



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

*No. 23 Julio - Diciembre 2022*

# *Revista Tecnocientífica URU*



**U**niversidad **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.



Revista Tecnocientífica URU: <https://ojs2.uru.edu/index.php/tecnocientificauru>

Portal de Revistas: <https://ojs2.uru.edu/index.php>

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

Correo Electrónico: [tecnocientifica@uru.edu](mailto:tecnocientifica@uru.edu)



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. Cezar García (Venezuela)  
Dr. José Sarabia (Venezuela)  
Dr. José Rincón (Venezuela)  
MSc. Zulay Mármol (Venezuela)  
Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)  
Dra. Elba Michelena (Panamá)  
Dr. Rafael Aracil (España)  
MSc. Salvador Conde (Venezuela)  
Dr. Ever Morales (Ecuador)  
Dra. Nola Fernández (Venezuela)  
Dr. Helí Lugo (Venezuela)  
Dr. Ras Patnaik (Estados Unidos)  
Dr. Gerardo Aldana (Venezuela)  
Dra. Susana Salinas (Estados Unidos)  
MSc. Lenin Herrera (Venezuela)  
Dra. Laugeny Díaz (Venezuela)

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)

### **Comité 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. Carlos Espinoza  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Gerelí Gutiérrez  
Directora de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Ángel González  
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Fernando Inciarte  
Director de la Escuela de Ingeniería Industrial

Arq. María Medina  
Directora de la Escuela de Arquitectura

## Contenido

### Artículos

- Análisis comparativo del efecto de dos implantes anabólicos sobre la ganancia de peso en mautos.  
**Comparative analysis of the effect of two anabolic implants on weight gain in males.**  
*Andrea Guizzetti, Maurizio Di Davide y Gustavo Arteaga.* 9
- Preparación y caracterización catalizadores de Ni/CeO<sub>2</sub> y Co/CeO<sub>2</sub> y modificados con lantano para uso en catalizadores TWC.  
**Preparation and characterization of Ni/CeO<sub>2</sub> and Co/CeO<sub>2</sub> catalysts and modified with lanthanum for use in TWC catalysts.**  
*María Emilia Da Costa Romero.* 23
- Características fisicoquímicas y organolépticas de productos elaborados con leche de cabra en la región zuliana.  
**Physicochemical and organoleptic characteristics products made from goat milk in the zulian region.**  
*Melvin Alfonso Boscán Huerta, Angel González Portillo y Laugeny Díaz Borrego.* 33
- Estimación de parámetros y méritos genéticos para peso al nacer en búfalos Murrah en el estado Zulia.  
**Estimation of parameters and genetic merit for birth weight in Murrah buffalo in Zulia state.**  
*José Raúl Pérez.* 47
- Evaluación de las unidades de precalentamiento de crudo diluido para el escenario de alto corte de agua en el Centro Operativo Petromonagas.  
**Evaluation of the preheating units for diluted crude for the high water cut scenario at the Petromonagas Operating Center.**  
*Arianna Cárdenas, Adrián Zabala y Charles Gutiérrez.* 53
- Fitorremediación de agua residual urbana de la ciudad de Maracaibo empleando *Eicchornia crassipes*.  
**Phytoremediation of urban wastewater from the city of Maracaibo using *Eicchornia crassipes*.**  
*María Virginia Hernández, Isabel Villasmil y Laugeny Díaz Borrego.* 67
- Ingeniería conceptual para la producción de dodecibenceno lineal.  
**Conceptual engineering for the production of linear dodecylbenzene.**  
*Christy Lee Lewis Quevedo, José Manuel Machado Rincón y María Emilia Da Costa Romero.* 79
- Normas para la presentación de trabajos científicos 91



# Análisis comparativo del efecto de dos implantes anabólicos sobre la ganancia de peso en mautos

*Comparative analysis of the effect of two anabolic implants on weight gain in males*

**Andrea Guizzetti**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo-Venezuela.

Correo electrónico: [aguizzetti12@gmail.com](mailto:aguizzetti12@gmail.com)

**Maurizio Di Davide**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo-Venezuela.

Correo electrónico: [mauriziodidavide2@gmail.com](mailto:mauriziodidavide2@gmail.com)

**Gustavo Arteaga**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo-Venezuela.

Correo electrónico: [gustavo.arteaga.81002@uru.edu](mailto:gustavo.arteaga.81002@uru.edu)

Recibido: 30/07/2022

Aceptado: 15/09/2022

## Resumen

Se realizó un estudio con el objetivo de analizar comparativamente el efecto de dos implantes anabólicos sobre la ganancia de peso en mautos a pastoreo con suplemento en el municipio Colón del estado Zulia, Venezuela. Para efectos de la investigación se seleccionó una producción ganadera doble propósito, donde se hizo una selección de 67 mautos los cuales se dividieron en tres grupos donde el primer grupo conformado por 23 mautos, se les implantó un anabólico compuesto por estriadol (Compudose 200), el segundo grupo conformado por 22 mautos, se les implantó un anabólico compuesto por acetato de trembolona (Synovex Plus) y por último está el grupo denominado control conformado por 22 mautos, al cual no se les implantó ningún anabólico. Dichos animales fueron pesados quincenalmente durante un lapso de tiempo comprendido de cinco meses entre marzo y julio de 2022. Se concluye que el implante con mejor comportamiento en cuanto a ganancia de peso fue el Compudose 200 por encima del implante Synovex Plus y el grupo control, además de obtener los costos más bajos para la implementación del tratamiento, generando un gasto de apenas 0,27\$ por cada kilogramo de peso ganado.

**Palabras clave:** Implantes anabólicos, rango de peso, ganancia de peso, costo de implantación.

## Abstract

*A study was carried out with the objective of comparatively analyzing the effect of two anabolic implants on weight gain in grazing herds with supplements in the Colón municipality of Zulia state, Venezuela. For the purposes of the investigation, a dual-purpose livestock production was selected, where a selection of 67 males was made, which were divided into three groups where the first group, made up of 23 males, was implanted with an anabolic composed of estradiol (Compudose 200), the second group made up of 22 males, was implanted with an anabolic composed of trenbolone acetate (Synovex Plus) and finally there is the group called control made up of 22 males, to which no anabolic was implanted. These animals were weighed fortnightly during a period of time comprised of 5 months between March and July 2022. It is concluded that the implant with the best performance in terms of weight gain was the Compudose 200 over the Synovex Plus implant and the control group, in addition to obtaining the lowest costs for the implementation of the treatment, generating an expense of only \$0.27 per implant. each kilogram of weight gained.*

**Keywords:** Anabolic implants, weight range, weight gain, implantation cost.

## Introducción

Los agentes anabólicos constituyen una alternativa para aumentar y abastecer la producción de carne, son hormonas que influyen en las funciones metabólicas del animal, mejorando el balance de nitrógeno en el organismo y por consiguiente, incrementando la producción de proteína en el mismo. La utilización de hormonas es una de las prácticas más difundidas y aceptadas por los ganaderos de carne Torrano [1].

Los anabólicos son precursores simples que producen constituyentes orgánicos celulares complejos, son sustancias que promueven el anabolismo, esto quiere decir que promueven la síntesis de proteína en los músculos, entre otras funciones, lo que puede verse reflejado en un aumento de peso corporal. Las hormonas anabólicas más usadas en animales productores de alimento son las hormonas gonadales (esteroides), masculinas (andrógenos), femeninas (estrógenos) y aquellas con actividad progestacional [1,2].

Los implantes anabólicos son pequeños pellets o gomas elaboradas con silicona y/o plástico que contiene hormonas naturales (Estradiol, Progesterona o Testosterona) y/o sintéticas (Zeranol, Acetato de Trembolona), los cuales se aplican vía subcutánea en el tercio medio de la parte posterior de la oreja para mejorar la ganancia de peso y conversión alimenticia del ganado bovino de engorde [3, 4].

La demanda de carne animal en los países en desarrollo, es impulsada por el aumento de los ingresos y el crecimiento demográfico, al igual que es fortalecida por tendencias como la urbanización y las variaciones en las preferencias y hábitos alimentarios [5].

De acuerdo con los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), en 2050 más de la mitad de la población pertenecerá a la clase media, lo que generará el aumento de un 60 por ciento en la demanda de alimento de origen animal [6]. El crecimiento poblacional, demanda cada día una mejor y mayor producción de alimentos. Uno de los alimentos con mayor demanda es la carne de diferentes especies, ya que aporta la proteína necesaria para el mejor desarrollo fisiológico, físico y mental de la población.

La producción de carne bovina en el occidente de Venezuela está conformada mayormente, por animales mestizos cebú con razas lecheras europeas, lo cual favorece el crecimiento debido a la heterosis. Sin embargo este crecimiento es afectado por la escasez de pasto durante la época de sequía y el manejo inadecuado del rebaño. En consecuencia se alarga el tiempo para que los animales sean llevados al matadero. Es debido a esto, que es indispensable buscar alternativas que permitan disminuir tal período, tales como: un adecuado manejo de los potreros y del rebaño, una suplementación que cubra las deficiencias nutricionales de los pastos y la utilización de promotores de crecimiento [7].

Considerando el contexto anterior, durante años se han empleado compuestos de diversas naturalezas, con el objeto de estimular el crecimiento en los animales, favoreciéndose la ganancia de peso, la retención de nitrógeno y, en general, un mejor aprovechamiento de la ración alimenticia. Dentro de los compuestos estimulantes del crecimiento en los animales, son considerados un grupo de sustancias que pueden ser incorporadas a la ración o que pueden ser suministradas bajo la forma de implantes subcutáneos de acción prolongada. Se utilizan como tales: antibióticos, sulfas, hormonas esteroides y otros compuestos no hormonales con actividad anabolizante [2].

Los efectos de los anabólicos en los bovinos es el aumento del ritmo de crecimiento, aumento de la masa muscular, mejoramiento de los índices de conversión, cambios en la distribución de la grasa corporal, mejoramiento del apetito y el aumento de la capacidad muscular [1].

En esta área de conocimiento se han realizado diversas investigaciones que han servido de apoyo para este trabajo, entre ellas se menciona a Ortez y Valladares [8] quienes evaluaron el efecto de implantes anabólicos en la producción de carne de novillos suplementados con caña de azúcar, la evaluación se basó en 125 novillos de las razas Brahman, Simental, Angus Rojo, Senepol y sus encastes procedentes de la misma región (criollos). Los animales fueron distribuidos en cuatro grupos en total, siendo tres grupos de 31 novillos y el último de 32 novillos. El primer grupo fue implantado con Ralgro, el segundo grupo fue implantado con Ralgro más Boldedona, el tercer grupo fue implantado con Revalor y el cuarto grupo con Revalor más Boldedona.

Los resultados arrojados, demostraron que hubo diferencias significativas de peso en la ganancia diaria, el tratamiento de Revalor más Boldedona superó a los tratamientos Ralgro, Ralgro más Boldedona y Revalor, en cuanto a la ganancia de peso acumulada se encontraron diferencia entre los tratamientos, siendo el Revalor más Boldedona el que obtuvo las mayores ganancias. Por otro lado el que obtuvo mayor costo tratamiento/animal fue el Revalor más Boldedona. Como conclusión más importante se puede mencionar que el tratamiento con Revalor más Boldedona dio mejores resultados en cuanto a la ganancia de peso diario y la ganancia de peso acumulado, siendo también el de mayor costo.

Ledezma [9] realizó una investigación con el objetivo de profundizar a través de la revisión del estado la utilización de implantes anabólicos en producción de carne bovina, con análisis de investigaciones donde se evaluó la eficacia productiva. Las investigaciones desarrolladas en campo demostraron la eficiencia productiva y económica de la utilización de implantes hormonales en diferentes circunstancias de ensayo: sistemas de explotación, estado fisiológico, sexo, uso de suplementos nutricionales, características meteorológicas, programa sanitarios, entre otros, los análisis estadísticos de los resultados presentaron valores significativos de ganancia de peso, conversión alimenticia, características de la canal, rentabilidad económica (costo/beneficio), en los grupos de bovinos implantados en relación con los grupos testigos o no implantados. Las evaluaciones sobre el efecto productivo y económico de los implantes anabólicos los resultados numéricamente varían en cada investigación, pero el efecto significativo de los resultados en los tratamiento de los bovinos implantados sobre los no implantados fue una constate, a pesar de la diversidad de condiciones de manejo.

Por otro lado, Avilez [10] realizó la evaluación del uso de anabólicos (implante) acetato de trembolona y boldedona (undecilenato) en la raza Brahman en la etapa de engorde, comparando los efectos de los anabólicos (implante) Acetato de Trembolona y Boldedona en la etapa de finalización de bovinos de engorde de raza Brahman y determinar la rentabilidad en el engorde del ganado Brahman. Se determinó que el uso de estos anabólicos en el engorde de bovinos permitirá obtener mejoras en la ganancia de peso, carne magra en la canal al encontrarse con menor presencia de grasa y suplir con las necesidades de los consumidores. El estudio refleja que la mejor rentabilidad en novillos para engorda fue determinada en animales tratados con Acetato de Trembolona, alcanzando un índice de beneficio-costos de 1,32\$, lo que quiere decir que por cada 1,00\$ gastado con la utilización de este anabólico en novillos mestizos se tiene una utilidad neta de 0,32\$.

Considerando lo anteriormente expuesto se realizó una evaluación que permitiera conocer los pro, contra y beneficios del uso de implantes anabólicos en mautos a pastoreo con suplemento en el municipio Colón del Estado Zulia, de igual forma se propuso evaluar desde el punto de vista económico, la efectividad, rentabilidad y costos del uso de los diferentes implantes existentes en el mercado comparado con la efectividad, rentabilidad y costos de no utilizarlos.

### **Métodos y Materiales**

A continuación, se presentarán por medio de etapas los distintos procedimientos y actividades que se llevaron a cabo durante la investigación para lograr evaluar el efecto de los implantes anabólicos sobre la ganancia de peso en mautos.

El estudio se realizó en una finca localizada en el kilómetro 3 de la carretera vía Encontrados en el municipio Colón del estado Zulia, Venezuela. El municipio se ubica al sur-oeste del estado en la ubicación geográfica y en la astronómica se ubica a: 09°14' Latitud Norte 71°41' Longitud Oeste/08°31' Latitud Norte 72°10' Longitud Oeste. Su superficie es de 3.368 km<sup>2</sup>, con una población de 208.000 habitantes y una densidad de 61.75 habitantes por km<sup>2</sup>.

Para el manejo del experimento se hizo una selección de 67 mautos con un rango de peso entre los 200 y 300 kilos, siendo estos los más apropiados para la realización del estudio. De forma al azar se hizo una segunda selección para formar los tres grupos necesarios para realizar esta investigación.

Los grupos se conformaron de la siguiente manera, el primer grupo conformado por 23 mautos, se les implantó un anabólico compuesto por estriadol (Compudose 200), el segundo grupo conformado por 22 mautos, se les implantó un anabólico compuesto por acetato de trembolona (Synovex Plus) y por último está el grupo denominado control conformado por 22 mautos, al cual no se les implantó ningún anabólico. Posteriormente, se procedió a realizar el pesaje de los animales. Dicho pesaje se realizó en un lapso de cinco meses comprendido entre marzo y julio. Quincenalmente se pesó cada uno de los animales para obtener el peso ganado en ese tiempo establecido.

Obtenidos los registros completos se prosiguió a realizar una comparación entre los dos tratamientos y el grupo control en cuanto a la ganancia de peso obtenida y la viabilidad económica de cada tratamiento. El análisis estadístico fue hecho bajo la técnica de análisis de varianza ANOVA con la intención de determinar si existe o no una diferencia significativa entre los dos implantes estudiados.

## Resultados y discusión

Se presentan los resultados obtenidos del análisis de los datos que se realizaron mediante las pruebas de pesaje a los animales con los implantes en el lapso de tiempo estimado.

### Efecto de diferentes implantes anabólicos sobre ganancia de peso total en mautos a pastoreo con suplemento

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en los pesos ganados con los implante Compudose 200 y Synovex Plus, los cuales tienen tales efectos en los bovinos ayudando a incrementar su ritmo de crecimiento, aumento de la masa muscular y distribución de la grasa corporal, González Ulibarry [11]

#### Compudose 200

- Peso diario obtenido (kg)

**Tabla 1. Peso diario tratamiento Compudose 200**

Media	Máxima	Mínima
0,652	0,972	0,339

En la Tabla 1, se registró los resultados obtenidos para el peso diario ganado de los animales implantados con el tratamiento de Compudose 200. Se observó que la ganancia de peso diaria máxima fue 0,972 kg, la ganancia de peso diario mínima fue de 0,339 kg y por último la ganancia de peso diaria media fue de 0,652 kg.

- Peso quincenal (kg)

**Tabla 2. Peso quincenal tratamiento Compudose 200**

Pesaje	Media	Máxima	Mínima	Peso total
Peso inicial	274,78	333	226	6320
2	298,83	355	251	6873
3	311,39	367	261	7162
4	307,3	358	263	7068
5	318,13	367	276	7317
6	335,91	387	288	7726
Peso final	345,78	395	301	7953

En la Tabla 2, se observó los resultados obtenidos para el peso quincenal ganado de cada animal implantado con el tratamiento de Compudose 200, se nota que se comenzó con un peso inicial máximo de 333 kg, un peso mínimo de 226 kg y una media quincenal de 274,78 kg con un peso total ganado del lote de 6320 kg. Seguidamente, se aprecia desde el segundo hasta el sexto pesaje una variación de pesos en aumento que va desde un peso máximo de 355 kg, un peso mínimo de 251 kg y una media de 298,83 kg en el segundo pesaje, hasta alcanzar un peso máximo de 387 kg, un peso mínimo de 288 kg y una media de 335,91 kg en el sexto pesaje. Para el pesaje final los pesos obtenidos aumentaron significativamente obteniendo un peso máximo de 395 kg, un peso mínimo de 301 kg y una media de 345,78 kg con un peso total del lote de 7953 kg, lo que indica una ganancia promedio de 71 kg desde la implantación del anabólico.

Al analizar la ganancia de peso del lote se observa que se obtuvo un incremento en la ganancia de peso total de un 25,83% con relación al peso inicial.

- Peso total ganado (kg)

**Tabla 3. Peso total ganado tratamiento Compudose 200**

Media	Máxima	Mínima
71,1	106	38

En la Tabla 3, se presentó los resultados obtenidos del peso total ganado en 109 días para los animales implantados con el tratamiento Compudose 200, siendo la ganancia total de peso máxima de 106 kg, una ganancia total de peso mínima de 38 kg y una ganancia de peso promedio de 71,1 kg, lo que demuestra un significativo aumento de peso con el implante anabólico.

### Synovex Plus

- Peso diario (kg)

En la Tabla 4 se apreció las ganancias de peso diario de los mautos implantados con Synovex Plus.

**Tabla 4. Peso diario tratamiento Synovex Plus**

Media	Máxima	Mínima
0,603	0,816	0,275

En la Tabla anterior se mostró los resultados obtenidos para el peso diario ganado de los animales implantados con el tratamiento de Synovex Plus. Se evidenció que la ganancia de peso diaria máxima fue 0,816 kg, la mínima fue de 0,275 kg y la ganancia de peso diaria media fue de 0,603 kg. Se observó que la ganancia de peso diaria obtenida con el tratamiento Synovex Plus es baja con respecto a las expectativas.

- Peso quincenal (kg)

**Tabla 5. Peso quincenal tratamiento Synovex Plus**

Pesaje	Media	Máxima	Mínima	Peso Total
Peso Inicial	252,98	285	175,5	5565,50
2	274,32	311	192	6035
3	286,32	326	208	6299
4	281,86	322	197	6201
5	295,05	332	219	6491
6	311,45	355	231	6852
Peso Final	318,77	368	254	7013

En la Tabla 5, se expresó los resultados obtenidos para el peso quincenal ganado de los animales implantados con el tratamiento de Synovex Plus. Se observó que se inició con un peso inicial máximo de 285 kg, un peso mínimo de 175,5 kg y una media quincenal de 252,98 kg con un peso total del lote de 5565,50 kg. Además, a partir del segundo al sexto pesaje no existieron aumentos significativos en los pesos ya que estos iban variando de forma creciente entre 8 a 10 kg por pesaje. En el peso final el máximo fue de 368 kg, el mínimo de 254 kg y una media de 318,77 kg con un peso total del lote de 7014 kg; lo que indica un aumento promedio significativo de 66 kg aproximadamente.

Al analizar la ganancia de peso del lote se observó que se obtuvo un incremento en la ganancia de peso total de un 26% con relación al peso inicial.

- Peso total ganado (kg)

**Tabla 6. Peso total ganado tratamiento Synovex Plus**

Media	Máxima	Mínima
65,8	89	30

En la Tabla 6, se expuso los resultados obtenidos del peso total ganado en 109 días para los animales implantados con el tratamiento Synovex Plus, el cual se obtuvo una ganancia total de peso máxima de 89 kg, una ganancia total de peso mínima de 30 kg y una ganancia de peso promedio de 65,8 kg.

**Tabla 7. Comparación estadística entre implantes**

Tiempo	(I) Implantes	(J) Implantes	Diferencias de Medias (I-J)	Sig.
1	Compudose 200	Synovex Plus	2,91	0,875
	Synovex Plus	Compudose 200	-2,91	0,875
2	Compudose 200	Synovex Plus	4,99	0,436
	Synovex Plus	Compudose 200	-4,99	0,436
3	Compudose 200	Synovex Plus	5,47	0,367
	Synovex Plus	Compudose 200	-5,47	0,367
4	Compudose 200	Synovex Plus	3,9	0,887
	Synovex Plus	Compudose 200	-3,9	0,887
5	Compudose 200	Synovex Plus	4,4	0,832
	Synovex Plus	Compudose 200	-4,4	0,832
6	Compudose 200	Synovex Plus	6,81	0,404
	Synovex Plus	Compudose 200	-6,81	0,404

En la Tabla 7, se presentó la comparación de los diferentes implantes anabólicos a lo largo del tiempo. Se observó que la media de la ganancia de peso del grupo de animales tratados con Compudose 200 en el tiempo, estuvo por encima del grupo de animales tratados con Synovex Plus; sin embargo, el análisis estadístico arrojó que estos valores hasta el último pesaje realizado en este estudio no fue significativa ( $P > 0,05$ ).

### **Ganancias de pesos totales en mautos implantados y no implantados a pastoreo con suplemento**

En este apartado se muestra la comparación de los resultados obtenidos en la ganancia de peso de los mautos implantados con los tratamientos Compudose 200 y Synovex Plus en relación al grupo control.

#### **Control**

- Peso diario (kg)

**Tabla 8. Peso diario Control**

Media	Máxima	Mínima
0,540	0,724	0,362

En la Tabla 8, se mostró los resultados obtenidos para el peso diario ganado del grupo de animales denominados control, observando que la ganancia de peso diaria máxima fue 0,724 kg, la mínima fue de 0,362 kg y la ganancia de peso diaria media fue de 0,540 kg.

- Peso quincenal (kg)

**Tabla 9. Peso quincenal del Control**

Pesaje	Media	Máxima	Mínima	Peso total
Peso inicial	260,20	288	166,5	5724,50
2	281,86	319	183	6201
3	290,54	324	198	6392
4	285	323	181	6270
5	297	330	194	6534
6	311,32	346	204	6849
Peso final	319,55	364	206	7030

La Tabla 9, se reflejó los resultados obtenidos para el peso quincenal ganado del grupo de animales denominados control. Se inició con un peso máximo de 288 kg, un peso mínimo de 166,5 kg y una media quincenal de 288 kg, con un peso total del lote de 5724,50 kg. Se encontraron diferencias en los pesos desde el segundo pesaje donde se obtuvo un peso máximo de 319 kg, un peso mínimo de 183 kg y una media de 281,86 kg; mientras que, para el sexto pesaje se tuvo un peso máximo de 346 kg, un peso mínimo de 204 kg y una media de 311,32 kg, donde en el peso final máximo fue de 364 kg, con mínimo de 206 kg y una media de 319,55 kg, siendo el peso total del lote de 7030 kg.

Al analizar la ganancia de peso del lote se observó que se obtuvo un incremento en la ganancia de peso total de un 22,80% con relación al peso inicial.

- Peso total ganado (kg)

**Tabla 10. Peso total ganado Control**

Media	Máxima	Mínima
59,34	79	39,5

En la Tabla 10, se presentó los resultados obtenidos del peso total ganado en 109 días para los animales del grupo denominado control, el cual se obtuvo una ganancia total de peso máxima de 79 kg, mientras que la mínima fue de 39,5 kg.

Visualmente la ganancia de peso del grupo de animales denominados control estuvo por debajo de los grupos de animales con los tratamientos, aunque al comienzo del experimento el peso inicial fue similar al del grupo de animales del tratamiento de Synovex Plus. No obstante, para los siguientes controles de peso estuvo por debajo de la ganancia de peso de los dos tratamientos.

**Tabla 11. Comparación estadística entre implantes y control**

Tiempo	(I) Implantes	(J) Implantes	Diferencias de Medias (I-J)	Sig.
1	Compudose 200	Synovex Plus	2,91	0,875
		Control	2,52	1
	Synovex Plus	Compudose 200	-2,91	0,875
		Control	-0,38	1
	Control	Compudose 200	-2,52	1
		Synovex Plus	0,38	1
2	Compudose 200	Synovex Plus	4,99	0,436
		Control	7,42	0,083
	Synovex Plus	Compudose 200	-4,99	0,436
		Control	2,42	1
	Control	Compudose 200	-7,42	0,083
		Synovex Plus	-2,42	1
3	Compudose 200	Synovex Plus	5,47	0,367
		Control	8,95	0,031
	Synovex Plus	Compudose 200	-5,47	0,367
		Control	3,48	0,913
	Control	Compudose 200	-8,95	0,031
		Synovex Plus	-3,48	0,913
4	Compudose 200	Synovex Plus	3,9	0,887
		Control	8,3	0,072
	Synovex Plus	Compudose 200	-3,9	0,887
		Control	4,4	0,665
	Control	Compudose 200	-8,3	0,072
		Synovex Plus	-4,4	0,665
5	Compudose 200	Synovex Plus	4,51	0,832
		Control	11,26	0,019
	Synovex Plus	Compudose 200	-4,51	0,832
		Control	6,74	0,281
	Control	Compudose 200	-11,26	0,019
		Synovex Plus	-6,74	0,281
6	Compudose 200	Synovex Plus	6,81	0,404
		Control	12,73	0,015
	Synovex Plus	Compudose 200	-6,81	0,404
		Control	5,92	0,53
	Control	Compudose 200	-12,73	0,015
		Synovex Plus	-5,92	0,53

La Tabla 11, se exhibió la ganancia de peso de los diferentes implantes anabólicos comparado con la ganancia de peso del grupo de animales denominados control en el tiempo. Se observa cómo los tratamientos son superiores en comparación del control; sin embargo, estadísticamente esas diferencias no son significativas sino hasta el pesaje número 3, cuando el Compudose 200 es significativamente superior al control ( $P < 0,05$ ). De la misma forma, en los pesos número cuatro y cinco el grupo de animales con el tratamiento de Compudose 200 se comporta significativamente superior al control ( $P < 0,05$ ). Aunque la diferencia de peso entre el Synovex Plus y el control no es significativo, en esta tabla se aprecia que el grupo de animales con el tratamiento de Synovex plus en el peso 1, es inferior al grupo denominado control.

**Aspectos económicos relativos a la utilización de implantes anabólicos en mautos a pastoreo con suplemento.**

- Compudose 200

**Tabla 12. Costos de tratamiento Compudose 200**

Concepto	Cantidad	Días	Precio Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Implante Compudose 200	23		2,2\$	50,6\$
Pistola Implantadora	1		20\$	20\$
Veterinario	1	2	40\$	80\$
Personal Obrero	4	7	4,64\$	129,92\$
Palmiste	1.496,61 Kg		0,1099\$	164,62\$
SUB TOTAL				445,14\$
Kilos ganados				1636 Kg
TOTAL				0,27\$/Kg

En la Tabla 12 de costos, se presentó los gastos realizados para aplicar el tratamiento de Compudose 200. Por cada kilogramo ganado se gasta un total de 0,27\$, teniendo en cuenta el gasto global de 445,14\$ para todo el tratamiento.

**Tabla 13. Costos diarios del tratamiento Compudose 200**

Concepto	Cantidad	Días	Precio Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Implante Compudose 200	23		2,2\$	50,6\$
Pistola Implantadora	1		20\$	20\$
Veterinario	1	2	40\$	80\$
Personal Obrero	4	7	4,64\$	129,92\$
Palmiste	1.496,61 Kg		0,1099\$	164,62\$
SUB TOTAL				445,14\$
Días				109
TOTAL				4,08\$/Dia

La Tabla 13, presentó los gastos generados al aplicar el tratamiento de Compudose 200, y el costo diario obtenido en la aplicación de dicho tratamiento. Como se muestra, por cada día transcurrido se gasta un total de 4,08\$, teniendo en cuenta el gasto global de 445,14\$ para todo el tratamiento.

## Synovex Plus

**Tabla 14. Costos del tratamiento Synovex Plus**

Concepto	Cantidad	Días	Precio Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Implante Synovex Plus	44		1,85\$	81,4\$
Pistola Implantadora	1		53\$	53\$
Veterinario	1	2	40\$	80\$
Personal Obrero	4	7	4,64\$	129,92\$
Palmiste	1.431,69 Kg		0,1099\$	157,34\$
			SUB TOTAL	501,66\$
			Kilos ganados	1448 Kg
			TOTAL	0,34\$/Kg

En la Tabla 14 de costos, se muestran todos los gastos realizados para aplicar el tratamiento de Synovex plus, obteniendo que por cada kilogramo ganado se gasta un total de 0,34\$, lo que indica que se requiere un total de 501,66\$ para realizar todo el tratamiento.

**Tabla 15. Costos diarios de tratamiento Synovex Plus**

Concepto	Cantidad	Días	Precio Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Implante Synovex Plus	44		1,85\$	81,4\$
Pistola Implantadora	1		53\$	53\$
Veterinario	1	2	40\$	80\$
Personal Obrero	4	7	4,64\$	129,92\$
Palmiste	1.431,69 Kg		0,1099\$	157,34\$
			SUB TOTAL	501,66\$
			Dias	109
			TOTAL	4,60\$/Dia

En la Tabla 15, se estimó los gastos realizados, para aplicar el tratamiento de Synovex Plus y el costo diario obtenido en la aplicación de dicho tratamiento. Por cada día transcurrido se gasta un total de 4,60\$, teniendo en cuenta el gasto global de 501,66\$ para todo el tratamiento. Al comparar los costos por kilos entre el tratamiento Compudose 200 y Synovex Plus, se determinó que el tratamiento denominado Synovex Plus es un 12,69% más costoso que el tratamiento denominado con Compudose 200.

## Control

**Tabla 16. Costos de tratamiento Control**

Concepto	Cantidad	Días	Precio Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Veterinario	1	2	40\$	80\$
Personal Obrero	4	7	4,64\$	129,92\$
Palmiste	1.431,69 Kg		0,1099\$	157,64\$
			SUB TOTAL	367,56\$
			Kilos ganados	1305,50Kg
			TOTAL	0,28\$/Kg

La Tabla 16, se evidenció los gastos realizados para el grupo de animales llamado Control. Se nota que por cada kilogramo ganado se gasta un total de 0,28\$. A pesar de tener un costo por kilo similar al tratamiento Compudose 200, se puede observar que el implante anabólico es más eficiente debido a que el grupo animales con el tratamiento de Compudose 200 obtuvo una diferencia en kilos totales ganados de 300 kg superior al Control.

**Tabla 17. Costos diarios de tratamiento Control**

Concepto	Cantidad	Días	Precio Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Veterinario	1	2	40\$	80\$
Personal Obrero	4	7	4,64\$	129,92\$
Palmiste	1.431,69 Kg		0,1099\$	157,64\$
			SUB TOTAL	367,56\$
			Dias	109
			TOTAL	3,37\$/Dia

En la Tabla 17, se presentó los gastos generados por el grupo de animales del Control y el costo diario obtenido. Como se muestra, por cada día transcurrido se gasta un total de 3,37\$, teniendo en cuenta el gasto global de 367,56\$ para todo el tratamiento.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que las ganancias de peso diarios tienen un máximo de 0,972 kg con una ganancia de peso máxima de 106 kg con el tratamiento de Compudose 200. Estos resultados difieren de los obtenidos por Herrera [12] en su trabajo sobre anabólicos en el desarrollo y crecimiento de toretes cruzados para engorde en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, quien utilizó animales de seis a ocho meses de edad y con una alimentación base de *Brachiaria brizantha*; obteniendo un incremento diario de peso de 271,67 kg/día con la aplicación de Boldelona.

Por otro lado, los resultados concuerdan con lo expresado por Ledezma [9] en su revisión del estado la utilización de implantes anabólicos en producción de carne bovina, donde se evaluó la eficacia productiva y se demuestra que la variación de pesos iniciales en los animales implantados con los anabólicos no era muy distinta a la de los testigos; por lo que los resultados fueron significativos hasta el pesaje final, esto debido a circunstancias particulares del ensayo relacionadas con los sistemas de explotación, estado fisiológico, sexo, uso de suplementos nutricionales, características meteorológicas, programa sanitarios, entre otros aspectos.

Asimismo, los resultados obtenidos son comparables con los de Pale [13] quien haciendo uso del tratamiento con Synovex Plus, no logró obtener diferencias de pesos iniciales con respecto a su grupo testigo, los cuales se mantuvieron muy parejos; además, la efectividad del implante se observó al final del experimento donde Synovex Plus demostró ser el más efectivo.

Por otra parte, estos resultados también se contrastan con los obtenidos por Navarros [14] en su estudio sobre la evaluación de un implante hormonal para incorporarlo a una explotación intensiva de ganado bovino; mostrando una ganancia significativa con el uso de implantes de Progesterona más Benzoato de Estradiol, con ganancia de peso de 1,464 Kg/día lo que representa un 19,6% de diferencia con el 3% de la ganancia de peso del grupo testigo. Este trabajo demuestra la efectividad del uso de implantes anabólicos en la ganancia de peso en bovinos.

Al comparar el tipo de implantes utilizados, los resultados obtenidos difieren de los de Cerón [15] en la evaluación de dos dietas y un testigo para cebar animales Brahman mestizos en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, quien no encontró un efecto positivo en la ganancia de peso con la administración de un implante anabólico y adición de dos dietas suplementarias, en los bovinos tratados. Se resalta el periodo corto de evaluación que fue de 35 días y el nivel de estrés presente en las unidades experimentales, que pasan de un sistema extensivo al de estabulación.

Otros autores como Páez [16] y Arias [17] recomiendan evaluar el efecto de estos implantes en períodos de tiempo más prolongando, es decir, cada siete u ocho meses, para de esta manera obtener mejores resultados en cuanto a la ganancia de peso de los bovinos.

En cuanto a los aspectos económicos, los resultados obtenidos con los dos implantes difieren con los reportados por Toro [18], quien durante la evaluación de la ganancia diaria de peso en novillos tratados con dos tipos de implantes anabólicos y alimentados con caña de azúcar, obtuvo un valor más alto en costos de tratamiento y de producción respecto al tratamiento más efectivo, según la ganancia de peso en los animales.

Es importante destacar que los resultados obtenidos en la presente investigación pueden ser diferentes que los de otros investigadores debido a la diferencia de los implantes utilizados, además de la varianza en cuanto a los métodos de pesaje, ya que para efectos de esta investigación se realizaron quincenalmente.

### Conclusiones

El implante anabólico Compudose 200 influyó en una mejor ganancia de peso sobre el implante anabólico Synovex Plus, sin embargo esas diferencias no fueron estadísticamente significativas, lo que quiere decir que hasta el último pesaje realizado para esta investigación, los dos implantes se comportaron de forma similar.

Haciendo una comparación de la ganancia total de peso obtenida entre los dos implantes anabólicos y el control, se destaca visualmente que los implantes anabólicos tuvieron una mejor respuesta y mayor ganancia de peso, pero estadísticamente no es hasta el pesaje número tres, que hubo una diferencia significativa entre el tratamiento de Compudose 200 y el control, a diferencia del tratamiento con Synovex Plus el cual no obtuvo diferencia significativa con el control. Esto quiere decir que el tratamiento con implante de Compudose 200 se comportó de mejor manera que el control y obtuvo mejores resultados.

Analizando los aspectos económicos se obtuvo que para el tratamiento de Compudose 200 para 1 kg ganado hay un gasto de 0,27\$, para el tratamiento de Synovex Plus hay un gasto de 0,34\$ y para el control el gasto es de 0,28\$, lo que demuestra que el tratamiento con el implante Compudose 200, no solo fue el más efectivo en cuanto a ganancia de peso, sino que es también el más accesible económicamente, por lo que sus resultados fueron óptimos.

El tratamiento Compudose 200 es más eficiente que el Control debido a que dicho tratamiento está haciendo mejor uso de su recurso como propulsor de ganancia de peso en animales. El grupo de animales con el tratamiento Compudose 200 obtuvo una diferencia en kilos totales ganados de 300 kilos superior al grupo de animales denominado control.

### Referencias bibliográficas

- [1] Torrano, C. **Moduladores de crecimiento y control parasítico para incrementar la ganancia diaria de peso**. XI Congreso Venezolano de producción e industria animal. Valera 22 al 26 de octubre. (2002), 13 p.
- [2] Gómez, L. **Ventajas y desventajas del uso de anabólicos en bovinos productores de carne**. (Revisión Bibliográfica 1983 – 2005). Trabajo Especial de Grado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán. (2006).
- [3] Livas, F. **Experiencias en producción de carne bovina bajo pastoreo en el trópico**. (2011). p 12.
- [4] Intagri, SC. **Uso de Aditivos y Promotores de Crecimiento en la Alimentación de Bovinos de Engorda**. Equipo editorial de Intagri.(2019). Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/uso-de-aditivos-y-promotores-de-crecimiento-en-la-alimentacion-de-bovinos>
- [5] Quiros, E. **Historia de la ganadería bovina en Costa Rica**. San José, C. R, CORFOGA, (2006). 10 p.
- [6] **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): Un tercio más de bocas que alimentar**, (2009). Recuperado de: [Disponibile en: https://www.fao.org/news/story/es/item/35675/icode/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20los%20%C3%BAltimos%20c%C3%A1lculos%20de,en%20los%20pa%C3%ADses%20en%20desarrollo](https://www.fao.org/news/story/es/item/35675/icode/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20los%20%C3%BAltimos%20c%C3%A1lculos%20de,en%20los%20pa%C3%ADses%20en%20desarrollo).

[7] Araujo L.C. **Modelos matemáticos para estimar la producción de *Panicum maximum* cv. Mombaza en la región del Estado de San Pablo.** Tesis Doctoral. Universidad de San Pablo. (2011).

[8] Ortez, O., Valladares, E. **Ganancia diaria de peso en novillos tratados con dos tipos de implantes anabólicos y alimentados con caña de azúcar.** (2012). Recuperado de: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1056/1/T3348.pdf>

[9] Ledezma B. **Utilización de implantes anabolizantes en producción de carne bovina. Trabajo especial de grado para optar por el título de Zootecnista.** Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Cauca, Colombia. (2014).

[10] Avilez, V.Y. **Evaluación del uso de anabólicos (implante) acetato de trembolona y boldenona (undecilenato) en la raza brahmán en la etapa de engorde.** Trabajo Especial de Grado. Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Babahoyo-Ecuador. (2021)

[11] González Ulibarry, **Uso de anabólicos en la producción ganadera y sus efectos en la salud de las personas.** Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN. Asesoría Técnica Parlamentaria. SUP 113505. (2017).

[12] Herrera J., Paul D. **Anabólicos en Desarrollo y Crecimiento de Toretas Cruzadas Para Engorde en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.** (2012).

[13] Pale, J. **Reimplante anabólico hormonal y respuesta productiva de bovinos finalizados a corral.** (Tesis inédita de pregrado). Universidad Veracruzana, México. (2010).

[14] Navarros F. **Evaluación de un implante hormonal (Progesterona-Benzoato de Estradiol) para incorporarlo a una explotación intensiva de ganado bovino.** Universidad de Guadalajara. Jalisco, Mexico. (1993).

[15] Cerón, P. **Evaluación de 2 dietas y un testigo para cebar animales Brahman mestizos en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.** (Tesis inédita de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito. (2013).

[16] Paéz J. **Evaluación de un implante anabólico con antibiótico en corrales de engorda de la zona centro del Estado de Veracruz.** (Tesis inédita de pregrado). Universidad Veracruzana, México. (2006).

[17] Arias, R. **Uso correcto de implantes promotores del crecimiento en bovinos productores de carne.** (2013) Recuperado de: [http://www.academia.edu/5439882/Uso\\_correcto\\_de\\_implantes\\_anabolicos\\_en\\_el\\_ganado\\_de\\_carne\\_2013](http://www.academia.edu/5439882/Uso_correcto_de_implantes_anabolicos_en_el_ganado_de_carne_2013)

[18] Toro y Valladares, **Ganancia diaria de peso en novillos tratados con dos tipos de implantes anabólicos y alimentados con caña de azúcar.** Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura. Universidad de Zamorano. Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria. Honduras. (2012).

### **Nota especial**

Artículo de investigación derivado del trabajo especial de grado, titulado: Análisis comparativo del efecto de dos implantes anabólicos sobre la ganancia de peso en mautos a pastoreo con suplemento en el municipio Colón del Estado Zulia, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.



# Preparación y caracterización catalizadores de Ni/CeO<sub>2</sub> y Co/CeO<sub>2</sub> y modificados con lantano para uso en catalizadores TWC

*Preparation and characterization of Ni/CeO<sub>2</sub> and Co/CeO<sub>2</sub> catalysts and modified with lanthanum for use in TWC catalysts*

**María Emilia Da Costa Romero**

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

 <https://orcid.org/0009-0002-0364-949X> | Correo electrónico: [maria.da.8060@uru.edu](mailto:maria.da.8060@uru.edu)

Recibido: 12/01/2022

Aceptado: 11/06/2022

## Resumen

Se prepararon catalizadores de Co/CeO<sub>2</sub>, Co-0.1La / CeO<sub>2</sub>, Ni/CeO<sub>2</sub> y Ni-0.1La/ CeO<sub>2</sub>, utilizando la técnica de impregnación a partir de soluciones acuosas de nitratos. Los catalizadores fueron caracterizados usando fluorescencia de rayos X (XRF), área superficial BET, y Capacidad de Almacenamiento de Oxígeno (OSC). La introducción de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aumenta el área superficial de las muestras preparadas, mas no afecta significativamente el volumen de poro. La fluorescencia de rayos X demostró que los catalizadores preparados contenían 7% de Co, 2% de La y 9 % de Ni. Los estudios de capacidad de almacenamiento de oxígeno (OSC) indican que el catalizador Co/CeO<sub>2</sub> es el mejor y que la presencia de lantano mejora la capacidad de almacenamiento de oxígeno.

**Palabras clave:** Catalizadores de tres vías, XRF, BET, OSC, lantano.

## Abstract

The Co/CeO<sub>2</sub>, Co-0.1La / CeO<sub>2</sub>, Ni/CeO<sub>2</sub> y Ni-0.1La/ CeO<sub>2</sub>, catalysts were prepared by impregnation technique from aqueous solutions of nitrates. The catalysts were characterized by X-ray fluorescence (XRF), BET surface area, and oxygen storage capacity (OSC). The introduction of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> increases the surface area of the prepared samples, but does not significantly affect the pore volume. X-ray fluorescence showed that the prepared catalysts contained 7% Co, 2% La and 9% Ni. Oxygen storage capacity (OSC) studies indicate that the Co/CeO<sub>2</sub> catalyst is the best and that the presence of lanthanum increases the oxygen storage capacity

**Keywords:** Three way catalysts, XRF, BET, OSC, lanthanum

## Introducción

En la actualidad los automóviles son parte esencial de nuestra sociedad y para muchos es casi una necesidad básica. Sin embargo, ellos junto con las plantas industriales aportan una gran cantidad de sustancias contaminantes, contribuyendo a que nuestra atmósfera se convierta en un gran depósito de sustancias nocivas para la salud como son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógenos (NO<sub>x</sub>) y los hidrocarburos no quemados (HC).

La introducción de los convertidores catalíticos desde hace casi tres décadas han resultado ser altamente efectivos para el control de las emisiones de los motores de combustión interna, lo cual es considerado como uno de los mejores logros ambientales del siglo XX, por lo que desde entonces se han estado desarrollando nuevas tecnologías de control de emisiones para cumplir con los más exigentes estándares de emisiones según Heck y Farrauto [1].

Las especificaciones de los TWC de última generación son cada vez más exigentes, lo cual obliga a la búsqueda de promotores redox alternativos con el propósito de obtener un catalizador que mejore los sistemas clásicos basados en  $\text{CeO}_2$ , especialmente en las condiciones denominadas de arranque en frío del automóvil según Fornasiero *et al.*, [2]; instante en el cual se produce más del 90% de las emisiones de hidrocarburos a la atmósfera. El buen funcionamiento del  $\text{CeO}_2$  como promotor se ve afectado por la baja temperatura del catalizador antes de que se alcancen las condiciones estacionarias según Finol [3].

En los últimos años, la importancia económica y tecnológica alcanzada por los catalizadores tipo TWC, sistema utilizados en la depuración de las emisiones contaminantes generadas por los automóviles según Deobert [4] es un hecho evidente. La combustión catalítica de hidrocarburos está creciendo en importancia para el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, ya que esta puede reducir drásticamente la temperatura requerida para una combustión completa en comparación con los procesos térmicos de combustión sin catalizador según Reyes *et al.*, [5]. Estudiar la combustión catalítica de metano tiene una particular importancia, debido a que es el hidrocarburo más estable según Ribeiro *et al.*, [6], pero principalmente porque existe un consenso mundial en utilizar el gas natural como fuente de energía, considerando las grandes reservas que existen según De Groote y Froment [7].

Por todas las razones anteriormente expuestas, es necesario el desarrollo de nuevos catalizadores alternativos que eliminen o mejoren los efectos indeseables que presenta el  $\text{CeO}_2$ . En este sentido en la presente investigación se planteó preparar y caracterizar un catalizador a base de cerio, para ser utilizado como TWC.

### Fundamentos teóricos

En los últimos años, se ha alcanzado un importante avance tecnológico en el desarrollo de los catalizadores de tres vías (TWC). Buena prueba de ello es el amplio número de referencias existentes en el tema resumidas en una serie de revisiones bibliográficas [8]

La contaminación atmosférica se ha convertido en un problema de importancia mundial. Gran parte de esta contaminación es producida por las emisiones generadas por los vehículos automotores, dada la combustión interna, en donde la gasolina (que contiene parafinas e hidrocarburos aromáticos) se quema con el aire.



Dada la combustión incompleta, se producen una gran variedad de compuestos, considerando algunos de ellos contaminantes a la atmósfera. En la Tabla 1, se muestran los gases emitidos por la combustión interna de un motor en condiciones normales de operación con su respectiva composición, donde los principales gases contaminantes son CO, Hidrocarburos no quemados (HC) y  $\text{NO}_x$  según Kaspar *et al.*, [9]

**Tabla 1. Composición de los gases de escape de la combustión interna de un motor [1]**

GAS	COMPOSICIÓN
Monóxido de Carbono (CO)	0.5 %
Hidrocarburos no quemados (HC)	350 ppm
Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )	900 ppm
Hidrógeno ( $\text{H}_2$ )	0.17 %
Agua ( $\text{H}_2\text{O}$ )	10 %
Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )	10 %
Oxígeno ( $\text{O}_2$ )	0.5 %

Los catalizadores de tres vías utilizados para convertir los principales gases contaminantes generados por los automóviles (CO, NO<sub>x</sub> y HC), son colocados en el tubo de escape bajo el chasis del automóvil. En la Figura 1, se representa en forma esquemática la configuración física del sistema catalítico usualmente utilizado en los automóviles.

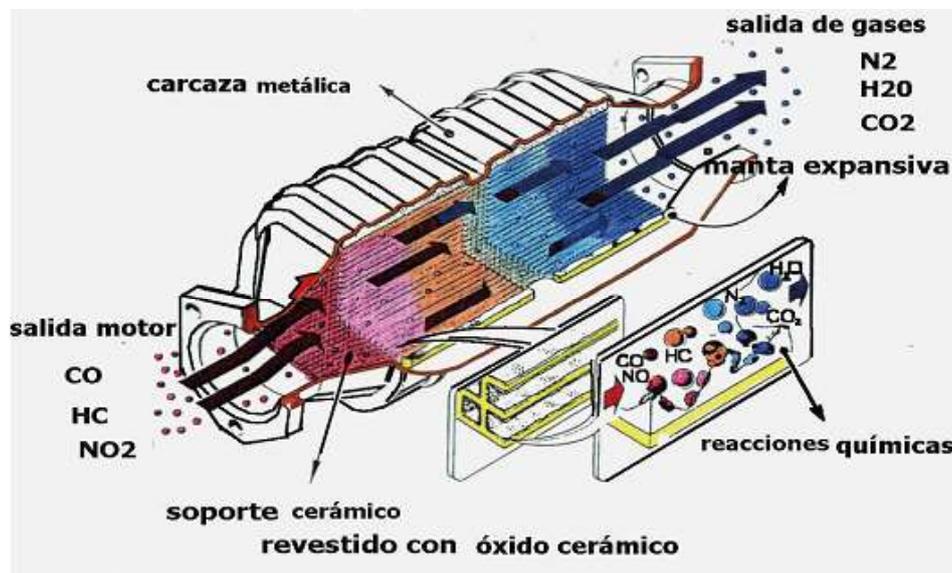
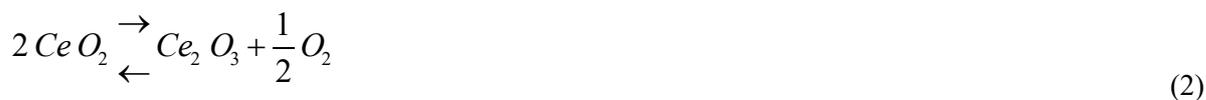


Figura 1. Corte de un convertidor catalítico [1]

La comunidad científica ha estudiado diferentes mecanismos que conlleven a una disminución en las emisiones contaminantes producidas por los automóviles, lo cual se ha visto también influenciado por las estrictas disposiciones que ha implementado la Agencia de Protección de Ambiente (EPA) en cuanto a la cantidad de emisiones permitidas para cada poluyente, con el propósito final de obtener cero emisiones al ambiente, según Bertelsen [10]

El óxido de cerio es el componente principal de los TWC y cumple varias funciones:

Regular la presión de oxígeno en el medio según Miki *et al.*, [11] almacenando oxígeno en la etapa oxidante del ciclo de funcionamiento del motor y liberando cuando la composición de los gases de escape se hace netamente reductora según Yao y Yao [12]



- Promueve la reacción de desplazamiento del gas de agua (water gas shift reaction) [13].
- Estabiliza la dispersión de la fase metálica [2].

No obstante, el CeO<sub>2</sub> presenta una pobre estabilidad textural [14] frente a los tratamientos térmicos bajo condiciones reductoras, lo cual trae como consecuencias:

- Empeoramiento de sus propiedades redox principalmente a temperaturas bajas o moderadas (T < 500 °C).
- Se favorecen los fenómenos de sinterización y encapsulamiento del metal soportado, con la consiguiente pérdida de la superficie metálica y por tanto disminución de la actividad catalítica.

Tomando en consideración estas desventajas y los regímenes de control de las emisiones de contaminación a la atmósfera, se hace necesaria la búsqueda de nuevos materiales alternativos al CeO<sub>2</sub>. El desarrollo de nuevos catalizadores debe estar enmarcado en tres aspectos fundamentales:

### 1.- Su respuesta bajo las condiciones de arranque en frío del automóvil.

La mayoría de los catalizadores presentan una baja eficiencia en la conversión de CO, HC y NO<sub>x</sub> durante los primeros instantes, aproximadamente 1 minuto de funcionamiento del motor, después de su encendido, debido a la baja temperatura del catalizador según Gruy y Pijolat [15]. Es en este período cuando se produce más del 90 % de las emisiones de agentes contaminantes a la atmósfera. Antes de que se alcancen condiciones estacionarias, en efecto, la temperatura del catalizador es demasiado baja, lo que impide un funcionamiento efectivo del óxido de cerio como promotor redox. En la Tabla 2, se muestra una relación de porcentajes en volumen de los diferentes hidrocarburos emitidos segundos después del arranque en frío.

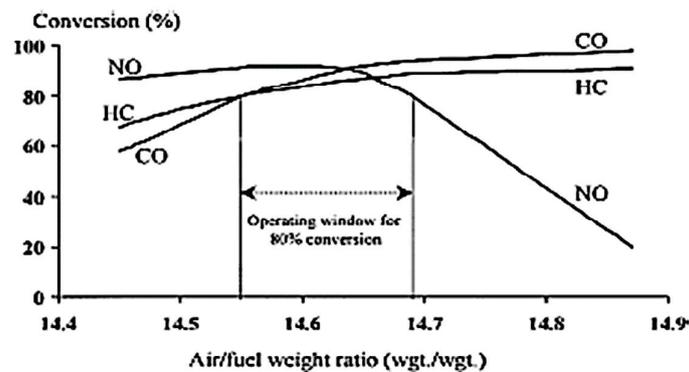
**Tabla 2. Hidrocarburos presentes en el arranque en frío y su respectiva composición (% en volumen) a los 3s y 30s del arranque [15]**

Hidrocarburos	TIEMPO DE MUESTREO (Tiempo después del arranque en frío)	
	3s	30s
Parafinas	20 %	35 %
Olefinas	45 %	20 %
Aromáticos (C <sub>6</sub> y C <sub>7</sub> )	20 %	20 %
Aromáticos (>C <sub>8</sub> )	15 %	25 %

Es por ello, que la tendencia actual es la búsqueda de un TWC con buena respuesta a temperaturas bajas/moderadas, esto es; temperaturas menores a 500°C.

### 2.- Ampliar la ventana de operación efectiva Aire/Combustible (A/F="air/fuel").

La composición del gas de escape se caracteriza por variar entre condiciones pobres en combustibles (oxidantes) y condiciones ricas en combustibles (reductoras). Es aquí donde el promotor redox juega un papel vital, gracias a que puede atenuar estos cambios en la composición de los gases de escape, evitando así grandes desviaciones respecto a la denominada relación aire combustible estequiométrica, es decir, de las condiciones en las que estos catalizadores muestran su máxima eficiencia para la conversión simultánea de los tres contaminantes fundamentales de los gases de escape: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados. En la Figura 2 se muestra el efecto de la relación A/F en la conversión de los contaminantes CO, HC y NO<sub>x</sub>. El funcionamiento óptimo del catalizador ocurre para relaciones A/F cercanas al valor estequiométrico según Kaspar *et al.*, [16].



**Figura 2. Efecto de la relación A/F en la conversión de NO, HC y CO [16]**

La capacidad de amortiguamiento de un óxido se relaciona con la cantidad de oxígeno (gramo o mol) que el componente redox del TWC puede intercambiar con la atmósfera. De aquí surge el término “Capacidad de Almacenamiento de Oxígeno” (OSC: “Oxygen Storage Capacity”). Así, a mayor OSC, mayor será la ventana de operación A/F dentro del cual los TWC serán efectivos. Por lo tanto, los nuevos catalizadores deben poseer una alta OSC.

### 3.- Mejorar la resistencia del catalizador frente a la desactivación.

El catalizador debe poseer buenas propiedades tanto texturales como estructurales, ya que las condiciones en las cuales trabaja suelen ser bastante severas: altas temperaturas, variación de la relación A/F, entre otras. Para mejorar las condiciones de arranque en frío, estos catalizadores se colocan próximos al colector de los gases de escape, por lo que son llamados convertidores de acoplamiento cercano, donde la temperatura puede alcanzar los 900 °C según Finol [3] Es por ello que en la preparación del catalizador se desea que el soporte, presente buenas propiedades de expansión térmica.

Por otro lado, Fornasiero *et al.*, [2] demostraron que la incorporación de iones lantánidos (La<sup>+3</sup>, Y<sup>+3</sup>, Tb<sup>+3,+4</sup>, o Zr<sup>+4</sup>) a la red tipo fluorita del CeO<sub>2</sub> mejora significativamente el comportamiento redox del dióxido de cerio. Dicha mejora ha resultado ser significativa en el caso de los óxidos mixtos Ce/Tb, y más concretamente, en los sistemas CeTbO<sub>x</sub> según Blanco [17].

Miki *et al.*, [18] en su investigación realizada en catalizadores TWC a base de CeO<sub>2</sub> demuestran que, a elevadas temperaturas, en un ambiente reductor, conducen a la formación de fases mixtas tipo perovskita, CeAlO<sub>3</sub>. La formación de esta fase estabiliza el ion Ce<sup>+3</sup> provocando una pérdida prácticamente irreversible de CeO<sub>2</sub> y por consiguiente una desactivación progresiva del catalizador. Graham *et al.*, [19] en la investigación indican que para prevenir este efecto se debe modificar el soporte mediante la incorporación de óxido de lantano. Es conocido por Sysio [20] que el La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presenta características estructurales análogas a Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y, por consiguiente, que el pretratamiento de la alúmina con este óxido podría permitir la formación de una fase superficial LaAlO<sub>3</sub>, cristalográficamente muy parecida al CeAlO<sub>3</sub>. La fase LaAlO<sub>3</sub> podría actuar de barrera limitando así la estabilización de Ce<sup>+3</sup> (Tb<sup>+3</sup>) y, por lo tanto, la desactivación del óxido mixto CeTbO<sub>x</sub>.

### Parte experimental

Esta investigación es de campo, ya que el objetivo es caracterizar catalizadores, obtener datos directamente de la realidad, tal y como lo plantea Arias [21] al recalcar que la investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos.

Por otra parte, es necesario señalar que esta investigación es del tipo explicativa, ya que de acuerdo a Hernández [22] la investigación explicativa va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos. Es importante recalcar que en esta investigación se caracteriza los catalizadores para poder determinar su comportamiento.

Debido a la naturaleza de la investigación puede que el diseño de la misma es de tipo experimental. De acuerdo a Hernández [22] un experimento se refiere a elegir o realizar una acción y después observar las consecuencias.

Además, Arias [21] define la investigación experimental como un proceso que consiste en someter a un grupo u objetos a determinadas condiciones o estímulos para observar los efectos que se producen. De acuerdo con las ideas expuestas anteriormente, cabe resaltar que en esta investigación se preparó y caracterizó catalizadores.

Para lograr el desarrollo de los objetivos de la investigación, se establecieron las fases necesarias para poder alcanzar el objetivo general de la investigación, de manera específica para cada uno.

### **Preparar catalizadores de Co/CeO<sub>2</sub> y Ni/CeO<sub>2</sub> y modificados con lantana.**

Se utilizaron sales precursoras: Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O, La(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>\*6H<sub>2</sub>O, Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>\*6H<sub>2</sub>O. Los catalizadores fueron preparados por el método de impregnación y fueron preparados para obtener una carga de 10g de metal por cada 100g de soporte y 10g de La. Los soportes fueron impregnados luego secado a 80 °C en aire, calcinados en una mufla a 700 °C por 4 h, almacenándose en forma oxidada hasta su uso como catalizadores. Durante el desarrollo del trabajo los catalizadores serán denotados como Co/CeO<sub>2</sub>, Co-0.1La/CeO<sub>2</sub>, Ni/CeO<sub>2</sub> y Ni-0.1La/CeO<sub>2</sub>

### **Determinación el Área superficial de los catalizadores preparados mediante la ecuación de Brunauer - Emmett y Teller (BET).**

Se utilizó un equipo Micromeritics ASAP 2010 para determinar el área superficial de las muestras preparadas. 100mg de muestra fueron previamente secadas a 150 °C por 3 horas en alto vacío antes del análisis. La prueba consistió en inyectar nitrógeno a diferentes presiones, en un rango de presión relativa de  $3.7 \times 10^{-6} < P/P_0 < 0.994$ , a una temperatura constante de -196 °C (baño de nitrógeno líquido). El equipo conectado a un computador registra el volumen de nitrógeno adsorbido para cada presión relativa en el momento de alcanzar el equilibrio. Se obtuvieron las isothermas de adsorción, y utilizando la ecuación de BET (Brunauer, Emmett y Teller) se determinó el área superficial ( $S_{BET}$ ) y el volumen de poro ( $V_p$ )

### **Determinación de la composición química de los catalizadores mediante la Fluorescencia de Rayos X (XRF).**

La composición química de todas las muestras fueron determinadas por Fluorescencia de rayos X empleando el espectrómetro SHIMADZU EDX-700HS, trabajando en base seca y a alto vacío, con 100mg de muestra.

### **Propiedades químicas mediante medidas de capacidad de almacenamiento de Oxígeno (OSC).**

Las medidas de Capacidad de Almacenamiento de Oxígeno (OSC) se han llevado a cabo en condiciones muy próximas a las condiciones de operación de los TWC. Se utilizó una atmósfera reductora de H<sub>2</sub> (5.225%)/Ar (30 mL/min) y oxidante O<sub>2</sub>(5.09%)/He (30 mL/min) muy suaves. El procedimiento seguido consiste en someter la muestra (100 mg) al tratamiento estándar de limpieza de O<sub>2</sub> (5.09%)/He (30 mL/min), a continuación se calienta a una velocidad de 10 °C / min hasta la temperatura de reducción (600 °C) y se mantiene 30 minutos hasta lograr una completa estabilización. Seguidamente se introduce la mezcla reductora a 30 mL/min durante un minuto y se evacua durante 15 minutos a la temperatura de reducción. Posteriormente se enfría la muestra en flujo de gas inerte hasta 150 °C, temperatura de referencia fijada para introducir los pulsos de 25 µL de mezcla de oxígeno los cuales se inyectaron al flujo de gas de arrastre (30 mL/min) cada 30 segundos.

## **Resultados y discusión**

### **Preparar catalizadores de Co/CeO<sub>2</sub> y Ni/CeO<sub>2</sub> y modificados con lantana.**

Después de la aplicación del método de impregnación se logró obtener cuatro muestras de catalizadores Co/CeO<sub>2</sub>, Co-0.1La/CeO<sub>2</sub>, Ni/CeO<sub>2</sub>, Ni-0.1La/CeO<sub>2</sub>

### **Determinación el Área superficial de los catalizadores preparados mediante la ecuación de Brunauer - Emmett y Teller (BET)**

Los valores de superficie BET y de porosidad de los catalizadores a base de cobalto y de níquel se muestran en la Tabla 3.

La introducción de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cambia de forma insignificante el área superficial BET de las muestras preparadas dado que se observa un ligero aumento en presencia de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. También, el volumen de poros y el tamaño de los poros no se ven afectados significativamente por la adición del óxido de tierras raras al catalizador.

**Tabla 3. Superficie BET y Volumen de poro para todas las muestras preparadas.**

Muestras	Superficie BET (m <sup>2</sup> /g)	Volumen de poro (cm <sup>3</sup> /g)
Co / CeO <sub>2</sub>	34.5	0.16
Co-0.1La / CeO <sub>2</sub>	38.7	0.18
Ni / CeO <sub>2</sub>	39.4	0.17
Ni-0.1La/ CeO <sub>2</sub>	42.2	0.19

### Determinación de la composición química de los catalizadores mediante la Fluorescencia de Rayos X (XRF)

Los resultados obtenidos a partir del análisis de Fluorescencia de Rayos X aparecen registrados en la Tabla 4.

**Tabla 4. Composición química (% m/m) de las diferentes muestras preparadas.**

Muestras	Co	La	Ni	CeO <sub>2</sub>
Co / CeO <sub>2</sub>	7	-	-	93
Co-0.1La / CeO <sub>2</sub>	7	2.0	-	91
Ni / CeO <sub>2</sub>	-	-	9	91
Ni-0.1La/ CeO <sub>2</sub>	-	2.0	9	89

El contenido de cobalto de los catalizadores preparados a base de cobalto es inferior al valor nominal de 10 % en peso ya que es de 7 % en peso para ambas muestras. Mientras que la carga de níquel está muy cerca del valor nominal y en el caso de ambos catalizadores basados en níquel es de 9 % en peso, ambos catalizadores promovidos con La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contienen 2 % en peso de lantano.

### Propiedades químicas mediante medidas de capacidad de almacenamiento de Oxígeno (OSC).

Uno de los requerimientos básicos para un buen catalizador TWC es tener alta capacidad para intercambiar oxígeno con el medio que lo rodea. En este sentido el óxido de cerio ha sido ampliamente utilizado por su gran capacidad para almacenar y liberar oxígeno cuando la atmósfera que lo rodea es oxidante o reductora respectivamente. En estudios realizados se ha mostrado que el cerio incrementa su OSC introduciendo cationes diferentes a la red, lo cual ha sido asociado con una mayor movilidad del oxígeno en la estructura de la fluorita según McCabe *et al.*, [23]

Para evaluar la capacidad de almacenamiento de oxígeno de los catalizadores los resultados se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5. Capacidad de Almacenamiento de Oxígeno (mmol/g) de las diferentes muestras preparadas.**

Muestras	mmol/g
Co / CeO <sub>2</sub>	0.95
Co-0.1La / CeO <sub>2</sub>	0.80
Ni / CeO <sub>2</sub>	0.75
Ni-0.1La/ CeO <sub>2</sub>	0.65

Se observó en la Tabla 5, que la capacidad de almacenamiento de oxígeno es ligeramente más alta para los catalizadores basados en cobalto y níquel sin la adición de  $\text{La}_2\text{O}_3$ . Esto puede deberse a la falta de capacidad de almacenamiento de oxígeno por parte del componente  $\text{La}_2\text{O}_3$ . El promotor  $\text{La}_2\text{O}_3$  podría haberse depositado en las vacantes de oxígeno (regiones donde el  $\text{CeO}_x$  está en contacto con el metal) en el catalizador y, por tanto, inhibió parcialmente los procesos de almacenamiento o liberación de oxígeno.

### Conclusiones

- La introducción de  $\text{La}_2\text{O}_3$  aumenta el área superficial de las muestras preparadas
- El volumen de poros no se ven afectados significativamente por la adición del óxido de tierras raras al catalizador.
- la fluorescencia de rayos X demostró que los catalizadores preparados contenían 7% de Co, 2% de La y 9 % de Ni
- El catalizador  $\text{Co/CeO}_2$  es el que presenta la mejor capacidad de almacenamiento de oxígeno (OSC) con respecto al resto de los catalizadores preparados
- La introducción del lantano disminuye la capacidad de almacenamiento de oxígeno.

### Referencias bibliográficas

- [1] Heck, R., Farrauto, R., **Automobile exhaust catalysts**. Applied Catalysis A: General. 221, (2001), 443-457
- [2] Fornasiero, P., Di Monte, R., Ranga Rao, G., Kaspar, J., Meriani, S., Trovarelli, A., Graziani, M., **Rh-Loaded  $\text{CeO}_2$ - $\text{ZrO}_2$  Solid-Solutions as Highly Efficient Oxygen Exchangers: Dependence of the Reduction Behavior and the Oxygen Storage Capacity on the Structural-Properties.**, Journal of Catalysis. 151, (1995), 168-177
- [3] Finol, D., **Investigación de un óxido mixto de Ce/Tb como promotor alternativo al dióxido de cerio en catalizadores tipo TWC**. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz. (1999).
- [4] Deobert, P., **Automobiles and Pollution, Society of Automotive Engineers, INC.**, Warrendal, PA, USA. (1995)
- [5] Reyes, P., Figueroa, A., Pecchi, G., Fierro, J. L. G., **Catalysts Combustion of methane on Pd-Cu/ $\text{SiO}_2$  Catalysts**, Catalysis Today 62, (2000), 209- 217.
- [6] Ribeiro. F. H., Chow, M., Dalla Beta, R.A., **Kinetics of the Complete Oxidation of Methane over Supported Palladium Catalysts.**, Journal of Catalysis. 146, (1994), 537-544
- [7] De Groote, A.M., Froment, G.F., **Simulation of the catalytic partial oxidation of methane to synthesis gas**. Applied Catalysis. A.General 138, (1996), 245 - 264
- [8] Cooper, B. J.; Evans, W. D. J.; Harrison, B., **Catalysis and Automotive Pollution Control**. Catalysis and Automotive Pollution Control, A. (1987), 117-141
- [9] Kaspar, J., Fornasiero, P., Graziani, M., **Use of  $\text{CeO}_2$ -based oxides in the three-way catalysis**. Catalysis., Today, 50, (1999), 285-298
- [10] Bertelsen, B., **Future US motor vehicle emission standards and the role of advanced emission control technology in meeting those standards.**, Topics in Catálisis, 16/17, (2001), 15-22
- [11] Miki, T., Ogama, T., Haneda, M., Kakuta, N., Ueno, A., **Enhanced oxygen storage capacity of cerium oxides in  $\text{CeO}_2/\text{La}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  containing precious metals.**, J. Phys. Chem., 94 (1990), 6464-6467
- [12] Yao, H. C. Yao, Y.F., **Ceria in automotive exhaust catalysts: I. Oxygen storage.**, Journal of Catalysis. 86, (1984), 254-265

- [13] Balducci, G., Kaspar, J., Fornasiero, P., Graziani, M., **Surface and Reduction Energetics of the CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> Catalysts.**, J. Phys. Chem. B. 102, (1998), 557-561.
- [14] Laachir, A., Perrichon, V., Badri, A., Lamotte, J., Chaterine, E., Lavalley, J.C., El Fallah, J., Hilaire, L., Normand, F., Quéméré, E., Sauvion, G.N., Touret, O., **Reduction of CeO<sub>2</sub> by hydrogen. Magnetic susceptibility and Fourier-transform infrared, ultraviolet and X-ray photoelectron spectroscopy measurements.**, J. Chem. Soc. Faraday Trans., 87,(1991), 1601-1609
- [15] Gruy, F., Pijolat, M. J., **Kinetics of CeO<sub>2</sub> surface area reduction in a mixture of HCl, H<sub>2</sub>O and O<sub>2</sub>**, Journal Am. Ceram. Soc., 77, (1994), 1537-1544.
- [16] Kaspar, J., Di Monte, R., Fornasiero, P., Graziani, M., Bradshaw, H., Norman, C., **Dependency of the oxygen storage capacity in Zirconio – Ceria solid solutions upon textural properties.** Topics in Catalysis., 16/17, (2001), 83-87
- [17] Blanco, G., **Alternativas al CeO<sub>2</sub> como componente de catalizadores de tres vías: Óxidos mixtos de La/Ce, Y/Ce y Tb/Ce.**, Tesis Doctoral, Universidad de Cadiz., (1997)
- [18] Miki, T., Ogawa T., Ueno, A., Matsuura, S., Sato, M., **Reversible Change in the Structure of Cerium Oxide in Alumina-Supported.**, Catalyst Chem. Letters., (1988), 565-568
- [19] Graham, G. W., Schmitz, P. J., Usmen, R. K., McCabe, R. W., **Investigation of La<sup>+3</sup> modified Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> supported CeO<sub>2</sub>.**, Catalysis Letters 17, (1993), 175-184
- [20] Sysio, P. A., **On the additivity of crystal radii in alkali halides**, Acta Crystallogr. B25, (1969), 2374-2378
- [21] Arias, F. **El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica.** Ediciones Episteme. Caracas. Venezuela., (2004).
- [22] Hernandez, S., **Metodología de la investigación.**, Mc Graw Hill Interamericans Editores, S.A. Mexico, D.F., (2006)
- [23] McCabe, R. W., Kisenyi, J. M. **Advances in automotive catalyst technology**, Chem. Ind. London 8, (1995), 605-608.



# Características fisicoquímicas y organolépticas de productos elaborados con leche de cabra en la región zuliana

*Physicochemical and organoleptic characteristics products made from goat milk in the zulian region*

## Melvin Alfonso Boscán Huerta

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo-Venezuela  
Correo electrónico: [melvin.19845748@uru.edu](mailto:melvin.19845748@uru.edu)

## Angel González Portillo

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo-Venezuela  
Correo electrónico: [angel.gonzalez.80898@uru.edu](mailto:angel.gonzalez.80898@uru.edu)

## Laugeny Díaz Borrego

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo-Venezuela

Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Departamento de Biología. Maracaibo-Venezuela.

 <https://orcid.org/0000-0002-8263-081X> | Correo electrónico: [laugeny.diaz.8396@uru.edu](mailto:laugeny.diaz.8396@uru.edu)

Recibido: 14/01/2022

Aceptado: 11/05/2022

### Resumen

La investigación consistió en caracterizar las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de productos elaborados con leche de cabra en el municipio Santa Rita, estado Zulia. La unidad de análisis estuvo representada por la leche cruda de cabra y los productos queso y yogurt. Los análisis físicos, químicos y microbiológicos se realizaron mediante las normas COVENIN y el análisis sensorial se realizó con un panel de 15 personas. Se obtuvo que la leche empleada para la elaboración de queso y yogurt cumplió con el recuento bacteriano para mesófilos aerobios de  $3,0 \times 10^6$  ufc/mL. El queso presentó en promedio: 55,86% de grasa, 18,56% de humedad y 1,707% de sodio, y el yogurt: 1,89 g ácido láctico/100 g, 5,35% de grasa y 37,76% de sólidos totales. Los productos lácteos recibieron buena aceptación por parte del panel de catadores, destacando en el queso el sabor, apariencia y aroma. En el yogurt sobresalió el sabor, apariencia y aceptabilidad general. Ambos productos presentaron buena calidad microbiológica con recuentos de coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, mohos y levaduras, por debajo de lo aceptado por la norma. Se concluye que los productos elaborados con leche de cabra en la región zuliana cumplen con las propiedades y calidad requeridas para su potencial comercialización, y no representan peligro para el consumidor.

**Palabras clave:** Leche de cabra, análisis fisicoquímicos y sensoriales, calidad microbiológica, queso, yogurt.

### Abstract

*The research consisted of characterizing the physicochemical and organoleptic properties of products made with goat milk in the Santa Rita municipality, Zulia state. The unit of analysis was represented by raw goat milk and the products cheese and yogurt. The physical, chemical and microbiological tests were carried out using the COVENIN standards and the sensory analysis was carried out with a panel of 15 people. It was obtained that the milk used for the production of cheese and yogurt met the bacterial count for aerobic mesophiles of  $3.0 \times 10^6$  cfu/mL. cheese presented on average: 55.86% fat, 18.56% moisture and 1.707% sodium, and yogurt: 1.89 g lactic acid/100 g, 5.35% fat and 37.76% total solids. The dairy products received good acceptance by the panel of tasters, with the flavor, appearance and aroma standing out in the cheese. In the yogurt, the flavor, appearance and general acceptability stood out. Both products presented good microbiological quality with total coliform counts, fecal coliforms, *E. coli*, molds and yeasts, below*

*what is accepted by the standard. It is concluded that the products made with goat milk in the Zulian region meet the properties and quality required for their potential commercialization, and do not represent a danger to the consumer.*

**Keywords:** Goat milk, physicochemical and sensory analysis, microbiological quality, cheese, yogurt.

## Introducción

La cabra fue el primer animal domesticado por el hombre capaz de producir alimento, hace cerca de 10.000 años [1]. La leche de cabra ha sido un componente esencial de la dieta mediterránea en sus orígenes, especialmente mediante su transformación en queso. La demanda de leche de cabra se ha incrementado debido fundamentalmente a la respuesta de consumo por el crecimiento poblacional y por especial interés en los países desarrollados hacia los productos de la leche de cabra, especialmente quesos y yogurt, ya que estos pueden ser consumidos por grupos de personas que presentan intolerancia a los lácteos de origen bovino.

En Venezuela al igual que en otros países de Latinoamérica, la cabra fue introducida por los colonizadores españoles durante el siglo XV, siendo la raza Celta Ibérica el principal antecedente de la cabra criolla. Estos caprinos han evolucionado a través de un proceso de selección natural, en donde el factor principal ha sido la resistencia y sobrevivencia a un medio muy hostil en las zonas áridas y semiáridas del país, lo que ha resultado en alta rusticidad y adaptación al medio, pero también en bajos niveles productivos [1, 2].

En los países tropicales, las cabras son usadas donde otras especies domésticas no sobrevivirían, y la cría se realiza como una actividad de subsistencia por parte de pequeños productores rurales, donde el sistema de producción se basa en minimizar costos más que maximizar ingresos, utilizando pocos insumos, evitando incluso aquellos derivados de la implementación de programas de mejora genética (semen y embriones congelados) [2, 3, 4].

La producción caprina en Venezuela se orienta a los rubros de carne y leche; sin embargo, se observa una tendencia a la producción de leche más no a una caracterización de su valor nutricional. El valor nutritivo de la leche para el hombre, está dado básicamente por su alto contenido en aminoácidos esenciales (cistina, cisteína, metionina), lo cual la hace más valiosa que la proteína de origen vegetal. También elementos como el calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio y cloro, y otros vestigiales como el hierro, cobre, molibdeno, zinc, manganeso, yodo y flúor; todos ellos presentes en la leche, los cuales en unión con otros componentes son responsables de su alto valor nutritivo. La leche contiene todas las vitaminas importantes para la vida, como la A, B1, B2, B6, B12, niacina, ácido pantoténico, C, D y E. La leche de cabra es más blanca que la de vaca, obteniéndose queso y mantequilla blanca, siendo más digestible, por lo cual es aprovechada en tratamientos dietéticos [5].

Por su composición, la leche de cabra se encuentra asociada con ciertos beneficios nutrimentales en niños, así como en el desarrollo de alimentos funcionales y productos derivados con características sensoriales demandadas por consumidores. Este alimento y sus derivados, son también una opción para dinamizar las economías regionales [6, 7].

Como se evidenció anteriormente, la leche de cabra se caracteriza porque posee amplias y altas características nutricionales, por lo que debe ser conservada de cualquier modo para su máximo aprovechamiento en el tiempo, siendo uno de las formas más recomendables fabricar quesos de estilo artesanal dado que es la más antigua, eficaz y económica manera de preservar la leche que se obtiene de los animales [5].

En este contexto, el queso es un alimento antiguo cuyos orígenes pueden ser anteriores a la historia escrita. Descubierta probablemente en Asia Central o en Oriente Medio, su fabricación se extendió a Europa y se había convertido en una empresa sofisticada ya en época romana. A pesar de estar ligado a la cultura moderna europea, el queso era prácticamente desconocido en las culturas orientales, no había sido inventado en la América precolombina, y tenía un uso bastante limitado en África, siendo popular y estando desarrollado sólo en Europa y en las áreas fuertemente influenciadas por su cultura [8].

El queso es un alimento sólido elaborado a partir de la leche de vaca, cabra, oveja, búfala, camella u otros mamíferos rumiantes. Para lograrlo se requiere inducir la leche a cuajarse usando una combinación de cuajo compuesto por agentes bacterianos (o algún sustituto) y acidificación, estas bacterias se encargan de acidificar la leche, jugando también un papel importante en la definición de la textura y el sabor de la mayoría de los quesos. Algunos también contienen mohos, tanto en la superficie exterior como en el interior. Luego se separan los componentes sólidos de la leche, la cuajada, de los líquidos, el suero. Cuanto más suero se extrae más compacto es el queso [8].

En el caso del mercado venezolano, este se caracteriza por estar conformado mayoritariamente por quesos de pasta blanda, definidos como aquellos que maduran con rapidez, no poseen cáscara y su consistencia es menor y más ligera y poseen de un 45% a 55% de agua. En los últimos datos disponibles, las cifras oficiales demuestran que la producción de quesos en Venezuela (en kilogramo) se encuentra en constante crecimiento, ello debido básicamente a la falta de combustible en las receptorías e industrias, lo que ha hecho que disminuya la búsqueda de leche a puerta de corral, razón que dio pie a que los productores migren a la producción de queso para no perder la materia prima [9].

Más aún, cuando se tiene información de que el precio de quesos en Venezuela, según cifras oficiales disponibles del Instituto Venezolano de la Leche y la Carne [10] fue en junio de 2020 de un precio promedio del queso llanero a puerta de corral de 2,23 dólares por kilo; mientras que, en diciembre fue 2,03 dólares y al 18 de enero del 2021 era de 2,07 dólares por kilo. El promedio anual en 2020 fue 2,15 dólares por kilo y alcanzó su pico en marzo (\$3,04) [9]. En la actualidad, de acuerdo con la Federación de Ganaderos de la Cuenca del Lago [11] el precio promedio del queso es de \$3,82.

Aunado a lo anteriormente descrito, la búsqueda de elaboración de queso con leche de cabra reivindica la tendencia a la alta resistencia y adaptabilidad de los caprinos a condiciones ambientales de zonas áridas y semiáridas en las cuales la materia vegetal es escasa para su alimentación y la poca cantidad de agua siendo esta vital para otros tipos de animales no adaptados a la zona, le confieren grandes ventajas a las cabras, siendo capaces de producir carne y leche a pesar de lo adverso del medio, tales bondades han sido bien aprovechadas por las comunidades indígenas, campesinas y distintos sectores productores de esta especie, adoptando el erróneo paradigma de que es un animal que no necesita mejores prácticas de manejo, ligado a una mejora genética, para obtener mayores índices productivos [12].

La mayoría de los productos derivados de la leche de cabra son elaborados en forma artesanal a partir de leche cruda, lo que puede representar un riesgo para la salud, en especial si la calidad microbiológica de la leche no es buena y no se aplican buenas prácticas sanitarias durante el ordeño, fabricación, almacenamiento y comercialización. Las malas prácticas sanitarias se traducen en quesos con alto riesgo de afección a la salud del consumidor. Por ello, la importancia de aplicar buenas prácticas de higiene con el fin de prevenir la contaminación por microorganismos y otros tipos de suciedad en los quesos y también reducir o eliminar los riesgos de que esto suceda, garantizando además la salud de los consumidores.

En apriscos localizados en el sector Las Parcelitas, parroquia El Mene, municipio Santa Rita del estado Zulia, se produce leche que puede ser utilizada para la fabricación artesanal de queso y yogurt lo que constituye una alternativa económica para los productores caprinos del mencionado sector, de allí que se ha decidido indagar sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de esta leche para la fabricación de derivados lácteos como queso y yogurt.

Esta situación llevó a realizar el presente trabajo con el objetivo de analizar las características fisicoquímicas y organolépticas de productos lácteos elaborados con leche de cabra en el municipio Santa Rita del estado Zulia.

## Métodos y Materiales

La investigación se realizó en la empresa Aprisco El Luparo C.A. ubicada en la calle principal a Tolosa, sector Las Parcelitas, parroquia El Mene, municipio Santa Rita del estado Zulia. Para la obtención de la materia prima de leche de cabra, fue proporcionada por parte de la empresa Aprisco El Luparo C.A. Se tomó una muestra de la leche recibida para el análisis microbiológico y físicoquímico, la muestra se llevó a un laboratorio particular de la ciudad de Maracaibo, donde se le realizaron los análisis correspondientes de acuerdo con la normativa venezolana COVENIN vigente. Posterior a la elaboración del queso y yogurt en la mencionada empresa, se tomaron muestras que también fueron llevadas al laboratorio para los respectivos análisis microbiológicos y físicoquímicos. Las muestras se tomaron semanalmente durante cinco semanas, para un total de cinco muestras de queso y cinco muestras de yogurt.

El análisis microbiológico de la leche cruda consistió en la determinación de mesófilos aerobios mediante la norma COVENIN 902 [13]. En el queso consistió en la determinación de coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* (*E.coli*), mediante la norma COVENIN 1104 [14]; mohos y levaduras por el método de la norma COVENIN 1337[15]. En el yogurt se determinó coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, por el método de COVENIN 1104[14], *Lactobacillus* por el método COVENIN 3006[16]; mohos y levaduras por el método de la norma COVENIN 1337[15].

Para el análisis físicoquímico, a la muestra de queso se le determinó grasa cruda por el método de la norma COVENIN 931[17], humedad mediante el método COVENIN 1077[18] y sodio por el método COVENIN 844[19], expresados todos en %p/p. En el yogurt se determinó la acidez (ácido láctico/100g) mediante el método COVENIN 658[20]; grasa cruda (%p/p) mediante el método COVENIN 931[17] y sólidos totales (%p/p) mediante el método COVENIN 932[21].

Para determinar las características organolépticas del queso y yogurt, apariencia visual, color, sabor y textura de los productos lácteos, se procedió a elegir el panel de catadores, quienes en una escala hedónica marcaron la respuesta que mejor reflejara su opinión sobre las características organolépticas del producto, basadas en la textura, olor, sabor y una valoración conjunta del queso y el yogurt.

Para el análisis de los datos obtenidos éstos fueron tabulados y sometidos a estadística descriptiva, reportándose la distribución porcentual según los indicadores de calidad sanitaria evaluados. Para los recuentos se calcularon los valores promedio y desviación estándar de cada grupo. Para los resultados microbiológicos se utilizaron valores medios y rangos establecidos y comparados con la norma venezolana COVENIN. El análisis de los resultados de la prueba sensorial, se hizo mediante una técnica descriptiva utilizando valores porcentuales de cada atributo reflejados en un gráfico circular, para ello se vaciaron los datos en el programa Statistix versión 10.

## Resultados y discusión

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos de los parámetros analizados en las muestras de queso y yogurt.

### Análisis de la calidad microbiológica de la leche cruda de cabra empleada para elaborar los productos lácteos (queso y yogurt)

La Tabla 1 muestra los resultados microbiológicos obtenidos de la leche de vaca cruda empleada para la elaboración de los productos.

**Tabla 1. Análisis microbiológico de leche cruda de cabra.**

Parámetros	Resultados	Métodos
Aerobios mesófilos, ufc/mL	$3,0 \times 10^6$	COVENIN 902-87

La calidad microbiológica de la leche cruda de cabra fue analizada en base a la determinación de aerobios mesófilos, ya que son los microorganismos indicadores de calidad sanitaria, mediante el método establecido en la Norma COVENIN 902: Método para Recuento de Microorganismos Aerobios en Placa de Petri [13], encontrándose que la cantidad de aerobios mesófilos fue de  $3,0 \times 10^6$  unidades formadoras de colonias por mililitro, lo que indica que la muestra cumplió con los límites microbiológicos establecidos en la norma, presentando un recuento bacteriano por debajo del valor máximo señalado por la norma (Tabla 1), considerándose apta para la elaboración de los productos lácteos queso y yogurt. Asimismo, se puede deducir que no se produjo contaminación bacteriana durante las operaciones de ordeño, manipulación o almacenamiento antes o durante su traslado al laboratorio.

Los conteos bacterianos determinados en la leche de cabra, evidencian buena calidad higiénica de la misma, reflejada en los valores medios para el conteo de aerobios mesófilos (AM) ( $3,0 \times 10^6$  ufc.mL<sup>-1</sup>) según la norma COVENIN que establece rangos entre  $<1,0 \times 10^1$  ufc.mL<sup>-1</sup> y  $7,0 \times 10^6$  ufc.mL<sup>-1</sup>. Resultados que contradicen lo señalado por García *et al.*, [22] quienes demostraron que en la leche de cabra producida en la parroquia Faría, predominan especies asociadas a infección intramamaria, y elevados recuentos bacterianos, que evidencian una baja calidad bacteriológica de la leche, representando su uso en la elaboración de queso blanco fresco, a partir de la leche cruda, un riesgo para la salud pública.

También coinciden con los resultados de Palma [23], quien determinó la composición fisicoquímica y microbiológica de la leche de cabra, de un rebaño de cabras de raza Saanen, de Buenos Aires, demostrando que los recuentos de mesófilos aerobios estuvieron por debajo del máximo permitido por el Código Alimentario Argentino ( $1 \times 10^6$  ufc/mL), que de acuerdo con lo observado la norma Argentina, fija parámetros de medición menor a la norma venezolana, dadas las condiciones de sanidad presentes en ese país.

González [24] demostró que en unidades de producción caprinas (UPC) del estado Lara se han realizado mejoras; sin embargo, demostró que los recuentos de mesófilos aerobios, en la leche cruda mostraron valores de  $3 \times 10^5$  ufc/mL indicando que no se excedió en los límites establecidos en la norma COVENIN.

#### Elaboración artesanal de los productos lácteos a partir de leche de cabra

El proceso consistió en el ordeño de las cabras presentes en la empresa Aprisco El Luparo que proveyó la leche cruda. El proceso de elaboración artesanal del queso es como sigue:

1. Se controlaron las características de color, olor y apariencia de la leche ordeñada. Se filtró la leche antes de iniciar el proceso de fabricación del queso, el objetivo del filtrado es separar de la leche los residuos sólidos que resultan durante el proceso de ordeño, como pelos, pasto, insectos y polvo, ya que su presencia significa una posible contaminación física y biológica.

2. Luego se aplicó un tratamiento térmico a la leche que consistió en hervirla y luego dejarla enfriar a temperatura ambiente para adicionar el cuajo. El cuajo utilizado fue el comercial (marca Maxicuajo).

3. Luego de la coagulación producida por efecto del cuajo se procedió a cortar la cuajada. Se separó la cuajada del queso mediante el uso de una tela o colador fino, el suero separado se reservó para los cabritos.

4. Posteriormente se realizó el salado de la cuajada con sal normal y luego se amasó para lograr una distribución uniforme de la sal.

5. Luego del proceso del salado, se introdujo la cuajada en moldes plásticos de 500gr o de 1Kg. Los moldes fueron prensados, adicionando peso encima de ellos para que fueran drenando el suero, y luego transcurridas unas 6 horas se procedió a desmoldar los quesos y refrigerarlos por lo menos 24 horas para su consumo o comercialización.

El proceso de elaboración artesanal del yogurt es como sigue, este procedimiento es propio del Aprisco El Luparo.

1. Se lleva la leche a 45°C para colocar los cultivos iniciadores (marca LyoPro).
2. Luego se envasa en un recipiente térmico y se envuelve en una manta para que conserve el calor y se guarda en un lugar cerrado como puede ser el horno.
3. Después de 8 a 10 horas cuando haya ocurrido la fermentación, el producto se coloca sobre una manta para sacarle el suero y que quede firme, se pone a desuerar por cuatro horas: dos horas fuera y dos horas en refrigeración.
4. Una vez que, se observó la textura firme, se saca de la manta, se envasa y se llevó a refrigeración nuevamente a 4°C.

Se emplearon cinco litros de leche para elaborar cinco envases de yogurt de un litro cada uno, mientras que, para la elaboración del queso se emplearon 3,5 litros de leche para obtener cinco unidades de medio kilo cada uno. En total se emplearon 17,5 litros de leche para cinco quesos.

### Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del queso y yogurt elaborados

En las Tablas 2 y 3 se resumen los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos practicados a las muestras de queso y de yogurt.

**Tabla 2. Análisis fisicoquímico del queso fresco de cabra.**

Muestra	Humedad (%)	Grasa (%)	Sodio (%)
1	18,56	55,86	1,707
2	18,54	56,60	1,797
3	18,56	55,39	1,707
4	18,54	55,77	1,707
5	18,52	55,80	1,707
<b>Promedio</b>	<b>18,56±0,0148</b>	<b>55,86±0,4408</b>	<b>1,707±0,0149</b>

Para cada uno de los parámetros químicos y físicos evaluados se calculó el promedio general de los datos con su respectiva desviación estándar. En la Tabla 2 se presentó los valores expresados en porcentajes de humedad, grasa y sodio de las muestras de queso analizadas, donde se observó que las cinco muestras presentaron valores similares en cada uno de los parámetros evaluados.

Parámetros como la humedad, la materia grasa y el sodio definen, por lo general, no solo la variedad a la que pertenece un queso, sino que en gran medida establecen las características técnicas y sensoriales del producto. Los resultados aquí obtenidos para humedad de 18,56±0,0148% son bajos al compararlos con la norma COVENIN 3821 [25], que establece los rangos de humedad, grasa, sodio en quesos, la misma fija rangos de humedad entre <50 y >68%. Este valor bajo de humedad en los quesos elaborados en este trabajo, probablemente se deba a la alta sinéresis (separación del lactosuero debido a la contracción del gel esto afecta la calidad de los productos lácteos) que suele ser característica en los quesos caprinos, y la porosidad de este tipo de quesos, coincidiendo con lo señalado por Calvo y Balcones [26] citados por Chacón y Pineda [27]. Mientras que, para grasa y sodio los valores se mantuvieron dentro de rangos normales, estableciendo la norma rangos entre <10% y ≥60%. En el caso del contenido de sodio también se encuentra dentro del rango establecido en la norma COVENIN, el cual oscila entre ≤3 y ≤5%.

Por otra parte, la variabilidad encontrada en los parámetros evaluados es un reflejo fiel de las condiciones artesanales con que es elaborado este producto, principalmente por dos motivos. Primero, se realiza a temperatura ambiente, la cual, por su naturaleza, experimenta fluctuaciones que pueden incidir en la actividad metabólica de los cultivos. Segundo, puede haber pequeñas variaciones en la cantidad de días que el queso permanece en refrigeración.

Los resultados presentados coinciden con los mostrados por Principal [28], quien demostró valores de humedad, grasa, cloruro de sodio, extracto seco, proteínas y pH, que al compararlos con los valores expresados por las Normas COVENIN evidencian que están dentro de los parámetros establecidos en las mismas. Sin embargo, se encontraron diferencias con los resultados reportados por González [24], quien en muestras de queso de cabra obtuvo valores de humedad de  $54,41 \pm 0,41$  y de sodio de  $1,34 \pm 0,00$ , con valor de humedad alto y de sodio más bajo que los encontrados en el presente trabajo.

Los valores promedio de los análisis fisicoquímicos analizados en el yogurt se presentaron en la Tabla 3. En general, estos parámetros indicaron que se encuentran dentro de los rangos establecidos por las normas empleadas.

**Tabla 3. Análisis fisicoquímico del yogurt elaborado con leche de cabra.**

Muestra	Acidez, g Ácido Láctico/100 g	Grasa Cruda % p/p	Sólidos totales % p/p
1	1,91	5,38	37,74
2	1,88	5,35	37,77
3	1,91	5,34	37,76
4	1,86	5,36	37,77
5	1,89	5,36	37,78
<b>Promedio</b>	<b>1,89±0,0212</b>	<b>5,35±0,0148</b>	<b>37,76±0,0152</b>

Los resultados obtenidos en las muestras de yogurt coinciden con Parrales [29], quien demostró valores fisicoquímicos en yogurt que están dentro del rango establecido por la norma NTP: 202.192. 2014 (INDECOPI-PERÚ, 2014) [30], de 0,6 a 1,5%, para la acidez del yogurt de leche de cabra, que son valores aceptables para comercialización. Aunque la comparación se hizo con norma peruana, coinciden con los valores que establece la norma venezolana COVENIN que establece acidez entre 1,20 y 1,90 g Ácido láctico/100 g, ajustándose el resultado obtenido en el presente trabajo con el criterio establecido en la norma venezolana.

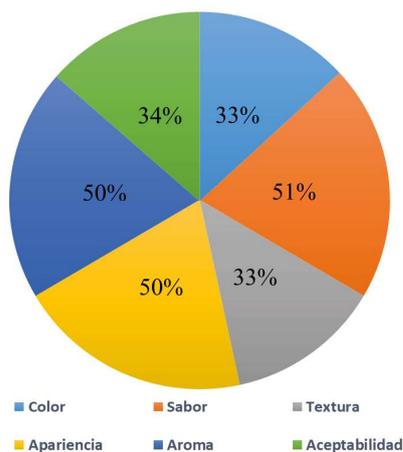
También hay coincidencia con los resultados obtenidos por Alvarado et al., [12], cuyos valores de acidez (>0,7%), grasa (>3,2%) y sólidos totales (>20%) del yogurt elaborado con diferentes fermentos, concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo y se mantienen dentro de los rangos establecidos en las normas para elaboración del yogurt.

### Características organolépticas del queso y yogurt derivados de leche de cabra

De acuerdo con los resultados observados en la Tabla 4 y Figura 2, se apreció que de las características organolépticas evaluadas por el panel de degustadores el sabor fue el que logró el mayor porcentaje de respuestas favorables (51%), continuando con la apariencia y el aroma (50%), luego aceptabilidad (34%), color y textura con 33% cada una. En general, el queso mostró buena aceptación por parte de los catadores.

**Tabla 4. Características organolépticas del queso.**

Grado de satisfacción	Color (%)	Sabor (%)	Textura (%)	Apariencia (%)	Aroma (%)	Aceptabilidad (%)
Muy Agradable	54	67	60	67	47	40
Agradable	33	34	27	33	53	53
Indiferente	13	-	13	-	-	7
Disgustante	-	-	-	-	-	-
Muy Disgustante	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>51</b>	<b>33</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>34</b>

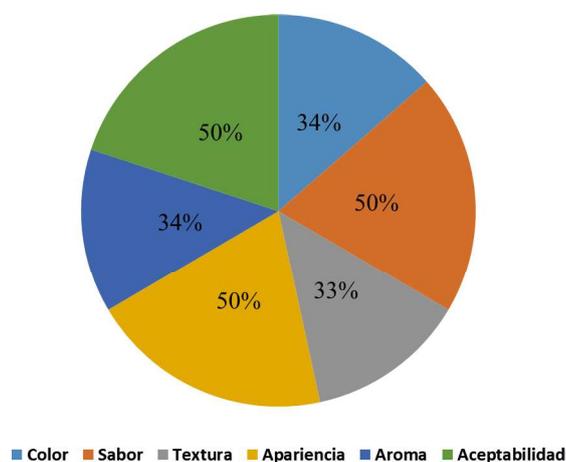


**Figura 1. Características organolépticas del queso**

Los resultados obtenidos al contrastarlos con los presentados por Principal [28], difieren en cuanto al sabor, ya que los quesos elaborados por el mencionado investigador fueron calificados con un sabor salado que no es muy aceptable, en tanto que los sabores dulce y ácido aparecieron con menor frecuencia y con menor intensidad. En cuanto a la apariencia, el queso fue calificado de bueno a excelente, en una escala de muy malo a excepcional. Con respecto al aroma, se evidenció que la mayoría de los catadores calificaron el olor del queso con una intensidad de media a baja. La aceptabilidad fue alta en los resultados de Principal [28], contrastando con el resultado del presente trabajo.

**Tabla 5. Características organolépticas del yogurt.**

Grado de satisfacción	Color (%)	Sabor (%)	Textura (%)	Apariencia (%)	Aroma (%)	Aceptabilidad (%)
Muy Agradable	67	87	80	94	74	87
Agradable	27	13	6	6	13	13
Indiferente	6	-	14	-	13	-
Disgustante	-	-	-	-	-	-
Muy Disgustante	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>50</b>	<b>33</b>	<b>50</b>	<b>34</b>	<b>50</b>



**Figura 2. Características organolépticas del yogurt**

En la Tabla 5 y Figura 2, se observó los resultados en porcentajes indicados por las personas del panel de catadores acerca las propiedades organolépticas del yogurt, donde el sabor, apariencia y aceptabilidad alcanzaron la mayor puntuación (50%), seguido por color y aroma (34%) y finalmente la textura con el 33% en el gusto de los catadores. En general, el yogurt gozó de buena aceptabilidad por parte del público catador.

Al contrastar estos resultados con los de Alvarado et al., [12], muestran que el sabor del yogurt alcanzó la mejor puntuación, seguido por el aroma y aceptabilidad general, igualmente la textura y apariencia fueron aceptados favorablemente, de manera que coinciden el sabor, apariencia y aceptabilidad con los resultados obtenidos en este trabajo; pero el color, aroma y textura si difieren con los resultados demostrados por el autor.

Comparando los resultados con Parrales [29], se consigue coincidencia en el sabor, que al igual que la apariencia y aceptabilidad fueron calificados como satisfactorios. Mientras que, el color, aroma y textura difieren del presente trabajo, ya que los resultados del mencionado autor, tuvieron alta puntuación.

### Calidad microbiológica de los productos lácteos elaborados

En la Tabla 6 se presentó los resultados del análisis microbiológico de las muestras de queso elaborado con leche de cabra. Todos los valores mostrados se encuentran dentro de los rangos establecidos en las normas correspondientes, con lo cual se evidencia que cumplieron con los criterios microbiológicos de formulación y con las buenas prácticas de fabricación del producto.

**Tabla 6. Análisis microbiológico de muestras de queso de cabra.**

Muestra	Coliformes Totales NMP/g	Coliformes Termotolerantes ufc/g	<i>E. coli</i> , NMP/g	Mohos ufc/g	Levaduras ufc/g
1	<10	<0,3	<3	<11	<10
2	<0,3	<10	<3	<11	<11
3	<10	<0,3	< 3	<10	<10
4	<0,3	<0,3	<3	<0,9	<0,9
5	<10	<0,3	<3	<10	<10
<b>Rango</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>* &lt; 3</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>

\*Ningún tubo positivo en una serie de tres (0,1 – 0,01 – 0,001).

Coliformes termotolerantes=coliformes fecales.

Estos resultados al contrastarlos con los obtenidos por Principal [28], indican coincidencia, ya que el mencionado investigador demostró que en las explotaciones donde se elabora el queso artesanal con leche de cabra, los productores aplican buenas prácticas de manufactura, con lo que se evita la presencia de bacterias dañinas en el producto elaborado. De manera que el análisis microbiológico efectuado demostró que se están cumpliendo los parámetros de calidad bacteriológica. Igualmente, coinciden con los resultados demostrados por Palma [23], quien señala en el queso elaborado, que los parámetros microbiológicos se mantuvieron dentro de los rangos establecidos que establece el Código Alimentario Argentino.

Cada uno de los parámetros evaluados es conveniente realizarlo en muestras de queso porque es un indicativo de que no haya problemas de contaminación durante el proceso, pudiendo ser ocasionada por los utensilios para la elaboración de productos lácteos, el agua, durante el empaquetado, higiene deficiente de la mesa de trabajo, operador o refrigeración inadecuada.

Los valores de coliformes totales, termotolerantes y *E. coli* se estiman porque su ausencia o en recuentos dentro de rangos establecidos en las normas, es indicativo que el proceso artesanal de elaboración de los quesos se realizó manteniendo normas higiénicas que evitaron la contaminación de origen fecal, lo que advierte de la posible presencia de otros patógenos en las muestras de queso elaboradas [23]; la alta prevalencia de *E. coli* en quesos implica un riesgo potencial de enfermedades transmitidas por alimentos si los productos se consumen frescos.

**Tabla 7. Análisis microbiológico de muestras de yogurt de leche de cabra.**

Muestra	Coliformes Totales NMP/g	Coliformes Termotolerantes ufc/g	<i>E. coli</i> , NMP/g	Lactobacilos	Mohos ufc/g	Levaduras ufc/g
1	<10	<10	<3	4,1x10 <sup>4</sup>	<10	<11
2	<11	<0,3	<3	4,9x10 <sup>3</sup>	<0,1	<11
3	<10	<10	< 3	4,4x10 <sup>4</sup>	<10	<10
4	<0,3	<0,3	<3	4,3x10 <sup>4</sup>	<0,1	<1
5	<10	<10	<3	4,1x10 <sup>4</sup>	<10	<10
<b>Promedios (o rango)</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>*&lt; 3</b>	<b>4,3x10<sup>4</sup></b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>

\*Ningún tubo positivo en una serie de tres (0,1 – 0,01 – 0,001). Coliformes termotolerantes=coliformes fecales.

Los resultados del análisis microbiológico del yogurt que se presentó en la Tabla 7, que indica que los resultados están dentro de los rangos establecidos en la norma COVENIN. Los coliformes totales y termotolerantes (fecales) encontrados en el presente trabajo estuvieron en un rango de <10 NMP/g, siendo el valor establecido por la norma entre 1,0x10<sup>2</sup> y 1,0x10<sup>3</sup>NMP/g. El valor para *E. coli* está ligeramente por debajo de la norma considerándose excelente, porque denota ausencia de este patógeno en el producto. Para mohos dio un promedio de <10ufc/g estando la norma entre 10 y 1,0x10<sup>2</sup>, igualmente para las levaduras. Estos valores permiten deducir que el yogurt elaborado con leche de cabra es de buena calidad microbiológica, estando todos sus valores comprendidos en rangos normales indicados por la normativa venezolana.

Se observó coincidencia con los resultados obtenidos por Alvarado *et al.*, [12], quienes demostraron valores similares para coliformes de <3NMP/g, y para mohos y levaduras de <10 ufc/g en el yogurt elaborado.

En el yogurt se estiman los parámetros de coliformes totales, termotolerantes y *E. coli* así como *Lactobacillus*, mohos y levaduras, con el fin de determinar si cumplen las muestras con los requisitos microbiológicos establecidos en la norma COVENIN 2393:01 [31]. Los resultados encontrados indican la adecuada pasteurización de la leche, y el uso de fermentos lácticos provenientes de un cultivo madre, lo cual garantiza un producto de buena calidad.

## Conclusiones

Se determinó la calidad microbiológica de la leche de cabra empleada para elaborar los productos lácteos, concluyendo que la leche utilizada para la elaboración de queso y yogurt cumple con un recuento bacteriano por debajo del valor máximo señalado por la norma COVENIN para mesófilos aerobios, por lo tanto, considerándose apta para la elaboración de los productos lácteos queso y yogurt.

Se elaboraron artesanalmente los productos lácteos queso y yogurt, utilizando como materia prima la leche de cabra. Obteniendo cinco muestras de queso y de yogurt, en el yogurt se emplearon cinco litros de leche y en el queso 17,5 litros de leche. Tanto el queso y el yogurt fueron luego analizados en laboratorio determinando sus características físicas y químicas, así como microbiológicas, y se cumplieron las buenas prácticas de ordeño y de manufactura.

Se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas del queso y yogurt elaborados, los análisis del queso permitieron concluir que cumplió con los parámetros establecidos para humedad, grasa y sodio en las normas COVENIN al encontrarse valores permisibles en las normas. En cuanto a los análisis de yogurt referidos a acidez, grasa cruda y sólidos totales también se mostraron con valores permisibles dentro de los rangos establecidos en las normas COVENIN para tales determinaciones. Concluyendo que tanto el queso como el yogurt cumplieron con las propiedades aceptadas por las normas haciéndolos aptos para el consumo humano.

Al determinar las características organolépticas del queso y yogurt derivados de leche de cabra, se obtuvo que ambos productos recibieron una buena aceptación por parte de las personas encargadas del panel de catadores, sobresaliendo principalmente en el queso el sabor, apariencia y aroma. En el yogurt destacaron sabor, apariencia y aceptabilidad.

Se determinó la calidad microbiológica de los productos lácteos elaborados, el queso demostró que los valores expuestos se encuentran dentro de los rangos establecidos en las normas COVENIN, con lo cual se evidencia que cumplieron con los criterios microbiológicos de formulación. El yogurt presentó valores normales permisibles por la norma, indicando que microbiológicamente es de buena calidad.

### Referencias bibliográficas

- [1] Dickson L, Muñoz G. Editores. **Manual de Producción de Caprinos y Ovinos**. 2nd ed. Lara: FUNDACITE (2007).
- [2] Dickson L, Torres-Hernández G, Becerril-Pérez CM, González Cossío F, Rangel Santos R, García Betancourt E. **Evaluación productiva y reproductiva de dos grupos de cabras triple mestizas bajo condiciones de confinamiento en el trópico seco de Venezuela**. Veterinaria México. 32(001) (2001), 33-38.
- [3] Alejua H, Rodríguez M. **Caracterización del circuito caprino en el sector villa Araure (estado Lara, Venezuela)**. Agroalimentaria. 12(23) (2006), 111-121.
- [4] Muñoz G, Albornoz A, Araque C. **La cabra Criolla: Su preservación en áreas comunales**. Revista Agrotécnico. (2008); 24:39-41.
- [5] Quiles A. y M.L. Hevia. **La leche de cabra**. Universidad de Murcia. España. Edit. EDITUM. (1994).
- [6] Haenlein, W. GoatMilk in Human Nutrition. Small Ruminant Research, 51, (2004). 155-163.
- [7] Vega, Y.; León, S.; Gutiérrez, R.; Díaz, G.; González, M.; Ramírez, A., et al.. **Leche de cabra: producción, composición y aptitud industrial**. (2010) Recuperado de: <http://www.alfaeditores.com/carnilac/TECNOLOGIA%20Leche%20de%20cabra.html>.
- [8] Roset Ramón. **El gran libro del queso**. Edición RBA Libros, S.A. 1ra edición. Barcelona. España. (2019).
- [9] Torres A. **Producción de leche líquida migra a la de queso duro ante caída del consumo y falta de gasoil**. Nota de prensa. (2021). Disponible en: <https://cronica.uno/produccion-de-leche-liquida-migra-a-la-de-queso-duro-ante-caida-del-consumo-y-falta-de-gasoil/>
- [10] Instituto Venezolano de la Leche y la Carne (IVLYC) **Estadísticas Mercado nacional. Resumen de precios de la semana 52**. (2020). Recuperado de: <http://invelecar.org/news/supporting/resumen-de-precios-de-la-semana-52>
- [11] Federación de Ganaderos de la Cuenca del Lago (FEGALAGO). **Encuesta de comercialización de productos ganaderos**. Unidad de Estadística. Maracaibo. Estado Zulia. (2022).
- [12] Alvarado C.E, Coronado M., Prósperi F. y Guerra M. **Desarrollo de yogurt con capacidad antioxidante elaborado con leche de cabra (Capra hircus) y tomate de árbol (Cyphomandra betacea Sendtn.)**. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Julio-Diciembre, 2 (2) (2011). 293-312.

- [13] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). Norma Venezolana 902. **Método para Recuento de Microorganismos Aerobios en Placa de Petri**. Caracas Venezuela. (1987).
- [14] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) N° 1104:1996. **Determinación del número más probable de coliformes, coliformes fecales y de *Escherichia coli***. Fondonorma. Caracas, Venezuela. (1996)
- [15] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). N°1337:1990. **Alimentos. Método para recuentos de hongos y levaduras**. Fondonorma. Caracas, Venezuela. (1990)
- [16] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). Norma N° 3006-93. **Recuento de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus***. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondonorma. Venezuela. (1993).
- [17] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) N° 931:1997, **Leche fluida. Determinación de grasa por el método de RoesseGottlie**. Fondonorma. Caracas, Venezuela. (1997)
- [18] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). N°1077:1997. **Leche en polvo**. Fondonorma. Caracas, Venezuela. (1997)
- [19] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) N°844:1978 Alimentos. **Determinación de sodio y potasio**. Fondonorma. Caracas, Venezuela. (1978)
- [20] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). Norma Venezolana COVENIN: 658-1997. **Alimentos. Determinación de acidez titulable**. Fondonorma. Caracas, Venezuela. (1997)
- [21] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). N° 932:1997. **Leche y sus derivados**. Fondonorma. Caracas, Venezuela. (1997)
- [22] García U.A., J. Rivero, P. Gonzáles, K. Valero-Leal, P. Izquierdo, A. García y C. Colmenares **Calidad bacteriológica de la leche cruda de cabra producida en la parroquia Faría, municipio Miranda, estado Zulia, Venezuela**. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 26 (2009), 9-77.
- [23] Palma Parodi, C. **Calidad de leche y queso de cabra. Evaluación de rendimiento quesero**. Tesis. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. Tandil. Argentina. (2015).
- [24] González D. **Optimización del proceso productivo del queso fresco de cabra a nivel artesanal en la región semiárida del estado Lara**. Tesis doctoral. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Postgrado Interfacultades en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Caracas. Venezuela. (2019).
- [25] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). N° 3821-03. Queso. Fondonorma. Caracas, Venezuela.(2003)
- [26] Calvo M.M., Balcones E. **Some factors influencing the syneresis of bovine, ovine and caprine milks**. Journal of dairy Science. 38(8) (2000), 1733-1739. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75043-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75043-0).
- [27] Chacón A. y Pineda M.L. **Características químicas, físicas y sensoriales de un queso de cabra adaptado del tipo “Crottin de Chavignol”**. Artículo publicado en Agronomía Mesoamericana, Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.Vol. 20, núm. 2, (2009) pp. 297-309.
- [28] Principal, C. **Caracterización de la elaboración artesanal de queso con leche de cabra en la ciudad de Barquisimeto, Estado Lara**. Trabajo Especial de Grado. Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Ingeniería de Producción Animal. Maracaibo. Venezuela. (2013).
- [29] Parrales Matute L.E. **Elaboración de yogurt batido a base de leche de cabra criolla (*Capra hircus*), endulzado con Stevia (*Stevia rebaudiana*) como alternativa para el consumo**. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ecuador. (2014).

[30] Norma Técnica Peruana, NTP: 202.192. (INDECOPI-PERÚ). **Leche y productos lácteos. Leches fermentadas.** 2014-12-18. 5ta. Edición. (2014)

[31] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). **Norma Venezolana COVENIN. 2393:2001. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Yogurt (3era. Revisión).** Caracas, Venezuela. (2001)

### **Nota especial**

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado titulado: Características fisicoquímicas y organolépticas de productos lácteos elaborados con leche de cabra en la región zuliana, presentado ante la Universidad Rafael Urdaneta, estado Zulia.



# Estimación de parámetros y méritos genéticos para peso al nacer en búfalos Murrah en el estado Zulia

*Estimation of parameters and genetic merit for birth weight in Murrah buffalo in Zulia state*

**José Raúl Pérez**

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Ingeniería de Producción Animal

 <https://orcid.org/0009-0007-2442-486X> | Correo electrónico: [josejrpg1995@gmail.com](mailto:josejrpg1995@gmail.com)

Recibido: 22/01/2022

Aceptado: 11/04/2022

## Resumen

En la producción bovina, es de mucha importancia rebajar los costos relacionados con las dificultades en el parto de los animales. El peso al nacer es una variable que tiene una alta relación con la distocia al momento del parto, ya que mientras las crías sean más pesadas, se tendrá mayor probabilidad de encontrar un parto distócico en el rebaño. Ante esta problemática, se estimó el índice de herencia para la característica peso al nacer en bucerros con predominancia en la raza Murrah, usando un modelo lineal mixto, con el objetivo de conocer cuánto de la variabilidad en el peso al nacer es debido a efectos genéticos aditivos, encontrando un valor de 32% ( $h^2=0.32$ ), lo que indica, que se puede mejorar los peso al nacimiento en los animales usando la selección genética. Posteriormente, a partir del valor del índice de herencia se calcularon los DEPs con sus respectivos valores de confiabilidad para cada reproductor, con el objetivo de conocer cuáles animales tienen la capacidad genética para generar crías con un adecuado peso al nacimiento. Se encontraron DEPs, positivos y negativos y valores de confiabilidad que van desde el 27% hasta el 75%, por lo tanto, las evaluaciones no pueden ser tomadas como definitivas, pero permiten una orientación primaria en el proceso de mejoramiento.

**Palabras clave:** índice de herencia, peso al nacer, búfalos, diferencia esperada de progenie.

## Abstract

*In bovine production, it is very important to lower the costs related to difficulties in calving the animals. Birth weight is a variable that has a high relationship with dystocia at the time of calving, since the heavier the pups are, the greater the probability of finding a dystocic calving in the herd. Faced with this problem, the hereditary index for the birth weight characteristic was estimated, using a mixed linear model, with the aim of being able to know how much of the variability in birth weight is due to additive genetic effects, finding a value of 32 % ( $h^2=0.32$ ), which indicates that the birth weights of animals can be improved using genetic selection. Subsequently, from the value of the heredity index, the DEPs were calculated with their respective reliability values for each breeder, with the objective of knowing which animals have the genetic capacity to generate offspring with an adequate birth weight. Positive DEPs were found. and negative and reliability values ranging from 27% to 75%, therefore, the evaluations cannot be taken as definitive, but they allow a primary orientation in the improvement process.*

**Keywords:** hereditary index, birth weight, buffaloes, expected progeny difference.

## Introducción

El conocimiento de los parámetros genéticos es necesario para estimar los valores genéticos, combinar características en Índices de selección, predecir la respuesta a la selección y permite la utilización de la variabilidad en la mejora genética. Con lo anterior, se obtiene información valiosa para la planificación, ejecución y evaluación de programas de mejoramiento genético con el fin de aumentar la productividad en los sistemas de producción [1].

La heredabilidad es la fracción de la varianza fenotípica observada como resultado de las diferencias en la herencia en los genes y combinaciones de estos, de los genotipos individuales como una unidad; este es el concepto amplio en el cual se considera la varianza hereditaria como la suma de las varianzas aditiva, dominante y epistática [2]. Una definición más estricta es de mayor utilidad en muchos aspectos del mejoramiento animal; ya que se define como la fracción de la varianza fenotípica observada que es debido a la varianza genética aditiva [2].

La diferencia esperada de la progenie (DEP), es la predicción genética que se pueden estimar para cualquier característica animal, que a su vez, pueda ser medida con precisión, también son consideradas como la desviación de un valor base determinado para cada raza y con ello es posible la predicción del valor genético de cada individuo [3]. Dado que las diferencias en las DEP permiten incorporar al hato animales seleccionados por su alto valor genético para las características económicas productivas que se desean mejorar en función de las decisiones que considere cada criador según los objetivos de producción [4].

En los sistemas de producción de carne bovina, algunas características que influyen en los costos de operación son: la eficiencia reproductiva de la hembra y el desempeño productivo de la cría. Varios estudios han demostrado la importancia económica del control del peso al nacimiento en ganado de carne, especialmente por su influencia sobre la dificultad en el parto (distocia), frecuencia de mortinatos, impacto negativo sobre la proporción de terneros destetados, en relación con las hembras apareadas, mortalidad de vacas, incremento de los costos veterinarios, demora en el retorno al estro y reducción de la tasa de concepción [5].

Por otra parte, el peso al nacimiento está ligado al vigor y a la sobrevivencia, siendo señalado como uno de los factores de mayor importancia sobre la mortalidad hasta las 24 horas. Su importancia radica en el hecho de que actualmente, se pueden favorecer reproductores, que producen hijos más livianos al nacimiento (diferencia esperada de la progenie negativa para el peso al nacimiento), con la finalidad de minimizar problemas de distocia [6].

Las evaluaciones genéticas permiten la identificación de los animales con un mérito genético superior para las características de interés zootécnico, y por lo tanto, mejorar el proceso de selección. Estas evaluaciones son indispensables para la aplicación de un correcto programa de mejoramiento genético, ya que es la metodología estadística con la cual se calculan los DEP.

El objetivo de este estudio fue estimar los parámetros y méritos genéticos para peso al nacer, de un rebaño bufalino, con el objetivo, de poder identificar a los reproductores con el mejor mérito genético, para generar crías con buenas pesos al nacer, y por lo tanto, mejores porcentajes de partos sin dificultades.

## **Métodos y Materiales**

### **Localización del ensayo**

Esta investigación se realizó usando los registros de producción de la Agropecuaria Mega 2021, ubicada en el estado Zulia.

### **Unidad de ensayo**

La unidad de ensayo estuvo conformada por cada animal (búfalo, con predominancia de raza Murrah) de la finca, con registro para peso al nacer.

### **Datos de pesos al nacer**

De la base de datos de la finca se obtuvieron los registros productivos de los animales para peso al nacer. La variable respuesta fue el peso al nacer, la cual está expresada en kilogramos (kg) de peso vivo y fue tomada a las primeras 24 horas de vida del animal.

### Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los datos se realizó usando el método de máxima verosimilitud restringida [7] bajo un modelo lineal mixto, descrito en algebra matricial [8] de la siguiente forma:

$$y = Xb + Za + e \quad (1)$$

Donde:

$Y$  = vector  $n \times 1$  de observaciones.

$\beta$  = vector  $p \times 1$  de efectos fijos.

$a$  = vector  $q \times 1$  de efectos aleatorios.

$e$  = vector  $n \times 1$  de efectos residuales aleatorios.

$X$  = matriz de diseño de orden  $(n \times p)$ , que relaciona registros con efectos fijos.

$Z$  = matriz de diseño de orden  $(n \times q)$ , que relaciona registros con efectos aleatorios.

Donde el efecto fijo es el sexo del animal.

La estimación de los componentes de varianza se encuentra de la solución de las ecuaciones derivadas de la maximización del logaritmo natural de la función de verosimilitud [9], y la solución de los niveles del efecto sexo se obtienen de la solución de mínimos cuadrados generalizados del modelo.

A partir de los componentes de varianza, se obtuvo la heredabilidad para peso al nacer usando la siguiente fórmula [10]:

$$h^2 = \frac{4 \sigma_s^2}{\sigma_e^2 + \sigma_s^2} \quad (2)$$

Donde:

$\sigma_s^2$  = Varianza entre búfalos

$\sigma_e^2$  = Varianza dentro de búfalos

La estimación de los valores de cría (DEP) para la variable peso al nacer, se obtuvieron de la solución de las ecuaciones del modelo mixto de Henderson [11], utilizando un modelo reproductor [12] que en algebra matricial se definen como [8]:

$$\begin{bmatrix} X' R^{-1} X & X' R^{-1} Z \\ Z' R^{-1} X & Z' R^{-1} Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X' R^{-1} y \\ Z' R^{-1} y \end{bmatrix} \quad (3)$$

Donde:

$R$  = matriz de varianza y covarianzas residuales

$G$  = matriz de varianza y covarianzas genéticas

La confiabilidad de los DEPs se calculó usando la siguiente fórmula [4]:

$$r = \sqrt{1 - C_{iia}} \quad (4)$$

Donde:

$r$  = Confiabilidad del valor genético.

$c$  = elemento inverso del segmento de animales de la matriz de coeficientes.

$\alpha$  = cociente entre la varianza residual y la varianza entre búfalos.

### Programas empleados

Para estimar los componentes de varianza se utilizó el PROC Mixed del SAS y para el cálculo de los DEPs se utilizó el sistema web de evaluación genética BVOLS.

### Resultados y discusión

A partir de los registros de peso al nacer, se calcularon las estadísticas descriptivas generales, que se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Estadísticas descriptivas generales.**

N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
110	36.26	4.95	13.66

El número de datos en el ensayo fue de 110 (110 registros de pesos al nacer), la Media de peso al nacer para todos los datos es de 36.26 kg con una Desviación estándar de 4.95 kg (36.26 4.95), por lo tanto, los animales tienen un peso promedio de 36.26 kg al nacer y los datos se desvían de ese Promedio 4.95 kg. El Coeficiente de variación fue de 13.66%, un valor aceptable, con lo cual se afirma, que los animales presenten un peso al nacer homogéneo.

Las estadísticas descriptivas se calcularon por sexo del animal (macho y hembra), con el objeto de tener una descripción precisa del comportamiento de la variable para cada sexo. Estos resultados se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Estadísticas descriptivas generales para sexo.**

Sexo	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Macho	45	36.62	4.38	11.97
Hembra	65	36.01	5.33	14.08

Las estadísticas mostraron un peso promedio muy similar para machos y hembras, aunque un poco superior en los machos, con una Desviación estándar y un Coeficiente de variación más bajo en los machos, por lo tanto, los pesos al nacer son más homogéneos en los machos que en las hembras para este caso.

Las medias de reproductor\*sexo se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Medias de animal\*sexo**

Animal	Sexo	Media
1	H	35
1	M	35
2	H	28.75
2	M	35.33
3	H	35.75
3	M	33
4	H	38.11
4	M	36.42
5	H	39
6	H	35.88
6	M	37.16

En la Tabla anterior, se observó que las medias de sexo dentro de cada reproductor oscilan entre 28.75kg y 39kg.

Los componentes de Varianza y el Índice de herencia, se presentan en la Tabla 4, a continuación:

**Tabla 4. Componentes de varianza e índice de herencia**

Parámetro	Valores
Varianza entre Búfalos	2.07
Varianza dentro de Búfalos	23.76
Índice de herencia	0.32

Este valor para el Índice de herencia (0.32), se indica que el 32% de la Variabilidad que se observó en el peso al nacer es debido a efectos heredables (genéticos aditivos); mientras, un 68% es debido a efectos no genéticos (ambientales). Se espera una buena respuesta a la selección con este porcentaje de heredabilidad, por lo tanto, es factible aplicar selección genética para mejorar la característica en la siguiente generación de animales.

Los promedios de los pesos para cada reproductor, los DEPs y la confiabilidad se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5. Promedios, DEPs y confiabilidad de cada reproductor**

Búfalo	Promedio	DEPs	Confiabilidad
1	37.354kg	1.146 kg	0.72
2	35.2kg	-0.135	0.51
3	35kg	-0.246	0.54
4	36.416kg	0.547	0.75
5	39kg	0.276	0.27
6	31.571kg	-1.58	0.56

Los códigos de los búfalos fueron modificados para mantener la confidencialidad.\*

Se encontraron DEPs tanto positivos como negativos, con valores de confiabilidad entre el 27% y el 75% pero con la baja cantidad de datos presentes en el estudio, solo se puede tener una orientación primaria en la evaluación genética, que no debería ser considerada como definitiva.

Según Ossa [13] el peso al nacer en búfalos de raza Murrah es aproximadamente 38kg, valores muy cercanos a los encontrados en el presente estudio.

Con respecto a las evaluaciones genéticas, Agudelo [14] explica que la heredabilidad en el peso al nacer en búfalos oscila entre el 0.45 y 0.75, la cual, es mayor a la heredabilidad encontrado en el presente estudio, aun así, el valor de heredabilidad encontrado es aceptable dentro del rango en las especies bovinas.

### Referencias bibliográficas

[1] Silveira J.C., McManus C., Dos Santos A.M., Da Silva L.O.C, Da Silveira A.C, Soares J.A.G., Louvandini H. **Factores ambientales y parámetros genéticos para características productivas y reproductivas** em um rebanho Nelore no estado do Mato Grosso do Sul. R Bras Zootec. 33 (2004). 1432–1444.

[2] Legates E. y Warwick J. **Cría y mejora del Ganado**, Interamericana Mc Graw-Hill. (1992). 141pp.

[3] Madrigal M., Valverde A., Murillo O., Montero W., Muñoz B. **Asociación entre marcadores genéticos CAPN-1 CAST y características de crecimiento en ganado Brahman en Costa Rica**. Rev Agronomía Costarricense. 42(2) (2018). 29-42.

[4] Izurrieta C., Vera. E., Cedeño J., Maingón R., Zambrano L, Plaza C. **Diferencia esperada de progenie para peso al destete en selección de vaquillas mestizas en Manabí. Revista MVZ córdoba.** 24(2) (2019). 7193-7197

[5] Bellows, R. A. **Factors affecting dystocia in brahman-cross heifers in subtropical southeastern United States. Journal Animal Science.** 74 (7) (1996). 1451-1456.

[6] Schmidek, A **Habilidade materna e aspectos relacionados à sobrevivência de bezerros: valores ótimos nem sempre são valores extremos.** En: ABCZ Uberaba. Julio-Agosto.21 (2004).: 72-75.

[7] Patterson, H. D. y Thompson, R. **Recovery of Inter-Block Information When Block Sizes are Unequal.** *Biometrika*, 58, (1971), 545-554.

[8] Mrode R. A. y Thompson R. **Linear models for the prediction of animal breeding values**, second edition. CABI Publishing. (2005). 40-41pp.

[9] Searle, S. R.; Casella, G. and McCulloch, C. E. **Variance Components**, New York: Wiley. (1992)

[10] Becker, W. (1986). **Manual de Genética Cuantitativa.** Academic Enterprises.45pp.

[11] Henderson, C. R. **Applications of Linear Models in Animal Breeding.** Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá. (1984).

[12] Gutiérrez, P. **Iniciación a la valoración Genética Animal. Metodología adaptada al EEES.** Editorial Complutense. (2012). 260-274pp.

[13] Ossa, P **Relación del tamaño corporal de búfalas con parámetros productivos en la bufalera Riomanso.** Universidad de La Salle, Bogotá. (2015).

[14] Agudelo, A. **El búfalo como animal productor de carne: producción y mejoramiento genético.** *Revista lasallista de investigación.* 4(2) (2007) 1-43.

# Evaluación de las unidades de precalentamiento de crudo diluido para el escenario de alto corte de agua en el Centro Operativo Petromonagas

*Evaluation of the preheating units for diluted crude for the high water cut scenario at the Petromonagas Operating Center*

**Arianna Cárdenas**

Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.  
Correo electrónico: [ari.cardenas4@gmail.com](mailto:ari.cardenas4@gmail.com)

**Adrián Zabala**

Complejo Petroquímico José Antonio Anzoátegui (CJAA). Barcelona, Venezuela.  
Correo electrónico: [adrainzabalamarin@gmail.com](mailto:adrainzabalamarin@gmail.com)

**Charles Gutiérrez**

Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.  
Correo electrónico: [charles.gutierrez.80813@uru.edu](mailto:charles.gutierrez.80813@uru.edu)

Recibido: 18/01/2022

Aceptado: 11/04/2022

## **Resumen**

En esta investigación se realizó la evaluación de las unidades de precalentamiento de crudo para el escenario del alto corte de agua, identificando primero los equipos de proceso y sus variables a manipular, luego se recolectó la data del sistema DCS y de campo para las condiciones de operación desde los años 2016 hasta el 2022. Utilizando como especificación la data recolectada, se simularon y validaron las condiciones de diseño y operación actual de los equipos por el modelo termodinámico de Soave Redlich Kwong. Los resultados obtenidos producen satisfactoriamente las especificaciones de diseño de los intercambiadores de calor, presentando porcentajes de desviación razonables. Además, aumentando el corte de agua en la alimentación genera problemas operacionales obteniendo mayores caídas de presión en el sistema. También se desarrollaron dos alternativas con el propósito de separar la mayor cantidad de agua de formación de entrada y compensar la carga térmica aguas abajo.

**Palabras clave:** precalentamiento de crudo, alto corte de agua, intercambiadores de calor

## **Abstract**

*In this investigation, the evaluation of the crude preheating units for the high water cut scenario was carried out, first identifying the process equipment and its variables to be manipulated, then the data was collected from the DCS system and from the field for the conditions of operation from 2016 to 2022. Using the data collected as a specification, the design conditions and current operation of the equipment were simulated and validated by the Soave Redlich Kwong thermodynamic model. The results obtained satisfactorily produce the design specifications of the heat exchangers, presenting reasonable percentages of deviation. In addition, increasing the water cut in the supply generates operational problems, obtaining higher pressure drops in the system. Two alternatives were also developed with the purpose of separating the largest amount of inlet formation water and compensating for the thermal load downstream.*

**Keywords:** crude oil preheating, high water cut, heat exchangers

## Introducción

Los campos petroleros exhiben habitualmente crecientes cortes de agua de formación cuando el método de recuperación es por empuje hidráulico, que varían según la edad del depósito. Cuando el petróleo y el agua de formación se ponen en contacto, se pueden formar distintos tipos de emulsiones: del tipo agua en crudo (W/O), crudo en agua (O/W) y otras del tipo más complejas como las de tipo múltiple, las cuales pueden afectar en menor o mayor medida los procesos de deshidratación y desalación de la corriente de producción y los parámetros de calidad del crudo a venta ( $< 1\%v/v$  de corte de agua y  $< 10$  PTB de sal).

En la actualidad, COPEM ha registrado un incremento en el corte de agua en la corriente de producción de entrada, pasando de aproximadamente  $5\%v/v$  en los años 2011 – 2016, hasta  $10\%$  en el año 2022; así mismo, el contenido de sal en la entrada ha superado el valor de contenido de sal máximo que pueden manejar las instalaciones por diseño. Este incremento en el corte de agua se debe principalmente a dos factores: producción proveniente de pozos maduros y perforación en áreas con una mayor tendencia a producción de agua debido a la cercanía del acuífero; estos hechos se traducen en mayores retos de operación en las instalaciones de deshidratación / tratamiento, las cuales deben asegurar el mantenimiento de las especificaciones del crudo a los clientes y/o procesos aguas abajo ( $< 1\%v/v$  en contenido de agua).

El mantenimiento de las especificaciones del crudo salida COPEM en términos de contenido de agua es de suma importancia para la empresa, ya que esta variable impacta todas las operaciones de procesamiento de crudo, o la venta directa del mismo al mercado refinador nacional o internacional. El manejo de un crudo con alto corte de agua, limita las operaciones de transporte a través de oleoductos (problemas de colgamiento de agua en oleoductos), impactos en el precio de los volúmenes de crudo a venta por pago de penalidad, imposibilita su envío a columnas de destilación (unidad de destilación atmosférica en centros de refinación y columnas de recuperación de nafta en unidades de mejoramiento), debido a limitaciones en las especificaciones de diseño, seguridad de las operaciones y para evitar problemas en el tope de las torres por elevado contenido de agua agria, lo cual acelera los procesos corrosivos.

Por lo que se evalúa térmica e hidráulicamente las unidades de precalentamiento de crudo DCO (crudo diluido) para un escenario de alto corte de agua en la corriente de producción manejada por el Centro Operativo Petromonagas para obtener resultados sobre el desempeño de los equipos intercambiadores de calor de carcasa y tubos, debiendo evaluarse opciones de mejora y optimización de los mismos; de igual manera, en el caso de posibles incrementos en el contenido de agua y posibles efectos sobre la temperatura final de calentamiento, será posible identificar los cuellos de botella del sistema.

Para la elaboración de los cálculos y tener como referencia un simulador comercial se consultó el trabajo de Huiza [1] titulado “Simulación y evaluación de los intercambiadores de calor de carcasa y tubo del tren de precalentamiento de crudo de la unidad de destilación atmosférica del complejo Mejorador de Crudo Extrapesado de SINCOR” como guía para la elaboración de la metodología a seguir en la determinación de los procesos y equipos, junto con un ejemplo de la simulación a través del simulador HEXTRAN para el tren de intercambiadores de calor.

Mediante el trabajo de Intriago [2] titulado “Optimización del sistema de intercambiadores de calor del tren de precalentamiento de crudo de la unidad no catalíticas II en la Refinería Estatal Esmeraldas” se permitió comprender mejor el funcionamiento del tren de precalentamiento de crudo y un método eficiente para la evaluación de los intercambiadores de calor de tubo-carcasa.

El objetivo general de esta investigación es la evaluación de las unidades de precalentamiento de crudo DCO (crudo diluido) para el escenario de alto corte de agua en el Centro Operativo Petromonagas.

## **Materiales y Métodos**

### **Diseño**

Para lograr el cumplimiento de los objetivos, se debe fijar un diseño de investigación. Según Arias [3], el diseño de investigación se refiere a una estrategia general que adopta el investigador para responder a un problema planteado. El diseño de investigación proporciona un marco de referencia para la recopilación y el análisis de datos. Define líneas guías para la generación de evidencias, adaptadas tanto al conjunto de criterios determinados, como a las preguntas de investigación.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista [4] la investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente las variables, es decir, es una investigación en la cual no varían intencionalmente las variables independientes. Lo que se hace es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. El presente trabajo de grado es una investigación no experimental debido a que en el primer objetivo del trabajo solo se recopila la información deseada en un periodo determinado de tiempo para poder realizar la simulación sin realizar cambios intencionales en las variables independientes.

El autor Arias [3] define la investigación de campo como aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar alguna variable, es decir, se obtiene la información sin alterar las condiciones ya existentes. Este trabajo de investigación se clasifica como un diseño de campo debido a que se tuvo que ir hasta las unidades de precalentamiento de crudo ubicado en el Centro Operativo Petromonagas (COPEM) para familiarizarse con el proceso y los equipos, así como también recabar información para las variables de medición que se van a controlar, como lo son la temperatura, el flujo y la presión en un periodo de tiempo histórico.

### **Unidad de análisis**

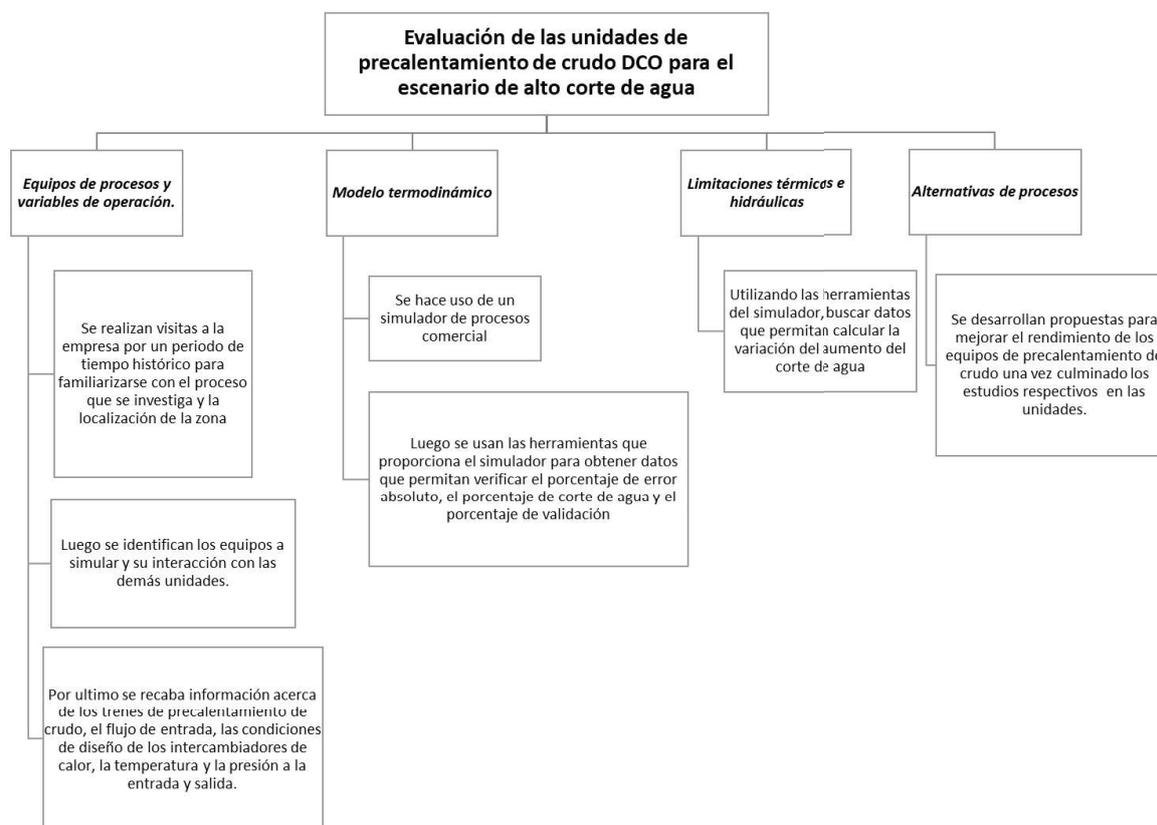
Autores como Bernal [5] proponen que una unidad de análisis corresponde a una entidad mayor o que representa un objeto específico a estudiar en una medición, refiriéndose a quién o quiénes es el objeto de interés en la investigación. En el trabajo de investigación desarrollado, la unidad de análisis es “las unidades de precalentamiento de crudo DCO para el escenario de alto corte de agua en el Centro Operativo Petromonagas (COPEM)”.

### **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En el curso de esta investigación se empleó la observación directa y la observación documental como técnicas de recolección de datos debido a que el trabajo de investigación pertenece a un diseño de campo, el que está involucrado con el proceso de las unidades de precalentamiento y una vez estudiado las condiciones a la cual trabaja con los operadores de la empresa, recolectar los datos necesarios para realizar estudios de sensibilidad y validación empleando modelos termodinámicos conocidos, que determinen los objetivos del trabajo de investigación. Además, se buscaron antecedentes para la elaboración del mismo.

Los instrumentos de recolección de datos, según Sabino [6] se definen como “cualquier recurso del cual se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información”. En este trabajo se empleó la guía de observación con la finalidad de tener un registro de los hechos observados (medidos mediante el registro histórico de las variables de procesos), en las unidades de precalentamiento de crudo diluido (DCO), permitiendo conocer el proceso de los trenes de precalentamiento y sus variables de control.

A continuación, en la Figura 1 se presentan todas las actividades a realizarse para cumplir con la programación establecida:



**Figura 1. Fases de la investigación**

## Resultados y Discusión

### Identificación de los equipos de proceso con sus variables de diseño

En el Centro Operativo Petromonagas (COPEM) [7], la entrada de crudo diluido, gas de formación y agua proveniente de los pozos y macollas de producción, se distribuye en dos trenes de tratamiento paralelos e idénticos en términos de capacidad y equipos de procesos. Cada tren está integrado por un separador Bifásico, un separador Trifásico, 12 parejas (sección fría y sección caliente) de intercambiadores de calor tubo y carcasa, dos desaladores y un tambor de vaporización instantánea, de los cuales solo se van a estar estudiando las 12 parejas de intercambiadores de calor.

Con respecto a la unidad de precalentamiento de crudo, cada tren consta de cuatro parejas de intercambiadores sección fría de tipo tubo y carcasa, con una presión de diseño de 2930.27 kpa a 466.48 K (lado carcasa), y una presión de diseño de 4378.17 kpa a 466.48 K (lado tubo). El área total de transferencia de calor de las 8 unidades es de 8.74 metros cuadrados, con una carga total calórica por diseño de 17 MMBTU/Hr. El crudo diluido hidratado fluye hacia los intercambiadores de calor crudo-crudo en la sección fría, por el lado de los tubos y sale de los intercambiadores a una temperatura de 334.82K, por diseño.

Luego de la sección fría de intercambiadores de calor, el DCO no tratado entra en los intercambiadores de la sección caliente crudo-crudo por el lado tubo, saliendo a una temperatura de 366.48 K (por diseño). En los intercambiadores de calor sección fría y caliente, se recupera el calor de la corriente de DCO estabilizado, desalado y deshidratado que proviene de la segunda etapa de desalación de COPEM a una temperatura de 394.26 K. Cada tren de intercambiadores calientes consta de 8 parejas, diseñados de igual manera que los descritos anteriormente, a diferencia que su área total de transferencia es de 18.002 metros cuadrado con una carga total calórica de 52,9 MMBTU/Hr; así mismo, su caída de presión se mide en cada pareja (Figura 2).

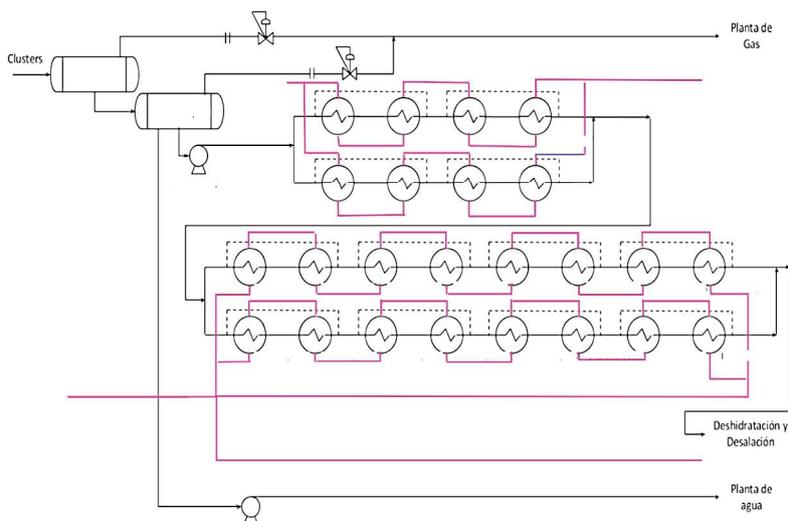


Figura 2. Diagrama de proceso de los trenes de precalentamiento de crudo

Tabla 1. Propiedades de diseño de los intercambiadores de calor tubo-carcasa por cada tren

	Tubos				Carcasa			
	Lado frío		Lado caliente		Lado caliente		Lado frío	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Temperatura (K)	319,26	334,82	334,82	366,48	394,26	355,37	355,37	333,15
Presión (kpa)	3171,59				1723,69			
Flujo de agua (m3/h)	144,74				5,315			
Flujo DCO (m3/h)	526,27							

### Identificación de las variables de operación

Las variables de proceso identificadas para llevar a cabo esta investigación, son las siguientes:

- Flujo volumétrico de DCO alimentación COPEM
- Flujo volumétrico de agua en la entrada y salida de COPEM
- Porcentaje de agua y sedimentos en la entrada y salida de COPEM (registro pruebas de laboratorio)
- Temperatura de entrada COPEM y salida por los tubos (sección caliente)
- Temperatura de entrada de la carcasa para ambos trenes (salida de DCO estabilizado / deshidratado de la segunda etapa de desalación).

Por otro lado, los datos de operación de los intercambiadores de calor se obtuvieron a partir de los registros históricos del DCS (Sistema de Control Distribuido), cuya descarga se llevó a cabo con el personal de Instrumentación y Automatización de la planta para los años comprendidos entre 2016 al 2022 como información disponible. De igual forma, se tomó información de las caídas de presión de cada uno de los pares de intercambiadores de calor de manera local en planta, para identificar posibles limitaciones hidráulicas.

Debido al volumen importante de información, se consideró determinar promedios aritméticos cada cuatro meses de operación, con lo cual, se dispone de información suficiente para hacer las validaciones correspondientes de los modelos de simulación que se emplearon.

**Tabla 2. Propiedades de operación de los intercambiadores de calor tubo-carcasa para ambos trenes de producción COPEM**

Fecha	DCO (m <sup>3</sup> /h)	Agua entrada (m <sup>3</sup> /h)	Agua salida (m <sup>3</sup> /h)	%AyS entrada	%AyS salida	Temperatura entrada tubos (K)	Temperatura salida tubos T1 (K)	Temperatura entrada carcasa T1 (K)	Temperatura salida tubos T2 (K)	Temperatura entrada carcasa T2 (K)
01/01/2016-31/04/2016	1069.37	91.55	24.11	7.89	2.21	311.2	355.34	379.7	360.14	381.16
01/05/2016-31/08/2016	1035.38	94.73	25.45	8.39	2.38	310.28	342.01	366.05	354.28	377.21
01/09/2016-31/12/2016	1034.85	101.60	12.06	8.94	1.14	310.59	345.9	370.31	339.92	368.4
01/01/2017-31/04/2017	1067.20	107.78	21.33	9.17	1.93	310.14	321.7	344.8	327.53	348.47
01/05/2017-31/08/2017	1065.54	104.52	26.70	8.84	2.4	309.67	329.62	347.14	315.57	339.48
01/09/2017-31/12/2017	820.23	38.23	20.69	4.28	2.3	308.58	324.23	349.07	311.83	339.94
01/01/2018-31/04/2018	979.06	93.97	44.82	8.7	4.28	308.95	308.29	327.89	305.62	332.42
01/05/2018-31/08/2018	994.49	89.88	38.27	8.48	3.64	308.67	300.09	324.98	308.58	318.44
01/09/2018-31/12/2018	1061.53	76.84	39.92	6.7	3.6	308.63	306.88	326.19	308.06	317.1

En la Tabla 2 se presentó lo siguiente:

1. Aunque la información disponible se ubica entre los años 2016 al 2022, el periodo definitivo de estudio va a ser desde el año 2016 hasta el 2018 debido que, a partir del año 2019 se inicia un registro de importantes caídas de presión en los intercambiadores tubo carcasa, razón por la cual, la mayoría de los mismos debieron ser desviados. El registro operacional de los intercambiadores desviados por lapsos de tiempo no se encuentra disponible por parte del Departamento de Operaciones de COPEM.

2. Considerando las temperaturas promedio de las etapas 1 y 2 de desalación, se observó que en algunos escenarios nunca se superaron las temperaturas de 333.15K, esto puede ser debido que varios intercambiadores estaban desviados o que los desaladores se encontraban fuera de servicio (tubos de fuego fuera de servicio).

3. Desde el año 2016 hasta primer cuatrimestre del 2017, el porcentaje de agua y sedimentos en la entrada COPEM va aumentando desde 7.89% hasta 9.17%, mientras que desde el segundo cuatrimestre del 2017 hasta finales del 2018 el corte de agua de entrada COPEM va disminuyendo desde 8.84% hasta 6.7%.

4. Desde el año 2016 al 2018, el corte de agua en la salida de COPEM se alejó de las especificaciones establecidas del DCO de salida hacia el Mejorador Petromonagas, llegando a obtener para finales del 2018 un corte de agua de 3.6%v/v, cuando el porcentaje de agua y sedimentos máximo corresponde a 1.

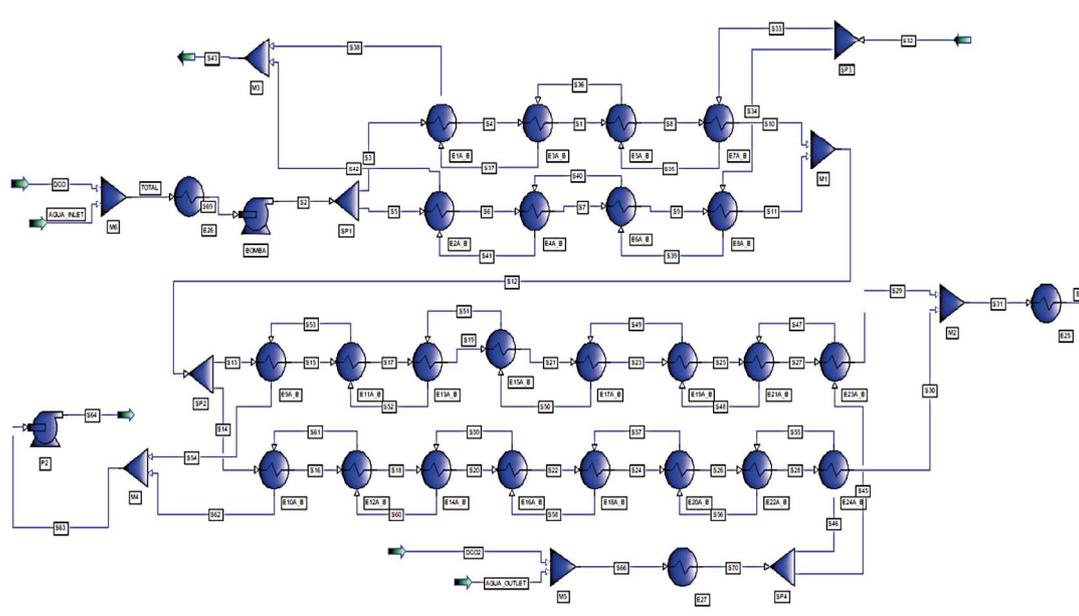
### Validación del modelo termodinámico a condiciones de diseño

Para la evaluación de los equipos de intercambiadores tubo-carcasa de las secciones fría y caliente de COPEM, se empleó un simulador comercial de procesos, donde se ubicaron los equipos correspondientes a un solo tren (tomando en cuenta que ambos trenes son totalmente idénticos), utilizando el modelo termodinámico de Soave-Redlich-Kwong (SRK).

En el simulador comercial se suministró parte de la data obtenida por diseño como lo son, las temperaturas de entrada del sistema, las caídas de presión (lado tubo y carcasa), además de los flujos volumétricos de DCO y agua manejados por diseño y la carga térmica distribuida en cada uno de los equipos de procesos involucrados (tomando en cuenta, para el caso de diseño una eficiencia térmica igual a 1).

Con todos los valores antes descritos, se le suministró al simulador la información y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Para los tubos, una temperatura de salida en la sección fría de 325.14K y una temperatura de salida en la sección caliente de 349.27 K.
- Para el lado de la carcasa, se obtuvo una temperatura de salida en la sección caliente de 323.54 K y una temperatura de salida en la sección fría de 307.38 K (esta última, se ubica por debajo de la temperatura máxima permitida de almacenamiento de DCO en tanque la cual corresponde a 333.15 K).



**Figura 3. Diagrama de la simulación de proceso del tren de precalentamiento de crudo**

De acuerdo a los resultados obtenidos a través del simulador de procesos (caso diseño), se observó que existe una desviación entre los valores de temperatura de diseño con los valores obtenidos vía simulación de procesos, los cuales se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3. Comparación de valores del diseño original con los de la simulación de procesos por tren**

	Lado tubo				Lado carcasa			
	Temperatura salida lado frio (K)	%de error	Temperatura salida lado caliente (K)	% de error	Temperatura salida lado caliente (K)	% de error	Temperatura salida lado frio (K)	% de error
Diseño	334,82	2,89	366,48	4,70	355,37	8,96	333,15	7,74
Simulación	325,14		349,27		323,54		307,38	

Para la evaluación modo diseño, los valores de temperatura fueron sub estimados por el simulador de procesos (salida de sección fría y caliente), una de las posibles razones de esta diferencia se debe que el sistema de precalentamiento de crudo de COPEM presenta un ligero desbalance térmico entre la cantidad de energía suministrada al sistema, mediante la quema de gas combustible en los tubos de fuego de las unidades de deshidratación y desalación, y la cantidad de energía recuperada a través de los intercambiadores de calor tubo carcasa.

Aunque este punto no forma parte del alcance del trabajo, lo anterior se observó en la Figura 4, en donde el personal de la Gerencia Técnica de Petromonagas establece como el calor suministrado al sistema es de aproximadamente 30 MMBTU/hr y se requiere una recuperación de 54 MMBTU/hr.

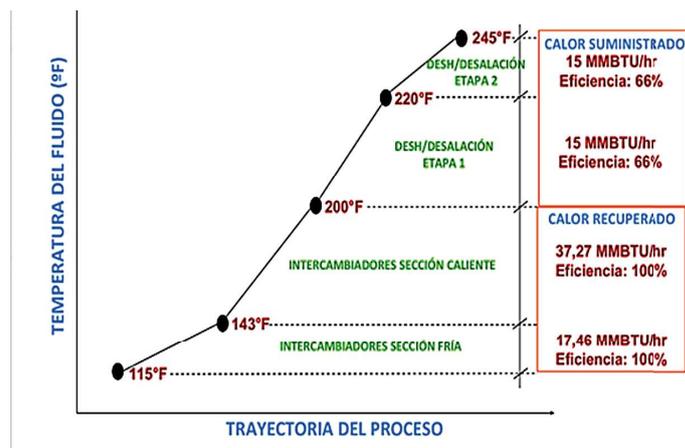


Figura 4. Perfil de calentamiento de COPEM (Gerencia Técnica COPEM)

### Validación del modelo termodinámico a condiciones de operación

De acuerdo a lo indicado anteriormente, aunque se dispone de información desde el año 2016 hasta el 2022, solo se están considerando significativos los resultados obtenidos desde el 2016 hasta el 2018, debido que a partir del 2019 muchos de los intercambiadores de calor debieron ser desviados debido al registro de elevadas caídas de presión. Adicionalmente, a partir del año 2020, se iniciaron los trabajos de mantenimiento y limpieza mecánica de los intercambiadores, actividad que continúa hasta la fecha.

Tabla 4. Valores de la simulación de los intercambiadores a nivel de operación por cada tren (Caso Operación real)

Fecha	Salida sección caliente en tubos T1 real (K)	Salida sección caliente en tubos T1 simulación (K)	% de error relativo	Salida sección fría en carcasa T1 (K)
01/01/2016-31/04/2016	355,34	351,3	1,14	311,67
01/05/2016-31/08/2016	342,01	352,13	2,96	298,47
01/09/2016-31/12/2016	345,9	351,96	1,75	300,52
01/01/2017-31/04/2017	321,7	349,64	8,69	275,95
01/05/2017-31/08/2017	329,62	349,57	6,05	282,68
01/09/2017-31/12/2017	324,23	370,48	14,26	260,75
01/01/2018-31/04/2018	308,29	354,23	14,90	263,12
01/05/2018-31/08/2018	300,09	353,44	17,78	262,01
01/09/2018-31/12/2018	306,88	350,69	14,28	265,21

En la Tabla 4, se mostró que desde el año 2016 hasta el año 2018, en todos los casos, los valores de la temperatura del DCO salida tubos de la sección caliente fueron sobrestimados por el simulador de procesos, eso se debe que los intercambiadores de calor de las secciones fría y caliente fueron desviados por presentar altas caídas de presión, desde el punto de vista operacional.

Por otro lado, se observó en la Tabla 4, una disminución en la temperatura de la corriente de DCO hacia tanques de almacenamiento COPEM, esto se debe principalmente a dos razones: fuera de servicio por lapsos de tiempo considerablemente altos de los tubos de fuego de algunos desaladores / deshidratadores, lo cual conduce a una baja temperatura en la corriente de DCO entrada lado carcasa (sección caliente) e intercambiadores de calor desviados por problemas de taponamientos y obstrucciones (registro de altas caídas de presión). Estos valores de temperatura no pudieron ser validados.

### Evaluación hidráulica de las líneas de flujo entre los intercambiadores

El alcance de la evaluación hidráulica comprende únicamente las líneas de DCO no tratado entre los intercambiadores de calor tubo/carcasa. Se consideró el uso de un simulador comercial de redes hidráulicas, utilizando el modelo termodinámico de Duckler Flanigan.

**Tabla 5. Valores de las viscosidades a dos puntos de la temperatura**

Temperatura (F)	Viscosidad (cP)
313,15	360,25
333,15	120,98

Para la evaluación hidráulica se consideró la norma PDVSA LTP1.5 en donde se evaluaron los parámetros de la velocidad de flujo y la caída de presión por cada 30.48mts (100 pies). Los flujos volumétricos empleados corresponden a los promedios aritméticos calculados cada cuatro meses a condiciones de operación real. Con respecto a los valores de presión y temperatura, se consideró el caso más conservador, para lo cual, la temperatura corresponde a la de entrada al sistema y la presión, la de descarga de las bombas de carga de COPEM (esto con el propósito de considerar el sistema donde se registran las mayores viscosidades).

**Tabla 6. Valores de la velocidad y caída de presión de los intercambiadores a nivel de operación por cada tren**

Fecha	DCO (m3/h)	Agua entrada (m3/h)	Velocidad (m/s)	Velocidad máxima permitida (m/s)	Caída de presión (kpa)	Caída de presión máxima permitida (kpa)
01/01/2016-31/04/2016	1069,37	91,55	1,61	1,52 a 4,57	6,90	27,58kpa/ 30,48metros
01/05/2016-31/08/2016	1035,38	94,73	1,57		6,90	
01/09/2016-31/12/2016	1034,85	101,60	1,58		6,90	
01/01/2017-31/04/2017	1067,20	107,78	1,63		6,90	
01/05/2017-31/08/2017	1065,54	104,52	1,62		6,90	
01/09/2017-31/12/2017	820,23	38,23	1,19		6,34	
01/01/2018-31/04/2018	979,06	93,97	1,49		6,90	
01/05/2018-31/08/2018	994,49	89,88	1,51		6,90	
01/09/2018-31/12/2018	1061,53	76,84	1,58		6,90	

Para todos los escenarios operacionales mostrados, los valores de velocidad y caída de presión se encuentran por debajo de los valores máximos recomendados por la norma PDVSA.

### Variación del corte de agua en el DCO lado tubo para observar el comportamiento de crudo DCO en COPEM, mediante la simulación a condiciones de alto corte de agua

Para identificar las limitaciones vinculadas al manejo de un mayor corte de agua en la corriente DCO de alimentación, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad con el uso del simulador comercial de procesos en donde se varió el corte de agua de alimentación desde 15%v/v – 30%v/v, manteniendo en todo momento la máxima capacidad de manejo de fluidos por tren en COPEM (529.95 m<sup>3</sup>/h total de líquido).

Se consideraron las mismas condiciones de diseño a nivel de temperatura de entrada al sistema, presión, caída de presión y carga térmica. Así mismo, para la corriente de DCO estabilizado a través de la carcasa, se consideró una temperatura de 394.26K con un porcentaje de agua y sedimentos igual a 1% (tomando en cuenta que, desde el punto de vista operacional, se deban hacer todos los ajustes necesarios a nivel de los equipos de deshidratación/desalación para poder alcanzar un corte de agua bajo especificación, así como, garantizar las temperaturas de diseño esperadas).

**Tabla 7. Datos para la variación del corte de agua**

Cálculo aumento de corte de agua		
Tubos		
DCO alimentación diseño(m <sup>3</sup> /h)		526.27
Agua alimentación diseño (m <sup>3</sup> /h)		144.74
Total flujo alimentación (m <sup>3</sup> /h)		671.01
Corte de agua	Flujo agua	Flujo crudo
0.15	100.6515	570.3585
0.2	134.202	536.808
0.25	167.7525	503.2575
0.3	201.303	469.707

Con los datos calculados de flujo volumétrico de crudo y agua tanto por la entrada lado tubo como entrada al lado carcasa y a condiciones de diseño, se simuló en el simulador comercial para evaluar el comportamiento de los intercambiadores de calor tubo/carcasa, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 8.

**Tabla 8. Variación de la temperatura en los intercambiadores de calor al aumentar el corte de agua**

Porcentaje de corte de agua entrada	Salida sección caliente en tubos (K)
13	349.27
15	349.43
20	349.34
25	349.26
30	349.18

Como se observó, a medida que aumenta el corte de agua, la temperatura de salida en la sección caliente de los tubos va disminuyendo, esto es debido a la capacidad calorífica del agua con respecto a la del crudo (se requiere proporcionar al sistema más calor, para generar un aumento de 1F de temperatura). Adicionalmente, no se aseguran las variables por diseño (temperatura) en la entrada de los desaladores, razón por la cual, puede existir la posibilidad tratar un crudo fuera de especificación en estos equipos, generando problemas operacionales adicionales hacia el mejorador.

### **Incremento en la concentración de sólidos (en la corriente de crudo)**

Para el caso específico del Centro Operativo Petromonagas (COPEM), el incremento en el corte de agua de la corriente de producción se debe principalmente a la incorporación de nuevas macollas vinculadas a áreas cercanas de los acuíferos. De acuerdo a los Planes de Desarrollo de la Empresa, se registrará un incremento sostenido en el valor de corte de agua, lo cual, podrá aumentar la tasa de arrastre de arena hacia la superficie. Actualmente, los equipos de procesos de COPEM únicamente cuentan con un sistema de limpieza "sand jet", los cuales permiten remover sólidos y depósitos del fondo de los equipos de separación gravitacional y deshidratadores / desaladores.

De acuerdo a los resultados del Mantenimiento Mayor del año 2015 a los equipos de intercambio de calor del tipo tubo / carcaza (sección de precalentamiento de DCO) de COPEM, se observó mayor taponamiento en los tubos de la sección caliente; así mismo, de las muestras captadas de los depósitos, la concentración de materia orgánica se ubicó entre un 13%p/p - 3%p/p (INTEVEP, 2015).

Como muestran los resultados de las muestras captadas del material depositado en los tubos de los intercambiadores de calor, se observó que el mismo es principalmente de naturaleza inorgánica (arena).

El manejo de un mayor corte de agua en la corriente de producción de COPEM, podrá traer como consecuencia el manejo de una mayor concentración de sólidos en superficie, problemas de taponamiento en los tubos de los intercambiadores de calor tubo / carcaza, mayores caídas de presión en los equipos, el requerimiento de mayores frecuencias de mantenimiento y la necesidad de desviar algunos equipos de intercambio de calor, afectando de manera negativa los perfiles de temperatura de operación en cada una de las unidades de tratamiento de crudo.

### **Manejo de emulsiones estables del tipo W/O**

Para el caso específico de la presente investigación, donde se evalúa un escenario de máxima concentración de fase interna igual a 30%v/v, el tipo de emulsión más frecuente será la de W/O (agua en crudo).

En caso de considerar el incremento en el corte de agua de la corriente de hidrocarburo tratado en COPEM, podrá considerarse la disminución de la viscosidad si se aplican los conceptos de estimación de viscosidad de la mezcla a partir de la regla de mezclas; sin embargo, de acuerdo a Salager (1999), la viscosidad de una emulsión depende de numerosos factores:

\*Viscosidad de la fase externa (viscosidad de la fase continua).

\*Proporción volumétrica de la fase interna (fracción volumétrica de la fase dispersa): Para el caso de emulsiones del tipo O/W, a mayor contenido de fase dispersa, existirán mayores interacciones entre las gotas y por lo tanto una mayor viscosidad. Debajo de un 20%v/v de fase interna, se habla de una emulsión de bajo contenido de fase dispersa, en tales emulsiones se puede considerar que hay poca interacción de las gotas entre sí.

\*Tamaño de las gotas de la fase interna. De manera general, cuando menor es el tamaño de una gota (fase dispersa), se podrá registrar mayores viscosidades del sistema; así como, cuando es más amplia la distribución del tamaño de gota, menor es la viscosidad.

\*Viscosidad de la fase interna.

\*Efectos electro-viscosos.

\*Modo de preparación de la emulsión (no aplica para el presente trabajo de investigación).

Para la evaluación de estas variables se deberá contar con análisis detallados de laboratorio, a partir de muestras recombinadas de agua de formación y crudo proveniente de las instalaciones de producción de Petromonagas. Estas evaluaciones deberán ser llevadas a cabo mediante el uso de un equipo destinado a la medición de la viscosidad de un fluido a varias temperaturas de trabajo.

Debido que la ejecución de pruebas de laboratorio, no forma parte del alcance del presente trabajo de investigación, se recomienda en etapas subsiguientes, continuar con las etapas de estimación de viscosidad del fluido de producción, con el propósito de validar si las posibles emulsiones presentes podrán ser cuellos de botella para el manejo de elevados cortes de agua en la entrada del Centro Operativo Petromonagas (COPEM). En caso de ser así, deberá ser necesario la posible evaluación de química de tratamiento (adicional) para favorecer el proceso de transporte de fluidos y tratamiento.

### Alternativas para mejorar el desempeño de los intercambiadores de calor

De manera general, se propone la separación de la corriente de agua de formación (asociada a la producción), desde las etapas tempranas del tratamiento de fluidos, esto con el propósito de no afectar la capacidad de manejo en los equipos aguas abajo del Centro Operativo Petromonagas (COPEM), lo que incluye: intercambiadores de calor tubo/carcaza y deshidratadores / desaladores electrostáticos. Bajo este escenario, una de las mejores opciones debe estar vinculada al desarrollo de un proyecto que permita evaluar etapas de calentamiento entre los equipos de separación bifásica y trifásica en cada uno de los trenes de tratamiento de COPEM, para promover una separación de agua de formación en el equipo de separación trifásica.

La primera alternativa de procesos incluye la incorporación de equipos de bombeo y calentamiento adicionales, en cada uno de los trenes de tratamiento de crudo (entre los separadores bifásicos y trifásicos de COPEM). El objetivo de esta alternativa es separar la mayor cantidad de agua de formación en las etapas tempranas del tratamiento. Esta alternativa se muestra en la Figura 5.

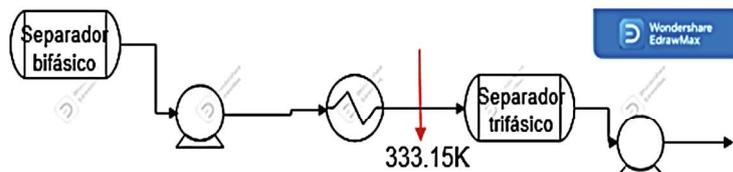


Figura 5. Esquema de alternativa 1 del proceso

A continuación, se muestra de manera cualitativa las ventajas y desventajas de esta propuesta:

- La temperatura objetivo previo a la separación trifásica (333.15K), corresponde a la temperatura de salida de los intercambiadores tubo/carcaza sección fría. En caso de considerar este escenario, deberá llevarse a cabo un ajuste al perfil de temperaturas de las unidades de procesos de COPEM, con el propósito de no elevar la temperatura por encima de las temperaturas de ebullición de la nafta. En caso contrario, debe considerarse la posible reducción de la temperatura requerida de calentamiento; sin embargo, esto deberá ser soportado con adición de química desemulsificante acorde a las características de los fluidos de producción.
- Debido que la unidad de calentamiento propuesta calentara a una corriente de producción con gas, se propone el uso de calentadores indirectos.
- La alternativa propuesta deberá considerar que debido a la caída de presión que se generará en el calentador de fuego indirecto, se deberá ubicar unidades de rebombeo de refuerzo (entre los separadores bifásicos y trifásicos), con el objetivo de no incrementar la caída de presión de los fluidos de producción desde las macollas de producción, lo cual traería como consecuencia la posible reducción de la productividad de los pozos.

La segunda alternativa (Figura 6) del proceso propone la incorporación de un tratador (separador trifásico) adicional, aguas abajo de los intercambiadores de calor tubo / carcaza (sección fría / caliente) de los trenes de tratamiento de COPEM. Para poder compensar la carga térmica requerida, se propone el diseño de los tratadores, donde se permita tanto promover la separación de un volumen de agua adicional (que evite problemas de tratamiento y separación aguas abajo), como compensar la carga térmica requerida, debido al manejo de una corriente de producción con un mayor corte de agua.

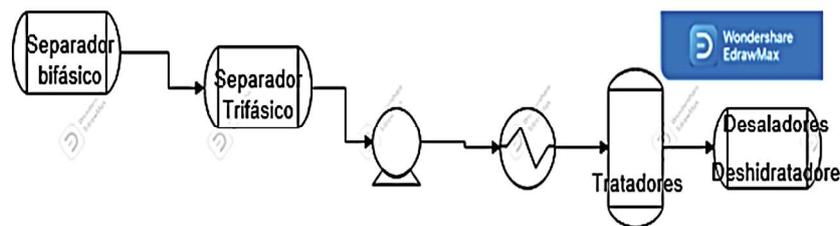


Figura 6. Esquema de la alternativa 2 del proceso

A continuación, se muestra de manera cualitativa las ventajas y desventajas de esta propuesta:

- Una de las principales desventajas es el compromiso al sistema (intercambiadores de calor sección fría / caliente), generado por el volumen de agua de la corriente de producción. El propósito del sistema de calentamiento de COPEM, está vinculado directamente a la fase hidrocarburo, en ningún momento, a la fase acuosa.
- La incorporación de equipos adicionales (aguas arriba de los deshidratadores / desaladores), deberá estar vinculado a la evaluación de desempeño de las bombas de carga de COPEM con presiones de descarga mayores a la registradas durante la operación actual.
- La separación de agua, aguas arriba de los equipos de deshidratación / desalación, promoverá un mejor desempeño en las rejillas.
- El uso de tratadores permitirá compensar la carga térmica adicional requerida por concepto de absorción de calor por el volumen de agua, contenido en la corriente de producción manejada.

## Conclusiones

El periodo definitivo de estudio para las variables de operación va a ser desde el año 2016 hasta el 2018 debido que, a partir del año 2019 se inicia un registro de importantes caídas de presión en los intercambiadores tubo carcaza, razón por la cual, la mayoría de los mismos debieron ser desviados.

Determinando el modelo termodinámico a condiciones de diseño se observó que existe una desviación entre los valores de temperatura de diseño con los valores obtenidos vía simulación de procesos de (12%-15%) para el lado de los tubos y de (31%-33%) para el lado de la carcasa.

En la validación del modelo termodinámico a condiciones de operación se observa que, desde el año 2016 hasta el año 2018, los valores de la temperatura del DCO salida tubos de la sección caliente fueron sobrestimados, eso se debe que los intercambiadores de calor de las secciones fría y caliente fueron desviados por presentar altas caídas de presión.

En la evaluación hidráulica de las líneas de flujo se observa que, para todos los casos, los valores de velocidad y caída de presión se encuentran por debajo de los valores máximos recomendados por la norma PDVSA.

Aumentando el corte de agua trae muchas consecuencias para los equipos y el proceso del sistema, unas de las consecuencias pueden ser: problemas de corrosión en la línea, y el manejo de un mayor volumen de agua en el tope de la torre de despojamiento de nafta.

La presencia de sólidos en la corriente de agua trae como consecuencia la acumulación de los depósitos en las líneas de transporte y en los equipos diseñados para las separaciones físicas, acumulación de los depósitos en las tuberías de los intercambiadores de calor y la reducción de la eficiencia en la operación.

El incremento en la concentración de los sólidos trae como consecuencia la acumulación de depósitos en las líneas de transporte de crudo, en equipos diseñados para separaciones físicas, en los tubos de las unidades de intercambio de calor y tubos de fuego y la reducción de la eficiencia de operación.

La primera alternativa del proceso deberá ubicar unidades de rebombeo de refuerzo, con el objetivo de no incrementar las caídas de presión de los fluidos de producción, pero favorecerá a una mejor separación de la cantidad de agua en la línea de alimentación de producción de COPEM

Para la segunda alternativa del proceso se verán comprometidas las unidades de intercambiadores de calor sección caliente/ sección fría creado por el volumen de agua que presenta la corriente de producción, pero puede evitar problemas de tratamiento y separación aguas abajo.

### Referencias bibliográficas

[1] Huiza, P. **Simulación y evaluación de los intercambiadores de calor de carcasa y tubo del tren de precalentamiento de crudo de la unidad de destilación atmosférica del complejo Mejorador de Crudo Extrapesado de SINCOR**. Trabajo especial de grado. Universidad Metropolitana. (2016).

[2] Intriago, A. **Optimización del sistema de intercambiadores de calor del tren de precalentamiento de crudo de la unidad no catalítica II en la Refinería Estatal Esmeraldas**. Trabajo especial de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (2017).

[3] Arias F. **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**. 6a Ed. Caracas, República Bolivariana de Venezuela, Editorial Episteme C.A. (2012).

[4] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. **Metodología de la investigación**. 6ta Ed. México D.F., México: McGraw-Hill. (2014).

[5] Bernal, C. **Metodología de la investigación**. Tercera edición. Pearson educación. Colombia (2010).

[6] Sabino, C. **El proceso de investigación**. Caracas, Venezuela: Panapo. (1992).

[7] Petromonagas S.A **Bases para la selección de unidades de remoción de arena en el Centro Operativo Petromonagas (COPEM)**. (2015).

### Nota especial

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, intitulado: "Evaluación de las unidades de precalentamiento de crudo dco (crudo diluido) para el escenario de alto corte de agua en el centro operativo PETROMONAGAS" presentado en la Escuela de Ingeniería Química, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo-Venezuela.

# Fitorremediación de agua residual urbana de la ciudad de Maracaibo empleando *Eichhornia crassipes*

*Phytoremediation of urban wastewater from the city of Maracaibo using Eichhornia crassipes*

**María Virginia Hernández**

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
Correo electrónico: [mvirginiahm1@gmail.com](mailto:mvirginiahm1@gmail.com)

**Isabel Villasmil**

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
Correo electrónico: [villasmilisa@hotmail.com](mailto:villasmilisa@hotmail.com)

**Laugeny Díaz Borrego**

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
Universidad del Zulia. Facultad Experimental de Ciencias. Departamento de Biología. Laboratorio de Microorganismos Fotosintéticos. Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0000-0002-8263-081X> | Correo electrónico: [laugeny.diaz.8396@uru.edu](mailto:laugeny.diaz.8396@uru.edu)

Recibido: 17/01/2022

Aceptado: 11/04/2022

## Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la remoción de materia orgánica y nutrientes de un agua residual urbana mediante fitorremediación con *Eichhornia crassipes*. Se realizó una investigación tipo descriptiva con un diseño experimental. El experimento consistió en aclimatar las plantas para obtener suficiente biomasa en presencia de agua potable y fertilizante. Posteriormente, se conformaron dos grupos: el "Control" contenía agua residual sin tratar y el "Tratamiento" contenía agua residual y las plantas, para evaluar los cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua y la remoción de contaminantes y de bacterias indicadoras de contaminación. Para el agua residual se obtuvo en promedio: pH de  $7,70 \pm 0,06$ , para el Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK) de  $44,8 \pm 0$  mg. L<sup>-1</sup>, para el Fósforo Total (PT) de  $6,60 \pm 1,92$  mg. L<sup>-1</sup>, para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de  $130,54 \pm 57,82$  mg. L<sup>-1</sup>, para coliformes totales >16000 NMP/100 mL y coliformes fecales 9200 a >16000 NMP/100 mL. Se analizó el agua los días 0 y 30, para estimar los porcentajes de remoción obtenidos para cada parámetro, y los resultados se compararon con los valores límites establecidos en la norma 883 de la Gaceta No. 5.201, 1995. Se justificó aplicar un tratamiento de fitorremediación para remover los contaminantes de estas aguas, debido a que el NTK excedía el valor permitido en la norma. Los mayores valores de remoción obtenidos fueron de 88,75% para NTK, 40,33% para PT, no hubo remoción de DQO, para coliformes fecales y totales se obtuvo 97,83% y 97,18% respectivamente. Se debe tomar en cuenta, que los valores de PT y DQO se encontraron por debajo de los límites de la norma, por lo que se puede destacar que la fitorremediación con *E. crassipes* es recomendable como tratamiento terciario para el agua residual por su capacidad de remover nitrógeno.

**Palabras clave:** Fitorremediación, *Eichhornia crassipes*, aguas residuales, remoción

## Abstract

The objective of this work was to determine the removal of organic matter and nutrients from urban wastewater through phytoremediation with *Eichhornia crassipes*. A descriptive research was carried out with an experimental design. The experiment consisted of acclimatizing the plants to obtain sufficient biomass in the presence of drinking water and fertilizer. Subsequently, two groups were formed: the "Control" contained untreated wastewater and the "Treatment" contained wastewater and the plants, to evaluate the changes in the physicochemical properties of the water and the removal of contaminants and

*bacteria indicating contamination. For the residual water, an average of pH of  $7.70 \pm 0.06$  was obtained, for Total Kjeldhal Nitrogen (NTK) of  $44.8 \pm 0$  mg.  $L^{-1}$ , for Total Phosphorus (TP) of  $6.60 \pm 1.92$  mg.  $L^{-1}$ , for the Chemical Oxygen Demand (COD) of  $130.54 \pm 57.82$  mg.  $L^{-1}$ , for total coliforms  $>16000$  NMP/100 mL and fecal coliforms  $9200$  to  $>16000$  NMP/100 mL. The water was analyzed on days 0 and 30 to estimate the removal percentages obtained for each parameter, and the results were compared with the limit values established in standard 883 of Gazette No. 5,201, 1995. It was justified to apply a treatment of phytoremediation to remove contaminants from these waters, because the NTK exceeded the value allowed in the standard. The highest removal values obtained were 88.75% for NTK, 40.33% for PT, there was no removal of COD, for fecal and total coliforms, 97.83% and 97.18% were obtained respectively. It must be taken into account that the TP and COD values were below the limits of the standard, so it can be highlighted that phytoremediation with *E. crassipes* is recommended as a tertiary treatment for wastewater due to its capacity to remove nitrogen.*

**Keywords:** *Phytoremediation, Eicchornia crassipes, wastewater, removal*

## Introducción

Para la ONU el agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud, siendo el derecho humano al agua indispensable para vivir dignamente. Sin embargo, en Venezuela según un informe presentado por el Programa Mundial de Alimentos de la Organización de Naciones Unidas en el 2020 [1], se dio a conocer que el 25% de los hogares venezolanos no tienen acceso estable a agua potable. El documento señaló que las familias venezolanas se ven obligadas a usar estrategias alternativas como la compra de agua embotellada o el uso de camiones cisterna, para acceder al agua potable.

De acuerdo con Tonatiuh [2], las aguas residuales son aquellas cuya calidad ha sido afectada negativamente por la actividad humana, y provienen de viviendas, poblaciones y áreas industriales por lo cual arrastran numerosos contaminantes. Así mismo, García y Pérez [3], mencionan que desde el momento en que aparecieron las primeras poblaciones estables, la eliminación de los residuos ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas. Durante las últimas décadas, el mundo ha venido observando con inquietud, analizando y tratando de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial.

Entonces, además de ser considerada un privilegio, y que puede contener toda clase de residuos y contaminantes que derivan de la actividad para la que fue utilizada en un principio, dando origen a las aguas residuales, estas últimas muchas veces son vertidas de forma incorrecta, lo que ocasiona daño a los ecosistemas acuáticos y subterráneos, y deriva en escasez de agua limpia debido a que no cuenta con la calidad adecuada. De igual manera, García y Pérez [3], establecen que los problemas causados no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, ya que las comunidades humanas necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos o industriales, pueden dar lugar a problemas epidemiológicos graves.

En Venezuela, el decreto 883 para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos, de la Gaceta No. 5.021 del 18 de diciembre 1995 [4], establece la clasificación correspondiente a cada cuerpo de agua, y las normas específicas sobre vertidos en dichos cuerpos de agua. Sin embargo, en Maracaibo, de acuerdo a Corona [5], son descargados grandes volúmenes de materia orgánica altamente contaminante, provenientes de las aguas residuales domésticas, al Lago de Maracaibo.

Debido a esto se evaluó a la “fitorremediación” como una alternativa viable desde la perspectiva ecológica y económica para el tratamiento de aguas residuales. La fitorremediación es un tratamiento fácil de implementar y de mantener, emplea plantas acuáticas que son fáciles de ubicar en la región zuliana para aplicar el tratamiento no se necesitan añadir productos químicos que puedan impactar en las aguas que se desean tratar y que puedan generar contaminantes secundarios, de igual manera, no es necesario incurrir en grandes inversiones, pues puede ser implementado en el sitio de la problemática, y además no requiere de grandes consumos energéticos, pues requiere de energía solar. Así mismo, es una alternativa de tratamiento que puede aplicarse a diversos contaminantes, bien sea orgánicos e inorgánicos, metales pesados, entre otros; y resulta ser atractiva a la vista debido a que mejora el paisaje, por el uso de plantas.

Para esta investigación se planteó como objetivo general determinar la remoción de materia orgánica y nutrientes de un agua residual urbana de la ciudad de Maracaibo mediante la fitorremediación con *Eichhornia crassipes*.

## Métodos y Materiales

### Fase I: Promoción del crecimiento de la planta acuática *Eichhornia crassipes* durante la aclimatación en presencia de agua potable y fertilizante foliar

Para el desarrollo de esta fase se escogieron 10 ejemplares de las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* del vivero de La Vereda del Lago de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia. Las plantas se lavaron y cortaron sus raíces hasta aproximadamente 1 cm, para posteriormente medir su masa inicial. En dos recipientes de plástico redondos, se colocaron cinco plantas en cada uno junto a 30 litros de agua potable y fertilizante foliar en cada recipiente, los cuales se ubicaron en un sitio que con luz solar, y se monitoreó la temperatura del agua y del ambiente diariamente por 30 días. Se observó el crecimiento de las plantas y sus raíces, así como la aparición de nuevos propágulos, hojas y flores durante 30 días. Pasados los 30 días, las plantas se secaron, se sacudieron y se midieron en una balanza electrónica para registrar su masa final.

### Fase II. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las muestras del agua residual urbana de la ciudad de Maracaibo

El agua residual urbana fue recogida de una alcantarilla ubicada en la calle 84, Sector Paraíso, Parroquia Chiquinquirá del municipio Maracaibo, estado Zulia (Figura 1). Para esta fase se obtuvieron cuatro recipientes grandes redondos de aproximadamente 40 L de capacidad, y se lavaron con agua, jabón y cloro. El agua residual fue diluida (75% de agua residual + 25% agua desmineralizada) debido a que presentaba una salinidad de 284 mg Cl.L<sup>-1</sup>, la cual afecta el crecimiento de la planta. De esta forma, en los recipientes 1 y 2 se colocaron 18,75 L del agua residual urbana y 6,25 L de agua desmineralizada en cada uno, sin las plantas y se les denominó grupo Control.

En los recipientes 3 y 4 se colocaron en cada 18,75 L del agua residual urbana y 6,25 L de agua desmineralizada junto a las plantas. A estos recipientes se les denominó grupo Tratamiento. Se monitoreó diariamente el crecimiento de las plantas y de igual manera, se monitoreó la temperatura del agua residual. Para realizar los análisis fisicoquímicos se tomaron muestras de 500 ml el día 0 del tratamiento, y se llevaron al laboratorio para su determinar el pH, el Nitrógeno Total Kjeldahl, el Fósforo Total y la Demanda Química de Oxígeno.

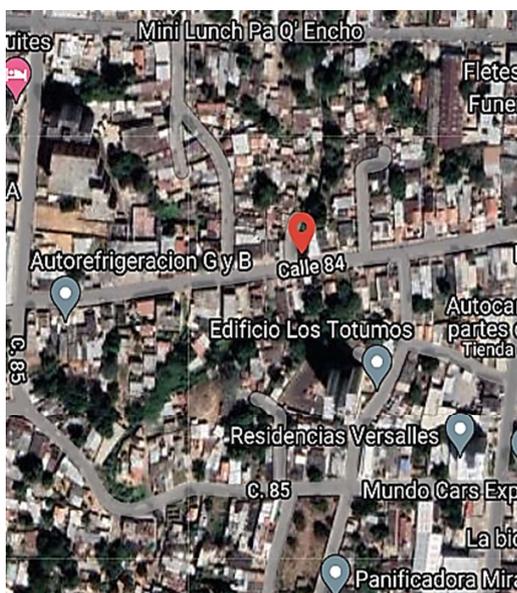


Figura 1. Mapa satelital de la ubicación de las muestras de agua residual

- Determinación del pH

Para la determinación del pH se siguió el procedimiento SM 4500-H+B (Método electrométrico) descrito en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 1989) [6].

- Determinación del Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)

Se siguió el procedimiento SM 4500-NorgC (Semi-Micro Kjeldahl) descrito en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [6].

- Determinación del Fósforo Total (PT)

Se realizó el método Colorimétrico con Ácido Vanadomolibdofosfórico, descrito en la Norma COVENIN 3051-93 (Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Determinación de Fósforo, 1993) [7].

- Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se optó por emplear el método SM 5220-DQO D (Método colorimétrico de reflujo cerrado), descrito en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [6].

### **Fase III. Detección de la remoción de las bacterias indicadoras de contaminación en el agua residual tratada con *Eichhornia crassipes***

Para el desarrollo de esta fase, se recogieron muestras de 60 ml y se llevaron a cabo los análisis microbiológicos de coliformes totales y fecales siguiendo el procedimiento descrito en la norma COVENIN 3047-93 (Agua Potable. Método de determinación del número más probable de bacterias coliformes, 1993) [8].

Los porcentajes de remoción para las bacterias indicadoras de contaminación fueron calculados a través de la ecuación 1.

$$Remoción(\%) = \frac{Concentración\ Inicial - Concentración\ Final}{Concentración\ Inicial} \cdot 100 \quad (1)$$

### **Fase IV. Estimación de la remoción de materia orgánica y nutrientes del agua residual tratada con *Eichhornia crassipes***

Para el desarrollo de esta fase, se tomaron en cuenta los resultados de los análisis llevados a cabo en la Fase II de la investigación, y los porcentajes de remoción fueron calculados a través de la ecuación 1, para cada parámetro estudiado.

### **Fase V. Comparación de los parámetros estudiados del efluente tratado con el Decreto 883, Gaceta No.5.021, 1995**

En el desarrollo de esta fase se realizó un análisis estadístico, se comprobaron los supuestos de normalidad de los datos obtenidos en los análisis realizados, así mismo, se realizó una prueba *t-student* para establecer las diferencias significativas entre el control y el tratamiento del agua residual con la planta *Eichhornia crassipes*. Los resultados que se obtuvieron en el tratamiento, fueron comparados con los valores de descarga para cuerpos de agua establecidos en el Decreto 883, Gaceta No.5.021, 1995 [4].

## **Resultados y Discusión**

### **Promoción del crecimiento de las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* durante la aclimatación en presencia de agua potable y fertilizante foliar**

Los resultados obtenidos durante esta fase se observaron a través de las Tablas 1, 2 y 3.

**Tabla 1. Datos de temperatura del agua y ambiental durante la fase de aclimatación**

Día	Temperatura ambiental (°C)	Temperatura del agua (°C)
Promedio de las Temperaturas	29,07±1,62 °C	24,83±1,60 °C

Durante esta fase, la temperatura ambiental obtuvo un promedio de 29,07±1,62 °C, y la temperatura del agua fue de 24,83±1,60 °C. De acuerdo con Jaramillo y Flores (2012), para que el desarrollo de la planta *E. crassipes* sea favorable necesita de las siguientes condiciones: iluminación intensa o semi-sombra, para un crecimiento óptimo la temperatura debe estar entre 25 °C y 30 °C, y se deben proteger de las temperaturas heladas. A pesar, de haber registrado temperaturas bajas entre 22 °C y 24 °C, las plantas tuvieron un desarrollo favorable, ya que la mayor parte del día se encontraban bajo de luz solar directa y esto permitía que la temperatura del agua aumentara a las temperaturas que resultan favorables para su desarrollo.

De igual manera, en la Tabla 2 se reflejó los datos obtenidos de masa fresca inicial y final de las plantas, para ello, se empleó una balanza electrónica, en la que, para determinar la masa fresca inicial, luego de lavadas y cortadas las raíces de las plantas, se colocaron en la balanza y se leyó la masa que registraba cada una. Para determinar la masa final de las plantas, transcurridos los 30 días de la fase de aclimatación, las plantas se secaron y se colocaron de nuevo en la balanza para medir su masa y registrarla.

**Tabla 2. Masa fresca inicial y final de las plantas**

No. de planta	Masa fresca inicial (g)	Masa fresca final (g)
Promedio de las masas	120,4±41,06	145,4±48,71

En la Tabla anterior, se apreció que la planta en condiciones de aclimatación aumentó su masa en 25g, aunque, Jaramillo y Flores [9] establecen que las plantas *E. crassipes* son capaces de duplicar su tamaño en diez días. Sin embargo, se debe indicar que a lo largo de los 30 días se debieron limpiar las plantas cada vez que se marchitaba alguna hoja o se descomponía algún tallo, lo que puede explicar la baja masa obtenida.

En la Tabla 3, se registró los valores obtenidos al medir las raíces de las plantas acuáticas *E. crassipes* y al hacer el conteo de hojas y flores cada tres días durante la fase de aclimatación con agua potable y fertilizante foliar. Para obtener los valores de longitud de las raíces se empleó una regla, y el conteo de hojas y flores se hizo por medio de observación directa.

**Tabla 3. Medición de raíces y recuento de número de hojas y flores de las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes***

Plantas	Longitud de raíces (cm)		Número de hojas		Número de flores	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Promedio	±1	28,2±3,29	5±0,82	8,4±1,17	0	0,7±0,67

Según la Tabla 3, el día 30 de la fase de aclimatación de las plantas, las raíces tuvieron en promedio de 28,2 ± 3,29 cm, el número de hojas promedió 8,4±1,17 y el número de flores promedio fue de 0,7±0,67. Se ha reportado que las plantas *E. crassipes* poseen un potente sistema de raíces, en el que más del 50% de la biomasa de la planta pueden ser raíces, con apariencia de plumas de color violeta o azul oscuro, son fibrosas y cuentan con una longitud entre 10 y 30 cm [10]. Asimismo, el autor reporta en la planta bajo condiciones similares, la producción de 5 a 8 hojas, resultado coincidente con el promedio de hojas observadas en el presente trabajo.

Con respecto a la floración, Penfound y Earle [11], reportan que la baja frecuencia de floración de las plantas de mayor tamaño, en comparación con aquellas de menor tamaño, se debe a la poca intensidad de luz que incide sobre el rizoma de las plantas grandes, que no es lo suficientemente óptima para equilibrar hormonalmente a la planta y estimular el florecimiento. Este comportamiento puede explicar el bajo número de flores obtenidos en la planta, la cual se caracteriza por tener una gran masa que puede afectar la captación de luz.

Por tanto, las plantas tuvieron un desarrollo óptimo en presencia del agua potable y fertilizante foliar, y alcanzaron una masa y condiciones adecuadas para emplearse en las siguientes fases de la investigación.

En la Figura 2, se presentaron ejemplares de la planta acuática *E. crassipes* luego del período de aclimatación:



**Figura 2. Floración de los ejemplares de *E. crassipes* durante fase de aclimatación con agua potable y fertilizante foliar**

#### **Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las muestras del agua residual urbana de la ciudad de Maracaibo**

Los resultados de las características fisicoquímicas que se le realizaron a las muestras de agua residual se plasman en la Tabla 4.

**Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de las muestras de agua residual al día 0 del tratamiento**

Muestra	No. de muestra	T agua (°C)	pH	NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	PT (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )
Control	1	27	7,71	44,8	5,24	171,42
Tratamiento	2	28	7,66	44,8	7,96	89,65
Valor de Referencia <sup>1</sup>		N/A	06-sep	40	10	350
Promedio		27,5±0,71	7,7±0,06	44,8±0	6,6±1,92	130,54±57,82

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

Se observó en la Tabla 4 que al inicio del ensayo presentaron valores de pH de neutro a básico y temperaturas Medias, favorables para el tratamiento de fitorremediación. Al respecto, Vera [12] reporta en un agua residual de la zona noroeste de la ciudad de Maracaibo, valores de DQO de 324,69±48,86 mg. L<sup>-1</sup> y de NTK (51,10 mg. L<sup>-1</sup>), más elevados que el agua residual de este trabajo, sin embargo, para PT (6,83 mg. L<sup>-1</sup>) y pH (7,44), los valores promedios obtenidos en este trabajo fueron mayores a los obtenidos por el autor. En las aguas residuales analizadas se consiguió que el pH se encontrara dentro de los límites establecidos en el Decreto 883, al igual que la DQO y el PT, de tal forma que el tratamiento se enfocó en la disminución del NTK dentro del límite permisible por la norma, debido a que este la parámetro la excedía.

#### **Detección de la remoción de bacterias indicadoras de contaminación en el agua residual tratada con *Eicchornia crassipes***

Los resultados de los análisis de coliformes totales y fecales al día 0 del tratamiento se presentaron en las Tablas 5 y al día 30 en la Tabla 6.

**Tabla 5. Coliformes fecales y totales de las muestras de agua residual al día 0 del tratamiento con *Eicchornia crassipes***

Muestra	No. de muestra	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)
Control	1	>16000	>16000
Tratamiento	2	9200	>16000
Valor de Referencia <sup>1</sup>	No mayor a 1000 por cada 100 mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 mL		

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

Se observó en la Tabla 5 que las muestras analizadas al inicio del experimento contienen un alto índice de coliformes fecales, lo cuales exceden la norma. En la primera muestra proveniente del grupo Control, se encontró >16000 NMP/100 mL, mientras que, la segunda muestra proveniente del grupo Tratamiento, resultó en 9200 NMP/100 mL de coliformes totales. Poveda [13] reporta valores de 11000 NMP/100 mL en los análisis realizados previo al tratamiento, similares a los obtenidos en el agua residual urbana. Por tanto, el tratamiento realizado debe remover este parámetro.

**Tabla 6. Coliformes fecales y totales de las muestras de agua residual al día 30 del tratamiento con *Eicchornia crassipes***

Muestra	No. de muestra	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)
Control	1	780	2300
Tratamiento	2	200	450
Valor de Referencia <sup>1</sup>	No mayor a 1000 por cada 100 mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 mL		

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

Como se apreció en la Tabla 6, la disminución de los coliformes totales y fecales en el agua residual tratada y no tratada a los 30 días de ensayo, fue significativa. Es probable que la disminución de los coliformes en la muestra 1 proveniente del grupo Control se deba a que las bacterias presentes en el agua estuvieron más expuestas a la luz solar, ayudando a su eliminación del sistema, además de su adhesión a las paredes del envase. Con respecto al tratamiento también se logró la disminución de bacterias coliformes por acción de las plantas. Los resultados del presente trabajo fueron superiores a los reportados por Poveda [13] cuyos valores fueron de 2000 NMP/100 mL para coliformes fecales al final del tratamiento de fitorremediación.

En la Tabla 7 se observaron los valores obtenidos de los porcentajes de remoción para los coliformes fecales y totales de las muestras de agua residual estudiada.

**Tabla 7. Remoción de coliformes fecales y totales de las muestras de agua residual del tratamiento con *Eicchornia crassipes***

Muestra	No. de muestra	Coliformes fecales (%)	Coliformes totales (%)
Control	1	95,13	85,63
Tratamiento	2	97,83	97,18
Valor de Referencia <sup>1</sup>	No mayor a 1000 por cada 100 mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 mL		

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

En la Tabla 7 se observaron resultados favorables de remoción de coliformes tanto en el Control como en el Tratamiento. Los valores de remoción de coliformes totales y fecales en el tratamiento con la planta acuática, fueron similares a los reportados por Mendoza *et al.*, [14] de 99,9% en aguas residuales de la ciudad de Riohacha, Colombia, y superiores a los valores reportados por Ayala *et al.*, [15] de 90,7% en un agua residual doméstica, y por Niño *et al.*, [16] de 71,19% en agua residual sin tratamiento previo, empleando en los casos citados la planta *Eichhornia crassipes*. Como se mencionó, esta planta posee un sistema de raíces que permite la adhesión de los microorganismos, favoreciendo su remoción del sistema [14, 15].

### Remoción de materia orgánica y nutrientes del agua residual tratada con *Eichhornia crassipes*

En la Tabla 8, se presentaron los valores de los análisis fisicoquímicos al día 30 del tratamiento, las muestras denominadas 1 y 2 se refieren a las provenientes del grupo Control y las muestras denominadas 3 y 4 provienen del grupo Tratamiento.

**Tabla 8. Propiedades fisicoquímicas de las muestras de agua residual al día 30 del tratamiento**

Muestra	No. de muestra	T agua (°C)	pH	NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	PT (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )
Control	1	29	6,3	8,12	8,5	129,59
	2	28	6,35	7,28	5,14	112,57
<b>Promedio</b>		<b>28,50±0,71</b>	<b>6,33±0,04</b>	<b>7,7±0,591</b>	<b>6,82±2,38</b>	<b>121,08±12,03</b>
Tratamiento	3	28	5,01	5,74	6,21	128,37
	4	26	4,88	5,04	4,75	91,9
<b>Promedio</b>		<b>27±1,41</b>	<b>4,95±0,09</b>	<b>5,39±0,49</b>	<b>5,48±1,03</b>	<b>110,14±25,79</b>
Valor de Referencia <sup>1</sup>		N/A	06-sep	40	10	350

<sup>1</sup>Decreto No. 883, Gaceta No. 5.021, 1995

En la Tabla 8 se reflejó que el pH del Control se mantuvo dentro del rango permitido por la norma venezolana, pero el pH promedio del grupo Tratamiento disminuyó con un valor de 4,95±0,09, resultando en un pH ácido; por lo que es posible que las bacterias hayan producido ácidos orgánicos que causen la caída del pH, lo cual puede afectar el tratamiento. La temperatura se mantuvo entre 27 y 28 °C, adecuada para el desarrollo de las plantas y para el crecimiento bacteriano [17].

El resto de los parámetros evaluados estuvieron por debajo de lo contemplado en el Decreto 883, aunque la DQO de la muestra 3 del grupo Tratamiento, experimentó un aumento que puede deberse a que algunas plantas presentaron tallos y hojas descompuestas que ocasionan un incremento de materia orgánica en el agua residual; no obstante, el valor de DQO estuvo por debajo del límite permisible por la norma. Del mismo modo, a pesar de que los valores de PT en el tratamiento fueron bajos desde el principio del experimento, se apreció una disminución en su valor final del mismo. Asimismo, se logró disminuir la concentración de NTK que se encontraba por encima de la norma hasta valores de 5,39±0,49 mgL<sup>-1</sup>. Se ha señalado que las raíces de la planta y la translocación de los nutrientes dentro de ella, mejoran la calidad del agua con respecto a la muestra inicial [16].

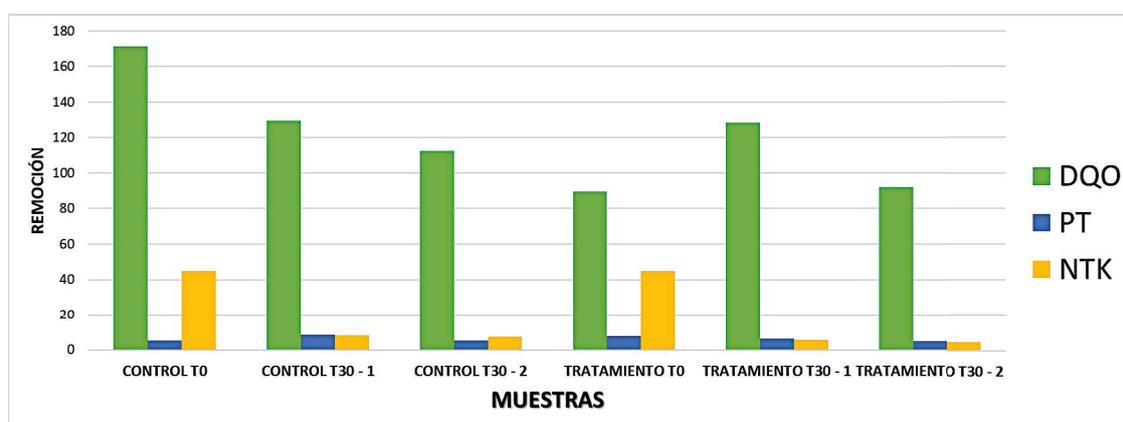
A continuación, en la Tabla 9 se reportó los porcentajes de remoción calculados para los parámetros NTK, PT y DQO.

**Tabla 9. Remoción de los parámetros fisicoquímicas de las muestras de agua residual tratada con *Eichhornia crassipes***

Muestra	No. de muestra	NTK (%)	PT (%)	DQO (%)
Control	1	81,88	NR	24,4
	2	83,75	1,91	34,33
Tratamiento	3	87,19	21,98	NR
	4	88,75	40,33	NR

NR: No hubo remoción

De acuerdo, con la Tabla 9, y, la Figura 3, el grupo Tratamiento el NTK experimentó una remoción del 88,7%% y el PT del 40,33% por acción de la planta *Eichhornia crassipes*. Para la DQO la remoción fue despreciable en el Tratamiento, pero en el Control esta fue del 24,40 al 34,33%.



**Figura 3. Porcentajes de remoción obtenidos para los parámetros fisicoquímicos DQO, PT y NTK en las muestras Control y Tratamiento**

El análisis estadístico reveló que no se encontraron diferencias significativas entre el Control y el Tratamiento en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos evaluados a los 30 días del experimento ( $p < 0,05$ ). A pesar de ello, al observar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos se evidenció la disminución de la concentración de los mismos en las muestras, por lo que se hace necesario aumentar el número de datos tomando muestras en diferentes puntos del tratamiento en función del tiempo, lo cual permitirá tener una mayor posibilidad de encontrar diferencias en estos.

Comparativamente con otros estudios, Vera [12] empleando *Thypha dominguensis* y *Canna generalis* para el tratamiento de agua residual, obtuvo disminución del pH por debajo del Decreto 883, tal como ocurrió en el presente trabajo. Asimismo, el autor obtuvo valores de remoción de DQO y PT tras el tratamiento con las plantas menores a los obtenidos en este trabajo *E. crassipes*. Los valores obtenidos en esta investigación, también fueron superiores a los reportados por Niño *et al.*, [16] con remociones del 10% de DQO en un agua residual sin tratamiento previo, pero fueron menores a las remociones registradas por Mendoza *et al.*, [14] de 99,99 % de nitrógeno, 93,1% de fósforo y 93,9% de materia orgánica, y a lo obtenido por Ayala *et al.*, [15] de 90,77% de remoción de DQO en aguas residuales tratadas con Jacinto de agua.

Rodríguez-Monroy y Duran de Bazúa [18], estudiaron la eliminación de Nitrógeno Total, Nitrógeno Total Kjeldahl y Nitrógeno amoniacal, mediante humedales artificiales con *Phragmites australis* y *Typha latifolia*, mencionando que en los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales los compuestos nitrogenados terminan, generalmente, como nitratos, por lo que se requiere de tratamientos terciarios para eliminarlo. Se puede decir que las diversas especies de plantas acuáticas, como *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, y *Eicchornia crassipes* empleada en el presente trabajo de investigación, son eficientes en la depuración de nitrógeno en aguas residuales, por lo que la implementación de la fitorremediación como tratamiento terciario de aguas residuales, obtendría resultados favorables para el pulimento de aguas que ya han pasado por las fases de pre-tratamiento, tratamiento primario y secundario.

### Conclusiones

La planta acuática *Eicchornia crassipens*, durante la fase de aclimatación logró adaptarse satisfactoriamente al agua potable con fertilizante y a las condiciones ambientales de temperatura e intensidad de luz, que permitieron obtener suficiente biomasa (aumento de raíces, hojas y flores) para iniciar los experimentos.

El tratamiento del agua residual urbana con *E. crassipes* logró remover eficientemente bacterias coliformes del medio en un 97%, así como también los nutrientes. El NTK se removió en un 88,75% y el PT en 40,33%, exhibiendo valores por debajo de lo establecido en la norma venezolana. La remoción de materia orgánica (DQO) no fue eficiente; sin embargo, los valores estuvieron dentro de lo aceptado por la norma venezolana. El pH disminuyó tras el tratamiento hasta un pH ácido, por lo que es necesario ajustarlo con solución alcalina para que alcance el valor establecido en la normativa entre 6-9.

Debido a la eficiencia de la planta acuática de remover nitrógeno y fósforo del agua residual urbana, este tratamiento se recomienda para pulimento, en el tratamiento terciario de aguas residuales de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia.

### Referencias bibliográficas

- [1] Aula Abierta & CEPAZ. (2021). **Situación del servicio público de acceso al agua potable en Venezuela. Violaciones a los derechos al agua y a la salud**. Recuperado de: <http://aulaabiirtavenezuela.org/wp-content/uploads/2021/03/INFORME-PRELIMINAR-ACCESO-AL-AGUA.pdf>
- [2] Tonatiuh, Z. (2019). **Tratamiento de Aguas Residuales**. Recuperado de: [https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU\\_19-028.pdf](https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf)
- [3] García, M & Pérez, J. (1985). Aguas residuales. Composición. Recuperado de: [https://www.academia.edu/34231924/AGUAS\\_RESIDUALES\\_COMPOSICION](https://www.academia.edu/34231924/AGUAS_RESIDUALES_COMPOSICION)
- [4] Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5021, **Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos**, 1995, Caracas, Venezuela. Decreto No. 883, 11-10-1995.
- [5] Corona, J. (2011). **Estado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela**. Multiciencias, 11, (4) 345-352. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90421972003.pdf>
- [6] APHA, AWWA, WEF (1989). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater** (23d Ed.). Washington, DC, Estados Unidos.
- [7] COVENIN, Norma 3051-93 **Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Determinación de Fósforo**, 1993, Caracas, Venezuela.
- [8] COVENIN, Norma 3047-93 **Agua Potable. Método de determinación del número más probable de bacterias coliformes**, 1993, Caracas, Venezuela.

[9] Jaramillo, M. y Flores, D. (2012). **Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemma minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales de la actividad minera.** Recuperado de: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>

[10] Verdejo, E., Palmerín, J.A., Aibar, J., Cirujeda, A., Taberner, A. y Zaragoza, C. (2006). **Plantas Invasoras. El lirio de Agua *Eichornia crassipes* (Martius) Solms & Laubanch. Ca.** Recuperado de: <https://docplayer.es/32537072-Plantas-invasoras-el-lirio-de-agua-eichornia-crassipes-martius-solms-laubanch-ca.html>

[11] Penfound, WT y Earle, T.T (1948), 10-1948. **The Biology of the Water Hyacinth.** Ecological Monographs, Vol. 18, Num. 4, 25.

[12] Vera, A. (2018). **Fitorremediación de aguas residuales de la zona noroeste de la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela.** (Trabajo presentado para ascender a la categoría de Profesor Asociado, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

[13] Poveda, R. (2014). **Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola, previamente caracterizadas en el cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.** (Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Bioquímico), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

[14] Mendoza Guerra, Y. II; Castro E. F; Marín L. J., Behling E. (2016). **Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia).** Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia [online]. 39 (2): 071-079. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702016000200004&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004&lng=es&nrm=iso). ISSN 0254-0770.

[15] Ayala Tocto, R. Y., Calderón Ordoñez, E., Rascón, J., & Collazos Silva, R. (2018). **Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*.** Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable, 2(3): 48–53. <https://doi.org/10.25127/aps.20183.403>

[16] Niño A. I., Aponte, B. M., Rodríguez, C. L; Perico-Granados, N. (2018). **Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo.** Caso: Tierra Negra Boyacá. Revista de Tecnología. 17(1): 37-48.

[17] Armas, J. E. (2022). **Cinética de remoción de bacterias en lagunas de estabilización.** Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 23(1): 10+. Gale OneFile: Informe Académico, Recuperado de: <link.gale.com/apps/doc/A146892985/IFME?u=anon~d56299d4&sid=googleScholar&xid=19a1df88>.

[18] Rodríguez-Monroy, J. y Durán de Bazúa, C. (2006). **Remoción de nitrógeno en un sistema de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco.** Tecnología, Ciencia y Educación, 21: 1- 9.

### Nota especial

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Remoción de materia orgánica y nutrientes de un agua residual mediante fitorremediación con *Eichornia crassipes*, presentado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.



# Ingeniería conceptual para la producción de dodecilbenceno lineal

*Conceptual engineering for the production of linear dodecylbenzene*

**Christy Lee Lewis Quevedo**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
Correo electrónico: [christy.27266620@uru.edu](mailto:christy.27266620@uru.edu)

**José Manuel Machado Rincón**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
Correo electrónico: [jose.30064767@uru.edu](mailto:jose.30064767@uru.edu)

**María Emilia Da Costa Romero**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela  
 <https://orcid.org/0009-0002-0364-949X> | Correo electrónico: [maria.da.8060@uru.edu](mailto:maria.da.8060@uru.edu)

Recibido: 17/01/2022

Aceptado: 07/03/2022

## Resumen

A fin de promover la fabricación de materia prima para la posterior producción de detergentes, mediante el uso de simuladores de la línea Aspen One, se modeló el proceso de alquilación para la obtención del dodecilbenceno lineal, así como el diseño de equipos. Como resultados se tiene que, la investigación cuenta con normas y criterios relacionados a los equipos diseñados y la especificación de tuberías de carácter nacional e internacional. Fue posible diseñar un proceso para la producción de dodecilbenceno a partir de kerosene, este se contempla en seis unidades. Se tiene un índice de producción de 16,56 toneladas de dodecilbenceno diarias. Con un área de 10747,9 m<sup>2</sup> y una inversión de equipos de 15,64 millones de dólares. Las ganancias son de 15,31 millones de dólares al año, indicando que el proceso es sustentable, también, se proyecta un tiempo de recuperación de capital de 12,24 meses.

**Palabras clave:** Ingeniería conceptual, dodecilbenceno lineal, simulador Aspen One, alquilbenceno lineal, alquilación.

## Abstract

*In order to promote the manufacture of raw material for the subsequent production of detergents, by using simulators from the Aspen One line, the alkylation process to obtain linear dodecylbenzene was modeled, as well as the equipment design. As results we have that, the investigation has norms and criteria related to the designed equipment and the specification of national and international pipes. It was possible to design a process for the production of dodecylbenzene from kerosene, this is contemplated in 6 units. There is a production index of 16.56 tons of dodecylbenzene per day. With an area of 10747.9 m<sup>2</sup> and an investment in equipment of 15.64 million dollars. The profits are 15.31 million dollars per year, indicating that the process is sustainable, also, a capital recovery time of 12.24 months is projected.*

**Keywords:** Concept engineering, linear dodecylbenzene, Aspen One simulator, linear alkylbenzene, alkylation.

## **Introducción**

El avance en la tecnología por la inhibición de medios nocivos para la salud, así como de vías de transmisión de patógenos ha tomado gran importancia. Por tal motivo, la información generada por esta investigación va dirigida principalmente a la producción de componentes químicos empleados en la fabricación de detergentes y desinfectantes bajo cualquier presentación [1]. Se dirigen los esfuerzos a la conceptualización de una línea de producción de dodecibenceno lineal, componente clave empleado como materia prima en la industria de la limpieza.

Procura General de Materiales (PGM C.A.), empresa venezolana, ha mostrado interés en incursionar dentro de la industria anteriormente mencionada. La empresa pretende expandir sus conocimientos, así como su catálogo de productos mediante la adquisición de la documentación y estructura del proceso de síntesis y producción de dodecibenceno lineal. Por lo tanto, se da la necesidad de una ingeniería enfocada en la conceptualización de instalaciones capaces de cumplir con las expectativas de producción impuestas por la empresa.

Se estudiaron diversos enfoques de diseño, iniciando con el establecimiento de las bases legales y normativas de diseño que rigen al proyecto, seguido de una descripción del proceso de alquilación, para el cual fue enfatizado su mecanismo. Entendido el proceso de producción, se procedió con el dimensionamiento y establecimiento de las condiciones óptimas del proceso, lo que permitió posteriormente la obtención de los datos necesarios para la generación de los documentos principales relacionados a la conceptualización de la línea de producción, así como la estimación económica del proyecto.

El propósito de la investigación fue producir un plan que cumpliera como solución a la necesidad planteada por la empresa PGM ante la necesidad de materia prima para su proyecto de una planta de sulfonación. Esta investigación se realizó de manera proyectiva a la necesidad planteada, empleando simuladores de la línea Aspen One, para desarrollar la totalidad de la ingeniería de la línea de producción. A su vez, la identificación de las reacciones implicadas en el proceso se realizó mediante la revisión documental de los trabajos de León [2] y Moitinho [3] con el fin de comprender aspectos relacionados a las fases de reacción implicadas en el proceso.

Cabe resaltar que no fueron considerados aspectos como la disposición final o tratamiento de efluentes, esto con el fin de demarcar un límite a la investigación. La investigación fue llevada a cabo en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, información de gran importancia debido al proceso de obtención de la materia prima empleada en este proceso. Esta investigación tiene como objetivo establecer la ingeniería conceptual de una línea de producción de dodecibenceno lineal para la empresa Procura General de materiales C.A.

## **Metodología**

El trabajo atiende a una investigación de tipo proyectiva, según lo define Hurtado [4], ya que se enfoca en el desarrollo de una ingeniería conceptual para una planta de producción de dodecibenceno lineal, diseñando una propuesta para solventar una determinada necesidad de la empresa Procura General de Materiales; de igual manera, dado el planteamiento de Arias [5], atiende a un nivel de investigación descriptivo, ya que, para el desarrollo de la ingeniería conceptual se describen las etapas de producción, equipos y, demás, elementos necesarios para lograr la conceptualización del proceso productivo.

En relación, al diseño de la investigación, este trabajo es una investigación no experimental, ya que no requiere la manipulación de variables para dar lugar a una situación; lo cual, consecuentemente daría lugar a un experimento [6]. También, se corresponde con un diseño de tipo transaccional, debido a que los datos son recolectados en un único momento del tiempo [4]; y, el diseño es documental, dado, a que, el planteamiento de Sabino [7], indica que la información recabada son datos recolectados de documentos de investigaciones pasadas.

La unidad de análisis de este trabajo se centró en el proceso de producción del dodecibenceno lineal, teniendo en cuenta que la información a recabar para el desarrollo de la información, se enfoca en los datos que permitan la conceptualización de este proceso. En correspondencia a esto, las técnicas de recolección de datos fue la revisión documental [8] y la observación indirecta [9], por lo que este trabajo se enfocó en la obtención de datos registrados en documentos bibliográficos.

Para el desarrollo de la investigación, además, se aplicó el uso de simuladores de la línea Aspen One, los cuales permiten realizar las simulaciones del proceso con la herramienta Aspen Plus y el diseño de equipos, específicamente los intercambiadores de calor, con el programa *Aspen Exchanger Design and Rating*.

Para lograr el desarrollo de los objetivos de la investigación, se establecieron las fases necesarias para atender la resolución de los subproyectos de la investigación, de manera específica para cada uno.

### **Establecimiento de las bases y criterios de diseño para la línea de producción**

Para esto, se compilaron normativas legales que atienden a los regimientos venezolanos o internacionales para el diseño tanto del proceso como de los equipos involucrados. Adicional, se investigó criterios de diseño para los equipos y se tomaron en cuenta también los criterios de producción establecidos por la empresa PGM en relación a los tiempos de operación y requerimientos de producción. Una vez, compilada toda esta información, fue debidamente tabulada, separando normas y criterios de diseño de equipos y del proceso para facilitar la apreciación de la información.

### **Descripción del proceso de producción de dodecibenceno**

Para la correcta descripción del proceso, se realizó una exhaustiva investigación que permitiera recabar información relacionada a las condiciones de operación proceso y los equipos involucrados, pudiéndose así plantear las reacciones de síntesis de productos y subproductos que se generan en el proceso, a partir de eso, se estableció que el proceso debía ser separado en unidades para facilitar la conceptualización del mismo e identificar los bloques principales de cada unidad.

Las unidades que se plantearon para las unidades del proceso son generalmente cinco. Pero, para esta investigación se agregó una sexta unidad, para permitir maximizar el rendimiento del proceso, y, se establecieron dado a la revisión documental que presenta los procesos reconocidos internacionalmente, además se identifican los equipos principales requeridos para el proceso.

En este punto, se calculó una estimación de la materia prima, kerosene, requerida para el proceso en la unidad 1 de acuerdo a lo establecido por León [2] donde establece que la composición del kerosene contiene un 21 % en peso de parafinas, por lo que, según esto, se identificó una estimación de materia prima para el requerimiento mínimo de producción diario de la planta.

En esta fase, se realizó la simulación base del proceso, en donde se pudo obtener la adecuada conceptualización, atendiendo a las operaciones unitarias involucradas en cada unidad y así describir el proceso detallando las condiciones de operación, reacciones y porcentajes de conversión para cada una de ellas.

### **Dimensionamiento de los equipos de la línea de producción**

Una vez, que se realizó la simulación base, se atendieron los detalles de la simulación para obtenerse unos resultados concretos referentes a los requerimientos de materia prima, los cuales variaron dado que, al realizarse las recirculaciones de componentes al proceso, se realizaron iteraciones en el simulador para así obtener resultados adecuados en los requerimientos de producción; esto fue realizado de dicha manera debido a las dificultades que presentan al utilizar el simulador *Aspen Plus* para establecer corrientes de recirculación. Una vez, se atendieron a detalle cada aspecto de la simulación, se obtienen los resultados finales en donde se determinaron las corrientes de materias primas, productos, equipos y condiciones del proceso, por lo que se procede al dimensionamiento de los equipos del proceso.

Para el dimensionamiento de equipos, se obtienen del simulador los datos operativos de los mismos, presentándose tabulados, los cuales permitirían estimar las dimensiones de los equipos mediante el diseño de los mismos. En relación a las bombas y turbinas, el dimensionamiento de estos se realiza considerando la información obtenida por los catálogos consultados de la empresa Kawamoto [10, 11] para bombas centrífugas y turbinas, por lo que fueron seleccionadas bombas que cumplieran con los requerimientos operativos de los bloques simulados y de estas fueron presentadas las dimensiones que se dan a conocer en el catálogo.

Para los intercambiadores de calor se extrae de la simulación los datos relacionados a las temperaturas de entrada y salida de las corrientes frías y calientes, los flujos máscicos y todos los datos que son necesarios para el diseño de estos equipos en el programa *Aspen Exchanger Desing and Rating*, obteniéndose la datasheet de cada equipo con lo cual se pudieron dimensionar los intercambiadores de calor.

En relación a las dimensiones de las columnas de destilación, esto se realizó considerando el número de etapas y el volumen de materiales a manejar por el equipo, lográndose así estimar las dimensiones de diámetro y altura. Para los reactores fueron obtenidas sus dimensiones de la misma manera, asumiendo el volumen del equipo en un tiempo de una (1) hora.

Todas las tuberías del proceso se dimensionaron considerando el diámetro nominal que deberían tener de acuerdo al flujo que maneja cada corriente, estableciéndose el Schedule, material y la longitud, siendo esto último conocido por las longitudes físicas que tendrían las tuberías en la planta.

Para todos los equipos y tuberías se estableció como material de construcción acero inoxidable 304.

### **Determinación de la ubicación física de los equipos de la línea de producción**

Con todas las dimensiones de equipos y tuberías establecidas, se procedió a realizar la diagramación de la línea de producción en planos de ingeniería, obteniéndose el layout de la planta con la ubicación de los equipos y el orden lógico del proceso en un contexto de espacio físico. Para ello se establece una distribución de espacios tomando en cuenta únicamente la distribución de las unidades del proceso, además de sitios de interés como las áreas de inspección, mantenimiento y disposición de tanques de almacenamiento. Se determina un área rectangular y se establece una distribución en forma de “C” para la ubicación de las unidades de tal manera que puedan conformar un proceso de orden lógico y fluido.

Finalmente se realizó el layout de la planta, haciendo uso del programa Autocad, con diseño de plano de ingeniería y correcta identificación de los equipos y dimensiones.

### **Estudio económico del proyecto de construcción de la línea de producción**

Como parte final, se realizó un estudio económico de Tipo V al proyecto para evaluar su factibilidad, donde se calcularon aspectos económicos referentes a costos de equipos que integran la inversión de capital; costos operativos, donde se incluyen los costos de mano de obra, materias primas, servicios eléctricos y de agua, además de costos por mantenimiento. Adicional, se estimaron los ingresos anuales por ventas de productos y subproducto, para así obtenerse una estimación de ganancias anuales que permitieron calcular el tiempo de retorno de capital de inversión. Todos estos cálculos se realizan considerando ecuaciones y correlaciones establecidas por los autores Turton *et al.*, [12] y Couper *et al.*, [13].

## **Resultados y Discusión**

### **Bases y criterios de diseño para una línea de producción de dodecibenceno lineal**

A fin de cumplir con el desarrollo de la ingeniería conceptual para la producción de dodecibenceno lineal se revisaron las normativas legales venezolanas y estadounidense que serían aplicados para la conceptualización del proceso y diseño de equipos. Por lo que para la conceptualización de plantas de procesos químicos se presentan las normas COVENIN 1074-81 [14], COVENIN 3294-97 [15] y ANSI 5.1 [16] (Tabla 1).

**Tabla 1. Normas para la conceptualización de la línea de producción de dodecilbenceno lineal**

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

Las normativas de la Tabla 1, enmarcan los aspectos generales con respecto a la conceptualización del proceso, donde la norma ANSI 5.1 [16] indica cómo deberían identificarse los instrumentos, equipos o dispositivos en planos y documentos, la norma COVENIN 1074-81 [14] se refiere a la nomenclatura nominal de las tuberías de la planta aplicada en el marco de normativas venezolanas y finalmente la norma COVENIN 3294-97 [15] establece una delimitación en los requerimientos de información para el desarrollo de la conceptualización de la línea de producción y cómo debería de ejecutarse las actividades relacionadas a ello.

En relación a las normativas para el diseño de equipos, estas se enfocan en específico para los intercambiadores de calor y bombas, para los cuales fueron revisadas las normas ASME [17], ISO [18] y TEMA [19] (Tabla 2).

**Tabla 2. Normas para el diseño y conceptualización de los equipos involucrados en el proceso**

Norma	Año	Propósito
ASME BPVC -VIII -1	2021	Requisitos aplicables al diseño, fabricación, inspección, prueba y certificación de recipientes que operan a presiones mayores de 15 psig
ISO 5199	2022	Normativa para el correcto diseño de bombas centrífugas usadas en procesos químicos
TEMA 7ma edición	1988	Fabricación y diseño de intercambiadores de calor de tipo tubular

En la Tabla 2, se presentó las normas de diseño para los equipos de intercambio de calor de tipo tubo y carcasa y las bombas centrífugas, estas normas son de carácter internacional con validez en el territorio venezolano. Para los intercambiadores de calor se establecieron las normas ASME BPCV-VIII-1 [17] donde se establecen los requisitos de diseño para equipos que operan a presiones mayores a 15 psig, y la norma TEMA de 7<sup>ma</sup> edición [19] relacionada a la fabricación y diseño de intercambiadores de calor de tipo tubular. Para las bombas es aplicable la selección de la normativa ISO 5199[18] referente al correcto diseño de bombas centrífugas para procesos químicos.

Los criterios de producción, mayormente establecidos por la planta, y los criterios de diseño de la planta, estos se presentan listados:

- La capacidad mínima de producción es de 11,35 toneladas al día.
- La línea de producción tendrá un ciclo de trabajo de 10 horas al día, 5 días a la semana.
- Los subproductos generados en el proceso se almacenarán y serán conservados por la empresa.
- La concentración del producto final no debe ser menor al 98 %.
- Se asume un estado estacionario para todo el proceso.
- Los equipos deben tener un espaciamiento mínimo de 0,6 m, en forma de pasillos.
- Los intercambiadores de calor deben tener un distanciamiento mínimo de 7,5 m de otros equipos.

A partir de esto, es posible marcar como referencia que se espera obtener de la conceptualización del proceso. Además, se establecen criterios generales de diseño para equipos que no cuentan con normativas o criterios de diseño nacionales o internacionales los cuales se presentan en la Tabla 3.

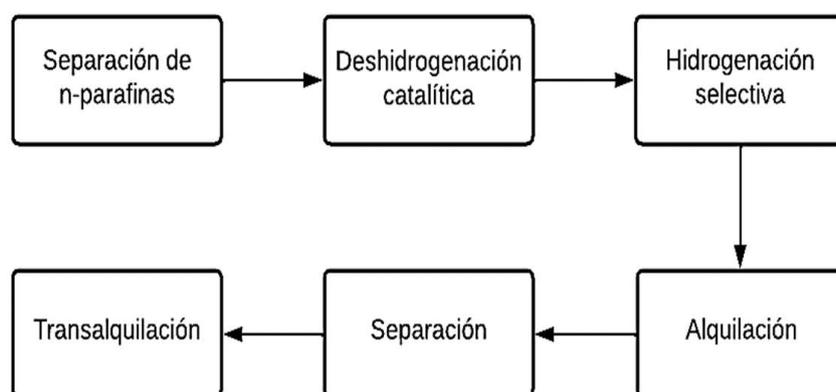
**Tabla 3. Criterios de diseño para los equipos del proceso**

Equipo	Criterio
Reactor	<p>Se mantiene una presión relativamente constante a través de todo el reactor. No existe difusión del gas en el líquido. Las reacciones están sujetas a parámetros de conversión.</p> <p>Las reacciones ocurren en la interfase gas-líquido, gas-gas o líquido-líquido.</p> <p>Las corrientes de alimentación deben estar debidamente acondicionadas antes de la entrada al reactor.</p> <p>No se requiere del uso de agua de enfriamiento</p>
Columnas de destilación	<p>La columna de separación de H<sub>2</sub> se diseña como columna <i>strippers</i> con la alimentación en el rehervidor.</p> <p>Se considera el diseño de condensadores totales y rehervidores parciales</p>
Adsorbedor	<p>El proceso se da en fase líquida.</p> <p>La operación se realiza a contracorriente. Se utiliza tamiz molecular de zeolita 5 Å.</p>

En la Tabla 3, se destacó los criterios establecidos para los reactores, los cuales son equipos fundamentales para el proceso por lo cual se establecen más criterios que permitan el correcto diseño de estos. También se presentan los criterios para las columnas, donde se especifica el diseño de columna *stripper* para la separación de hidrógeno, y para el adsorbedor se establece que el proceso es a contracorriente en fase líquida con agente adsorbente zeolita 5 Å.

### Descripción del proceso de producción de dodecilbenceno lineal

Para la descripción del proceso productivo se toma en cuenta que el contenido parafínico en la materia prima, kerosene, es del 21 % en peso de su composición [2]. El proceso productivo para la síntesis de dodecilbenceno lineal se esquematiza dividiendo el proceso en seis unidades, para facilitar la conceptualización del mismo.



**Figura 1. Diagrama de bloques simplificado de las unidades del proceso**

En la Figura 1 se presenta el diagrama general de bloques del proceso donde se identifican las seis unidades del proceso que llevan a la síntesis del dodecilbenceno lineal. Donde en la prima unidad se lleva a cabo la separación de n-parafinas ( $C_{10}$ - $C_{13}$ ) del kerosene mediante un proceso de adsorción en lecho móvil con el uso de zeolita 5 Å, cuyo agente adsorbente presenta alta selectividad para los hidrocarburos parafínicos que se desean adsorber. Esto se lleva a cabo en una columna de adsorción/desorción en donde se pone en contacto el kerosene con el lecho adsorbente, a condiciones de operación de 174 °C y 20.59 bar. Para la etapa de desorción se produce la recuperación de las n-parafinas utilizando como agente desorbente n-pentano mezclado con iso-octano en proporciones de 60/40 %, para finalmente acondicionar la corriente de n-parafinas obtenidas y enviarse a la unidad 2.

En la segunda unidad, denominada deshidrogenación catalítica, se convierten las n-parafinas a n-olefinas. Para esto se mezclan las corrientes de n-parafinas proveniente de la unidad 1 y de la unidad 5 (reciclo), para posteriormente acondicionarse e introducirse al reactor donde se lleva a cabo la reacción de deshidrogenación a 450 °C y 2.6 bar en presencia de catalizador de paladio soportado en zeolitas. Aquí las n-parafinas  $C_{10}$ - $C_{13}$  son transformadas a mono-olefinas y di-olefinas, obteniéndose hidrógeno como subproducto, con una conversión total del 12 % de las parafinas. Los efluentes del reactor son acondicionados para reducir su temperatura y poderse enviar a la unidad 3.

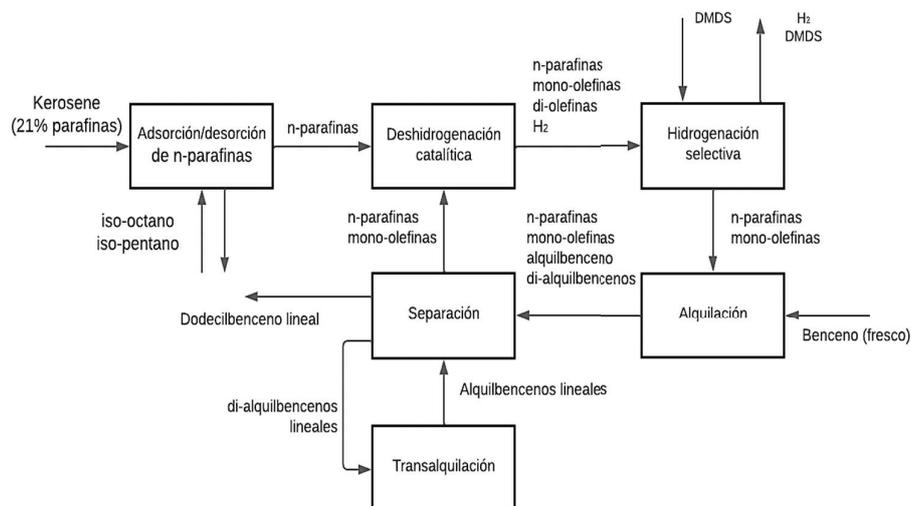
La tercera unidad es la de hidrogenación selectiva, donde se hidrogenan las di-olefinas a mono-olefinas, logrando maximizar el rendimiento de la reacción. Para esto es requerido adicionar al reactor el compuesto dimetil disulfuro (DMDS) que se encarga de inhibir la hidrogenación de las mono-olefinas a n-parafinas nuevamente. En esta operación se obtiene una conversión del 100% a 175 °C y 2 bar. Los efluentes del reactor son enviados a la columna stripper para separar el hidrógeno y DMDS del proceso.

A la tercera unidad se alimenta la corriente de fondo de la columna stripper conformada mayormente por n-parafinas y mono-olefinas, esta unidad se denomina alquilación y, dicho sea el caso, se lleva a cabo la reacción de alquilación, la cual es la principal reacción de este proceso. A esta unidad se alimenta también una corriente de benceno fresco que se acondiciona, igual que la corriente con n-parafinas y mono-olefinas, para llevarla a las condiciones de operación del reactor. Esta reacción se desarrolla en fase líquida a 58 °C y 4 bar, dando lugar a la conversión del 90 % de las mono-olefinas en alquilbencenos lineales y di-alquilbencenos lineales de cadena  $C_{10}$ - $C_{13}$  en lecho catalítico sólido ZDA-30 lo cual incrementa la economía del proceso y minimiza los factores corrosivos y contaminantes que implicaría el uso de catalizador homogéneo de ácido fluorhídrico.

La corriente de productos efluente del reactor de alquilación es alimentada a la unidad 5 donde se llevan a cabo las operaciones unitarias de separación de los compuestos del proceso. Esta unidad consta de columnas de destilación en donde se realiza la recuperación de benceno (C-502), recuperación de n-parafinas (C-503), separación de los di-alquilbencenos (C-504) para enviarse a la unidad de transalquilación, y finalmente la separación de los alquilbencenos (C-505 y C-506) obteniéndose tridecilbenceno por el fondo de la C-505, dodecilbenceno lineal por el fondo de la C-506 y por el tope de la misma columna se obtienen los alquilbencenos más ligeros.

En la unidad de transalquilación, los di-alquilbencenos formados en la reacción de alquilación se transforman a alquilbencenos lineales haciéndose reaccionar con benceno en exceso a 35 bar y 200 °C. Para acondicionar las corrientes se hace uso de intercambiadores de bombas e intercambiadores de calor que se encargan de elevar la temperatura y presión de las corrientes. A la salida del reactor, la corriente se hace pasar por una turbina para disminuir su presión y así ingresarse a la columna de destilación C-605, donde se obtiene la recuperación del exceso de benceno que se retroalimenta al proceso y los alquilbenceno por el tope de la columna que son enviados a la unidad 5 para la separación de productos.

Se presenta en la Figura 2 el diagrama de bloques del proceso completo donde se puede observar las corrientes de retroalimentación entre las unidades del proceso, las corrientes de alimentaciones y las de productos o subproductos.



**Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de producción de dodecilbenceno lineal**

Se presentó, en la Tabla 4, las corrientes de alimentación principales que ingresan al proceso desde los tanques de almacenamiento, en donde es posible distinguir el requerimiento de kerosene que se estima en 142,857 kmol/h de este compuesto. Debido a las condiciones medioambientales en donde se encontraría localizada la planta, las corrientes ingresan a una temperatura de 28°C y presión atmosférica.

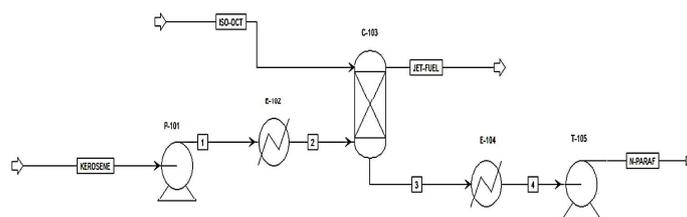
**Tabla 4. Corrientes de alimentación al proceso**

Compuesto	Flujo molar (kmol/h)	Temperatura (°C)	Presión (bar)
Kerosene (C <sub>10</sub> -C <sub>13</sub> )	142,857	28	1,01
Benceno	20,975	28	1,01
Dimetil disulfuro	1,08	28	1,01
Iso-octano/n-pentano	47,62	28	1,01

### Dimensionamiento de los equipos y tuberías de la línea de producción de dodecilbenceno lineal

En el desarrollo de este apartado se realizó la simulación del proceso, obteniéndose los resultados finales para esta, logrando identificar las corrientes que se involucran en el proceso, así como su composición porcentual y las condiciones de las mismas; además se identifican la totalidad de equipos que se requieren para llevar a cabo el proceso y se describen las vicisitudes encontradas al momento de realizar la simulación.

Como se mencionó, el proceso fue dividido en seis etapas, que permiten la correcta conceptualización del proceso, se destacó, que la unidad 1 de separación de n-parafinas no pudo ser simulada debido a que no se cuenta con la información necesaria sobre la especificación de la composición del kerosene que permitan realizar la simulación, debido a esto, se planteó de manera teórica, en donde se conoce que se requiere del uso de equipos como: una bomba, dos intercambiadores de calor, una torre de adsorción y desorción, además del uso de una turbina. Debido a que no fue simulada esta sección, el DFP de la unidad se presentó en la Figura 3, de manera separada al DFP obtenido mediante la simulación del resto del proceso.



**Figura 3. Diagrama de flujos de procesos para la unidad 1, separación de n-parafinas**

Para la unidad de deshidrogenación catalítica se realiza la simulación de este bloque sin dificultades, obteniéndose que se alimenta a la unidad 30 kmol/h de n-parafinas que deberían ser provenientes de la unidad 1 y se mezclan con la corriente de recuperación de n-parafinas cuyo flujo es de 82,27 kmol/h. En la salida del reactor en esta unidad, donde se consigue la formación de mono-olefinas, di-olefinas e hidrógeno gaseoso, se obtiene una corriente con un flujo de 127,08 kmol/h de compuestos donde se ha convertido el 12 % de las n-parafinas que ingresaron. En esta unidad se requiere de tres intercambiadores de calor (dos de ellos operando en paralelo), un horno y un reactor.

En la unidad de hidrogenación selectiva, se requiere del uso de una bomba, un intercambiador de calor, un reactor y una columna de destilación para llevar a cabo las operaciones implicadas en esta unidad. En el reactor R-303 se lleva a cabo la reacción de hidrogenación selectiva en presencia de DMDS como inhibidor de reacción de las mono-olefinas. En la columna de destilación C-304 se lleva a cabo la separación del hidrógeno, en este paso acaecen problemas para lograr la correcta separación. Dichos problemas se derivan de la dificultad de separar el hidrógeno de los demás componentes; esto deriva a que en el proceso de separación se extraiga además la mayoría del DMDS por el tope de la columna junto con el hidrógeno durante la simulación. Para esto se establece que debe ser enviada la corriente a un proceso especial de recuperación de estos compuestos donde se puedan separar y almacenar o, en el caso del DMDS, recircular al proceso.

Durante la simulación de la unidad de alquilación se describe el uso de dos bombas, tres intercambiadores de calor (dos de ellos operando en serie) y un reactor. Se alimenta una corriente de benceno fresco a esta unidad para llevar a cabo la reacción de alquilación en el reactor R-405. En esta unidad se destaca la conversión de las mono-olefinas en LAB y di-alquilbencenos lineales bajo las especificaciones establecidas en la descripción del proceso. La simulación de esta unidad se lleva a cabo sin inconveniente alguno.

La quinta unidad del proceso, donde se llevan a cabo las operaciones unitarias de separación, requiere de un intercambiador de calor y cinco columnas de destilación para lograr el acometido. Durante la simulación de la columna C-502 donde se da la separación y recuperación de benceno se presentan complejas dificultades para separar este compuesto y presenta elevados porcentajes de compuestos no deseados, por lo que se establece que debería ser enviada a un proceso especial en donde se trate la recuperación del benceno y pueda recircularse al proceso. En la C-503 se recuperan las n-parafinas, logrando obtener un elevado porcentaje de recuperación, lo cual hace que la corriente pueda ser recirculada sin inconvenientes. En la C-504 se separan los LAB de los di-alquilbencenos (estos últimos enviados a la unidad 6) y posteriormente la corriente de LAB es enviada a las columnas C-505 y C-506 de donde se obtiene la separación de dodecilbenceno lineal con una concentración del 98.69 % y un flujo molar de 6,715 kmol/h, para una producción de 1655,698 kg/h.

Finalmente, en la unidad de transalquilación se lista un total de cuatro intercambiadores de calor, un reactor, tres bombas (dos de ellas operando en paralelo), una columna de destilación y una turbina. En el reactor de transalquilación se convierten los di-alquilbencenos en LAB a elevadas presiones y temperaturas en presencia de exceso de benceno, para después darse la separación de los compuestos con un elevado porcentaje de recuperación del benceno (99.99 %); por lo cual el benceno obtenido por el tope se recircula al proceso y los componentes pesados de alquilbencenos se recuperan por el fondo y se envían a las columnas en la unidad 5.

La totalidad de los equipos requeridos para el proceso suman una cantidad de 38 equipos, los cuales se listan en la Tabla 5.

**Tabla 5. Listado de equipos del proceso**

<b>Equipo</b>	<b>Identificador</b>	<b>Cantidad</b>
Bombas	P-101	8
	P-301	
	P-401	
	P-404	
	P-602 A/B	
	P-607	
	P-609	
Columna de adsorción/desorción	C-103	1
Columnas de separación	C-304	7
	C-502	
	C-503	
	C-504	
	C-505	
	C-506	
	C-605	
Horno	H-202	1
Intercambiadores de calor	E-102	15
	E-104	
	E-301	
	E-201	
	E-204 A/B	
	E-402	
	E-403 A/B	
	E-501	
	E-601 A/B	
	E-606	
	E-608	
E-610		
Reactores	R-203	4
	R-303	
	R-405	
	R-603	
Turbina	T-105	2
	T-604	

Para, el dimensionamiento de los equipos se recolectarán los datos operativos de los equipos que permitan el diseño y, en el caso de las bombas y turbinas, la selección de estos. Para las bombas y turbinas se requiere de conocer el flujo volumétrico que manejan los equipos, las presiones, eficiencia y la energía para así, por medio de la selección de bombas y turbinas del catálogo de la empresa Kawamoto [10, 11] que cumplan los requerimientos, se realiza el dimensionamiento de estos equipos. Presentándose sus dimensiones en la Tabla 6.

**Tabla 6. Dimensiones y materiales de las bombas**

Identificador	Material	Diámetro de entrada (mm)	Diámetro de salida (mm)	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Alto (mm)
P-301	304 SS	40	32	260	414	275
P-401	304 SS	40	32	260	414	275
P-404	304 SS	40	32	260	414	263
P-602 <sup>a</sup>	304 SS	40	32	260	414	275
P-602B	304 SS	40	32	260	414	275
P-608	304 SS	40	32	260	414	275
P-610	304 SS	50	40	260	457	287
T-604	304 SS	40	40	260	420	268

Los intercambiadores de calor se diseñaron con el programa *Aspen Exchanger Desing and Rating*, para lo cual se requieren los datos de temperatura y flujo másico de las corrientes y las caídas de presión en el equipo. Con esta información, se realizó, el diseño de cada intercambiador, obteniéndose las *datasheet* de lo mismo, y, así, también, se permitió conocer sus dimensiones.

**Tabla 7. Dimensiones y materiales de los intercambiadores de calor**

Identificador	Material	Número de tubos	Número de carcasas	Configuración TEMA	Longitud (m)	Diámetro externo (m)	Área efectiva (m <sup>2</sup> )
E-201	304 SS	219	1	BEM	3,657	0,438	46,6
E-204 <sup>a</sup>	304 SS	194	1	BEM	2,438	0,406	27,4
E-204B	304 SS	194	1	BEM	2,438	0,406	27,4
E-302	304 SS	18	1	BES	1,828	0,168	1,8
E-402	304 SS	282	1	BES	1,219	0,508	17
E-403A	304 SS	112	1	BEM	3,658	0,324	24
E-403B	304 SS	166	1	BEM	4,267	0,406	41,6
E-501	304 SS	100	1	BES	4,878	0,356	27,9
E-601A	304 SS	30	1	BEM	1,219	0,219	2,1
E-601B	304 SS	30	1	BEM	1,219	0,219	2,1
E-606	304 SS	26	1	BEM	1,219	0,168	1,8
E-608	304 SS	18	1	BES	1,829	0,168	1,8
E-610	304 SS	18	1	BES	1,219	0,168	1,1

El dimensionamiento de las columnas de destilación (Tabla 8) se realizó conociendo la cantidad de etapas de cada columna y estimando el volumen a manejar de acuerdo a los flujos, con lo cual se obtienen los diámetros y alturas de los equipos. De manera similar fueron dimensionados los reactores, asumiendo un tiempo de 1 hora para el cálculo del volumen y posterior obtención de los diámetros y alturas (Tabla 9).

**Tabla 8. Dimensiones y tuberías de las columnas de destilación**

Identificador	Material	Diámetro (m)	Altura (m)
C-304	304 SS	5,3	16,26
C-502	304 SS	2,2	6,63
C-503	304 SS	2,35	7,15
C-504	304 SS	1,32	4,08
C-505	304 SS	4,06	12,2
C-506	304 SS	4,23	12,69
C-605	304 SS	0,9	2,75

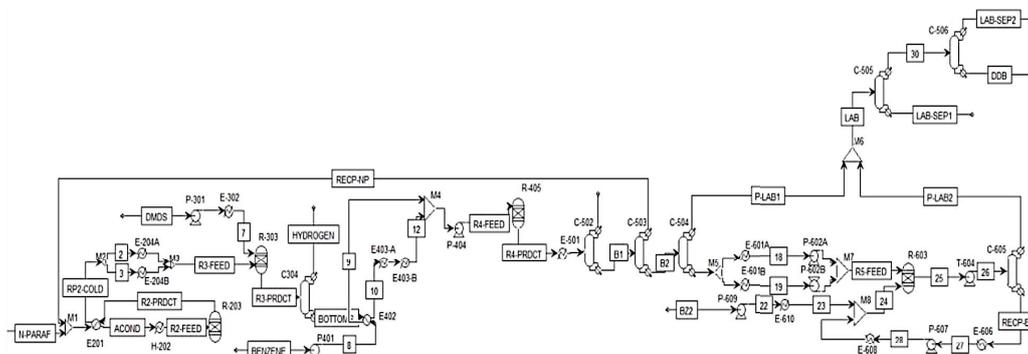
**Tabla 9. Dimensiones y materiales de las columnas de destilación**

Identificador	Material	Diámetro (m)	Altura (m)
R-203	304 SS	12	20,5
R-303	304 SS	7	10,5
R-405	304 SS	2,4	5,42
R-603	304 SS	1,1	1,85

En el dimensionamiento de las tuberías se obtienen los datos de diámetro nominal (mm), nominal pipe size (in), la longitud (m) y el Schedule para cada una de las corrientes del proceso, siendo dimensionadas 56 tuberías donde se descartan diámetros nominales que van desde 15 mm hasta 350 mm, así como longitudes que van desde 0.2 m hasta 141.35 m. Es destacable, además, que todas las tuberías fueron diseñadas bajo parámetros de diseño en función de la fase que manejan, tomando en cuenta el flujo máximo permitido por las mismas, además, se tomó el mismo material (SS 304) y Schedule (40) de confección.

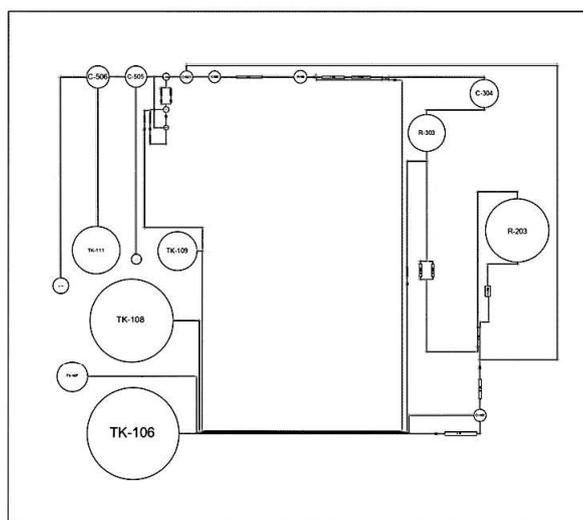
### Determinación de la ubicación física de los equipos para la línea de producción

Ya realizados los procesos pertinentes al diseño de la línea de producción, y expuestos anteriormente los diagramas de bloques, los cuales sirven para visualizar de manera general el proceso, además de mostrar el orden lógico del mismo, se procede ahora con el siguiente paso respecto a la conceptualización, mostrando primeramente el DFP completo del proceso.

**Figura 4. Diagrama de flujo de procesos para la producción de dodecilbenceno lineal**

La Figura 4, se mostró, el diagrama de flujo de procesos descrito en los apartados anteriores y obtenido mediante la simulación, este se encarga de realizar un resumen del proceso de manera gráfica y detallada, donde, a su vez, se genera a fines prácticos la orientación de cada corriente, en conjunto con los equipos empleados en el proceso.

Una vez, obtenido el DFP del proceso, se procedió con la distribución de espacios en el área disponible para la instalación de la línea de producción. Dicha distribución, se realizó identificando las áreas de inspección y mantenimiento, además de la disposición de los tanques de almacenamiento, realizándose con una distribución en forma de "C". Se tomó en cuenta, la norma ANSI 31, un área reservada para la caminería principal de la línea de producción destinada a la inspección, operación y mantenimiento. El *layout* de la planta se realizó con el uso de la herramienta Autocad y se generó la Figura 5.



**Figura 5. Layout de la línea de producción de dodecilbenceno lineal**

La línea de producción cuenta con una expansión de 110.128 m en su eje horizontal y 97.595 m en su eje vertical, lo cual resulta en un área rectangular de 10747.9 m<sup>2</sup>, cabe destacar que, dicha área fue calculada teniendo en cuenta los límites de batería ajustados al proceso, que fueron de 10 m de exceso por cada superficie externa apreciable en el *layout*. Esto se debe, además, a las consideraciones tomadas al momento de establecer el espaciamiento entre equipos y tuberías, así como las longitudes necesarias para cada una de las tuberías de proceso.

### **Estudio económico del proyecto de construcción para la línea de producción de dodecilbenceno lineal**

Para la realización del estudio económico se toma en cuenta que se llevará a cabo un estudio de Tipo V, donde las estimaciones realizadas se calculan mediante ecuaciones presentadas por Couper *et al.*, [13] para el cálculo de costos de equipos. Turton *et al.*, [12] presenta ecuaciones que sirven para realizar los cálculos referidos a la estimación de costos operativos y cálculo del tiempo de recuperación de la inversión (TRI).

En los costos operativos se incluyen los costos por mano de obra que sería lo referente a los operadores de la planta, la estimación del número de operadores se realiza mediante ecuaciones que plantean los autores Turton *et al.*, [12] obteniéndose un total de 6 operadores con un pago de 200 \$ al mes, requiriéndose 14400 \$ al año para cubrir estos costos.

También, se representan los costos por el servicio eléctrico anual para la operación de las bombas, obteniéndose un total de 38,65 \$/año; en el caso del servicio de agua, este viene dado por los requerimientos de agua de servicio para la operación de los intercambiadores de calor, siendo un total de 4014.15 \$/año. Con respecto a los costos por materia prima esto incluye los requerimientos de kerosene, DMDS, benceno, iso-octano/n-pentano y catalizadores, donde la estimación de costos de estos últimos se plantea según lo expuesto por Moitinho [3] y León [2]. Todos estos costos suman una estimación total de 36.988 millones de dólares al año.

Para calcular la estimación de ventas, correspondiente a la parte de ingresos, se hace énfasis en que la producción de dodecibenceno lineal se realiza fundamentalmente para el abastecimiento de los requerimientos de materia prima de la empresa, siendo este la materia prima para la elaboración de LABSA y posterior fabricación de detergentes. Sin embargo, a fines de conocer una estimación del monto total para el valor del producto de esta línea de producción se presentan los cálculos como una estimación de ventas. Un destacable y particular ingreso que se produce de este proceso productivo, es con la venta del subproducto kerosene sin contenido parafínico o combustible para aviones de tipo kerosene. Este es uno de los subproductos de mayor volumen generados en el proceso, por lo que presentan la oportunidad de la venta del mismo. Dicha estimación de ingresos genera un total de 52,296 millones de dólares al año, de los cuales 12,398 millones corresponden al dodecibenceno lineal y 39.898 millones a la venta del jet fuel.

El cálculo de las ganancias se estima tomando en cuenta los costos operativos anuales y los ingresos anuales que se generarían en este proyecto, obteniendo así la ganancia total anual. Esta estimación de ganancia permite conocer un tiempo de retorno de capital estimado, que brinde la información necesaria para considerar la factibilidad del proyecto. Toda la información antes mencionada se presenta en la Tabla 10.

**Tabla 10. Estudio económico del proyecto**

<b>Inversión de capital</b> <b>(\$)</b>	<b>Costos operativos anuales</b> <b>(\$/año)</b>	<b>Ingresos</b> <b>(\$/año)</b>	<b>Ganancias</b> <b>(\$/año)</b>	<b>Tiempo de retorno del capital</b> <b>(años)</b>
15643685,45	36987685,93	52296231,27	15308545,35	1,02

Es evidente el alto rendimiento del proyecto al aprovechar el producto y subproducto que se generan en el proceso, dando lugar a una estimación de recuperación de capital en 1,02 años o 12,24 meses. Esto es sin adicionar los costos de equipos y operativos para la unidad 1 del proceso, que a sabiendas que serán elevados, aun así, se obtendría un prometedor rendimiento económico. Se hace énfasis en el hecho de que este estudio económico brinda estimaciones de Tipo V asumiendo la venta y consumo total del producto dodecibenceno lineal y subproducto gasolina de aviación.

### **Conclusiones**

Las normativas de diseño de equipos y procesos seleccionadas, junto con los criterios de producción y diseño de equipos, resultaron ser suficientes para cumplir a cabalidad el diseño de la ingeniería conceptual para la línea de producción de dodecibenceno lineal, tomando en cuenta los límites bibliográficos existentes para la investigación.

La conceptualización del proceso se realizó subdividiendo el proceso en 5 unidades, para las cuales se requiere un total de 38 equipos, conformados por 8 bombas, 7 columnas de destilación, 1 columna de adsorción y desorción, 1 horno, 15 intercambiadores de calor, 4 reactores y 2 turbinas. Además, se toma en cuenta en la conceptualización del proceso las corrientes de retroalimentaciones y se describen los catalizadores y materias primas a utilizarse.

La simulación del proceso, efectuada con el programa Aspen Plus, permitió realizar el diseño de la línea de producción con una capacidad máxima de producción de 16,56 toneladas de dodecibenceno lineal al día y con una pureza mayor al 98 %, cumpliendo con los requerimientos establecidos en los criterios del proceso.

Fueron dimensionados los equipos involucrados en el proceso, exceptuando aquellos pertenecientes a la primera unidad, y para ello se obtuvieron datos operativos y de diseño desde la simulación realizada, con lo cual fue posible la selección de los equipos mediante catálogos, el diseño mediante el programa *Aspen Exchanger Design and Rating* y el diseño manual de algunos de los equipos.

El layout de la línea de producción se logró diseñar con el programa Autocad, atendiendo a una disposición en forma de “C” y tomando en cuenta los espacios para la inspección, operación y mantenimiento de equipos, asimismo ajustando los límites de baterías de la planta a 10 m, obteniéndose un área rectangular de 10747,9 m<sup>2</sup>.

La estimación económica del proyecto arroja que, para la capacidad productiva de la planta, se estiman ganancias anuales de 15,31 millones de dólares lo cual permitiría obtener el retorno de la inversión estimada, la cual es de 15,64 millones de dólares, en un período de 12,24 meses.

### Referencias bibliográficas

- [1] Shokri y Karimi (2021). **A Review in Linear Alkylbencene (LAB) Production Processes in the Petrochemical Industry**. Revista: Russian Journal of Applied Chemistry. Doi: 10.1134/S1070427221110094.
- [2] León E. (2017). **Análisis técnico-económico para la producción de alquilbenceno lineal. Trabajo especial de grado**. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad de Sevilla. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11441/64033>
- [3] Moitinho L. (2018). **Producción de alquilbencenos lineales: Análisis económico y del impacto ambiental**. Tesis de Máster. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias. Madrid, España.
- [4] Hurtado J., (2000). **Metodología de la investigación holística**. Tercera Edición. Fundación Sypal, Caracas, Venezuela.
- [5] Arias F. (2012). **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**. 6a Ed. Caracas, República Bolivariana de Venezuela, Editorial Episteme C.A.
- [6] Baptista P., Fernández C., Hernández R., (2014). **Metodología de la investigación**. Sexta Edición. McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. México.
- [7] Sabino C., (1992). **El proceso de investigación**. Editorial Panapo, Caracas, Venezuela.
- [8] Ballestrini A. M. (2008). **Cómo se elabora el proyecto de investigación**. BL Consultores Asociados Servicio Editorial. Séptima Edición. Caracas-Venezuela.
- [9] Tamayo, M. (2003). **El Proceso de la Investigación Científica**. Cuarta Edición. Limusa Noriega Editores. Ciudad de México, México. ISBN: 968-18-5872-7.
- [10] Kawamoto. **Centrifugal pump series, catalog**. Recuperado de: [https://www.kawamoto-global.com/web/data/ecatalog\\_u\\_pdf/2.pdf](https://www.kawamoto-global.com/web/data/ecatalog_u_pdf/2.pdf)
- [11] Kawamoto. **Turbine pump series, catalog**. Recuperado de: [https://www.kawamoto-global.com/web/data/ecatalog\\_u\\_pdf/3.pdf](https://www.kawamoto-global.com/web/data/ecatalog_u_pdf/3.pdf)
- [12] Turton, R.; Whiting, J.; Shaeiwitz, D.; y Bailie, W. (2012). **Análisis, síntesis y diseño de procesos químicos** (4th ed.). Prentice Hall.
- [13] Couper, J. R., Penney, W. R., Fair, J. R., & Walas, S. M. (2012). **Costs of individual equipment. Chemical Process Equipment**, 731–741. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-396959-0.00021-5>
- [14] Norma Venezolana COVENIN 1074-81. **Fabricación de conos y anillos de concreto para boca de visita de un Sistema de alcantarillado**. 18 de abril de 1981.

[15] Norma Venezolana COVENIN 3294-1997. **Guía para la preparación de la ingeniería básica de un proyecto industrial.**

[16] Norma ISA/ANSI-S.1 (2009). **Identificación y símbolos de instrumentación.**

[17] ASME BPCV Section VIII-1 (2021). **Rules for construction of pressure vessels.**

[18] Norma ISO 5199 (2022). **Especificaciones técnicas para bombas centrífugas Clase II.**

[19] Norma TEMA (1988). **Fabricación y diseño de intercambiadores de calor de tipo tubular.** Séptima edición.

#### **Nota especial**

Artículo de investigación derivado del Trabajo Especial de Grado, titulado: Ingeniería conceptual para una línea de producción de dodecibenceno lineal para la empresa Procura General de Materiales C.A., 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 presentan 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](mailto: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 (abstract) 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 deben 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.

5.4 El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.

5.5 El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.

5.6 El interlineado se debe realizar a doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.

5.7 Los márgenes deben establecerse en 2.54 cm para todos los lados.

5.8 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.

5.9 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.

5.10 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.

5.11 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.

5.12 Todos los símbolos matemáticos deben estar escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente en la matriz o ecuación.

5.13 Deben enumerarse todas las ecuaciones en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho.

Ejemplo:

$$\alpha = \frac{k_2}{k_1} \tag{5}$$

5.14 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].

5.15 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.

5.16 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>

5.17 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](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000300005&lng=es&tlng=es).

5.18 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).

5.19 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).

5.20 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>

5.21 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).

5.22 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](https://play.google.com/store/apps/details?id=ai.chat.gpt.app&hl=es_VE&gl=US)

5.23 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.

5.24 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 su respectivo correo electrónico 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.

**Revista Tecnocientífica URU**  
**Número 23, 2022**  
**Maracaibo - Venezuela**

**Fondo Editorial de la Universidad Rafael Urdaneta**