivo. A su vez, este autor define la sulfonación como un grupo de 4 reacciones que ocurren durante la obtención del ácido. La reacción principal, definida por Gómez [4], consta de la unión de un mol de SO_3 con un mol de LAB (alquilbenceno lineal) para la obtención de un mol del producto. Según Economic and Social Commission for Western Asia [5], el LAB es una familia de compuestos orgánicos de fórmula $C_6H_5C_nH_{2n+1}$, donde n se encuentra entre 10 y 16. El componente orgánico de interés para el estudio es el dodecibenceno ($C_{18}H_{30}$), ya que este es el mismo bajo el cual el antecedente de esta investigación, Gómez [4], enfoca su trabajo.

Por otro lado, para poder cumplir el objetivo principal, el estudio desarrolla el proceso de producción a través de la óptica de la ingeniería conceptual. Esta misma es definida por Ortega & el Instituto Mexicano del Petróleo [6], como la primera etapa de un proyecto de ingeniería, en la cual puede identificarse si un proyecto es factible o no y, a su vez, reconocer cuales son los requerimientos del proceso y los equipos necesarios para generar el producto. Esto por lo tanto involucra el dimensionamiento de todos los equipos, el análisis de consumo de materia prima y de capacidad de producción, y la estimación de los costos asociados al proceso; se realiza lo previamente mencionado con el fin de generar los documentos pertinentes para el completo entendimiento de la planta por parte del ente que desee fabricarla.

A partir del acercamiento al proceso, realizado a través de una ingeniería conceptual, se recolectan las normas y criterios para el diseño de la planta y el análisis del proceso productivo, así como del comportamiento del grupo de reacciones, dimensionamiento de las tuberías y equipos involucrados, generación de planos y flujogramas relacionados a los equipos y el proceso en un espacio determinado, y que culmina en la estimación de costos asociados al aparato productivo. El estudio entonces se enfoca en desarrollar un proceso y validarlo en base a las normas y criterios mencionados.

Debido a todo lo anteriormente planteado, se propone desarrollar la ingeniería conceptual de una planta de producción de ácido sulfónico. Este artículo se basa en la información generada a través de simuladores durante un periodo de 6 meses en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, para el Trabajo Especial de Grado titulado: “Ingeniería Conceptual de una Planta de Producción de Ácido Sulfónico para la Empresa Procura General de Materiales C.A.” de Nava et al. [7], donde puede encontrarse una versión más a profundidad de la información de este artículo.

Material y Métodos

La investigación fue llevada a cabo desde un punto de vista experimental, esto implicó la interacción con variables relacionadas al proceso de producción para obtener algún tipo de efecto o resultado de dichas modificaciones. Esta experimentación fue realizada a través de los simuladores, en estos se modificaron parámetros como temperaturas, presiones y composiciones para obtener las características y dimensiones de los equipos pertenecientes a un proceso de sulfonación completo; así como la obtención de los costos estimados que se relacionan al mismo.

Los objetivos completados en esta investigación requerían de la recolección de información tanto de forma documental como experimental, esto conllevó a que los métodos de obtención de datos fueran dos. En primera instancia, la información necesaria para poder llevar a cabo el estudio tuvo que ser compilada a

través de una observación documental, lo cual implicó una revisión bibliográfica de documentos relevantes al proceso. Por otro lado, el estudio también utilizó la observación directa para recolectar la información relacionada a la experimentación realizada en los simuladores.

Una vez obtenidos todos los datos, el enfoque se convirtió en realizar el debido procesamiento y compilación de los mismos. Debido a la naturaleza del estudio y de los resultados recolectados, el propósito de la compilación de los datos fue el de organizar la data por grupos de manera que todas sus características fueran fácilmente observables y entendibles. Esta información se refiere a las dimensiones de los equipos, características de las corrientes y los detalles del proceso en general, su ordenada y coherente visualización fue clave para asegurar el entendimiento de los datos obtenidos. Es por todo lo anteriormente mencionado que la información fue organizada en tablas, listas y datasheets realizadas a través de la computadora; siendo esta la herramienta principal de recolección de datos.

Los objetivos de esta investigación fueron realizados en fases que lograron que las variables del estudio fuesen debidamente dimensionadas y que sus indicadores fueran analizados. El procedimiento seguido en cada fase fue específico para cada objetivo, lo cual a su vez determinó la extensión de las actividades realizadas, ya que se poseía objetivos que requirieron de un procedimiento más extenso que otros.

Establecimiento de las bases y criterios de diseño para una planta de producción de ácido sulfónico

Se compilaron las normas necesarias a través de una investigación exhaustiva delimitada dentro de la literatura de institutos venezolanos y estadounidenses, que se relacionan con el diseño tanto del proceso como de los equipos del mismo. A su vez, bajo las mismas condiciones de búsqueda, se investigaron diferentes criterios de diseño para los equipos que están relacionados al proceso. Finalmente, las normas y criterios hallados fueron tabulados en tablas que los caracterizaban según su propósito, instituto emisor de la norma y su fecha de expedición; cabe destacar que se generaron varias tablas para este objetivo separando normas y criterios y su propósito dentro del estudio, siendo estas dirigidas hacia el proceso en general o hacia el diseño de equipos. A su vez, fue generada una lista de los criterios generales aplicados al proceso.

Descripción del proceso de producción de ácido sulfónico

Antes de poder experimentar, diseñar o caracterizar el proceso de sulfonación, se tuvo que plantear como este ocurría y a través de qué tipo de equipos. Para ello se realizó una investigación relacionada a diferentes plantas de producción de ácido sulfónico con el fin de identificar los bloques principales de estas y el proceso que sigue la materia prima para ser convertida en el producto deseado.

La primera actividad llevada a cabo para esta fase fue la de listar todos los equipos que eran necesarios para el proceso. Esto último incluye la mención de todas las bombas y compresores, intercambiadores de calor y operaciones de intercambio de masa y materia que se encuentran en el sistema. La selección de las operaciones unitarias se realizó a través de la comparación de diferentes plantas investigadas, siendo el enfoque las similitudes y diferencias que hay entre ellas. Una vez obtenida una primera lista de equipos preliminar, esta fue modificada aún más con el fin de reemplazar o eliminar equipos según decisión de los autores.

Seguido a esto, se procedió a redactar el proceso de sulfonación completo en pasos que describen lo que ocurre en una o más de las operaciones unitarias llevadas a cabo. Esta lista representa el orden lógico de las operaciones presente en el sistema, añadiendo al mismo un diagrama de bloques con el fin de poder visualizar mejor el proceso redactado. Por otro lado, el propósito de esta actividad dentro de la fase es describir todos los elementos del mismo, es decir, no solo el de la transformación de la materia prima, sino que también se redactaron los aspectos del sistema de recirculación y de enfriamiento de los equipos que así lo necesitaban.

Como aspecto final para la descripción del proceso, se calcularon los flujos de materia prima necesarios para cumplir con una cantidad de producción diaria específica. Para este cálculo tuvieron que ser identificadas las reacciones de la sulfonación, así como la información proveniente de los antecedentes para poder calcular en qué proporción salen los productos y subproductos de la reacción. Además de esto, se obtuvo la cantidad

de aire que, por criterio del reactor, tiene que ser mezclado con el SO₃ gaseoso. Por último, se investigaron las condiciones de temperatura y presión de la ubicación en la cual se proyecta la planta y que a su vez son las mismas de los flujos que entran al proceso; esto incluye la cantidad de humedad que entra con el aire mezclado.

Dimensionamiento de los equipos de la planta de producción de ácido sulfónico

A través del uso de simuladores, y de investigaciones análogas a ésta, se experimentó sobre las condiciones del proceso para obtener las características principales de los equipos que lo conforman. Debido a la naturaleza y complejidad de algunos de las operaciones, el sistema tuvo que ser dividido en 4 etapas para ser simulado. Todo se debe a que el reactor de película descendente no es simulable a través de los programas Aspen y a que el desnebulizador requiere de un simulador diferente.

En primer lugar, se simuló, a través del programa Aspen Adsorption, el desnebulizador que separa el agua del aire que entra al sistema; con el fin de identificar las partes simuladas del sistema, esta tomó el nombre del equipo principal de la misma, o sea “Desnebulizador”. Para esto se tuvieron que añadir los componentes relacionados a esta parte de la simulación, a las condiciones que entran. A su vez, este programa se encarga de simular el primer compresor que es el que permite la entrada de aire al sistema desde la atmósfera. Se seleccionó el método termodinámico adecuado para la operación y se corrió la simulación hasta que esta no demostrara errores severos en el sistema, tomando en cuenta que el fin del desnebulizador es el de eliminar toda la humedad del aire. En este punto, todos los datos de las corrientes y de los equipos fueron debidamente tabulados y compilados.

La siguiente parte del proceso fue llamada, como también lo fue su simulación, “Pre-reactor” y fue simulada utilizando el programa Aspen Plus. En esta se utilizaron los datos de entrada de la sección “desnebulizador”, así como los de las corrientes del componente orgánico y SO₃ calculados con anterioridad. Esta simulación fue realizada con el fin de obtener las características de las corrientes y equipos que vienen antes del reactor, esto incluye bombas, un precalentador, entre otras. Se añadieron los componentes químicos involucrados y se seleccionó el método termodinámico adecuado, haciendo uso de un sistema de comprobación, incluido en el programa, para determinar cuál sería el ideal. Se ingresaron los datos de las corrientes y los datos de operación de los equipos, para así correr la simulación, haciendo los cambios necesarios en la misma, hasta que ésta no diera errores severos. Consecuente a esto, se diseñaron los equipos usando herramientas del programa Aspen y finalmente se recolectó toda la información requerida de la simulación para seguir cumpliendo con el objetivo.

Los datos de salida de la etapa del “Pre-reactor” fueron utilizados para calcular el comportamiento del reactor de película descendente; las características de este equipo fueron calculadas a mano. Las condiciones de operación del reactor fueron adoptadas del trabajo de Gutiérrez [8] y la cinética obtenida fue utilizada para calcular el tiempo de residencia de la reacción y consecuentemente, con los flujos de entrada, el volumen total del tanque. Adicionalmente, la información del trabajo de Gómez [4] fue utilizada para determinar la relación de dimensiones que debe tener el reactor y así calcular su diámetro y altura. El flujo de salida del reactor fue caracterizado asimilando su comportamiento al del estudio de Gutiérrez [8], así obteniendo la composición porcentual de la corriente de salida.

Finalmente, se simuló la parte del proceso denominada “Post-reactor”. La corriente de salida del reactor se convirtió en la principal entrada de esta etapa. Esta simulación, fue realizada en Aspen Plus y siguió el mismo proceso de introducción de los datos que se siguió para el apartado de “Pre-reactor”. Para esta simulación se realizaron muchas consideraciones relacionadas al separador, principalmente debido a los químicos que estaban involucrados. Como en casos anteriores se corrió el programa hasta eliminar todos los errores severos que se presentaron para luego registrar las características de las tuberías y equipos simulados.

Determinación de la ubicación física de los equipos de la planta de producción de ácido sulfónico en planos de ingeniería.

Con todas las dimensiones de los equipos obtenidos, se procedió a diagramar la localización física de los equipos en un área determinada para entender ver su arreglo en un espacio dimensionado. Primero, se generó

el Layout de la planta de producción de ácido sulfónico. Después, se calculó el área que la maquinaria ocupa de manera que se multiplicó la totalidad de su largo por su ancho, como un rectángulo.

Realización de un estimado de costos para una planta de producción de ácido sulfónico

Como parte final del estudio, se calcularon los aspectos económicos del proceso. Esto último incluyó, en primera instancia, el cálculo de los costos para cada equipo de la planta, de mano de obra, de materia prima, de utilidades y de mantenimiento. Por otro lado, se estimaron además las posibles ventas anuales del producto, así como el tiempo en el cual se espera recuperar la inversión inicial de los equipos. Todo lo anteriormente mencionado fue realizado a través de los métodos de estimación económica de Couper et al [9].

Resultados y discusión

La ingeniería conceptual es la base inicial para el diseño de un proyecto, es el principio de la idea de llevar a cabo un proceso. El dimensionamiento de los equipos, los planos, el entendimiento de los procesos de transferencias de calor y masa son el enfoque principal de la misma. El Trabajo Especial de Grado del que se deriva este estudio contiene toda la información relacionada al proceso de sulfonación y esta comienza por las normas y criterios compilados.

Establecimiento de las bases y criterios de diseño para una planta de producción de ácido sulfónico

La investigación relacionada a las normas tuvo dos enfoques principales, primero aquellas que tratan con la conceptualización de la planta y, segundo, las normativas a seguir para el diseño de los equipos del proceso. Ambos aspectos de las normas fueron necesarias para la conceptualización de la planta, tanto desde un punto de vista de nomenclatura, como de requerimientos que debe tener la ingeniería conceptual para ser correcta.

Tabla 1. Normas a Seguir para la Conceptualización de la Planta de Ácido Sulfónico[7]

Norma	Año	Propósito
Covenin 1074-81	1981	Nomenclatura nominal de las dimensiones de las tuberías
ANSI 5.1	2009	Representación e identificación de los instrumentos, equipos o dispositivos para planos y documentos
Covenin 3294-97	1997	Requerimientos mínimos de información para la ingeniería básica de un proyecto industrial

En la Tabla 1, se tabularon las normas que se relacionan con los aspectos más generales del proceso, entre estas se tiene la Covenin 1074-81[10] que indica la nomenclatura nominal utilizada en Venezuela para las tuberías de diferentes materiales. A su vez, se tiene la norma ANSI 5.1[11] que se enfoca en la representación de equipos e instrumentos en planos y documentos, información cuya utilidad se demuestra en la documentación generada del proceso. Por último, se tiene la norma Covenin 3294 [12], esta sirvió de guía para la correcta ejecución de la ingeniería conceptual de la planta, tanto en requisitos como manera de hacer las debidas actividades.

Tabla 2. Normas a Seguir para la Conceptualización de los Equipos Involucrados [7]

Norma	Año	Propósito
ISO 5199	2022	Normativa para el correcto diseño de bombas centrífugas usadas en procesos químicos
ISO 16345	2014	Verificación y evaluación de torres de enfriamiento atmosféricas
ASME BPVC -VIII -1	2021	Requisitos aplicables al diseño, fabricación, inspección, prueba y certificación de recipientes que operan a presiones mayores de 15 psig
TEMA 7ma edición	1988	Fabricación y diseño de intercambiadores de calor de tipo tubular
ASME B 19.1	1995	Estándar de seguridad para sistemas de compresores de aire

La Tabla 2 contiene las normativas relacionadas al diseño de los equipos del proceso. Estas normas son, en su mayoría, de origen estadounidense. Algunas de estas funcionan como guía, otras como manual y otras

como requisitos de diseño para las máquinas de la planta. De la misma manera se destaca que estas normas no son para todos los equipos relacionados al proceso, esto se debe a que no fueron encontradas dentro de los límites bibliográficos planteados en el estudio.

Por otro lado, los criterios relacionados al proceso provienen de las Bases Teóricas vistas en el Trabajo Especial de Grado del cual deriva este artículo; estos también fueron obtenidos de la empresa PGM. Los criterios sirven de recomendaciones que se deben cumplir para diseñar la planta. A su vez, la empresa planteó requerimientos para el proceso productivo. La siguiente lista exhibe todos los criterios relacionados a los aspectos generales relacionados a la producción:

- La capacidad mínima de producción es de 11 toneladas al día
- La planta tendrá un ciclo de trabajo de 10 horas al día, 5 días a la semana
- Los subproductos generados se almacenarán y serán conservados por la empresa
- La concentración de ácido sulfúrico en el producto final no debe exceder el 0.5% en peso
- La temperatura de salida del producto debe estar entre 45 y 55 °C
- Se asume un estado estacionario para todo el proceso
- El producto debe ser estabilizado con una concentración menor o igual a 0,6% w/w de agua.
- Según Mulyandasari y Kolmetz [13] los equipos deben tener un espaciamiento mínimo de 0.6m en forma de pasillos. Los intercambiadores de calor deben tener un estacionamiento de otros equipos de 7,5 m.

Se observó en esta lista que se poseen requerimientos de cantidad de producto a fabricar por la planta, esto a su vez viene acompañado de la cantidad de horas que se planifica operar a la misma por día. Por otro lado, se tienen criterios que se relacionan con las salidas del proceso, siendo uno de los parámetros de calidad del producto la cantidad máxima de ácido sulfúrico que puede haber dentro del componente sulfónico, así como su temperatura de salida. Por último, el proceso fue estudiado desde un punto de vista estacionario, con el fin de hacer más sencillo los cálculos relacionados al mismo.

Tabla 3. Criterios Relacionados a los Equipos Involucrados[7]

Equipo	Criterio
Reactor	La presión es relativamente constante a través de todo el reactor
	No hay difusión del gas en el líquido
	La reacción es instantánea, debido a que la velocidad de reacción es mayor a la de condensación del SO ₃ ; por ende reacciona en su totalidad
	La reacción solo ocurre en la interfase gas - líquido
	Se asume un espesor de película constante (promedio) en todo el reactor
	La entrada de trióxido de azufre tiene que estar mezclada antes de entrar al reactor con una concentración del 5% v/v del mismo en aire
	Las velocidades ideales de entrada para el SO ₃ y para el componente orgánico son entre 25 y 30 m/s, y entre 0.5 y 1 m/s respectivamente
	La película formada por el componente orgánico tiene alrededor de 0.2 mm de espesor
	El agua de enfriamiento a utilizar entra a 30°C
Separador	Se considera que es separación de dos fases (líquida-gaseosa)
	El separador es de tipo vertical
	La relación entre el diámetro y la altura es 3:1
Motor de mezcla	Las aspas deben ser de 1/3 del diámetro del tanque, siendo más grandes dependiendo de lo pesado o viscoso que sea el líquido
	El número de aspas en el mezclador es directamente proporcional al volumen mezclado por minuto
	Las revoluciones por minuto del mezclador son directamente proporcionales al volumen mezclado por minuto

Los criterios observables en la Tabla 3 influyen en el diseño de los equipos del proceso de sulfonación. Estos tienen que ver con relaciones de tamaño de los equipos y las velocidades de flujo que mejoran las

condiciones a las cuales se dan algunos procesos. Por otro lado, como en el caso del reactor, se ven criterios acerca de lo que ocurre dentro del equipo con el fin de tener un mejor entendimiento de la operación que se lleva a cabo.

Descripción del proceso de producción de ácido sulfónico

Este objetivo tiene como resultado inicial la lista de los equipos que conforman el diseño de planta conceptualizado. Los equipos son identificados con un número "TAG" que no solo indica el tipo de equipo, sino también la numeración de los que sean similares. La enumeración de los equipos fue realizada en el orden de aparición dentro de los mismos en el proceso, desde la materia prima hasta el producto.

Tabla 4. Equipos utilizados para el proceso de sulfonación [7]

Equipo	Identificador
Tanque de almacenamiento N°1	TK-101
Bomba N°1	P-101
Tanque de almacenamiento N°2	TK-102
Bomba N°2	P-102
Calentador	E-101
Compresor N°1	C-101
Separador N°1(Desnebulizador)	V-101
Reactor	R-101
Separador N°2	V-102
Separador N°3	V-103
Enfriador	E-103
Tanque de envejecimiento	V-104
Tanque de estabilización	V-105
Bomba N°3	P-103
Tanque de almacenamiento N°3	TK-103
Tanque de almacenamiento N°4	TK-104
Bomba N°4	P-104
Enfriador por aire	E-102
Bomba N°5	P-105
Bomba N°6	P-106

La Tabla 4 presenta todos los equipos pertenecientes al diseño de la planta de producción de ácido sulfónico. El sistema requiere de 20 componentes que, en conjunto, permiten realizar los debidos desplazamientos, transformaciones y transferencias tanto de energía como de masa. La Tabla 4 contiene una variedad de equipos, siendo el más complejo de la lista el reactor de película descendente y, en contraparte, el más simple siendo los tanques en los cuales la materia prima y los productos serán almacenados. Por otro lado, estos equipos, que forman parte del sistema, actúan bajo un orden lógico de operaciones que debe seguirse con el fin de obtener el producto deseado. La lista de los pasos del proceso se muestra a continuación:

- Se comienza por el aire, este es alimentado al proceso mediante un compresor, C-101 y pasa directamente al primer separador (V-101), el cual actúa como un desnebulizador que remueve la humedad del mismo.
- El SO₃ que se va a mezclar con el aire antes de entrar al reactor es extraído del tanque TK-101 para ser precalentado a través del uso del E-101, este utiliza energía eléctrica para subir su temperatura de 30 °C en reposo a 100 °C, y de esta manera dejar la corriente totalmente vaporizada.
- Las corrientes de aire y SO₃ son mezcladas, a través de una conexión T, antes de entrar al reactor, por una tubería en la parte superior del mismo.
- Mientras los pasos anteriores ocurren, del TK-102 es extraído el componente orgánico dodecibenceno, mediante una bomba, e impulsado a una temperatura de 30 °C hacia el reactor.

- Estas dos corrientes entran por la parte superior del reactor de película descendente R-101. Adicionalmente entra agua en la chaqueta de enfriamiento del reactor perteneciente al sistema de refrigeración debido a que la reacción es muy exotérmica.

- Al ocurrir la reacción, salen del R-101 el producto LABSA junto con dos subproductos de características anhidras, aunque en menor cantidad, así como ácido sulfúrico. En este paso, cabe destacar, también sale reactante, pero en cantidades muy pequeñas debido al grado de conversión del reactor, aproximadamente 90%.

- Debido a que la reacción es exotérmica, el reactor es enfriado a través de su chaqueta de enfriamiento, cuya agua recircula alrededor del reactor y hacia un intercambiador del tipo enfriado por aire denominado E-102.

- Toda la mezcla saliente del R-101 se dirige al separador V-102, del cual sale un flujo de tope gaseoso compuesto por el aire saliente y una variedad de componentes que son acarreados por el mismo, esto incluye la mayoría del ácido sulfúrico producido. Por otro lado, en la corriente de fondo, se obtiene el producto principal, el remanente del componente orgánico y un porcentaje pequeño de ácido sulfúrico que debe estar por debajo de las especificaciones de calidad, 0.5% w/w.

- El flujo de tope pasa hacia un separador similar al anterior (denominado como V-103) que separa las partículas remanentes y contaminantes que quedaron en la corriente gaseosa. En este punto se producen las dos primeras salidas, siendo una la corriente gaseosa, en la cual se debe realizar una separación del SO₃ y el aire a través de un filtro, y la otra conformada por el producto residual separado de la corriente gaseosa compuesto por los componentes anhídridos y la mayoría del ácido sulfúrico producido que van hacia el tanque TK-103, esto incluye cualquier remanente de reactivo que haya quedado.

- La corriente principal, es decir, la corriente de fondo del separador V-102 va hacia un intercambiador de calor para disminuir su temperatura a las condiciones apropiadas de calidad del proceso (55°C).

- El resultado de este tratamiento térmico se dirige hacia el tanque de envejecimiento con un motor de mezclado, V-104, y luego a un tanque de estabilización V-105 (a este tanque también entra agua pura para generar una solución acuosa).

- El flujo que sale de la V-105 es separado en dos corrientes de composiciones idénticas, una se dirige de regreso hacia el separador V-102 y la otra hacia el tanque de almacenamiento de ácido sulfónico TK-103.

A esta lista se le añade el hecho de que el reactor necesita de una refrigeración constante y, por lo tanto, debe incluirse un sistema de refrigeración. En este, el agua pasa alrededor del reactor a 30°C para enfriarlo y después de ser utilizada pasa por una torre de enfriamiento (E-101) de aire forzado que la devuelve a la temperatura inicial. Por otro lado, para ayudar al proceso de destilación, la corriente final que sale hacia el TK-104 es desviada parcialmente hacia el destilador haciendo uso de un splitter.

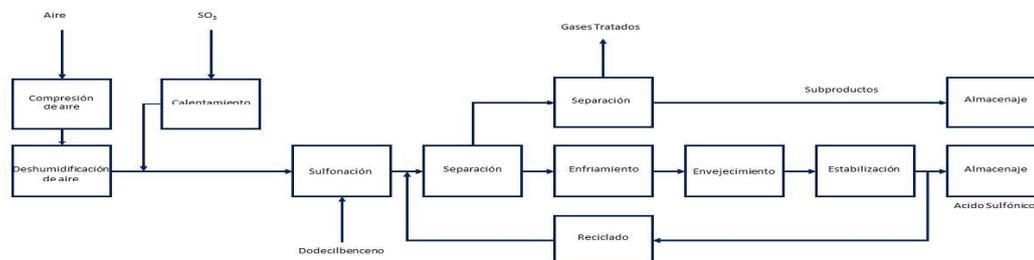


Figura 1. Diagrama de bloque del proceso [7]

Los pasos del proceso pueden ser representados gráficamente como se observa en la Figura 1. El sistema está compuesto por 12 bloques que se dividen en 10 relacionados al camino principal del producto, 1 procesos para el manejo de desechos y 1 que representa la recirculación. Las entradas del proceso son 3, el aire y el SO₃ que son mezclados antes de entrar al reactor y el dodecibenceno. Por otro lado, el proceso cuenta con 3 salidas, el gas que debe ser tratado antes de ser liberado, los subproductos de la reacción que son almacenados y el ácido sulfónico que es el producto deseado del proceso.

Tabla 5. Corrientes de proceso de entrada y sus condiciones [7]

Compuesto	Flujo molar (kmol/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
Aire	87,5387	30	101,325
SO ₃	4,6073	30	101,325
Dodecibenceno	4,6073	30	101,325

La Tabla 5 contiene los valores de los flujos de entrada del proceso. Estos fueron calculados tomando en cuenta que el proceso no siempre correrá a un 100% de operación dejando un 5% de holgura en el caso de que no se opere a capacidad total. Se destaca además que los componentes entran al proceso con una temperatura de 30 °C, condiciones normales para la ciudad de Maracaibo según Climasyviajes (2020) [14].

Dimensionamiento de los equipos y tuberías de la planta de producción de ácido sulfónico

Como su nombre lo indica, el rasgo principal de la data obtenida por parte de la investigación para este objetivo está constituido por la información física y operacional de los equipos relacionados a la planta. Estos datos son el aspecto más esencial al momento de proponer el diseño de un conjunto de equipos ya que para instalarlos, y operarlos, se necesita de toda la información disponible sobre ellos. Otro aspecto analizado por el objetivo fue el de la caracterización de los flujos de entrada y salida del proceso.

Tabla 6. Corrientes de Entrada y Salida del Proceso [7]

Corriente	Flujo molar (kmol/h)	Composición porcentual	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
1	90,9735	96,22 % Aire	30	101,325
		3,78 % H ₂ O		
2	4,6073	100% DDB	30	101,29
3	4,6073	100% SO ₃	30	101,323
14	87,6139	99,91% Aire	95	101.325
		0,09% SO ₃		
15	0,7833	0,08% Aire	95	101.26
		0,01% SO ₃		
		42,70% DDB		
		17,54% DDBS		
		39,66% Subproductos		
19A	3,5863	0,04% Aire	55,01	119,99
		1,50% DDB		
		97,80% DDBS		
		0,44% Subproductos		
		0,22% H ₂ O		

En la Tabla 6 se apreció los flujos molares tanto de entrada como de salida del proceso. Se nota como el agua entra como humedad, mas esta característica es corregida en los pasos relacionados al proceso productivo.

En el tema de correcciones, todo el SO_3 presente en las corrientes de producto es separado exitosamente, a su vez se puede observar que el proceso recibe un flujo de agua, este proviene del sistema de estabilización que tiene como propósito mantener el componente en condiciones acuosas con una concentración no mayor a 0.6% en peso.

De la información compilada en los simuladores acerca de las condiciones de operación agregadas, así como a través de modelos matemáticos intrínsecos dentro del simulador, se obtuvieron las dimensiones, características de la mayoría de los equipos necesarios para la planta. Aunque se tuvo el caso de varios equipos que tuvieron que ser dimensionados de manera documental o mano, debido a que el simulador no otorgaba información sobre ellos. Entre los equipos más importantes del proceso se tiene al reactor, este fue dimensionado a mano, utilizando el tiempo de residencia de la reacción como medida de la cantidad de volumen entrante.

Tabla 7. Dimensiones y Materiales del Reactor[7]

Identificador	Material	Diámetro (m)	Altura (m)	Diámetro de entrada gas (mm)	Diámetro de entrada líquido (mm)
R-101	304 SS	7	27,1	32	25

La Tabla 7 contiene las dimensiones más importantes del reactor. Entre ellas se tienen los diámetros de entrada de los componentes. Este ajuste es realizado para poder obtener las velocidades de flujo indicada en los criterios; estas dan condiciones que, según Gómez [4] resultan ideales para llevar a cabo la reacción. Por otro lado, se puede notar que es un equipo más alto que ancho, su longitud es más de 3 veces su diámetro. A su vez, utilizando herramientas de dimensionamiento del programa Aspen, especializadas en el intercambio de calor, se obtuvo el dimensionamiento de los E-101 y E-103.

Tabla 8. Dimensiones y Materiales del Reactor[7]

Identificador	Material	Número de tubos	Número de carcasas	Configuración TEMA	Longitud (m)	Diámetro (m)
E-101	304 SS	30	1	BEM	2,25	0,205
E-103	304 SS	46	1	BEM	1,2	0,205

Estos son equipos con una configuración de tuberías TEMA definida; BEM como se observa en la Tabla 8. De lo mencionado se puede inferir que son intercambiadores horizontales. Además, se nota que entre ellos existe una diferencia en la longitud que abarcan, esto se debe a la cantidad de calor que, por el proceso, tienen que añadir o disipar. Aunque, se destaca como intercambiador 103 es el que, por configuración, presenta la mayor cantidad de tuberías.

Al dimensionar todos los equipos involucrados, el trabajo también se dio a la tarea de dimensionar las tuberías relacionadas al proceso. Estas dimensiones consistieron del diámetro nominal dado por la norma COVENIN 1074:81 [10] y su longitud que fue obtenida a través del arreglo y diseño de la planta en su totalidad. Como aspecto final y esencial para este objetivo, utilizando la información de Graco [15], se le asignó su material de fabricación a cada equipo y tubería de la planta, lo cual es un aspecto tanto económico como matemáticamente importante para el sistema.

Determinación de la ubicación física de los equipos de la planta de producción de ácido sulfónico en planos de ingeniería

Al tener todas las dimensiones lógicas del proceso, el siguiente paso tomado en el proyecto fue el de colocar, de manera lógica, todos los componentes sobre un plano a escala. Este plano, llamado Layout, contiene las dimensiones de cada equipo obtenidas en objetivos anteriores y a su vez muestra como estos se verán al ser instalados, siguiendo los debidos criterios de espaciado. El plano puede ser observado a continuación:

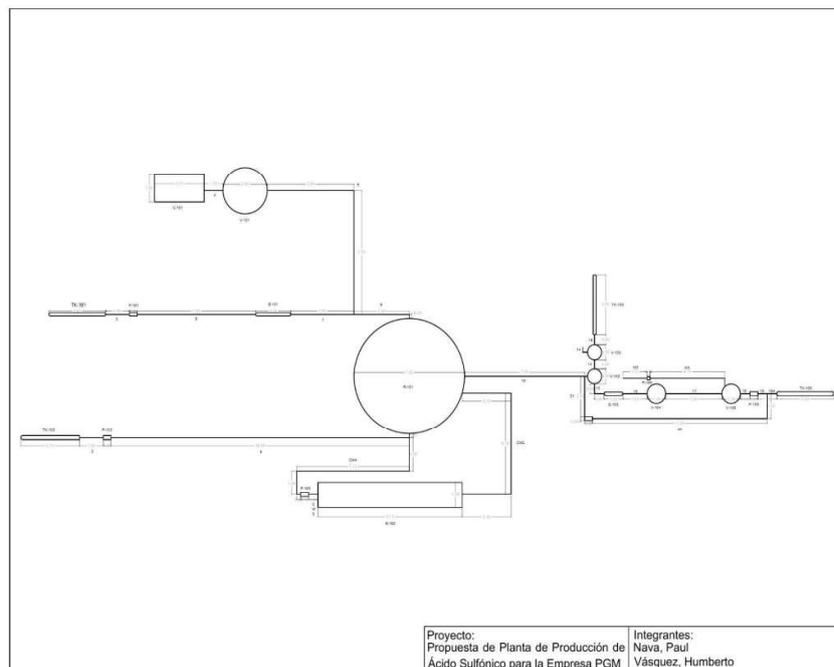


Figura 2. Layout de la Planta de Producción de Ácido Sulfónico [7]

La Figura 2 demuestra un arreglo ordenado de los 20 componentes que forman parte del sistema de producción. Los círculos mostrados son tanques verticales como bien se tienen el reactor, los separados, el desnebulizador y los tanques de procesamientos. Por otro lado, las figuras largas redondeadas presentes son representativas de los intercambiadores de calor presentes. Al medir la totalidad de sus magnitudes, horizontal y vertical, se tiene que la planta abarca un área rectangular de 929,93 m².

Realización de un estimado de costos para una planta de producción de ácido sulfónico

Toda la data compilada a través de la investigación culmina en la obtención de los datos económicos relacionados al proceso productivo. Esto abarca los que son de pago único, como el costo capital, y los que se encuentran en función del tiempo, como lo son el salario de los trabajadores, las utilidades y materiales consumidos y el mantenimiento de maquinaria. Las estimaciones económicas fueron realizadas a través de las ecuaciones de Turton (2012) [16], y Couper et al. [9]. Se tiene que, al sumar los costos de todos los equipos, estos amasan una cantidad de 10 634 860,4\$.

Tabla 9. Costos Operacionales [7]

Costo	Valor (\$/año)
Operadores	6 408
Electricidad	1 605,96
Agua	390
Materia prima	5 347 474,08
Mantenimiento	319 045,81
Total	5 674 923.85

Luego de obtener la cantidad de dinero que se debe tener para poder obtener todos los equipos necesarios, se calcularon los diferentes costos mensuales que pueden presentarse durante la operación; mostrados por años en la Tabla 9. Se nota como el mayor contribuyente a que el costo aumente tanto es la inversión en materia prima. El valor que le sigue a este es el del mantenimiento de los equipos, que fue calculado como una estimación anual en función al valor de la maquinaria en su totalidad. Seguido de los costos, se precisa tener el valor de las posibles ventas calculadas proyectando las ventas de la empresa CEPESA [17], obtenidos a través de los años.

Tabla 10. Ventas Estimadas [7]

Ingreso (\$/año)	Ganancias estimadas (\$/año)	Tiempo de Recuperación (años)
6 829 680	1 154 756,15	9,2

La Tabla 10 indica la información económica de los posibles beneficios que pueden ser ofrecidos por el proceso productivo a medida que las ventas sean favorables. Para obtener este valor se tuvo que calcular cuántos kg son producidos al año de ácido sulfónico, así como el precio de venta del mismo. En consecuencia, las ganancias son la diferencia entre el ingreso y los costos y es de este valor que se puede estimar el tiempo de recuperación de la inversión inicial que se realiza para la obtención de los equipos de la planta. El tiempo mencionado fue de 9,2 años.

Conclusiones

Las normas seleccionadas para el proceso resultaron ser suficientes para el cumplimiento del diseño de la planta de producción de ácido sulfónico; esto es tomando en cuenta los límites bibliográficos establecidos. Se puede decir lo mismo para los criterios relacionados tanto al diseño del proceso como de los equipos; esto aplica tanto para los criterios provenientes de la empresa, como los provenientes de la investigación documental.

Se requieren de 12 pasos y 20 equipos para poder llevar a cabo la transformación de la materia prima hasta el producto, ácido sulfónico. Esto último incluye consideraciones como procesos de enfriamiento y recirculación. La planta tiene la capacidad de producir 11,4 toneladas de producto al día cuando opera a su máxima capacidad.

La simulación permitió obtener toda la información de los equipos involucrados para poder llevar a cabo un proceso cuyo producto final cumple con los criterios de calidad como 0.6% de agua, menos de 0.5% de H₂SO₄ y una temperatura de 55°C de salida.

Todos los equipos involucrados fueron dimensionados a través de la utilización de simuladores de la línea Aspen, en excepción a aquellos que tuvieron que ser tomados de catálogos o calculados a mano como el reactor. El arreglo ordenado de estos equipos hace que la planta abarque un área de 923,93 m².

La capacidad productiva de la planta se traduce a 1 154 756\$ al año en ganancias. Este valor indica que la planta es sustentable a través del tiempo y que su inversión inicial es recuperada en 9 años de operación.

Referencias bibliográficas

- [1] Chemanalyst. *Tendencia y Pronóstico para los Precios del Ácido Sulfónico del Alquibenceno Lineal*, (2021). <https://www.chemanalyst.com/Pricing-data/linear-alkylbenzene-sulfonic-acid-labsa-15>
- [2] Wong A. y Poli F. Estudios de RMN de 17O en Estado Sólido de Biomoléculas, (2014). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800183-7.00003-4>
- [3] Block, E. Ácido Sulfónico. Britannica, (2018). <https://www.britannica.com/science/sulfonic-acid>
- [4] Gómez, N. Modelamiento y Simulación de un Reactor Industrial de Película Descendente para la Producción de Surfactantes Aniónicos. (Tesis Magistral, Universidad Nacional de Colombia). Manizales, Colombia, (2013). <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21077/4101005.2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] Economic and Social Commission for Western Asia. Alquibenceno Lineal, (2022). <https://archive.unescwa.org/linear-alkyl-benzene>
- [6] Ortega, R. Ingeniería Conceptual. Instituto Mexicano del Petróleo, (2019). <https://www.gob.mx/imp/articulos/ingenieria-conceptual?idiom=es>
- [7] Nava, P., Vásquez, H., y Da Costa, M. Trabajo Especial de Grado titulado: "Ingeniería Conceptual

de una Planta de Producción de Ácido Sulfónico para la Empresa Procura General de Materiales C.A.”. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Zulia, (2022).

[8] Gutiérrez, J. Simulación de una Columna de Paredes Mojadas como Reactor Sulfonación. (Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona). Barcelona, España, (1989). <https://www.tesisenred.net/handle/10803/666138>

[9] Couper, J. Penney, W., Fair, J. & Walas, S. Equipos de Proceso Químico. Elsevier, (2012). https://books.google.co.ve/books?id=qG_TQwCsG-8C&pg=PA731&lpg=PA731&dq=10.1016/B978-0-12-396959-0.00021-5&source=bl&ots=gYQw18SgAm&sig=ACfU3U0o9EZ4ncEfb8UtOIe7DO0nXLWr_Q&hl=en&sa=X&ved=2ahUKewjXwPS6wpL2AhWNQjABHUeCBeIQ6AF6BA-gCEAM#v=onepage&q=10.1016%2FB978-0-12-396959-0.00021-5&f=false

[10] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1074:1981 Designación del diámetro nominal y diámetro exterior en tubería, conexiones y accesorios para tuberías, en sistemas inglés y métrico. Comité técnico de normalización CT-07: Materiales Ferrosos, Subcomité Técnico SC-4: Tubos y accesorios para tuberías. Fecha 08-12-1981. Caracas, Venezuela, Fondonorma, (1981). Recuperado de: <http://sencamer.gob.ve/sencamer/normas1074-81.pdf>

[11] ANSI /ISA-5.1. Símbolos de instrumentación e identificación. Carolina del Norte, EE.UU, (2009). Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/494797628/ANSI-ISA-5-1-2009>

[12] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 3294:1997. Guía para la preparación de la ingeniería básica de un proyecto industrial. Comité técnico de normalización CT-20: Mecánica Subcomité Técnico SC-6: Ingeniería Básica. En su reunión No. 146 de fecha 07-05-1997. Caracas, Venezuela. FONDONORMA, (1997). <http://www.es.scribd.com/document/367905602-3294-1997-ingenieria-Basica-GUIA#>

[13] Mulyandasari, V., y Kolmetz, K. KLM Technology Group Practical Engineering Guidelines for Processing Plant Solutions SEPARATOR VESSEL SELECTION AND SIZING (ENGINEERING DESIGN GUIDELINE), (2011). http://oilproduction.net/files/11%20-%20ENGINEERING_DESIGN_GUIDELINE_separator%20vessel_REV01.pdf

[14] Climas y viajes, Guía de climas en el mundo, (2020). <https://www.climasyviajes.com/clima/venezuela>

[15] Graco. Chemical compatibility guide, (2013). https://www.graco.com/content/dam/graco/ipd/literature/misc/chemical-compatibility-guide/Graco_ChemCompGuideEN-B.pdf

[16] Turton, R, Bailie, R.C., Whiting, W.B.,Shaeiwitz, J.A., Bhattacharyya. Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes. 4a. ed. Boston, Pearson Education,(2012).

<https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780132618120/samplepages/0132618125.pdf>

[17] CEPSA. Reporte anual y reporte de responsabilidad corporativa, (2011). <https://www.cepsa.com/stfls/corporativo/FICHEROS/IARC-2011-ENG.pdf>

Nota Especial

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Ingeniería Conceptual de una Planta de Producción de Ácido Sulfónico para la Empresa Procura General de Materiales C.A., presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

Análisis de las propiedades nutricionales de un alimento probiótico a base de lentejas

Analysis of the nutritional properties of a lentil-based probiotic food

Daniela Escolá

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela
Correo Electrónico: xuxaperli@gmail.com

Junior Rivas

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela
Correo Electrónico: juniorivasgonzalez@gmail.com

Laugeny Díaz

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.
Correo Electrónico: laugeny.diaz.8396@uru.edu

Recibido: 17-01-2022

Aceptado: 11-04-2022

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar las propiedades nutricionales de un alimento probiótico a base de lentejas (*Lens culinaris*). Desarrollando una investigación del tipo descriptiva, cuantitativa y aplicada, con diseño experimental, se formuló un alimento con lentejas y la bacteria *Lactobacillus casei*, se prepararon inóculos bacterianos a concentración final de 3 cel/mL. El producto con gel de lentejas, puré de banana y leche permitieron la viabilidad de las cepas. Se realizó evaluación sensorial, análisis bromatológicos y microbiológicos. Los recuentos de mohos, levaduras, coliformes totales y fecales cumplieron con la norma venezolana. Se obtuvo en los análisis bromatológicos: Cz(T0)= 2,62±0,10% y Cz(T7)= 2,56±0,69%, EE(T0)= 8,50±0,07% y EE(T7)= 4,89%±0,21, PC(T0)= 18,62±0,04% y PC(T7)= 19,00±0,04%, FC(T0)= 4,05±0,18% y FC(T7)= 3,56±0,31%, H(T0)= 84,09±0,17% y H(T7)=83,96±0,10%. Se concluye que el alimento probiótico presenta alto contenido de proteínas, fibra cruda y cenizas, además de tener calidad microbiológica y aceptabilidad por el público.

Palabras clave: Probiótico, *L. casei*, lentejas, análisis bromatológicos, análisis microbiológicos.

Abstract

The objective of this research was to analyze the nutritional properties of a probiotic food based on lentils (*Lens culinaris*). Developing a descriptive, quantitative and applied research, with an experimental design, a food was formulated with lentils and the bacterium *Lactobacillus casei*, bacterial inocula were prepared at a final concentration of 3×10^8 cells/mL. The product with lentil gel, mashed banana and milk allowed the viability of the strains. Sensory evaluation, bromatological and microbiological analyzes were carried out. The counts of molds, yeasts, total and fecal coliforms complied with the Venezuelan standard. It was obtained in the bromatological analyses: Cz(T0)= 2.62±0.10% and Cz(T7)= 2.56±0.69%, EE(T0)= 8.50±0.07% and EE (T7)= 4.89%±0.21, PC(T0)= 18.62±0.04% and PC(T7)= 19.00±0.04%, HR(T0)= 4.05± 0.18% and HR(T7)= 3.56±0.31%, H(T0)= 84.09±0.17% and H(T7)=83.96±0.10%. It is concluded that the probiotic food has a high content of protein, crude fiber and ashes, in addition to having microbiological quality and acceptability by the public.

Keywords: Probiotic, *L. casei*, lentils, bromatological analysis, microbiological analysis.

Introducción

En Venezuela, la búsqueda de un probiótico para ayudar a mejorar la salud de las personas es importante, dado que en la actualidad no existe una comercialización de este tipo de suplementos. Por esta razón, se estudia los componentes de los diferentes productos que cuenta en su composición con microorganismos vivos a fin de elaborar un probiótico óptimo. Razón por la cual, este estudio, se plantea elaborar un alimento probiótico a base de lentejas, ya que, este alimento, favorecer el tránsito intestinal, controla la anemia, mejora el funcionamiento del sistema nervioso y mejora la concentración, todo esto aunado a las propiedades benéficas de los probióticos existentes.

En resumen, para la elaboración de este alimento se aíslan bacterias probióticas a partir de un medicamento comercial llamado Liolactil, aplicando técnicas de laboratorio microbiológico, para obtener un inóculo que fue estandarizado para ser útil como cultivo iniciador en la fermentación del alimento, permitiendo, entonces enfocar la investigación en metodologías para la cuantificación y validación de estos productos que es de utilidad para la salud de la sociedad venezolana.

Este estudio se enfoca en analizar las propiedades nutricionales de un alimento probiótico a base de lentejas, por medio de análisis sensoriales, bromatológicos y microbiológicos en un proceso experimental a escala de laboratorio realizado a las mismas condiciones del manual de la AOAC [1]. Todo esto con el fin de elaborar un alimento probiótico de calidad que ayuda a mejorar la salud intestinal del consumidor y estable en condiciones de refrigeración. Este artículo deriva de la investigación “Análisis de las propiedades nutricionales de un alimento probiótico a base de lentejas (*Lens cullinaris*)” presentado como Trabajo Especial de Grado por Escola y Rivas [2].

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló con un nivel descriptivo, para permitir establecer las condiciones operativas que requiere un nuevo alimento probiótico en la industria alimentaria y, así que abarcar el máximo aprovechamiento de recursos locales. Por lo que en este trabajo se describe el proceso para la elaboración del alimento probiótico a base de lentejas y se especifican las características fisicoquímicas y microbiológicas del mismo. De igual forma, esta fue del tipo cuantitativa, debido a que está basada en el análisis de resultados realizados a través de diferentes procedimientos sustentados en la medición

El diseño de la investigación fue del tipo experimental y longitudinal, debido a que en los análisis microbiológicos y bromatológicos se tiene una manipulación directa de las variables por medio de un control y un grupo tratamiento, el cual es característico de un diseño experimental “puro” ya que se realizan exámenes a dos tipos de alimentos (variable dependiente), el grupo control es un alimento sin inóculo bacteriano y el tratamiento es el alimento probiótico con el inóculo bacteriano, manipulando la variable de concentración del inóculo (variable independiente). Asimismo, se considera longitudinal porque los datos que se recogen en la encuesta y los derivados de los análisis se hacen al inicio y a los siete días de refrigeración del producto. Hernández *et al.* [3].

La unidad de análisis está constituida por el *Lactobacillus sp.* el cual a través de procedimientos microbiológicos de crecimiento bacteriano se logró extraer y aislar a partir del medicamento comercial “Liolactil”, este contiene la bacteria *Lactobacillus casei liofilizada* y las lentejas seleccionadas de la marca Alimentos Mary adquiridas en un supermercado de la localidad de Maracaibo.

Para esta investigación se seleccionó como población al personal del Instituto de Previsión y Asistencia Social del Ministerio de Educación (IPASME), ubicado en la calle Cecilio Acosta, Ciudad de Maracaibo, Estado Zulia/Venezuela. La población IPASME cuenta con un número finito de 236 individuos, de los cuales quince (15) fueron seleccionados para el muestreo del alimento a examinar.

De esta forma se procedió a la elaboración de un instrumento tipo cuestionario compuesto por siete (7) items planteados bajo la escala de Likert, en el cual los sujetos indicaran, por medio de opciones como muy agradable, agradable, indiferente, desagradable, muy desagradable, las diferentes opiniones sobre el alimento.

Por otro lado, se utilizaron tablas como instrumento de recolección y procesamiento de datos. En dichas tablas se registraron los resultados obtenidos en los análisis de caracterización bromatológicos y microbiológicos

Fase I: Preparación de los inóculos de *Lactobacillus casei* como cultivos iniciadores para la fermentación de los azúcares presentes en los ingredientes

La preparación de los inóculos de *Lactobacillus casei* empieza con la preparación del medio de cultivo selectivo para aislamiento y enumeración de lactobacilos según lo indicado por Man, Rogosa y Sharpe (MRS) ISO 9232:2003[4] ISO 15214:1998 [5]., pero con la diferencia de que para esta investigación no se utilizó un litro del producto sino setecientos mililitros, los cuales posteriormente se dividen para preparar medio de cultivo líquido y sólido. Se realizó el proceso de preparación del medio líquido con los datos extraídos de la página web del laboratorio MICROKIT que indica la receta para la preparación del medio de cultivo estandarizada para un litro, con la diferencia de que algunos reactivos fueron sustituidos por otros de igual composición, como son el extracto de carne, que fue reemplazado por caldo tripticasa de soya (TBS) (para un litro se utilizan cuatro gramos del reactivo) y el Tween 80, que fue sustituido por el Tritón X-100 en su misma cantidad.

Posteriormente se preparó la mezcla en agua destilada (menos el agar), se procede a mezclar en un matraz Erlenmeyer de 1000 mL, hasta que la solución quede de manera homogénea. Luego se traspasan a dos matraces, uno para el medio líquido (caldo) y otro para preparar medio sólido, el cual lleva agar-agar a una concentración final del 1,5% en la solución. Seguidamente, el medio de cultivo sólido se llevó a esterilización por calor húmedo en autoclave a una temperatura de 121°C durante 15 minutos y se dejó en prueba de esterilidad incubando por 24 horas a 37° C en la incubadora. Microkit, [6].

El medio de cultivo líquido fue sembrado con el producto microbiano liofilizado de la marca comercial Liolactil que contiene los lactobacilos (específicamente *Lactobacillus casei* variedad *rhamnosus*) a una concentración de 1,5 gramos, equivalente a UFC/g. Vidal [7]. Se mezcló el matraz y se incubó en campana con vela por 48 horas a 35-37°C y se observó turbidez en el medio de cultivo indicativo del crecimiento microbiano. Luego se midió la turbidez del cultivo por el método nefelométrico con la escala McFarland [8]. Microkit, [6]. Para verificar la pureza del cultivo, se realizó una tinción de Gram y se observó al microscopio con objetivo de inmersión de 100X.

Se preparó medio de cultivo nuevo en tubos de ensayo y en placas de Petri y se sembraron con el cultivo crecido en el matraz bajo las mismas condiciones de incubación que fueron descritas anteriormente Microkit, [6]. Se esterilizó el asa de siembra (asa en aro) y con esta se toma un poco del medio de cultivo en el que ha crecido el microorganismo, se comienza a hacer la primera estría, y a partir de la siembra al final de la primera estría se comienza una segunda estría en forma de zigzag en otra dirección y de la misma forma se hace una tercera estría en otra dirección hasta abarcar la superficie de toda la placa de Petri, terminada la siembra se colocó forma invertida la caja de Petri a incubación, en un envase cerrado herméticamente (campana Gaspak) con una vela encendida. Luego observó el crecimiento microbiano a través de colonias crecidas en medio sólido y se anotaron características macroscópicas y microscópicas (tinción de Gram).

Fase II: Elaboración del alimento probiótico a base de lentejas mediante fermentación bacteriana.

El producto alimenticio fermentado fue elaborado con lentejas y puré de banana. El producto incluyó una combinación de ingredientes como gel de harina de lentejas (55,33%), puré de banana (23,33%), leche (11,34%) e inóculo bacteriano (10%). La preparación de la harina fue realizada por molienda hasta 0,5 mm con ayuda de un molino de laboratorio Thomas-Wiley, modelo 4, posterior a un proceso de sanitización de los granos con agua clorada en una relación 1:3 y secado por 48 horas a 64. Luego se sometió a cocción hasta obtener un gel, para ser mezclados con el resto de los ingredientes utilizando un homogeneizador. Posteriormente, los geles y productos fueron sometidos a 90 por 30 min en autoclave. Luego de enfriados fueron inoculados con la cepa de *Lactobacillus casei*. Los productos y geles inoculados se colocaron en la incubadora a 42 durante

un tiempo de 5 horas para permitir el proceso de fermentación, este constituyó el alimento inoculado, pero también se dispuso de un control (alimento no inoculado), los cuales se analizaron al tiempo cero (T0) y al día siete de refrigeración (T7), por duplicado.

Fase III: Caracterización del alimento probiótico a base de lentejas mediante análisis microbiológicos, bromatológicos y sensoriales

Para desarrollar los análisis bromatológicos, microbiológicos y sensoriales (tanto al grupo tratamiento como al grupo control) se siguieron una serie de pasos aplicados para analizar los parámetros del alimento para valorar su calidad microbiológica y nutricional, a su vez recibiendo la opinión del público evaluando sus propiedades organolépticas. En un análisis microbiológico se busca el recuento total de mohos y levaduras, coliformes totales y fecales, siguiendo las normas venezolanas COVENIN 1126-89 [9] de alimentos.

Por otro lado, con los análisis bromatológicos, se busca determinar humedad, extracto etéreo, extracto etéreo, fibra cruda y proteínas. Para los análisis de humedad se sigue del método de Weende, en el cual se pesaron aproximadamente 1 g de la muestra y se colocaron en crisoles de porcelana. Se introdujo en una estufa a 65°C y se mantuvo allí por 24 horas. Una vez finalizado este tiempo se colocaron los crisoles en un desecador durante 20 minutos y enseguida se pesó AOAC [1].

Para el análisis de ceniza se utiliza el método de Weende, el cual consiste en que 1 g de la muestra es pesado en un crisol de porcelana, el cual se colocó en un horno incinerador a 550°C durante 5 horas, posteriormente se trasladó a estufa a 105°C por una hora y se colocaron los crisoles en un desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente y se pesaron AOAC [1]. De igual manera en el análisis de extracto etéreo se usó el método de análisis proximal de Weende, para ello se pesaron 1,5 g de la muestra proveniente del análisis de humedad en papel filtro, y se introdujeron en un cartucho de extracción. Posteriormente se colocó en el extractor y se añadieron 150 mL de éter de petróleo al matraz, se enroscó en la parte inferior del condensador, se subió las placas calentadoras, se dejó hervir por 4 horas, y una vez pasado el tiempo se enfrió en un desecador y se pesó AOAC [1].

Siguiendo este orden, se realizaron análisis de fibra cruda por el método de Weende, en la cual para este proceso se preparó el sistema digestor. Se pesaron 1 g del residuo de la muestra proveniente del extracto etéreo y se colocaron en el matraz de digestión junto con 200 mL de H₂SO₄ al 1,25%, haciendo uso de un vaso de precipitado de 400 mL. Se inició el calentamiento haciendo uso de una plancha y se mantuvo el reflujo durante 30 minutos, enseguida se filtró la mezcla a través de un filtro tipo Oklahoma y se lavó el residuo con agua destilada hirviendo. Seguidamente, se pasó al matraz 200 mL de solución de NaOH al 1,25%; se mantuvo el reflujo hirviendo durante 30 minutos e igualmente se filtró y lavó el residuo en forma similar a lo indicado para el primer filtrado. Se lavó el residuo con 25 mL de etanol y se transfirió y finalmente se llevó a estufa a 110±2°C durante 24 horas. Transcurrido este periodo se dejó enfriar en un desecador durante 30 minutos y se pesó AOAC [1].

De la misma forma, el análisis de proteínas se determinó por medio de análisis proximal de Weende, se pesaron 0,5 gramos de muestra y se colocaron en tubos digestores, se añadieron 10 mL de solución digestora y se colocaron los tubos con la muestra en el digestor por 2 horas a 450°C. Una vez terminada la digestión se dejó enfriar los tubos, mientras tanto, se preparó el matraz Erlenmeyer recolector con 5 mL de solución de ácido bórico al 4% y posteriormente se colocó en el sistema de destilación. A los tubos digestores completamente fríos se le adicionó 75 mL de agua destilada, se colocó el tubo en el aparato de destilación automática; completado esto se realizó la titulación, se anotó el volumen de NaOH gastado. Se llevó a cabo esta determinación por triplicado y se determinó el contenido de proteína AOAC [1].

Además de las caracterizaciones bromatológicas y microbiológicas, se procedió a determinar los análisis sensoriales del alimento probiótico con la población seleccionada de empleados del IPASME la cual representó la muestra o panel de consumidores no entrenados sometidos a las pruebas sensoriales. Los atributos evaluados fueron: color, sabor, aroma, textura, apariencia y aceptabilidad del producto. Por lo tanto, se registraron los

resultados obtenidos y se realizaron los porcentajes de aprobación y desaprobación del alimento probiótico estudiado, en contraste con el alimento del grupo control.

Fase VI: Comparación de la estabilidad de las propiedades nutritivas del alimento probiótico durante el proceso de refrigeración del producto

En esta fase se realizó un análisis estadístico. Para ello se comprobaron los supuestos de normalidad de la población de datos y se siguió una estadística paramétrica la cual consistió en un *t student* que permitió detectar diferencias significativas en las características nutritivas del alimento durante el período de refrigeración tanto en el grupo tratamiento (alimento probiótico) como en el grupo control (alimento sin bacterias probióticas) a un nivel de significancia del 0,05%. En caso de no detectarse diferencias significativas durante el período de refrigeración, se infiere que el alimento mantuvo sus propiedades a través del tiempo, validando su potencial comercialización.

Resultados y Discusión

Preparación de los inóculos de *Lactobacillus sp.* como cultivos iniciadores para la fermentación de los azúcares presentes en los ingredientes

Se prepararon matraces con el medio líquido, denominado caldo MRS, y otro para el medio sólido en la, a partir del cual se prepararon placas de Petri con el medio de cultivo, empleado para el aislamiento bacteriano y para la verificación de su pureza. Una vez preparado el cultivo líquido, se practicó la prueba de esterilidad del medio de cultivo en incubadora a 37 °C por 24 horas, se verificó que el medio de cultivo estuviese estéril (que no presentara turbidez), por lo que se procedió a sembrar el medio líquido con el liofilizado de *Lactobacillus caseivar.rhamnosus* contenido en el medicamento Liolactil, para promover de esta forma el crecimiento del cultivo.

El caldo MRS sembrado con el liofilizado bacteriano, se incubó en una campana por el método de la vela, según las condiciones descritas en la metodología (48 horas en atmósfera de CO₂ al 5%, a 35-37°C) y se verificó el crecimiento de la bacteria mediante observación de turbidez del medio de cultivo.

Se procedió a sembrar en placas de Petri conteniendo el medio sólido mediante la técnica de siembra por estría considerando las condiciones de incubación referidas en la metodología, observándose, luego del período de incubación, crecimiento confluyente de la bacteria. Luego de este proceso, se verificó la homogeneidad en el crecimiento de las colonias bacterianas, como se presenta en la Figura 1, demostrándose que no había otro tipo de crecimiento bacteriano contaminante, se procedió a activar la bacteria en nuevo en el mismo medio de cultivo líquido (caldo MRS), este cultivo fue estimado nefelométricamente de acuerdo a la escala de turbidez de McFarland y llevado a una concentración final estimada de 3,0x10⁸cel/mL.



Figura 1. Crecimiento bacteriano en placas de Petri.

Se verificó la pureza del cultivo mediante la tinción de Gram, presentando la micromorfología y el arreglo bacteriano característico de *Lactobacillus casei* en forma de bastones delgados dispuestos en parejas o en cadenas cortas y con coloración violeta, indicando así que son bacterias Gram positivas y demostrando que el cultivo está puro MacFaddin [8]. Gracias a la verificación de la pureza de la bacteria, se dispuso a verter 5 mL del cultivo bacteriano en tubos de ensayos estériles, de esta forma centrifugando por 10 minutos a 150 rpm, obteniendo el botón celular (pellet) en el fondo de dichos tubos de ensayo.

Se obtiene un sobrenadante (caldo de cultivo sin microorganismos), agregando 5 mL de solución salina a los tubos de ensayo para lavar el botón celular (pellet), con el fin de eliminar toda fuente de carbono remanente. Por último, la solución homogénea con el botón celular (pellet) disuelto con solución salina al 0,85% se inoculó en el alimento que se preparó como se explicará a continuación, de tal manera que diera paso a la elaboración del alimento probiótico formulado.

Elaboración del alimento probiótico a base de lentejas mediante fermentación bacteriana

Se precisaron las cantidades de ingredientes midiendo la masa de cada uno de éstos. De esta manera se conocieron los valores de masa de los componentes de harina de lentejas, leche, cambur e inóculo bacteriano como se evidenció en la Tabla 1, permitiendo tener mayor precisión en la preparación de dicho alimento.

Tabla 1. Ingredientes del alimento probiótico [2]

Ingredientes	Cantidades
Gel de harina	664,00 g
Harina de lentejas	300,00 g
Agua	1400,00 mL
Leche	136,00 mL
Cambur	280,00 g
Inoculo bacteriano	45 mL

Se preparó el gel de harina de lentejas se mezcló con el resto de los ingredientes, logrando el alimento preparado sin inocular, éste se almacenó y se dividió en cuatro partes iguales en diferentes recipientes de vidrio (previamente esterilizados), obteniéndose sus medidas en masa de 300 gramos de alimento en cada frasco. Se procedió a determinar la densidad del alimento, dando como resultado 1,33 g/mL, lo que permitió cuantificar el volumen del alimento como se observó en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades del alimento [2]

Propiedades	Cantidades
Masa del alimento inicial	300,00 g
Volumen del alimento inicial	225,56 mL

Se procedió a esterilizar el alimento en autoclave a 90 °C por treinta (30) minutos y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se dispuso de dos frascos control que corresponden al alimento sin inocular (por duplicado, Control 1 y 2) agregando 45 mL de solución salina al 0,85% y otros dos frascos que corresponden al tratamiento que es el alimento inoculado al 10% (por duplicado, Inoculado 1 y 2) donde se resuspendió el pellet bacteriano en 45 mL de la solución salina al 0,85% de forma homogénea, a una concentración de $3,0 \times 10^8$ cel/mL.

Se realizó el incubado de los frascos a 42°C por 5 horas, y, finalizado este procedimiento se obtuvo el alimento probiótico a base de lentejas (*Lens culinaris*) fermentado con *Lactobacillus casei*; así como el alimento control sin inocular. El alimento es de textura blanda en forma de papilla o puré, siendo la textura deseada. Se finalizó esta fase midiendo la masa y el volumen del alimento probiótico y del control como se apreció en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades del alimento probiótico inoculado y del control [2]

Control/Inoculado	Masa (g)	Volumen (mL)
Control 1	345	259,40
Inoculado 1	345	259,40
Control 2	335	251,88
Inoculado 2	343	257,89

Caracterización del alimento probiótico a base de lentejas mediante análisis microbiológicos, bromatológicos y sensoriales.

Tomando en cuenta las normas venezolanas COVENIN 1126-1989 [9] de alimentos, codificación y preparación de muestras para el análisis microbiológico, se logró obtener los resultados de los análisis microbiológicos de coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras del alimento probiótico y del control elaborados. En la Tabla 4, se observó los resultados de los alimentos en tiempo cero (T0) y tiempo siete (T7).

Tabla 4. Propiedades microbiológicas del alimento probiótico en T0 y T7 [2]

Muestra	Coliformes Totales (NPM/100 g)	Coliformes Fecales (NPM/100 g)	Mohos y Levaduras (UFC/g)
T0	< 1,8	< 1,8	<10
T7	< 1,8	< 1,8	<10

El recuento de mohos y levaduras, coliformes totales y fecales, al tiempo cero y a los siete días de refrigeración como se observan en la Tabla 4, se encontraron dentro de los límites establecidos para la norma oficial para yogurt COVENIN 1337-90 [10], COVENIN 1104-96 [11] y COVENIN 1292-89 [12], que es un alimento probiótico usado como referencia. Los coliformes totales y fecales encontrados en promedio fueron de <1,8 NMP/g, siendo el rango establecido por la norma entre 1,0x10² y 1,0x10³ NMP/100g. Para los mohos y levaduras el valor promedio fue de <10 UFC/g estando la norma entre 10 y 1,0x10² UFC/g. Estos valores permiten deducir que el alimento probiótico elaborado con lentejas, así como el control poseen buena calidad microbiológica.

El alimento fue sometido a análisis bromatológicos como lo es la humedad, cenizas, extracto etéreo, fibra cruda y proteína cruda, los cuales fueron determinados mediante análisis proximal de Weende AOAC [1]. En la Tabla 5 se pueden observar los resultados para los análisis bromatológicos del alimento control y alimento probiótico en tiempo cero (T0).

Tabla 5. Propiedades bromatológicas del alimento probiótico y alimento control en T0[2]

Replicas	Alimento probiótico					Alimento control				
	%FC	%PC	%EE	%Cz	%H	%FC	%PC	%EE	%Cz	%H
1	4,14	18,58	8,60	2,50	84,22	4,36	19,46	6,14	2,61	83,41
2	4,23	18,69	8,41	2,62	83,84	4,31	18,94	6,41	2,51	81,63
3	3,80	18,60	8,49	2,75	84,21	3,92	18,85	6,34	2,62	83,18
Promedio	4,05	18,62	8,50	2,62	84,09	4,19	19,08	6,30	2,58	82,74
Desviación estándar	0,18	0,04	0,07	0,10	0,17	0,19	0,26	0,11	0,04	0,79

%FC: porcentaje de fibra cruda, %PC: porcentaje de proteína cruda, %Cz: porcentaje de cenizas, %H: porcentaje de humedad

Los valores de los análisis bromatológicos tanto para el alimento probiótico como para el control vistos en la Tabla 5 fueron similares. Se obtuvo que, el alimento control en el tiempo cero sin inóculo bacteriano comparado con el alimento probiótico inoculado con *Lactobacillus casei*, presentó un valor ligeramente mayor en el porcentaje de proteínas (19,08±0,26%) en relación con el alimento probiótico (18,62±0,04%); probablemente en el alimento probiótico las bacterias constituyen una fuente de proteínas en el alimento, mientras que en control lo representan las lentejas que tienen alto contenido proteico. Además, el control exhibió valores ligeramente menores de extracto etéreo (grasas) (6,30±0,11%) y humedad (82,74±0,79%) en

relación con el alimento probiótico ($8,50\pm 0,07\%$ y $84,09\pm 0,79\%$, respectivamente); mientras que, los valores de fibra cruda y cenizas en el control y el alimento probiótico estuvieron bastante cercanos entre sí en el T0.

En la Tabla 6, se estableció las propiedades nutricionales del alimento mediante análisis proximales, tanto para el alimento control como para el alimento probiótico a los siete días de refrigeración (T7).

Tabla 6. Propiedades bromatológicas del alimento probiótico alimento control en T7 [2]

Replicas	Alimento probiótico					Alimento control				
	%FC	%PC	%EE	%Cz	%H	%FC	%PC	%EE	%Cz	%H
1	3,24	19,04	5,10	2,71	84,01	3,54	17,44	5,81	2,09	84,19
2	3,86	18,96	4,89	3,17	83,79	3,18	19,05	4,11	2,65	84,44
3	3,59	19,01	4,67	1,80	84,08	3,40	18,24	5,95	1,17	84,29
Promedio	3,56	19,00	4,89	2,56	83,96	3,37	18,24	5,29	1,97	84,30
Desviación estándar	0,31	0,04	0,21	0,69	0,16	0,18	0,80	1,02	0,94	0,12

La Tabla 6, contiene una comparación de forma general sobre el alimento probiótico a los siete días de refrigeración con el control, reconociéndose que tampoco se observaron grandes diferencias. Se obtuvo, que en el T7 el alimento probiótico aumentó ligeramente en porcentaje de proteínas y cenizas ($19,00\pm 0,04\%$ y $2,56\pm 0,69\%$ respectivamente), e igualmente exhibió un valor mayor del porcentaje en fibra cruda ($3,56\pm 0,31\%$), pero tuvo un valor menor del extracto etéreo ($4,67\pm 0,21\%$) en relación con el control. No obstante, no se apreciaron diferencias en la humedad en ambos tipos de alimento ($83,96\pm 0,15\%$ en el probiótico y $84,29\pm 0,12\%$ en el control).

Los valores de proteína obtenidos son cercanos al 19%, superiores a los obtenidos por Morales de León *et al.* [13] en un alimento probiótico tipo yogurt con base en una mezcla de leche y garbanzo (*Cicer arietinum*) con valor del 8% de proteína, por tanto, el alimento probiótico formulado a base de lentejas proporciona mayor fuente de proteínas que los alimentos formulados por otros autores. El valor de fibra cruda obtenido para el alimento probiótico está cerca del 4% similar al obtenido por Morales de León *et al.* (2000) para yogurt de garbanzo (4,9% de FC). Para el alimento probiótico el porcentaje de cenizas estuvo cercano al 2,5% superior al obtenido por Morales *et al.* [13] del 1,1%, por lo que el alimento probiótico a base de lentejas posee un alto valor de minerales que son beneficiosos para la salud.

El valor de extracto etéreo en el alimento probiótico estuvo entre 4,89 y 8,50%, disminuyendo tras su refrigeración. Valores mayores a los reportados por Morales de León *et al.* [13] en yogurt a base de garbanzos (0,58%), pero similares a los reportados en la bebida probiótica de quinchoncho con 4,5% de grasa Parra *et al.* [14]. Los valores de humedad en el alimento probiótico fueron superiores al 82%, que coinciden con los obtenidos para yogurt a base de garbanzos con 85,4% de humedad Morales de León *et al.* [13] siendo esto importante para mantener la viabilidad de los lactobacilos contenidos en el alimento probiótico, ya que una vez consumidos con el alimento, estos ejercerán su actividad probiótica en el intestino del consumidor, y para lo cual necesitan del agua para sus actividades vitales.

Se tiene que para los análisis sensoriales se realizaron una serie de encuestas a quince (15) personas que laboran en el IPASME Maracaibo. Con esta finalidad se les dio a probar el alimento control y el alimento probiótico en T0 y T7, para posteriormente rellenar dichas encuestas con su opinión acerca de si estos alimentos fueron muy agradables, agradables, indiferentes, desagradables o muy desagradables. A continuación, en la Tabla 7 se apreció los resultados de los análisis sensoriales del alimento probiótico en el T0.

Tabla 7. Propiedades sensoriales del alimento probiótico en T0 [2]

Preguntas	Muy Agradable	Agradable	Indiferente	Desagradable	Muy Desagradable
¿Qué opina al respecto del color del alimento?	40	53,33	6,67	0	0
¿Cuál es su opinión sobre el sabor del alimento?	26,67	60	0	13,33	0
¿Cómo resultó su opinión en cuanto a la textura del alimento?	26,67	53,33	20	0	0
¿Cómo ve la apariencia del alimento?	20	80	0	0	0
¿Qué opina con respecto al aroma del alimento?	40	46,67	0	13,33	0
¿Cuál es su opinión en cuanto a la aceptabilidad del producto?	53,33	40	6,67	0	0
¿Qué opina en relación a la potencial comercialización del producto?	53,33	33,33	6,67	6,67	0

En la Tabla 7, de acuerdo a las respuestas dadas por parte de los trabajadores del IPASME, se obtuvo una buena aceptación del alimento probiótico en el tiempo cero, en cuanto a su color (53,33%), sabor (60%), textura (53,33%), apariencia (80%) y aroma (46,67%) en el rango de “Agradable”. Por otro lado, a su potencial comercialización se indicó que si es un producto que estarían dispuestos a adquirir (53,33%). Seguidamente, en la Tabla 8 se presentaron los resultados de los análisis sensoriales del alimento control en el T0.

Tabla 8. Propiedades sensoriales del alimento control en T0 [2]

Preguntas	Muy Agradable	Agradable	Indiferente	Desagradable	Muy Desagradable
¿Qué opina al respecto del color del alimento?	33,33	60	0	6,67	0
¿Cuál es su opinión sobre el sabor del alimento?	33,33	53,33	13,34	0	0
¿Cómo resultó su opinión en cuanto a la textura del alimento?	46,67	53,33	0	0	0
¿Cómo ve la apariencia del alimento?	46,67	53,33	0	0	0
¿Qué opina con respecto al aroma del alimento?	66,67	20	13,33	0	0
¿Cuál es su opinión en cuanto a la aceptabilidad del producto?	40	46,66	13,33	0	0
¿Qué opina en relación a la potencial comercialización del producto?	53,33	40	0	6,67	0

La aceptabilidad del alimento control de la Tabla 8, fue mayor que la de la Tabla 7 del alimento probiótico en algunos aspectos, como el color (60%) y el aroma (66,67%) ubicados en la escala “Agradable”, esto debido a que el alimento probiótico experimenta una fermentación que cambia el sabor, color y olor del producto dada su mayor acidez que el control. No obstante, las puntuaciones obtenidas en el control en relación al sabor (53,33%), apariencia (53,33%) y aceptabilidad (46,66%) fueron menores a las obtenidas por el alimento probiótico en la escala “Agradable”. Pasados los siete días de refrigeración, se dio nuevamente a probar el alimento control y probiótico a las mismas personas, en la Tabla 9, se presentaron las propiedades sensoriales del alimento probiótico en T7.

Tabla 9. Propiedades sensoriales del alimento probiótico en T7 [2]

Preguntas	Muy Agradable	Agradable	Indiferente	Desagradable	Muy Desagradable
¿Qué opina al respecto del color del alimento?	40	26,6	6,67	20	6,67
¿Cuál es su opinión sobre el sabor del alimento?	20	20	26,67	26,67	6,67
¿Cómo resultó su opinión en cuanto a la textura del alimento?	33,33	40	13,33	6,67	6,67
¿Cómo ve la apariencia del alimento?	20	46,67	13,33	0	20
¿Qué opina con respecto al aroma del alimento?	20	26,67	26,67	20	6,66
¿Cuál es su opinión en cuanto a la aceptabilidad del producto?	33,33	13,33	20	20	13,33
¿Qué opina en relación a la potencial comercialización del producto?	26,67	20	20	20	13,33

En la Tabla 9, la mayoría del personal trabajador del IPASME consideró que el alimento probiótico a los siete días de refrigerado disminuyó su aceptabilidad general (el 33% respondió muy aceptable) en comparación al del tiempo “0”. No obstante, un 40% de los encuestados respondió que el color y la textura del alimento fue de “Muy agradable” a “Agradable”, el 46,67% respondió de forma positiva a la apariencia y un 26,67 % respondió de forma “Agradable” al aroma y de forma “Indiferente” a su potencial comercialización. Solo un bajo porcentaje del 6,67% mencionó que el producto fue muy desagradable en color, sabor, textura y aroma. Las características organolépticas del alimento cambian a consecuencia de la fermentación ocurrida en el producto, incluso durante la refrigeración, porque los lactobacilos están vivos en el alimento, aunque inhibidos por la baja temperatura. A continuación, se muestra en la Tabla 10 las propiedades sensoriales del alimento control en T7:

Tabla 10. Propiedades sensoriales del alimento control en T7 [2]

Preguntas	Muy Agradable	Agradable	Indiferente	Desagradable	Muy Desagradable
¿Qué opina al respecto del color del alimento?	53,33	33,33	6,67	0	6,67
¿Cuál es su opinión sobre el sabor del alimento?	33,33	46,67	13,33	6,67	0
¿Cómo resultó su opinión en cuanto a la textura del alimento?	33,33	40	13,33	13,33	0
¿Cómo ve la apariencia del alimento?	40	46,67	6,67	0	6,67
¿Qué opina con respecto al aroma del alimento?	33,33	60	6,67	0	0
¿Cuál es su opinión en cuanto a la aceptabilidad del producto?	46,67	33,33	13,33	0	6,67
¿Qué opina en relación a la potencial comercialización del producto?	46,67	33,33	13,33	0	6,67

En la Tabla 10 se mostró que el alimento control al tiempo siete de refrigeración exhibió mejores puntuaciones en las características organolépticas que la del alimento probiótico en el mismo tiempo, como el color (53,33% “Muy agradable”), sabor (46,67% “Agradable”), aroma (60% “Agradable”), y potencial comercialización (46,67% “Agradable”). No obstante, se debe acotar que este alimento no posee microorganismos probióticos, por tanto, no ejercerá ningún efecto benéfico en la salud del consumidor, lo cual ha sido probado en numerosas investigaciones con alimentos probióticos.

Al comparar las características organolépticas del alimento probiótico en el T7 en relación al tiempo “0” (Tabla 8) se puede notar que por más que ambos fueron de forma general de buena aceptación por los trabajadores del IPASME, el del tiempo siete tuvo algunos desagradados en cuanto al color, sabor, textura, apariencia e igualmente si lo adquirirían tras una potencial comercialización. Estos resultados evidencian que a pesar del tiempo de refrigeración el producto sigue manteniendo su calidad sensorial.

Comparación de la estabilidad de las propiedades nutritivas del alimento probiótico durante el proceso de refrigeración del producto

Se comparó la estabilidad de las propiedades del alimento control y probiótico durante los tiempos cero y siete de refrigeración, por medio del estadístico de prueba t-student para valorar si las medias con diferentes superíndices dentro de una misma fila difieren significativamente ($P < 0,05$), esto expresado en la Tabla 11, mostrando los valores de fibra cruda, proteína, extracto etéreo, cenizas y humedad de las diferentes formulaciones.

Tabla 11. Análisis estadístico de las propiedades bromatológicas del alimento al T0 y T7 de refrigeración [2]

	Probiótico		Control	
	t estadístico	Valor de P	t estadístico	Valor de P
Fibra cruda	2,38	0,140	4,68	0,043*
Proteína	-3,93	0,059	1,343	0,311
Extracto Etéreo	34,91	0,00081*	1,56	0,259
Ceniza	0,14	0,902	1,32	0,317
Humedad	2,81	0,106	-2,49	0,130

*Diferencias significativas a un valor de $P \leq 0,05$.

La mayoría de los parámetros evaluados en el alimento probiótico permanecieron estables durante el período de refrigeración, habiéndose encontrado solamente diferencias significativas en el extracto etéreo, el cual se refiere al contenido de grasas del producto; siendo mayor en el T0 que en el T7 ($P \leq 0,05$). No se obtuvieron diferencias significativas ($P > 0,05$) con las variables de fibra cruda, proteína, ceniza y humedad en el alimento probiótico a lo largo del tiempo.

Por otro lado, en el control, se obtuvieron diferencias significativas solamente en el contenido de fibra cruda ($P \leq 0,05$) el cual fue mayor al T0 que al T7 de refrigeración, probablemente condicionado a la actividad de enzimas amilolíticas y otras, que hidrolizan los carbohidratos complejos hasta azúcares más simples, por acción de algunos microorganismos aún viables en el alimento (Parra et al., 2014). Para el resto de los parámetros analizados no se encontraron diferencias; sin embargo, comparando la humedad y ceniza del alimento control con respecto al alimento control de avena y quinchoncho formulado por Barboza [15] éste presenta valores mayores.

Este alimento probiótico posee características sensoriales de aceptabilidad por el público y exhibe características fisicoquímicas como: alto valor de proteínas, cenizas (minerales) y fibra cruda que le otorgan alto valor nutricional y de propiedades funcionales para la salud del consumidor, poniendo de manifiesto su potencial comercialización en el mercado venezolano.

Conclusiones

Como resultado de la presente investigación se tiene que se permitió el aislamiento de la bacteria probiótica *Lactobacillus casei* a partir del medicamento comercial Liolactil, que sirvió de cultivo iniciador para la elaboración del alimento probiótico a base de lentejas. Se pudo obtener a través de técnicas microbiológicas un cultivo puro de lactobacilos libre de otros microorganismos contaminantes, a partir de la siembra en el medio selectivo Mann, Rogosa y Sharpe (modificado en este trabajo) y mediante la tinción de Gram. Por otro lado, al partir del cultivo puro se pudo obtener el inóculo bacteriano medido en un espectrofotómetro, hasta alcanzar la concentración final de 3×10^8 cel/mL empleado para la fermentación del alimento probiótico.

Se obtuvo el alimento probiótico a base de lentejas (*Lens culinaris*) fermentado con *Lactobacillus casei*; proceso que se llevó a cabo para la medición de masa y volumen del alimento probiótico, de la misma manera se consiguió la textura deseada del producto, siendo ésta una textura blanda en forma de papilla o puré.

Se determinó la calidad microbiológica del alimento probiótico, con valores de mohos, levaduras, coliformes totales y fecales del alimento por debajo de lo contemplado en la normativa venezolana, tanto en el tiempo cero como tiempo siete.

En el tiempo cero hay una ligera disminución en el alimento probiótico del porcentaje de proteínas y aumento de extracto etéreo (grasas) y humedad comparada con el alimento control. Por otro lado, no se apreciaron diferencias con respecto a las propiedades de fibra cruda y cenizas. Para el tiempo siete el alimento probiótico aumentó ligeramente en porcentaje de proteínas, pero hubo disminución del extracto etéreo, sin diferencias en relación con la humedad, todo esto comparándose con el alimento control.

El alimento probiótico formulado a base de lentejas proporciona mayor fuente de proteínas que los alimentos formulados por otros autores, posee un alto valor de fibra cruda, beneficiosa para la salud intestinal, tiene alto porcentaje de humedad importante para mantener la viabilidad de los lactobacilos contenidos en el alimento probiótico, que estos ejercerán su actividad probiótica en el intestino del consumidor y el valor de extracto etéreo en el alimento fue alto comparado con los autores.

Referencias bibliográficas

- [1] Association of Official Analytical Chemist. Agricultural Chemicals; Contaminants; Drugs. (AOAC) Official Methods of Analysis. 15th edition. Volume One. Edited by Kenneth Helrich. Arlington, Virginia, 22201, USA, (1990).
- [2] Escola, D. y Rivas, J. Trabajo Especial de Grado Análisis de las propiedades nutricionales de un alimento probiótico a base de lentejas (*Lens culinaris*). Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo- Zulia, (2022).
- [3] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la investigación. 4ªed. México. McGraw-Hill, (2006).
- [4] International Organization Standard. ISO 9232:2003. Yogurt. Identification of characteristic microorganisms (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. Technical Commite: ISO TC/34/SC5. Milk and milk products, (2003).
- [5] International Organization Standard. ISO 15214:1998: Microbiology of food and animal feeding stuffs. Technical Committee: [ISO/TC 34/SC 9](#) Microbiology, (1998).
- [6] Microkit. Información de Medios de cultivo para Microbiología. Microkit: Medios de Cultivo, (2016).
- [7] Vidal Vademecum Spain. Liolactil polvo 1,5 g. Vademecum, (2012). https://www.vademecum.es/equivalencia-lista-liolactil+polvo+1,5+g-mexico-a07fa01+m6-1277345-mx_1
- [8] MacFaland, J. Pruebas Bioquímicas para la Identificación de Bacterias de Importancia Clínica. 3a ed. Argentina. Editorial Médica Panamericana, (2003).
- [9] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1126-89: Alimentos. Identificación y preparación de muestras para el análisis microbiológico (1ª. Revisión). Comité técnico de normalización CT-10: Productos Alimenticios. Subcomité Técnico SC-3: Microbiología de los Alimentos. Fecha de aprobación por COVENIN 07-06-1989. Caracas, Venezuela, Fondonorma, (1989).
- [10] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1337-1990: Método para Recuento de Moho y Levaduras (1a. Revisión). Comité técnico de normalización CT-10: Productos Alimenticios. Subcomité Técnico SC-3: Microbiología de los Alimentos. Fecha de aprobación por COVENIN 01-08-1990. Caracas, Venezuela, Fondonorma, (1990).

[11] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1104-1996: Determinación del número más probable de coliformes, coliformes fecales y de *Escherichia coli*. Comité técnico de normalización CT-10: Productos Alimenticios, Subcomité Técnico SC-03: Microbiología de los Alimentos. En su reunión No. 141 de fecha 14-08-1996. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1996).

[12] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1292-89: Alimentos. Aislamiento y recuento de *Staphylococcus aureus*. (Primera Rev.) Comité Técnico de normalización CT-10 Productos Alimenticios, Subcomité Técnico SC-3: Microbiología de los Alimentos. Fecha de aprobación 06-12-1989. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1989).

[13] Morales de León, J., Nosthas, C., Penedo, M., Cortes, E. Elaboración de un yogurt con base en una mezcla de leche y garbanzo (*Cicer arietinum*). Rev, ALAN [online]. Vol.50, N°1, (2000), 81-86. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000100011&lng=es&nrm=iso. ISSN 0004-0622.

[14] Parra, K., Piñero, M., Barboza, Y., Pérez, M., Ortega, J. Efecto combinado de la imbibición y la germinación sobre la calidad del quinchoncho (*Cajanus cajan* (L) Millsp.). Ciencia, Vol.21, N°4, (2014). <https://produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/18749>

[15] Barboza, Y. Diseño de Alimentos Potentemente Funcionales sobre la Base de Productos Tradicionales (Tesis Doctoral). Universidad de Córdoba: Programa Biociencias y Ciencia Agroalimentarias. Venezuela-España, (2012).

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del trabajo especial de grado, titulado: “Análisis de las propiedades nutricionales de un alimento probiótico a base de lentejas”, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia

Maintenance plan for the reverse osmosis membranes in the cycle I demineralization Plant of the Termozulia plant

Diego Alejandro Atencio Fuentes

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: diegoatencio13@gmail.com

César García

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.
Correo electrónico: cgarcia@uru.edu.ve

Recibido: 24-01-2022

Aceptado: 18-04-2022

Resumen

El objetivo de este estudio fue diseñar un plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia. Para ello, se utilizó la revisión documental y la entrevista para determinar las variables que afectan la operatividad del sistema, así como para la descripción y las fallas del proceso de lavado; logrando recopilar la información necesaria para finalmente proponer un procedimiento adecuado para la limpieza de las membranas. Variables como caída de presión, flujo de permeado y rechazo, conductividad eléctrica y presión en la línea de bisulfito de sodio tienen mayor incidencia en la operatividad del sistema. Por otro lado, el lavado químico es el más importante, además, pudieron analizarse las fallas que entorpecían el proceso de lavado, en búsqueda de corregir estas fallas, se propone el plan de mantenimiento que garantiza el adecuado funcionamiento y larga vida útil de las membranas.

Palabras clave: Ósmosis inversa, membranas, lavado químico, plan de mantenimiento.

Abstract

The objective of this study was to design a maintenance plan for the reverse osmosis membranes in the demineralization plant of cycle I of Planta Termozulia. For this purpose, a documentary review and an interview were used to determine the variables that affect the operability of the system, as well as the description and the failures of the cleaning process; gathering the necessary information to finally propose an adequate procedure for the cleaning of the membranes. Variables such as pressure drop, permeate and rejection flow, electrical conductivity and pressure in the sodium bisulfite line have a greater incidence on the system's operability. On the other hand, chemical cleaning is the most important, in addition, the failures that hindered the cleaning process were analyzed, and in order to correct these failures, a maintenance plan was proposed to guarantee the proper operation and long life of the membranes.

Key words: Reverse osmosis, membranes, chemical cleaning, maintenance plan.

Introducción

En la actualidad, millones de personas en el mundo viven con un suministro eléctrico insuficiente o poco confiable forzando a los países al mejoramiento continuo de fuentes de energía eléctrica que den abasto para cubrir la demanda energética, volviéndose uno de los principales retos a cumplir para garantizar una mejor calidad de vida a sus habitantes. Desde el año 2010 el suministro eléctrico en Venezuela se ha visto gravemente afectado. Casi una década después, el problema aún persiste, donde el sistema eléctrico se ha deteriorado, especialmente en el estado Zulia.

Dicho estado cuenta con la termoeléctrica Planta Termozulia (PTZ), la cual cuenta con instalaciones conexas a los turbogeneradores, tales como: sistema de recepción, tratamiento (centrifugado y filtrado), almacenamiento y bombeo de combustible líquido (diésel automotor), plantas de pretratamiento de agua (pretratamiento y desmineralización), sistemas de tratamiento de agua de efluentes, aguas servidas, sistemas de aire comprimido para instrumentos y servicios y transformadores. En PTZ se genera electricidad utilizando turbinas de reacción propulsadas por gasoil automotriz, gas natural o vapor a través de la combustión de combustibles fósiles y según Veneagua [1, p.24] “Específicamente en los sistemas de generación de vapor por recuperación de calor se requiere un agua de alta calidad para su funcionamiento; la calidad del agua viene dada por la eficiencia de los sistemas de pretratamiento y desmineralización de la planta”.

Las aguas utilizadas para la generación de vapor deben ser correctamente tratadas, ya que contienen alto contenido de sales e impurezas, que al ser sometidos a altas temperaturas precipitan, y según la Asociación Chilena de Seguridad, Abarca [2, p.4]: “Se adhieren a las superficies más calientes de la caldera, especialmente en los tubos en forma de costras duras llamadas incrustaciones, lo que entorpece la transmisión del calor, permitiendo el sobrecalentamiento de estas superficies metálicas y posibles explosiones”. Por esta razón, la Planta Termozulia cuenta con un área de pretratamiento y desmineralización del agua, con el cual se procesa para hacerla apta para su uso en los turbogeneradores y lograr una eficiente generación de energía eléctrica.

Uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua es la ósmosis inversa, el cual, según Carbotecnia [3] es un proceso en el cual se reduce el caudal a través de una membrana semipermeable y se ejerce una fuerza de empuje superior a la presión osmótica en dirección opuesta al proceso de ósmosis. Logrando separar las sustancias que se encuentran en el agua en un lado de la membrana (concentrado) y del otro lado se obtiene una solución diluida baja en sólidos disueltos (permeado). El área de pretratamiento y desmineralización en el ciclo I de Planta Termozulia tiene problemas durante su operación, específicamente en el sistema de ósmosis inversa, en el cual las membranas presentan un ensuciamiento prematuro e incrustaciones durante su operación, lo que conlleva a un lavado más frecuente de estas y una reducción de su vida útil.

Por tal motivo, en esta investigación se propone un adecuado plan de mantenimiento y lavado que permita el correcto funcionamiento y operatividad del área de pretratamiento y desmineralización del agua en el ciclo I de Planta Termozulia. La propuesta, asegura un suministro de agua desmineralizada que cuenta con las características requeridas para poner en funcionamiento el sistema de generación de vapor por recuperación de calor, asimismo, se garantizaría un máximo aprovechamiento de los equipos utilizados para la generación de energía eléctrica, logrando mantenerlos en buen estado e incrementar su eficiencia. Asegurando un suministro de energía eléctrica más confiable para los habitantes del estado Zulia, mejorando el servicio eléctrico en el estado y por ende la calidad de vida de los zulianos.

Una de las bases para la elaboración de esta investigación fue el Trabajo Especial de Grado de Segovia [4] titulado “Propuesta de optimización del sistema pretratamiento de agua y ósmosis inversa de la Planta Termozulia en el Complejo Termoeléctrico General Rafael Urdaneta (CTGRU) de Enlven”, donde se seleccionaron los equipos mayormente involucrados para realizarles una serie de pruebas. Observando los tipos de contaminantes que había en las membranas para posteriormente precisar las causas que originaron el ensuciamiento. Del mismo modo, en la investigación de Segovia [4] se determinó que el agua que alimentaba al sistema de ósmosis presentaba algunas irregularidades, estableciendo las dosis correctas de químicos que debían ser agregados al agua en el pretratamiento.

El presente artículo deriva del Trabajo Especial de Grado desarrollado por Atencio [5] titulado “Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia”. En este sentido, para llevar a cabo el desarrollo del plan de mantenimiento se utilizaron los datos, registros, manuales e informes de la planta de ósmosis inversa de ciclo I de Planta Termozulia. Se identificaron las variables que afectan el funcionamiento de la planta de ósmosis, se describió el proceso de lavado que era ejecutado. Analizando las fallas que hubo en el proceso de lavado cuando la planta se encontraba operativa, se propuso un plan de mantenimiento en donde se busca corregir las fallas y el adecuado funcionamiento de las membranas y del sistema en general.

Materiales y Métodos

Este apartado consiste en explicar la metodología utilizada para desarrollar la presente investigación. En este sentido, la investigación se encuentra dividida en cuatro fases, las cuales son:

Fase I. Identificación de las variables que afectan la operatividad del sistema de ósmosis inversa durante su funcionamiento

Utilizando la técnica de revisión documental, se tomó del manual de operaciones la lista de dispositivos de instrumentación y seguridad de la planta de agua desmineralizada, se identificaron las variables que afectan el funcionamiento de la planta de ósmosis. Para el desarrollo de este objetivo también se utilizó el diagrama de flujo de procesos (DFP) y el diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) del sistema de agua desmineralizada de la planta. Se ubicaron los transmisores e indicadores más importantes que son indispensables para el óptimo funcionamiento del sistema. Posteriormente, utilizando la matriz de categorías, se tabularon todos los datos recogidos, identificando, el instrumento, la variable que controla, el valor máximo o mínimo al cual el sistema de control arroja alerta y la consecuencia de no controlar correctamente esa variable.

Fase II. Descripción del proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa

Para describir el proceso de lavado de membranas de ósmosis inversa, por medio de la revisión documental se utilizó la filosofía de control realizada por el fabricante; en él se encuentra descrito el procedimiento de enjuague automático realizado por el sistema de control y los equipos e instrumentos que intervienen en el mismo. También, se empleó el libro de registros de lavados de ósmosis inversa, realizado por los técnicos encargados de la limpieza química de las membranas durante el año 2017; en él se encuentran registrados los productos químicos utilizados y tipo de lavado químico que se realizaba, sirviendo de soporte para la descripción de los lavados químicos.

Adicionalmente, se realizó una conversación al supervisor de la limpieza química y los operadores encargados de ejecutarla, utilizando esta información recogida a través de la técnica de entrevista, se complementa lo descrito por los registros y manuales, logrando presentar la descripción del proceso de limpieza aplicado a las membranas de ósmosis inversa.

Fase III. Análisis de las fallas en el proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa

Empleando el libro de registros de lavados de ósmosis inversa durante el año 2017, utilizando el instrumento matriz de categorías, se realizó una tabla que contiene la fecha del lavado; tren, paso y etapa que se lavó, tipo de lavado (alcalino o ácido) empleado, producto químico, cantidad de producto, tiempo de lavado y observaciones realizadas. Esta tabla sirvió para identificar la frecuencia con la que se realizaron los lavados y se comparó lo descrito en la tabla con lo que establecen las especificaciones de Nalco y lo que establece el proveedor de los productos de limpieza de las membranas. En base a esto, se presentan las fallas operacionales de planta.

Fase IV. Propuesta de un procedimiento adecuado para la limpieza de las membranas de ósmosis inversa

Buscando mejorar las fallas detectadas, a través de la revisión documental, se investigó productos de limpieza más efectivos que existen en el mercado y pueden utilizarse en el lavado de las membranas. Con base a sus propiedades y costo se presentó la propuesta de lavado y mantenimiento, la cual incluye un formato para el registro de los lavados de la planta de ósmosis inversa y nuevos productos químicos para agregar al agua de alimentación del sistema de ósmosis.

Resultados y Discusión

En este apartado se presentarán los resultados expuestos para cada fase y de la misma forma se discutirán y explicarán los mismos de forma detallada.

Fase I. Identificación de las variables que afectan la operatividad del sistema de ósmosis inversa durante su funcionamiento

Según su relación con el ensuciamiento o daño de las membranas se especificaron tres tipos de variables: variables Tipo C (tienen poca incidencia en el funcionamiento del sistema), variables Tipo B (tienen mediana incidencia en el funcionamiento del sistema) y variables Tipo A (tienen alta incidencia en el funcionamiento del sistema). Elaborándose una tabla para cada tipo de variable, que incluye la justificación o razón del porqué se le dio esa clasificación. En la Tabla 1 se tienen las variables Tipo C, estas son indicativo de que hay un problema en el funcionamiento del sistema, el cual es necesario corregir. No obstante, que estas variables se encuentren en un valor fuera del especificado no necesariamente significa que las membranas están presentando problemas.

Tabla 1. Variables Tipo C [5]

Variable	Justificación
Diferencial de presión en los filtros de cartucho	No inciden en las membranas, se soluciona cambiando el filtro
pH a la salida del primer paso de OI	Fácil de corregir, añadiendo ácido sulfúrico
Flujo a la entrada del segundo paso de OI	Se soluciona cerrando la válvula de entrada
Presión en la línea de dosificación de anti incrustante	Solo hace daño a largo plazo
Flujo de entrada al primer paso de OI	Se soluciona cerrando la válvula de entrada

La mayoría de las variables Tipo C, que se encuentran en la Tabla 1, son fáciles de corregir y generalmente no presentan como consecuencia mayores inconvenientes; como es el caso del diferencial de presión en los filtros de cartucho, esta variable indica que el filtro se encuentra obstruido, es decir, no es un indicativo de que las membranas estén sucias o estén presentando algún problema. En el caso de que el flujo de entrada hacia el paso sea muy alto, esto se soluciona sencillamente cerrando la válvula, lo cual no genera mayores complicaciones y no existirá ningún daño en las membranas.

A continuación, se mencionan las variables Tipo B, las cuales se encuentran en Tabla 2, estas variables también son indicativo de que hay un problema con el funcionamiento en el sistema, asimismo, si estas no se corrigen, a mediano o largo plazo pueden generar daños en las membranas. Por otro lado, estas variable también pueden ser corregidas fácilmente; al estabilizarse el valor de la variable, esta no debería provocar mayores inconvenientes en el funcionamiento del sistema ni en las membranas.

Tabla 2. Variables Tipo B [5]

Variable	Justificación
Turbidez	Se corrige en el pretratamiento
Potencial de óxido reducción antes de ingresar al sistema de OI	Se corrige inyectando bisulfito de sodio. Una mala lectura ocasionaría problemas
pH antes de ingresar al sistema de OI	El anti incrustante pierde efectividad, se corrige inyectando ácido sulfúrico
Diferencial de presión en la succión de las bombas de alta presión del primer paso de OI	Solo afectaría a las membranas si se mantiene la falla a largo plazo
Conductividad antes de entrar al sistema	El sistema requiere cierto valor de conductividad para que no haya problemas con las membranas
Diferencial de presión en la succión de bombas de alta presión segundo paso OI	No hay un paso adecuado de agua por las membranas, solo afectaría a largo plazo
pH del permeado a la salida del segundo paso	Un pH muy alcalino puede provocar incrustaciones, se corrige añadiendo anti incrustante
Flujo de dosificación de anti incrustante	Un bajo flujo de anti incrustante ocasionaría incrustaciones en las membranas a mediano plazo

Analizando las variables Tipo B especificadas en la Tabla 2, en el caso del diferencial de presión en la succión de las bombas de alta presión del primer paso de OI y el diferencial de presión en la succión de las bombas de alta presión del segundo paso de OI, al no ser corregida esta variable, afectará el funcionamiento de las membranas, ya que por la falta de presión se impide el paso del agua a través de las membranas.

Sin embargo, estas no presentarán daños a corto plazo, y una vez sea corregido, el sistema seguirá funcionando correctamente y las membranas no presentarán mayores problemas. En el caso del pH antes de ingresar al sistema o el pH a la salida del permeado del segundo paso, estas variables de alguna forma sí pueden llegar a afectar a las membranas, incluso generar incrustaciones. No obstante, solo podrían causar daño a largo plazo, además de que son fáciles de corregir. Finalmente se tienen las variables de alta incidencia, encontradas en la Tabla 3:

Tabla 3. Variables Tipo A [5]

Variable	Justificación
Diferencial de presión en el banco de OI primer paso primera etapa	Posible obstrucción en las membranas, ocasionando daños en las mismas. Debe corregirse inmediatamente
Diferencial de presión en el banco de OI primer paso segunda etapa	
Diferencial de presión en el banco de OI segundo paso primera etapa	
Diferencial de presión en el banco de OI segundo paso segunda etapa	
Flujo de rechazo del primer paso de OI	Un bajo flujo de permeado significa que las membranas se encuentran obstruidas. Un alto flujo significa que están rotas.
Conductividad del permeado a la salida del primer paso de OI	La membrana no está haciendo su trabajo, puede estar rota
Flujo del rechazo del segundo paso de OI	Las membranas están obstruidas o hay una avería en el sistema
Flujo permeado segundo paso OI	Un bajo flujo de permeado significa que las membranas se encuentran obstruidas. Un alto flujo significa que están rotas.
Conductividad del permeado a la salida del segundo paso	La membrana no está haciendo su trabajo, puede estar rota
Presión en la línea de dosificación de bisulfito de sodio	El ingreso de cloro hacia las membranas puede dañarlas permanentemente
Flujo de dosificación de bisulfito de sodio	
Presión del permeado a la salida del primer paso de OI	Una variación en la presión indica una variación en el flujo; lo que significa que las membranas están obstruidas o rotas
Presión del permeado a la salida del segundo paso de OI	

La Tabla 3 se mostró las variables Tipo A, dado que son seleccionadas por dos principales razones: la primera es que su variación (aumento o disminución respecto al valor de referencia) es indicativo de que las membranas están presentando problemas y la segunda razón es que, si estas variables no son corregidas inmediatamente, podrían disminuir la efectividad de las membranas, acortar su tiempo de vida e incluso causar un daño irreversible en las mismas. Por ello que son consideradas las más influyentes en la operatividad del sistema de ósmosis inversa. Como es el caso del flujo en la línea de dosificación de bisulfito de sodio, si hay un flujo muy alto y esta variable no es corregida en un corto periodo de tiempo, podría haber un ingreso de cloro hacia las membranas.

En el caso de la conductividad eléctrica a la salida del primer y segundo paso, es una variable muy importante a tomar en cuenta, ya que, si el agua a la salida de alguno de los pasos posee una alta conductividad, las membranas no están haciendo nada, no están reteniendo las partículas, por lo tanto, lo más probable es que haya una ruptura en ellas.

Fase II. Descripción del proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa

El fabricante de las membranas de ósmosis inversa no explica un procedimiento detallado de cómo debe ser realizado el proceso, solo establece que dentro del banco de ósmosis se encuentran las bombas de enjuague (P-115A/B), la bomba de solución de limpieza (P-110) y el tanque de solución de limpieza (T-110). Se debe realizar el proceso de lavado cuando: la presión de entrada aumente 10%, la productividad baje un 10% o cuando la presión diferencial de las membranas aumente más de un 10%. Para el correcto funcionamiento del sistema de ósmosis inversa, se emplean los siguientes lavados:

- Lavado con solución de preservación

En caso de que el sistema de ósmosis inversa deba quedar fuera de servicio durante algunos días, es necesario realizar un enjuague al sistema; utilizando una solución de preservación que consiste en bisulfito de sodio al 0.5%. Es decir, esta solución de preservación quedará dentro del sistema durante el tiempo que el mismo se encuentre fuera de servicio.

- Enjuague automático

Cuando el sistema se detiene por alguna razón, es decir, hay un paro de planta; el agua pretratada deja de ingresar al sistema de ósmosis inversa, se detienen automáticamente las bombas de alta presión, las cuales son las encargadas de suministrar el agua pretratada. Inmediatamente la bomba de enjuague se activa, la cual toma agua del tanque de agua desmineralizada para hacer un retrolavado, el agua circula por todo el sistema, enjuagando las membranas y evitando que permanezcan sustancias de incrustación que puedan dañar las membranas.

- Lavado químico en el sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia I

Con el fin de que la planta tenga un buen funcionamiento y, las membranas no disminuyan su tiempo de vida, se requiere de un lavado químico cada cierto tiempo. Se recomienda que sea 3 a 4 veces al año, sin embargo, establecer una frecuencia de lavado ideal se hace complicado, ya que esto depende de la calidad del agua que ingresa al sistema de ósmosis inversa.

Es importante destacar que el sistema de ósmosis inversa está conformado por dos trenes que a su vez se dividen en dos pasos cada uno y los pasos se dividen en dos etapas. Para explicar el proceso de limpieza química se considerará el lavado de una sola etapa, ya que el procedimiento es el mismo para todas las demás. Una vez se evidencie que el rechazo de sales disminuye entre un 10 y 15% o que el diferencial de presión aumenta entre un 10 a 15%, se hace necesario realizar la limpieza química en el tren.

Se inicia con la preparación de la solución de limpieza. Primero, es necesario recordar que a las membranas se les pueden realizar dos tipos de lavados: alcalino o ácido. El tipo de lavado y producto químico a utilizar dependen del tipo de ensuciamiento que presenten las membranas. Es decir, para el lavado de las membranas se pueden emplear diferentes productos químicos y sustancias. Por ello, en el procedimiento

descrito para la preparación de la solución de limpieza no se especifican cantidades ni productos químicos a utilizar. Sin embargo, en la Tabla 4 se mencionan algunos productos usados para la limpieza.

Tabla 4. Productos empleados en el lavado químico [5]

	Sustancias empleadas	
	Lavado alcalino	Lavado ácido
Producto de limpieza	Hydroclean 212 original Tripolifosfato de sodio	Hydroclean 3100 original Ácido cítrico
Ajustador de pH	Soda cáustica	Ácido sulfúrico

Como se comentó, en la Tabla 4 se indican algunos los productos químicos encontrados en los registros, estos son los que más frecuentemente se utilizaban para ejecutar el lavado de las membranas. Como se observa, se tienen tres columnas, en donde se especifican los productos de limpieza y ajustadores de pH utilizados para cada tipo de lavado (alcalino y ácido). Cabe destacar que algunos de estos productos químicos se mencionan por su nombre comercial, como lo son el Hydroclean 212 original y el Hydroclean 3100 original. El tripolifosfato de sodio y el ácido cítrico también son productos químicos empleados para la limpieza. Por otro lado, en la última fila de la Tabla 4 se tienen los ajustadores de pH, estos se usan para llevar la solución de limpieza al pH requerido para ejecutar el lavado.

Para una mejor comprensión de los procesos realizados en el lavado químico de las membranas, en la Figura 1, se presenta un esquema de los equipos involucrados en el proceso de limpieza y la forma en que se encuentran conectados. Con todo esto es posible visualizar la manera en que se realizan cada uno de los procesos descritos.

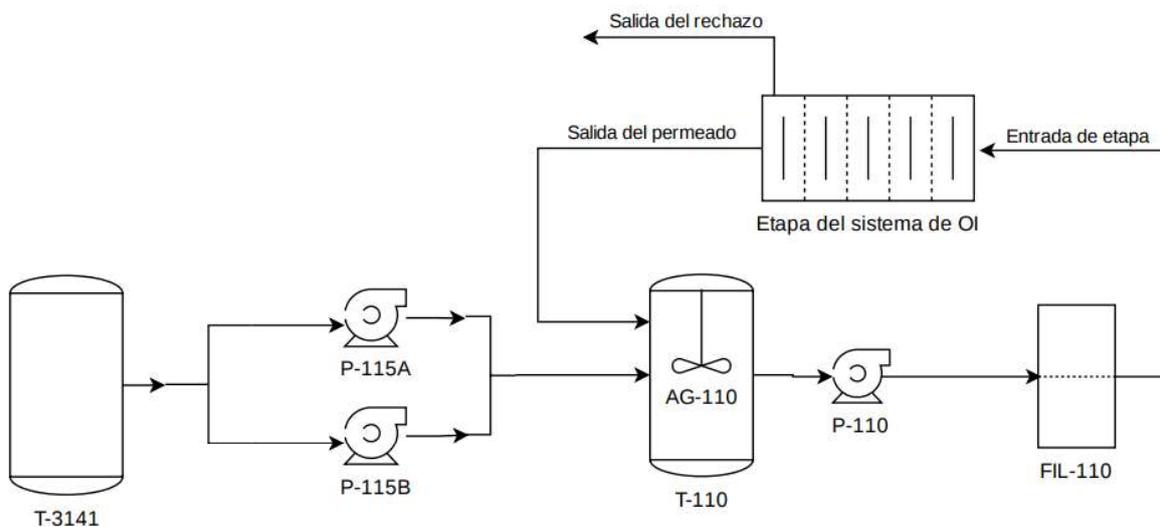


Figura 1. Esquema del sistema de lavado [5]

- Preparación de la solución de limpieza

Se cuenta con el tanque de solución de limpieza T-110, el cual se llena hasta aproximadamente un 80% de su capacidad con agua desmineralizada; las bombas de enjuague P-115A/B succionan el agua desmineralizada del tanque T-3141 y la envían al tanque T-110, esto se observa en la Figura 1. El siguiente paso es la adición del producto de limpieza, donde el tipo de producto y la cantidad a emplear dependerán del tipo de lavado que se le vaya a realizar al sistema. Para la preparación de la solución de limpieza alcalina, algunos de los productos frecuentemente empleados se mencionan en la Tabla 4. Luego de ser añadido el producto de limpieza, se debe ajustar el pH de la solución con el ajustador hasta que alcance un pH de entre 10.5 y 11.5.

Por otro lado, para preparar la solución de limpieza ácida se ejecuta un procedimiento similar al de la solución de limpieza alcalina; el tanque T-110 se llena hasta un 80% de su capacidad con agua desmineralizada y se añade el producto químico hecho especialmente para este tipo de lavado, algunos de estos se mencionan en

la Tabla 4. Luego de ser agregado el producto de limpieza, se debe ajustar el pH de la solución con el ajustador, hasta que alcance un pH aproximadamente de entre 2 y 3.

- Preparación del tren para el lavado

Cada uno de los procedimientos mencionados serán ejecutados en el paso que se encuentre fuera de servicio para lavar alguna de sus etapas. Primero, se debe cerrar la válvula que regula el agua de alimentación que ingresa a cada etapa, también se cierran las válvulas de salida de permeado y rechazo de cada etapa del sistema de ósmosis inversa. Todo esto para que el tren quede preparado para hacer las conexiones necesarias para la recirculación de la solución de limpieza en toda la etapa que requiera ser lavada.

Para que el lavado se efectúe de forma correcta y haya una recirculación de la solución de limpieza, se debe conectar la manguera de aplicación a la salida del filtro de cartuchos FIL-110, el otro extremo de la manguera de aplicación debe ser conectado a la entrada de manguera de la etapa que requiere ser lavada. Posteriormente, se debe conectar la manguera de retorno de la solución de limpieza a la salida del rechazo de la etapa que se desea lavar, el otro extremo de la manguera de retorno se conecta a la entrada de manguera del retorno de solución de limpieza del tanque T-110.

- Puesta en marcha del lavado químico

Para la puesta en marcha del lavado se deben revisar cada uno de los equipos involucrados en esta parte del procedimiento. Primero, la bomba de solución de limpieza P-110 y el filtro de cartucho FIL-110 deben ser alineados abriendo manualmente las válvulas de succión y descarga de los mismos. Se debe encender el agitador AG-110 que se encuentra en el tanque de limpieza T-110 y esperar el tiempo recomendado por el proveedor del producto químico para obtener una solución homogénea. Finalmente, con una resistencia se eleva la temperatura de la solución de limpieza hasta aproximadamente unos 40°C.

Una vez hechas todas las alineaciones y procedimientos, se arranca la bomba de limpieza P-110, inmediatamente se procede a comprobar la inexistencia de fugas en el circuito conectado, en caso de haber una fuga, esta debe ser corregida. La solución atraviesa las membranas y es devuelta al tanque T-110, es decir, queda recirculando en la etapa; el tiempo de recirculación es de aproximadamente una hora. Luego de pasada la hora en donde la solución de limpieza estuvo en recirculación, las membranas deben dejarse en remojo con la solución limpiadora durante otra hora (esto se conoce como tiempo de remojo), es decir, se detiene la bomba P-110 por una hora. Finalizado el tiempo, se enciende nuevamente la bomba y se deja la solución en recirculación durante dos horas más, para un total de cuatro horas de lavado. Mientras se está realizando el lavado, se deben estar revisando constantemente todos los equipos involucrados en el mismo.

Para garantizar que no haya rastros de la solución de limpieza en el sistema de ósmosis, es necesario enjuagar las membranas. Después de realizado el lavado, se detiene el proceso, por lo tanto, se apaga la bomba P-110 y se drena la solución de limpieza, la cual se encuentra impregnada del sucio arrastrado de las membranas. Una vez el tanque T-110 esté vacío, empleando las bombas P-115A/B, se le debe añadir agua desmineralizada proveniente del tanque T-3141. Luego se debe encender la bomba P-110 para recircular el agua, enjuagando las membranas y eliminando los restos de solución de limpieza que pudieran haber quedado.

Se debe estar observando cómo sale el agua de enjuague del sistema, mientras esta siga saliendo muy turbia, se debe ir drenando, y a su vez se debe ir añadiendo agua limpia (agua desmineralizada tomada del tanque T-3141). Este proceso debe realizarse hasta obtener un agua completamente limpia. Luego, se debe ajustar el sistema como se encontraba originalmente. Finalmente, se pone en marcha el sistema de ósmosis y se verifica que la caída de presión se encuentre en un valor normal, confirmando que el sistema está funcionando correctamente.

Fase III. Análisis de las fallas en el proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa

Para la identificación y posterior análisis de las fallas en el proceso de lavado de las membranas de ósmosis inversa se construyó una tabla utilizando el libro de registros de lavados de ósmosis inversa, la cual puede ser consultada en el Trabajo Especial de Grado de Atencio [5] etiquetada como Tabla 4.7. En dicha Tabla

se tienen las fechas en las que se realizó cada lavado químico durante el año 2017. También, se encuentran el tren, paso y etapa al cual se le realizó el lavado, ya que como se mencionó en la explicación del procedimiento para el lavado químico, en la planta de agua desmineralizada existen dos trenes (T1 y T2) de ósmosis inversa, exactamente iguales. De manera que si es necesario parar un tren, el otro se pone en funcionamiento. Solo se pone funcionamiento un tren a la vez, y cada uno está conformado por dos pasos y a su vez los pasos se dividen en dos etapas. Como se detalla en la Figura 2.

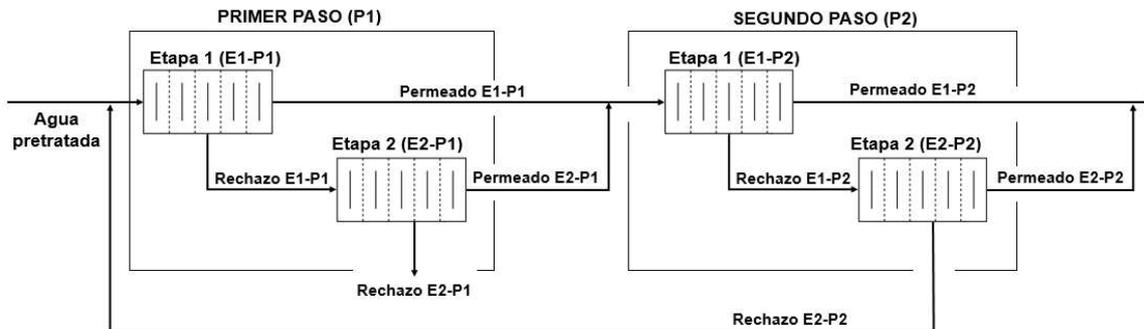


Figura 2. Esquema de los pasos y etapas en un tren de OI [5]

En la Figura 2 se explica cómo se relacionan los pasos y las etapas. El agua pretratada ingresa al Primer Paso en la Etapa 1. El permeado de la Etapa 1, que en este caso, se llama Permeado E1-P1 pasa directo al segundo paso del sistema. Mientras que el rechazo de la Etapa 1, llamado Rechazo E1-P1 ingresa a la Etapa 2 del Primer Paso. El permeado de la Etapa 2 (Permeado E2-P1) se conecta con el Permeado E1-P1, siendo ambas la alimentación del Segundo Paso. Finalmente, el Rechazo E2-P1 se desecha debido al alto contenido de sales. El mismo proceso sucede en el Segundo Paso, a diferencia de que el Rechazo E2-P2 se recicla a la alimentación del sistema, es decir, se mezcla con el agua pretratada antes de entrar al Primer Paso.

Es importante conocer el funcionamiento del sistema de ósmosis inversa de forma detallada, permitiendo una mejor comprensión de la Tabla 4.7 del Trabajo Especial de Grado de Atencio [5], ya que el lavado no se le realiza al tren completo ni al paso completo. La solución de limpieza se aplica una etapa a la vez. En dicha tabla se encuentran también los productos químicos y cantidades utilizadas, el tiempo que estuvo en recirculación, la solución de limpieza (tiempo de lavado) y, por último, las observaciones que pudieron ejecutarse mientras se ejecutaba el lavado. Las fallas en el proceso fueron las siguientes:

- Un solo tren operativo

Solo se le realizaron lavados al segundo tren del sistema, lo cual indica que el primer tren se encontraba fuera de servicio. La ausencia de uno de los trenes afecta la producción de agua desmineralizada. Si ambos trenes funcionaran, cuando el lavado químico es requerido y el tren a lavar queda fuera de servicio, el otro tren se hace cargo de la producción, por lo tanto, el sistema debería funcionar ininterrumpidamente. Al haber un solo tren operativo, hay que hacer lavados más frecuentes, propiciando una reducción de la vida útil de las membranas; esto implica mayores costos en limpieza y paradas frecuentes, generando una disminución en la productividad. La producción de agua desmineralizada se vio tan afectada, que incluso el 9 abril del 2017 no se pudo ejecutar el lavado debido al bajo nivel de agua en el tanque T-3141. Por lo antes mencionado, trabajar con un solo tren operativo durante tanto tiempo se considera una falla grave.

Los lavados para el año 2017 se estaban haciendo en intervalos de tiempo muy cortos, es decir, los lavados eran muy frecuentes. Para inicios de ese año, los días 15 de febrero, 21 de febrero y el 10 de marzo se le hizo lavado alcalino al Tren 2/Primer Paso/Etapa 2, es un período de tiempo muy corto entre cada lavado, a pesar de que esta etapa es la que más impurezas debe remover, y, por lo tanto, la que más frecuentemente se debería lavar, el período de tiempo entre cada lavado debería haber sido mayor, siendo indicativo de que había un problema en el sistema.

- Operación del sistema sin corrección del pretratamiento

El objetivo pasó a ser producir la mayor cantidad de agua sin velar correctamente por el adecuado funcionamiento de cada equipo involucrado en la planta, es decir, el sistema de ósmosis seguía produciendo agua, pero, al no cuidar los estándares de mantenimiento, las paradas del sistema se hicieron cada vez más frecuentes, llegando al punto de detener ambos trenes del sistema de ósmosis inversa. Muchas veces el agua se tornaba turbia cuando se realizaban los lavados, lo que indica que había un problema durante el pretratamiento y el agua estaba ingresando turbia al sistema de ósmosis inversa, el cual era sometido a operar a pesar de las condiciones del agua de alimentación.

- Ejecución del lavado sin un previo diagnóstico del ensuciamiento

NALCO [6], proveedor de los productos químicos utilizados en el lavado, afirma que para seleccionar el procedimiento y químicos, es necesario realizar diagnóstico del ensuciamiento en las membranas, para de esta forma identificar el tipo de ensuciamiento y agentes contaminantes, y de acuerdo a los resultados, establecer los productos y tipo de lavado a emplear, garantizando un lavado eficiente que elimine completamente el ensuciamiento.

Sin embargo, dicho diagnóstico no se realizaba correctamente al momento de ejecutar los lavados, los lavados alcalinos eran los más frecuentes y casi siempre se utilizaban los mismos productos químicos para la limpieza, en ningún momento se especifica el tipo de ensuciamiento que presentaban membranas, para así determinar el tipo y la cantidad de producto de limpieza a utilizar. De hecho, Veneagua [1] en su manual de operaciones de la planta de ósmosis inversa, especifica 3 tipos de soluciones de limpieza: Solución 1, Solución 2 y Solución 3; en la Tabla 5 se especifican los ingredientes y ajustadores de pH de cada una de las soluciones de limpieza.

Tabla 5. Soluciones de limpieza recomendadas por Veneagua [5]

Solución de limpieza	Ingredientes	Ajustador de pH
Solución 1	Ácido cítrico	Hidróxido de amonio
Solución 2	Tripolifosfato de sodio	Ácido sulfúrico
	Tetrasodio EDTA	
Solución 3	Tripolifosfato de sodio	Ácido sulfúrico
	Dodecibenceno sulfonato de sodio	

Las soluciones de limpieza especificadas en la Tabla 5 se deberían aplicar dependiendo del tipo de ensuciamiento que presenten las membranas, es decir, un diagnóstico del tipo de ensuciamiento es necesario. En el libro de registros de lavados ósmosis inversa no se especifican las razones del porqué se utilizaba el producto químico, es decir, se ejecutaba el lavado sin antes verificar el tipo de contaminante que había en las membranas.

Las soluciones de limpieza especificadas en la Tabla 5 se deberían aplicar dependiendo del tipo de ensuciamiento que presenten las membranas, es decir, un diagnóstico del tipo de ensuciamiento es necesario. En el libro de registros de lavados ósmosis inversa no se especifican las razones del porqué se empleaba el producto químico, es decir, se ejecutaba el lavado sin antes comprobar el tipo de contaminante que había en las membranas, por lo tanto, ejecutar el lavado sin un previo diagnóstico del ensuciamiento se considera una falla.

- Registro inadecuado de los lavados

Por otro lado, el registro diario de los parámetros de operación del equipo de ósmosis inversa y su periódico análisis, garantiza la posibilidad de detectar a tiempo problemas de incrustación u obstrucción de las membranas. Esto permite minimizar los tiempos de lavado y la cantidad de productos químicos, así también, evitar obstrucciones irreversibles. Muchas veces los registros no eran específicos. Parámetros como cantidad de producto químico y tiempo de lavado muchas veces no eran mencionados. Además, el registro se realizaba

de una manera informal, ya que no existía un formato de registros para el lavado químico de las membranas aprobado por la empresa, propiciando su inadecuado registro.

Fase IV. Propuesta de un procedimiento adecuado para la limpieza de las membranas de ósmosis inversa

Tomando en cuenta las variables que afectan el funcionamiento del sistema, junto con la descripción del proceso de lavado que era realizado y el posterior análisis de las fallas, se realizó un plan de mantenimiento, con el cual se busca minimizar la posibilidad de errores durante el proceso de lavado. De esta manera, se espera alcanzar un adecuado mantenimiento de las membranas, para que puedan hacer su función de retener las sales del agua de manera eficaz, garantizando su larga vida útil y que, en general, el sistema de ósmosis inversa opere sin presentar mayores problemas.

- Diagnóstico del tipo de ensuciamiento

Previo al lavado, es necesario identificar los posibles contaminantes depositados en las membranas y asegurar que el producto químico seleccionado eliminará por completo el ensuciamiento, por ello, se debe hacer un correcto diagnóstico del tipo de contaminante que está afectando a la membrana. Esto se logra por observación directa de la membrana, haciendo un análisis sencillo al contaminante que la rodea y también conociendo las características fisicoquímicas del agua que ingresa al sistema de ósmosis inversa, dependiendo de estas, es posible predecir el tipo de ensuciamiento y agentes contaminantes que obstruyen la membrana.

Es por ello que, dependiendo del tipo de contaminante, se proponen los nuevos productos químicos a utilizar en el lavado químico de las membranas. El fabricante es American Water Chemicals (AWC) [7], sus productos químicos de limpieza de membranas están formulados para todo tipo de sistemas de membranas de ósmosis inversa, desde los que se emplean en aplicaciones de alimentos y bebidas hasta aplicaciones de reutilización de agua.

- Productos a emplear para el lavado químico

Todos los productos químicos de limpieza de la AWC están aprobados por la Fundación Nacional de Sanidad (NSF) [7], bajo la norma NSF/ANSI 60 para su uso en sistemas que utilicen membranas para el tratamiento del agua, en este caso, la ósmosis inversa. Para la limpieza del sistema de ósmosis inversa en Planta Termozulia I, en la Tabla 6 se proponen diferentes productos químicos para la limpieza de las membranas, en las cuales no se especifican los componentes del producto, solo se establece su nombre comercial.

El objetivo de contar con varios productos químicos es asegurar que sin importar el tipo de ensuciamiento y lo severa que sea la obstrucción, sea posible contar siempre con un producto químico que elimine por completo los contaminantes. Se establecieron productos químicos para realizar limpiezas alcalinas y ácidas. En la Tabla 6 se indican los contaminantes que elimina dicho producto, el pH del producto químico puro, sin haber sido disuelto en agua y finalmente, se establece la dosis que debe ser empleada de cada producto químico al momento de preparar la solución de limpieza. Para consultar la hoja de información, los productos, dirigirse a los Apéndices presentados en el Trabajo Especial de Grado de Atencio [5].

Tabla 6. Productos químicos para la limpieza alcalina y ácida [5]

Producto químico	Contaminante	pH	Dosis
Alcalino			
AWC C-239	Incrustación difíciles de sulfato de estroncio, sulfato de calcio y sulfato de hierro	9-Oct	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-238	Sulfato de calcio hidratado	7-set	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-236	Sílice polimerizada y depósitos coloidales de sílice	>12	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-218	Películas biológicas, contaminantes orgánicos, arcillas y sílice coloidal	11.8–12.1	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-241	Películas biológicas, contaminantes orgánicos, arcillas, sílice coloidal, sulfatos, fluoruros y silicatos	>12	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-230	Ensuciantes coloidales, lodos y arcillas	Nov-13	2 L del producto por cada 100 L de agua
Ácido			
AWC C-209	Severas incrustaciones de carbonatos y fosfatos	2-Mar	2 kg por cada 100 L de agua
AWC C-217	Incrustaciones de carbonato, fosfato y sulfato, así como también óxidos metálicos	<2	2 L del producto por cada 100 L de agua
AWC C-225	Severas obstrucciones por óxidos metálicos	1.5–2.5	1.5 kg del producto por cada 100 L de agua

Asimismo, al especificar los tipos de contaminantes que elimina cada producto químico, es posible seleccionar el producto que garantice una limpieza exitosa y que lo que esté impidiendo el buen funcionamiento de las membranas sea eliminado por completo. El procedimiento para la preparación de la solución de limpieza varía según el producto químico. AWC [7] en la mayoría de sus procedimientos recomendados para la preparación de la solución de limpieza, establece que la eficacia de la limpieza puede ser mejorada al calentar la solución limpiadora. No especifican una temperatura, ya que esto depende del tipo de membrana y el pH de la solución. Por lo tanto, la temperatura y el pH de la solución limpiadora deben ser seleccionados. La Tabla 7 establece los límites de temperatura y pH al cual puede trabajar la membrana según su fabricante, Hydranautics. [8]

Tabla 7. Límites de temperatura y pH para el lavado de las membranas de poliamida compuesta (CPA) [8]

Temperatura	50 °C	≤ 45 °C	≤ 35 °C	≤ 25 °C
pH	Contactar a Hydranautics	2 a 11.50	1 a 12	1 a 13

En la Tabla 7, dependiendo del pH de la solución, se establece la máxima temperatura a la cual puede elevarse la solución de limpieza, por lo tanto, si se requiere que la solución limpiadora tenga un pH de 12.5, la máxima temperatura a la que puede elevarse, sin causar daños en las membranas, es 25 °C. Cabe destacar que estos límites establecidos son únicamente para las membranas de poliamida compuesta, fabricadas por Hydranautics [8], las cuales son las utilizadas en Planta Termozulia I. Para la elaboración de los procedimientos de lavado a emplear con cada producto químico, también se cuenta con la Tabla 8, la cual indica el pH y la temperatura que debe alcanzar la solución de limpieza según AWC [7]. Asimismo, en la tercera columna se establece la temperatura máxima a la que puede ser llevada la solución de limpieza sin causar daños en la membrana según los límites establecidos por Hydranautics. [8]

Tabla 8. Temperatura máxima permitida en la solución de limpieza [5]

Producto químico	pH solución	Temperatura recomendada por AWC	Temperatura máxima
Alcalino			
AWC C-239	13	40-45°C	25 °C
AWC C-238	7-set	No especifica	40 °C
AWC C-236	Dic-13	No especifica	25 °C
AWC C-218	11.8-12	No especifica	35 °C
AWC C-241	11-Dic	No especifica	35 °C
AWC C-230	10-Nov	No especifica	40 °C
Ácido			
AWC C-209	2-Mar	No especifica	45 °C
AWC C-217	2-2.5	No especifica	45 °C
AWC C-225	1.5-2.5	No especifica	35 °C

Como se aprecia en la Tabla 8, en el caso de producto AWC C-239, la temperatura recomendada por AWC [7] que debe alcanzar la solución de limpieza es 40 a 45 °C, sin embargo, según lo establecido por Hydranautics, [8] cuando la solución de limpieza que va a ser utilizada en sus membranas de poliamida compuesta (CPA) tiene un pH igual o mayor a 13, la máxima temperatura que puede alcanzar dicha solución sin causar ningún daño en las membranas es 25 °C. El pH al que trabaja dicho producto es muy elevado. Por lo tanto, el producto químico AWC C-239 queda descartado para ser empleado en el procedimiento de limpieza de las membranas de ósmosis inversa de Planta Termozulia I.

En cuanto al resto de los productos químicos, AWC [7] no especifica ninguna temperatura, solo menciona que se debe “elevar la temperatura”, la cual debe ser seleccionada según los límites establecidos por el fabricante de las membranas. El objetivo es emplear un lavado químico que se ajuste a los requerimientos del fabricante de las membranas y al proveedor de los limpiadores. Para el resto de los productos limpiadores, las temperaturas a usar serán las que recomienda Hydranautics. [8]. En la Tabla 9 se establecen los procedimientos de preparación de la solución de limpieza, y la presentación del producto, siendo todos los alcalinos líquidos.

Tabla 9. Preparación de solución de limpieza con productos químicos alcalinos y ácidos [5, 7]

Producto químico	Preparación
Alcalino	
AWC C-238 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua. Elevar la temperatura de la solución sin exceder los 40°C y mezclar completamente. La duración de la limpieza depende de la cantidad y naturaleza del ensuciamiento, sin embargo, un mínimo de 6 horas es lo recomendado.
AWC C-236 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. El pH debe ser ajustado entre 12-13. Se debe calentar la solución limpiadora sin exceder los 25°C. El lavado debe realizarse alternando entre circular la solución por el sistema 15 minutos y remojar las membranas por 15 minutos. Esto se debe repetir tantas veces como sea necesario. El pH debe ser ajustado al rango deseado agregando del mismo producto químico AWC C-236.
AWC C-218 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. El pH debe ser ajustado entre 11.80-12. Se debe calentar la solución limpiadora sin exceder los 35°C. El lavado debe realizarse alternando entre circular la solución por el sistema 30-60 minutos y remojar las membranas por 30-60 minutos. Esto se debe repetir por un mínimo de 4-6 horas. El pH debe ser monitoreado cada 30 minutos durante la limpieza y si se encuentra debajo del rango deseado se debe ajustar agregando del mismo producto químico AWC C-218.
AWC C-241 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. El pH debe ser ajustado entre 11-12. Se debe calentar la solución limpiadora a aproximadamente unos 35°C. El lavado debe realizarse alternando entre circular la solución por el sistema 30-60 minutos y remojar las membranas por 30-60 minutos. Esto se debe repetir por un mínimo de 4-6 horas. El pH debe ser monitoreado cada 30 minutos durante la limpieza y si se encuentra debajo del rango deseado, se ajusta agregando del mismo producto químico AWC C-241.
AWC C-230 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. Luego, se debe elevar la temperatura sin exceder los 40°C, posteriormente se hace circular la solución a través del sistema, monitoreando el pH, el cual se debe encontrar en un rango de entre 10 y 11. Si el pH baja del rango deseado se debe ajustar agregando del mismo producto químico AWC C-230. La duración del ciclo de limpieza depende de la cantidad y la naturaleza del ensuciamiento, es recomendable alternar las veces que sea necesario una hora de circulación y remojar durante 20 minutos.
Ácido	
AWC C-209 (en polvo)	Usar agua permeada. Agregar 2 kg del producto por cada 100 litros de agua. Mezclar completamente, elevar la temperatura de la solución sin exceder los 40°C. El lavado debe realizarse alternando entre circular la solución limpiadora por el sistema durante 60 minutos y remojar las membranas durante 30-60 minutos para un total de tiempo de limpieza de 4-6 horas. El pH debe mantenerse entre un rango de 2-3 durante todo el procesos de limpieza, en caso que sea necesario ajustar el pH, debe agregarse del mismo producto AWC C-209.
AWC C-217 (líquido)	Usar agua permeada. Agregar 2 litros del producto por cada 100 litros de agua. Mezclar completamente y ajustar el pH a un rango entre 2 y 2.50 agregando más cantidad del producto hasta que el pH alcance el valor deseado. Elevar la temperatura de la solución sin exceder los 40°C y hacer circular la solución durante 60 minutos y luego remojar las membranas por 30 minutos. Esto debe repetirse por un tiempo de exposición total de 2 a 4 horas. El rango del pH debe ser monitoreado cada 15 minutos, cuando el pH se encuentre por encima del rango deseado debe ser ajustado adicionando más AWC C-217.
AWC C-225 (polvo)	Usar agua permeada. Agregar 1.5 kilogramos del producto por cada 100 litros de agua y mezclar completamente. Se debe calentar la solución limpiadora sin exceder los 40°C y comenzar la circulación de la solución de limpieza durante unas 4 horas.

- Productos químicos a emplear para limpiezas de mantenimiento

La desventaja de utilizar una amplia variedad de productos químicos es que hay algunos tipos de contaminantes que solo se presentarán en ocasiones específicas, por lo tanto, algunos de estos productos limpiadores no será necesario comprarlos en grandes cantidades. La limpieza de mantenimiento es necesaria

realizarla cada 3 a 4 meses, es importante que la membrana no se encuentre severamente obstruida, que solo esté contaminada por sólidos suspendidos o sales insolubles que están presentes en el agua de alimentación y que, por lo tanto, su presencia en el sistema de ósmosis inversa. En consecuencia, al pasar varios meses operando el sistema sin haber presentado problemas durante ese tiempo, se debe hacer la limpieza química de mantenimiento.

Para la selección de los productos químicos a emplear en las limpiezas de mantenimiento, se tomaron en cuenta sus características como agente limpiador, cantidad de contaminantes que es capaz de remover, pH y temperatura de la solución de limpieza. Estos productos químicos deben tener la capacidad de ejecutar una limpieza agresiva, sin causar ningún daño en las membranas y respetando los límites establecidos por el fabricante. En este sentido, se proponen dos productos químicos (uno para la limpieza alcalina y otro para la limpieza ácida), los cuales se establecen en la Tabla 10, donde se indican el pH de la solución de limpieza, el tiempo aproximado que toma ejecutar la limpieza y la temperatura a la que debe ser llevada la solución.

Tabla 10. Productos químicos para las limpiezas de mantenimiento [5]

Producto químico	pH de la solución	Tiempo de limpieza	Temperatura de solución
AWC C-241	11 a 12	4 a 6 horas	35°C
AWC C-217	2 a 2.5	2 a 4 horas	40°C

Para la limpieza alcalina se utilizará el producto químico AWC C-241, ya que este limpiador garantiza la eliminación de una amplia variedad de contaminantes y es efectivo para remover depósitos de hidróxido de hierro. La limpieza es agresiva, con un pH de entre 11-12, un tiempo de limpieza de 4 horas es suficiente, además, es estrictamente necesario no exceder los 35 °C, siendo esta temperatura lo suficientemente elevada para lograr una limpieza exitosa sin generar daños en las membranas.

Para la limpieza ácida se usará el producto químico AWC C-217, ya que además de eliminar diferentes tipos de contaminantes, contiene una mezcla sinérgica de limpiadores y removedor de incrustaciones severas, también es capaz de eliminar ciertos precipitantes inorgánicos, garantizando una limpieza efectiva. Asimismo, un pH de entre 2 - 2.5 y una temperatura de 40 °C, con un tiempo de limpieza corto, permiten ejecutar un lavado agresivo sin causar daño en las membranas. Otra razón por la cual se seleccionó este producto para las limpiezas de mantenimiento, es porque puede ser empleado después de la limpieza alcalina (en caso de ser necesarias ambas limpiezas).

- Nuevo lavado químico en el sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia I

Una vez establecidos los productos a utilizar para el lavado químico con sus respectivos procedimientos de preparación para la solución de limpieza y los medidores de SDI y SDT, se hace necesario describir nuevamente el procedimiento de lavado en la planta de ósmosis inversa en el ciclo I de Planta Termozulia. El proceso es similar, sin embargo, cuenta con algunos cambios, que incluyen un medidor de del índice de densidad de sedimentos (SDI) y un medidor de sólidos disueltos totales (SDT) que asegurarán un procedimiento de lavado más adecuado.

El primer paso para la ejecución del lavado consiste en la medición del índice de densidad de sedimentos al agua de alimentación del sistema de ósmosis inversa y verificar que el valor sea menor a 3 unidades. Por ello, es obligatorio medir el SDI antes de cada lavado químico del sistema de ósmosis inversa. Si la medición arroja un valor mayor a tres (3), es necesario hacer una revisión al pretratamiento, evaluar qué tan obstruidas se encuentran las membranas y estimar el tipo de contaminante para utilizar producto químico adecuado. En caso de que la medición del SDI arroje un valor menor o igual a tres (3), se debe proseguir con el procedimiento de limpieza usando los productos químicos recomendados para las limpiezas de mantenimiento.

Para la preparación de la solución de limpieza se cuenta con los mismos equipos: el tanque de solución de limpieza T-110, que debe ser llenado hasta aproximadamente un 80% de su capacidad con agua desmineralizada; encendiendo las bombas de enjuague P-115A/B que succionan el agua desmineralizada del tanque T-3141 y

la envían al tanque T-110. El siguiente paso es la adición del producto químico para la limpieza. Para la preparación de la solución de limpieza se deben seguir los procedimientos establecidos en la Tabla 9.

Seguidamente, se debe preparar el tren para el lavado, el procedimiento es el mismo en este caso, y cada uno de los procedimientos mencionados serán ejecutados en el paso que se encuentre fuera de servicio para lavar alguna de sus etapas. Primero, se debe cerrar la válvula XV-201, la cual regula flujo del agua de alimentación que ingresa al tren, también se cierran las válvulas de salida de permeado y rechazo de cada etapa del sistema de ósmosis inversa. Todo esto para que el tren quede preparado para hacer las conexiones necesarias para la recirculación de la solución de limpieza en toda la etapa que requiera ser lavada.

Para que el lavado se efectúe de forma correcta y haya una recirculación de la solución de limpieza, se debe conectar la manguera de aplicación a la salida del filtro de cartuchos FIL-110, el otro extremo de la manguera de aplicación debe ser conectado a la entrada de manguera de la etapa que requiere ser lavada. Posteriormente, se debe conectar la manguera de retorno de la solución de limpieza a la salida del rechazo de la etapa que se desea lavar, el otro extremo de la manguera de retorno se conecta a la entrada de manguera del retorno de solución de limpieza del tanque T-110.

Para la puesta en marcha del lavado se deben verificar cada uno de los equipos involucrados en esta parte del procedimiento. Primero, la bomba de solución de limpieza P-110 y el filtro de cartucho FIL-110 deben ser alineados abriendo manualmente las válvulas de succión y descarga de los mismos. Se debe encender el agitador AG-110 que se encuentra en el tanque de limpieza T-110 y esperar el tiempo recomendado por el proveedor del producto químico para obtener una solución homogénea. Finalmente, con una resistencia se eleva la temperatura de la solución de limpieza siguiendo las indicaciones de la Tabla 9.

Una vez hechas todas las alineaciones y procedimientos, se arranca la bomba de limpieza P-110, inmediatamente se procede a revisar la inexistencia de fugas en el circuito conectado, en caso de haber una fuga, esta debe ser corregida. La solución atraviesa las membranas y es devuelta al tanque T-110, los tiempos de recirculación y remojo son establecidos en la Tabla 9. Mientras se está realizando el lavado, se deben estar comprobando constantemente todos los equipos involucrados en el mismo, y cada 15 minutos monitorear el pH de la solución.

Es necesario garantizar que no haya rastros de la solución de limpieza en el sistema de ósmosis, por ello, las membranas deben ser enjuagadas. Después de ejecutado el lavado, se detiene el proceso, por lo tanto, se apaga la bomba P-110 y se drena la solución de limpieza, la cual se encuentra impregnada del sucio arrastrado de las membranas. Una vez el tanque T-110 esté vacío, empleando las bombas P-115A/B, se le debe añadir agua desmineralizada proveniente del tanque T-3141. Luego se debe encender la bomba P-110 para recircular el agua, enjuagando las membranas y eliminando los restos de solución de limpieza que pudieran haber quedado. Se debe estar observando cómo sale el agua de enjuague del sistema, mientras esta siga saliendo muy turbia, se debe ir drenando, y a su vez se debe ir añadiendo agua limpia (agua desmineralizada tomada del tanque T-3141). Este proceso debe realizarse hasta obtener un agua completamente limpia.

Para asegurarse de que la limpieza ha sido efectiva, se debe utilizar el medidor de sólidos totales disueltos (SDT), es decir, como se aprecia en la Figura 3, hay una toma de muestra del SDT a la salida de la etapa (SDT-SE) y otro a la entrada de la etapa (STD-EE), cuando el valor del SDT sea igual o similar en la entrada y en la salida de la etapa que se esté lavando, es decir, que sea igual o parecido en ambos puntos de medición y menor a 500 ppm se dará por terminado el enjuague. Luego, se debe ajustar el sistema como se encontraba originalmente. Finalmente, se pone en marcha el sistema de ósmosis y se verifica que la caída de presión se encuentre en un valor normal, confirmando que el sistema está funcionando correctamente.

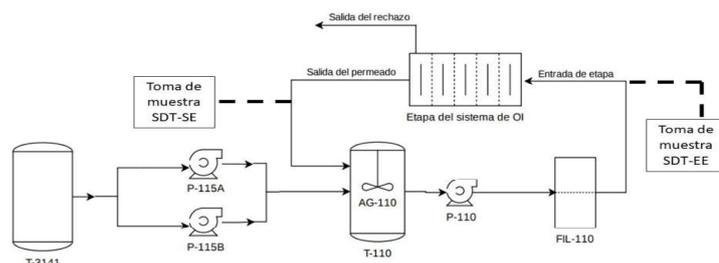


Figura 3. Tomas de muestra del SDT en el enjuague [5].

- Formato para el registro de los lavados

El registro de los parámetros de operación del equipo de ósmosis inversa permite tener un historial del comportamiento del sistema a lo largo del tiempo; dicha información puede ser utilizada para tomar decisiones de manera objetiva al momento de realizar algún ajuste en el sistema y garantiza la posibilidad de detectar a tiempo problemas de incrustación u obstrucción de las membranas. Para llevar a cabo un adecuado registro del comportamiento de los parámetros más influyentes en el sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia I, se propone un formato donde se deben registrar variables que serán verificadas y medidas antes, durante y después del lavado. El formato de registro está dividido en cuatro secciones, las cuales son: medición de parámetros previos al lavado, datos del lavado, tiempos de lavado y observaciones. Este formato de registro puede ser consultado en el Trabajo Especial de Grado de Atencio [5] etiquetado como Figura 4.6.

Conclusiones

Se determinó que las variables más influyentes en la operatividad del sistema de ósmosis inversa son aquellas que, si no son corregidas inmediatamente, podrían disminuir la efectividad de las membranas, acortar su tiempo de vida e incluso causar un daño irreversible en las mismas. En este sentido, las variables que más incidencia tienen en la operatividad del sistema de ósmosis inversa son: el diferencial de presión en cada uno de los bancos de ósmosis, flujo de rechazo de primer y segundo paso, conductividad del permeado en cada paso, presión y flujo en la línea de dosificación de bisulfito de sodio y presión del permeado a la salida de cada paso.

Por otro lado, existen tres principales métodos de limpieza para el sistema de ósmosis inversa, los cuales son: lavado con solución de preservación, enjuague automático y la limpieza química. A partir de la información recolectada se pudo determinar el procedimiento detallado de la limpieza química ejecutado al sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia, el cual es el método de limpieza más importante, ya que garantiza el óptimo funcionamiento del sistema, y su correcta aplicación permite que las membranas tengan una larga vida útil, por lo tanto, tener un procedimiento detallado de la realización de este lavado es indispensable para cualquier planta de ósmosis inversa.

Es fundamental destacar que el procedimiento de lavado que se realizaba al sistema de ósmosis inversa de Planta Termozulia I presentaba las siguientes fallas: funcionamiento del sistema con un solo tren operativo, forzar a operar el sistema sin velar por el adecuado funcionamiento de cada equipo involucrado en la planta, ejecutar el lavado sin antes verificar el tipo de contaminante que había en las membranas y llevar un registro inadecuado de lavados, ya que muchas veces se dejaban de especificar datos esenciales para la evaluación del sistema.

La temperatura y el pH son variables fundamentales para la correcta preparación de la solución de limpieza, porque hay que respetar los límites establecidos por el fabricante de las membranas para no dañarlas. Por esta razón, para las limpiezas de mantenimiento se utilizarán los productos químicos AWC C-241 (limpiador

alcalino) y AWC C-217 (limpiador ácido). Ambos eliminan diferentes tipos de contaminantes y permiten realizar una limpieza agresiva, respetando los límites de pH y temperatura establecidos por el fabricante sin causar daño en las membranas.

Referencias Bibliográficas

[1] Veneagua, c.a. Suministro e instalación de plantas de tratamiento de agua proyecto Termozulia: Manual de operaciones. Documento N° 1260-P028-1-001, (2003).

[2] Abarca, P. Descripción de Calderas y Generadores de Vapor. Asociación Chilena de Seguridad, (2018). <https://es.scribd.com/doc/54482037/ACHS-Descripcion-Calderas>

[3] Carbotecnia. ¿Qué es y cómo funciona la ósmosis inversa?, (2021). <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/osmosis-inversa/que-es-la-osmosis-inversa-purificador/>

[4] Segovia, M. Propuesta de optimización del sistema pretratamiento de agua y ósmosis inversa de la Planta Termozulia en el Complejo Termoeléctrico General Rafael Urdaneta (CTGRU) de Enelven. (Trabajo Especial de Grado en Ingeniería Química, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo-Venezuela, (2007).

[5] Atencio, D. Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia. (Trabajo Especial de Grado en Ingeniería Química, Universidad Rafael Urdaneta). Maracaibo-Venezuela, (2021).

[6] Nalco. Procedimiento de limpieza para membranas de ósmosis inversa, (2011).

[7] American Water Chemicals. Productos Químicos para Limpieza de Membrana. American Water Chemicals, Inc. (2021). <https://www.membranechemicals.com/es/product-category/productos-quimicos-para-limpieza-de-membrana/>

[8] Hydranautics. Technical Applications Bulletin – TAB 116, (2020). <https://membranes.com/wp-content/uploads/Documents/TSB/TSB107.pdf>

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado desarrollado por Atencio (2021), titulado: Plan de mantenimiento para las membranas de ósmosis inversa en la planta desmineralizadora de ciclo I de Planta Termozulia, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela

Sidra artesanal de manzana granny smith a partir del proceso metabólico de fermentación alcohólica

Handmade granny smith apple cider from metabolic process of alcoholic fermentation

Génesis Gabriela Godoy Cordero

Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela
Correo Electrónico: genesisgodoy4@gmail.com

Kenyeli Dayana Salas Pirona

Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela
Correo Electrónico: kenyelisalas@gmail.com

Arelis Josefina Arrieta

Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela
Correo Electrónico: ingarelisarrieta@gmail.com

Recibido: 24-01-2022

Aceptado: 18-04-2022

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo obtener sidra artesanal de manzana, Granny Smith a partir del proceso de fermentación alcohólica. Se necesitaron 6.25 kg de manzanas, 1.4 kg de azúcar y 4 g de levadura para obtener 4 litros de sidra. Al mosto se le evaluaron las propiedades fisicoquímicas: densidad (1.041 g/ml), °Brix (10.5) y pH (3.6). La fermentación duró 8 días. Se determinaron las propiedades fisicoquímicas de la sidra: densidad (0.99 g/ml), °Brix (3.2), pH (3.983), acidez total (6.62 g/l), GL (6.98) e IR (1.3526); cumpliendo así con los estándares establecidos en la norma COVENIN 3342-97 y de los diversos autores. El análisis sensorial caracterizó la sidra con un color amarillo verdoso de media intensidad, sabor y sensación en la boca entre amargo y ácido con una persistencia post-gusto y calidad alta. Finalmente, tanto el aroma y olor con la copa en reposo fue evaluado como frutal.

Palabras clave: Sidra artesanal, Granny smith, fermentación alcohólica.

Abstract

The present research work was aimed to obtain handmade Granny Smith apple cider, from alcoholic fermentation process. It took 6.25 kg of apples, 1.4 kg of sugar and 4 g of yeast to obtain 4 liters of cider. The physicochemical properties of the apple juice were evaluated: density (1,041 g / ml), ° Brix (10.5) and pH (3.6). Fermentation lasted 8 days. The physicochemical properties of the cider were determined: density (0.99 g / ml), ° Brix (3.2), pH (3.983), total acidity (6.62 g / l), GL (6.98) and IR (1.3526); thus complying with the standards established in the COVENIN 3342-97 norm and of the various authors. The sensory analysis characterized the cider with a medium intensity greenish yellow color, taste and mouthfeel between bitter and acidic with a persistence after taste and high quality. Finally, both the aroma and smell with the glass at rest were evaluated as fruity.

Key words: Handmade cider, granny Smith, alcoholic fermentation.

Introducción

El término sidra engloba una gran diversidad de productos derivados de la fermentación del mosto de manzana ya sea puro o mezclado con pera, que según la norma COVENIN 3340-97 [1] presenta un grado alcohólico entre 2 a 7. Los principales productores de sidra son Inglaterra, España, Francia, Alemania e Irlanda. Todo este sector posee una elevada capacidad tecnológica y de comercialización, cuyos principales destinos son: Cuba, República Dominicana, Estados Unidos, Venezuela, y México.

Venezuela se ha caracterizado por ser uno de los consumidores más importantes de whisky en el mundo, pero su interés se ha visto desplazado hacia el vino. Debido a la crisis económica caracterizada por una fuerte inflación, personas que antes consumían vinos ya no lo hacen por su alto costo de importación y es por esto que la sidra, que cuenta con un costo de importación menor, se presenta como una alternativa a la demanda insatisfecha en el mercado actual.

El mosto de manzana utilizado para elaborar la sidra puede llegar a usar hasta cientos de variedades de manzanas. Estas combinaciones ofrecen una perfecta mezcla entre lo ácido, lo dulce y amargo para conseguir un equilibrio en el sabor de la sidra. A todo esto se plantea el uso de un cierto tipo de manzana llamada Granny Smith originaria de Australia. Dentro de sus características más fascinantes están su textura firme y jugosa; sabor de acidez baja, contenido de azúcares medio, dulce, perfumada. Además, ésta es fuente discreta de vitamina E y vitamina C. Es rica en fibra por lo que mejora el tránsito intestinal y entre su contenido mineral sobresale el potasio.

Para la realización de este trabajo de investigación se emplea el proceso de fermentación alcohólica para la obtención de la sidra natural a partir de la manzana Granny Smith. Además, se busca la estimación adecuada de las materias primas que se necesitan para el proceso de elaboración, así como también el análisis fisicoquímico del mosto a utilizar y la sidra natural. Adicionalmente, se hará un análisis sobre las propiedades organolépticas de la bebida resultante.

Materiales y Métodos

Esta investigación se enmarcó en el nivel descriptivo. En este sentido, a través de técnicas analíticas y una representación precisa se ofreció información real de las diferentes variables relacionadas con la obtención de una sidra artesanal de manzana Granny Smith y su posterior caracterización, las cuales permitieron analizar las diversas propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la sidra natural. Se tiene además una investigación con un diseño de tipo experimental ya que se manipularon ciertas variables independientes (cantidad de manzanas, levadura y azúcar, utilizadas en el proceso) para analizar sus posibles resultados: propiedades organolépticas (color, aroma, sabor, contenido de alcohol) y fisicoquímicas (densidad, °Brix, °GL, IR y pH) de la sidra. A continuación, se presentan los procedimientos y las diferentes fases establecidas para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

Con respecto a la unidad de análisis, de una forma simple la sidra es una bebida alcohólica de baja graduación, espumosa y agridulce que se obtiene por fermentación del jugo de manzana. Sin embargo, la norma COVENIN 3340-97 [1] amplía su caracterización diciendo que la sidra es una bebida con un contenido alcohólico que va desde los 3 hasta los 7 GL.

Para el jugo de manzana que forma parte del mosto que se necesita para la elaboración de la sidra, generalmente se utilizan varios tipos de manzanas. La selección en esta fase se realiza con mucho cuidado ya que estos frutos determinarán las características sensoriales y fisicoquímicas de la sidra resultante. Como se comentó anteriormente, las manzanas utilizadas fueron del tipo Granny Smith. Para hacer una descripción detallada de la manzana comprada es necesario decir que tenían una piel de color verde intenso, con algunos puntos blanquecinos (lenticelas) con un leve un rubor rosado. Cada manzana tenía forma redondeada, algo cónica, y su carne era blanca, muy crujiente y jugosa, de sabor ácido y delicado aroma.

Fase I. Estimación de la cantidad de manzanas, Granny Smith, azúcar y levadura para el proceso de fermentación.

Para esta primera fase se utilizó como referencia la investigación realizada por Fernández [2] basado en un proyecto que consistía en la puesta en marcha de una planta de elaboración de sidra natural con una producción de 20.000 litros anuales cuya materia prima necesaria se estima según los cálculos de pérdidas y rendimientos que tienen lugar a lo largo de todo el proceso productivo. Por lo que se estimó que para producir 1 litro de sidra natural se necesitan aproximadamente 1.67 kg de manzanas, 1 kilogramo de manzana por cada litro de agua para el zumo iniciador, 1 gramo de levadura por cada litro de zumo y 350 gramos de azúcar.

Fase II. Determinación de las propiedades fisicoquímicas del zumo de manzanas, Granny Smith

La elaboración del zumo se vio comprendida en una serie de pasos: recepción de la materia prima, lavado y extracción. Luego se procedió a llevar a cabo los análisis fisicoquímicos correspondientes al zumo de manzana. Para esto se utilizaron los siguientes procedimientos:

a) Medición de pH (COVENIN 1315-79) [3]

Se sumergen los electrodos del potenciómetro en un vaso de precipitado que contenga agua destilada, luego se conecta el aparato y se lleva el control a posición "neutral" y se espera que se caliente por 5 minutos. Los electrodos se sacan del agua destilada y se secan con una toalla de papel fino. Este procedimiento se repite con una solución tampón del pH más cercano al pH de la muestra, se sumergen los electrodos, se calibra el aparato de acuerdo al pH de la solución tampón, se devuelve el control a la posición neutral, se sacan los electrodos de la solución tampón, luego se lava con agua destilada y se secan los electrodos con papel muy fino. Este mismo procedimiento se hace para la muestra de zumo (20 ml) tomando antes su temperatura.

b) Medición de la densidad

En un cilindro graduado de 10 ml se tomaron tres muestras del zumo de manzana. Previamente, se determinó la masa del cilindro graduado en una balanza electrónica. Se verificó que estuviese bien sellada para evitar la entrada de aire y no reportar errores a la hora de determinar la masa. Finalmente, la densidad es concebida como el valor de la masa dividida entre el volumen.

c) Medición de los °Brix

Se encendió el refractómetro limpiando el cristal con un algodón sumergido en alcohol isopropílico al 70% v/v para remover contaminantes y posibles restos de muestras anteriores. Con un algodón seco, se removió el alcohol y se procedió a utilizar un gotero para recolectar el zumo de manzana Granny Smith de las muestras de 10 ml previamente medida para el pH. Se colocaron 3 gotas en el cristal del refractómetro, y se visualizó por medio de un lente el valor correspondiente a los °Brix.

Fase III. Obtención de la Sidra Artesanal de manzanas, Granny Smith mediante el proceso de fermentación

Se elaboró una solución iniciadora: 125 ml de zumo de manzana (obtenido anteriormente), 125 ml de agua destilada, y 3 cucharadas de azúcar. Esta solución se calentó hasta la máxima temperatura permitida (32°C) en baño de maría. Una vez realizada efectivamente el proceso de mezclado se agregó la levadura. Al finalizar los 25 minutos de espera, se agregó el zumo a la solución, mezclando cuidadosamente, luego se aisló en un lugar fresco y oscuro. El proceso de fermentación duró 8 días aproximadamente, luego la sidra se clarificó añadiéndole gelatina y finalmente se embotelló.

Fase IV. Caracterización fisicoquímica y sensorial de la sidra

El desarrollo de esta fase engloba dos conjuntos de características fundamentales: las fisicoquímicas y las sensoriales. A la sidra obtenida se le realizó una serie de análisis. Los fisicoquímicos: sólidos solubles

(°Brix), acidez iónica (pH), grado de alcohol, acidez total, y densidad. Los sensoriales vienen comprendidos en: color, sabor y sensación en la boca, aroma y olor cuando el líquido reposa en la copa.

Para la caracterización fisicoquímica de la sidra se realizaron las diferentes mediciones de los parámetros y procedimientos establecidos en los incisos anteriormente explicados con relación al pH (COVENIN 1315-79) [3], °Brix y densidad. Los parámetros restantes (acidez total, grado de alcohol) se explicarán a continuación.

a) Medición de la acidez total (COVENIN 3286-1997) [4]

Inicialmente se agregan 100 ml de agua desmineralizada en un vaso de precipitado, se calibra el pH metro con la solución buffer de pH 7. Luego se debe introducir el electrodo del potenciómetro en el agua y leer el pH. Luego se neutraliza con hidróxido de sodio hasta un pH de 8.1 con constante agitación. Se toman 10 ml de la muestra, con una pipeta volumétrica y se agregan al agua, se sigue agitando y se mide el pH. Finalmente se titula con hidróxido de sodio 0.1 N hasta un pH 8.0 ± 1 . El volumen gastado se debe multiplicar por la normalidad del hidróxido de sodio para luego ser dividido entre el volumen de la muestra.

b) Análisis sensorial:

Para el estudio de las propiedades sensoriales de la sidra de manzana Granny Smith obtenida, se tomó como población los habitantes de la parroquia Bolívar, en el municipio Maracaibo del estado Zulia. La muestra calculada representó 68 personas en total a las cuales se les encuestó acerca de las características que presentaba la sidra natural, en cuanto al olor, el color y su sabor. Primero se les explicó a los degustadores el formato de evaluación sensorial de manera detallada. Luego se verificó que cada catador no tuviese ningún tipo de agente que obstaculizara o interfiriera en la degustación. Una vez hecho esto, los degustadores pasaron uno por uno al cuarto de pruebas sensoriales donde había una barra que contenía un vaso de plástico correspondiente a la sidra obtenida. Los vasos se escogieron transparente para mejor visualización y apreciación del color y aspecto físico. Además, junto a ellos se colocó también el formato de evaluación, un bolígrafo y un trozo de pan para eliminar el sabor y residuo adicional. Los degustadores procedieron a oler y degustar la sidra, para llenar el cuestionario ya provisto.

Resultados y discusión

Se presenta a continuación cada resultado y su respectivo análisis.

Estimación de la cantidad de manzanas, Granny Smith, azúcar y levadura para el proceso de fermentación

Tanto el dulzor, la acidez y el grado de alcohol son parámetros fuertemente relacionados a la cantidad de materias primas utilizadas. Tomando en cuenta la cantidad necesaria para el análisis sensorial y siguiendo lo que indica Fernández [2] se calculó la materia prima para la obtención de 4 litros de sidra natural, estos resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Materia prima para la elaboración de 4 litros de sidra artesanal

Materia prima	Cantidad estimada
Manzanas (kg)	6.25
Azúcar (kg)	1.4
Levadura (g)	4

Cabe destacar que con los 4 litros de sidra se aseguró el cumplimiento de los 50 ml de sidra por muestra para el análisis sensorial de la sidra y las pruebas fisicoquímicas realizadas.

Determinación de las propiedades fisicoquímicas del zumo de manzanas, Granny Smith

Phadungath [5] explica que las bacterias y las levaduras no fermentativas compiten con las levaduras fermentativas tal y como es el caso del género *Saccharomyces* por los nutrientes que contiene el mosto, por

lo que si las primeras se encuentran en una gran proporción se limitará el crecimiento y desarrollo de las levaduras fermentativas, afectando el proceso. Es por esta razón que se cuidó especialmente cada manzana durante su almacenamiento ya que en esta etapa puede incorporarse una importante cantidad de bacterias lácticas. Los resultados fisicoquímicos del mosto se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del zumo de manzana Granny Smith

Característica	Resultado
Densidad (g/ml)	1.041
°Brix	10.5
pH	3.6

Tal y como lo explica Beech [6], la acidez resultante (pH) del mosto utilizado para el proceso de fermentación es un factor muy importante ya que ayuda a controlar el crecimiento microbiano no deseado y es capaz de determinar la cantidad de sulfitos necesarios para inhibir el crecimiento de levaduras no fermentativas. La corrección debe hacerse hasta obtener una mezcla de con un pH aproximado de 3.5–3.8. Con respecto a la densidad y los grados °Brix, Niccolo [7], explica en general, el mosto de manzana presenta una densidad media de 1.050 g/ml y °Brix de 10.5. Lea [8], agrega que la concentración de azúcar se recomienda en el rango de 10–11°Brix para obtener una sidra con un grado alcohólico de 5 a 6; parámetro clave según la norma COVENIN 3340-97 [1] la define. Al observar la Tabla 2, se evidencia que estos tres parámetros fueron cumplidos ya que se presentan valores muy cercanos a las referencias comentadas.

Obtención de la Sidra Artesanal de manzanas, Granny Smith mediante el proceso de fermentación

El proceso de fermentación se describe con los valores que se presentan en la Tabla 3. Para cada día se evaluó la temperatura. La fermentación alcohólica es un proceso en que el azúcar (sustrato) es convertido en etanol mediante la acción de levaduras, éstas presentan una alta tolerancia a la acidez, por lo que son capaces de sobrevivir y crecer en jugos de fruta con niveles de pH bajos.

Como se ha dicho anteriormente, la temperatura es uno de los principales factores que afectan a la velocidad de la fermentación alcohólica, existiendo una relación directa entre ambos. Lea [9] explica que la fermentación de la sidra puede ocurrir entre 10°C y 32°C, pero este proceso generalmente se realiza entre los 15° y 25°C, ya que a temperaturas más altas se corre el riesgo de añadir atributos sensoriales negativos a la sidra o incluso detener la fermentación.

Tabla 3. Temperatura durante el proceso de fermentación

Día	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatura (°C)	21	21.02	21.08	21.2	21.21	21.25	21.24	21.2

- Caracterización fisicoquímica y sensorial de la sidra

En la Tabla 4 se observó los valores obtenidos para las tres muestras tomadas de la sidra. Donde es fácil observar que para cada muestra los valores permanecían muy cercanos entre sí. Con respecto al pH, las variedades sidreras presentan generalmente un pH que viene comprendido en el rango de 3 a 4. Cabe destacar que el mosto de manzana contiene ácidos orgánicos (málico, succínico, cítrico) y que le otorgan una característica ácida protegiéndola de esta manera de los microorganismos no fermentativos; además ofrecen un equilibrio en el sabor, olor y color.

Es importante mencionar que el pH del zumo de manzana inicial fue de 3.6 y al término de la fermentación, la sidra obtuvo valores de pH de entre 4 y 3.96; este aumento es debido fuertemente a la formación de los ácidos láctico y acético durante la fermentación alcohólica lo cual aumenta la acidez, ya que como bien se evidencia, este aumento fue de 0.383 unidades.

Tabla 4. Resultados del análisis fisicoquímico a la sidra

Propiedad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Densidad (g/ml)	0.99	0.99	0.99	0.99
pH	4.01	3.98	3.96	3.983
°Brix	3.2	3.2	3.2	3.200
IR	13.526	13.526	13.526	13.526
GL	6.98	6.97	6.98	6.977
Acidez Total (g/l)	6.61	6.62	6.62	6.62

La acidez total, por su parte, mide la concentración de los ácidos orgánicos libres en la disolución. León [10] asevera que las variedades sidreras contienen generalmente una acidez total comprendida entre 2 a 7 g/l. Lea [8] coincide explicando que la sidra está lista cuando la acidez total sea $\geq 1,5$ g/l. A todo esto se demuestra que la sidra presenta una acidez total adecuada tanto para el consumo como para sus propiedades sensoriales.

El grado alcohólico que se alcanza en la sidra, según lo explicado por Hernández y Sastre [11] es menor que en vino, debido a que se tienen concentraciones menores de azúcar, siendo valores normales de alcohol entre 3 y 7°GL de acuerdo a la norma COVENIN 3340-97 [1]. Al observarse el valor obtenido se demuestra que este importante parámetro entra en el rango permitido de la norma. Es importante aclarar que el grado alcohólico está fuertemente relacionado al °Brix inicial del mosto utilizado. Es decir, a medida que éste aumenta, el grado alcohólico también lo hace.

También es posible observar que el °Brix de la sidra es menor al del zumo de manzana, esto se debe a que éstos representan la cantidad de azúcar presente en el zumo de manzana y el cual será el sustrato que la levadura utilizará para todo el proceso fermentativo. El mosto de manzana tiene concentraciones variables de carbohidratos, 70% del azúcar fermentable consiste de fructosa, seguido de glucosa y sacarosa. Sin embargo, tal y como lo explican Walker y Stewart [12], la mayoría de las fermentaciones alcohólicas no se dan de manera completa ya que las levaduras *Saccharomyces* degradan fácilmente la glucosa, pero esto no ocurre para la fructosa, y es por ello que en la sidra se tiene una alta proporción de azúcares residuales. Es por esta razón que aún se tiene cierta cantidad de azúcares en la sidra obtenida.

La Tabla 4 también muestra que el índice de refracción fue de 1.3526 y esto habla de la turbidez, la cual en los líquidos es causada por pequeñas partículas suspendidas las cuales no están disueltas, éstas tienen un índice de refracción diferente al del medio circundante y es por ello que esta interferencia genera un cambio de la luz irradiada. Finalmente, Fernández [2] explica que cuando la densidad es inferior a 1.000 g/l y las cualidades sensoriales y de turbidez de la sidra así lo aconsejen, la sidra natural estará lista para ser embotellada y consumida. Por lo que según la referencia y el resultado obtenido, la sidra estaba en su punto perfecto de densidad.

Con respecto al análisis sensorial, estos resultados pueden observarse en la Figura 1, donde se muestra una clara tendencia hacia el color amarillo verdoso con una intensidad media. El color de la sidra, que debe ser claro, se debe a la presencia de pigmentos presentes en las manzanas: clorofilas, carotenoides y compuestos fenólicos. Bajaj et al [13] explican que estos últimos, en su mayoría, son incoloros pero se oxidan fácilmente originando tonos amarillos y dorados, según el proceso de oxidación avanza.

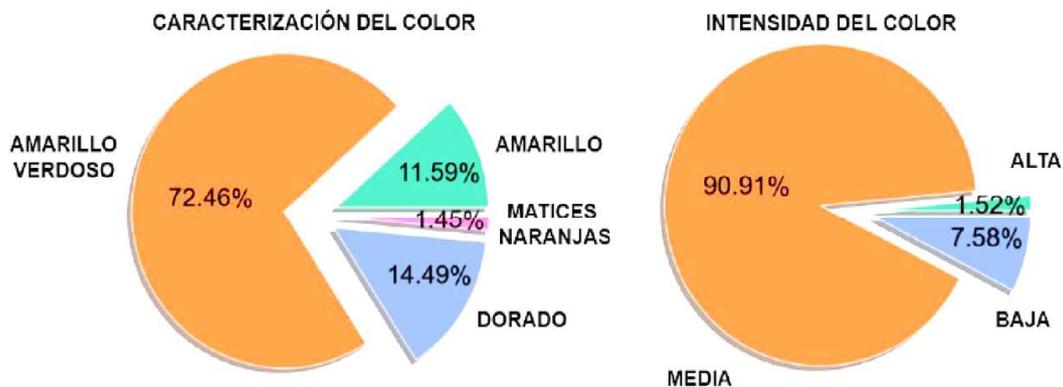


Figura 1. Evaluación sensorial del color de la sidra natural

La Figura 2 muestra que los sabores amargo y ácido compiten entre sí, en donde se tiene una alta intensidad de sabor. Para la calidad y persistencia post-gusto también se tienen parámetros altos (Figura 3). Bajaj, et al. [13] comentan que los sabores característicos de la sidra son el ácido y el amargo, éstos deben estar en un justo equilibrio entre sí y con las demás sensaciones bucales.

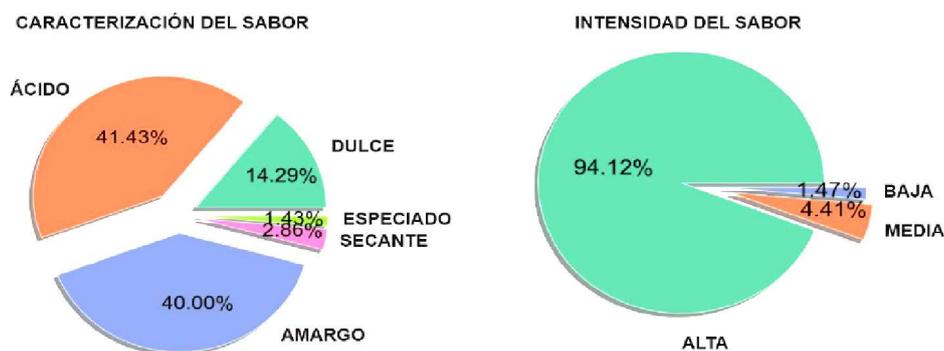


Figura 4.2. Evaluación sensorial del sabor de la sidra natural.

Figura 2. Evaluación sensorial del sabor de la sidra natural

Los máximos responsables de las sensaciones ácidas son los ácidos málico, quínico, láctico, dihidrosiquímico, citramálico y succínico; estos últimos estarán en mayor o menor cantidad dependiendo del desarrollo del proceso de fermentación alcohólica y maloláctica. Por lo que mientras se tenga una alta concentración de ácido málico más intenso será el sabor ácido de la sidra, mientras que su conversión a ácido láctico suaviza y redondea la sensación ácida.

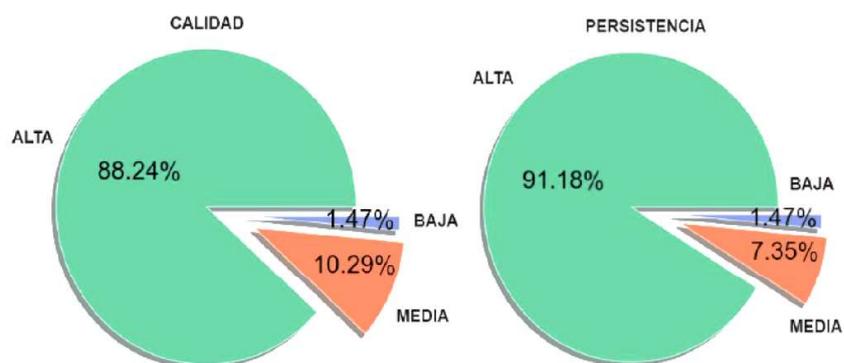


Figura 3. Evaluación sensorial del sabor post-gusto de la sidra natural

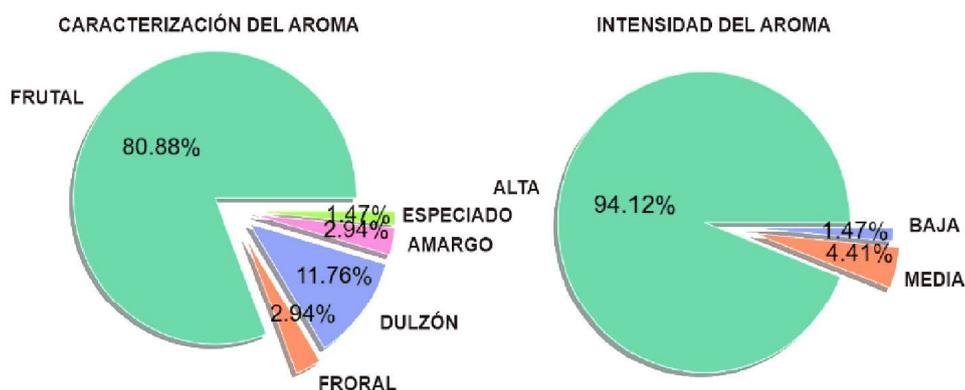


Figura 4. Evaluación sensorial del sabor post-gusto de la sidra natural

La Figura 4 muestra que el aroma que prevalece es el frutal, en donde se tiene una alta intensidad del aroma. A su vez, la Figura 5 ofrece los resultados del aroma cuando la copa está en reposo. Para todos los casos estudiados se obtuvo una fuerte tendencia al aroma frutal y una intensidad alta. Según Lea [8], los olores y aromas característicos de las sidras se deben esencialmente a las transformaciones producidas durante las fermentaciones. Los aromas frutales se deben esencialmente a la presencia de acetatos (por ejemplo, acetatos de isoamilo y hexilo).

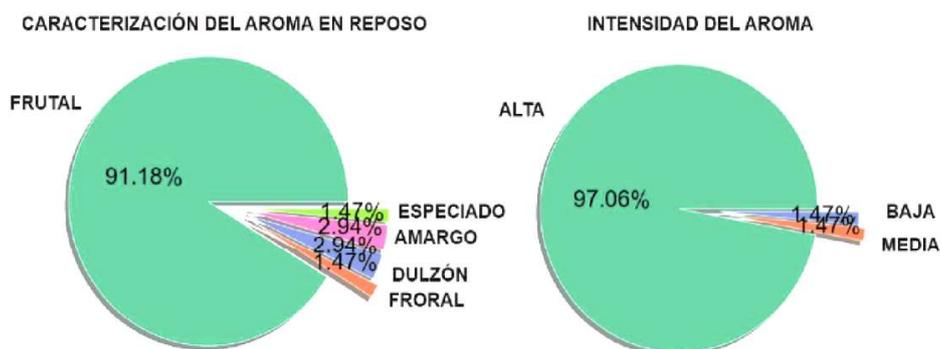


Figura 5. Evaluación sensorial del sabor post-gusto de la sidra natural

Adicionalmente, Noble [14] (2002) explica que la presencia de aldehídos procedentes del fruto y del metabolismo de las levaduras, como el acetaldehído, el propanal, el butanal, el 2-metilpropanal, el hexanal, el 3-metilbutanal y el 2-metilbutanal, así como de polialcoholes, da lugar a la formación de una gran diversidad de estructuras químicas que contribuyen al aroma de la sidra, como es el caso de los 1,3-dioxanos y de los 1,3-dioxolanos, responsables de los denominados aromas “verdes”.

Conclusiones

A partir de la investigación presentada por Fernández [2] se estimaron las cantidades necesarias de materia prima para el proceso; las cuales fueron 6.25 kg de manzanas, 1.4 kg de azúcar y 4g de levadura.

El zumo de manzana Granny Smith obtenido tuvo una densidad de 1.041 g/ml, un valor que entra en el rango propuesto por Vergara [15] (2000), el cual explica que el zumo de manzana es un líquido turbio más denso que el agua, cuyo valor de densidad va de 1.040 a 1.100 g/ml según las variedades.

El pH del zumo de manzana Granny Smith evaluado fue de 3.6; este valor representa la etapa ideal del zumo que se fermentará ya que Lea [8] indica que el mismo debe estar comprendido entre 3.2 a 3.8.

Se determinaron los °Brix del zumo de manzana Granny Smith el cual fue de 10.5, lo cual indica que la

manzana estaba en su tiempo de maduración óptima para el proceso de fermentación ya que tanto Niccolo [7] como Lea [8] aseguran que el valor debe estar comprendido entre 10.3 a 10.70.

Durante los seis primeros días del proceso fermentativo la temperatura aumentó de 31 a 31.25°C. Esto se debe a que la fermentación alcohólica es desde el punto de vista energético una reacción exotérmica, es decir, libera una cierta cantidad de energía.

En los últimos dos días del proceso fermentativo la temperatura disminuyó de 21.25 a 21.2°C. Esto se debe a que la actividad enzimática de las levaduras iba acabándose ya que éstas terminaban su ciclo de vida.

Se determinó que el proceso fermentativo se llevó a cabo con éxito ya que la temperatura durante todo el proceso se mantuvo en el rango permitido ya que como Beech [6] explica, las levaduras en general tienen una temperatura óptima de crecimiento próxima a 30° C.

La sidra natural obtenida presentó una densidad promedio de 0.99 g/ml para lo cual Fernández [2] explica que cuando ésta es inferior a 1.000 g/l y las cualidades aromático-gustativas y de turbidez del producto así lo aconsejen, se puede proceder al embotellado de la sidra.

El pH promedio de la sidra fue de 3.983. Este valor entra en el rango establecido para las diferentes variedades sidreras, en donde Mera [16] (2013) comenta que el pH viene comprendido en el rango de 3 a 4, dicha variación dependerá de la proporción de manzanas empleadas y de su estado de madurez.

La acidez total obtenida a partir de la sidra natural fue de 6.62 g/l. Aspecto que entra en el rango común ya que León [10] asevera que las variedades sidreras contienen generalmente una acidez total comprendida entre 2 a 7 g/l.

El grado alcohólico de la sidra fue de 6.977, valor permitido por la norma COVENIN 3340-97. [1] Este parámetro está fuertemente relacionado al °Brix inicial del mosto utilizado. Es decir, a medida que éste aumenta, el grado alcohólico también lo hace.

Según la encuesta realizada la sidra presentó una clara tendencia hacia el color amarillo verdoso con una intensidad media de color, debido a la presencia de pigmentos presentes en las manzanas (clorofilas, carotenoides y compuestos fenólicos) incoloros pero que se oxidan fácilmente dando diversos tonos.

El sabor de la sidra obtenida estuvo entre amargo y ácido pero con una alta intensidad del sabor. Además, su persistencia post-gusto y calidad del sabor fue evaluada como alta.

El aroma que prevalece en la sidra es el frutal, en donde se tiene una alta intensidad del aroma. Para lo que Lea [9] explica que éstos se deben esencialmente a la presencia de acetatos (por ejemplo, acetatos de isoamilo y hexilo).

Referencias bibliográficas

[1] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN: 3340-1997. Bebidas alcohólicas. Comité técnico de normalización CT10 -: Productos Alimenticios, Subcomité Técnico SC12: Productos Diversos. En su reunión No. 149 de fecha 1997/11/12. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1997).

[2] Fernández, C. Proyecto de una planta de elaboración de sidra natural con una producción de 20.000 l anuales, en Ribadesella (Asturias). (Tesis para optar al grado de Ingeniero Alimentario). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, (2002).

[3] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN: 1315-79: Alimentos. Determinación del pH (Acidez Iónica). Comité técnico de normalización CT-10: Productos Alimenticios, Subcomité Técnico SC-X: Cacao y derivados. Fecha: 16-06-1979. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1978).

[4] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 3286:1997. Vinos y sus derivados. Determinación de acidez total y acidez volátil. Comité técnico de normalización CT-10: Productos Alimenticios, Subcomité Técnico SC-12: Productos Diversos. En su reunión No. 146 de fecha 07/05/97. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1997).

[5] Phadungath, C. Casein micelle structure: a concise review. *Songklanakarin Journal Science Technology*, Vol. 27, N°1, (2005), 201-212.

[6] Beech, F. Cider making and cider research: A review. *Journal Institute of Brewing*. Vol.78, (1972), 477-491.

[7] Niccolo, R. Efecto de la temperatura y la variedad de manzana sobre la diversidad de levaduras presentes durante la elaboración de sidras patagónicas. (Tesis para optar al título de Ingeniero Químico). Universidad Nacional del Comahue. Comahue, Argentina, (2016).

[8] Lea, A. Cider vinegar In: *Processed apple products*. Nueva York, McGraw Hill, (1989).

[9] Lea, A. *Cidermaking, Fermented Beverage Production*. Londres, Blackie Academic & Professional, (1995).

[10] León, T. Selección de levaduras nativas a partir de variedades de manzana para la elaboración de sidras espumosas. (Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos). Querétaro-México, (2018).

[11] Hernández, M. y Sastre, A. *Tratado de nutrición*. Madrid, España. Editorial: Díaz de Santos, (1999).

[12] Walker, G. y Stewart, G. Review: *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. *Beverages*, Vol. 2, N°30, (2016), 1-12.

[13] Bajaj, K., Díez, C., Junquera, B., González, M. In vitro enzymic oxidation of apple phenols. *Journal of Food Science and Technology*, Vol. 34, N°4, (1997), 296-302.

[14] Noble, A.C. Astringency ad bitterness of flavonoids phenols. *ACS Symposium. Series 825*, (2002), 192-201.

[15] Vergara, A. *Elaboración de sidra natural y gasificada a partir de manzana*. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Química. Universidad de Salamanca, (2000).

[16] Mera N. *Evaluación de variedades locales de manzana (malus comunis) como materia prima en la elaboración de sidra*. Universidad del Azuay, (2013).

Notas Especiales

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Sidra artesanal de manzana Granny Smith a partir del proceso metabólico de fermentación alcohólica, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

Normas para la presentación de trabajos científicos

1. La **Revista Tecnocientífica URU** es una publicación arbitrada y de divulgación adscrita a la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista de difusión científica, contentiva de artículos de investigación originales e inéditos en las áreas de Ingeniería Química, Civil, Eléctrica, Computación, Telecomunicaciones, Industrial, Producción Animal, Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con estas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación que se presenta a continuación:
2. **Envío de trabajos.** Los autores deben enviar el trabajo, a la Revista, con una CARTA DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR firmado por (los) autor(es), al siguiente correo electrónico: tecnocientifica@uru.edu o en su defecto, consignar la carta en la Dirección del Fondo Editorial, ubicada en el Edificio de Biblioteca, oficina B2-02. En caso de que, el trabajo sea derivado de Trabajo Especial de Grado de la Universidad Rafael Urdaneta y con recomendación a publicación, la Escuela correspondiente gestionará el envío del mismo.
3. **Tipos de trabajos.** Se aceptarán para la publicación trabajos científicos originales e inéditos. No se aceptan PrePrint o material enviado a otro órgano de divulgación científica. Los trabajos se recibirán con una extensión de un máximo de quince (15) páginas y en documento editable, escrito en MICROSOFT OFFICE WORD. Se consideran trabajos científicos los siguientes:
 - 3.1 Artículos de investigación son trabajos que plantean un resultado derivado de la aplicación y experimentación de un proceso investigativo en las áreas de conocimiento de la revista.
 - 3.2 Artículos de actualización son trabajos que resumen el “Estado del Arte” de las áreas de conocimiento de la revista.
 - 3.2 Artículos de reflexión son trabajos que tratan un tema específico de las áreas de conocimiento de la revista, desde una perspectiva analítica, interpretativa y crítica del autor, recurriendo principalmente a las fuentes originales.
 - 3.3 Artículos de revisión es un estudio pormenorizado, selectivo y crítico donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas, sobre una temática especializada de las áreas de conocimiento de la revista.
 - 3.4 Artículos de discusión son trabajos que presentan un debate de afirmaciones realizadas en artículos publicados en la revista.
 - 3.5 Artículos de invitados especiales son trabajos científicos sobre una temática de interés de la revista, donde un autor especializado ofrece su punto de vista, por tanto, requiere de una invitación para publicar.
 - 3.6 Notas técnicas son trabajos que reflejan las mejoras de un proceso en ingeniería, resultados de investigaciones derivadas del ejercicio profesional en la ingeniería y ciencias afines, con un máximo de ocho (8) páginas.
4. **La portada del trabajo.** Los trabajos deben presentar en la portada los siguientes datos:
 - 4.1 Título del trabajo científico en español e inglés en letras mayúsculas y minúsculas.
 - 4.2 Nombre(s) del autor(s), hasta un máximo de seis (6) autores. Cada autor debe declarar su respectiva adscripción institucional, ciudad, país, correo electrónico y ORCID.

4.3 Resumen del trabajo en español e inglés (abstrac) con un máximo de doscientas (200) palabras.

4.4 Palabras clave en español e inglés (key words) con un máximo de cinco (05) palabras.

5. Normas de estilo.

5.1 La redacción de los trabajos es en el idioma español o inglés.

5.2 El orden a seguir para los trabajos científicos es: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos (en caso que aplique), parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento (en caso que aplique) y referencias bibliográficas.

5.3 Los trabajos científicos debe escribirse con el tipo de letra Times New Roman, tamaño 12 pts. El título debe estar en tamaño 16 pts con negritas y las Figuras, Tablas y textos subordinados en tamaño 10 pts.

5.5 El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.

5.6 El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.

5.4 El interlineado se debe realizar a doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.

5.7 Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes deben denominarse como Figura numeradas con números arábigos, incluir un título y leyenda (si aplica). Y, además, deben redactarse dentro del texto correspondiente. En caso que, la Figura no pertenezca al autor o autores se debe incluir la fuente de la misma.

5.8 Los cuadros y tablas deben denominarse como Tabla, numeradas con números arábigos, incluir un título y leyenda (si aplica). Y, además, deben redactarse dentro del texto correspondiente.

5.9 Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes incluidas en el trabajo científico se anexarán al envío por separado con excelente calidad con resolución de 240-300 ppp y en formato JPG.

5.10 Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes de todo tipo y forma deben estar a color o en su defecto a blanco y negro, bien contrastadas y brillantes, de un ancho máximo de 12,5 cm.

5.11 Todos los símbolos matemáticos deben estar escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente en la matriz o ecuación.

5.12 Deben enumerarse todas las ecuaciones matemáticas en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho.

Ejemplo:

$$\alpha = \frac{k_2}{k_1} \quad (5)$$

5.13 Las citas dentro del documento se escriben con el apellido de sus autores, seguido con un número entre corchetes que corresponde a la referencia bibliográfica y, en caso, que aplique, se debe agregar el número de página de la cita. Para el caso, de tres o mas autores, se agrega al primer autor y, luego, se escribe la expresión et al. en cursiva.

Ejemplo: Para citas no textuales: García [1]. Para citas textuales: Moreno [3, Pág. 19-24] o para ambos tipo de citas se ubica el número de la referencia sin colocar autor [1], o [3, Pág. 19-24]. Para tres o mas autores en la cita: Nishimoto *et al.* [2].

5.14 Las referencias bibliográficas deben registrarse con un número entre corchetes, autor(es) personal(es) o corporativo(s). Si tiene varios autores, se registran todos y cada uno separándolos con una coma. Los autores se escriben con apellido e inicial del nombre con mayúsculas y minúsculas. Se deben registrar en la sección de referencias bibliográficas según su orden de aparición en el desarrollo del trabajo.

Ejemplo:

[1]. Izquierdo, J.

[2]. De la Plaza, Ma. A., Troitiño, Ma. D.

[3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

5.15 Las referencias bibliográficas de libros debe registrarse con un número entre corchetes, autor(es), título de la publicación entre comillas, edición, país, editorial, año de publicación entre paréntesis. Se debe registrar el URL o DOI en caso de material electrónico o digital.

Para capítulos de libros debe registrarse un número entre corchetes, autor(es) del capítulo, título del capítulo entre comillas, título del libro, edición, país, editorial, año de publicación entre paréntesis. Se debe registrar el URL o DOI en caso de material electrónico o digital.

Ejemplo:

[1] Hurtado, J. “Metodología de la investigación Holística”. 4ta edición. Caracas, Fundación Sypal, (2010).

[2] Noureddine, A. “FTIR Microspectroscopy : Selected Emerging Applications”. New York, Springer, (2021). DOI: [10.1007/978-3-030-84426-4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-84426-4) doi

[3] Jumbo G. W., Í. “La tecnoética al cuidado del ambiente en la Revolución Industrial 4.0.” Filosofía, tecnociencia e industria 4.0: una mirada desde el medioambiente. Quito: Editorial Abya-Yala, (2021). <https://books.scielo.org/id/fdkvy/pdf/jumbo-9789978106778-04.pdf>

5.16 Las referencias bibliográficas de artículos de revistas o separatas debe contener un número entre corchetes, autor(es), título de la publicación entre comillas, título de la revista, volumen (Vol.), número (No.), año de publicación entre paréntesis, número de páginas de inicio y final de la publicación y DOI o URL en caso de material electrónico o digital.

Ejemplo:

[1] Marín, J., García, C., Alaña, J., Martínez, K., & Faría, J. “Modelo de Nernst-Planck aplicado a la cinética de Intercambio Iónico del sistema PO4-3-Cl- en leche”. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, Vol. 30, No. 3, 236-243. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000300005&lng=es&tlng=es.

5.17 Las referencias bibliográficas de normativas debe contener organismo, centro o institución responsable de la norma, título, edición (si aplica), datos de aprobación, ciudad, país, editorial, año de publicación. URL en caso de material electrónico o digital.

Ejemplo:

[1] Comision Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1753-2006: Proyecto y construcción de obras de concreto estructural. Comité Técnico de Normalización CT-03: Obras civiles, Subcomité Técnico SC-1: Edificaciones en su reunión No. 04-06 de fecha 30-08-2006. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2006).

5.18 Las referencias bibliográficas de estándares o patentes debe contener autor, título de la patente entre comillas, número, ciudad, país, mes, día, año de emisión de la patente. URL, en caso de material electrónico o digital.

Ejemplo:

[1] Weibull, G. Continuous Process for preparing Monoalkanolamines from Ammonia and Alkylene Oxides. Ornskoldsvik, Suecia: Mo och Aktiebolag. Patente: SE: 3,697,598. (1968).

5.19 Las referencias bibliográficas de catálogos deberá contener nombre del producto, empresa, ciudad, país, URL del producto.

Ejemplo:

[1] Motor trifásico NEMA Siemens 1LE2225-1AB21-4AA3-Z D05, GSL Industrias, Nuevo León, México. <https://industriasgsl.com/collections/motores/products/motor-trifasico-nema-siemens-1le2225-1ab21-4aa3-z-d05>

5.20 Las referencias bibliográficas sobre informes técnicos debe contener autor (es) o entidad responsable, título del informe, nombre de la empresa, sede la empresa, tipo de informe, número de informe, año de publicación.

Ejemplo:

[1] Villalobos, K. “Informe Técnico de mantenimiento de caldero”, Compañía Gaseosas Nature, Maracaibo, Venezuela. (1997).

5.20 Las referencias bibliográficas de aplicaciones debe contener nombre de la empresa, nombre del producto (versión), descripción del producto entre corchetes y medio de difusión, fecha de creación, URL.

Ejemplo:

[1] Sage AI. ChatGPT - Chat GPT AI CHAT (Beta) [Aplicación móvil]. Google Play. (2022). https://play.google.com/store/apps/details?id=ai.chat.gpt.app&hl=es_VE&gl=US

5.21 Todas las referencias bibliográficas utilizadas y disponibles en la Internet (libros, artículos de revistas, monografías, tesis, entre otros) se añade el DOI o URL de la publicación al final de la referencia.

5.22 En los trabajos deben emplearse el Sistema Internacional de Unidades para cuantificar cualquier magnitud medible de interés en la investigación: metro (m), kilogramos (Kg), Segundo (s), entre otras. Se recomienda consultar National Institute of Standards & Technology. Guide for the Use of the International System of Units (SI) en <https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>

6. Arbitraje

6.1 El trabajo científico, es recibido por el Editor(a) principal, el cual será enviado al Comité Editorial para su revisión y asignación de tres árbitros.

6.2 El método de arbitraje que sigue la revista es de tipo “doble ciego”, que, consiste en que, tanto los árbitros como los autores desconocen sus respectivas identidades.

6.3 Los trabajos científicos serán evaluados de acuerdo a los siguientes criterios: claridad, originalidad del contenido, aportes al campo de conocimiento, coherencia del discurso, adecuada organización interna, calidad de las referencias bibliográficas, adecuada elaboración del resumen y pertinencia del título.

6.4 En caso de recibir observaciones por parte de los árbitros, estas serán enviadas al autor para su corrección. Después de realizar las correcciones, el autor devolverá la versión corregida al correo electrónico indicado para el envío. El trabajo científico será nuevamente arbitrado.

6.5 Una vez que el trabajo científico haya recibido la aprobación por parte de los árbitros y el Comité editorial, se llevarán a cabo correcciones de pruebas, para lo cual se enviará a los autores para su revisión final.

6.6 Cuando el trabajo científico es aceptado para la publicación, los autores serán informados acerca del número y año de publicación de su trabajo. Si es rechazado, los autores podrán remitir al Editor(a) Jefe una comunicación exponiendo argumentos a favor de su artículo. El Comité Editorial considerará las acciones a tomar.

6.7 Cada autor del artículo publicado recibirá una (1) separatas digital en sus respectivos correo electrónicos junto a la constancia de publicación en la revista.

7. **Consideraciones finales**

7.1 Los conceptos u opiniones emitidos en los artículos, serán de exclusiva responsabilidad de los autores.

7.2 Los autores conservarán sus derechos morales y se hará una difusión de los artículos bajo una licencia Creative Commons.

7.3 El Comité Editorial se reserva el derecho de los arreglos de estilo que considere conveniente.

7.4 Bajo ninguna circunstancia, la revista devolverá los originales de los artículos enviados a la revista.

7.5 En cuestiones de ética científica se exhorta a los autores a evitar el plagio, de lo contrario, en caso que exista similitudes comprobadas el artículo en cuestión será censurado.

7.6 Lo no previsto en las presentes normas será resuelto por el Comité Editorial.