



UNIMINUTO
Corporación Universitaria Minuto de Dios
Educación de calidad al alcance de todos

Evaluación de estrategias para reducción de la carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero

**Diego Fernando Millán Gómez
Holmes Antonio Peña Cifuentes**

Corporación universitaria minuto de Dios
Valle del Cauca
Guadalajara de Buga, Colombia
2022

Evaluación de estrategias para reducción de la carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero

**Diego Fernando Millán Gómez
Holmes Antonio Peña Cifuentes**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Agroindustrial

Directora:

M.Sc. Ingeniera Química, Natalia Sofia Vargas Marín

Línea de Investigación:

Procesos Agroindustriales

Grupo de Investigación:

GICIDET

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Valle del Cauca

Buga, Colombia

2022

Dedicatoria

A Dios en primera instancia por darme la sabiduría, a mis abuelos por sus consejos y enseñanzas, a mis padres por su esfuerzo y motivación, a mi hermana por su ayuda incondicional y a mis amigos por su voz de aliento todos los días.

Diego Millán

A Dios como primera instancia, a mis padres, a mis abuelos, a mi esposa e hijos, quienes me motivaron en los momentos que no pensé llegar a alcanzar este logro tan importante para mi vida, aquellos que siempre creyeron y pusieron su voto de esperanza en mí a pesar de los obstáculos.

Holmes Peña

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

Al Consejo Académico de la Corporación Universitaria minuto de Dios. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respecto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Holmar A. Peña Diego Milkin

10/11/2022

Agradecimientos

Agradezco a mi directora de tesis Natalia Sofia Vargas Marín, a mis profesores de todas las materias, compañeros de cada uno de los semestres con las cuales compartí materias y cada una de esas personas que han aportado desde distintos ámbitos para mi formación personal y académica; a la Corporación universitaria UNIMINUTO de Dios por brindarme la facilidad y acceso a cada uno de mis requerimientos para llevar a cabo lo que hoy he logrado.

Diego Millán

Primero agradecer a Dios, segundo al grupo de ingenieros del departamento de elaboración de Providencia Doctor Milton Sánchez Rengifo, Director Heiver Perea Valencia y demás ingenieros del área por permitirme el espacio para culminar mis estudios, a mi madrina María Aydee Rodríguez Noel por apoyarme con sus consejos y experiencia de vida, a mi directora de tesis Natalia Sofia Vargas Marín por el apoyo incondicional, a mi codirector Juan José Rojas por guiarnos, a mis compañeros de curso por el apoyo mutuo, y demás personas que hicieron que este logro fuera posible.

Holmes Peña

Resumen

La agroindustria de la caña es uno de los sectores productivos que más empleos y dividendos genera en la región del Valle del Cauca impactando de manera importante la economía de la región y los indicadores sociales. El azúcar y los demás productos derivados del procesamiento de la caña representan un importante renglón de la economía regional, pero tienen la desventaja de depender en gran medida de los precios del mercado global generando la necesidad de hacer muy eficiente el proceso productivo para que los precios sean competitivos y por ello es crucial identificar cualquier pérdida de material. A la etapa de clarificación, que genera una corriente de cachaza y esta el jugo filtrado, le sigue un proceso de filtración de cachaza en filtros rotatorios al vacío que tiene una marcada influencia sobre las pérdidas indeterminadas de sacarosa que se generan a través del proceso identificándose en la operación de un ingenio del Valle del Cauca que un porcentaje de estas pérdidas se asocia con la contaminación microbiológica de los filtros que conlleva a que una parte de la sacarosa se pierda debido a que se invierte cambiando la naturaleza del compuesto de interés comercial. Este trabajo tiene por objetivo identificar una metodología que permita reducir la carga microbiana y con ello las pérdidas indeterminadas en la fábrica. La metodología planteada es un análisis multicriterio de evaluación de las tecnologías postuladas para esterilizar y que han sido previamente establecidas mediante revisión literaria. El resultado obtenido fue la identificación de la mejor tecnología para reducir la carga microbiana en el proceso de filtración de cachaza en un ingenio azucarero que en este caso corresponde a la esterilización por flujo continuo de agua caliente

Palabras clave: (Proceso analítico jerárquico, carga microbiana, esterilización, industria azucarera, pérdidas indeterminadas).

Abstract

The sugarcane agrobusiness represents one of the productive sectors that generates the most jobs and dividends in the Valle del Cauca region, significantly impacting the region's economy and social indicators. Sugar and other products derived from cane processing represent an important item in the regional economy, but they have the disadvantage of depending heavily on global market prices, generating the need to make the production process highly efficient so that prices are competitive and therefore it is crucial to identify any loss of material. The clarification stage, which generates the filtered juice and a current of filter cake, is followed by a process of filtering the filter cake in rotary vacuum filters that has a marked influence on the undetermined losses of sucrose that are generated through the process, identified in the operation of a sugar mill in Valle del Cauca that a percentage of these losses is associated with microbiological contamination of the filters, which leads to a part of the sucrose being lost because it is reversed, changing the nature of the compound of commercial interest. The objective of this work is to identify a methodology that allows reducing the microbial load and with it the undetermined losses in the factory. The proposed methodology is a multicriteria analysis of the evaluation of the technologies postulated to sterilize and that have been previously established through literature review. The result obtained was the identification of the best technology to reduce the microbial load in the cachaça filtration process in a sugar mill, which in this case corresponds to continuous hot water flow sterilization.

Keywords: (Analytic Hierarchy Process, microbial load, sterilization, sugar industry).

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras.....	XII
Lista de tablas	XIII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIV
Planteamiento del problema.....	1
Justificación	2
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
1. Capítulo 1.....	5
1.1 Revisión de metodologías de esterilización en la industria	5
2. Metodología	11
2.1 Aplicación del método	13
.....	30
2.2 Análisis de resultados	31
2.3 Especificación de costos	32
3. Conclusión.....	35
4. Recomendaciones.....	37
A. Anexo: Excel matriz de metodología A.....	38
Bibliografía	39
Análisis bibliométrico	40

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Fases metodológicas de desarrollo del proyecto.....	11
Figura 2, Ponderación.....	30

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Escala de comparación de Saaty.....	13
Tabla 2. Evaluación de criterios.....	14
Tabla 3. Descripción de evaluadores.....	14
Tabla 4. Evaluación 1, criterios.....	15
Tabla 5. Evaluación 2, criterios.....	15
Tabla 6, Evaluación 3, criterios.....	16
Tabla 7, evaluación 1, operabilidad de proceso.....	16
Tabla 8, evaluación 2, operabilidad de proceso.....	16
Tabla 9, evaluación 3, operabilidad de proceso.....	17
Tabla 10, evaluación 1, tiempo de tratamiento.	17
Tabla 11, evaluación 2, tiempo de tratamiento.	17
Tabla 12, evaluación 3, tiempo de tratamiento.	18
Tabla 13, evaluación 1, costos.	18
Tabla 14, evaluación 2, costos.	18
Tabla 15, evaluación 1, diseño del proceso.	20
Tabla 16, evaluación 2, diseño de proceso.....	21
Tabla 17, evaluación 3, diseño de proceso.....	22
Tabla 18. Ponderación.	23
Tabla 19. Matriz normalizada y ponderación.	24
Tabla 20. Saaty.	25
Tabla 21. Cálculos del IC.	25
Tabla 22, media geométrica op vs tratamientos.	26
Tabla 23, media geométrica, tratamiento vs tratamientos.....	26
Tabla 24, media geométrica, costo vs tratamientos.	27
Tabla 25, media geométrica, matriz del diseño.....	27
Tabla 30. Matriz de evaluación de subcriterios.....	28
Tabla 31. Resultado AHP.	29
Tabla 32. Prioridad total.	30

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
N	Número de estrategias		
IC	Índice de inconsistencia		
ICA	Índice de inconsistencia aleatorio		
C.C	Consciente de consistencia		

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Λ	Lambda		

Planteamiento del problema

La producción mundial de azúcar en 2021 aportó 170,687 hectáreas cosechadas en el valle geográfico del río Cauca. En las cuales 127,0 hectáreas fueron cosechadas por hectárea, de las cuales se produjeron 13,6 toneladas de azúcar por hectárea. Además, el sector agroindustrial de la caña de azúcar abarca 51 municipios en 6 departamentos situados en Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío y Meta (Asocaña, 2021-2022).

En relación a la aparente importancia que tiene la agroindustria azucarera dentro del marco socioeconómico de Colombia y en especial en el desarrollo del departamento del Valle del Cauca, gracias a la concentración del sector agroindustrial del azúcar en esta región y teniendo como referencia la dinámica internacional en donde el mercado se ve afectado por las fluctuaciones del precio del azúcar, excedentes o déficit de producción mundial, cambios en el comportamiento de la demanda, interés políticos y comerciales de los principales países productores entre otros. Se resaltan las pérdidas indeterminadas que resultan dentro del mismo proceso de la producción de azúcar dentro de las plantas y su adaptación por mitigar esta problemática con la optimización de sistemas de gestión que permitan cuantificar dichas pérdidas y de esta forma poder reducirlas a un nivel aceptable. ¿Cuál es la mejor estrategia para reducir la carga microbiana en el sistema de filtración en el proceso de elaboración de azúcar de un ingenio azucarero del Valle del Cauca?

Justificación

El área de filtración en los ingenios azucareros, hace parte de un proceso vital del proceso de elaboración de azúcar como lo es la clarificación de jugo, en este proceso se busca aprovechar al máximo la separación de las impurezas en el jugo clarificado que se extraen en forma de lodos, con la finalidad de recuperar la sacarosa que se encuentra presente en dichas impurezas y reintegrarla al proceso, sin embargo las características físico-químicas del material generan un ambiente cómodo para la reproducción de ciertos microorganismos que consumen la sacarosa presente en las impurezas, generando inversión de la sacarosa y afectando el rendimiento de la planta (Asocaña, 2021-2022).

La intención de la investigación es proponer una tecnología de esterilización que permita controlar la reproducción de microorganismos, mejorando el sistema de limpieza de los equipos que se utilizan para la filtración de impurezas y mejorar el rendimiento de la sacarosa.

La investigación tiene alta viabilidad, debido a que en dicho proceso la práctica de limpieza en los equipos de filtración siempre ha manejado la misma metodología y no se han obtenido resultados positivos en respuesta de la reproducción microbiana. Y se disponen de los recursos económicos, humanos y fuentes de información necesarios para llevarla a cabo.

El trabajo tiene una utilidad metodológica, ya que podrían realizarse futuras investigaciones que usaran metodologías compatibles, de manera que posibilite el análisis de los datos que se captan en esta investigación.

En el aspecto disciplinario, el estudio pretende contribuir a estudios que se realicen a nivel nacional y en particular en el Valle del Cauca, debido a que por políticas de confidencialidad en ciertos procesos no se encuentra mucha información que permitan implementar soluciones para esta problemática en particular.

Objetivo general

Seleccionar la mejor estrategia de reducción de carga microbiana en un sistema de filtración en el proceso de elaboración de azúcar en un ingenio azucarero del Valle del Cauca.

Objetivos específicos

- Establecer las metodologías de esterilización en la industria que se puedan adaptar al proceso de filtración en un ingenio azucarero.
- Identificar la mejor estrategia para reducir efectivamente la carga microbiana en el sistema de filtración mediante la aplicación del método de evaluación AHP.

1. Capítulo 1

Este trabajo se realizó con la intención de revisar técnicas aplicadas en la agroindustria y registradas en la literatura con el fin de identificar cuáles son aplicables en otros procesos como lo son gaseosas, jugos etc. Así mismo poder evaluarlas y definir cuál es la mejor para la reducción de la carga microbiana en los sistemas de filtración en la elaboración de azúcar.

1.1 Revisión de metodologías de esterilización en la industria

En la revisión literaria se encontraron estas metodologías aplicadas en procesos agroindustriales:

López (2021) realiza la investigación, evaluación y caracterización fisicoquímica del contenido extractable de la fracción lipídica a partir de la cachaza de la producción de Azúcar en dos ingenios, mediante el uso de tres solventes de distinta constante dieléctrica. En este trabajo de graduación se realizó la evaluación del contenido extractable de la fracción lipídica de la cachaza, proveniente de ingenios de la región de Guatemala; también se realizó una caracterización de dicha fracción lipídica a nivel laboratorio por medio de la técnica Soxhlet, utilizando tres Solventes distintos (metanol, acetato de etilo y hexano), los cuales poseen distintas constantes dieléctricas, determinando su rendimiento, además de las propiedades fisicoquímicas entre ellas: densidad, índice de refracción y composición química. Los resultados obtenidos en esta investigación corresponden a la evaluación del rendimiento de extracción efectiva de la fracción lipídica en función del tipo de solvente utilizado a nivel laboratorio, caracterización fisicoquímica del extracto e identificación de los componentes químicos de la cachaza.

Bocanegra y Castellanos (2004) realizan la investigación *evaluación técnica y económica de una alternativa de mejoramiento para el proceso CIP (clean in place – limpieza en el sitio) en el área de filtración de cervecería leona S.A.* El propósito de los sistemas CIP es remover los depósitos de compuestos orgánicos propios del proceso como precipitados de proteína, hidratos de carbono, grasa, minerales, y otros, que son la base nutricional para el crecimiento microbiano y precursores de biocorrosion.

Una planta CIP es diseñada específicamente para cada necesidad pues intervienen variables de capacidad, presión, flujo, entre otros. La cantidad y curso de los programas de limpieza y el grado de automatización y de integración dependerá de las necesidades puntuales de la planta.

Rosales y Vega (2021) en la investigación *seguimiento y tratamiento de las pérdidas de azúcar en el agua de lavado de los sistemas de filtración de cachaza tipo banda*, donde la caracterización de las aguas de lavado de telas de los filtros banda en los ingenios, se determinó que en ellas se pierde en promedio aproximadamente 0.5 kg de sacarosa por tonelada de caña, obteniendo valores desde 0.09 a 1.57 kg/t, esto dependerá de las condiciones del sistema de filtrado en el ingenio. Por esta razón y por cuestiones ambientales se le busca un mejor aprovechamiento. Debido a que sale con un contenido promedio de sólidos insolubles insignificante (en base seca del 0.95 por ciento), se recomienda utilizarse en el mezclador dinámico para diluir el lodo virgen de los propios filtros banda, o reutilizarlo como un flujo en serie para el lavado de varios filtros continuos, y el efluente recolectado (o excedente) para el lavado de las parrillas en calderas. Posteriormente, el agua restante puede usarse para el riego y acondicionamiento de suelos de los mismos campos de caña.

Sierra y Vicaria (2021) en la investigación *Información sobre la optimización de la técnica Clean in Place: limpieza, desinfección y reducción del impacto ambiental utilizando formulaciones a base de ozono*, las industrias química y alimentaria se están centrande en reducir el impacto económico y ambiental de las operaciones de limpieza. Este estudio tiene como objetivo analizar el uso de formulaciones alcalinas ozonizadas para eliminar el almidón adherido a las superficies de acero inoxidable, mejorando la desinfección de biopelículas maduras con *Listeria* y

Pseudomonas, reducir el impacto ambiental de las aguas residuales. Se analizaron tres parámetros clave de limpieza en un sistema de limpieza in situ (CIP) simulado en laboratorio: temperatura (20-60°C), tiempo (20-120 min) y formulaciones de limpieza que contenían ozono y surfactante (sulfonato de alquilbenceno lineal, alquilpoliglucósido, alcohol graso etoxilado, óxido de lauramina). La temperatura, el tiempo y la concentración de ozono más altos mejoraron la eliminación de almidón y la desinfección de las superficies de acero inoxidable, así como el impacto ambiental de la limpieza de las aguas residuales. Por lo tanto, los protocolos CIP basados en ozono podrían brindar nuevas oportunidades para lograr industrias más limpias, ecológicas y seguras al intensificar la limpieza, la desinfección y el tratamiento de aguas residuales en un solo paso, ahorrando costos operativos en comparación con las técnicas CIP convencionales.

Saportas y Obonaga (1995) en la investigación *Proceso de limpieza de tuberías de vapor para calderas*, el proyecto tiene como objetivo la elaboración de un proceso para el lavado de tubos de vapor en calderas. En él se realizaron estudios sobre procesos de limpieza utilizados en la actualidad (específicamente hidroblasting y métodos con químicos desincrustantes) los cuales tienen el mismo fin de desincrustar materiales adheridos a la superficie interior de los tubos, como: óxidos corrosivos, partículas metálicas, etc. Al final se determinó cuál de los métodos resulta ser más conveniente mediante comparación de estudios clasificando su economía y resultados técnicos.

Camargo y Huertas (2017) en la investigación *Implementación de mejora en rendimiento de azúcar mediante la metodología Kaizen en línea 6 Planta Jugos de Gaseosas Lux S.A.S*, el proyecto tiene como objetivo mejorar el rendimiento del azúcar mediante la metodología Kaizen, así la productividad y el costo de elaboración se verá optimizado y se evidenciará un resultado de mejora continua. Un estudio determinó que una de las causas principales es el desperdicio de azúcar en la línea 6, debido a la mezcla de jarabe con residuos de agua que se utiliza cada vez que se limpian las tuberías al realizar un cambio de producto, por lo tanto, determinaron utilizar empujes con aire estéril y no con agua para así evitar la mezcla del producto.

Quenta y Garcia (2010) en la investigación *Diseño de medidas de producción más limpia para la industria láctea Delizia*, como en todas las industrias la industria de productos lácteos genera una gran cantidad de agua que va directamente a los afluentes, por ende, la empresa Delizia en su objetivo se emplea diseñar medidas de producción más limpia, uno de los puntos a mejorar fue mantenimiento correctivo para tuberías y maquinarias, definieron instalar capsulas raspadoras dentro de las tuberías para eliminar el producto que queda atrapado dentro de ellas, con esta práctica de empuje los operarios logran recuperar parte del producto que queda en las tuberías, mediante (“Air-blow system”), así liberan en gran parte la cantidad de producto en tuberías y en el momento del lavado la contaminación del agua del lavado de las tuberías va a reducir en un gran porcentaje.

Cabrera (2014), *Investigación y control de levaduras en una línea de producción de bebidas*, los productos alimenticios como lo son las bebidas, pueden generar microorganismos tales como son los mohos y levaduras por su contenido de azúcares y sus componentes. Para evitar el crecimiento de estos microorganismos se necesitan mejorar instalaciones, la limpieza de tuberías del proceso y contar con equipos que ayuden y faciliten al control de los microorganismos que se produzcan en la planta. Para la mejora en limpieza de tuberías se utilizó agua tratada por ósmosis inversa a una temperatura entre 20 y 30°C con un tiempo de circulación de 5 minutos aproximadamente. Así los productos al circular por la tubería no sufrirían alguna contaminación particular por excesos de producto restantes dentro de las tuberías, por ende, evitando el crecimiento de los microorganismos mencionados anteriormente.

Meza, Símpalo y Esquivel (2017), en la investigación *estandarización de la dosificación de antiincrustantes utilizados en evaporadores de la industria azucarera para reducir tiempos de limpieza mecánica*, los evaporadores en la industria azucarera han generado uno de los problemas que más relevantes para los ingenieros debido a las incrustaciones en el interior de las tuberías de producción especialmente en la evaporación de jugo de caña. Estas incrustaciones ocurren en los orificios de la tubería lo cual evita un buen intercambio de calor entre el vapor y el jugo clarificado para la obtención de la meladura. Para la limpieza utilizaron el antiincrustante de formula acuosa de poliacrilato de sodio el cual resulto

ser el más efectivo para la limpieza de las tuberías, dando mejores resultados tanto como para limpieza de las tuberías y para la reducción de tiempo en horas hombre para la limpieza de la misma.

2. Metodología

Para la presente investigación se utilizan los recursos de la Corporación Universitaria Minuto de Dios como lo es las bases de datos, insumo bibliográfico. Además, se utilizaron recursos de un ingenio azucarero en el Valle del Cauca, que permitió materializar la investigación y llevarla dentro su proceso como plan de mejora.

La metodología utilizada está basada en un conjunto de métodos y técnicas que se aplican sistemáticamente durante un proceso productivo, si bien es cierto no todos los procesos son iguales pero las metodologías aplicadas en procesos similares pueden ser ajustables a un proceso específico.

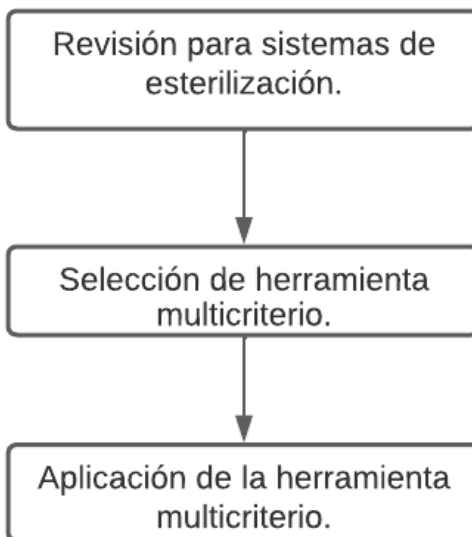


Figura 1. Fases metodológicas de desarrollo del proyecto.

El desarrollo de esta investigación se distribuye en tres fases:

La primera fase consiste en el desarrollo de revisión literaria para la determinación de sistemas de esterilización para líneas de fluidos azucareros.

En la revisión de la bibliografía se encontró un sistema de esterilización por medio de agua caliente, que según autores su aplicación se da mediante un equipo especial de alta presión el cual inyecta agua por dispositivos, estos dispositivos presentan varias formas de dispensar el agua para la limpieza respectiva lo cual permite cortar e impulsar fragmentos de esta. Además, esta metodología representa ventajas en el mantenimiento de las tuberías de vapor de las calderas, disminuyendo tiempos de parada y consiguiendo una limpieza eficiente (Saportas y Obonaga, 1995).

Por otra parte, el método por medio de agentes químicos como lo es el hipoclorito consiste en atacar los microorganismos que este contenga ya que reaccionan químicamente con los compuestos de la formación; disolviendo todos los compuestos, proceso que tiene una duración de dos horas o menos. Para esta etapa se deben realizar análisis con muestras en las cuales se logra identificar la composición y así diagnosticar los químicos necesarios Saportas y Obonaga (1995).

Por último, el método por medio de vapor directo discontinuo, es un recurso que se quiere implementar como una nueva solución para la minimización de esta problemática, en la cual hay un factor a resaltar, disposición del vapor generado del mismo proceso de producción de la caña de azúcar.

La segunda fase consistió en la selección de una herramienta multicriterio para toma de decisiones, mediante la cual se podrá concluir cual es el método eficiente para la evaluación experimental en un ingenio azucarero. Las herramientas multicriterio como lo son las herramientas AHP aportan numerosas ventajas tal y como se tendrá la oportunidad de comprobar mediante ella el desarrollo de la comparativa. Además, sugerir a los decisores la mejor alternativa para la selección del mejor método de limpieza. Una de sus desventajas es que excluyen los casos en los que se requiera decisiones de tipo

automáticas, en las cuales los modelos de simulación podrían ser mejor alternativa pensando en que se necesita respuestas en decisiones instantáneas.

En la tercera fase se desarrolló la herramienta multicriterio establecida en la fase 2 para la evaluación de los métodos establecidos en la fase 1, mediante la cual se determinó cuál es el método recomendado para evaluación experimental en un ingenio azucarero.

El método AHP fue desarrollado por Thomas Saaty, es una metodología para estructurar, medir y sintetizar tomas de decisiones, además es un método matemático el cual permite evaluar alternativas que tienen varios criterios basados en la experiencia y el conocimiento.

De acuerdo a la aplicación de esta herramienta de toma de decisiones jerárquica Saaty implementó una escala numérica y verbal que permite dar un ponderado a cada criterio de evaluación bien sean subjetivos u objetivos a parte de una estimación numérica Saaty, T. L. (2008).

2.1 Aplicación del método

Fase 1:

Establecer la escala de ponderación realizada por Thomas Saaty.

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN		
ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	DESCRIPCIÓN
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyentes al mismo objetivo
3	Más importante	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra
5	Mucho más importante	La experiencia y el juicio favorece fuertemente una actividad sobre otra
7	Fuertemente importante	Una actividad está favorecida fuertemente y su dominio
9	Extremamente importante	Cuando se necesita un compromiso
2,4,6,8	Valores intermedios entre los dos juicios adyacentes	Cuando se necesite un compromiso

Tabla 1. Escala de comparación de Saaty.

14 Evaluación de estrategias para reducción de la carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero.

Luego, se definieron los criterios de evaluación los cuales son la base para tomar una decisión

ANÁLISIS MULTI CRITERIO _ AHP		
CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
TRATAMIENTOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	DISEÑO DEL PROCESO
ESTERILIZACIÓN POR FLUJO CONTINUO DE AGUA CALIENTE	OPERABILIDAD DEL PROCESO	EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO, GASTO ENERGÉTICO, ESTRUCTURA DEL PROCESO
ESTERILIZACIÓN POR CONTACTO DISCONTINUO DE VAPOR	TIEMPO DEL TRATAMIENTO (min)	15min, 80min, 120min
TRATAMIENTO QUÍMICO CON " HIPOCLORITO"	COSTO	COSTO DE OPERACIÓN, COSTO DE INVERSIÓN, COSTO MATERIA PRIMA

Tabla 2. Evaluación de criterios.

Evaluadores:

EVALUADORES EN LA METODOLOGIA AHP DE JERARQUIZACIÓN			
EVALUADOR	FORMACIÓN ACADEMICA	EXPERIENCIA LABORAL	CARGO
1	Tecnólogo en procesos agroindustriales de la Universidad Autónoma de Occidente.	13 años	Supervisor
2	Ingeniero químico, con maestría en ingeniería agroindustrial de la Universidad Nacional de Bogotá.	10 años	Coordinador de proceso
3	Ingeniero químico, agrónomo con especialización en alta gerencia y maestría en administración de la Universidad del Valle.	4 años	Coordinador de proceso

Tabla 3. Descripción de evaluadores.

Evaluación de criterios de los expertos

Matrices de evaluadores:

Cada evaluador aporta su rango de ponderación de acuerdo a la escala de Saaty para cada una de las matrices, matriz de criterios, matriz de operabilidad de proceso, matriz tiempo del tratamiento, matriz de costo y matriz de diseño de proceso, con estas ponderaciones se implementó una media geométrica y se crea la matriz principal para ejecutar las cuatro fases que con llevan la metodología AHP.

Evaluador #1

Evaluación de criterios				
CRITERIOS EVALUADOS	Operabilidad del proceso	Aplicación del tratamiento (min)	Costo	Diseño del proceso
Operabilidad del proceso	1,00	3,00	9,00	3,00
Aplicación del tratamiento (min)	0,33	1,00	7,00	3,00
Costo	0,11	0,14	1,00	1,00
Diseño del proceso	0,33	0,33	1,00	1,00

Tabla 4. Evaluación 1, criterios.

Evaluador #2

Evaluación de criterios				
CRITERIOS EVALUADOS	Operabilidad del proceso	Aplicación del tratamiento (min)	Costo	Diseño del proceso
operabilidad del proceso	1,00	1,00	5,00	3,00
Aplicación del tratamiento (min)	1,00	1,00	5,00	3,00
Costo	0,20	0,20	1,00	1,00
diseño del proceso	0,33	0,33	1,00	1,00

Tabla 5. Evaluación 2, criterios.

16 Evaluación de estrategias para reducción de la carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero.

Evaluador #3

Evaluación de criterios				
CRITERIOS EVALUADOS	Operabilidad del proceso	Aplicación del tratamiento (min)	Costo	Diseño del proceso
Operabilidad del proceso	1,00	1,00	9,00	3,00
Aplicación del tratamiento (min)	1,00	1,00	7,00	3,00
Costo	0,11	0,14	1,00	1,00
Diseño del proceso	0,33	0,33	1,00	1,00

Tabla 6, Evaluación 3, criterios.

Evaluación de operabilidad de proceso de los expertos

Evaluador #1

EVALUACIÓN DE LA OPERABILIDAD DEL PROCESO VS TRATAMIENTOS			
OPERABILIDAD DEL PROCESO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	3,00	9,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,33	1,00	7,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "	0,11	0,14	1,00

Tabla 7, evaluación 1, operabilidad de proceso.

Evaluador #2

EVALUACIÓN DE LA OPERABILIDAD DEL PROCESO VS TRATAMIENTOS			
OPERABILIDAD DEL PROCESO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	3,00	7,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,33	1,00	7,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "	0,14	0,14	1,00

Tabla 8, evaluación 2, operabilidad de proceso.

Evaluador #3

EVALUACIÓN DE LA OPERABILIDAD DEL PROCESO VS TRATAMIENTOS			
OPERABILIDAD DEL PROCESO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	1,00	9,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	1,00	1,00	7,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "	0,11	0,14	1,00

Tabla 9, evaluación 3, operabilidad de proceso.

Evaluación de tiempo de tiempo de tratamiento de los expertos

Evaluador #1

EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO VS TRATAMIENTOS			
TIEMPO DEL TRATAMIENTO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	3,00	9,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,33	1,00	7,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"	0,11	0,14	1,00

Tabla 10, evaluación 1, tiempo de tratamiento.

Evaluador #2

EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO VS TRATAMIENTOS			
TIEMPO DEL TRATAMIENTO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	3,00	1,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,33	1,00	1,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"	1,00	1,00	1,00

Tabla 11, evaluación 2, tiempo de tratamiento.

18 Evaluación de estrategias para reducción de la carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero.

Evaluador #3

EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO VS TRATAMIENTOS			
TIEMPO DEL TRATAMIENTO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	1,00	9,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	1,00	1,00	7,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"	0,11	0,14	1,00

Tabla 12, evaluación 3, tiempo de tratamiento.

Evaluación de costo de los expertos

Evaluador #1

EVALUACIÓN DE COSTO VS TRATAMIENTOS			
COSTO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	3,00	5,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,33	1,00	1,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "	0,20	1,00	1,00
TOTAL	1,53	5,00	7,00

Tabla 13, evaluación 1, costos.

Evaluador #2

EVALUACIÓN DE COSTO VS TRATAMIENTOS			
COSTO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	3,00	1,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,33	1,00	1,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "	1,00	1,00	1,00
TOTAL	2,33	5,00	3,00

Tabla 14, evaluación 2, costos.

Evaluador #3

EVALUACIÓN DE COSTO VS TRATAMIENTOS			
COSTO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	7,00	7,00
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,14	1,00	1,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"	0,14	1,00	1,00
TOTAL	1,29	9,00	9,00

Evaluación de diseño de proceso

Evaluador #1

MATRIZ DISEÑO DEL PROCESO									
DISEÑO DEL PROCESO	EFICACIA DEL TRATAMIENTO	GASTO ENERGÉTICO	ESTRUCTURA DEL PROCESO	15min	80min	120min	COSTO DE OPERACIÓN	COSTO DE INVERSIÓN	COSTO MATERIA PRIMA
EFICACIA DEL TRATAMIENTO	1,00	3,00	9,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00
GASTO ENERGÉTICO	0,33	1,00	5,00	7,00	5,00	3,00	5,00	5,00	3,00
ESTRUCTURA DEL PROCESO	0,11	0,20	1,00	3,00	5,00	3,00	3,00	3,00	3,00
15min	0,33	0,14	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
80min	0,33	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
120min	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
COSTO DE OPERACIÓN	0,33	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
COSTO DE INVERSIÓN	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
COSTO MATERIA PRIMA	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
TOTAL	4,11	5,61	16,87	19,00	19,00	15,00	17,00	15,00	15,00

Tabla 15, evaluación 1, diseño del proceso.

Evaluador #2

MATRIZ DISEÑO DEL PROCESO									
DISEÑO DEL PROCESO	EFICACIA DEL TRATAMIENTO	GASTO ENERGÉTICO	ESTRUCTURA DEL PROCESO	15 min	80min	120 min	COSTO DE OPERACIÓN	COSTO DE INVERSIÓN	COSTO MATERIA PRIMA
EFICACIA DEL TRATAMIENTO	1,00	3,00	5,00	7,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
GASTO ENERGÉTICO	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	1,00	5,00	1,00
ESTRUCTURA DEL PROCESO	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00	1,00
15 min	0,14	0,33	1,00	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
80min	0,20	0,20	1,00	0,20	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00
120min	0,20	0,14	1,00	0,20	0,33	1,00	3,00	3,00	3,00
COSTO DE OPERACIÓN	0,20	1,00	0,20	0,20	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00
COSTO DE INVERSIÓN	0,20	0,20	0,14	0,20	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00
COSTO MATERIA PRIMA	0,20	1,00	1,00	0,20	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00
TOTAL	2,68	7,88	11,34	13,00	18,33	23,00	25,00	31,00	21,00

Tabla 16, evaluación 2, diseño de proceso.

22 Evaluación de estrategias para reducción de la carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero.

Evaluador #3

MATRIZ DISEÑO DEL PROCESO									
DISEÑO DEL PROCESO	EFICACIA DEL TRATAMIENTO	GASTO ENERGÉTICO	ESTRUCTURA DEL PROCESO	15	80	120	COSTO DE OPERACIÓN	COSTO DE INVERSIÓN	COSTO MATERIA PRIMA
EFICACIA DEL TRATAMIENTO	1,00	5,00	9,00	7,00	5,00	7,00	5,00	5,00	5,00
GASTO ENERGÉTICO	0,20	1,00	5,00	7,00	5,00	3,00	7,00	3,00	5,00
ESTRUCTURA DEL PROCESO	0,11	0,20	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	3,00	3,00
15	0,14	0,14	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00
80	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00
120	0,14	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
COSTO DE OPERACIÓN	0,20	0,14	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
COSTO DE INVERSIÓN	0,20	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
COSTO MATERIA PRIMA	0,20	0,20	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
TOTAL	2,40	7,55	17,53	21,00	19,67	19,00	25,00	19,00	21,00

Tabla 17, evaluación 3, diseño de proceso.

Fase 2:

Definidos los criterios, se evalúa por semejantes, uno a uno, y se da un peso jerárquico de acuerdo a la evaluación del experto del tema.

MATRIZ DE ENTRADA				
EVALUACIÓN DE CRITERIOS				
CRITERIOS EVALUADOS	operabilidad del proceso	Aplicación del tratamiento (min)	Costo	Diseño del proceso
Operabilidad del proceso	1,00	1,44	7,40	3,00
Aplicación del tratamiento (min)	0,69	1,00	6,26	3,00
Costo	0,14	0,16	1,00	1,00
Diseño del proceso	0,33	0,33	1,00	1,00
TOTAL	2,16	2,94	15,66	8,00

Tabla 18. Ponderación.

En la tabla de ponderación la diagonal representa la misma importancia dada la escala de Saaty tanto en la columna como en la fila, debido que se evalúa el mismo criterio, la ponderación en este caso de operabilidad de proceso vs aplicación del tratamiento, se dio un valor aplicando la media geométrica de 1.44, de acuerdo a la ponderación de los expertos en el tema, este valor es el dividendo de 1, es decir, la contraparte de la aplicación del tratamiento vs la operabilidad del proceso, obteniendo una ponderación de 0,69 para esta correlación, las demás casilla se evaluarán de acuerdo al peso y se definirá nuevamente la contra parte de cada una de ellas.

24 Evaluación de estrategias para reducción de la carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero.

Fase 3:

Se realizó una tabla de matriz normalizada y ponderación, es la división de cada ponderación por la suma total de la columna para los cuatro criterios, se conoce si se llenó de manera correcta cuando la suma de cada columna da como resultado 1, para la ponderación se suma los valores de los criterios técnicos, tiempo de aplicación del tratamiento y costos de forma vertical, se halla un promedio de la sumatoria y esto dará el valor de ponderado de cada criterio, como se muestra en la tabla 4.

MATRIZ NORMALIZADA						
CRITERIOS EVALUADOS	operabilidad del proceso	Aplicación del tratamiento (min)	Costo	diseño del proceso	VECTOR PRIORIDAD	
operabilidad del proceso	0,46	0,49	0,47	0,38	operabilidad del proceso	0,45
Aplicación del tratamiento (min)	0,32	0,34	0,40	0,38	Aplicación del tratamiento	0,36
Costo	0,06	0,05	0,06	0,13	Costo	0,08
diseño del proceso	0,15	0,11	0,06	0,13	diseño del proceso	0,11
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00

Tabla 19. Matriz normalizada y ponderación.

Fase 4:

Culminado el primer paso se debe conocer si los valores estipulados fueron lógicos por lo cual se busca una validación. Para ellos se utiliza los valores de consistencia donde Saaty construyó el indicador que mide problemas de consistencia o incumplimiento del principio de transitividad partiendo de las matrices de comparación. (CALDERÓN, 2017).

La consistencia se mide con el siguiente indicador:

Ecuación 1:

- **C.C:** $(\lambda_m \times - / - 1) / IA$.
- **C.C:** consciente de consistencia.
- **λ lambda máximo o (valor máximo de la matriz)**, se calcula multiplicando el valor total de la matriz de comparación con el valor de la ponderación una a uno y se suman.
- **n:** números de estrategias.
- **IC:** índice de inconsistencia.

Ecuación 2:

$(\lambda \text{ Max-n}) / (n-1)$

- **ICA:** índice de inconsistencia aleatorio se determina de acuerdo a la escala establecida por Saaty dado que de acuerdo a la cantidad de criterios hay un valor estándar según la siguiente tabla:

n	3	4	5	7	8	9	10
ICA	0,58	0,90	1,12	1,32	1,41	1,45	1,49

Tabla 20. Saaty.

De acuerdo a lo escrito anteriormente se aplica las ecuaciones para determinar el Índice de inconsistencia:

IC: índice de inconsistencia	landa Max	$\Sigma(N*Wi)$	4,14	n	4
ICA: índice de inconsistencia aleatorio	IC	$(\text{landa Max-n}) / (n-1)$	0,05	ICA	4
	ICA	según la tabla	0,90		
	RIC	IC/ICA	0,05	ACEPTABLE	
	Valido si RIC<0,1	0,10	ACEPTABLE	NO	ACEPTABLE

Tabla 21. Cálculos del IC.

De acuerdo a los resultados se puede decir que la ponderación estipulada por los expertos fue aceptada dado que el nivel de inconsistencia fue inferior a 0,1.

Fase 5:

En la aplicación de la metodología AHP se evaluó cada uno de los criterios en los tres tratamientos como también la comparación con cada uno de los subcriterios existentes, evaluación que fue realizada a tres expertos, por consiguiente, las matrices que aparecen en el presente trabajo contienen la media geométrica de las tres evaluaciones realizadas, a cada una se le realizó el cálculo de ponderación y el porcentaje de inconsistencia para poder determinar cuál de los tratamiento es el recomendado de acuerdo al desarrollo de la metodología AHP.

EVALUACIÓN DE LA OPERABILIDAD DEL PROCESO VS TRATAMIENTOS			
OPERABILIDAD DEL PROCESO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	2,08	8,28
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,48	1,00	7,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"	0,12	0,14	1,00
TOTAL	1,60	3,22	16,28

Tabla 22, media geométrica op vs tratamientos.

EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO VS TRATAMIENTOS			
TIEMPO DEL TRATAMIENTO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	2,08	4,33
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,48	1,00	3,66
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"	0,23	0,27	1,00
TOTAL	1,71	3,35	8,99

Tabla 23, media geométrica, tratamiento vs tratamientos.

EVALUACIÓN DE COSTO VS TRATAMIENTOS			
COSTO	Esterilización por flujo continuo de agua caliente	Esterilización por contacto discontinuo de vapor	Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	1,00	3,98	3,27
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,25	1,00	1,00
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "	0,31	1,00	1,00
TOTAL	1,56	5,98	5,27

Tabla 24, media geométrica, costo vs tratamientos.

MATRIZ DISEÑO DEL PROCESO									
DISEÑO DEL PROCESO	EFICACIA DEL TRATAMIENTO	GASTO ENERGÉTICO	ESTRUCTURA DEL PROCESO	15	80	120	COSTO DE OPERACIÓN	COSTO DE INVERSIÓN	COSTO MATERIA PRIMA
EFICACIA DEL TRATAMIENTO	1,00	3,56	7,40	5,28	4,22	4,72	4,22	2,92	4,22
GASTO ENERGÉTICO	0,28	1,00	2,92	5,28	5,00	3,98	3,27	4,22	2,47
ESTRUCTURA DEL PROCESO	0,14	0,34	1,00	2,08	2,92	1,44	3,56	3,98	2,08
15	0,19	0,19	0,48	1,00	1,71	1,71	2,47	2,47	2,47
80	0,24	0,20	0,34	0,58	1,00	2,08	2,08	1,44	1,44
120	0,21	0,25	0,69	0,58	0,48	1,00	1,44	1,44	1,44
COSTO DE OPERACIÓN	0,24	0,31	0,28	0,41	0,48	0,69	1,00	1,00	1,00
COSTO DE INVERSIÓN	0,34	0,24	0,25	0,41	0,69	0,69	1,00	1,00	1,00
COSTO MATERIA PRIMA	0,24	0,41	0,48	0,41	0,69	0,69	1,00	1,00	1,00
TOTAL	2,87	6,49	13,85	16,02	17,20	17,01	20,03	19,47	17,11

Tabla 25, media geométrica, matriz del diseño.

28 Evaluación de estrategias para reducción de la carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero.

MATRIZ DISEÑO DEL PROCESO									
DISEÑO DEL PROCESO	EFICACIA DEL TRATAMIENTO	GASTO ENERGÉTICO	ESTRUCTURA DEL PROCESO	15	80	120	COSTO DE OPERACIÓN	COSTO DE INVERSIÓN	COSTO MATERIA PRIMA
EFICACIA DEL TRATAMIENTO	1,00	3,56	7,40	5,28	4,22	4,72	4,22	2,92	4,22
GASTO ENERGÉTICO	0,28	1,00	2,92	5,28	5,00	3,98	3,27	4,22	2,47
ESTRUCTURA DEL PROCESO	0,14	0,34	1,00	2,08	2,92	1,44	3,56	3,98	2,08
15	0,19	0,19	0,48	1,00	1,71	1,71	2,47	2,47	2,47
80	0,24	0,20	0,34	0,58	1,00	2,08	2,08	1,44	1,44
120	0,21	0,25	0,69	0,58	0,48	1,00	1,44	1,44	1,44
COSTO DE OPERACIÓN	0,24	0,31	0,28	0,41	0,48	0,69	1,00	1,00	1,00
COSTO DE INVERSIÓN	0,34	0,24	0,25	0,41	0,69	0,69	1,00	1,00	1,00
COSTO MATERIA PRIMA	0,24	0,41	0,48	0,41	0,69	0,69	1,00	1,00	1,00
TOTAL	2,87	6,49	13,85	16,02	17,20	17,01	20,03	19,47	17,11

Tabla 26. Matriz de evaluación de subcriterios.

Fase 6:

Con los datos de cada una de las matrices anteriores, donde se obtuvo los promedios de cada uno de los criterios evaluados con respecto a los tratamientos a aplicar, se realizó una matriz en la cual se utiliza la ponderación de los criterios de evaluación al inicio de la metodología y posteriormente se asocian con cada uno de los promedios de los criterios y subcriterios evaluados con cada tratamiento, hallando el índice de inconsistencia a cada parte. Para así obtener el resultado que nos indicara cuál de los tres métodos es el más viable para su implementación.

RESULTADOS METODOLOGÍA DE JERARQUIZACIÓN				
ALTERNATIVAS	PROMEDIO OPERABILIDAD DEL PROCESO	PROMEDIO TIEMPO DE TRATAMIENTO	PROMEDIO COSTO	DISEÑO DEL PROCESO
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	0,59	0,56	0,64	0,64
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,35	0,33	0,17	0,21
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio"	0,06	0,11	0,18	0,14
PONDERACIÓN	0,45	0,36	0,08	0,11
COEF. DE CONSISTENCIA	0,04	0,04	0,01	0,10
COEF. CONS. TOTAL DE LOS CRITERIOS	0,04			

Tabla 27. Resultado AHP.

Para obtener estos valores se debe tomar la suma de los tres criterios de forma vertical y la suma de los valores de la ponderación, formulando suma producto y así tener la priorización de cada tratamiento a implementar, el cual dio como resultado que la mejor alternativa de limpieza para esterilización en la industria, que se puedan adaptar al proceso de filtración en un ingeniero azucarero es el flujo continuo de agua caliente.

PRIORIDAD TOTAL		
Esterilización por flujo continuo de agua caliente	0,59	59,13%
Esterilización por contacto discontinuo de vapor	0,31	31,18%
Tratamiento químico con "hipoclorito de sodio "	0,10	9,69%
TOTAL	1,00	1,00

Tabla 28. Prioridad total.

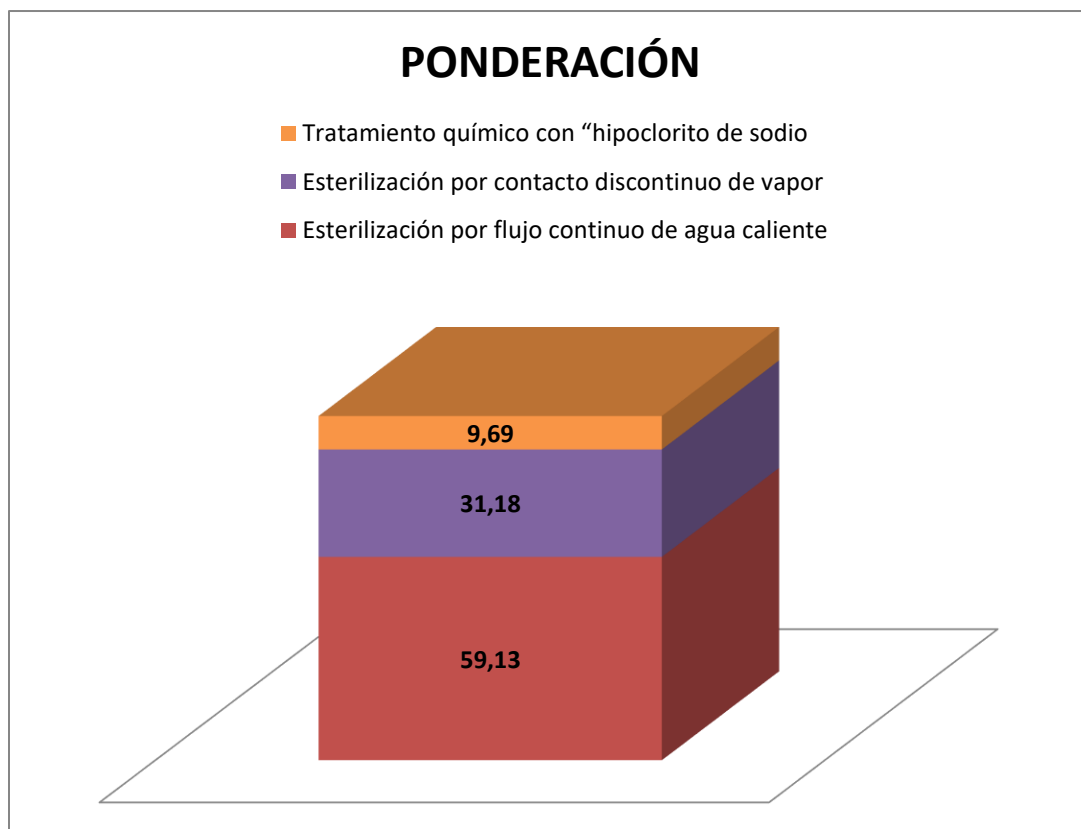


Figura 2, Ponderación.

2.2 Análisis de resultados

Para obtener los resultados que se evidencian en la Figura 2, se aplicó la metodología AHP la cual es una herramienta de jerarquización, donde se manejan valores de ponderaciones de acuerdo a la escala de Saaty, donde los valores son 1,3,5,7,9 para dar un rango de importancia a cada uno de los criterios a evaluar; los criterios fueron: operabilidad de proceso, tiempo del tratamiento, costos y diseño de proceso, al evaluar cada uno de ellos se aplicó la media geométrica, la cual permite obtener un valor de ponderación entre los evaluadores y este nos arroja la contra parte de cada uno de ellos, en la evaluación se pudo observar que el índice de inconsistencia de un evaluador con respecto al segundo y al tercer, cambio, estas matrices tuvieron un sesgo diferente el cual se mantuvo en el rango de satisfacción de la evaluación menor a 0.1.

De acuerdo a lo establecido por Saaty, siguiente a la metodología de valoración de todo el conjunto de matrices, se pudo obtener el porcentaje de aceptabilidad de cada tratamiento, esterilización de flujo continuo por agua caliente con un valor del 59.13%, tratamiento de esterilización por contacto discontinuo de vapor con un 31.18% y por último y no menos importante el tratamiento químico con hipoclorito de sodio con un 9.69%, todo se logró con los conceptos de los expertos al evaluarlos sobre cada ítem dando así una jerarquización de importancia. Sin obviar que las alternativas se pueden fortalecer de acuerdo al uso o implementación del medio donde se vaya a utilizar.

2.3 Especificación de costos

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el uso de la herramienta de jerarquía AHP, podemos desglosar los porcentajes de la implementación del tratamiento de flujo de agua caliente para la reducción de carga microbiana, donde se estiman los siguientes porcentajes de acuerdo a la estructura del proyecto:

- Desarrollo de los estudios previos 25%
- Diseño del proyecto y entrega de diagramas 30%
- Implementación del proyecto 40%
- Seguimientos 5%

Teniendo en cuenta lo anterior se calcula el retorno de inversión de acuerdo a las condiciones de las instalaciones por ende se estima ciertos valores de perdidas indeterminadas para asumir el tiempo de pago de la ejecución del proyecto.

- Perdidas indeterminadas promedio mes 0.091%,
- Perdidas Indeterminadas por carga microbiana área de filtración 0.030%
- Reducir en un 0.010% las perdidas indeterminadas del área de filtración
- Total, molienda año 3.500.000t/año
- Precio del quintal de azúcar para costos de proyectos \$105.600
- Costo estimado del proyecto \$240.000.000

$$\text{Sacarosa recuperada} = \text{TN caña/año} * \frac{\text{reducción perdida indeterminada \%}}{100\%}$$

$$\frac{3.500.000\text{T /año} * 0.010\%}{100\%} = 350\text{T/año}$$

$$1\text{T} = 20\text{QQ de azúcar} = 350\text{T/año} * 20\text{QQ} = 7000\text{QQ/año}$$

Cantidad de azúcar en quintales *precio del quintal

$$7000\text{QQ/año} * 105.600\$/\text{QQ} = 739.200.000\$$$

$$\text{Retorno de la inversión} = \frac{\text{costo de la inversión}}{\text{Costo ingreso}}$$

$$\frac{240.000.000\$/\text{año}}{739.200.000\$/\text{año}} = 0.32\text{años}$$

3. Conclusión

De acuerdo con la revisión bibliográfica se pudo identificar que existen diferentes técnicas de esterilización para diferentes procesos donde sean requeridos, entre ellos la industria alimentaria.

Al utilizar la metodología de Saaty se puede reducir la cantidad de datos que se vayan analizar, puesto que la aplicación permite reducir la cantidad de ensayos del proyecto.

El método más adecuado de acuerdo a la aplicación de la metodología AHP para la reducción de carga microbiana en un sistema de filtración en un ingenio azucarero es la esterilización por flujo continuo de agua caliente con un 59.13% de ponderación.

La segunda metodología con mejor puntaje de acuerdo al resultado de la herramienta de jerarquización AHP es la “Esterilización por contacto discontinuo de vapor” con una ponderación del 31.18% de acuerdo a la ponderación obtenida.

4.Recomendaciones

Se recomienda implementar la alternativa de reducción de carga microbiana, Esterilización por flujo continuo de agua caliente, de acuerdo a los resultados obtenido mediante la metodología de jerarquización AHP.

Se debe tener en cuenta el número de evaluadores, la experiencia que cada uno tenga sobre el tema evaluado, los estudios que hayan adquirido, como referencia para la implementación de la metodología AHP, lo cual permitirá dar más credibilidad a los resultados

Al calcular el grado de inconsistencia establecido por Thomas Saaty tener en cuenta que este no puede ser superior al 0.1, porque la evaluación no sería aceptable.

A. Anexo: Excel matriz de metodología A

Bibliografía

Institución	Disciplina de aplicación	Vínculos y ejemplos
Asocaña	Sector Agroindustrial de la caña.	Asocaña. (2021-2022). Informe anual. Cali, Colombia: Asocaña, sector Agroindustrial de la caña. Asocaña. (2021-2022). Informe anual. Cali, Colombia: Asocaña, sector Agroindustrial de la caña.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Ingeniería Agroindustrial, Ingeniería Industrial	Trabanino López, Luis Alberto (2021) <i>Evaluación y caracterización fisicoquímica del contenido extractable de la fracción lipídica a partir de la cachaza de la producción de azúcar en dos ingenios, mediante el uso de tres solventes de distinta constante dieléctrica</i> . Licenciatura tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.
Pontificia Universidad Javeriana	Ingeniería	Bocanegra, J. M. & Castellanos, A. (2004). <i>Evaluación técnica y económica de una alternativa de mejoramiento para el proceso de CIP (Cleaning In Place - limpieza en sitio) en el área de filtración de Cervecería Leona S.A.</i> Recuperado de: http://hdl.handle.net/10554/7208 .
Cengicaña	Ingeniería	Vega, Raisa & López, Byron. (2015). <i>Análisis de tecnologías de agotamiento de cachaza para determinación de pérdidas de sacarosa</i> . Recuperado de: https://cengicana.org/files/2021080208550198.pdf .
Universidad de Granada	Ingeniería ambiental	Alejandro Avila-Sierra, José M. Vicaria, Manuela Lechuga, Juan F. Martínez-Gallegos, Vanessa Olivares-Arias, Andrea C. Medina-Rodríguez, Ramón Jiménez-Robles, Encarnación Jurado-Alameda, Insights into the optimisation of the Clean-In-Place technique: Cleaning, disinfection, and reduced environmental impact using ozone-based formulations, Food and Bioproducts Processing, Volume 129, 2021, Pages 124-133, ISSN 0960-3085, https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.08.003 .
Universidad Autónoma de Occidente	Ingeniería, Mantenimiento industrial	Levy Saportas, S, Obonaga Cuadros, L y. (1995). <i>Proceso de limpieza de tuberías de vapor para calderas</i> . Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado de: https://red.uao.edu.co/handle/10614/2603 .
Revista Internacional de Ciencias y Servicios	Ingeniería Industrial	Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process, International Journal Services Sciences, 1(1), 83–98.
Universidad distrital Francisco José de Caldas	Ingeniería de producción	Camargo Cristancho, P. A., & Huertas Bermúdez, J. C. (2017). Implementación de mejora en rendimiento de azúcar mediante la metodología Kaizen en Línea 6 Planta Jugos de Gaseosas Lux SAS. Recuperado de: https://repositorio.udistrital.edu.co/handle/11349/6851 .
Universidad Mayor de San Andrés	Ciencias Puras y Naturales	Quenta Paredes, G., & García Moreno, M. E. (2010). <i>Diseño de medidas producción más limpia para la industria lácteo Delizia</i> (Doctoral dissertation, Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera Ciencias Químicas). Recuperado de: https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/17930 .
Universidad Mayor de San Andrés	Ingeniería	Cabrera Becerra, D. (2015). <i>Investigación y control de levaduras en una línea de producción de bebidas</i> (Master's thesis, Universidad del Azuay). Recuperado de: https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4371 .
Universidad César Vallejo	Ingeniería	Palma, J. C. M., López, W. D. S., & Paredes, L. J. E. (2017). Estandarización de la dosificación de anti incrustantes utilizados en evaporadores de la industria azucarera para reducir tiempos de limpieza mecánica. <i>INGnosis</i> , 3(1), 195-203. Recuperado en: http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ingnosis/article/view/1550 .

Análisis bibliométrico

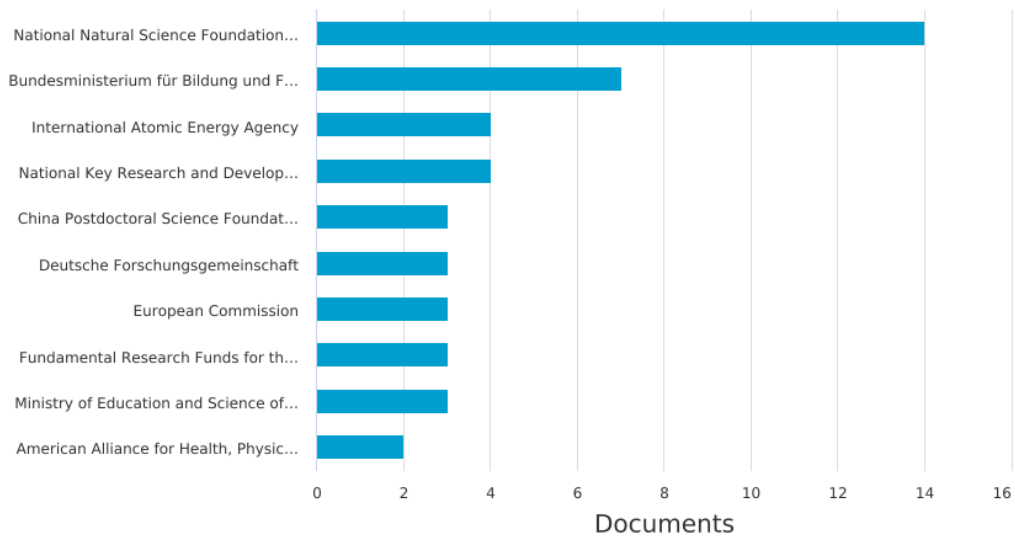
Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY (industrial AND sterilization AND techniques).

Con 280 resultados de documentos.

Documents by funding sponsor

Compare the document counts for up to 15 funding sponsors.

Scopus

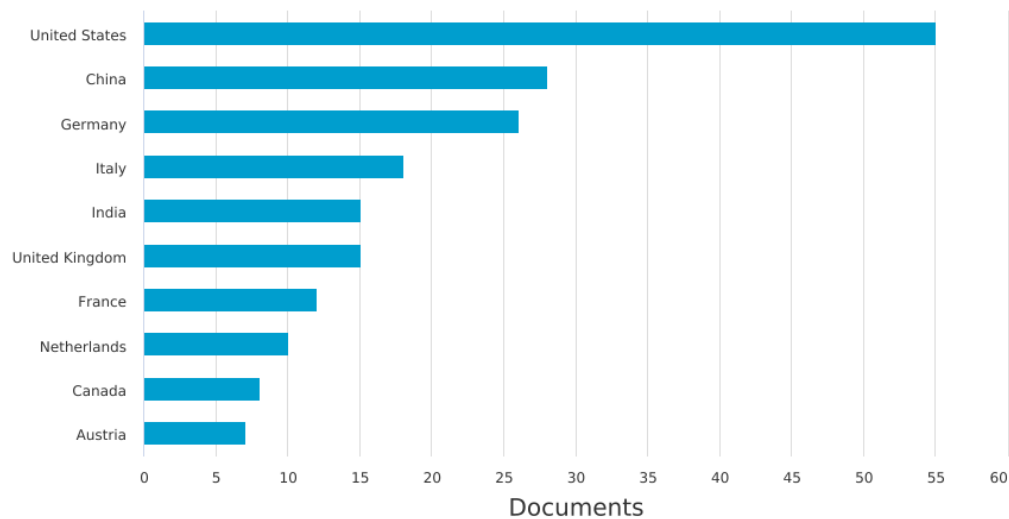


Copyright © 2022 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

Scopus



Copyright © 2022 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.