



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS**  
**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

---

**Estrategias para la optimización del uso del agua en una fábrica de azúcar de caña**

**Víctor Hugo Gordillo Ayala**

**Manizales, Septiembre del 2019**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS**  
**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

---

**Estrategias para la optimización del uso del agua en una fábrica de azúcar de caña**

**Trabajo de grado**

**Víctor Hugo Gordillo Ayala**

**Director: Nelson Rodríguez Valencia. PhD.**

**Línea de Investigación: Biosistemas Integrados**

**Director: Jhon Fredy Betancur Pérez**

**Manizales, Septiembre del 2019**

**TABLA DE CONTENIDO**

|  | Pág. |
|--|------|
| Resumen .....  | 7    |
| Introducción.....  | 8    |
| Capítulo 1: Planteamiento del Problema.....                                      | 14   |
| 1.1 Descripción del Problema .....   | 14   |
| 1.2 Hipótesis e Interrogantes de la Investigación.....                           | 17   |
| Capítulo 2: Objetivos del proyecto .....   | 19   |
| 2.1 Objetivo General.....  | 19   |
| 2.2 Objetivos específicos .....  | 19   |
| Capítulo 3: Justificación del Estudio .....                                      | 20   |
| Capítulo 4: Marcos de Referencia.....  | 22   |
| 4.1 Antecedentes de la Investigación .....                                       | 22   |
| 4.2 Marco Conceptual.....  | 24   |
| 4.3 Marco Teórico .....  | 26   |
| 4.3.1 El agua como recurso natural no renovable.....                             | 27   |
| 4.3.2 Estrategias para el Uso Eficiente del Agua.....                            | 29   |
| 4.3.3 Sugerencias para el mejoramiento del balance de agua en un ingenio.....    | 32   |
| 4.3.4 El agua como medio de disipación de calor producido por las maquinas ..... | 33   |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.5 El agua como medio fundamental para la producción de azúcar y derivados.....   | 34 |
| 4.3.6 Productos Elaborados de la Caña y el Proceso de Obtención del Azúcar .....   | 37 |
| 4.3.7 Marco Legal .....  | 45 |
| Capítulo 5: Metodología.....   | 49 |
| 5.1 Diseño de la Investigación .....   | 49 |
| 5.2 Población.....   | 50 |
| 5.3 Técnicas para la Recolección de la Información .....   | 51 |
| 5.4 Técnicas para el análisis de resultados.....   | 51 |
| Capítulo 6; Resultados .....   | 53 |
| 6.1 Alternativas para la optimización del uso, posibilidades de reúso o recirculación del agua en una fábrica de azúcar de caña..... | 53 |
| 6.2 Caracterización de las Aguas Residuales y Descripción del Balance Hídrico de una Fábrica de Azúcar .....                         | 58 |
| 6.3 Estrategia para la Optimización y el Reusó del Agua en una Empresa Azucarera desde la Ingeniería .....                           | 67 |
| 6.4 Impacto ambiental social y económico de la propuesta: .....  | 79 |
| 7. Conclusiones .....  | 83 |
| Referencias Bibliográficas.....  | 86 |

**LISTA DE FIGURAS**

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Esquema del proceso azucarero .....                                | 45   |
| Figura 2. Circuito básico generador de aguas residuales .....                | 68   |
| Figura 3. Ubicación de medidores instalados .....                            | 73   |
| Figura 4. Indicador acumulado de consumo específico de agua del sector ..... | 75   |

**LISTA DE CUADROS**

Pág.

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 1. Evaluación de las oportunidades de reducción de consumo y control de vertimientos | 73 |
| Cuadro 2. Información recolectada sobre la situación actual .....                           | 76 |
| Cuadro 3. Estado, Impacto y Recomendaciones.....  | 77 |

## **RESUMEN**

En la actualidad, es necesario que todas las industrias optimicen sus procesos y estructuras tecnológicas, a fin, de no producir contaminación (o al menos que esta sea mínima); entre las industrias fundamentales para una sociedad, están aquellas que deben producir alimentos a través del procesamiento de los recursos naturales. Como es el caso de los ingenios azucareros, que requieren dar al agua un uso y disposición adecuada, ya que su desperdicio conlleva a que se genere escasez y dificultades para un adecuado abastecimiento. Lo cual implica, optimizar los procesos en la fabricación de azúcar, con el respectivo uso adecuado, disposición y tratamiento de las aguas. Esta investigación de tipo aplicada, propone estrategias para la optimización del uso del agua en una fábrica de azúcar de caña a partir de procesos de recirculación y reúso de aguas residuales generadas, se asume como un proyecto especial de ingeniería con un diseño de campo, considerando que para la recolección de los datos se emplearon dos (2) técnicas: la observación directa y la encuesta bajo la modalidad de cuestionario. Los resultados evidenciaron necesidades de tipo ingenieril y tecnológico para mejorar los procesos de fabricación y logística de limpieza y mantenimiento. Lo que conllevó a proponer que se implementen estrategias basadas en la recirculación, reúso y tratamiento de las aguas, con lo cual se optimizaría recursos y habrá mayor producción y mínimo impacto ambiental.

**Palabras Clave:** Desarrollo Sostenible, Ahorro de agua, Fábrica de azúcar de caña, Recirculación de agua, Reúso de agua.

## **SUMMARY**

At present, it is necessary that all industries optimize their technological processes and structures, in order not to produce pollution (or at least that this is minimal); Among the fundamental industries for a society, there are those that must produce food through the processing of natural resources. As is the case with sugar mills, which require giving water proper use and disposal, since its waste leads to shortages and difficulties for an adequate supply. Which implies, optimizing the processes in the manufacture of sugar, with the respective appropriate use, disposal and treatment of the waters. This application-type research, proposes strategies for the optimization of water use in a cane sugar factory based on recirculation processes and reuse of wastewater generated, is assumed as a special engineering project with a field design, considering that two (2) techniques were used to collect the data: direct observation and the survey under the questionnaire modality. The results showed engineering and technological needs to improve the manufacturing and logistics processes of cleaning and maintenance. This led to propose that strategies based on recirculation, reuse and treatment of water be implemented, which would optimize resources and there will be greater production and minimal environmental impact.

**Keywords:** Sustainable Development, Water saving, Cane sugar factory, Water recirculation, Water reuse.



## **INTRODUCCIÓN**

Los desarrollos tradicionales en los procesos de los ingenios de caña de azúcar en Colombia han generado impactos significativos sobre de los recursos naturales en sus alrededores. Las aperturas comerciales han traído con ello la necesidad de expandir el desarrollo de la industria de la caña. Sin embargo, ante las nuevas épocas, donde nos topamos con factores de desabastecimiento en recursos naturales, el mundo gira la cabeza ante los medios sustentables de mejoramiento ambiental.

Los ingenios azucareros, siendo uno de los mayores productores agropecuarios del país, manejan una necesidad de recursos hídricos considerables, sin embargo, al tener en cuenta que las políticas ambientales, velan por la seguridad de los recursos naturales, las industrias azucareras han debido mirar ante posibilidades de sostenibilidad y reutilización de recursos cada vez más amigables con los desarrollos ambientales del siglo XXI.

En el desarrollo de la investigación se conocerá el impacto que ha tenido la sostenibilidad en las industrias de la caña y en qué forma se encuentran cumpliendo con los requerimientos de reúso y recirculación del recurso hídrico. Estas estrategias se consideran las alternativas del futuro que ayudarán a solucionar los nuevos desafíos de escasez de agua y permiten dar cumplimiento a los requerimientos ambientales, los cuales al pasar el tiempo se vuelven cada vez más severos, con el fin de preservar las materias fundamentales de la naturaleza.

Es por ello, que este trabajo de investigación plantea una propuesta basada en estrategias para la optimización del uso del agua en las diferentes labores de obtención de azúcar y subproductos como: miel, etanol y otros.

Para la elaboración de esos productos, se requiere gran cantidad de agua, la cual, básicamente tiene dos funciones: a) constituirse en componente de cada producto y b) participar en los procesos de producción, cómo: limpieza, lavado e higienización de determinadas operaciones y en el enfriamiento de máquinas que generan calor. La cantidad de agua, que se requiere para la producción de azúcar, obviamente aumenta considerablemente a medida que crecen las plantas azucareras y en los últimos años es notorio por año, fundamentalmente en los países desarrollados. Al respecto Castellanos *et. al.* (2005), señalan:

*Según el criterio de algunos investigadores actualmente se consume mucha agua en la industria azucarera, lo que es un serio problema para algunos países debido a lo limitado de sus recursos hídricos. La industria azucarera puede alcanzar altos volúmenes de consumo de agua que incluyen hasta casi 141 kg/t caña molida, como máximo. En este trabajo los autores analizan las causas fundamentales que inciden en estos niveles de consumo, al igual que se ofrecen algunas sugerencias para su análisis científico. (Castellanos *et. al.* 2005)*

Esto es indicativo, que las empresas para disminuir el gasto de agua y energía han adoptado estrategias ingenieriles para dar adecuado uso y conservación a las aguas. Esas estrategias básicamente han sido las siguientes: construcción de infraestructuras y adecuaciones

tecnológicas tanto para el tratamiento de las aguas como para la recepción de aguas lluvias, así como para la disposición de uso y reúso, entre otras. Cada una de las estrategias, están sujetas a normas de calidad y control, para que no haya alteración de las propiedades físico-químicas, y se mantenga el nivel permitido de asociación con partículas o sustancias, así como que disposición de uso se hará según el propósito.

Por lo que esas estrategias deben garantizar que cualquier ingenio azucarero o empresa dedicada a tal fin, optimice el consumo, la disposición y tratamiento de las aguas; sin embargo, es necesario la implementación de estrategias, sobre la base de un programa operativo donde se establezcan aspectos como: programas de apoyo al personal de la empresa en cuanto a capacitación y motivación hacia uso racional del agua y demás recursos naturales, luego se implementarían las estrategias: las ingenieriles haciendo ver que su objetivo es la reducción del consumo de agua y posteriormente se implementaría un manual de normas y procedimientos (complementario al ya existente).

Aunado a ello, se deberán hacer ajustes o adecuación de la maquinaria, equipos e infraestructura a las operaciones de recirculación y vertido de agua. Es decir, se debe implementar formas el control de lo concierne a las entradas y salidas de agua de la fábrica, pero sobretodo la adecuación en las fases de calderas, procesos de recirculación y lavado de la caña.

Por tanto, las estrategias para el uso eficiente deberán implementarse atendiendo el marco jurídico ambiental de Colombia donde se destaca el reglamentado de la ley 373 de 1997 (donde se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua), la Resolución 0631 de 2015,

expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la cual se establecen los parámetros y valores máximos permitidos en los vertimientos a cuerpos de agua.

Lo que indica, que se debe considerar para garantizar la sostenibilidad, un marco legal (ya existente), y un plan técnico-financiero, donde se pueda contar permanentemente con reservas de agua, aun en épocas de verano intenso, a medida que escasea el agua, o cuando se susciten cambios climáticos, fenómenos meteorológicos como el del niño o la niña o cualquier otra eventualidad.

En el caso de los Ingenios azucareros, los procesos mejorarían, incorporando nueva maquinaria (centrífugas, clarificadores, autofiltros y filtros – trampas); y asumiendo que se debe realizar una importante inversión, tanto en lo ambiental como en desarrollo industrial y productivo. Y para mantener la disponibilidad de agua se debe acometer la solución del problema desde diferentes órdenes: sociales, políticos, económicos, legales, técnicos y humanos. Todos esos órdenes, deben considerarse, sin embargo, para efectos de esta investigación se hace énfasis en la parte técnica, por ello se consideran estrategias ingenieriles, en el marco de un proyecto viable en cuanto al tiempo y los recursos económicos, humanos, materiales y tecnológicos. El proyecto contempla varias fases, la primera prevé construcciones civiles y adecuaciones tecnológicas sistematizadas, tanto para cada planta o ingenio azucarero, como para las afueras de estas.

Por lo que se requiere iniciar con la implementación de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales con la finalidad aliviar la existente y minimizar la generación de corrientes contaminantes que no han sido corregidas. De esta manera, habría mayor cantidad de agua

potable tanto para el consumo en la producción, como para las poblaciones aledañas. Además, se mejorarían las condiciones ambientales de los afluentes cercanos.

Con base en lo antes expuesto, se reafirma que se requiere que los ingenios azucareros optimicen el consumo de agua, a través de métodos como la recirculación, disposición adecuada, reúso y tratamiento oportuno; para ello, es necesario, crear un programa operativo donde se establezca el apoyo al personal que labora en esos ingenios y la implementación de estrategias ingenieriles que permitan la reducción del consumo de agua a partir de ajustes en la operación y recirculación de vertidos de agua en cada proceso, que básicamente, son los concernientes al lavado, termorregulación y los concernientes a las entradas y salidas de agua de la fábrica, calderas y procesos de fabricación del azúcar.

## **CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción del Problema**

Toda empresa u organización, en la actualidad busca mejorar su sistema de gestión, orientándose hacia la eficiencia y eficacia. Por ello, su gestión debe estar basada en la mejora de procesos, medición de resultados y la sostenibilidad ambiental, considerando el medio ambiente como uno de los recursos fundamentales que le permiten funcionar adecuadamente. Es decir, se hace necesario implantar sistemas de gestión ambiental y responsabilidad empresarial para evitar cualquier tipo de impacto ambiental que se pueda generar y que afecte alguna de las biosferas: Litosfera (suelo); atmosfera, (aire) e hidrosfera (agua) y además estar preparado para el impacto que los cambios globales puedan generar en sus actividades.

Por tanto, la gestión empresarial debe ir de la mano con la gestión ambiental, esto no se trata de asumir funciones no vinculadas al desarrollo productivo, sino por el contrario, hacer todo más sencillo, evitar pérdidas, optimizar recursos e ir mejorando continuamente. Este tipo de asociación de las gestiones: empresarial y ambiental permiten calidad y eficiencia de las empresas. Lo que tiene que ver con lo que en la actualidad, se conoce como Sistema de Gestión Ambiental (SGA), que según EUDE (2018), es un conjunto de procesos y prácticas que permiten a una organización reducir sus impactos ambientales y aumentar su eficiencia operativa. La implementación de un SGA constituye la estrategia para que el empresario, en un proceso continuo, identifique oportunidades de mejoras que reduzcan los impactos de las actividades de

la empresa sobre el medio ambiente, mejorando al mismo tiempo su situación en el mercado y sus posibilidades de éxito.

De acuerdo a EUDE (2018), La gestión ambiental está fundamentada en 5 principios básicos que se pueden definir de la siguiente manera: 1.- Conocer lo que debe hacerse, asegurar el compromiso con el SGA y definir la Política Ambiental; 2.-Elaborar un Plan de Acción para cumplir con los requisitos de la política ambiental; 3.-Asegurar condiciones para el cumplimiento de los objetivos y metas ambientales e implementar las herramientas de sustentación necesarias; 4.- Realizar evaluaciones cualitativas y cuantitativas periódicas de la conformidad ambiental de la empresa; y 5.-Revisar y perfeccionar la política ambiental, los objetivos y metas y las acciones implementadas para asegurar la mejora continua del desempeño ambiental de la empresa.

Esos principios, denotan que las empresas al estar insertas en la sociedad deben garantizar la sostenibilidad y protección del medio ambiente y sus recursos naturales, especialmente el agua, que no solo es indispensable para mantener la vida, sino para que las empresas garanticen su funcionalidad. Y que cuando utilizan el agua, deben hacerlo bajo los parámetros de la gestión ambiental responsable. Por tanto, su uso está condicionado a la disponibilidad y uso directo o indirecto que se le dé, ya que hay industrias cuya materia prima es el agua y otras la requieren para elaborar sus productos, o simplemente para la limpieza y mantenimiento de procesos industriales de fabricación.

En consecuencia, al dársele diversos usos al agua, esta se mezcla con otras sustancias alterando sus propiedades. En el caso de los ingenios azucareros se generan mezclas líquidas producto de combinaciones del agua con otras sustancias o líquidos diversos, que por lo general

no son reusados, sino vertidos a los afluentes naturales provocando alteraciones de los ecosistemas e impacto ambiental. Por ejemplo, alteración de las propiedades por calentamiento y enfriamiento simultáneo, (el agua caliente contiene menos oxígeno disuelto que la fría). Otro tipo de contaminación ocurre cuando se le agregan sustancias diversas, principalmente detergente y productos químicos (que se usan para lavar utensilios, productos y maquinarias). También, cuando se le adicionan sustancias como álcalis, ácidos, metales pesados, sales, grasas, combustibles y restos de materiales en descomposición.

La disposición final que se da al agua (ya contaminada) una vez que es vertida a afluentes (quebradas, estanques, ríos, lagos o mares), afecta los ecosistemas, sobre todo a la fauna y flora acuática. Entre los daños que les provoca están: toxicidad, acumulación de metales tóxicos, alteraciones somáticas (mutaciones) y algunas especies desaparecen. Esta fauna y flora posteriormente puede ser consumida por otras especies o por los humanos provocando un ciclo de contaminación, que no solo daña el equilibrio ecológico, sino que puede provocar alteraciones y hasta la muerte de seres humanos.

Tal es el caso de las industrias de fabricación de azúcar, que por lo general se realiza en ingenios azucareros que requieren grandes cantidades de agua provenientes de diversos afluentes que generalmente están cerca a las instalaciones del ingenio. Por tanto, el agua como recurso debe administrarse a través de un sistema de gestión ambiental empresarial; donde se considere su naturaleza física, química, y su relación biológica o sociocultural, para garantizar la sostenibilidad de la misma.

Lo anterior, sumado al aumento de la demanda de agua para diversas actividades humanas (agrícolas, industriales, aseo, limpieza y otras), obliga a buscar estrategias que



disminuyan la dependencia de fuentes externas para el abastecimiento de agua en la parte industrial.

## **1.2 Hipótesis e Interrogantes de la Investigación**

El presente trabajo está dirigido a formular estrategias de ahorro eficiente del agua en el uso y reúso que se da en un ingenio azucarero. Por ello, este estudio busca proporcionar criterios técnicos y administrativos para evaluar diferentes opciones que permitan optimizar tanto la producción de azúcar como la gestión ambiental. Ello, conlleva al planteamiento de la siguiente Hipótesis.

*1.2.1. La optimización del uso del agua y su reúso en la planta de producción disminuye el impacto ambiental.*

En esta hipótesis están implícitas estrategias como el ahorro, la recirculación y reúso del agua. También implica, el análisis de la viabilidad económica, social y ambiental de estrategias ingenieriles para optimizar el uso, reúso y tratamiento de las aguas provenientes de las afluentes de agua que surten a las plantas. Esto implicaría: Trazar estrategias de recirculación de agua residual, realizar el balance hídrico de dicha planta; Caracterizar las aguas residuales generadas en cada proceso de la producción. Establecer la factibilidad económica de las estrategias ingenieriles y evaluar el impacto social, económico y ambiental de las estrategias.

En ese sentido, surge el siguiente interrogante de investigación:

*1.2.2. ¿Cómo optimizar el uso y reúso del agua en los procesos de producción de azúcar?*

Y de este interrogante, se desprenden los siguientes:

¿Cómo se realiza el uso, reúso, disposición y tratamiento del agua durante los procesos de producción de azúcar?.

¿Cuáles alternativas son necesarias para optimizar el uso de agua en una fábrica de azúcar?.

¿Cómo debería ser el balance hídrico de una fábrica de azúcar con base en la reducción de volumen de agua consumido y vertido como agua residual?

¿Qué características poseen las aguas residuales generadas en el proceso de fabricación de azúcar?.

¿Cuáles son las posibilidades de reúso y/o recirculación del agua en cada proceso de fabricación de azúcar?.

¿Qué costos económicos tiene la implementación de la estrategia de recirculación y reúso y tratamiento del agua?

¿Cuál es el impacto ambiental, social y económico de implementar estrategias de recirculación y reúso de las aguas en un ingenio azucarero?.

## **CAPÍTULO 2: OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **2.1 Objetivo General**

Proponer estrategias para la optimización del uso del agua en una fábrica de azúcar de caña de la región.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar alternativas para la optimización del uso, posibilidades de reúso o recirculación del agua en una fábrica de azúcar de caña de la región.
- Identificar los parámetros a caracterizar las aguas residuales y proponer el cálculo balance hídrico de una fábrica de azúcar de la región.
- Proponer una estrategia para la optimización y el reúso del agua en una empresa azucarera de la región, desde la Ingeniería.
- Generar una aproximación del Impacto Ambiental, Social y Económico de la Propuesta.

### **CAPÍTULO 3: JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

En América latina, aún existen abundantes fuentes hídricas: Ríos, lagos, mares y otras, con importante caudal, lo que confiere la idea que existe abundancia del agua y que esto por el hecho de ser practicante gratuita, se puede despilfarrar sin medida alguna. Pero, la abundancia es aparente y prueba de ello es que ya en el planeta, hay pocas fuentes de agua dulce no contaminadas, los ríos han perdido su caudal, algunas zonas que en un momento eran fértiles, hoy día son desérticas. Por lo que urge, en los actuales momentos, dar relevancia el tema del uso adecuado del agua, lo que implica evitar la contaminación y el derroche de este recurso natural tan importante y de su ciclo biogeoquímico.

Debido a que la fuente hídrica de un ingenio azucarero depende de los afluentes de agua cercanos, es preciso devolverle parte del agua que se le extrae, pero sin alterar sus propiedades fisicoquímicas. Es decir, no contaminada ni alterada en sus propiedades.

Es por ello, que esta investigación se justifica en primer lugar, porque se debe reducir el consumo de agua, para así mermar la presión sobre el recurso, teniendo en cuenta que cada vez es menor la disponibilidad. Es decir, depender menos del agua, ser autosuficiente en la medida de las posibilidades, teniendo en cuenta que la caña trae agua que se le extrae. Y en segundo lugar, garantizar la sustentabilidad del ambiente, evitando los impactos ambientales.

Lo cual implica, implementar estrategias relativas a optimizar procesos industriales. Es decir, se requiere aplicar estrategias de ingeniería que hagan más eficientes y eficaces los procesos de fabricación del azúcar, sobre todo donde participan calderas, turbinas, evaporadores, condensadores, torres de enfriamiento y demás maquinaria que utiliza agua, que después de ser utilizada podría ser perjudicial al ambiente.

Así mismo, se debe optimizar los procesos de lavado de la caña, extracción del jugo o molienda; clarificación; evaporación; cristalización; separación o centrifugación, refinado y secado, se deben adecuar en función de mejorarlos dando un uso, y reúso al agua, lo que a su vez incidiría en la mejora de la producción de azúcar.

Por tanto, el investigador considera que con los conocimientos adquiridos en la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente y su formación como Ingeniero Sanitario, podrá implementarlos en diferentes contextos promoviendo el desarrollo Sostenible a través de la investigación, aplicación de experiencias y avances en materia ambiental; con lo cual se fortalece el campo laboral, profesional y social. Es decir, se aspira coadyuvar en la ordenación sostenible de los recursos naturales; aumentar la eficiencia y eficacia de los sistemas en los ingenios azucareros y reducir la vulnerabilidad de los sectores que pueden ser afectados por fenómenos climáticos.

## **CAPÍTULO 4: MARCO DE REFERENCIA**

### **4.1. Antecedentes de la Investigación**

Los antecedentes de la investigación se refieren a la revisión de trabajos previos sobre el tema en estudio, realizados en instituciones de educación superior. Constituyen fuentes secundarias, que aportan datos e información de diversa naturaleza cuantitativa y cualitativa, metodología, categorías, resultados, conclusiones, validaciones, entre otros. Para este estudio, se destaca aportes hechos en la última década en relación al uso y reúso del agua como recurso natural de trascendental importancia para la vida, la cual se ha venido afectando de manera significativa por cambios sociales, influenciados por la industrialización y la cultura. En ese sentido, a continuación, se exponen algunos estudios previos relacionados con la temática y metodología de esta investigación.

Soriano E. (2015) Realizó trabajo de grado para la universidad estatal de Guayaquil como requisito para la obtención del título de master en ingeniería ambiental, titulada: Diseño y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales de una recicladora de tanques. La investigadora, plantea la necesidad de implementar mecanismos y estrategias para evitar la contaminación que produce la empresa Talleres de Reciclaje de Tanques Jorge Ortega, la cual realiza la compra, venta, reúso de tanques metálicos y plásticos. Y en su proceso lava tanques con residuos de goma y productos químicos, lo cual genera agua residual.

La metodología utilizada por la investigadora fue el análisis de laboratorio del agua residual, realizó ensayos como prueba de jarras, conos Imhoff, para determinar procesos y cantidades de químico para la remoción de carga contaminante. Usando ecuaciones

experimentales se determinó el diseño de equipos necesarios para tratar el agua residual y cumplir la regulación municipal del Cantón Guayaquil, donde no se dispone de alcantarillado ni cuerpo receptor de agua cercano por lo que el agua tratada se destina a uso en riego de jardines cumpliendo parámetros de agua de riego conforme la Ley Ambiental. Por tanto, la investigadora concluye que la planta consta de: un tanque de neutralización, un reactor de mezcla, tanque de sedimentación, un filtro de arena, y un lecho de secado, se realizaron las pruebas de caracterización fisicoquímicas de la planta alcanzando sus análisis los valores esperados, lo que permitió el cumplimiento legal que era el objetivo planteado en esta investigación.

La anterior investigación, constituye un importante aporte a la presente, por cuanto el reciclaje es una opción viable y de ahorro importante, lo cual no solo beneficiaría a la empresa, sino al ambiente vinculado con las comunidades del municipio, ya que las personas podrían considerar esa iniciativa para utilizarla en sus hogares, (sobre todo las fincas aledañas al río Paila, que vierten agroquímicos y sustancias contaminadas a través de las aguas residuales) y así disminuir las emanaciones de desechos sólidos y químicos al río.

Hernández (2007), realizó tesis para la universidad de la Salle (facultad de ingeniería ambiental y sanitaria) titulada ahorro y uso eficiente del recurso agua en una empresa del sector de aceites y grasas vegetales de Bogotá. La investigadora destaca que la empresa objeto de estudio, requiere implementar planes de ahorro y uso eficiente del agua. Estos planes de ahorro buscan reducir los consumos y usos excesivos de agua dentro de las diferentes áreas dentro del proceso de refinación de grasas y aceites, ejecutando estrategias de mejora y capacitando al personal en el uso racional de este recurso.

La metodología consistió en realizar el control y seguimiento a los 16 contadores de agua ubicados en distintas áreas de la planta, para con ello determinar las zonas o puntos críticos del consumo de este recurso. De manera simultánea, la investigadora señaló que se realizaron capacitaciones, con el fin de concientizar al personal de la empresa en el uso eficiente. Al proponer estrategias de ahorro se tuvo en cuenta la producción de vapor, el uso del agua de calderas, la recirculación de condensados, estado de las tuberías de transporte de agua y vapor (recubrimientos térmicos), lavados, instalación de dispositivos ahorradores y por consiguiente la disminución en la generación y tratamiento de las aguas residuales, optimizando el funcionamiento de la planta de tratamiento y disminuyendo los costos de operación.

El aporte del anterior estudio es fundamental por cuanto se evidencia el interés por sistemas de reúso y/o reciclaje que son estrategias que tiene fundamento ambiental y ha generado inquietudes, dado el creciente interés de la sociedad en optimizar el aprovechamiento y conservación del recurso hídrico. Ese trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que la industria azucarera requiere ser sostenible en el tiempo, por lo que se debe tratar de disminuir la dependencia del agua de fuentes externas y mejorando la oportunidad de acceso a la comunidad aledaña, a partir de las estrategias definidas en este trabajo. Eso haría que la empresa sea sostenible en medio de la comunidad que la alberga.

#### **4.2. Marco Conceptual**

A continuación se exponen algunas definiciones generales relativas al tema de investigación según diversos autores, destacando a Sartor & Cifuentes, (2012).



- Aguas depuradas: aquellos efluentes que han sido sometidos a un tratamiento que les permite alcanzar parámetros de calidad establecidos por la normativa correspondiente.
- Aguas recicladas: aguas utilizadas más de una vez en el mismo lugar antes de ser vertidas al ciclo hídrico.
- Aguas regeneradas: aguas residuales depuradas que han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.
- Aguas residuales: aquellos efluentes del sistema cloacal urbano o de sistemas productivos sin tratamiento previo.
- Bagazo: es el residuo después de la extracción del jugo de la caña por cualquier medio, molino o prensa.
- Cachaza: impurezas resultantes de la decantación en el proceso de purificación del jugo de caña de azúcar.
- Caña: es la materia prima normalmente suministrada a la fábrica y que comprende la caña propiamente dicha, la paja, el agua y otras materias extrañas:
- Carbonatación: Procedimiento auxiliar del proceso productivo del azúcar utilizando ácido carbónico.
- Decantación: Procedimiento para eliminar partículas no deseadas, ya sea por sedimentación o flotación.
- Alcalinización: Método de purificación del jugo por medio de cal.
- Desmonte: Eliminar malezas y hierbas que perjudiquen la siembra
- Chorra: Carga de caña de azúcar; forma de acomodar o agrupar la caña.

- Fosfatación: Procedimiento auxiliar de la clarificación del jugo de caña utilizando ácido fosfórico.
- Grados Brix: Es la concentración (expresada en g de concentrado en 100 g de solución) de una solución de sacarosa pura en agua.
- Guarapo: Jugo de la caña de azúcar.
- Imbibición: Adición de agua al bagazo del molino al cual precede éste.
- Jugo Absoluto: son todas las materias disueltas en la caña, más el agua total de la caña.
- Jugo Residual: es la fracción de jugo que no ha podido ser extraída y que queda en el bagazo.
- Pol: es la concentración de sacarosa expresada en g en 100 g de solución.
- Sacarosa: forma básica de la energía en el reino vegetal, contenida entre un 8 y 15% en el azúcar
- Sulfitación: Procedimiento auxiliar de la producción de azúcar utilizando ácido sulfúrico.

### **4.3. Marco Teórico**

En esta sección se especifican los fundamentos Teóricos-Epistemológicos que lo sustentan los constructos que componen la estructura teórica a considerar en el desarrollo de un proyecto para la optimización del uso y reúso del agua en una planta azucarera.

#### **4.3.1. El agua como recurso natural no renovable**

El agua está considerada como un recurso renovable, a pesar de que se renueva a través de su ciclo biogeoquímico, pero debido al despilfarro y la contaminación se ha provocado que con el paso del tiempo, la disminución de las diferentes fuentes hídricas naturales, sobretodo la reserva potable, por lo que cualquier iniciativa encaminada al uso racional del agua debe ser bienvenida.

Por lo general, las acciones que se han tomado en las dos últimas décadas para disminuir la contaminación del agua han consistido en evitar los efectos de la contaminación, creyendo erróneamente que aminoraría el problema. Sin embargo, los resultados, demuestran que el problema se ha agravado, y así lo indica Bustos (2000):

Los resultados de las políticas ambientales en los diferentes países del planeta no son lo esperado y hoy día los problemas ambientales son más graves. Los recursos naturales han sido reducidos a niveles preocupantes. Por tanto, la realidad actual evidencia que la humanidad entera, está siendo afectada por la contaminación del ambiente. Este concepto tiene varias acepciones, destacándose la de Jurado E. (1998):

La contaminación puede definirse como la alteración de la composición normal de los Ecosistemas, el que tienen efecto directo sobre la salud del hombre o los animales y plantas, la contaminación puede tener varios efectos indeseables: molestias y deterioro, daño a la propiedad, daño a la vida vegetal y animal, daño a la salud humana. Se sabe que no todas las contaminaciones actúan de la misma manera, ni que ejercen los mismos efectos desfavorables, sobre los seres vivos y sobre el entorno, es la

naturaleza química del contaminante la que indica que tan activo y nocivo se comporta de acuerdo al tipo específico de los organismos, es decir no todos los contaminantes producen los mismos efectos en todos los organismos, aunque finalmente todos terminan igualmente por desbalancear el equilibrio vital. (Jurado, 1998)

Del anterior concepto, se aprecia que son diversos los problemas que causa la contaminación ambiental, por ello el análisis de la problemática debe hacerse desde lo histórico, sistémico, prospectivo y participativo de la realidad. Lo que implica que la problemática ambiental debe considerar la toma de conciencia frente a las problemáticas del entorno, la búsqueda de interacciones y el análisis de las causas que originan los problemas. Para que el sector industrial cumpla con este propósito se requiere, según Jurado (1998), lo siguiente:

- Las ideas surjan de la comunidad industrial.
- Diseñar proyectos dinámicos y sustentables.
- Que el primer paso sea la adquisición de conciencia del problema.
- Que la evaluación se constituya en parte de la cultura ecologista de cada organización y su implementación ha de ser gradual. (p.273)

Esos cuatro aspectos son claves para instaurar una cultura ecologista y mantener la evaluación continua como parte de la rutina, donde se den soluciones a las necesidades fundamentales de la población a la que pertenece un trabajador de una fábrica o empresa. Por ejemplo, de una planta azucarera, el uso del agua debe optimizarse y se debe enfocar con

responsabilidad y compromiso las acciones y proyectos que busquen el uso racional y la preservación del ambiente.

Esa concienciación, pasa por dar a la industrialización su justa dimensión, es decir, no dar preponderancia al desarrollo industrial por sobre la calidad de vida y del ambiente. Además, se debe estar preparado para hacer frente a fenómenos climáticos (el niño y la niña). Pero, lo que si es incuestionable, es que los ciudadanos independientemente de su rol o condición deben hacer uso racional y adecuado del agua, ya que este vital líquido ha venido mermando en cantidad y calidad. Esto se aprecia al ver afluentes de aguas dulces y saladas contaminadas, la merma en los caudales de quebradas, ríos y lagos. Además, de los efectos como: destrucción del hábitat de especies de animales y plantas que han tenido que cambiar sus hábitos y/o emigrar.

#### **4.3.2. Estrategias para el Uso Eficiente del Agua**

Son diversas las actividades humanas que se pueden realizar para la conservación del ambiente y evitar la contaminación. Sin embargo, se ha tenido que recurrir a leyes y programas para exigir a las personas un adecuado proceder en materia de cultura ecologista, donde se indica que hacer, como hacerlo y para que hacer uso de las acciones. Para cada tipo de contaminación o afectación ambiental, existen acciones específicas. En lo que concierne al uso eficiente del agua por parte de las industrias, Duque (1999), destaca que la recirculación y reúso del agua en procesos de producción reduce el consumo interno de agua (p.75). Así mismo, en la Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, (2002) de Colombia, se destaca:

El uso eficiente del agua en la industria sigue los principios de producción más limpia. Estas medidas y/o estrategias preventivas conducen a ahorros de recursos utilizados en el proceso productivo, además de evitar la generación de cargas contaminantes más allá de lo estrictamente indispensable, relacionando la conservación de agua y energía, con la optimización de procesos y operaciones, menos agua residual y por lo tanto menos necesidad de instalaciones de tratamiento y menos cantidad de agua facturada. El conservar agua significa también un ahorro en los costos de electricidad, gas, productos químicos y el tratamiento de las aguas residuales. (Duque, 1999).

Aunque en la anterior cita no se especifica alguna estrategia específica, se deja entrever que el ahorro y consumo de solo lo necesario, es la mejor estrategia. Por tanto, la planificación de la gestión ambiental debe contemplar planes y/o programas que trazan políticas de ahorro y uso eficiente del agua. Las cuales, contemplan la revisión de maquinaria, procesos y servicios, accesorios que demandan grandes cantidades de agua y que puede reducirse con técnicas de uso eficiente. En ese sentido López B. (2003), enuncia una serie de consideraciones básicas:

- Adecuar los usos y necesidades potenciales de la industria en función de las condiciones culturales, sociales y modos de producción.
- Incorporar tecnología de punta en los procesos de producción.
- Establecer un programa riguroso de control del consumo de agua.
- Construcción de sistemas alternativos de reserva de agua potable y residual.

- Evitar cualquier tipo de impacto ambiental.
- Investigar necesidades de capacitación en el uso eficiente del agua.
- Asumir criterios internacionales de calidad.
- Estimar los beneficios del uso, reúso y tratamiento de los servicios.

Para dar uso eficiente al agua se debe conocer los usos, los cuales según Ospina D. (1999) se pueden dividir en cinco grandes grupos:

- Transferencia de calor. Para el enfriamiento, se emplea la circulación de agua, por medio de torres o estanques de enfriamiento.
- Generación de energía. En la recuperación del vapor se usan condensadores, logrando establecer los volúmenes de reemplazo en un 1% del total de agua suministrada a una planta.
- Aplicación a procesos. Son muchos los procesos en los que se necesita el agua, uno de ellos es el transporte de materiales, caso en que se utilizan tuberías o canales.
- Recirculación. Consiste en utilizar el agua en el proceso donde inicialmente se usó. En general, la primera vez que el agua ha sido utilizada, cambia sus características físicas y químicas y, por lo tanto, podría requerir de algún tipo de tratamiento. Es necesario conocer la calidad del agua demandada por el proceso, el nivel de degradación de su calidad en el mismo y, por ende, el tipo de tratamiento necesario.
- Reúso. El efluente de un proceso (con o sin tratamiento) se utiliza en otro que requiere de diferente calidad del agua. Es necesario determinar la calidad del agua que

requiere cada proceso, identificar qué efluentes podrían utilizarse y, cuando corresponda, definir cuál sería el tratamiento mínimo requerido y los mecanismos para transportar el líquido. El agua producto de los procesos de lavado puede usarse nuevamente en otros que requieran de una calidad menor, como en el enfriamiento y/en el transporte de materiales.

Las estrategias anteriores, son fundamentales para cualquier programa de uso eficiente del agua. Sin embargo, estos deben estar en un marco de planificación estratégica del sector industrial, donde se establezca un plan de acción y un cronograma que indique la secuencia de actividades, como: análisis del consumo diario, semanal y mensual de agua; usos que se le da (procesos, limpieza, consumo humano, baños, etc.). Con ello, se podrá reprogramar cómo usar mejor el agua y se podrá motivar a que los trabajadores participen en el ahorro de este líquido.

#### **4.3.3. Sugerencias para el mejoramiento del balance de agua en un ingenio**

Castellanos *et. al.* (2005) destacan que el consumo de agua en la industria azucarera puede convertirse en un problema, siempre y cuando no se establezcan los requerimientos técnicos y administrativos adecuados. Por lo que los referidos autores indican una serie de sugerencias para mejorar sustancialmente las condiciones del balance de agua en un ingenio azucarero. El basamento fundamental de esas sugerencias está orientado según tres direcciones fundamentales:

- El uso que se le dé al agua en el ingenio
- Las causas fundamentales que influyen en el consumo de agua en el ingenio, y,



- La filosofía de operar bien, con profesionalidad y sin pérdidas e impactos ambientales negativos, manteniendo en el nivel más alto la eficiencia termo energética de la fábrica. Para ello es necesario: a) Aplicar el sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía para el recurso agua; b) Desarrollar un esquema de diagnóstico del recurso agua para la fábrica. c) Formular las condiciones para la aplicación de la herramienta “wáter pinch”, que significa pellizco de agua y que es una técnica sistemática para reducir el consumo de agua y la generación de aguas residuales mediante la integración de actividades o procesos de uso de agua. Desarrollar esta herramienta para concebir mejoras en los esquemas de uso y reúso del agua.

A través de esas estrategias es posible garantizar, no solo los controles a través de aparatos (termómetros, barómetros, densímetros, válvulas y otros), siempre y cuando estén dispuestos en sitios precisos, sino que además establecería el control de entrada y salida del agua para ello se requieren software y personal de administración en cada uno de los procesos.

#### **4.3.4. El agua como medio de disipación de calor producido por las máquinas**

(Primera Ley de la termodinámica). En este contexto, la empresa objeto de estudio, cuyo desarrollo económico ha dado valor significativo al desarrollo regional y nacional durante 101 años, en el transcurso de ese tiempo, ha dado beneficios, pero también ha asumido la responsabilidad social y ambiental a través del manejo eficiente del recurso hídrico y prácticas de bajo consumo, donde se articula la formulación de estrategias de ahorro y uso eficiente de agua para el proceso de producción de diversos productos, teniendo como base la caña de azúcar.

Los diversos procesos que se dan en las industrias vinculadas a la refinera de azúcar se basan en los principios y/o leyes de la termodinámica y los cambios donde hay transferencias de energía debido a cambios dentro de las temperaturas en diferentes sistemas involucrados. El enunciado de esta ley se expone a continuación:

Ley cero (equilibrio térmico): Si dos objetos A y B están separadamente en equilibrio térmico con un objeto C, entonces A y B están en equilibrio térmico entre sí. Esto puede aplicarse a numerosos procesos dentro de la ingeniería mecánica.

La primera ley de la termodinámica es un caso especial de la ley de la conservación de la energía, la cual comprende dos etapas: Cambios en la energía interna de la materia y transformación de energía por calor y trabajo. Se podría afirmar, que no existen procesos mecánicos dentro de las industrias, donde no haya transferencias y transformaciones de energía, es decir, donde no se apliquen las leyes de la termodinámica.

#### **4.3.5. El agua como medio fundamental para la producción de azúcar y derivados**

El agua es esencial para la vida de los seres vivos, en el planeta tierra puede encontrarse en tres estados diferentes: sólido, líquido y gaseoso. Cumple un ciclo denominado biogeoquímico, lo que implica que puede pasar por cada uno de estos estados. Pero también se requiere para el equilibrio térmico y los fenómenos geológicos. Por tanto, el agua la requieren todos los animales y las plantas, sin ella no habría fotosíntesis y por lo tanto, no se produciría oxígeno. Es decir, no habría vida, tal y como se conoce en el planeta tierra. Entonces es de gran importancia que se cumpla el ciclo del agua, tanto para la vida como para el equilibrio en el planeta.

En virtud, de que el ciclo del agua se ha visto perturbado por la contaminación, talas y quemas de bosques, construcción excesiva de viviendas en sitios inapropiados, crecimiento agrícola, y prácticas culturales como uso de sprays o sustancias que deterioran la capa de ozono y otros, se ha conllevado a que se produzca el calentamiento global y otros cambios como: deshielo en los polos, aumento de la temperatura del planeta, fenómeno del niño que genera climas extremos, inundaciones, sequias y otros.

Y debido a que solamente el 2,5% del agua en el planeta es agua dulce, pero adicionalmente a esto, el 70% de ese monto, está en forma de hielo en los casquetes polares, y el agua restante se encuentra en fuentes subterráneas, significa que solo una pequeña parte del agua dulce está disponible en fuentes superficiales (quebradas, ríos, lagos, manantiales). Si a la pequeña porción de agua que existe, se le suma por un lado el despilfarro que los seres humanos le da y por el otro, la contaminación e impacto ambiental sobre los efluentes, entonces, los seres humanos deben tomar conciencia al respecto y buscar alternativas para que actividades tan importantes como la agricultura, no se vean afectadas ni por escasez, ni por contaminación.

En consecuencia, los diversos usos del agua, como las actividades domésticas, el riego de plantaciones y el uso industrial, debe hacerse bajo ciertas condiciones y parámetros con criterios científicos. Al respecto Ruiz F. (1995), advierte: “El consumo total de agua dulce para las diversas actividades no puede exceder la tasa de reposición natural del agua dulce, de ser así, el consumo de agua sería insostenible”. A esta situación se le agrega, que últimamente se utiliza como riego para el desarrollo de cultivos extensivos como el maíz y la caña de azúcar como fuentes para la extracción de biocombustibles.

El cultivo de caña según estudio realizado por Danny Waldir Ibarra Vega (2017), indica:

Se pudo establecer que el agua requerida para producir bioetanol de caña de azúcar equivale a 9.000 metros cúbicos/año por cada hectárea cultivada, lo cual estaría generando una competencia por este recurso entre las diferentes actividades que se abastecen de las cuencas hídricas, incluyendo el consumo humano. (Ibarra, 2017)

De acuerdo con este investigador, Colombia cuenta con alrededor de 232.000 hectáreas de caña de azúcar, lo que implica que producir este biocombustible, que es utilizado principalmente para mezclarlo con la gasolina, se estarían consumiendo 2.000 millones de metros cúbicos de agua al año. Y agrega el investigador: Hasta el momento el Gobierno nacional no ha establecido una política con respecto a la cantidad de agua que se pueda estimar y destinar para la producción de este biocombustible, Por tanto, las fuentes hídricas principales de los cultivos como son los ríos se verán afectados y podría ocurrir un colapso hídrico. (Ibarra, 2017).

Ante lo cual sugiere:

La solución a corto plazo es que el Gobierno piense en implementar sistemas de riego mucho más eficientes o estimar límites de producción según la cantidad de agua disponible, y así conocer cuánto se podría producir de bioetanol. Así no se pondría en riesgo a la población en cuanto al desabastecimiento de agua potable o el abastecimiento de otros cultivos agrícolas que captan agua de la misma zona, (Universidad Nacional de Colombia, 2019)

Otro aspecto importante destacado por el investigador es que por cada litro de etanol de caña de azúcar producido se generan entre 2 y 3 litros de aguas residuales, lo que implica que la producción de 1.650.000 litros/día de bioetanol genera alrededor de 5 millones de litros de agua residual. Ese proceso de destilería es aparte y la carga en los vertimientos es mínima comparada con las de la fábrica de azúcar.

#### **4.3.6. Productos Elaborados de la Caña y el Proceso de Obtención del Azúcar**

La caña de azúcar, es de la familia de las gramíneas (Gramineae), su nombre científico es *Saccharum officinarum*. Se cultiva fundamentalmente en países tropicales y subtropicales de todo el mundo, por el azúcar en forma de sacarosa que contiene en los tallos. Por tanto, se utiliza preferentemente para la obtención de Azúcar, pero también como materia prima para una amplia gama de derivados, especialmente el alcohol, que puede utilizar tanto para producir bebidas alcohólicas, como para ser utilizado como combustible líquido. Otro uso importante, que se le da en Colombia, es en la elaboración de panelas.

Con base en los criterios Chen (1991) el proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña de azúcar consta de 8 etapas perfectamente diferenciadas, que son:

- **Recepción, descarga y alimentación de la caña:** Esta área del departamento de maquinaria recibe el nombre de Batey, las cañas a moler son transportada por diversos medios (remolques, camiones, vagones de ferrocarril, etc.), las cuales son pesadas en básculas anexas a las fábricas.

- **Preparación de la caña:** Consiste en adecuar la caña en cuanto a tamaño y limpieza para la extracción del jugo.
- **Extracción del Jugo:** La caña es desmenuzada con cuchillas rotatorias y una desfibradora antes de molerla para facilitar la extracción del jugo que se hace pasándola en serie, entre los filtros, o mazas de los molinos. Se utiliza agua en contracorriente para ayudar a la extracción que llega a 94 o 95% del azúcar contenida en la caña.
- **Molinos y conductores:** La caña, una vez preparada según los pasos anteriores, cae al primer molino, de éste a través de un conductor intermedio pasa a un segundo molino y así sucesivamente atraviesa hasta el último molino según el tamaño de la batería (4 a 7 molinos los más usados).
- **Central molino o Masas:** El molino consta normalmente de 3 cilindros (2 inferiores y 1 superior entre y arriba de los dos primeros), su misión es la extracción del jugo de la caña, en un principio estos cilindros eran lisos pero posteriormente y hasta la fecha se dotaron de ranuras (o rayados), pues esto ayuda a la extracción y al agarre del bagazo, al pasar entre los cilindros (mazas), las ranuras varían en su paso y su altura pero en la actualidad se están optando por generalizar a los tamaños mayores usados (2" o 3") de paso.
- **Conductores:** Son los encargados de llevar el bagazo de un molino a otro, existen varios tipos: los de cadena de arrastre o de rastrillo, los de tablilla persiana, de banda, etc. Para el mejoramiento de la extracción de jugo del bagazo se adopta (generalmente antes del último molino) la adición de agua al bagazo. En los molinos anteriores se adiciona jugo diluido del molino al cual precede y a esto se le llama imbibición (simple o compuesta).

- **Purificación del Jugo: Clarificación:** El jugo de color verde oscuro procedente de los molinos es ácido y turbio. El proceso de clarificación, diseñado para remover las impurezas tanto solubles como insolubles, emplea en forma general, cal y calor (agentes clarificantes). La lechada de cal, alrededor de 16 L (0,5 kg) (CaO) por tonelada de caña, neutraliza la acidez natural del guarapo, formando sales insolubles de calcio. El jugo clarificado, transparente y de un color parduzco, pasa a los evaporadores sin tratamiento adicional.
- **Evaporación:** El jugo clarificado, que tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído, excepto las impurezas precipitadas por el tratamiento con cal, contiene aproximadamente un 85 % de agua. Dos terceras partes de esta agua se evapora en evaporadores de vacío de múltiple efecto, con esta operación se convierte en meladura. Todo este proceso de ebullición ocurre al vacío.
- **Clarificación del Jugo Crudo:** El proceso es similar a la fosfatación del refundido en unas refinerías de azúcar. En este caso, se añaden al jarabe o meladura cal y ácido fosfórico, luego se airea junto con la adición de un polímero floculante.
- **Cristalización:** La meladura pasa a los tachos donde continúa la evaporación de agua, lo que ocasiona la cristalización del azúcar. Es decir que, al seguir eliminando agua, llega un momento en el cual, el azúcar disuelto en la meladura se deposita en forma de cristales de sacarosa. Los tachos trabajan con vacío para efectuar la evaporación a baja temperatura y evitar así la caramelización del azúcar. En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de medio para los cristales de azúcar, y se va añadiendo más jarabe según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho. La templa (el contenido del tacho) se descarga luego por medio de una válvula de pie a un mezclador o cristalizador.

- **Centrifugación o Purga y Re-ebullición de las Mieles:** En los tachos se obtiene una masa, denominada masa cocida, que es mezcla de cristales de azúcar y miel. La separación se hace por centrifugación en las máquinas destinadas a esa labor. De las centrífugas sale azúcar cruda y miel. La miel se retorna a los tachos para dos etapas adicionales de cristalización que termina con los conocimientos, o melaza. El azúcar de tercera se utiliza como pie para la cristalización del segundo conocimiento y el azúcar de segunda para el conocimiento de primera.
- **Refinación:** El azúcar de primera es refundida o disuelta con agua; luego es aireado en un recipiente a presión y pasa a las clarificadoras donde las impurezas flotan y el licor clarificado es extraído por la parte inferior. El licor clarificado es pasado por los filtros de lecho profundo donde se eliminan el resto de las impurezas, y de allí el filtrado es entregado a los tachos de refinación. Igual que en los tachos de crudo en estos tachos se elimina agua y se obtiene azúcar refinada cristalizada. La miel es retornada al conocimiento de crudo para mezclarse con la meladura y la azúcar húmeda de las centrifugas pasa a los secadores y de allí al envase.

Esos procesos, obedecen a particularidades que se dan de acuerdo con características de cada país donde se implementen, por lo que seguidamente se indican pormenores del proceso de producción de azúcar en Latinoamérica, y particularmente en Colombia.

- **Nivelación y picado.** La caña antes de ingresar al molino pasa por un juego de niveladora y dos picadoras con el objeto de prepararla adecuadamente para la extracción de jugo en los molinos. Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, dotadas de cuchillas que giran a una velocidad aproximada de 650 r.p.m., que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño más uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos. Los conductores están provistos de sensores de nivel que



forman parte de un sistema automático de control de carga que regula la alimentación a las picadoras y molinos.

- **Molienda:** La caña preparada por las picadoras llega a un tándem de molinos, constituido cada uno de ellos por tres o cuatro mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. La caña al pasar por el molino, después de haber sido preparada por las picadoras, pierde aproximadamente entre 70 a 80% de su peso en jugo. Para lograr una buena extracción se lava el bagazo con agua o jugo pobre en sacarosa, esto se hace al salir de cada molino para diluir la sacarosa que aún está contenida en el bagazo y así aumentar la extracción para alcanzar más del 85% del azúcar que contenía la caña. Cada molino está equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua, generalmente caliente, y jugo pobre en sacarosa para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso, a este procedimiento se le llama imbibición compuesta.

En cambio, al proceso de extracción del jugo se le denomina maceración. El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a una bagacera (lugar de almacenamiento del bagazo) y luego se alimenta a las calderas como combustible, produciendo el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos. El bagazo que sale de los molinos tiene aproximadamente 50% de humedad, 2-3% de sacarosa y 47% de fibra. El vapor de escape de las últimas turbinas se emplea en las operaciones de evaporación y cocimiento de los jugos azucarados.

- **Purificación - Sulfitación:** El objetivo principal de esta etapa es producir anhídrido sulfuroso  $\text{SO}_2$ , evitando la sublimación del azufre y mezclarlo con el jugo de caña para eliminar materiales colorantes y transformar a las sales férricas que se forman en tanques y tuberías en compuestos ferrosos incoloros. Para lograr la sulfitación del jugo mixto, se debe originar un

efecto de vacío lo que ayudara a producir la absorción del anhídrido sulfuroso ingresado por la parte inferior con el jugo mixto depositado por la parte superior de torre, para favorecer a la reacción – reducción de óxidos, eliminación de materiales colorantes y transformación de las sales férricas en compuestos ferrosos incoloros.

- **Clarificación:** El objetivo de este proceso es obtener un jugo claro de color amarillo brillante, transparente y sedimentar todos los precipitados (cachaza) formados en el encalado para producir un jugo cristalino. Antes de ingresar al tanque de clarificación el jugo encalado pasa por varios calentadores, para aumentar su temperatura a un valor aproximado de 92-100°C. Cuando el jugo encalado obtiene la temperatura apta, se mezcla con un compuesto preparado denominado “floculante”, en el clarificador, por un tiempo de 1 a 3 horas de retención. El clarificador está compuesto por un agitador mecánico que sirve para retirar los sólidos precipitados en forma de lodo llamados “cachaza” producido por la sedimentación del jugo, mientras tanto el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Este jugo claro con valor de pH 6,6 – 7,2 pasa por calentadores para elevar su temperatura y enviarlo a los evaporadores.
- **Clarificación – Filtro de Cachaza:** La cachaza sedimentada del proceso de clarificación se debe tratar con agua caliente en un filtro rotativo al vacío para extraer la mayor cantidad de sacarosa posible y reenviarlo al proceso de encalado para ser tratado nuevamente, mientras que la materia sólida resultante de este proceso se conduce a unas tolvas, donde se mezcla con la ceniza que sale de las calderas. Esta mezcla se utiliza en el campo, en la adecuación de suelos pobres en materia orgánica.
- **Evaporación:** El objetivo de este proceso es concentrar el jugo claro proveniente del clarificador, para obtener un jarabe de 60-65° Brix de concentración. La estación de evaporación

consta de un evaporador principal que recibe el nombre de pre evaporador y cuatro líneas de evaporadores en arreglo de cuádruple, cada línea de evaporación esta provista de instrumentación y equipos de control. El jugo clarificado se recibe en los evaporadores con un contenido de sólidos de 15°Brix, se concentra por evaporación de múltiple efecto y se entrega con una concentración aproximada de 60-65°Brix. Este jugo concentrado se denomina “Jarabe o meladura”. En este proceso se comienza a evaporar el agua del jugo. El jugo claro posee casi la misma composición del crudo extraído (con la excepción de las impurezas eliminadas en la cachaza). Este proceso se da en evaporadores de múltiples efectos al vacío, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. El jugo entra primero en el pre evaporador y se calienta hasta el punto de ebullición. Al comenzar a ebulir se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así un menor punto de ebullición en cada evaporador. En el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o meladura. La meladura es purificada en un clarificador. La operación es similar a la anterior para clarificar el jugo filtrado.

- **Clarificación de la Meladura:** La meladura sufre un nuevo proceso de purificación en un clarificador por flotación con el objeto de remover impurezas, para asegurar que en el producto final no haya presencia de sólidos extraños.
- **Centrifugación:** La centrifuga permite “separar la sacarosa de la miel”. La masa pasa por las centrifugas, máquinas giratorias en las cuales los cristales se separan del licor madre por medio de una masa centrifuga aplicada a tambores rotatorios que contienen mallas interiores. Durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente para eliminar la película de miel que recubre los cristales residuos de miel. La miel que sale de las centrifugas se bombea

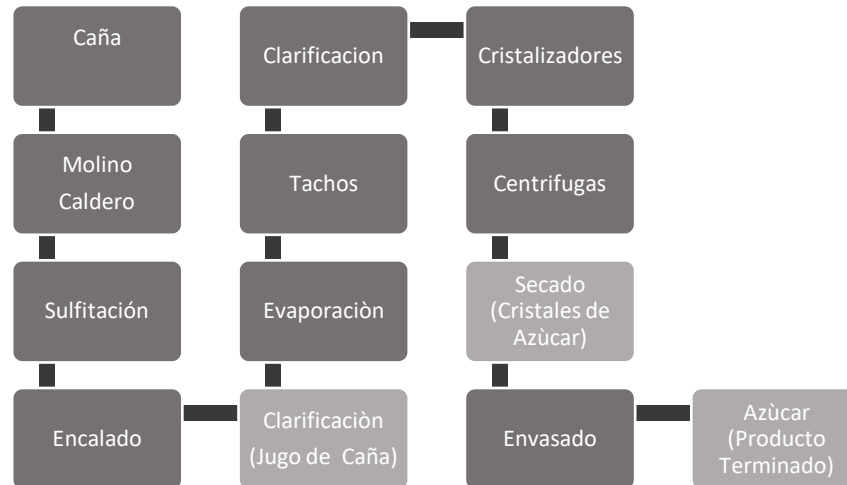
a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos.

Al cabo de tres cristalizaciones sucesivas en los tachos se obtiene una miel final que se retira del proceso y se comercializa para la alimentación de ganado o como materia prima para la elaboración de alcoholes. Cuando se está produciendo azúcar doblemente cristalizado, el azúcar obtenido en las centrifugas se disuelve con agua caliente en un disolvente de azúcar, para luego ser enviado al proceso de evapo – cristalización en los tachos con el objeto de remover color y obtener con valores adecuados para producir azúcar.

- **Secado, Enfriamiento y Envase:** El azúcar se seca a una temperatura cercana a 60°C, se pasa por los enfriadores rotatorios inclinados que llevan el aire frío en contracorriente, en donde se disminuye su temperatura hasta aproximadamente 40-45°C para conducir al envasado. El azúcar seca y fría se empaca en sacos de diferentes pesos y presentaciones dependiendo del mercado y se despacha a la bodega de producto terminado para su posterior venta y comercio.
- **Presentación del producto:** Los tipos de azúcar se clasifica dependiendo del gusto del consumidor: *Crudo, Mascabado o Morena:* se produce en cristales de mayor tamaño y conserva una película de melaza que envuelve cada cristal. *El azúcar refinado* es el producto cristalizado constituido esencialmente por cristales sueltos de sacarosa obtenidos a partir de la fundición de azúcar crudo o blanco y mediante los procedimientos industriales apropiados.
- **Miel Final o Melaza de Caña:** líquido denso y viscoso obtenido por la centrifugación de la masa cocida final y del cual no es posible recuperar, económicamente, más sacarosa por los métodos usuales.

Las etapas del proceso de elaboración del azúcar se indican de manera esquemática en la figura

1.



**Figura 1.** Esquema del proceso azucarero. Fuente: el autor. Según datos de Gálvez (2009).

#### 4.3.7. Marco Legal

El marco legal en que se inscribe esta investigación se enfoca básicamente:

**Ley 373 de junio 6 de 1997:** (Colombia, 1997, L373), Expedido por el congreso. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Así mismo existen decretos conexos con esta ley, que reglamentan el uso del agua y residuos líquidos tomando como guía la caracterización y evaluación de los residuos líquidos del proceso de producción de caña de azúcar de la empresa manufacturera, ya que el reúso es una opción viable como medida de ahorro de agua en dicho proceso.

**Decreto 3102 de diciembre 30 de 1997:** Expedido por el Ministerio de Desarrollo Económico. Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la ley 373 de 1997, en relación con la

instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua. En el programa para uso eficiente y ahorro de agua se establecen medidas de control y reducción para los procesos y actividades de la empresa que pueden ser tomados como base para la elaboración de las medidas de reducción evaluadas durante el desarrollo del presente trabajo

Además, la Certificación ISO 14001, que es relativa a la de gestión ambiental enfocada fundamentalmente a la calidad del producto.

**Decreto 3930 de 2010:** Expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. Usos del agua y residuos líquidos

**Decreto 4728 de 2010.** Expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. Modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010" Estos decretos, donde se reglamenta el uso del agua y residuos líquidos se toman como guía en la caracterización y evaluación de los residuos líquidos del proceso de fosfatizado de la empresa manufacturera, ya que el reuso es una opción viable como medida de ahorro de agua en dicho proceso.

**Resolución 1207 del 2014:** Expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por el cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Establece, en el artículo 2, como agua residual tratada, aquella sometida a operaciones o procesos unitarios de tratamiento que permiten cumplir con los criterios de calidad requeridos para su reúso y en el artículo 4, establece que si la totalidad de las aguas residuales tratadas se reúsan no se requiere permiso de vertimientos y no habrá lugar al pago de la correspondiente tasa retributiva.

En el artículo 6, se establecen como uso agrícola para el agua residual tratada, las siguientes actividades de riego: para cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, para cultivos no

alimenticios para humanos o animales, para cultivos de fibras celulósicas y derivados, para cultivos para la obtención de biocombustibles, para cultivos forestales y para cultivos alimenticios que no sean de consumo directo para humanos o animales. El agua residual tratada utilizada en el riego, debe cumplir con los criterios de calidad condensados en la resolución. En el artículo 8 se establece, que además de cumplir con los criterios de calidad para el reúso, se debe cumplir con una distancia mínima de retiro de 90 m de cuerpos de agua superficial, 90 m de fuentes de agua subterránea y 30 m de áreas con acceso de personal, si el riego es realizado por aspersión, al momento de realizar la actividad de reúso.

Si el generador de aguas residuales realiza un tratamiento previo a éstas y luego las reúsa completamente, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 1207 del 2014, no estaría generando vertimientos y por tal motivo no requiere solicitar el permiso de vertimientos ni pagar la tasa retributiva, tal como lo expresa el artículo 4 de la Resolución. No obstante, la autoridad ambiental puede exigir la caracterización del agua tratada antes de su reúso, cuyo costo del servicio es variable dependiendo de los parámetros solicitados que permitan certificar su idoneidad para el reúso que se esté realizando.

**Resolución 631 del 2015:** Expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

En el artículo 9 se establecen los parámetros físico-químicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de agua superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería.

| PARÁMETRO   | UNIDADES            | PROCESOS POSTCOSECHA DE PLÁTANO Y BANANO | PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y DERIVADOS A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR | EXTRACCIÓN DE ACEITES DE ORIGEN VEGETAL |
|---|---------------------|--|---|---|
| <b>Generales</b>                                  |                     |  |   |   |
| pH  | Unidades, de pH     | 6,00 a 9,00                              | 6,00 a 9,00   | 6,00 a 9,00                             |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | mg/L O <sub>2</sub> | 200,00                                   | 900,00  | 1.500,00                                |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | mg/L O <sub>2</sub> | 50,00                                    | 500,00  | 600,00                                  |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST)                 | mg/L                | 100,00                                   | 200,00  | 400,00                                  |
| Sólidos Sedimentables (SSED)                      | mL/L                | 5,00                                     | 2,00  | 2,00                                    |
| Grasas y Aceites                                  | mg/L                | 10,00                                    | 20,00   | 20,00                                   |
| Compuestos Semivolátiles Fenólicos                | mg/L                | Análisis y Reporte                       | Análisis y Reporte  | Análisis y Reporte                      |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)     | mg/L                | Análisis y Reporte                       | Análisis y Reporte  | Análisis y Reporte                      |
| <b>Hidrocarburos</b>                              |                     |  |   |   |
| Hidrocarburos Totales (HTP)                       | mg/L                |  | 10,00   | 10,00                                   |
| <b>Compuestos de Fósforo</b>                      |                     |  |   |   |

**Decreto único 1076 del 2015:** Expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por medio del cual se expide el Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

**Decreto 50 del 2018:** Expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones"



## **CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA**

La presente investigación se inscribe en las características propias de una investigación de Campo, según Sabino (1997) “la investigación de campo se aplica cuando los datos se recogen directamente de la realidad” (p.15) Asimismo, de acuerdo al propósito de la investigación, esta se circunscribe en la modalidad de tipo proyecto factible, según Tamayo (2003), un proyecto factible es conocido como “la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo factible para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales, que puede también referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos” (p. 16). Por consiguiente, se propone Generar una propuesta basada en estrategias ingenieriles para la optimización del uso y reúso del agua.

### **5.1. Diseño de la Investigación**

El diseño de investigación constituye el camino a seguir para la búsqueda de la solución a la problemática de la investigación y sus particularidades. El concepto de diseño de la investigación de acuerdo con la concepción lingüística común del término, como traza, bosquejo, esbozo de algo. Así se contempla como:

(...) la concepción de la forma de realizar la prueba que supone toda investigación científica concreta, tanto en el aspecto de la disposición y enlace de los elementos que intervienen en ella como el del plan a seguir en la obtención y tratamiento de los datos necesarios para verificarla.

(Bravo, 2000, p.322).

De acuerdo al concepto anterior y considerando que los diseños puede ser “experimentales o no experimentales” (Hernández, y otros 1998). Como el propósito del estudio, la investigación se ajustó al diseño no experimental porque no se está construyendo ninguna situación, ni la está provocando el investigador; sino que se observará la ya existente con el propósito de generar estrategias ingenieriles para la implementación en un tiempo preciso y un espacio determinado.

Por lo que con base en el método que direcciona el desarrollo de este trabajo, que esta guiado por tres fases: diagnóstica (objetivo 1); descriptiva (objetivo 2) y proyectiva (objetivo 3). Las cuales tienen como propósito central, la caracterización del evento de estudio, circunscribirlo en un marco teórico referencial y elaborar una propuesta a partir de esos aspectos.

Para el diagnóstico se buscó especificar las características y propiedades importantes del proceso sometido a análisis. Es decir, lo que se realiza en la planta en cuanto al control del uso y reúso del agua. La recolección de la información se realizó a través de formatos. Luego se organizaron, compararon e interpretaron los datos obtenidos.

En cuanto el estudio descriptivo, se realizó mediante la relación del ser con el deber ser, es decir, lo que se realiza en la planta y lo que según la teoría debería realizarse.

El estudio proyectivo define el camino a seguir, para alcanzar fines y metas de optimizar los procesos en cuanto a uso y reúso del agua para la reducción del consumo externo.

## **5.2. Población**

Según Tamayo y Tamayo (1995) "La población es la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de población poseen características comunes, las cuales se estudian y dan

origen a los datos de investigación. (p.114). Por otra parte, para Hernández, Fernández y Baptista (2003), la población, "Se reconoce como las unidades de investigación que integran la totalidad del fenómeno a investigar y pueden ser personas, máquinas, animales, granjas, tiendas, hogares, entre otros." (p.59).

Por lo que este estudio considera como población las fases básicas del proceso de producción de azúcar que son: Recepción, Extracción del Jugo, Molinos y conductores, Evaporación, Clarificación del Jugo Crudo, Cristalización, Centrifugación o Purga y Refinación.

### **5.3. Técnicas para la Recolección de la Información**

Para esta investigación se utilizaron planos de la fábrica objeto de estudio, información de caracterizaciones y mediciones de flujo realizadas, equipos de medición de flujo, características de operación de los equipos y la disponibilidad de un laboratorio propio y contratado para la ejecución de las caracterizaciones realizadas y para las pruebas de trazabilidad del agua con fines de reúso.

Se realizó la revisión bibliográfica de operación de los procesos y con el personal técnico se determinó la necesidad en cantidad y calidad de agua de cada proceso. Esto para comparar con la condición ideal de operación de los equipos.

### **5.4. Técnicas para el análisis de resultados**

Teniendo en cuenta la información y datos encontrados en la fase de diagnóstico, se consideró técnicas adecuadas para cada proceso, así:

Análisis de registros en las gráficas de consumo de agua y de indicadores de consumo de agua en cada proceso de la planta, previo se hizo prueba piloto donde se obtuvo valores en relación a uso y reúso de agua (parámetros básicos) en cada proceso en condiciones normales de trabajo. Haciendo evidente, que para lograr que el ahorro sea constante y efectivo, se plantean estrategias que requieren modificaciones físicas de la zona del proceso y cambios culturales en las personas que operan el sistema.

## **CAPÍTULO 6. RESULTADOS**

Como resultado de la investigación y para dar respuesta a los objetivos específicos planteados, se desarrolló una propuesta para reducir el consumo de agua proveniente de fuentes externas, a partir de unos circuitos de reúso de agua residual tratada según sea conveniente o no, con datos de demanda de equipos que determinan parámetros o indicadores que evidencian la calidad y cantidad de agua en la planta.

### **6.1. Objetivo específico 1. Identificar alternativas para la optimización del uso, posibilidades de reúso o recirculación del agua en una fábrica de azúcar de caña de la región**

Las las industrias azucareras requieren grandes cantidades de agua provenientes de diversos afluentes cercanos a las instalaciones. Como recurso debe administrarse a través de un sistema de gestión ambiental y empresarial; en el cual se considere su estabilidad física, química, respetando su relación biológica o sociocultural. Con ello encontramos que en los procesos se da diversos usos al agua, en los cuales se mezclan con otras sustancias alterando sus propiedades. En el caso de los ingenios azucareros se generan mezclas líquidas producto de combinaciones del agua con otras sustancias o líquidos diversos, que por lo general no son reusados, sino vertidos a los afluentes naturales provocando alteraciones de los ecosistemas e impacto ambiental a pesar de haber sido sometidos a tratamiento previo (Pérez, 2011).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - SAGARPA de los Estados Unidos Mexicanos en asocio con el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar – CONADESUCA y la Universidad Autónoma de

Chapingo, en su Boletín Técnico Informativo (2016), refieren que actualmente ante tal situación, ya se vienen aplicando innovaciones al proceso productivo del azúcar, con un impacto directo en lo que respecta al ahorro de agua. **Una de ellas, es la tecnología de lavado en seco**, que admite la adaptación a los requerimientos específicos de cada industria, el primero en Latinoamérica en utilizar esta tecnología fue el Ingenio La Unión de Guatemala, así mismo, para limpiar la caña que viene directamente del campo, no usa agua sino **el sistema de vibración** que además permite reutilizar lo extraído, como tierra y basura en abono o el bagazo en producir energía eléctrica, para su propia operación o vender. Mencionan igualmente, que en Argentina, el Ingenio Concepción, ha desarrollado un sistema innovador de circuitos interrelacionados de reúso de agua, los cuales son:

**De vapor vegetal.** - recupera los condensados de los evaporadores y tachos de cocimiento para usarlos como agua de imbibición, de lavado de centrifugas de crudo y refinado, de disolución en refinería, o para el lavado de tachos, filtros y trapiche.

**De lavado de humus y grilla.** - Los efluentes del limpiador de gases y parrilla se filtran y realimentan el sistema.

**De vapor de caldera.** - el vapor se condensa y retorna a la caldera.

**Agua para condensador barométrico.** - conforma el mayor volumen de agua usada en el proceso de fabricación de azúcar, por la poca eficiencia de los condensadores barométricos en la transferencia de energía, se recicla mediante un sistema de enfriamiento para mantener la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del condensador.

**Refrigeración, cristalizadores de vacío.** - reuso del agua de refrigeración de cristalizadores y filtros de vacío.

Así mismo, en dicho Boletín, afirman que las aguas residuales de la actividad de la industria de la caña de azúcar podrán reusarse y optimizar el uso del agua, mediante plantas de tratamiento determinando previamente su viabilidad económica y medioambiental. Las técnicas que mencionan se refieren a: Tecnologías de desmineralización, Evaporadores al vacío, Cristalizadores, Depuradoras físico-químicas, Membranas de filtración, Tratamiento biológico de aguas residuales. Este tratamiento debe verificar su conveniencia o estado previo a su vertido, dado que existe la posibilidad que contengan compuestos tóxicos, material no degradado en su totalidad, un pH no neutral, entre otros; requiriendo ajustar los procesos para un adecuado tratamiento.

Finaliza con la afirmación, que el uso de estas tecnologías, además de permitir su reciclaje para el reúso en los procesos productivos, facilita adaptarse a los topes de vertimiento que determina la ley, aspecto que reduce el riesgo de sanciones o efectos negativos en el ámbito económico, social y ambiental (SAGARPA; CONDESUCA, Universidad Autónoma de Chapingo, 2016).

Valera B. (2016), sugiere para los efluentes de los vapores, implementar tratamientos para mejorar la temperatura y el pH, en aras del reúso del agua, recalca que el efluente de molinos necesita un tratamiento secundario, dado que contiene gran cantidad de materia orgánica y sólidos; mientras que los efluentes del lavado de gases, de métodos de sedimentación. Por otro lado, que los tratamientos secundarios que usan microorganismos, teniendo en cuenta lo natural de su proceso, facilitan la reducción de la demanda química y biológica de oxígeno - DQO y DBO, a raíz de la conversión de la materia orgánica en sólidos sedimentables que igualmente pueden ser tratados en sedimentadores.

Citando a Trinidad (2013) y Viracucha (2012) refiere que, en concordancia a investigaciones realizada en México, el uso de métodos secundarios de riego para la descontaminación de aguas residuales ha mejorado las propiedades químicas del suelo, en lo relevante al contenido de materia orgánica, pH, nitrógeno y fósforo. En cuanto al uso de métodos con procesos aerobios en donde el oxígeno es quien da lugar a las reacciones de descontaminación, es usado por los microorganismos para su metabolismo y reproducción, procesos mismos que reducen de forma natural la cantidad de materia orgánica y la transforman en energía (Trinidad, 2003; Viracucha, 2012).

Por su parte, el tratamiento de encalado, para la corrección de pH adiciona, a las aguas residuales con un pH bajo o menor a 6, una dosis de cal; el propósito de su implementación radica en prevenir que las tuberías o canales se afecten por corrosión, además de la regulación de los procesos de los microorganismos que hacen presencia en los métodos secundarios y de lodos activados. Con relación al agua de condensados y de evaporador de efecto, aduce que es posible usarla en la fase de enfriamiento, previamente tratada en lo que respecta a mejorar la temperatura y el pH. Para el agua del lavado de cenizas (Scrubber y precipitador electrostático), se podrán utilizar métodos con sedimentadores y un prolongado tiempo de retención, para posteriormente usar las cenizas a modo de abono y el agua para adicionarla al proceso de clarificación (Valera B., 2016). La tabla a continuación presenta las alternativas que menciona para el tratamiento de aguas residuales:



Tabla 1. Alternativas para el tratamiento de aguas residuales en la fabricación de azúcar

| <b>Efluentes</b>     | <b>Tratamiento</b>                    | <b>Destino</b>        |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Brasileña            | Sedimentación y lagunas retenedoras   | Riego                 |
| Condensado de tachos | Aireación                             | Reutilización         |
| Evaporador efecto    | Aireación                             | Reutilización         |
| Parshall             | Encalado, Aireación y lodos activados | Riego                 |
| Molinos              | Encalado y Lodos activados            | Reutilización o riego |
| Precipitador         | Sedimentación y lagunas retenedoras   | Reutilización y riego |
| Limpieza química     | Encalado y Lodos activados            | Descarga              |

Fuente: Valera B. (2016). Adaptación.

Con relación al método de limpieza química, se dice que la fase de la caracterización que viene de la caña de azúcar, los valores de pH tienden a ser variables en los procesos de la limpieza, pues al usar elementos químicos modifican de manera drástica la acidez del líquido, con elementos como lípidos, sólidos, óxidos e incluso polvos; elementos que deben ser eliminados por afectar sea de manera directa o no, tanto el producto residual reutilizable, como el agua. Desde esto, el líquido limpio de los procesos químicos igualmente se presenta con variación, los cuales pueden tener efectos desde otros parámetros. (Espa, 2013).

De aquí los efectos del pH mantienen una importancia en el efecto corrosivo en la conducción de las aguas, incurriendo ante ello un cambio considerable en la solubilidad de ciertos elementos. De ello es importante conocer los estados de temperatura y de pH en los procesos realizados, pues de ellos dependen la actividad microbiana dada por la solubilidad y ello trae como consecuencia contaminantes como metales pesados y que por cantidades de

disoluciones en el oxígeno, la acidez traiga reacciones Redox, con consecuencias económicas y ambientales más considerables, por ello se debe tomar como iniciativa fundamental la neutralización previa al desecho (Romo, 2016).

Teniendo en cuenta como se mencionó al inicio de la presentación de la problemática que cada estrategia a implementar debe sujetarse a las normas de calidad y control, con el propósito de no alterar las propiedades físico-químicas, y mantener los niveles permitidos de asociación con partículas o sustancias, y la disposición de uso. Así como, programas de apoyo al personal relacionados con capacitación y motivación para el uso racional del agua, manuales de normas y procedimientos, adecuaciones a la maquinaria, equipos e infraestructura a las operaciones de recirculación y vertido de agua, controles de las entradas y salidas de agua, adecuación en las fases de calderas, procesos de recirculación y lavado de la caña (Tafur, 2008).

## **6.2. Objetivo específico 2. Identificar los parámetros a caracterizar de las aguas residuales y proponer el cálculo del balance hídrico de una fábrica de azúcar de la región**

La industria azucarera utiliza grandes cantidades de agua, sobre todo en el lavado de la caña, de los pisos, materiales y maquinaria, así como para los procesos de condensación y evaporación. Estos volúmenes hídricos son posteriormente vertidos a los ríos o arroyos cercanos a la industria provocando un gran efecto de contaminación para las comunidades cercanas. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural.

A continuación, algunos ejemplos de fuentes de aguas residuales:

**Agua residual en la evaporación:** La evaporación es un proceso natural por el que debe pasar la cosecha de caña de azúcar y que consiste en la eliminación de agua en forma de vapor que se condensa. Los condensados, sin embargo, no se componen solamente de agua en este proceso, sino que estos acarrean consigo restos de azúcar. A simple vista, no parece un problema muy grave pero el azúcar en el agua representa un gran nivel de contaminación si se tiene en cuenta la demanda tan grande de oxígeno que representa.

Adicionalmente a los condensados, el agua de evaporadores y calentadores también es desechado y este trae consigo ácido clorhídrico y soda cáustica, químicos que se utilizan para su limpieza y que son lo suficientemente agresivos para contaminar el agua al mínimo contacto.

**Agua de lavados:** Este volumen hídrico que se produce en el lavado de caña de la molienda, representa una gran importancia a pesar de su bajo contenido orgánico e inorgánico, pues este contiene en ocasiones agua de las chumaceras de los molinos. Esta agua está normalmente contaminada por grasa y aceites que se usan en la lubricación y es por ello que entra en la clasificación de residuos nocivos.

No obstante, y desafortunadamente, estos residuos no sólo están presentes en el agua de lavado de molienda, sino también en distintos equipos de toda la planta. El problema se agrava cuando estos desechos son vertidos en cuerpos hídricos, ya que por su composición tan pesada de químicos pueden volver el suelo estéril, favorecer la proliferación de algas, intoxicar la flora y la fauna y en consecuencia acabar con el oxígeno disuelto, es decir, con la vida de otros organismos.

**Aguas de condensadores:** En cuanto al proceso de cristalización hay un contaminante agregado a las aguas de los condensados de la evaporación: el vapor de jarabe en los tachos. Este

residuo, contrario a la mayoría (de pequeño volumen, pero con un alto contenido de materia orgánica), cuenta con un volumen elevado pero con un bajo contenido de DBO.

Una división hecha por (Parashar, 1969) a los afluentes de fábricas de azúcar, en dos categorías, ha dado como resultado las cargas de alta contaminación y cargas sin contaminación. Aquellas de alta carga tienen un DBO de 2,000 a 3,000 ppm., por lo que pueden alcanzar altas temperaturas y al ser vertidas en cuerpos hídricos o al suelo se producen las consecuencias desastrosas para el medio ambiente: infertilidad del suelo, muerte de diferentes organismos y reducción del oxígeno en el agua.

**Descarga de aguas residuales:** En la industria azucarera, la descarga de aguas residuales se puede dar de dos maneras: una es a lagunas o verterlas a los ríos que se encuentran cerca del ingenio azucarero. Aquí es importante aclarar la diferencia entre ambos lugares de descarga.

La laguna es una construcción humana que sirve de sistema de retención de aguas y con un propósito específico. Hay lagunas que sirven para la alimentación de centrales hidroeléctricas, para regadío y muchas otras. Las Lagunas de Tratamiento de Aguas Servidas, algunas veces llamadas de estabilización, buscan que la masa de agua cumpla con unos lineamientos fijados por ley, que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar grandes problemas ambientales y/o permitan su reúso en otras actividades como riego de cultivos, para lo cual debe cumplir lo establecido por la resolución 1207 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que establece las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Estos lineamientos o parámetros están relacionados, generalmente, con el potencial de riesgo a la salud pública, el contenido de nitrógeno orgánico, los sólidos suspendidos, la cantidad de compuestos orgánicos disueltos, las grasas, la ausencia de olor y la ausencia de color.

Por lo general, se asocia el uso del agua en un Ingenio Azucarero con contaminación y no es para menos. Sin embargo, hoy día con los avances tecnológicos y el desarrollo de obras civiles, ya son pocos los ingenios que contaminan excesivamente el agua. Para ello se deben realizar constantemente estudios y diagnósticos del problema que se genera alrededor de un Ingenio para así efectuar las estrategias necesarias y resolver esta problemática. Esto está avalado por la legislación ambiental de Colombia.

En ese sentido, con el fin de disminuir las problemáticas anteriormente mencionadas, la fábrica de azúcar, caso de estudio, propone seis circuitos posibles de uso del agua para determinar las corrientes de purgas y pérdidas. Cabe aclarar que estos valores son el resultado de considerar que los equipos utilizados para cada circuito trabajan al máximo.

**Circuito para el vapor vegetal:** Se recurre a una estrategia de reúso que se emplea en todos los ingenios azucareros con diverso grado de integración. Esta consiste en recuperar los condensados de vapor vegetal provenientes de los evaporadores y tachos de cocimiento para utilizarlos como agua de lavado en centrífugas de crudo y refinado, agua de imbibición, agua de disolución en refinería, lavado de trapiche, de tachos y filtros.

Para deshacerse de gases que no son susceptibles de ser condensados de los vapores vegetales, se debe purgar este circuito a través de venteo de vapores. El exceso de condensado vegetal que arrastra azúcares podría derivarse a dos consumidores: al circuito de limpieza de ceniza de calderas y lavado de humos o como agua de reposición al circuito de agua en los condensadores barométricos. Con todo esto, el exceso hídrico corresponde al agua dulce que se descarga habitualmente al medio ambiente.

**Circuito de lavado de gases y cenizas:** En la implementación de este circuito se dan supresiones de evaporación y arrastre a pesar de que los efluentes de parrilla y del limpiador de gases se puedan destilar y utilizar de nuevo como alimentación en el sistema. Para compensar estas pérdidas, se alimenta al sistema agua vegetal y la purga de la caldera, puesto que cuentan con una carga contaminante compatible en sus corrientes. Como resultado del sistema de filtrado, se obtiene un barro que puede secarse y utilizarse posteriormente para acondicionar el suelo.

**Circuito para la generación de vapor en la caldera:** En general, este circuito se utiliza en la industria azucarera y consiste en el retorno del vapor condensado a la caldera después de su uso. No obstante, en ocasiones se producen pérdidas bien sea de condensado o de vapor por procesos como el accionamiento de válvulas de seguridad. Entonces, para mantener la concentración de sólidos en el agua de la caldera es imperativo hacer una purga utilizando una corriente de agua enriquecida solamente con sales disueltas, lo que permitiría su fácil reúso, por ejemplo, para el lavado de humo y ceniza. Por último, el agua de reposición de la caldera puede ser agua ablandada o de condensado de vapor vegetal de primer o segundo efecto.

**Circuito para la refrigeración de máquinas motrices:** La realización de este circuito es posible a través de un sistema de enfriamiento con la capacidad de reducir la temperatura del agua, de tal forma que pueda ser reutilizada para refrigerar. Pero esto no es suficiente, teniendo en cuenta que el agua arrastra aceites y grasa, debe contarse también con un separador de estos elementos pesados. En este sistema, las pérdidas por evaporación son pequeñas puesto que el efluente es grasa y aceite.

**Circuito para la refrigeración y cristalizadores:** Si bien las pérdidas por evaporación no son muy significativas debido al bajo incremento en la temperatura del agua, es importante incluir este circuito dentro del plan de acción, pues este permite usar nuevamente el agua de refrigeración de cristalizadores y filtros de vacío.

**Circuito de agua para condensadores barométricos:** Teniendo en cuenta que los condensadores barométricos presentan una baja eficiencia en la transferencia de energía, es en este circuito donde se encuentra el mayor volumen de agua usado en el proceso de fabricación de azúcar. Por ello, este importante volumen hídrico puede ser reciclado sirviéndose de un sistema de enfriamiento que mantenga una diferencia de temperatura entre la entrada y salida del condensador (Wright, 1992). En este circuito hay pérdidas asociadas a la evaporación y al arrastre de azúcares producido en el proceso de enfriamiento y para evitarlo debe realizarse una purga continua.

Con frecuencia, el agua de reposición proviene de cuerpos hídricos cercanos al punto de producción; no obstante, entre otros, para mejorar la calidad de agua de reposición al reusar el agua proveniente del circuito del condensado de vapor vegetal. El agua de reposición podría ser externa en los procesos de refrigeración de máquinas motrices y de agua de enfriamiento para cristalizadores y filtros de vacío. Además, el agua destinada a la limpieza, de uso de laboratorio y de sanitarios se toma de los cursos naturales y su uso nos lleva a realizar procedimientos tanto primarios como secundarios. Para medir la eficiencia con la que se utiliza el agua en un ingenio azucarero se define un Índice de Uso de Agua (IUA). (Ingaramo, Heluane, Colombo, Argüello, & Cesca, 2004)

$$IUA = \frac{\text{Agua Real Consumida (m3)} - \text{Agua mínima (m3)}}{\text{Agua Máxima (m3)} - \text{Agua mínima (m3)}} = \frac{Ar - Am}{AM - Am} \quad (1)$$

**Agua real consumida ( $Ar$ ):** es la cantidad de agua externa (fresca) por cada 100 toneladas de caña molida requerida en el proceso.

**Agua Mínima ( $Am$ ):** es la cantidad mínima de agua externa por cada 100 toneladas de caña que se debe proporcionar al proceso suponiendo que se reúsa y recircula el agua usando los 6 circuitos planteados, con la maquinaria en su máximo esfuerzo.

**Agua Máxima ( $AM$ ):** es la cantidad de agua externa que se debe introducir en el proceso por cada 100 toneladas de caña si no se hace ningún reúso o reciclo de agua.

El índice IUA puede llegar a tener dos valores extremos: Cero cuando el agua real consumida es la mínima necesaria para el proceso de fabricación y Uno cuando el agua real consumida es la máxima.

Este es el flujo que se determinará haciendo balance de materia de agua en estado estacionario, del cual queda como resultado:

$$\text{Flujo de agua externa} = \sum \text{Agua en prod. y no prod.} - \text{Agua en caña} + \sum \text{Pérdidas} \quad (2)$$

Así, el método a emplear para calcular el índice de uso de agua (IUA) es este:

Realizar un esquema del proceso de fabricación detallando los flujos de agua que ingresan y salen en todo el proceso de obtención de azúcar y así lograr calcular el agua real consumida. Se calcula el Agua Máxima mediante la siguiente ecuación:



$$A_M = \sum \text{Agua en prod. y no prod.} - \text{Agua en caña} + \sum \text{Pérdidas máximas} \quad (3)$$

Por último, se calcula el Agua Mínima considerando la implementación de los circuitos en el proceso, teniendo en cuenta que para cada uno de ellos se ha previsto una máxima eficiencia, un mínimo desperdicio y purgas programadas a partir de esta ecuación:

$$A_m = \sum \text{Agua en prod. y no prod.} - \text{Agua en caña} + \sum \text{Pérdidas} + \sum \text{purgas} \quad (4)$$

La razón de calcular el índice IUA, es evaluar de manera más sencilla la eficiencia en el uso del agua en un ingenio azucarero, a partir de datos exactos. Además de ello, a través de él es posible identificar los sitios más críticos de consumo de agua, así se hace posible disminuir sensiblemente el índice de uso hídrico al implementar en el mismo un circuito de reúso o de recirculación.

La estructura del sistema de uso y reúso del agua de manera general dentro de los procesos residuales comprende tres partes: El sistema hidráulico para entrada y salida de agua. El sistema de filtración: conformado por tanque acoplado a sistemas de lavado, con cuatro capas de filtrado dispuestas de arriba hacia abajo de la siguiente manera: Grava; Carbón; Arena y Zeolitas. Y por último tenemos el sistema electro mecánico con bombas al vacío para el impulso del agua hacia demás áreas.

Tomando como preámbulo las alternativas para optimizar el uso del agua y la posibilidad de uso del IUA, se pasa a la descripción del balance hídrico para la programación de los riegos,

el cual Cenicaña en 2013, afirma que con la sola implementación en una hectárea se ahorran cerca de 450 metros cúbicos de agua por ciclo de cultivo, es decir aproximadamente 45 millones de pesos por cien hectáreas (Cenicaña, 2013). Para el cálculo del balance hídrico agrícola o de cultivo se requiere tener datos sobre precipitación, evapotranspiración, coeficientes del cultivo (K), uso consuntivo, profundidad efectiva del suelo, textura del suelo y la capacidad de almacenamiento del suelo (Bello & Castellanos, 2016).

De acuerdo a Valera B., cerca del 80% del agua consumida en la industria viene de la rama azucarera, química, petróleo, celulosa y papel, textil y bebidas; de tal consumo el 50% es usado para enfriamiento, el 35% en procesos, 5% en calderas y 10% en servicios. La caracterización de las aguas residuales hace necesaria la medición de la temperatura, pH, turbidez, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno - DQO, sólidos totales - ST y sólidos volátiles – SV, así mismo, para comparar con las normas a cumplir, se requiere el uso de métodos estadísticos para la identificación las relaciones entre los parámetros regulados y por medio de un Análisis de Componentes Principales, se puede comparar la separación de los parámetros; mediante el test de Mann Whitney comparar los procesos de Precipitador y Scrubber para verificar diferencias relevantes de la temperatura y pH.

En general, la normatividad de descarga no integra en su totalidad los parámetros para una adecuada caracterización, requiriendo el conocimiento de las características fisicoquímicas del agua, antes de su uso. Así que los parámetros a medir en campo son la medición de pH y de la temperatura; y los parámetros a medir en el laboratorio, la conductividad eléctrica, los sólidos totales disueltos, la turbidez, la demanda química de oxígeno – DQO y los sólidos volátiles (Valera B., 2016).

### **6.3. Objetivo específico 3. Proponer una estrategia para la optimización y el reúso del agua en una empresa azucarera de la región desde la Ingeniería**

A continuación, se relaciona la propuesta sugerida con las especificaciones a tener en cuenta por parte de una fábrica de azúcar para optimizar y reusar el agua:

Se determinarán los puntos de suministros de agua de la fábrica, se identificarán y establecerán los procesos que se abastecen de él, de igual manera, si hay sobrantes qué uso o manejo se hace de los mismos.

Se establecerán instrumentos de medición en línea cuando sea posible, de no ser así se harán mediciones periódicas para establecer consumos tipo.

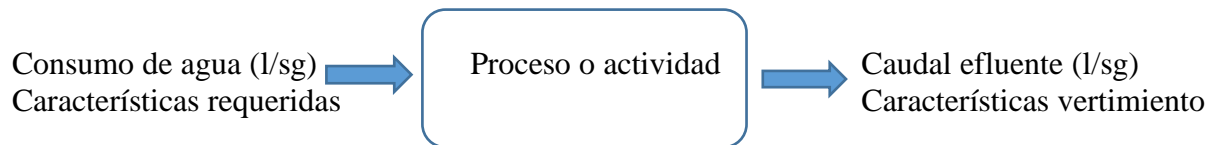
Al interior del proceso se determinarán circuitos por procesos, con el ánimo de identificar los consumos por proceso, los principales serán área de molinos y lavado de caña, generación de vapor, elaboración, mantenimiento, control procesos, planta de ósmosis inversa, laboratorio de control procesos y talleres.

Para cada proceso se determinará el consumo de agua y la variación del mismo durante el proceso, este se correlacionará con las actividades desarrolladas y hasta con el nivel de producción del momento en los casos que sea posible para determinar la relación existente entre el consumo y el nivel de producción.

Se determinará especialmente lo que sucede en los procesos cuando se presentan los consumos pico, buscando con esto establecer un pareto de consumos y priorizar esfuerzo hacia esas situaciones.

Lo primero será determinar si las variaciones en los consumos son producto de fallas operativas, malos procedimientos de operación, por diseño de los equipos o simplemente corresponde a lo realmente requerido por el proceso.

Hecho este ejercicio y de manera paralela a esa actividad inicial se hará una evaluación y determinación de la cantidad de agua residual generada en cada circuito, y para cada uno se hará un balance de masa, características de agua de suministro y características de vertimiento.



**Figura 2.** Circuito básico generador de aguas residuales. Fuente: Elaboración propia (2019)

De esa manera se dispondrá de información para identificar que vertimientos de procesos tienen potencial para ser recirculados a otros procesos para reúso y/o recirculación al mismo u otro proceso o circuito.

Se establecerán las causas de ese exceso para plantear soluciones.

Un aspecto importante de este trabajo fue la realización de análisis para determinar las alternativas que hay para el exceso de agua existente en el proceso y que finalmente se materialice como un vertimiento de aguas residuales reducido o minimizado.

Se hizo el diagnóstico del sistema actual de tratamiento de aguas residuales industriales, se identificaron las alternativas para mejorar, y se proyectaron la calidad del efluente con las propuestas de mejora planteadas y el potencial de recirculación al proceso y o reúsos en otras actividades.

De éste modo señalaremos algunos aspectos a tener en cuenta viabilizados por Toledo (2001), los cuales incidirán en el adecuado manejo del agua en los ingenios azucareros:

- La estabilidad y régimen de molida horaria.
- La calidad de la materia prima utilizada.
- El esquema térmico y su integración entre motores primarios y equipos tecnológicos.
- El estado del aislamiento térmico.
- El estado del sistema de recuperación, conducción y almacenamiento del condensado.
- Controlar el agua para limpieza y enfriamiento.
- La limpieza de los molinos y de las diferentes áreas de la fábrica.
- El pH del jugo clarificado.
- Controlar la cantidad de agua para la preparación de productos químicos.
- La temperatura del jugo a la salida de los calentadores.
- Los Brix de la meladura y de las masas cocidas
- La limpieza de los equipos.
- Controlar el agua para filtros y centrífugas.
- Controlar el agua de inyección a los condensadores barométricos.
- Controlar las pérdidas de vapor a la atmósfera.

- Controlar el ajuste de las válvulas de seguridad.
- Controlar el agua de dilución de mieles.
- Separar los tanques de almacenamiento de condensado según la calidad de los mismos.
- Revisar el control en los sistemas.
- Mantener sistemas de protección e higiene en el trabajo.

De este modo los factores tienen que ver con procesos termo-mecánicos y acciones del equipo en general. Por ello, la empresa, debe contar con un personal calificado en lo que a gestión de limpieza, observación y administración con un entendimiento de conciencia de personal. Ese personal ha de procurar evitar las apariciones de fallas operacionales en la industria, además que se establezcan los controles de consumos energéticos y de agua que se realizan en los ingenios azucareros. Algunos de los problemas operacionales más frecuentes que según se presenta en una fábrica de azúcar y que de acuerdo a Toledo (2001), son:

- Cumplir de manera estricta el horario de molienda.
- Uso excesivo e inadecuado de equipos.
- El desaprovechamiento de las aguas condensadas.
- La subutilización de las capacidades propias para la generación de energía eléctrica o mecánica.
- Uso de motores eléctricos de mayor capacidad a la requerida, lo que puede ocasionar una mayor demanda de vapor.

- No aprovechamiento de las máximas capacidades operativas de los evaporadores.
- Adquisición de materia prima (caña de azúcar) de baja calidad.
- Manejo inadecuado y falta de control en la operación de hornos y calderas.
- Uso inadecuado y descuidado del vapor en los equipos de procesos.

A modo de prueba de la estrategia se aplicó en las instalaciones de una planta de fabricación de azúcar a partir de caña ubicada en el km 1 vía Zarzal - La Paila en el Valle del Cauca, dado que el Río la Paila viene presentado a través del tiempo un régimen de caudal promedio por año y por mes cada vez menor, sin que se vean en el futuro cercano acciones que garanticen un cambio en ese comportamiento, según datos de CVC el caudal medio mensual multianual de los últimos 20 años es de 4934 L/s, en agosto, el mes más crítico, ese promedio se reduce a solo 1882 L/s, cuando el caudal asignado a través de los diferentes permisos de concesión a todos los usuarios es de 2111 L/s.

Entendiendo que la empresa es el último usuario conectado en el Río que lo abastece, a la prioridad que hay para el consumo humano y a los eventos extremos de verano que se presentan periódicamente que hace que se disminuya la oferta a niveles tales que no permitirían la operación.

La investigación está en proceso, en el desarrollo de la misma se han obtenido resultados parciales de los cuales se mencionan algunos a continuación:

Se hizo un levantamiento de la información existente en la empresa de consumos de agua, para tener una línea base de esa variable. Se encontró información mes a mes de los años 2013 y 2014.

Se hace una investigación con el personal sobre los métodos usados para la medición encontrando que eran hechos de manera puntual con métodos de poca precisión, lo cual representaba un alto margen de error.

De ahí la primera tarea fue establecer un circuito de medidores de flujo en línea que permitieran cuantificar el consumo real del proceso.

Como resultado de eso se obtuvieron datos de consumo de caudal que sirvió para hacer un balance inicial de consumo de agua y a su vez para establecer los circuitos de agua por proceso y la ubicación de los medidores, según la figura 3:





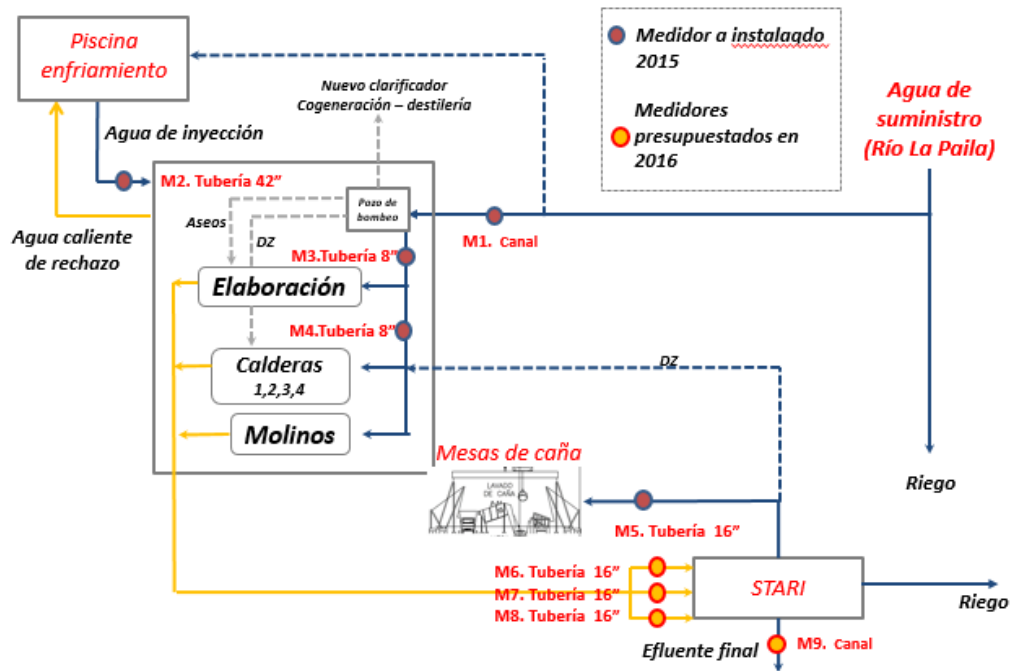


Figura 3. Ubicación de medidores instalados. Fuente: Elaboración propia (2015)

Se hizo una evaluación de las oportunidades de reducción de consumo y control de vertimientos de los cuales citan algunos a continuación:

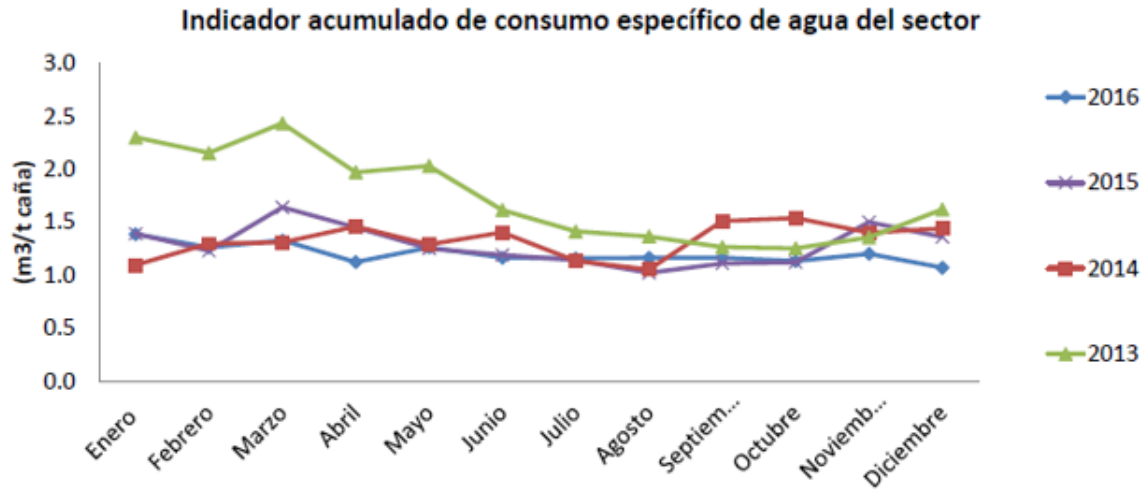
Cuadro 1. Evaluación de las oportunidades de reducción de consumo y control de vertimientos

| Molinos  |  |  |
|--|--|--|
| Pérdida de agua en bronces molinos para enfriamiento     | Recircular el agua enfriamiento bronces molinos      | 1. Obra civil: Trampa de grasas<br>2. Sistema de bombeo o derivación de la bomba de agua a los turbos hacia molinos desde la torre 1 |
| Consumo indeterminado de agua para lavado de superficies | Llevar los condensados de maceración hasta el molino | Analizar el agua para determinar el contenido de sólidos   |

|  |  |  |
|--|--|--|
| Lavado de caña   | Eliminar el lavado de caña cuando el contenido de sólidos en el jugo diluido esta $< 1,5$ . Para mayores aplica lavado                     | Estandarizando el procedimiento en el instructivo para lavado de caña. |
| <b>Elaboración</b>   |  |  |
| Desperdicio de agua enfriamiento en las bombas   | Revisión de la viabilidad de la torre de enfriamiento de la antigua Destilería para alimentar el sistema de enfriamiento de toda la planta |  |
| Desperdicio de agua en la planta de SINTRA (ósmosis y agua clarificada)                      | Recuperación de lavados de Planta Sintra y rechazo de ósmosis  | Instalando un sistema de bombeo  |
| Desperdicio salida de agua en proceso de Destilería  | Recuperar el caudal al foso de refinó  | Mediante sistema de bombeo   |
| Caudal consumo de agua en filtros de cachaza sin recuperar                                   | Recuperar el caudal de los filtros de cachaza al canal de rechazo  | Conectar el sistema con tubería  |
| Consumo de agua para arrastre de espuma. agua de inyección en los clarificadores de meladura | Eliminar el uso de agua para el arrastre de espuma   | Reemplazar el arrastre de espuma con jugo filtrado                     |
| Caudal de reposición para el extractor de polvillo   | Reemplazar el agua por el jugo   | Conexiones de jugo claro mediante tubería                              |
| Consumo de agua en prueba hidrostática   | Recuperación de agua de prueba hidrostática hacia rechazo  | Cambiando circuito   |
| Consumo de agua para lavado de evaporadores  | Cambiar el sistema de lavado por aspersión   | Instalando cruceta para lavado de evaporadores                         |
| Consumo de agua durante los paros de mantenimiento   | Usar solo el agua de inyección para el mantenimiento de los equipos  | Detener el consumo   |

Fuente: Elaboración propia, (2015)

Se estableció el indicador mensual de consumo de agua para monitorear el impacto de las medidas que se fueran implementando, para comparar con los resultados del sector:



**Figura 4.** Indicador acumulado de consumo específico de agua del sector. Fuente: Elaboración propia (2016)

Para cada año el indicador de consumo del sector fue:

**2013** 1,41 m<sup>3</sup>/TCM

**2014** 1,35 m<sup>3</sup>/TCM

**2015** 1,21 m<sup>3</sup>/TCM

**2016** 1,17 m<sup>3</sup>/TCM

Se está realizando la evaluación del Sistema de tratamiento de aguas residuales, para hacer la propuesta de mejora al mismo, teniendo en cuenta las metas que se esperan alcanzar en términos de reducción de consumo de agua y términos de reducción de cargas contaminantes en los efluentes.

La información recolectada hasta el momento se presenta en el cuadro siguiente:

Cuadro 2. Información recolectada sobre la situación actual

| Ítem                           | Situación Actual STARI |               |               |                                | Unidades            | Diseño        |               |               |                | Unidades            |
|--------------------------------|------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|
|                                | Laguna sed. 1          | Laguna sed. 2 | Laguna sed. 3 | Laguna Aireada (90% colmatada) |                     | Laguna sed. 1 | Laguna sed. 2 | Laguna sed. 3 | Laguna Aireada |                     |
| Volumen útil                   | 36000                  | 36000         | 36000         | 11125.5                        | m <sup>3</sup>      | 36000         | 36000         | 36000         | 111255         | m <sup>3</sup>      |
| Caudal (Q)                     | 467.0                  | 467.0         | 467.0         | 467.0                          | L/s                 | 500.0         | 500.0         | 500.0         | 400.0          | L/s                 |
|                                | 40348.8                | 40348.8       | 40348.8       | 40348.8                        | m <sup>3</sup> /día | 43200.0       | 43200.0       | 43200.0       | 34560.0        | m <sup>3</sup> /día |
| Tiempo retención               | 0.89                   | 0.89          | 0.89          | 0.28                           | Días                | 0.83          | 0.83          | 0.83          | 3.22           | Días                |
| Concentración DBO <sub>5</sub> | 2766.0                 | 2766.0        | 2766.0        | 2351.1                         | mg/L                | 500           | 500           | 500           | 265            | mg/L                |
| Concentración SST              | 1110.0                 | 1110.0        | 1110.0        | 421.8                          | mg/L                | 950           | 950           | 950           | 149            | mg/L                |
| Carga DBO <sub>5</sub>         | 28.0                   | 28.0          | 28.0          | 21.0                           | ton/día             | 21.6          | 21.6          | 21.6          | 17.3           | ton/día             |
| Carga SST                      | 19.4                   | 19.4          | 19.4          | 12.6                           | ton/día             | 42.7          | 42.7          | 42.7          | 10.7           | ton/día             |
| COV                            | N/A                    | N/A           | N/A           | 1888.9                         | gr/m3-día           | N/A           | N/A           | N/A           | 155.5          | g/m3-día            |
| COS                            | N/A                    | N/A           | N/A           | 4043.6                         | kg DBO/m2-día       | N/A           | N/A           | N/A           | 3328.7         | kg DBO/m2-día       |
| Tabique divisorio lag Aireada  | N/A                    | N/A           | N/A           | Dañado                         | N/A                 | N/A           | N/A           | N/A           | Si             | N/A                 |
| Aireadores                     | N/A                    | N/A           | N/A           | 10 Apagados                    | N/A                 | N/A           | N/A           | N/A           | 10             | N/A                 |

Fuente: Elaboración propia, (2016)

Cuadro 3. Estado, Impacto y Recomendaciones

| Criterio                           | Descripción estado  | Impacto en el sistema  | Recomendación  |
|------------------------------------|---|--|--|
| Volumen útil, Tiempo de retención. | Las lagunas de sedimentación están recibiendo una carga de SST superior en un 100% a la carga de diseño en el año anterior, con esta carga el tiempo de colmatación de las mismas es más corto, razón por la cual deben ser evacuados los lodos con mayor frecuencia, teniendo en cuenta la sobrecarga a la cual se está sometiendo el sistemas, en lo que va del 2018 en promedio la carga está por debajo de los valores de diseño.   | Al no hacerse el mantenimiento de manera oportuna en estas lagunas, se disminuye el Tr de manera importante. Disminuyendo la eficiencia y generando un paso de muchos Sólidos a la laguna aireada, laguna que no está diseñada para recibir esos sólidos.  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisar en el proceso cuales son las fuentes generadoras en fábrica de los Sólidos, evaluar la posibilidad de intervención en la fuente para disminuir esos sólidos.</li> <li>2. Replantear frecuencia de limpieza de lagunas para garantizar que esta sea oportuna y evitar paso de sólidos a laguna aireada.</li> <li>3. Revisar la posibilidad de combinar la operación de dos lagunas de sedimentación de manera paralela, en la medida que una se vaya colmatando y disminuyendo su tiempo de retención ir metiendo una segunda para no afectar el Tr.</li> </ol> |
| Cargas de SST                      | Aunque en el año de 2018 se calculó con caracterización un valor de SST inferior al de diseño, este es muy inestable y tiende a elevarse mucho en cierta épocas llegando a valores de 80 y 100 tn día, especialmente del 2017 hacia ataras que hicieron que sumado a la inadecuada frecuencia de mantenimiento se colmatara la laguna aireada.  | El impacto de este factor es el mismo mencionado en el punto anterior, además de generar mayores gastos por disposición de residuos.   | Igual propuesta al punto anterior  |
| Carga de DBO                       | La carga de DBO en años anteriores y en el 2018 ha sido superior al valor de diseño, con un agravante, el nivel de colmatación de la laguna ha sido tal que su condición de laguna facultativa teórica de profundidad de 1,5 a 2,5 m no se cumple, si se revisa para comparar el diseño de la laguna en términos e COV es de 155 gDBO/m <sup>3</sup> -día y con el volumen útil con que venía trabajando podría ser del orden de 1889 g DBO/m <sup>3</sup> -día, una condición extrema de sobrecarga. | Esta situación simplemente genera una sobrecarga a la laguna que hace que trabaje bajo condiciones anaeróbicas y entregue un efluente de peor condición que la de entrada. En otras palabras, la laguna aireada queda fuera de línea por ese factor. Esto afecta el pH que se vuelve ácido y afecta la posibilidad de recirculación que normalmente se aplica. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trabajar en la fuente controlado la generación de carga orgánica desde la operación, buscar las fuentes y ejecutar acciones.</li> <li>2. Lo mencionado para control de sólidos que colmatan la laguna aireada.</li> <li>3. Evaluar e implementar la recirculación desde el efluente de la laguna de sedimentación y llevar a la laguna aireada un caudal menor que garantice la mejor operación de este sistema.</li> </ol>  |

|                                |   |  |  |
|--------------------------------|---|--|--|
| Aireadores, tabique divisorio. | Tanto los aireadores como el tabique divisorio están por fuera de servicio, por el nivel de colmatación de las lagunas  | <p>Estas dos situaciones agravan al condición de la laguna aireada, pues la carga orgánica de diseño contempla el funcionamiento de los aireadores que van a generar el oxígeno requerido para la estabilización de la materia orgánica, al estar dañados estos la carga a recibir por el sistema debe ser mucho menor para que pueda operar de manera adecuada.</p> <p>Por su parte el tabique divisorio al estar dañado provoca un corto circuito que reduce el tiempo de retención y afecta la carga de trabajo del sistema. Pero la condición que presentaba el sistema indicaba que el agua salía como entraba por la cercanía de la entrada con la salida y el daño del tabique.</p> | Hacer el mantenimiento a la laguna aireada, reconstruir tabique y reparar aireadores y garantizar su operación continua.   |
| General                        | Todo el sistema en general debe funcionar bien para que en conjunto cumpla su objetivo. Fue diseñado en otro momento para condiciones diferentes a las actuales y debe ser actualizado para una mejor operación | El resultado del sistema depende de la buena operación de cada unidad y de que opere bajos condiciones similares a las de diseño.  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisar el proceso e identificar y ejecutar acciones para reducir caudales y cargas.</li> <li>2. Revisar el sistema actual y determinar los caudales y cargas máximas que pueden recibir para garantizar una buena operación, validar si es posible llegar a niveles de generación que no superen la capacidad que pueda ofrecer el sistema.</li> <li>3. De no ser posible lo planteado en el punto anterior diseñar e implementar la ampliación requerida.</li> <li>4. Complementar el sistema actual para establecer modificaciones que permitir hacer de mejor manera el mantenimiento.</li> <li>5. De ser necesario modificar o ampliar el sistema.</li> </ol> |

Fuente: Elaboración propia (2015)

#### **6.4. Objetivo específico 4. Generar una aproximación al impacto ambiental social y económico de la propuesta**

Desde este punto como investigador es necesario analizar las consecuencias del estudio, y como afecta a las personas y al ambiente. No en cuanto a realizar o no el estudio por los posibles efectos negativos a otros seres vivos, sino que se debe evaluar los impactos derivados de las estrategias de recirculación y reúso de las aguas. En los últimos tiempos se han incorporado las dimensiones social y ambiental, en consecuencia, de la preocupación por la sostenibilidad de los sistemas de producción.

El impacto económico de un proyecto social se entiende como el nivel de eficiencia económica del mismo; es decir, corresponde a una comparación de la totalidad de los costos y beneficios sociales resultantes del proyecto, independiente de la forma en que ellos se distribuyen entre los diferentes actores sociales. Por tanto, el impacto económico de este proyecto se vincula con el impacto social ya que este incide sobre el desempeño de las personas en la industria azucarera.

En cuanto al impacto ambiental, este tiene ciertas características que le son propias, de obras o implementación de tecnología que darían ventajas en cuanto a cubrir adecuadamente el plan de manejo de la recirculación y reúso de las aguas. Para con ello, aminorar el territorio afectado y revisar los impactos ambientales en los ecosistemas vinculadas a las fuentes hídricas que surten a los ingenios azucareros

La mecánica del gasto de agua dentro del sector de los ingenios azucareros ha hecho que de éste se haga una competencia importante por el recurso, el cual se debe tener en cuenta su reducción durante las temporadas de verano de su pluviosidad y que a contra de las necesidades de agua por parte de los cultivos y la producción ponen en peligro la sostenibilidad del líquido desde los recursos superficiales, así mismo en los subterráneos. Ello se evidencia con las concesiones de agua adjudicadas a las necesidades en las cuencas del río. (Medina, 2005).

Enfocados en ello debemos subrayar que el desarrollo sostenible relacionado con las necesidades de mantener el flujo de los sistemas naturales es mirar hacia lo fundamental, los lineamientos de capacidad de los medios ambientales del sector para poder afrontar los patrones viabilizados al desarrollo que se quiere alcanzar dentro de la industria.

Para ello es indispensable considerar límites referenciados a las leyes naturales del entorno, las cuales tienen un fin natural y guiar la sostenibilidad como un aspecto fuerte de la economía de los grupos azucareros, aprovechando de manera consecuente los recursos y los servicios del entorno ambiental, cuantificados en las posibilidades que ello tiene en la naturaleza en las posibilidades de auto sustentarse en su desarrollo y su facilidad para absorber y depurar la contaminación. En ello se debe mirar desde un punto de vista objetivo y de conciencia ambiental, el cual nos permita ser consecuentes que el gasto económico debe ir de la mano con los procesos de límites establecidos y que ello se encuentre ligado a la producción de facilidades al mejoramiento ambiental y respetando los lineamientos del sistema ecológico circundante. (Maldonado, 2015)

El planteamiento de éste tiene su fin en la teoría de los sistemas, en el cual se fundamenta la base del sistema económico como un agente integral del resultado en los sistemas ecológicos;



éste se enfocaría en sistemas relacionados entre ellos a través de flujo energético y material enfocado a retroalimentarse por parte de medios biológicos de la biosfera ambiental. Enfocarse en la capacidad de soporte eco sistémico y limitar un poco la infinidad del crecimiento económico inconsciente del impacto ambiental derivado. El soporte eco sistémico define la determinada cantidad de crecimiento a la cual se puede enfrentar un sistema, sin equiparar las posibilidades de capacidad de crecimiento de nuevos eco sistemas futuros. El excesivo uso desinteresado y falta de compromiso de los ingenios al cuidado de la tierra trae consigo destrucción de la base de los recursos naturales y de ello el colapso de sistemas futuros de posibilidad eco sistémico. La idea es cambiar el chip y transformar el desarrollo económico en la capacidad que se tiene para soportar un balance de desarrollo ambiental, mantener un desarrollo sostenible. (Maldonado, 2010).

En el marco de la economía sostenible se relaciona la capacidad de mantener en función los sistemas naturales, así que, desde el punto de vista ambiental, lo más importante es la capacidad del medio ambiente para poder sostenerse entre los esquemas de desarrollo a los cuales se afronta en tiempos futuros.

La sostenibilidad tiene un factor de aprovechamiento en cuanto a los recursos naturales y medios ambientales sean respetados. Los lineamientos de la economía sostenible se sobreponen ante los aprovechamientos ambientales con el fin único de tener factores reconstitutivos y de reutilización, en un estado similar al que se encuentra en su estado original el medio natural, con la finalidad de reducir de mejor manera la contaminación. (Perez & Rojas, 2008).

Al cumplirse a cabalidad los anteriores preceptos se mejorará las condiciones de la industria azucarera en cuanto al déficit de agua, puesto que al disminuir el consumo y solventar

los aspectos técnicos y de infraestructura, se ofrecen medios alternativos para la atención a las posibles dificultades que se pudieran generar en la industria.

Por ello, esta investigación está relacionada con el impacto ambiental que producen los ingenios azucareros en Colombia, y particularmente en el departamento del Valle del Cauca donde hay importantes ingenios que por sus actividades provocan efectos que pueden alterar al medio ambiente a través de determinadas prácticas que van desde la cosecha (zafra), hasta los procesos de envasado de los productos terminados.

Esto en correspondencia con la implementación de las políticas públicas en el área ambiental, como lo establece el artículo 79 de la Constitución Nacional Colombia y la aplicación de la Política Ambiental Nacional en la Ley General del Ambiente (Ley 25675) Presupuestos mínimos para las presentes y futuras generaciones.

## **7. CONCLUSIONES**

El agua además de ser una de las materias primas fundamentales para la producción de azúcar, ésta se consume en grandes cantidades para llevar a cabo dicho proceso; adicionalmente, durante éste, se mezcla con otras sustancias que sin ningún tratamiento previo, se vierten a los afluentes o caudales de los ríos, poniendo en grave riesgo la sostenibilidad ambiental y la salud humana y ocasionando pérdidas lamentables tanto en la flora y fauna como humanas.

Países como Guatemala, Honduras, México, Argentina, entre otros, implementan en la actualidad procesos alternativos e innovadores para optimizar el uso del agua, así como para tratar las aguas residuales con el propósito de reusarla o recircularla, dependiendo de la necesidad industrial de la fábrica de azúcar. A modo de ejemplo, llama la atención de forma notoria, el lavado en seco de la caña que viene del campo o sistema de vibración. Con relación al reúso, se verifica el énfasis en analizar cada circuito del proceso de producción para el aprovechamiento de las posibilidades de recuperación de los condensados, efluentes de limpiadores, de los vapores, entre otros.

El método o tratamiento para aguas residuales a seleccionar, debe tener un análisis previo para verificar si es conveniente su reúso o vertido, dado en primer lugar, que cada uno requiere de un tratamiento específico, lo importante del conocimiento constante de la temperatura y del pH, la posibilidad de existencia de agentes tóxicos o contaminantes que afecten el ecosistema o generen sanciones por exceder los límites permitidos.

Hay evidencias de mejora en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en el mejoramiento de su materia orgánica, adjudicadas al tratamiento y reúso de las aguas residuales.

Los procesos innovadores solo tendrán lugar y serán efectivos, en la medida que el personal encargado de las labores, tengan pleno conocimiento y conciencia del compromiso, impacto y aplicación de sus destrezas, lo cual es posible mediante capacitación y actualización constante, así como motivación y cumplimiento de manuales, guías y normas.

La caracterización de las aguas residuales y el balance hídrico, pueden y deberían estar acompañados de un análisis de uso de agua para conocer tanto el tipo de efluentes y tratamientos a llevar a cabo; como la eficiencia en el uso del recurso y las posibles fallas u oportunidades de mejora. Su metodología podría representar ahorros significativos en uso de agua por circuito y en recursos económicos, los cuales en promedio podrían llegar a unos 45 millones de pesos por cada cien hectáreas. Adicional a ello, estas alternativas novedosas permitirán conocer las características fisicoquímicas del agua más puntualmente, que si la empresa solo se rigiera al cumplimiento de la normatividad estatal, teniendo en cuenta que ésta no integra en su totalidad todos los parámetros.

La propuesta sugerida hace un especial énfasis en conocer amplia y suficientemente, las fuentes de abastecimiento, los sobrantes y el uso o manejo para los mismos, así como, la relación entre consumo y nivel de producción, analizando los momentos de mayor producción y las variaciones para la identificación de las fallas existentes o potenciales; para lo que previamente se hace necesario un diagnóstico del estado actual de la fábrica de azúcar y del recurso del agua.

Esta estrategia hace posible la generación y medición de indicadores mensuales de consumo para el monitoreo del impacto de las medidas y la realización de los respectivos comparativos y posibles oportunidades de mejora.

El impacto económico y ambiental de la propuesta sugerida se interrelacionan y complementan, dado que la reducción de costos o rentabilidad organizacional que se logren con la optimización y reúso o recirculación del agua, jamás podrán ir en detrimento del impacto social y ambiental, sino más bien en propender a la mejora de los daños ya causados y a prevenir que se intensifiquen, repliquen o surjan nuevos, y más aún, en brindar sostenibilidad a largo plazo a un recurso vital, como lo es el agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, G. (2001) *Las investigaciones cuya finalidad es mejorar una situación: La modalidad de proyecto factible*. Instructivo no publicado.
- Ambiente, M. d. (1997). *Ley 373 de 1997*. Bogotá: Estado.
- Ambiente, M. d. (2009). *Dec. 1135 de 2009*. Bogotá: Estado.
- Ambiente, M. d. (2014). *Resolución 1207 de 2014*. Bogotá: Estado.
- Ambiente, M. d. (2015). *Resolución 0631 de 2015*. Bogotá: Estado.
- Balestrini, M. (1998). *Como se elabora el Proyecto de Investigación*. (s.l.): Consultores asociados.
- Bello, B., & Castellanos, P. (2016). Propuesta de módulos de riego para la producción agrícola de caña panelera (RD 75-11) en la finca La Dulzura del municipio de Villeta Cundinamarca. Bogotá.
- Bouwer, Herman. (2000) Integrated water management: emerging issues and challenges. Recuperado de <http://www.tecnologiaslimpias.org/html/archivos/>
- Bravo, G. (2000). *Caracterización de la producción científica de una unidad de investigación universitaria*. Maestría de Planificación y Gerencia de Ciencia y Tecnología. Venezuela: Universidad de Zulia, Facultad experimental de Ciencias
- Bustos, C (2000). *Estudio geoquímico de hidrocarburos y metales pesados en sedimentos recientes en material vegetal del rio Bogotá y rio Magdalena – Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional

Carvajal. (12 de 05 de 2009). Obtenido de <http://www.carvajalpulpaypapel.com/earth-pact/>

Castellanos J. (2002). *Análisis de alternativas del esquema de evaporación, calentamiento y cocción de un central azucarero que entrega energía eléctrica y bagazo a una fábrica de papel*. Tesis doctoral, Universidad de Cienfuegos, Facultad de Mecánica.

Castellanos J. (2002).: “Informe de investigación”, Facultad de Mecánica, Universidad de Cienfuegos, 2002.

Castellanos, J.; González, F. & Puerta, J.F. (2005). *El Consumo de agua en La Industria Azucarera como un Problema Energético y Ambiental*. Cuba: Centro Azúcar Cienfuegos. Facultad de Mecánica,

Castellanos, J. (2004). Análisis de alternativas del esquema de evaporación, calentamiento y cocción de un central azucarero que entrega energía eléctrica y bagazo a una fábrica de papel. *Ingeniería Mecánica*, 87-94.

Castellanos, J. (2004). El consumo de agua en la industria azucarera como un problema energético y medio ambiental. *Centro Azúcar*, 43-47.

Castro M. & Espinosa, R. (2002). Gestión energética en un central azucarero no electrificado. La Habana, Cuba: Centro Azúcar

Cenicafía. (2013). Agua: un recurso que compromete a ingenios y cultivadores. *Carta Informativa(2)*. Cali.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Programa de Salud Ambiental, Lagunas para el Tratamiento de desechos industriales, por Ricardo Rojas, Lima- Perú, año 1990

Colombia. Leyes y Decretos. (1997). *Ley 373 de 1997*. Bogotá D.C.: Ministerio del Medio Ambiente

Colombia. Leyes y Decretos. (2009). *Decreto 1135 de 2009*. Bogotá D.C.: Ministerio del Medio Ambiente

Colombia. Resoluciones. (2014). *Resolución 1207 de 2014*. Bogotá D.C.: Ministerio del Medio Ambiente

Colombia. Resoluciones. (2015). *Resolución 0631 de 2015*. Bogotá D.C.: Ministerio del Medio Ambiente

Colombia. (2018). *Guía para el uso eficiente y ahorro del agua: Una visión colectiva para el uso sostenible y responsable del agua*. Bogotá, D. C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico, 92p.  
ISBN: Libro digital descargable 978-958-5551-01-5

Chen, J. (1991). *Manual de Caña*. México: Limusa.

Espa, C. (12 de 06 de 2013). Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/152432468/LIMPIEZA-QUIMICA>

Espinosa, R. (1990) *Sistemas de Utilización del Calor en la Industria Azucarera*. Editorial ENPES. La Habana. Cuba



- European Business School – EUDE. (2018). *Sistema de gestión ambiental de una empresa*.  
Recuperado de: <https://www.eude.es/blog/gestion-ambiental-empresa/>
- Gálvez (1999). *Hacia una agroindustria diversificada y con esquemas de producción flexibles*.  
Cuba Azúcar. XXVIII (4). P. 5 - 11.
- Glynn, H. y G. W. Heinke. (2003). *Ingeniería Ambiental*. (2da Edición) Prentice Hall. México.
- González et.al (2000). *Remodelación para la cogeneración de un ingenio azucarero de la provincia de Cienfuegos*. Centro Azúcar. Cuba
- Hernández, R.; Fernández, C. & Baptista, P. (1998). *Metodología de la investigación*, 6 ed.  
México: Mc Graw Hill.
- Hernández A (2007). *Ahorro y uso eficiente del recurso agua en una empresa del sector de aceites y grasas vegetales de Bogotá*. Bogotá: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- Hurtado de Becerra, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Caracas: Servicios Y proyecciones para América Latina.
- Ibarra Vega, D. W. (2017) *Modelado para la evaluación de Sostenibilidad en la Cadena de Suministro de Bioetanol*. Doctorado. Manizales: Universidad Nacional de Colombia
- ICONTEC (2000). *NTC 1486. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación*. NTC 14031:2000. Evaluación del desempeño ambiental
- Ingaramo, A., Heluane, H., Colombo, M., Argüello, T., & Cesca, M. (2004). *Uso Eficiente del Agua en Ingenios Azucareros*.

- Jensen, C., & Schumann, G. (2001). Implementing a zero effluent philosophy at a cane sugar factory. In Proceedings of International Society of Sugarcane Technologists (Vol. 24, pp. 74-79).
- Jiménez H, L. M. (1992). Medio Ambiente y Desarrollo Alternativo: Gestion Racional de Los Recursos para una Sociedad Perdurable. Madrid. España. Recuperado de <http://books.google.es/books>
- Jiménez H, L. M. (1992). Medio Ambiente y Desarrollo Alternativo: Gestion Racional de Los Recursos para una Sociedad Perdurable. Madrid. España. Recuperado de <http://books.google.es/books>
- Lozano Rivas, W.A. (2012). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Colombia: Universidad Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias del Ambiente, Agrícola y Pecuarias, pp. 176-190.
- Maldonado, C. (2010). *La Ecología y la Economía Frente al Desarrollo Sostenible*. Huelva: Universidad de Huelva.
- Maldonado, J. (2015). *Gestión Ambiental Para Un Desarrollo Humano Sustentable*. Santiago: Universidad Cervantes.
- Medina, G. (2005). *Estudio hidrogeológico con énfasis en hidrogeoquímica de los acuíferos en la zona sur del departamento del Valle del Cauca, Colombia*. Foz do Iguaçu.
- Mendez, F. (2009). *Factores ambientales y Malformaciones congénitas: aspectos teóricos y metodológicos*. Cali: Univalle.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto Número 50. Bogotá (Colombia). El Ministerio. 15 p. 2018.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto único Número 1076. Bogotá (Colombia). El Ministerio. 654 p. 2015.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ley número 373. Bogotá (Colombia). El Ministerio. 7 p. 1997.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1207 del 2014. Uso de aguas residuales tratadas. Bogotá (Colombia). El Ministerio. 11 p. 2014.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 631 del 2015. Parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y al alcantarillado público. Bogotá (Colombia). El Ministerio. 62 p. 2015.

Ministerio de Ambiente (2000). *Guía ambiental para el subsector de la agroindustria*. Bogotá Colombia

Ministerio de Ambiente (2002) *Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua*. Bogotá Colombia: CNPML

Ministerio de Ambiente (2002) *Guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales*. Bogotá Colombia

Morales Trujillo, J. (2011). *Impacto Ambiental de la Actividad Azucarera y Estrategias de Mitigación*. Méjico: Universidad Nacional de Veracruz, Facultad de Ciencias químicas.

- Ndlazi, M., Singh & Ndlovus (2014). *Steps taken To Rehabilitate The Effluent Treatment Plant At Pongola Sugar Mill*. Pongola, South Africa.
- Parashar, D. (1969). *Tratamientos en las fabricas de azucar y su influencia en la polución y oxidación de las aguas*. Hycinth.
- Pérez, M. A. (2011). *Agro-Industria Cañera Y Uso Del Agua: Análisis Crítico En El Contexto De La Política De Agrocombustibles En Colombia*. Cali: Universidad del Valle.
- Perez, M., & Rojas, J. (2008). *Hacia El Desarrollo Sostenible En Colombia*. Cali: Universidad del Valle.
- Puerta Fernández, J. F. (2002). *Integración energética entre los procesos de producción de azúcar crudo, pulpa y papel de bagazo*. Tesis de Doctorado. Universidad de Cienfuegos.
- Ramalho, R. S., Beltrán, D. J., & de Lora, F. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté.
- Republica, S. d. (2002). *Ley 25675*. Bogotá: Estado.
- Rojas, R. (1990). *Programa de Salud Ambiental, Lagunas para el Tratamiento de desechos industriales*. Lima- Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS),
- Romero J. (2002) *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería Bogotá Colombia
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. Bogotá, CO, Escuela Colombiana de Ingenieros.

- Romero Rojas, J. A. (2004). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Bogotá, CO, Escuela Colombiana de Ingenieros.
- Romo, P. (2016). *Caracterización Del Agua Recirculada Y Optimización Dela Dosificación De Lechada De Cal En El Agua Residual Del Ingenio Risaralda S.A. .* Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Sabino, C. (1997). *La Tecnocracia como clase. Trabajo de ascenso no publicado.* Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela
- SAGARPA; CONDESUCA, Universidad Autónoma de Chapingo. (Abril de 2016). Reducción del consumo de agua en los procesos productivos del Ingenio. *Boletín Informativo.* México.
- Sartor, A. & Cifuentes, O. (2012). *Propuesta de Ley Nacional para Reuso de Aguas Residuales. 18º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente.* Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. GEIA, Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental,–U.T.N.
- Siddiqui, W. Waseem, M., (2012) A comparative Study of Sugar mill treated and Untreated Effluent. *Oriental Journal of Chemistry.* Vol. 28(4).
- Soriano, E (2015). *Diseño y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales de una recicladora de tanques.* Master en ingeniería ambiental. Ecuador: Universidad Estatal de Guayaquil.
- Tafur, H. (2008). *No Hay Agua Para Tanta Caña.* Cali: Universidad del Valle.
- Tamayo, M. (1995). *El Proyecto de Investigación.* Bogotá: Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, ICFES

- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa
- Tamayo, S. S. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Rev Cubana Hig Epidemiol vol.52 no.3* .
- Tellows P. (1994). *Tecnología del Procesado de los Alimentos, Principios y Prácticas*. Editorial Acribia, S.A. España
- Toledo, J. (2001). *Sistemas y procesos del uso del agua en fábricas. proc. Aust. Sugar Cane Technol.*
- Trinidad, J. G. (2003). Efecto de la adición de agua residual urbana sobre las características de un suelo agrícola.
- Valera B., K. F. (2016). Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera Tres Valles, en Honduras. Zamorano, Honduras.
- Viracucha, S. (2012). Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Generadas en un Ingenio Azucarero – Con la Tecnología de Lodos Activados.
- Wright, P. (1992). *Proc. Aust. Soc. Sugarcane. Indooroopilly*: BSES.