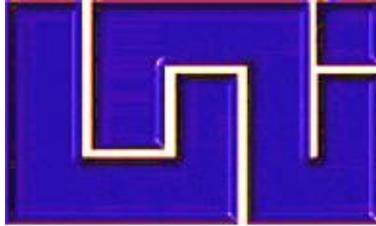


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**



***“Evaluación del sistema de tratamiento de agua de proceso en la empresa
Kola Shaler Industrial S.A., durante el período Marzo-Septiembre 2015”***

**TRABAJO MONOGRÁFICO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

Br. Edith Milagros Blandón Castillo

Br. Marbelly de los Ángeles Martínez López

TUTOR

Ing. Javier Enrique Ramírez Meza

Asesor Técnico

Ing. Yeldy Muñoz Centeno

Managua, Nicaragua 2016

Agradecimientos

A Nuestro Señor Jesucristo y a María Santísima, por darnos la fuerza para trabajar el doble y así poder culminar este trabajo.

A nuestras familias por el apoyo incondicional que nos brindaron para el cumplimiento de esta gran meta.

A la empresa Kola Shaler Industrial S.A. por permitirnos realizar el trabajo en sus instalaciones, por confiar en nosotras y brindarnos el apoyo económico requerido para efectuarlo.

A COMERRSA quién nos brindó su apoyo para enriquecer este trabajo.

A nuestro tutor Javier Ramírez Meza por el apoyo y colaboración en la realización de este trabajo.

Al personal de Kola Shaler quienes de manera voluntaria ayudaron en el transcurso del trabajo, en especial al señor Francisco Rugama, operador de tratamiento de agua, quien siempre estuvo dispuesto a colaborarnos y brindarnos toda la información necesaria.

Y a todos los que de alguna manera aportaron en la realización de este trabajo, a los que nos ayudaron en la revisión y nos regalaron su tiempo para que lográramos tener un trabajo de mejor calidad.

Dedicatoria

A Dios y a nuestra madre Santísima por permitirme llegar donde estoy, por iluminar mi camino, por llenarme de fortaleza, paciencia y sabiduría para guiarme hacia esta gran meta en mi vida.

A mis padres Ramona Castillo Blandón y José Ramón Blandón Zamora por su apoyo incondicional, por creer en mí y siempre tener una voz de aliento en los momentos más difíciles, por inculcarme todos los valores que hacen de mi la persona que soy, a ellos les dedico todos mis triunfos y éxitos, los amo.

A todos mis allegados, por sus consejos, el apoyo que me han brindado, las infinitas palabras de aliento que me han ayudado cuando más lo necesito y por los momentos compartidos.

Edith Milagros Blandón Castillo

En primer lugar y antes que a nadie, dedico este trabajo a Dios Altísimo y misericordioso, quien me ha bendecido, protegido y ayudado desde que inicié mis estudios primarios hasta la culminación de esta carrera profesional, así como a la Santa Virgen María que se, me ha cuidado en todo momento.

A mi mamá, Milagros López quien con mucho esfuerzo y sacrificio me ha apoyado en cada etapa de mi vida, quien ha luchado junto a mí para poder llegar a esta meta y por haberme educado de la manera que lo hizo pues gracias a eso tengo los valores que permitieron que llegara hasta este punto.

A cada persona que cuando pedí su ayuda no me la negaron y por el contrario, estuvieron siempre animándome y dándome aliento cuando pensaba que jamás podría llegar a realizar este sueño hoy hecho realidad.

Marbelly de los Ángeles Martínez López

Opinión del catedrático guía

Por este medio hago constar que he brindado seguimiento al trabajo monográfico realizado por las bachilleres. Edith Milagros Blandón Castillo y Marbelly de los Ángeles Martínez López, titulado: Evaluación del sistema de tratamiento de agua en la empresa Kola Shaler Industrial S.A., durante el período Marzo-Septiembre 2015.

Las actividades realizadas y presentadas en el documento, cumplen con lo establecido en la normativa de culminación de estudio, de la Universidad Nacional de Ingeniería. Durante el desarrollo de la monografía ellas han implementado gran parte de los conocimientos adquiridos durante sus estudios, además requirieron de una preparación extra (mediante el autoestudio y/o capacitación), para poder concluir con éxito su trabajo monográfico.

Es importante destacar que todo lo presentado en el estudio surgió de una necesidad de que presentaba la empresa Kola Shaler. Por tanto, los resultados presentados en esta monografía serán tomados en cuenta por la gerencia de la empresa para su posterior implementación, de esta forma esta monografía contribuirá a la mejora del proceso de tratamiento de agua de proceso para la elaboración de las bebidas.

Por todo lo expuesto anteriormente, aseguro que las bachilleres Blandón y Martínez, reúnen en este trabajo los requisitos para que opten al título de Ingeniero Químico.

Sin más a que referirme, me despido.

Atentamente

**Javier Enrique Ramírez Meza
Profesor Titular
Departamento de Operaciones Unitarias
Facultad de Ingeniería Química
Universidad Nacional de Ingeniería
jramirez@uni.edu.ni**



Opinión Gerente General Kola Shaler Industrial S.A.

Managua, Nicaragua 18 Noviembre 2015.

PhD. Rafael Gamero Paguaga
Decano FIQ
Su oficina

Estimado PhD. Gamero:

Reciba un cordial saludo del equipo de trabajo de la empresa Kola Shaler Industrial S.A. y del mío propio.

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que las jóvenes:

Br. Edith Blandón Castillo
Br. Marbelly Martínez López

Han realizado el trabajo monográfico que tiene por nombre: *Evaluación del Sistema de Tratamiento de agua en la empresa Kola Shaler Industrial S.A.* Y han contado con la aprobación y apoyo económico requerido para la ejecución del mismo.

Dicho trabajo monográfico, se realizó en los meses de Marzo a Septiembre de 2015.

Agradeciendo su amable atención, me despido, deseando éxitos en sus funciones.

Atentamente;



José Antonio Mena Hanon
Gerente General
Kola Shaler Industrial S.A.

Resumen

El presente estudio consiste en la realización de la evaluación del sistema de tratamiento de agua en la empresa Kola Shaler, el cual surgió por una necesidad de la empresa, lo que permitió que esta brindará la información de la tanto de la fuente de agua de proceso, del proceso implementado para tratar el agua para la producción de sus bebidas y las condiciones de este.

La evaluación consistió en identificar tanto; la calidad de la fuente de agua, para lo cual se realizó un análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que la empresa registro en los años 2011-2014, al mismo tiempo se evaluó cada equipo que conforma el sistema y se corroboró que estos cumplieran las funciones para lo cual fueron instalado.

Mediante análisis de parámetros fisicoquímicos se determinó la eficiencia de remoción que tiene el sistema, logrando con esto, verificar que, si este realiza la función para lo cual fue instalada, que es elevar la calidad del agua a la salida del mismo y de no ser así, identificar los factores que están perjudicando los valores de los parámetros fisicoquímicos.

Con los resultados que se tuvieron de los análisis y la ayuda del proveedor de suministros de equipos para tratamientos de agua, COMERRSA, se presentaron a la empresa propuestas de cambios al sistema de tratamiento que posee actualmente, además se planteó la idea de utilizar tecnologías alternativas que ayuden a elevar la calidad del agua, sin que se afecte el sabor característico de la bebida.

Finalmente, se hizo una valoración de los aspectos ambientales, técnicos y económicos de los cambios que se propusieron versus el sistema de tratamiento actual; donde se incluyeron los consumos de energía que presentan ambos sistemas y por ende, las emisiones de CO₂ que esto provoca; se mostraron también la facilidad o no, de limpieza de los equipos y los costos en que se deben incurrir para mantener en funcionamiento cualquiera de ellos.

Al final se recomienda a la empresa implementar el sistema de tratamiento propuesto, ya que esto permitirá asegurar la calidad de agua que requieren las bebidas elaboradas.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
II.1. Objetivo general	3
II.2. Objetivos Específicos	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1 Generalidades	4
3.2 Características del Agua	4
3.2.1 Características Físicas	4
3.2.2 Características Químicas	5
3.2.3 Características microbiológicas	8
3.3 Parámetros estándar del agua para proceso en Kola Shaler S.A	10
3.4 Sistema de Tratamiento Convencionales	12
3.4.1 Cloración	12
3.4.2 Coagulación/Floculación	12
3.4.3 Sedimentación	16
3.4.4 Filtración	17
3.4.5 Afino con Carbón Activo	18
3.4.6 Desinfección	18
3.5 Descripción del proceso de tratamiento de agua en Kola Shaler	18
3.6 Diferentes tecnologías para el tratamiento Agua	19
3.6.1 Proceso de Desinfección	19
IV. METODOLOGÍA	21
4.1 Reconocimiento de Proceso de Tratamiento	21
4.1.1 Identificación del proceso de tratamiento	21
4.2 Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos, global y de cada uno de los equipos del proceso de tratamiento.	22
4.2.1 Selección de puntos de muestreo	22
4.2.2 Recolección y transporte de las muestras de agua	22
4.2.3 Determinación de eficiencia de remoción del ST	23
4.3 Verificación de las capacidades de diseño y funcionalidad de cada equipo del ST	25

4.3.1. Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del tanque reactor	25
4.3.2 Determinación de capacidades de diseño y funcionalidad de filtro de arena	27
4.3.3 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del filtro de carbón activado	28
4.3.4 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del filtro pulidor	28
4.4. Elaboración de propuestas de cambios para el ST actual	29
4.5. Valoración ambiental, técnica y económica del ST actual y modificado	29
4.5.1. Valoración ambiental, técnica y económica del ST actual	29
4.5.2. Valoración ambiental, técnica y económica del ST modificado	30
V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
5.1 Reconocimiento del proceso de tratamiento	31
5.1.1. Identificación del proceso de tratamiento	31
5.1.2. Identificación de las características del agua potable para los años 2011-2014	31
5.2 Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos, global y de cada uno de los equipos en el proceso de tratamiento	35
5.2.1. Eficiencia global del ST	35
5.2.2. Eficiencia de remoción en cada equipo del ST	39
5.3 Verificación de las capacidades de diseño y la funcionalidad de cada equipo del ST	44
5.3.1 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del Tanque Reactor	44
5.3.2 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del Filtro de Arena	47
5.3.3 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del Filtro de Carbón	48
5.3.4 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del Filtro Pulidor	48
5.4 Elaboración de propuestas de cambios para el ST actual	49
5.5 Valoración ambiental, técnica y económica del ST actual y del ST modificado	54
5.5.1. Valoración ambiental, técnica y económica del ST actual	54
5.5.2. Valoración ambiental, técnica y económica del ST modificado	55
VIII. CONCLUSIONES	60
IX. RECOMENDACIONES	61
X. NOMENCLATURA	62
VII. BIBLIOGRAFÍA	65
VIII. ANEXOS	68

ANEXO A	69
A.1 Fundamentos teóricos para la toma de muestras	70
A.2 Fundamentos Para la Caracterización Granulométrica de Partícula	73
ANEXO B	74
B.1 Equipos Sistema de Tratamiento Actual	75
B.2 Equipos Utilizados para realizar pruebas	77
B.3 Toma de muestras de agua y almacenamiento para transportarlas	78
ANEXO C	79
ANEXO D	80

Índice de tablas

Tabla 3.1	Iones Responsables de la Dureza	7
Tabla 3.2	Parámetros Organolépticos	10
Tabla 3.3	Parámetros Físico-Químicos	11
Tabla 3.4	Parámetros Bacteriológicos	11
Tabla 3.5	Parámetros para sustancias no deseadas	12
Tabla 4.1	Parámetros analizados en los PM seleccionados	24
Tabla 4.2	Métodos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para los parámetros seleccionados.	25
Tabla 5.1	Comparación entre el agua potable y agua tratada con las normas CAPRE	34
Tabla 5.2	Eficiencia global del ST	35
Tabla 5.3	Análisis microbiológicos en PM1	38
Tabla 5.4	Eficiencia de remoción de cada PM	43
Tabla 5.5	Cálculo de las capacidades de diseño y condiciones de operación de los equipos del ST.	44
Tabla 5.6	Resultados de Prueba de Jarras al agua de pozo	46
Tabla 5.7	Resultados prueba de Granulometría	47
Tabla 5.8	Características técnicas del lecho filtrante de carbón	48
Tabla 5.9	Características técnicas de los filtros pulidores	49
Tabla 5.10	Especificaciones técnicas de medio Filtrante Turbidex™	51
Tabla 5.11	Especificaciones técnicas de lámpara UV	52
Tabla 5.12	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos requeridos para el agua de proceso en Kola Shaler.	53
Tabla 5.13	Costos anuales del S.T actual	55
Tabla 5.14	Costos de operación del sistema de tratamiento propuesto	57
Tabla 5.15	Cálculo del Costo Anual Equivalente (CAUE) para reemplazo de equipos	58
Tabla 5.16	Cálculo del CAUE primer escenario	58
Tabla 5.17	Calculo del CAUE segundo escenario	59

Índice de figuras

Figura 3.1 Sistema de tratamiento actual Kola Shaler S.A.	19
Figura 4.1 Ubicación de Empresa Kola Shaler	21
Figura 5.1 Resultados promedios de los análisis históricos para la conductividad del agua potable, para los años 2011-2014	32
Figura 5.2 Resultados promedio de los análisis históricos de nitratos y sólidos totales del agua potable, para los años 2011-2014	32
Figura 5.3 Resultados promedios de los análisis históricos de sulfatos y cloruros del agua potable, para los años 2011-2014.	33
Figura 5.4 (a) Entrada de agua y reactivos químicos al tanque reactor	45
Figura 5.4 (b) Interior de tanque reactor	45
Figura 5.5 Conductos de Tanque Reactor	45
Figura 5.6 Comportamiento de la Turbiedad vs Dosis de Coagulante	46
Figura 5.7 Comportamiento del pH vs dosis de Coagulante	47
Figura 5.8 Distribución de equipos en el ST modificado	56

I. Introducción

Kola Shaler Industrial S.A., es una empresa nacional dedicada a la fabricación de bebidas carbonatadas y no carbonatadas, está ubicada en el Km 2 carretera a Sábana Grande, en la ciudad de Managua. Sus inicios datan a principios de 1900 y a medida que pasa el tiempo se ha convertido en una de las empresas con mayor prestigio a nivel nacional.

Ha logrado alcances tales como Premio Nacional a la Calidad, otorgado por el Ministerio de Fomento y Comercio (MIFIC) en los años 2004-2006 y 2012-2014, poseer la certificación de BPM y la ISO 9001-2008 (Otorgado por el Instituto Colombiano de Normalización Técnica, ICONTEC); esto como fruto del arduo trabajo que han tenido desde sus inicios, enfocados en la gestión de la calidad (Política de Calidad Kola Shaler).

Como explica (DUE, 2015), la materia prima fundamental para la preparación de todas las bebidas con y sin alcohol es el agua; por consiguiente, es necesario tener a disposición agua con calidad idónea. Para poder lograr esto las empresas invierten capital en procesos de purificación de agua, ya que independientemente la fuente de la cual la obtengan, puede presentar impurezas que luego afectarán de manera directa la calidad de sus productos terminados.

Ejemplo de esto, es la evaluación realizada por Aguilera (2002) a la empresa Embotelladora Nacional S.A (ENSA) para mejorar su nivel de producción, en donde se caracterizó fisicoquímicamente el agua al inicio y al final del proceso, se determinó la dosis óptima de coagulante a utilizar y por último se hicieron los cálculos para saber la viabilidad económica de la propuesta.

Kola Shaler, es consciente de la importancia de preservar los recursos acuáticos, es por esto que le ha preocupado observar que su sistema de tratamiento de agua de procesos genera residuos químicos, los cuales se depositaban sin control al ambiente, como parte de su responsabilidad, la empresa ha tomado la iniciativa de buscar una solución a este problema.

Uno de los primeros pasos para alcanzar este objetivo fue la realización del estudio hidrogeológico realizado por (Fuentes Reyes & Peralta, 2014) con el fin de obtener la información geológica e hidrogeológica del área en donde se encuentra construida la planta de producción de Kola Shaler S.A., concluyendo que el pozo tiene un caudal de explotación de 150 gpm, el acuífero presente en el área de interés se desarrolla y mueve en un medio poroso, cuyos poros se encuentran interconectados entre sí, lo cual hace que se acumulen o formen acuíferos de gran importancia, desde el punto de vista hidrogeológico esto representa los mejores acuíferos del país, dado que se encuentra dentro de la Provincia Hidrogeológica del Graben Nicaragüense.

Por otro lado, se introdujo la idea por parte del coordinador de control de calidad de la empresa Ing. Yeldy Muñoz, la posibilidad de realizar una evaluación del sistema de tratamiento de agua, para conocer a profundidad; el funcionamiento de cada equipo, la eficiencia de estos para elevar la calidad del agua, así como los productos químicos que están siendo utilizados para tal fin y sobre todo la función que se espera de cada uno de ellos.

Es en este punto donde radica la importancia del presente estudio, ya que, con los resultados obtenidos de la evaluación, la empresa conocerá con mayor precisión las posibles alternativas para reducir el uso de productos químicos, o bien, encontrar una tecnología sustituta que permita mantener la calidad de sus productos y que sea amigable con el ambiente.

II. Objetivos

II.1. Objetivo general

- Evaluar el sistema de tratamiento de agua de proceso en la empresa Kola Shaler Industrial S.A. con el fin de proponer cambios que permitan mejorar la eficiencia del sistema.

II.2. Objetivos Específicos

- Determinar la remoción de parámetros fisicoquímicos del agua en cada uno de los equipos y por consiguiente conocer la eficiencia del sistema de tratamiento.
- Verificar la funcionalidad operacional del sistema de tratamiento, tomando en cuenta sus condiciones de diseño y condiciones de operación actuales, permitiendo la evaluación de cada uno de los equipos que lo conforman.
- Elaborar propuestas de mejora al tratamiento de agua de proceso, cumpliendo los parámetros de calidad del agua potable, que se establecen en las Normas de Calidad de Agua de Consumo Humano (CAPRE) y en conjunto con las normas de calidad de agua de proceso típicas para una industria de bebidas.
- Determinar los beneficios que conlleva un cambio de tecnología en el sistema de tratamiento de agua de proceso actual, evaluado desde los aspectos ambientales, técnicos y económicos.

III. Marco Teórico

3.1 Generalidades

Según la Real Academia Española, el agua (del latín aqua) es la “sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida, en pequeña cantidad incolora y verdosa o azulada en grandes masas”.

El agua se encuentra en nuestro planeta en forma líquida, sólida y gaseosa. El total de agua en la Tierra se estima en unos 1.400 millones de km³, de los cuáles un 3% del total corresponde a agua dulce. La provisión global de agua en la Tierra está sometida al denominado "Ciclo Hidrológico" que consiste en una serie de cambios de fase, de características físicas, químicas, y microbiológicas (Galvín, 2005).

Cabe señalar que el agua no es utilizable tal y como la encontramos en la naturaleza, porque salvo en casos raros no es suficientemente pura, ya que al entrar en contacto con la superficie de la tierra e incluso a través del aire, el agua se contamina y se carga de sustancias no deseadas.

3.2 Características del Agua

Las características del agua son todos aquellos parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se encargan de definir o determinar la calidad del agua, dichos parámetros son los encargados de delimitar su uso, ya que la presencia de impurezas, microorganismos o sustancias químicas alteran sus características y hacen del agua un recurso inutilizable.

3.2.1 Características Físicas

Las características físicas del agua son aquellas que inciden en el aspecto y aceptabilidad de la misma, entre las cuales tenemos: color, sabor, olor, temperatura, turbiedad y sólidos totales disueltos.

Color: El color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de Fe³⁺ y Mn²⁺ (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua (Galvín, 2005).

Los colores más comunes que se presentan en las aguas crudas son: El amarillo-marrón por la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución, y pardo-negro por la presencia de ácidos húmicos, cualquier grado de color es objetable al consumidor, por tal motivo su remoción se convierte en un objetivo esencial del tratamiento (Gerard Kiely, 1999).

Sabor-olor: Las fuentes de sabores y olores en un agua responden a dos orígenes: naturales y artificiales. Las primeras incluyen gases, sales, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos y compuestos procedentes de la actividad vital de los

organismos acuáticos. Los compuestos productores de olor/sabor de origen artificial pueden ser también orgánicos e inorgánicos y están probablemente más definidos, al poder identificarse la fuente concreta productora del problema.

La mayoría de las sales y minerales producen olor y sabor salado o metálico en el agua: Fe^{3+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} , como iones metálicos, mientras que en las aguas donde todos ellos pueden vivir en ellas: algas, hongos, bacterias, cianofíceas, organismos zooplanctónicos y en general, los que llevan a cabo la putrefacción de materias orgánicas y su descomposición (Galvín, 2005).

Temperatura: La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiológicas (Galvín, 2005). Esta también afecta de manera directa la biodegradación de la materia orgánica en el agua, ya que este proceso se ve acelerado cuando este parámetro se incrementa.

Además de esto la conductividad electrolítica incrementa e influye en la proliferación de algas y en la precipitación de los compuestos, por otra parte si esta disminuye la viscosidad del agua aumenta y por consiguiente afecta directamente el proceso de sedimentación, hace que este sea lento; lo que ocasionalmente afecta el proceso de filtración (Flores & Rivas, 2013).

Turbiedad: Según Galvín (2005) la presencia de materias en suspensión, arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y organismos microscópicos da lugar a la turbidez en un agua. Estas partículas (de dimensiones variables desde 10 nm hasta 0,1 mm) pueden asociarse a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas y partículas filamentosas las cuales reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado, provocando que la luz sea re-emitida y no transmitida en línea recta.

Sólidos Totales Disueltos: Galvín (2005) señala que los sólidos en agua constituyen todos los contaminantes presentes a excepción de los gases, son clasificados de acuerdo a su estado, tamaño y características químicas.

Se considera que los TDS son el material coloidal y el disuelto; ambos con tamaño de partícula inferior a 1 μm . Sin embargo, las partículas coloidales, que son de origen arcilloso, no se disuelven, sino que permanecen en suspensión porque su velocidad de sedimentación es menor a 0,1 mm/s. A pesar de este hecho, se les clasifica como TDS por lo que no quedan retenidas en el filtro estándar. En específico, éstos sólidos incluye minerales disueltos, sales, ácidos húmicos y taninos; siendo los mayores contribuyentes las sales de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos (Flores & Rivas 2013).

3.2.2 Características Químicas

El agua contiene múltiples compuestos químicos que pueden ser de origen natural o industrial y ser benéficos o dañinos de acuerdo con su composición y

concentración. Las principales características químicas utilizadas para la evaluación de la calidad del agua son la conductividad, alcalinidad, oxígeno disuelto, pH, dureza, hierro, manganeso y compuestos nitrogenados.

Conductividad: La conductividad eléctrica del agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones en el agua, de su concentración total, de su movilidad, de su carga y de las concentraciones relativas, así como de la temperatura, puesto que a mayor temperatura, menor viscosidad, y a menor viscosidad, mayor libertad de movimiento. La conductividad específica ocurre naturalmente en su mayor parte por el contenido de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- y TDS con concentraciones menores que 2500 mg/L, si bien el incremento de la conductividad eléctrica con la temperatura puede variar de un ion a otro, en general, se acepta que ésta aumenta en promedio un 3% por cada grado centígrado que aumente la temperatura (Gerard Kiely, 1999).

Alcalinidad: Según Carvajal (2014), se define como el poder de una disolución para neutralizar los iones H^+ y se debe primordialmente a las sales de los ácidos débiles, tales como carbonatos, bicarbonatos, boratos, silicatos y fosfatos, y unos pocos ácidos orgánicos que son muy resistentes a la oxidación biológica (ácidos húmicos) y llegan a formar sales que contribuyen a la alcalinidad total. La alcalinidad debida a hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos es tan alta que hace despreciable la contribución de otros materiales. Los bicarbonatos representan las mayores formas de alcalinidad porque se forman en cantidades considerables por la acidez del CO_2 sobre los materiales ácidos del suelo.

Carvajal (2014) no considera que la alcalinidad cause daño al hombre, pero se encuentra asociada al pH, la dureza y los sólidos disueltos que si pueden producir efectos deletéreos. La alcalinidad se controla en los procesos de: coagulación, ablandamiento, estabilización, procesos biológicos y en el tratamiento de residuos industriales ácidos o básicos.

Oxígeno disuelto (OD): Todos los gases de la atmósfera son solubles en agua en algún grado, el oxígeno es pobremente soluble y no reacciona químicamente con el agua. La cantidad de oxígeno que está en el agua se denomina oxígeno disuelto. El OD se utiliza para el control de la contaminación en aguas naturales, las cuales deben tener condiciones favorables para el crecimiento y reproducción de la población de peces y organismos acuáticos, suministrando niveles de oxígeno suficientes y permanentes (Carvajal, 2014).

El oxígeno disuelto es muy importante por ser un factor que determina la existencia de condiciones aerobias o anaerobias de un medio particular; también sirve como base para cuantificar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), tasas de aireación en los procesos de tratamiento aerobio.

pH (Potencial de Hidrógeno): Se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Respecto a lo primero, la secuencia de

equilibrios de disolución de CO₂ en un agua, y la disolución de CO₃²⁻ e insolubilización de HCO₃⁻, determinan el pH de un agua, el valor de pH de aguas superficiales está entre 6-8,5, siendo las aguas subterráneas más ácidas que las superficiales (Galvín, 2005).

Carvajal (2014) señala que se usa universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas de una solución. Concentraciones excesivas de H⁺ afectan el agua en algunos de sus usos y por esta razón es una medida de polución en potencia. El pH es el que controla el grado de disociación de muchas sustancias. La presencia de carbonatos, fosfatos y de iones similares dan al agua un poder bufferizante y entonces la adición al agua de un ácido o de una base en tales condiciones no causa mayor efecto en el pH.

Dureza: La dureza total inicia con la acción disolvente del agua pluvial sobre las formaciones que disuelve una gran cantidad sales minerales como cationes metálicos divalentes de Ca²⁺ y Mg²⁺ en forma de sulfatos de calcio y magnesio, y en mayor medida cuando hay un aumento del CO₂ en el agua (Flores & Rivas, 2013).

Carvajal (2014) explica que la dureza del agua no tiene ningún efecto nocivo para la salud. Sus desventajas son que el agua dura es la que requiere mucho jabón para ejercer su acción limpiadora, formando incrustaciones cuando se eleva la temperatura.

Flores & Rivas (2013) señalan que la dureza del agua subterránea es provocada por el paso de ésta a través de los depósitos minerales de carbonato de calcio y magnesio que son la fuente principal de dureza del agua. Tales depósitos son muy extendidos, por lo tanto el agua subterránea dura a moderadamente dura es más común que el agua subterránea blanda, en cambio, el agua subterránea muy dura se encuentra muy frecuentemente.

La remoción de la dureza o proceso de ablandamiento o de suavización, se realiza con cal para remover la dureza carbonácea y con soda para retirar la dureza no carbonácea (Carvajal, 2014). En la Tabla 5.1, se muestran los principales cationes y aniones que causan la dureza del agua. No obstante, el Al³⁺ y Fe³⁺, son considerados causantes de la dureza en menor medida (Rojas, 1999).

Tabla 3.1 Iones Responsables de la Dureza

Cationes	Aniones
Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻
Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
Si ²⁺	Cl ⁻
Fe ²⁺	NO ₃ ⁻
Mn ²⁺	SiO ₃ ²⁻

Fuente: Kiely, 1999.

Arsénico: Impureza en muchos minerales (p.e., de cobre, plomo, zinc y cobalto) accede a las aguas por disolución de sus sales y de sus complejos orgánicos procedentes de emisiones volcánicas o de vertidos industriales metalúrgicos, de insecticidas o de refinado de metales (Galvin, 2005).

Hierro: El Fe^{+3} presente en un agua proviene de disolución de rocas y minerales, así como de aguas residuales procedentes de la producción de acero y otros materiales (Galvin, 2005).

En general, el Fe^{+3} se encuentra en forma trivalente en las aguas naturales, variando su concentración típicamente entre 0,01 mg/L y 0,30 mg/L, no superándose estos niveles ya que a valores de pH en torno a la neutralidad ya se produce la precipitación de Hidróxido de Hierro III ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) hidratado que es la sal más común en medios hídricos oxigenados (Galvin, 2005).

Desde un punto de vista fisiológico, el Fe se encuentra en muchas proteínas (p.e., hemoglobina), citocromos y en varias enzimas redox, siendo el responsable de la respiración celular. Por otro lado, la ingestión de elevadas cantidades de compuestos de Fe provoca importantes alteraciones llegando a la necrosis (si bien de índole reversible) en varios tejidos humanos.

Manganeso: Es un elemento ampliamente difundido en la naturaleza, siendo la pirolusita (dióxido de manganeso) su mineral más frecuente. Las rocas y minerales que contienen Mn son fácilmente solubles en aguas neutras o ligeramente ácidas en condiciones oxidantes moderadas, mediante la formación del ion manganoso (Galvin, 2005).

Se dice que este elemento se puede encontrar en un agua en varias formas químicas: como especie disuelta, en forma coloidal o bien formando complejos variados. En general, los contenidos de Mn en aguas naturales oscilan entre sólo algunos $\mu\text{g/L}$ (aguas oxigenadas) hasta 0,50 mg/L, o incluso más de 1 mg/L en aguas poco oxigenadas.

Desde la óptica fisiológica, el Mn es un elemento traza esencial que está involucrado en la síntesis de flavoproteínas, en la dinámica del colesterol y en la producción de hemoglobina. Tal es así, que la deficiencia de este metal en el organismo puede acarrear problemas cardíacos, anemia y malformaciones óseas diversas en niños. Por contra, consumos de aguas con cantidades elevadas de Mn (>14 mg/L) pueden provocar daños en el cerebro.

3.2.3 Características microbiológicas

Parámetros microbiológicos del agua.

El agua para consumo es un importante medio de transmisión y dispersión de microorganismo patógenos que pueden causar enfermedades hasta epidemias, esto en lugares donde los servicios de agua potable y saneamiento son deficientes, debido a que el contenido de nutrientes en el agua permite el desarrollo de los microorganismos patógenos, los cuales son adquiridos por el contacto del agua con

el aire, suelo, animales y/o plantas (vivos o en descomposición), fuentes minerales y materias fecales (Flores & Rivas 2013; Romero 1999). El mayor riesgo son las aguas contaminadas por excrementos humanos y/o animales de sangre caliente (Zumaeta, 2014).

Coliformes totales: Las bacterias Coliformes totales habitan en el intestino de los mamíferos, y en el medio ambiente a manera de saprófitos (a excepción de la *Escherichia* que tiene origen intestinal) como una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos gramnegativos y no esporulantes capaces de proliferarse en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares, fermentando la lactosa en 35-37 °C. Este grupo se compone de las especies *Escherichia coli* (*E. coli*), *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Hafnia* u otras (Gerard Kiely, 1999; OMS, 2006).

Solo algunas de las especies que conforman el grupo de Coliformes totales son de origen fecal, las demás son especies ambientales que pueden sobrevivir y proliferarse en el agua, por esta razón no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como un indicador de la eficacia de tratamientos para evaluar la calidad higiénica del agua y verificar la posible presencia de biopelículas (Aurazo, 2004; OMS, 2006).

OMS (2006) cita que los Coliformes *totales* deben de estar ausentes en aguas tratadas e inmediatamente después de la desinfección. Si éstos se encuentran, pone en evidencia un tratamiento inadecuado o contaminación posterior al tratamiento. Por otro lado, su presencia en reservas de agua almacenada revela una re proliferación y posible formación de biopelículas, o bien contaminación por la entrada de materias extrañas.

Coliformes termotolerantes: Los Coliformes termotolerantes alcanzan su óptimo desarrollo en medios de cultivos específicos y siembras incubadas a 44,5 °C. El género *Escherichia* es predominante en la mayoría de las aguas, pero algunos géneros de las bacterias *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* también son termotolerantes. De este grupo, las especies *Escherichia* y ocasionalmente la *Klebsiella* fermentan la lactosa a 35-37 °C y 44,5 °C (Aurazo, 2004).

La *E. coli* se distingue la capacidad para producir la enzima cromogénica β -glucuronidasa que hidroliza al 4-metil-umbelliferyl- β -D-glucuronido (MGG), el cual es un nutriente que sirve como fuente de carbono y su efecto se visualiza por la fluorescencia en el medio de cultivo definido. Dentro del grupo de las bacterias termotolerantes, la *E. coli* es el organismo índice más específico y aceptable de contaminación fecal, por estar presente en un número elevado en las heces. Cabe destacar que la *E. coli* no se multiplica en forma apreciable en el ambiente y once de los más de 140 serotipos existentes, producen enfermedades gastrointestinales en el hombre, siendo el *E. coli* O157:H7, la causante de diarrea sangrante en niños (Aurazo, 2004; OMS, 2006).

Flores & Rivas (2013), señalan que los Coliformes termotolerantes no son los mejores indicadores de contaminación fecal, ya que por su determinación no se puede distinguir entre contaminación humana y animal, pero sirven para evaluar la calidad sanitaria del agua, debido a que están directamente relacionados con la transmisión de patógenos. Por esta razón, el agua destinada para el consumo humano no debe contener éstos organismos de contaminación fecal.

3.3 Parámetros estándar del agua para proceso en Kola Shaler S.A

Los parámetros que el agua debe cumplir para poder ser apta para el proceso de producción, son los establecidos por las normas que rigen el agua potable, para todos los productos de Kola Shaler.

Se denomina agua potable al agua "bebible" en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según unos estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales. La aceptación del agua tratada depende de normas y estas normas dependen de cada país (Romero, 2008).

En Nicaragua las normas que rigen la calidad del agua potable son las Normas de Calidad de Agua de Consumo Humano (CAPRE). En estas normas existen parámetros a considerar y esta es la que define si el agua puede ser apta para consumo humano. A continuación se presentan los parámetros de calidad del agua con sus valores de aceptación según las normas CAPRE.

Tabla 3.2 Parámetros Organolépticos

Parámetro	Unidad	Valores recomendados	Valores máximos admisibles
Color verdadero	mg/L (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	NTU	1	5
Olor	Factor Dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C
Sabor	Factor Dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C

Fuente: CAPRE, 1994

Tabla 3.3 Parámetros Físico-Químicos

Parámetro	Unidad	Valores recomendados	Valores máximos admisibles
Temperatura	°C	18-30	-
pH	-	6.5-8.5	-
Cloro residual	mg/L	0.5-1	-
Cloruros	mg/L	25	250
Conductividad	µs/cm	400	-
Dureza	mg/L	400	-
Sulfatos	mg/L	25	250
Aluminio	mg/L	-	0.2
Calcio	mg/L CaCO ₃	100	-
Cobre	mg/L	1.0	2.0
Magnesio	mg/L CaCO ₃	30	50
Sodio	mg/L	25	200
Potasio	mg/L	-	10
TDS	mg/L	-	1000
Zinc	mg/L	-	3.0

Fuente: CAPRE, 1994

Tabla 3.4 Parámetros Bacteriológicos

Parámetro	Unidad	Valores recomendados	Valores máximos admisibles
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Negativo	Negativo
Coliformes Totales	NMP/100mL	Negativo	Negativo

Fuente: CAPRE, 1994

Tabla 3.5 Parámetros para sustancias no deseadas

Parámetro	Unidad	Valores recomendados	Valores máximos admisibles
Nitratos NO₃	mg/L	25	50
Nitritos NO₂	mg/L	-	1
Amonio	mg/L	0.05	0.5
Hierro	mg/L	-	0.3
Manganeso	mg/L	0.01	0.5
Fluoruro	mg/L	-	0.7-1.5
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	-	0.05

Fuente: CAPRE, 1994

3.4 Sistema de Tratamiento Convencionales

3.4.1 Cloración

De acuerdo a (TAR G. , 2005) la adición de cloro en el punto inicial del sistema de tratamiento, cuya función consiste en la reducción de sabores existentes antes de la cloración y la reducción del crecimiento de algas y otros microorganismos presentes en el agua. Esto se consigue añadiendo cloro hasta conseguir cloro residual libre en el agua (Breakpoint) normalmente se busca 0.5 ppm de cloro libre. El cloro se puede adicionar en forma de cloro líquido, solución de hipoclorito de sodio o tabletas de hipoclorito de calcio. (Romero, 2008).

3.4.2 Coagulación/Floculación

Romero (2008) plantea que las impurezas se encuentran en el agua superficial como materia en suspensión y materia coloidal. Las especies coloidales incluyen arcilla, sílice, hierro, otros metales y sólidos orgánicos. La eliminación de una gran proporción de estas impurezas se lleva a cabo por sedimentación, basada en simple gravedad, pero algunas de estas impurezas son demasiado pequeñas para obtener un proceso de eliminación eficiente por lo tanto, se requeriría invertir mucho tiempo para remover los sólidos suspendidos, por lo que es necesario utilizar procesos de clarificación, que consisten en cualquier proceso o combinación de procesos, cuyo propósito es reducir la concentración de los materiales suspendidos en un líquido.

El proceso de Coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, evitando la repulsión entre ellas, y favoreciendo las reacciones entre ellas, dando lugar a la formación de un flóculo o precipitado (TAR, 2009), por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado,

la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos (Andía, 2000).

Andía (2000) señala que el proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada.

Para poder determinar la cantidad de producto a agregar al agua se tiene que hacer un ensayo conocido como "Jar Test" o Test de Jarras con el agua a tratar. Este test mide básicamente el efecto de las diferentes combinaciones de dosis de coagulante y pH (Romero, 2008).

Coagulante utilizados

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

Romero (2008), Andía (2000), y TAR (2009) señalan los tipos de coagulantes y los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el flóculo son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.
- g) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados (Andía, 2000).

Según TAR (2009), se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

- a) Neutralización de la carga del coloide.

El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga. Se ha observado que el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas del ion coagulante.

Así pues, para materias coloidales con cargas negativas, los iones Ba^{2+} y Mg^{2+} , bivalentes, son en primera aproximación 30 veces más efectivos que el Na^+ , monovalente; y, a su vez, el Fe^{3+} y Al^{3+} , trivalentes, unas 30 veces superiores a los divalentes. Para los coloides con cargas positivas, la misma relación aproximada existe entre el ion cloruro, Cl^- monovalente, el sulfato, SO_4^{2-} , divalente, y el fosfato, PO_4^{3-} , trivalente.

b) Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido.

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

Factores que Influyen en la Coagulación.

Andía (2000), considera necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación: pH, Turbiedad, Sales disueltas, Temperatura del agua, Tipo de coagulante utilizado, Condiciones de Mezcla, Sistemas de aplicación de los coagulantes, Tipos de mezcla y el color.

Las interrelaciones entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua, ya que una mala adición de coagulante puede traer no muy buenos resultados tales como:

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escasa, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

Floculación: La floculación es el proceso que le sigue a la coagulación, trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos (TAR, 2009).

Andía (2000) y TAR (2009) señalan que en la segunda etapa de la mezcla que corresponde a una mezcla lenta, con la cual el proceso se ve favorecido, tiene por objeto permitir los contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color, la mezcla debe ser lo suficiente para crear diferencias de velocidad del agua dentro de la unidad,

pero no muy grande, ya que los flóculos corren el riesgo de romperse; aún si el tiempo es no más del tiempo óptimo de floculación.

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

- Por el propio movimiento de las partículas del agua inducida por energía térmica (difusión browniana). En este caso se habla de Floculación pericinética o por convección natural, es muy lenta.

- Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas por una energía exterior a la masa de agua, esto se consigue mediante agitación de la mezcla, puede ser de manera mecánica o hidráulica. A este mecanismo se le denomina floculación ortocinética o por convección forzada. Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética.

Parámetros de la Floculación

Andía (2000) menciona los parámetros que caracterizan a la floculación y son los siguientes:

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microflóculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floculo.
- Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

Tipos de Floculantes

Según TAR (2009) y Andía (2000) los floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

a) Floculantes Minerales: Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

b) Floculantes Orgánicos Naturales: Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Los alginatos, cuya estructura polimérica son: Los ácidos manuránicos y los ácidos glucónicos.

c) Floculantes Orgánicos de Síntesis: Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros

sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 gr/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:

- Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico).
- Neutros o no iónicos (poliacrilamidas).
- Catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

3.4.3 Sedimentación

La sedimentación o clarificación es la remoción de partículas, flóculos químicos y precipitados de una suspensión en un sedimentador que actúa por gravedad. La sedimentación se emplea para eliminar la fracción de sólidos sedimentables de los sólidos en suspensión. Estos sólidos pueden ser los originalmente presentes en el agua, o bien, los flóculos o precipitados formados durante algún tipo de proceso químico (Jimenez, 2001).

La sedimentación puede ser simple o secundaria. La sedimentación simple se emplea para eliminar los sólidos más pesados sin necesidad de otro tratamiento especial; mientras mayor sea el tiempo de reposo mayor será el asentamiento y consecuentemente la turbidez será menor, haciendo el agua más transparente (Mojos, 2009).

Mojos (2009) también indica que el reposo natural prolongado también ayuda a mejorar la calidad del agua, pues provee oportunidad de la acción directa del aire y los rayos solares, lo cual mejora el sabor y elimina algunas sustancias nocivas del agua. La sedimentación secundaria ocurre cuando se aplica un coagulante para producir el asiento de la materia sólida contenida en el agua.

La función primaria de los sedimentadores es eliminar materia decantable pero además, deben permitir recoger y descargar los lodos que se crean, así como concentrarlos, de manera que se eliminen con el menor contenido de humedad posible para facilitar su manejo, tratamiento y disposición.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferentes formas, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de las partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

Partículas discretas: son aquellas partículas que no cambian de características, forma, tamaño y densidad durante la caída.

Partículas floculentas: son aquellas producidas por la aglomeración de las partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas; forma, tamaño y densidad si cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

Partículas por caída libre e interferida: cuando la concentración de partículas es pequeña, cada partícula sedimenta discretamente, como si estuviera sola, no

siendo estorbadas por otras partículas. Partiendo del reposo, la velocidad de una partícula bajo la gravedad en un líquido aumentara al ser la densidad de la partícula mayor que la densidad del líquido. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en un lugar individual, (Castrillón & Giraldo, 2012).

3.4.4 Filtración

Una vez que se ha sedimentado el agua para terminar el proceso de clarificación, se hace pasar por una etapa de filtración, la cual consiste en hacer pasar el agua que todavía contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido, pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. De este modo, las partículas que no han sedimentado son retenidas en los filtros (TAR, 2009).

El medio filtrante más utilizado es la arena, sobre un lecho de grava como soporte. Aunque también existen otros tipos de lechos como membranas filtrantes que pueden ser de plástico o de metal. Para evitar atascamientos en esta etapa, es importante que la retención de las partículas se haga en el interior del lecho filtrante, y no en la superficie del lecho, por este motivo, será muy importante hacer una elección adecuada del tamaño del grano del lecho filtrante.

TAR (2005), cita que dependiendo de las fuerzas que intervengan en el proceso de filtración podemos distinguir entre filtro de gravedad y filtros de presión, siendo los primeros más económicos de explotar y mantener. Se puede hacer una clasificación de los tipos de filtro por gravedad, en función de la velocidad de filtración:

Filtros lentos: La velocidad de filtrado es inferior a $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, estos filtros se utilizan para aguas poco turbias, que no han necesitado de coagulación previa. Requieren una granulometría fina de la arena, o las retenciones se van a producir principalmente en la superficie del lecho, por lo que tienen bajo uso para aguas potables.

Filtros rápidos: La velocidad de filtrado es superior a $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, son los filtros usados normalmente en aguas potables, que previamente han pasado por un proceso de decantación y coagulación.

Cuando un filtro se satura, porque ha llegado a un nivel de lámina de agua máximo, habrá que limpiarlo, para que vuelva a tener capacidad de filtrado. El proceso de lavado va a consistir en una inyección temporal de aire y/o agua en contracorriente, haciendo que se desprendan los sólidos que han quedado retenidos en el lecho filtrante. El agua de estos lavados se puede llevar a cabecera de planta, o alguna instalación de aprovechamiento de las aguas.

Filtro granular Turbidex™: Este medio filtrante tiene la característica de remover sólidos suspendidos con absorción física y electrostática e intercambio iónico. Por su calidad de filtración, reduce la necesidad de filtración adicional con bajos caudales.

Tiene la ventaja de contar con una eficiencia de filtración en un rango de 3 a 5 micras, brinda una turbidez del agua por debajo de 0.1 NTU. Es de fácil y rápida instalación (Hydro-Source, LLC., 2007).

3.4.5 Afino con Carbón Activo

Una vez que el agua ha sido clarificada, pasa a la adsorción sobre carbón activo, que permitirá la disminución de la materia orgánica, color, olor y sabor presente, por separación, al quedar retenidas en la superficie del adsorbente. El adsorbente utilizado es carbón activo en forma granular que se sitúa formando un lecho fijo en una columna de tratamiento, a través del cual pasa el agua (TAR, 2009).

El Carbón Activo puede fabricarse a partir de todo tipo de material carbonoso, o bien, a partir de cualquier carbón mineral no grafitico. Pero, hay que recordar que cada materia prima brinda características y calidades distintas. Una de las principales razones de la aplicación del Carbón Activo es la decloración o eliminación de cloro libre del agua. También se puede utilizar para control de olor y sabor, el crecimiento biológico o eliminar amoníaco.

3.4.6 Desinfección

La etapa final del proceso de tratamiento de aguas potables siempre es la desinfección. En algunos casos en las plantas muy sencillas, ésta es la única etapa del proceso. Hay tres tipos básicos de desinfección: Tratamientos físicos, tratamientos químicos y radiación (TAR, 2009).

Tratamientos físicos: Son los menos utilizados, dentro de este tipo de tratamientos se puede incluir la aplicación de calor. Sin embargo, además de ser costoso, este perjudica el sabor del agua, ya que elimina el oxígeno disuelto y las sales presentes en el agua. Otro de los procesos que se utilizan es el dejar pasar el tiempo, para que los gérmenes fecales disminuyan su concentración al ser el agua retenida en ambiente hostil.

Tratamientos químicos: Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, el dióxido de cloro y el ozono. Dentro de los que tenemos que el cloro en su forma gaseosa o como Hipoclorito de Sodio o Calcio es el más usado.

3.5 Descripción del proceso de tratamiento de agua en Kola Shaler

El sistema de tratamiento utilizado en la industria Kola Shaler S.A, según Romero (2008), es un sistema de tratamiento de tipo A3 (Tratamiento Físico y Químico intensos más Afino y Desinfección), en el cual se lleva a cabo una serie de operaciones que se muestran en la Figura 1, siendo estas Cloración, Coagulación/ Floculación/Sedimentación, Filtración y Afino con Carbón Activo, cada una de las etapas del proceso se explican con más detalles a continuación:

Este proceso es abastecido con agua que se extrae de un pozo, con 320 pies de profundidad a pocos metros de donde actualmente se encuentra su planta de producción. El diámetro de perforación es de 16 pulgadas, la profundidad del agua subterránea es de 35.63 m con respecto al nivel del terreno (Peralta, 2014).

El agua luego de ser succionada es inmediatamente clorada con hipoclorito de sodio el cual es alimentado por una bomba dosificadora, y almacenada en un tanque cisterna de 500 galones de capacidad. Continuando con el tratamiento, el agua es transportada desde la cisterna mediante gravedad a un tanque de 23 m³, donde se le agrega hipoclorito de sodio, Carbonato de Calcio, Sulfato de Aluminio y Cloruro de Calcio, posteriormente se traslada a un filtro de arena; donde se retienen los sólidos insolubles.

Consecutivamente, el agua es trasladada a un filtro de carbón activado, donde se elimina cualquier residuo de cloro y finalmente a un filtro pulidor (20 micrones); cuya función es retener cualquier partícula que haya pasado por los filtros anteriores. Después de esto el agua es bombeada a la fabricación de las bebidas.

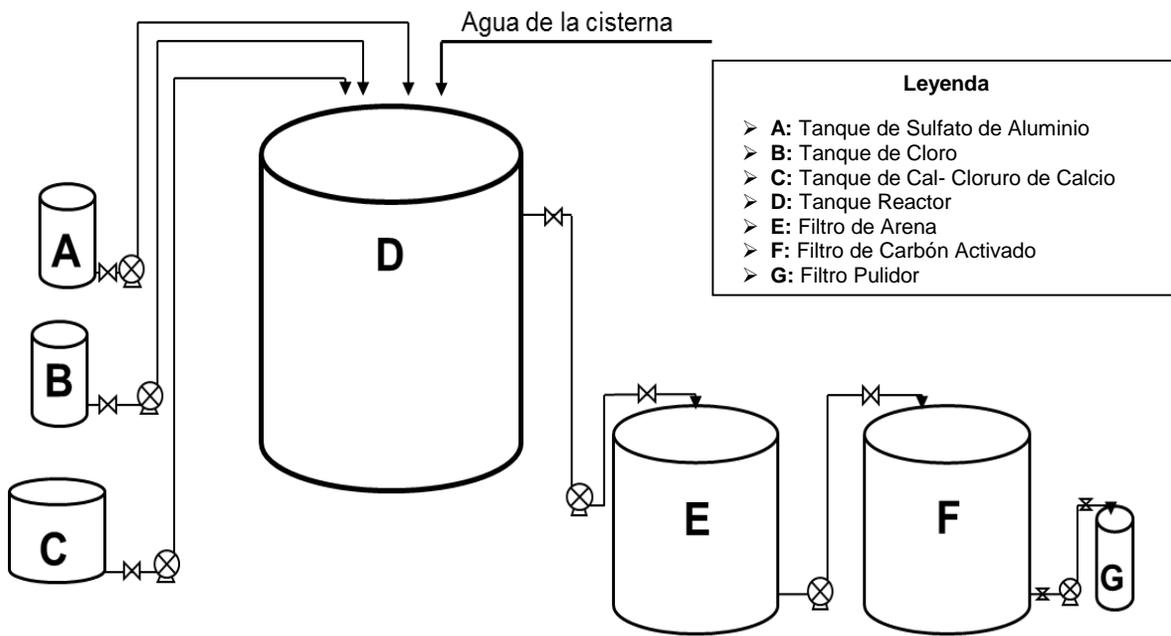


Figura 3.1 Sistema de tratamiento actual Kola Shaler S.A.

3.6 Diferentes tecnologías para el tratamiento Agua

3.6.1 Proceso de Desinfección

Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta se genera con una lámpara especial. Cuando la radiación penetra la pared celular de un organismo, el material genético es modificado y la célula es incapaz de reproducirse. La luz ultravioleta destruye virus y bacterias, sin

embargo, como en el caso del ozono, es necesario del uso posterior de cloro, para prevenir el recrecimiento de bacterias.

La luz ultravioleta provee un método de operación y mantenimiento sencillo, es útil con tiempos cortos de contacto y no genera residuos tóxicos o subproductos.

Entre sus principales limitaciones se encuentran su incapacidad de inactivar protozoarios, y su ineficiencia para tratar aguas turbias con sólidos suspendidos, color o materia orgánica soluble. En estos casos la radiación será absorbida por estas sustancias y la desinfección se verá seriamente limitada (Ascencio, 2009).

La efectividad de la radiación ultravioleta con vías a desinfectar agua depende de la dosis absorbida por los organismos, en función de la intensidad de la lámpara utilizada y el tiempo de exposición. Si la dosis no es suficiente, el material genético puede verse dañado, pero no destruido, lo que permitirá el recrecimiento bacteriano una vez que cese el tratamiento (Ascencio, 2009).

IV. Metodología

En el presente acápite se presenta la estrategia y los métodos que fueron implementados para evaluar el sistema de tratamiento de agua de la empresa Kola Shaler Industrial S.A. Se incluyen las fuentes y formas en que se obtuvo la información, así como los métodos de análisis de las muestras de agua, los parámetros que se evaluaron en cada una de ellas y el lugar donde se realizaron los análisis químicos.

El desarrollo de este diseño metodológico está basado en las técnicas con las que se dieron cumplimiento a cada objetivo planteado al inicio de esta investigación, los cuales constituyen las directrices a seguir para su ejecución.

La estructura del capítulo se muestra a continuación:

4.1 Reconocimiento de Proceso de Tratamiento

El sistema de tratamiento de agua evaluado, se encuentra ubicado en la empresa Kola Shaler Industrial S.A., exactamente en el Km. 2 carretera a Sabana Grande, Managua (ver Figura 4.1). Es una zona con pocos habitantes en los alrededores, lo cual hizo que se percibiera que el grado de contaminación del manto acuífero es menor al que presentan otras zonas del país.



Figura 4.1. Ubicación de Empresa Kola Shaler

4.1.1 Identificación del proceso de tratamiento

Para conocer a profundidad lo que se evaluó, primero se realizó un reconocimiento del sistema de tratamiento de agua que emplea la empresa para la producción de sus bebidas, para conocer e identificar cada equipo operante, así como las características y especificaciones técnicas tanto del agua como de cada uno de los equipos.

Para esto, se solicitó a la empresa datos tales como: registros históricos de los análisis fisicoquímicos para el agua potable y agua tratada correspondiente a los años 2011-2014, el lugar de origen de dónde se está obteniendo esta, los reactivos usados en el proceso, diagramas del sistema; todo con el fin de realizar una valoración cualitativa del funcionamiento del sistema de tratamiento, así como identificar puntos críticos del proceso y de esta manera tomar decisiones sobre los mismos.

4.2 Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos, global y de cada uno de los equipos del proceso de tratamiento.

Para darle cumplimiento a esta actividad se eligieron puntos de análisis específicos, los cuales permitieron identificar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos más importantes a analizar, así como la selección de los métodos idóneos para realizarlos.

4.2.1 Selección de puntos de muestreo

Mediante visitas realizadas a la empresa se hizo una valoración cualitativa que permitió seleccionar los puntos de muestreo a la entrada y salida de cada uno de los equipos, como resultado de dichas visitas se identificaron 5 puntos de muestreo (PM); estos, fueron donde se tomaron las muestras de agua que posteriormente fueron enviadas al laboratorio de aguas claras del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA). Cabe mencionar que simultáneamente, se enviaron muestras de agua de la entrada y salida del sistema de tratamiento, al Ministerio de Salud (MINSa) para ser analizadas.

Los PM seleccionados se identificaron como se muestra a continuación:

PM1: Salida del pozo,

PM2: Salida del tanque reactor,

PM3: Salida del filtro de arena,

PM4: Salida del filtro de carbón,

PM5: Salida del filtro pulidor.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en cada punto de muestreo, se muestran en la Tabla 4.1, y los métodos de análisis implementados para determinar cada parámetro seleccionado en los PM se presentan en la Tabla 4.2.

4.2.2 Recolección y transporte de las muestras de agua

Se procedió a la recolección de agua en los cinco puntos de muestreo seleccionados. Para asegurar que las muestras se tomaron en estado estacionario, se decidió esperar que la planta de producción de la empresa empezara sus labores y, por lo tanto, el ST funcionara a toda su capacidad. Se optó por un muestreo puntual y no compuesto, ya que, por ser aguas claras y no residuales, se podía analizar con una sola muestra en el día.

El volumen por muestra tomado fue de 2000 mL. En el Anexo A.1 se muestra la base teórica para la recolección de muestras y en base a esto se procedió a tomar el agua de los cinco puntos de muestreo.

Para iniciar el muestreo, se abrieron las válvulas de la salida de cada equipo y se esperó que el agua fluyera por alrededor de 03 minutos, con el objetivo de evitar que posibles incrustaciones que tuviese la tubería, afectaran los resultados de los análisis.

Para los análisis microbiológicos, se tomó el agua en una bolsa esterilizada WHIRL-PACK proporcionado por el laboratorio de fisicoquímica del PIENSA, y fue transportada en un vaso pequeño hermético, para evitar la contaminación con el resto de muestras. Todas las muestras recolectadas, fueron transportadas al laboratorio del PIENSA en un termo herméticamente cerrado con hielo, para darle la debida conservación que la teoría sugiere.

4.2.3 Determinación de eficiencia de remoción del ST

Se decidió determinar la eficiencia de remoción de parámetros tanto, de forma global (entrada y salida del ST) como para cada equipo que lo conforma y de esta manera, identificar los equipos que están mejorando o degradando la calidad del agua.

La eficiencia de remoción se calculó de la siguiente manera: valor de entrada en el punto i menos valor de salida en punto $i+1$, entre valor de entrada del punto i , que matemáticamente se representa por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(PMe_i - PMe_{i+1})}{PMe_i} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde: E es la Eficiencia de remoción, PM es el punto de muestreo, y los subíndices e_i y e_{i+1} son entrada, salida al equipo correspondiente.

Tabla 4.1 Parámetros analizados en los PM seleccionados

Parámetros fisicoquímicos				
PM₁	PM₂	PM₃	PM₄	PM₅
Aspecto	Aspecto	Aspecto	Aspecto	Aspecto
pH	pH	pH	pH	pH
Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura
Cloro residual	Cloro residual	Cloro residual	Cloro residual	Cloro residual
Turbiedad	Turbiedad	Turbiedad		Turbiedad
Conductividad Eléctrica	Conductividad Eléctrica	T.S.		Conductividad Eléctrica
T.S.	T.S.	T.D.S.		T.S.
T.D.S.	T.D.S.	Dureza Total		T.D.S.
Cloruros	Cloruros	Alcalinidad		Cloruros
Hierro Total	Sulfatos			Hierro Total
Nitratos	Carbonatos			Nitratos
Sulfatos	Dureza total			Sulfatos
Carbonatos	Alcalinidad			Carbonatos
Dureza Total	Calcio			Dureza Total
Alcalinidad				Alcalinidad
Calcio				Calcio
Manganeso				Manganeso
Parámetros microbiológicos				
Coliformes Totales				
Eschericia Coli				

Los análisis para el PM₄ se realizaron en el laboratorio de Calidad de la empresa, ya que sólo se midieron parámetros tales como: pH, temperatura y cloro residual; cabe mencionar que estas mediciones también se realizaron en cada PM.

Es muy importante también conocer la carga con que sale el agua y por tal motivo se debe realizar análisis a la salida del pozo, tomando en cuenta que para obtener mejores resultados se debió tomar la muestra antes que ésta sea clorada.

Tabla 4.2 Métodos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para los parámetros seleccionados.

Parámetro	Método SM//EPA¹
Aspecto	Método de comparación visual (2120-B)
Conductividad Eléctrica	2510-B
Turbidez	2130-B
Alcalinidad	2320-B
Carbonatos	2320-B
Nitratos	4500-B
Cloruros	4500-D
Hierro Total	3500-B
Sulfatos	4500-D
Dureza Total	2340-C
Calcio	3500-B
Sólidos Totales	2540-B
Sólidos Totales Disueltos	2540-C
Color	Visual
pH	Espectofométrico (directamente con pH-metro OHAUS STARTER 300)
Temperatura	Espectofométrico (directamente con pH-metro OHAUS STARTER 300)
Cloro residual	Chlorine Test 1.14977 Microquant
Parámetros Microbiológicos	
Eschericia Coli.	9221F
Coliformes Totales	9221B

4.3 Verificación de las capacidades de diseño y funcionalidad de cada equipo del ST

Se determinaron las funciones que ejerce cada equipo del sistema de tratamiento, mediante las siguientes actividades:

4.3.1. Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del tanque reactor

Se identificaron las funciones de este equipo, así como las dimensiones y las condiciones de operación reales. El volumen del reactor se determinó siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se midió tanto de altura y diámetro del tanque reactor el cual tiene una forma cilíndrica.
- Con el diámetro se calculó el área de sección transversal (A_T) del tanque haciendo uso de la ecuación 4.2

¹ SM: Standard Methods 21th.2005//EPA: Environmental Protection Agency

- Con A_T y la altura medida se determinó el volumen del tanque reactor por medio de la ecuación 4.3

Por otro lado, el caudal de operación del reactor (Q_R) se tomó directamente de los registros obtenidos del medidor de flujo colocado a la entrada del reactor.

$$A_{TR} = \frac{\pi D_R^2}{4} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Dónde: A_{TR} es el área de sección transversal del reactor en m^2 , D_r es el diámetro del mismo.

$$V_R = (A_T)(h) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Dónde: h es la altura del reactor en m, V_R es volumen del mismo en m^3 .

También se determinó el tiempo de residencia con la ecuación 4.4

$$t_R = \frac{V_R}{Q_R} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Donde: t_R es el tiempo de residencia, V es el volumen de la unidad (en este caso el tanque) y Q es el caudal con el cual opera el tanque y el subíndice R es reactor. Para profundizar si el reactor cumple con las especificaciones de diseño, se procedió a inspeccionar las condiciones internas de operación.

Determinación de la dosis óptima de coagulante

Dado que el equipo se diseñó para funcionar como un tanque floculador sedimentador, se realizó el análisis de prueba de Jarras al agua de alimentación, en el laboratorio de Ingeniería Ambiental ubicado en las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), para determinar la dosis óptima de coagulante a utilizar en el proceso, así como el pH óptimo. El procedimiento realizado, se detalla cómo sigue.

Se tomó una muestra de 10 litros agua cruda que entra al ST, la cual ha sido clorada y se trasladó hasta el laboratorio ya mencionado, se tomaron siete beakers de 1000 mL cada uno y se pesaron las dosis de coagulante (sulfato de aluminio en este caso) a agregar: 0 gramos, 20 gramos, 40 gramos, 60 gramos, 80 gramos, 100 gramos y 120 gramos del producto y se disolvieron en 100 mL de la muestra de agua cruda, antes de esto se midieron el pH y la turbiedad a la muestra de agua; se rotularon los beakers con las dosificaciones aplicadas.

Se colocaron los beakers en el equipo de pruebas de jarras marca Phipps & Bird y se agitaron vigorosamente a 200 rpm, adicionándole rápidamente la mezcla con el coagulante contenido en los beakers de 100 mL, siguiéndose agitando por un minuto aproximadamente a esta misma velocidad.

Luego de este tiempo de agitado, se dejó el equipo a 12 rpm aproximadamente, y luego de 20 minutos de agitación se apagó. Pasado este tiempo, se observó si se formaron flóculos, los tamaños y características de los mismos y se esperó que sedimentaran por un tiempo de 30 minutos. Con ayuda de una pipeta, se tomó una pequeña muestra de la solución con coagulante y se introdujo al turbidímetro, a esta misma solución se le midió el pH final y se comparó contra los valores iniciales.

Por último se realizaron 2 gráficas, una de la dosis de coagulante vs turbiedad y la otra de dosis de coagulante vs pH, para obtener el comportamiento de cada uno de estos parámetros.

4.3.2 Determinación de capacidades de diseño y funcionalidad de filtro de arena

Para la evaluación del filtro de arena se hizo necesario conocer parámetros de operación tales como tasa y caudal de filtración, volumen del filtro, así como las características de las capas del lecho filtrante, a continuación se detalla el procedimiento utilizado.

Determinación de tasa de filtración de volumen del filtro de arena.

Se hicieron mediciones directas de la altura y el diámetro del filtro para determinar el área total y el volumen del mismo por medio de las ecuaciones 4.5 y 4.6.

$$A_{Fa} = \frac{\pi D_{Fa}^2}{4} \quad \text{(Ec. 4.5)}$$

Dónde: A_{Fa} es el área del Filtro de arena en m^2 , y D_{Fa} es el diámetro del mismo.

$$V_{Fa} = (A_{Fa})(h) \quad \text{(Ec. 4.6)}$$

Dónde: V_{Fa} es volumen del Filtro de arena en m^3 , h es la altura del mismo en m.

El caudal del filtro de arena se determinó por medio de la medición de flujo, con ayuda de un flujómetro, por otro lado para el cálculo de la tasa de filtración se utilizó la ecuación 4.7:

$$r_f = \frac{q_f}{AT_f} \quad \text{(Ec. 4.7)}$$

Donde: AT_f : Área total del filtro en m^2 , q_f es el caudal en m^3/h y r_f es la tasa de filtración en m/h .

Luego tomando en cuenta los cálculos previos de la eficiencia en este equipo, se compararon con los valores establecidos teóricamente para realizar las conclusiones pertinentes, es decir se corroboró si realmente está cumpliendo las funciones establecidas para un filtro con sus características.

Determinación de las características del material de lecho filtrante

Por otro lado, se midió la altura del lecho filtrante, y se le realizó la caracterización de las capas filtrantes, solicitando a la empresa muestras del material almacenado en bodega para realizarle pruebas de tamizado en base a la norma *ASTM Internacional C 136 - 06* denominada como *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates* (Traducido al español el nombre del método es: Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso). En el Anexo A.2 se presentan el método para la caracterización granulométrica de partículas de un material.

Los cálculos fueron de utilidad para determinar si el lecho filtrante contribuye a retener partículas y así producir agua filtrada bajo los estándares de calidad, tomando en cuenta el tamaño de partícula de cada capa del lecho.

4.3.3 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del filtro de carbón activado

Se determinaron las dimensiones del filtro de carbón, por medio de mediciones directas de diámetro y altura, para poder calcular el área y posteriormente con ayuda de esta calcular el volumen del mismo, con las ecuaciones 4.8 y 4.9. También se identificó el tipo de carbón utilizado (consultando la ficha técnica brindada por el proveedor), con el propósito de determinar si este es el idóneo para el agua del S.T.

$$A_{fc} = \frac{\pi D_{Fc}^2}{4} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

Donde: A_{Fc} es el área del filtro de carbón en m^2 , Dc es el diámetro del mismo.

$$V_{fc} = (A_{fc})(h) \quad (\text{Ec. 4.9})$$

Donde: V_{Fc} es volumen del filtro de carbón en m^3 , y h es la altura del mismo.

Por otro lado se determinó la altura del lecho filtrante de carbón para establecer las condiciones de trabajo en las que se debe operar y verificar las condiciones de funcionamiento actual. Luego de conocer la altura de la capa filtrante, se evaluó la eficiencia de este utilizando la ficha técnica del mismo y con ayuda de esta misma se valoró el tiempo con el que se debe cambiar este.

4.3.4 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del filtro pulidor

Basado en la información proporcionada en la ficha técnica, se determinó el tipo de mantenimiento requerido, se estipuló el tiempo en el que debe ser cambiado, siguiendo lo establecido en la recomendación sobre la vida útil para la que éste se diseñó y tomando en cuenta las dimensiones de del mismo.

Se verificó el tamaño de partícula que retiene el medio filtrante, con ayuda de la información proporcionada por la empresa, es decir, se indagó en las compras

históricas, el tipo de micraje que poseen los filtros utilizados, luego de esto se pudo saber si estas son las que el proceso necesita para llevar a cabo su función.

4.4. Elaboración de propuestas de cambios para el ST actual

En base a los resultados de las eficiencias de remoción, calculadas previamente para los parámetros establecidos en la Tabla 4.1, se hizo un análisis de los equipos que cumplían la función para la cual fueron diseñados, así como para los que no la estaban cumpliendo.

En el caso de los equipos que no cumplen la función esperada, se examinó la necesidad de sustituirlos por equipos más idóneos, es decir, que ayuden a mejorar la calidad del agua. Como parte de las propuestas se planteó la posibilidad de implementar equipos tecnológicos nuevos, que aseguren la calidad microbiológica del agua.

4.5. Valoración ambiental, técnica y económica del ST actual y modificado

Todo cambio de tecnología en procesos conlleva la realización de un análisis que determine la viabilidad de dicho cambio; por tal razón se analizaron y compararon tres aspectos (ambiental, técnico y económico) para las dos alternativas:

1. Mantener el ST actual con que cuenta la empresa.
2. Implementar cambios en el ST actual, manteniendo los equipos que pueden seguir siendo utilizados.

A continuación, se detalla la forma en que se valoraron estos aspectos para ambos casos:

4.5.1. Valoración ambiental, técnica y económica del ST actual

Aspectos ambientales para sistema de tratamiento actual

Se determinaron las emisiones de CO₂ y la generación de desechos sólidos como se detalla a continuación.

Las emisiones de CO₂ se calcularon en función del consumo energético expresado en kWh por mes, para esto se utilizó la ecuación 4.12. Por tanto, se solicitó al responsable de mantenimiento de la empresa la información necesaria para realizar este cálculo, como son los kWh que consume el S.T actual (verificándolo con la potencia de las bombas que están en funcionamiento).

$$E = (kWh)(0.42 \text{ kg} \frac{CO_2}{kWh} \text{ consumido}) \quad \text{Ec. (4.12)}$$

Donde: E son las emisiones de CO₂ generadas al mes, y 0.42 es masa de CO₂ en kg, por kWh consumidos.

Para conocer el volumen de desechos generados durante el proceso de tratamiento con el S.T. actual, se solicitó la información a la empresa sobre la masa de los sólidos generados durante los retrolavados.

Aspectos técnicos para el sistema de tratamiento actual:

Se evaluó el tiempo en que se realizan los retrolavados, identificando si cumple con lo indicado en las recomendaciones técnicas establecidas. Se valoró la distribución de los equipos en el espacio que ocupa la planta de tratamiento, tomando en cuenta que el operario necesita dar limpieza y mantenimiento a la misma.

Aspectos económicos para el sistema de tratamiento actual:

Se calcularon los gastos que conlleva la operación actual del ST, incluyendo: energía, mantenimiento, materiales de reposición (químicos auxiliares, cartuchos de filtro pulidor, cloro test, etc.). Se evaluó el ST actual con el método CAUE, debido a que no representa ningún ingreso para la empresa, pero sí es necesario realizar compras periódicas, lo cual se traduce en costos.

4.5.2. Valoración ambiental, técnica y económica del ST modificado

Aspectos ambientales para sistema de tratamiento modificado

Al igual que para el ST actual se calcularon las emisiones de CO₂ en función del consumo energético expresado en kWh por mes con ayuda de la ecuación 4.12, solicitando al proveedor la ficha técnica del equipo seleccionado para conocer el consumo energético de éste. Se consultó la ficha técnica de los equipos del S.T. propuesto para conocer los posibles desechos que éste puede generar.

Aspectos técnicos para el sistema de tratamiento modificado:

Para conocer el tiempo que se deben realizar los retrolavados en el ST modificado se consultaron las especificaciones técnicas del material filtrante, las cuales se encuentran en la ficha técnica (ver Anexo D.4). Se solicitó al proveedor, la vida útil del equipo seleccionado, por lo tanto, se conoció el tiempo en que éste debe ser cambiado.

Aspectos económicos para sistema de tratamiento modificado

Como se realizó con el ST actual, en el ST modificado se calcularon los gastos que conllevaría la operación de este sistema incluyendo: energía, mantenimiento, materiales de reposición necesarios. Al ST modificado se sumaron los gastos que conlleva la instalación del equipo nuevo (que está incluida en la inversión); lo cual fue solicitado al proveedor.

Se evaluó el ST modificado con el método CAUE, de igual manera que se hizo con el ST actual, y una vez que se tuvieron ambos valores se eligió la opción que represente costos más bajos para la empresa.

V. Análisis y Discusión de Resultados

5.1 Reconocimiento del proceso de tratamiento

Como respuesta a la solicitud de información documentada del ST actual, la empresa brindó un plano donde se muestran los equipos, dimensiones de los mismos y las tuberías que forman el ST. Este plano se encuentra en el anexo D.1.

5.1.1. Identificación del proceso de tratamiento

Se identificó que la empresa conoce como *agua potable*, al agua extraída del pozo e inmediatamente clorada y *agua tratada*, al agua que además de ser clorada, pasa por el sistema de tratamiento, el cual es un sistema convencional típico para el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas.

También se encontró que la empresa no cuenta con su propia norma del agua requerida para el procesamiento de sus bebidas, por lo que la valoración de la calidad de agua para su proceso, se rige por las normas CAPRE.

5.1.2. Identificación de las características del agua potable para los años 2011-2014

Los resultados históricos facilitados por la empresa, realizados al agua potable en los años 2011-2014, se muestran en las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 observando así, el comportamiento de los parámetros. Con este análisis se pudo tener una idea más clara de la variabilidad que éstos tuvieron a través de los años.

La figura 5.1 muestra los resultados promedio para los análisis históricos de conductividad para el agua potable, los cuales se mandaron realizar en diferentes meses de los años 2011 a 2014. La línea continua negra, indica el valor máximo permisible para este parámetro según las normas CAPRE y como se observa, en todos los años sobrepasa el límite establecido, debiéndose posiblemente a la naturaleza de la fuente que se obtiene el agua.

En la figura 5.2 se presentan los resultados obtenidos en los promedios anuales de los análisis para nitratos y sólidos totales, en este punto cabe aclarar que solamente se muestra el valor máximo permisible para nitratos, ya que para sólidos totales, la norma no especifica un valor máximo y la empresa no realizó análisis de sólidos totales disueltos, parámetro que si está normado por CAPRE.

El análisis de la figura 5.2 conlleva a decir que para los años 2012 y 2014, los nitratos están muy debajo del límite determinado, pero en el año 2011 su valor se encuentra en el límite máximo y en 2013, sobrepasa un 19% el límite mencionado.

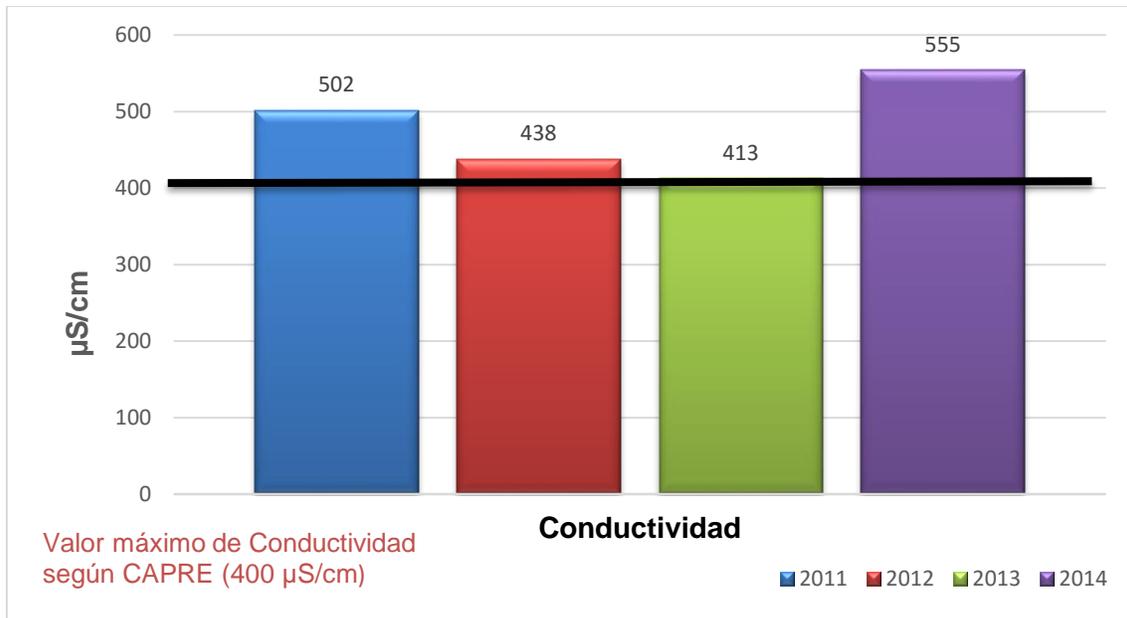


Figura 5.1. Resultados promedio de los análisis históricos para la conductividad del agua potable, para los años 2011-2014.

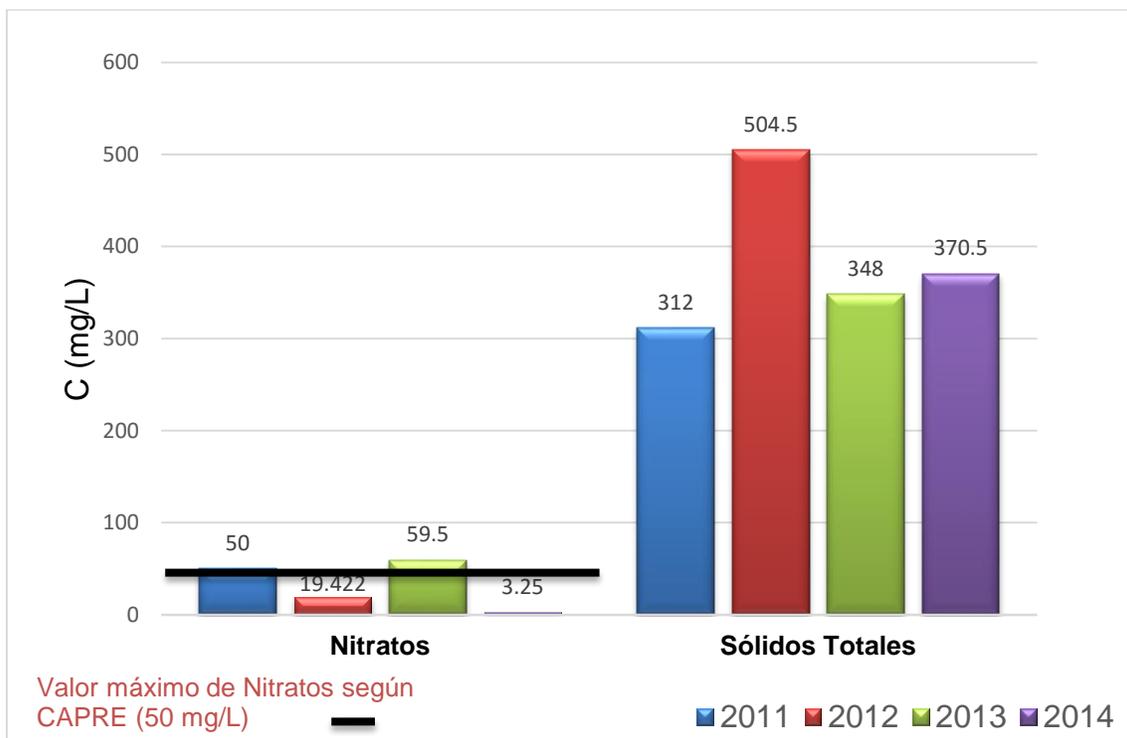


Figura 5.2 Resultados promedio de los análisis históricos de nitratos y sólidos totales del agua potable, para los años 2011-2014.

En la figura 5.3 se visualizan los resultados anuales promedios para sulfatos y cloruros, a los cuales la norma CAPRE asigna un mismo valor máximo permisible, que es 250 mg/L; sin embargo es evidente que estos no alcanzan el 50% de este valor.

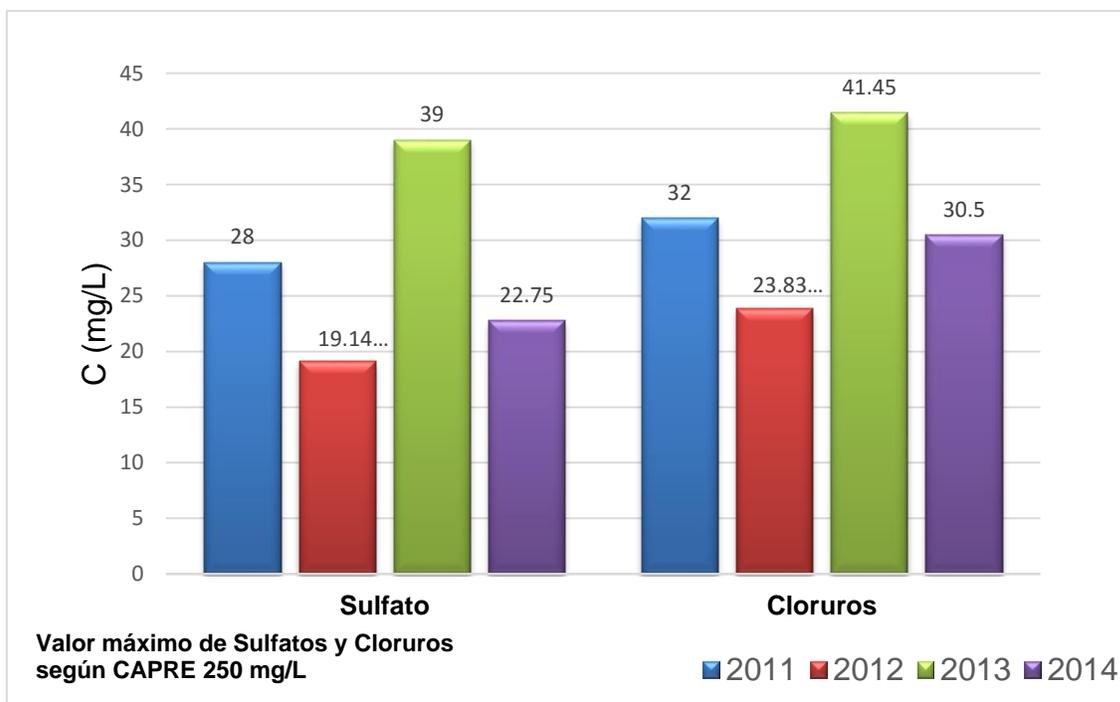


Figura 5.3 Resultados promedios de los análisis históricos de sulfatos y cloruros del agua potable para los años 2011-2014.

Comparación de las características del agua potable y tratada por el ST actual en 2014.

En la tabla 5.1 se presentan una muestra de los resultados fisicoquímicos realizados por la empresa, tanto al agua potable como al agua tratada en el año 2014, estos se tomaron como referencia para realizar un análisis preliminar al agua, basado en los principios teóricos de las características del agua, que permitieron identificar cómo el sistema de tratamiento provoca cambio en los parámetros antes y después de pasar por éste y luego compararlos con lo establecido en las normas CAPRE.

La información brindada por la tabla 5.1 conlleva a obtener las siguientes observaciones:

1. Los parámetros fisicoquímicos del agua Potable medidos en agosto del 2014, realizados por los laboratorios del MINSA, cumplen con los rangos establecidos por las Normas CAPRE.
2. Los parámetros analizados el 19 de Agosto del 2014 tales como turbidez, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, así como los iones; cloruros, nitratos,

sulfatos, y carbonatos incrementan su valor una vez que el agua ha pasado por el proceso de tratamiento, sin embargo, estos permanecen dentro del rango establecidos por las normas CAPRE. En el caso del pH y conductividad también sufren un incremento y su valor excede el máximo establecido.

- Los resultados reflejan que el sistema de tratamiento en lugar de contribuir a mejorar la calidad del agua, aumenta los valores de los parámetros, lo cual indica que el agua no está recibiendo un tratamiento adecuado.

Tabla 5.1 Comparación entre el agua potable y agua tratada con las normas CAPRE

Parámetros	Unidades	Agua Potable (19/08/14)	Agua Tratada (19/08/14)	Valor máximo permisible CAPRE
Turbidez	UNT	0,08	1,20	5
pH		8,10	8,70	6,6 - 8,5
Conductividad	$\mu\text{S. cm}^{-1}$	535	557	400
Sólidos Totales Disueltos	mg.L^{-1}	364	372	1000
Calcio	mg.L^{-1}	16	9	100
Magnesio	mg.L^{-1}		5	60
Cloruros	mg.L^{-1}	32	82	250
Nitratos	mg.L^{-1}	4	13	50
Sulfatos	mg.L^{-1}	20	37	250
Carbonatos	mg.L^{-1}	10	17,28	No hay referencia
Bicarbonatos	mg.L^{-1}		46,13	No hay referencia
Dureza Total como CaCO_3	mg.L^{-1}	56	48,96	No hay referencia
Alcalinidad Total como CaCO_3	mg.L^{-1}	210	113	No hay referencia
Hierro Total	mg.L^{-1}	< 3	< 3	0,3
Amonio	mg.L^{-1}		0,048	0,5

5.2 Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos, global y de cada uno de los equipos en el proceso de tratamiento

5.2.1. Eficiencia global del ST

Para calcular la eficiencia total del ST, se tomaron en cuenta los valores de entrada al ST (parámetros a la salida del pozo) y los valores de salida del ST (parámetros a la salida del filtro pulidor FP). La tabla 5.2 muestra la eficiencia calculada y se comparan respecto a la norma CAPRE:

Tabla 5.2 Eficiencia global del ST

Parámetros	Unidades	PM1 (Pozo)	PM5 (F.P)	Eficiencia	CAPRE
Conductividad	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	572	571	0,17%	400
Turbiedad	NTU	0,029	0,05	-72,41%	5
Alcalinidad	mg/L	221	124,2	43,80%	NE
Carbonatos	mg/L	0,1	0,1	0,00%	NE
Nitratos	mg/L	14,7	15,01	-2,11%	50
Cloruros	mg/L	31,1	69,5	-123,47%	250
Hierro Total	mg/L	0,007	0,015	-114,29%	0,3
Sulfatos	mg/L	26,3	34,5	-31,18%	250
Dureza Total	mg/L	67,04	46,08	31,26%	400
Calcio	mg/L	16,48	10,81	34,41%	100
T.S.	mg/L	378	362	4,23%	NE
T.D.S.	mg/L	371	341	8,09%	1000
Manganeso	mg/L	NSD	NSD	-	-
pH	-	8,12	8,5	-3,53%	6,6 - 8,5
Temperatura	°C	30,4		-	-

A continuación se presentan el respectivo análisis para cada parámetro o ion analizado:

Conductividad: Como se observa en la tabla 5.2, el único parámetro que no cumple con la referencia de la norma CAPRE, es la conductividad, la cual aumenta proporcionalmente con la concentración de iones disueltos en el agua y está muy relacionada con la cantidad de sólidos totales disueltos². Esto hace indicar que el sistema de tratamiento que actualmente posee la empresa, está sobrecargando al agua con iones y minerales que afectan negativamente la calidad de ésta.

Con este resultado se puede decir, que la eficiencia del tratamiento para este parámetro es prácticamente nulo, puesto que disminuye únicamente en una cantidad, esto representa apenas 0.17% de eficiencia.

Turbiedad: Este parámetro, desde la salida del pozo cumple con el valor recomendado por la norma CAPRE, sin embargo se ve incrementado a la salida del ST. Según (Doménech, 2000) esto sucede debido a la absorción y dispersión de la luz incidente de los sólidos en suspensión (Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-) aportados por los diversos químicos agregados al ST.

Con este resultado se puede afirmar que estos compuestos, son agregados de manera excesiva a lo requerido, aunque también se evidencia la necesidad de un medio de agitación mecánica porque no se están mezclando adecuadamente y por lo tanto, quedan remanentes.

Si bien es cierto, que el agua como tal no es comercializada por esta empresa y se mezcla con el resto de ingredientes de la bebida, podría repercutir en casos de que los sólidos e iones que están alterando este parámetro, lleguen a sedimentar en la bebida una vez embotellada, trayendo serios problemas y reclamos futuros.

El resultado del análisis para este parámetro indica evidentemente que el ST utilizado en la empresa, está generando consecuencias contrarias a las esperadas, ya que incrementa el valor numérico del parámetro mencionado, resultando una eficiencia negativa de -72.41%.

Alcalinidad: Como se muestra en la tabla 5.2, la alcalinidad disminuye en gran porcentaje, aunque no se especifique un valor permisible en las normas CAPRE, se sabe que este parámetro es de gran importancia en la industria de bebidas carbonatadas, debido a que esta debe poseer un valor de pH ácido que según NTON 03 030-00 (Norma Técnica Obligatoria de Bebidas Carbonatadas de bebidas carbonatadas) debe estar entre 2.4 a 4.5.

La alcalinidad está muy relacionada con el pH, porque representa la propiedad que tienen las aguas para amortiguar los cambios bruscos de pH, por efecto de ácidos que se pongan en contacto (Manahan, 2007). Un agua con una alcalinidad alta está asociada a una elevada concentración de sólidos disueltos (Doménech, 2000). La eficiencia para este parámetro es de 43.80% lo cual deja entrever que el sistema de tratamiento provoca cambio significativo en este parámetro fisicoquímico.

² Tomado de: <http://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>

Carbonatos: Este resultado indica que el ST no está removiendo este parámetro, ya que no disminuyó ni aumentó en nada su valor numérico, por lo tanto su eficiencia de remoción es de 0.00%. Es importante analizar el comportamiento de éste en cada una de las etapas del ST, porque como ya se ha mencionado, se le añaden químicos que pueden estar introduciendo excesivamente iones carbonatos al agua pero que están siendo removidos por los filtros, provocando la disminución de la vida útil de estos.

Nitratos: Este parámetro entra al ST con un valor más bajo que con el que sale, aunque aumenta en poca cantidad, se evidencia que no se está mejorando la calidad del agua con el ST aplicado, con una eficiencia de -2.11%. Al comparar el valor con los parámetros de las normas CAPRE, tanto a la salida del pozo como a la salida del filtro pulidor, ambos valores están muy por debajo de las especificaciones de estas. Dicho aumento puede estar siendo provocado los iones que no están siendo mezclados homogéneamente.

Cloruros: Este parámetro se ve afectado a la salida del ST, posiblemente por los químicos que se le agregan, especialmente el cloruro de calcio, por esa razón aumentan los iones cloruros que están presentes en la muestra de agua, resultando una eficiencia altamente negativa de -123,47%, pero a pesar del aumento que sufren, al compararlos con la norma CAPRE, se encuentran un 72% por debajo del valor máximo establecido para este parámetro.

Cabe mencionar que la presencia de cloruros también puede fomentar la corrosión de los equipos, ya que de encontrarse en exceso y en contacto con metales como el hierro se puede dar lugar a la formación de cloruros de hierro.

Hierro total: Los valores tanto de la entrada y salida del ST cumplen con los parámetros de la norma CAPRE, pero a como se observa en la tabla 5.2 éste se ve afectado en su valor y sufre incremento, debiéndose posiblemente a los compuestos insolubles que forma el hierro incrustado en las paredes del tanque reactor (producto de la corrosión) con los reactivos añadidos en dicho tanque. Esto da como resultado una eficiencia alterada de -114,24%.

Sulfatos: Los resultados numéricos de este parámetro no sobrepasan los valores establecidos en la norma CAPRE, sin embargo, la eficiencia negativa de **-31,18%** hace indicar que hay muchos iones sulfatos disueltos en el agua y que no se están mezclando idóneamente con el resto de sustancias, esto puede ser debido a que como se ha mencionado, uno de los químicos que se le agrega es sulfato de aluminio, esto provoca dichos iones incrementen a la salida del ST.

Dureza total: Éste es uno de los pocos parámetros que disminuyen a la salida del ST, con una eficiencia de 31,26% y según (Henry & G., 1999) los iones de calcio y magnesio precipitan al formar carbonatos con la cal que se agregó en el tanque reactor, y posteriormente los iones restantes que constituyen la dureza, pueden estar siendo removidos en el filtro de arena y el filtro de carbón activado por su eficiente propiedad adsorbente.

Calcio: A la salida del ST este parámetro resulta con una eficiencia de remoción de 34,41% lo que indica que sí se retiene calcio durante las etapas del sistema, sin embargo, se entiende que al agregar iones Calcio (por ejemplo, con cloruro de calcio) se está sometiendo a los filtros tanto de arena y de carbón, a una saturación de iones, lo cual provoca que unos parámetros si estén siendo removidos, como este caso, y otros estén aumentando, como es el caso del Hierro.

Sólidos Totales: La eficiencia de remoción del sistema para este parámetro es apenas de 4,23%, lo cual hace indicar que se está saturando el sistema con diversos iones, probablemente inducidos porque se están agregando de forma excesiva los diversos químicos.

Sólidos Totales Disueltos: Este parámetro disminuye apenas en un 8% y se puede decir que es debido a la gran cantidad de iones que no logran precipitar o formar compuestos, puesto que según (Organization, 1996) son las sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica, presentes en una solución de agua; cuyos principales constituyentes son usualmente: calcio, magnesio, sodio, cationes como carbonatos y aniones cloruros y sulfatos y a como ya se explicó, estos parámetros aumentan en lugar de disminuir una vez que sale del ST.

Manganeso (Mn⁺²): Los resultados de los análisis de este parámetro en PM1 y PM5 indican que no se detectaron para ninguno de los puntos, debiéndose posiblemente al lugar de origen de donde se extrae el agua.

pH: El pH del agua sufre un leve incremento a la salida del ST, lo cual representa un -3,53% de eficiencia, pero como se observa, no sobrepasa el valor máximo requerido por la norma CAPRE.

Los resultados de los análisis microbiológicos que se realizaron a la salida del pozo se muestran en la tabla 7.3:

Tabla 5.3 Análisis microbiológicos en PM1

Parámetro	Agua de pozo (PM1)	Normas CAPRE
Coliformes Totales	NSD ³	NEGATIVO
Eschericia Coli	NSD	NEGATIVO

Según estos resultados, el agua aún antes de ser clorada no presenta contaminación de origen microbiológico, esto puede deberse a las capas subterráneas que conforman el área donde está perforado el pozo que se extrae el agua, las cuales están compuestas principalmente por rocas del tipo areniscas y calizas, escoria volcánica, arenas de diferentes granulometrías, tobas (cantera), lapillis y pómez, (Fuentes Reyes & Peralta, 2014).

³ NSD: No Se Detectó

La principal razón para decir que el lugar donde se encuentra la fuente de agua de Kola Shaler, es excelente es porque se encuentra dentro del Graben nicaragüense, el cual desde el punto de vista hidrogeológico, representa los mejores acuíferos del país (Fuentes Reyes & Peralta, 2014).

5.2.2. Eficiencia de remoción en cada equipo del ST

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos en los puntos de entrada y salida en cada uno de los equipos monitoreados, se muestran en la Tabla 5.4, estos brindan una radiografía del funcionamiento de cada uno de los equipos con respecto a la calidad del agua procesada, así mismo, esta tabla muestra la eficiencia de remoción de parámetros de cada uno de ellos.

El análisis exhaustivo del comportamiento de cada uno de los parámetros a lo largo de todo el sistema de tratamiento de agua, se presenta a continuación:

Aspecto: El aspecto visual en casi todos los PMs es de apariencia clara, exceptuando en el PM2, esto es debido a la agregación de reactivos al agua, pues estos quedan disueltos o en suspensión, luego al pasar por PM3 en adelante esta vuelve a tomar su apariencia clara, esto es debido a que el tanque de arena retiene las partículas que hayan quedado disueltas. Luego al pasar por PM4, continúa con aspecto claro por las funciones del filtro de carbón, asimismo sucede al salir del filtro pulidor, que mantiene su aspecto claro.

Conductividad: La conductividad en los puntos de muestreo donde se midió es mayor a lo establecido en las normas CAPRE, esto es debido posiblemente a que la procedencia del efluente es un pozo; por tal razón el sistema de tratamiento debería disminuir el mismo hasta los valores recomendados por dicha norma (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sin embargo se observa lo contrario, en PM2 este parámetro aumenta con respecto a PM1, esto como consecuencia de la adición de sustancias químicas ya mencionadas.

En el PM5 el valor disminuye con respecto a PM1 y PM2 esto debido a que el agua luego de pasar por el tanque reactor, pasa por el filtro de arena y el filtro de carbón, y estos son los perjudicados con los remanentes de cal que quedan sin reaccionar en el tanque reactor. De forma general se puede decir que el tanque reactor incrementa en 1.40% el valor de la conductividad y el filtro pulidor provoca una disminución del 2%, por lo que se realiza una compensación, la cual se ve reflejada en la eficiencia total del sistema.

Turbiedad: La turbiedad en PM1 está por debajo de las normas CAPRE, esto debido a los filtros naturales que posee el pozo de donde proviene el agua, sin embargo al pasar por PM2 este incrementa su valor de una manera considerable, como consecuencia de los sólidos suspendidos generados a partir de Hidróxido de Calcio, generando una eficiencia de -67,141.38%.

Comparando los resultados de la salida del reactor con el filtro de arena, la alcalinidad disminuye, por tanto, se tiene una baja eficiencia de remoción de 3.74%. A la salida del filtro pulidor, también disminuye en comparación al valor obtenido del filtro de arena, para una eficiencia de remoción de 3.57%.

Carbonatos: Este parámetro se midió en: PM1, PM2 y PM5, esto para corroborar si al adicionar los químicos en PM2 este parámetro aumentaba, pero como se observa este mantuvo su valor constante desde la entrada hasta la salida del proceso, por tanto la eficiencia es de 0.00%.

Nitratos: Este parámetro ya fue previamente analizado en la eficiencia global del sistema, porque solamente se midió en PM1 y PM5 (entrada y salida del S.T), y a como se dijo, se observa un pequeño aumento en su valor, lo cual arroja una eficiencia negativa de -2.11%, que puede estar siendo provocado por iones provenientes de los químicos agregados y que no están siendo mezclados homogéneamente.

Cloruros: Como se aprecia en la tabla 5.4 los cloruros al entrar al ST tienen un valor más bajo que al salir del tanque reactor (PM2), este aumento puede deberse a los iones cloruros que aporta la adición de Cloruro de Calcio en este equipo, para una eficiencia altamente negativa de -124.44%. Luego este desciende en décimas al pasar por los tres filtros (arena, carbón, pulidor), lo que ocurre es que parte de las sales quedan retenidas en los medios filtrantes. A groso modo se puede decir que aunque éste no sobrepase las normas CAPRE, no debería aumentar su valor al pasar por el S.T. por lo que de PM2 a PM5 la eficiencia es de 0.43%.

Al pasar a PM3 este disminuye, ya que la mayoría de partículas quedan retenidas en el filtro de arena, con una alta eficiencia para este filtro 99.73%. Los resultados en PM5 son bajos, sin embargo, como se analizó en la eficiencia global, el valor de este parámetro en vez de disminuir se incrementa a la salida del ST.

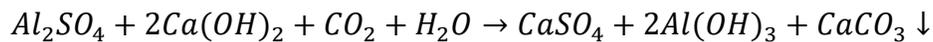
Alcalinidad: De los puntos de muestreo analizados, la mayor cantidad de alcalinidad se encontró en el PM1 (agua de pozo), se puede observar una brusca reducción de la alcalinidad comparando los resultados del agua del pozo con el agua en la salida del tanque reactor (PM2) esto se debe al tratamiento químico del agua que se da con un exceso de hidróxido de calcio en el reactor, para una eficiencia de remoción de 39.46%.

Hierro: Este es uno de los parámetros a evaluar por control de metales, pues al conocer el origen del efluente (pozo), se hace necesario cerciorar en qué porcentajes se encuentra y como se aprecia en la tabla 5.4 en PM1 tiene un valor pequeño, casi despreciable, sin embargo aumenta al pasar por el S.T, como consecuencia de la corrosión en el tanque reactor. La eficiencia para este parámetro se calculó de manera global.

Sulfatos: Se observa que el sulfato incrementó en los tres PM que se analizó. En PM1 se encuentra con un valor bastante bajo que al pasar por PM2 aumenta, lo cual provoca una eficiencia de -34.94% dicho aumento puede deberse a que se agregó en exceso sulfato de aluminio. Luego fue medido en PM5 y se observa una

leve disminución, lo que genera una eficiencia de PM2 a PM5 de 2.79% porque posiblemente los tres filtros están reteniendo el exceso de iones sulfatos que se observó en PM2.

Dureza Total: La dureza total tiene comportamiento descendente y ascendente. En PM1 tiene un valor bastante alto, lo cual puede atribuirse a las características geológicas del acuífero de donde se obtiene el agua, luego en PM2 este disminuye como consecuencia de la adición de cal ya que reacciona con el sulfato de aluminio como se muestra en la reacción química mostrada abajo, resultando por tanto una eficiencia de 33.77%.



En PM3 éste aumenta levemente, con una eficiencia de -1.26% esto puede suceder porque al pasar por el filtro de arena, los remanentes de cal que quedan en las capas, se mezclan con el resto de iones y provoca ese incremento en el parámetro. A la salida del ST se observa una eficiencia de remoción de -2.49% que probablemente se deba a la función del filtro de carbón y los filtros pulidores.

Calcio: Este parámetro disminuye grandemente de PM1 a PM2, con una eficiencia de 42.35% esto se puede deber a la adición de sulfato de aluminio, ya que éste reacciona con los iones bicarbonatos y Ca^{2+} , formando carbonato de calcio sólido que luego precipita en forma de lodos. Posteriormente, se midió en PM5 y aumenta su valor, lo cual puede producirse por el mal funcionamiento de los filtros de arena y pulidor, ya que si poseen sólidos retenidos en su interior, pueden ser disueltos el agua, logrando dicho aumento de Calcio, con lo cual se tiene una eficiencia de -13.79%.

Sólidos Totales: Los valores para este parámetro presentan grandes diferencias, primeramente en PM1 se tiene un valor alto, esto puede ser debido a las sales que por naturaleza están presentes en el agua, en PM2 el valor aumenta como consecuencia de agregar los químicos al tanque reactor, para una eficiencia de este equipo de -3.70%.

Luego en PM3 su valor desciende, ya que la mayoría de sólidos que el agua pueda arrastrar quedan en el filtro de arena, lo que hace que este equipo remueva un 6.12%, pero a la vez disminuya su vida útil; después de esto pasa por el filtro de carbón y por último en los filtros pulidores, donde en PM5 se observa que el valor disminuyó en 1.63% esto como resultado del empleo de dichos filtros.

Sólidos Totales Disueltos: En PM1 es donde se encontró este parámetro en mayor cantidad, luego disminuye al ingresar al tanque reactor (PM2), esto puede estar sucediendo porque en este equipo es en donde se sedimentan las partículas, por esa razón se logra una eficiencia de 6.47%. También se observa que en PM3 el valor de este parámetro disminuye levemente, debiéndose posiblemente a que el filtro de arena retiene ciertos residuos, con esto se tiene una eficiencia de remoción de 0.29%.

Por último en el filtro pulidor este desciende como consecuencia de pasar por las micras de los cartuchos, obteniendo una eficiencia de remoción de 1.45%. Cabe mencionar que el resultado final de los TDS es mucho menor que los del rango de las normas CAPRE.

Manganeso: Como se muestra en la tabla 5.4 este parámetro no fue detectado a la entrada ni a la salida del ST.

pH: Este parámetro sufre una variación que va desde 8.12 en PM1 hasta 8.45 en PM5, sin embargo se observa que al pasar por el reactor y el filtro de arena este sufre un incremento de 3.33% y 5.48 %, este incremento podría darse por los iones hidroxilo captados en ambos equipos.

Por otro lado este disminuye al pasar por el filtro de carbón en un 3.16% y por el filtro pulidor en un 4.52%. Al final el agua sale del sistema con un pH mayor que el inicial, acercándose al valor máximo permitido por la norma CAPRE.

Temperatura: Como se observa en la tabla 5.4 los valores de temperatura no varían drásticamente, por lo que se puede expresar que las condiciones de operación a lo largo del proceso son constantes y no influye en la variación que presenta el pH.

Cloro Residual: Como las muestras a la salida del pozo se tomaron antes que esta fuera clorada, el valor de este parámetro en PM1 es cero, luego aumenta por la adición de cloro en PM2, se mantiene en este valor en PM3 y una vez que el agua sale de PM4 su valor es de 0, obteniendo una eficiencia de 100% de remoción para el filtro de carbón, conservando este valor en 0 a la salida del ST.

Tabla 5.4 Eficiencia de remoción de cada PM

Parámetros	unidades	Reactor			Filtro Arena		Filtro Carbón		Filtro Pulidor	
		Entrada (PM1)	Salida (PM2)	Eficiencia	Salida (PM3)	Eficiencia	Salida (PM4)	Eficiencia	Salida (PM5)	Eficiencia
Aspecto	-	Claro	Leve turbidez	-	Claro	-	Claro	-	Claro	-
Conductividad	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	572	580	-1,40%					571	2%
Turbiedad	NTU	0,029	19,5	-67141,38%	0,052	99,73%			0,05	3,85%
Alcalinidad	mg/L	221	133,8	39,46%	128,8	3,74%			124,2	3,57%
Carbonatos	mg/L	0,1	0,1	0,00%					0,1	0,00%
Nitratos	mg/L	14,7							15,01	-2,11%
Cloruros	mg/L	31,1	69,8	-124,44%					69,5	0,43%
Hierro total	mg/L	0,007							0,015	-114,29%
Sulfatos	mg/L	26,3	35,49	-34,94%					34,5	2,79%
Dureza Total	mg/L	67,04	44,40	33,77%	44,96	--1,26%			46,08	-2,49%
Calcio	mg/L	16,48	9,5	42,35%					10,81	-13,79%
T.S.	mg/L	378	392	-3,70%	368	6,12%			362	1,63%
T.D.S.	mg/L	371	347	6,47%	346	0,29%			341	1,45 %
Manganeso	mg/L	NSD							NSD	-
pH	Unidades de pH	8,12	8,39	-3,33%	8,85	-5,48%	8,57	3,16%	8,45	4,52%
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	30,4	30,5	-0,33%	30,20	0,98%	30,20	0,00%	30,0	0,66%
Cloro residual	mg/L	0	4	-4,00%	4	0,00%	4,00	100,00%	0	100,00%

5.3 Verificación de las capacidades de diseño y la funcionalidad de cada equipo del ST

En la tabla 5.5 se muestran los resultados de los cálculos de las capacidades de diseño y operación de los equipos que conforman el S.T. Estos resultados sirvieron para corroborar los datos que la empresa presentó al inicio de la investigación.

Tabla 5.5 Cálculo de las capacidades de diseño y condiciones de operación de los equipos del ST

Equipo	Capacidades de Diseño				Condiciones de operación real			
	Altura (m)	Diámetro (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /h)	Temperatura (°C)	Presión (Psi)	Tiempo de Residencia (horas)
Tanque Reactor	4,1	2,7	46,23	23,47	10,08	30,4	-	2,17
Filtro de Arena	1,3	1,55	10,10	2,45	10,08	30,2	30-35	-
Filtro de Carbón	2,45	1,25	10,11	3,01	10,08	30,2	26-30	-
Filtro Pulidor	0,7	0,3	-	-	10,08	30,0	20-28	-

5.3.1 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del Tanque Reactor

El tanque reactor tiene una capacidad de 23,47 m³ y procesa un caudal de 10,08 m³/h de agua, lo cual hace que opere con un tiempo de residencia de 2,17 horas.

Este equipo se instaló para cumplir la función de un floculador/sedimentador. Sin embargo, el funcionamiento actual del equipo no cumple con la función para la cual fue diseñado, ya que no cuenta con un medio de agitación que ayude a los químicos a dispersarse en el volumen de agua dentro del reactor, lo cual provoca una coagulación deficiente. Por otro lado, tiene una forma cilíndrica con fondo plano, esto impide que cumpla su función como sedimentador.

Durante la inspección visual realizada se observó que este equipo presenta en la parte inferior del tanque acumulación de sólidos, lo que causó la obstrucción de tres conductos que sirven para realizar pruebas de determinación de lodos en el tanque reactor. (Ver Figura 5.5). Además de esto el tanque se encuentra oxidado en la parte interna (Ver Figura 5.4 a y 5.4 b).



(a)



(b)

Figura 5.4 (a) Entrada de agua y reactivos químicos al tanque reactor (b) Interior de tanque reactor



Figura 5.5 Conductos de tanque reactor

Dosis óptima de coagulante y pH óptimo

En la Tabla 5.6 se muestran los resultados de las Pruebas de Jarras realizadas al agua de pozo. En la Figura 5.6 y 5.7, se observa el comportamiento mostrado por la turbiedad y el pH del agua con respecto a la adición de sulfato de aluminio. En ambos casos se observa que la dosificación de Sulfato de Aluminio provoca un incremento en ambos parámetros, lo cual conduce a valorar que el agua no requiere la adición del sulfato de aluminio.

Cabe mencionar, que no es necesario reducir la turbidez del agua ya que éste parámetro cumple con las normas CAPRE y nunca ha afectado la calidad del agua, lo cual se fundamenta con los registros de la empresa, presentados en la Tabla 5.1.

Tabla 5.6 Resultados de Prueba de Jarras al agua de pozo

Dosis Sulfato de Aluminio (mg/L)	pH Inicial	Turbiedad Inicial	pH Final	Turbiedad Final
0	8,23	0,39	8,23	0,40
20	8,23	0,39	7,14	1,72
40	8,23	0,39	6,85	1,76
60	8,23	0,39	6,63	1,90
80	8,23	0,39	7,36	1,23
100	8,23	0,39	6,99	1,39
120	8,23	0,39	6,85	1,50

En la Figura 5.6 se observa que la dosificación de Sulfato de Aluminio solamente hace que se altere la turbiedad, por ende no hay una dosis necesaria o requerida para el afluente, por otra parte en la Figura 5.7 en la gráfica dosis vs pH se puede apreciar como el pH aumenta con la adición de sulfato, sin embargo no es idóneo disminuir éste si se aumenta la turbiedad.

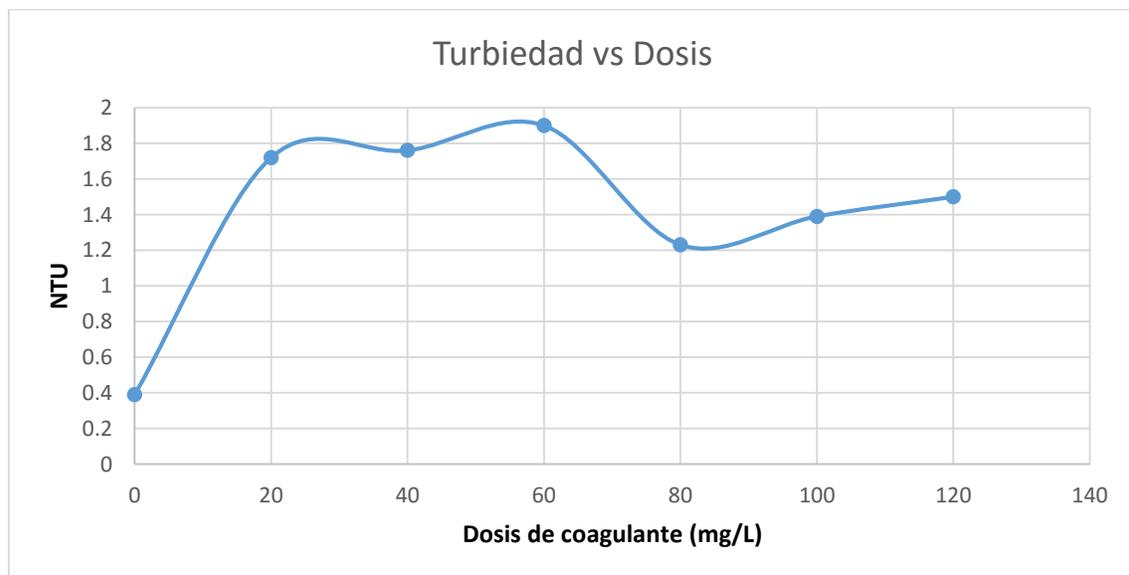


Figura 5.6 Comportamiento de la Turbiedad vs Dosis de Coagulante

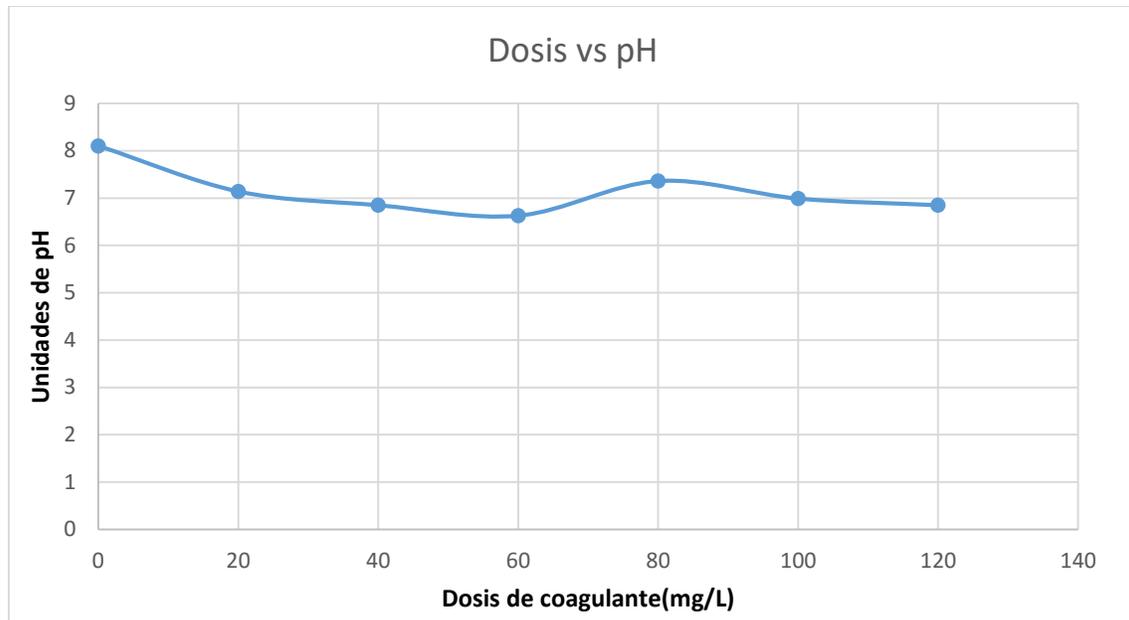


Figura 5.7 Comportamiento del pH vs dosis de Coagulante

5.3.2 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del Filtro de Arena

En la Tabla 5.5 se observan las dimensiones y las condiciones de operación del filtro. La tasa de filtración del equipo es de $1,044 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, lo que indica que funciona como un filtro lento. Las capas que conforman el lecho filtrante se encuentran mezcladas, por ende este cálculo tiende a ser erróneo, o al menos no se puede comparar con la velocidad idónea de filtrado de un filtro de arena.

Los resultados del análisis granulométrico para cada una de las capas del medio filtrante se muestran en la Tabla 5.7. En ella se observa que estas pueden estar reteniendo partículas en el rango de 8-12 micras, y por tanto este podría no estar ejerciendo su función para filtrar el agua presente.

Tabla 5.7 Resultados prueba de Granulometría

Posición	Diámetro (pulg)	Clasificación
Capa 1	Mayor 0,093	Grava
Capa 2	0,093	Arena muy gruesa
Capa 3	0,066	Arena gruesa
Capa 4	0,033	Arena fina
Capa 5	0,019	Arena muy fina

5.3.3 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del Filtro de Carbón

Las dimensiones del tanque, el volumen, su caudal de operación se pueden apreciar en la Tabla 5.5.

El lecho filtrante es de cáscara de coco de alta Carbón Activado (CS-HAC) granular y está diseñado para la reducción de sabores, olores, químicos orgánicos y la adsorción de agentes oxidantes como cloro y ozono, una de las grandes aplicaciones de este medio filtrante es para la eliminación de olores y sabores presentes en el agua clorada.

La altura es de 20 pie³ y en la empresa se ha comprobado su efectividad ya que al salir el agua del filtro según monitoreo realizados a diario el agua sale sin rastros de cloro, las características técnicas del carbón se muestran en la tabla 5.8:

Tabla 5.8 Características técnicas del lecho filtrante de carbón

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Color:	Negro
Tamaño de malla:	12x40
Densidad aparente:	28 lb/pies cúbicos
Tamaño efectivo:	0,55-0,75 mm
pH:	10
CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Agua a filtrar:	Debe estar libre de aceite y materia en suspensión.
	Libre de hierro y turbidez para una máxima vida de servicio.
Profundidad del lecho:	26-30 cm
Caudal de servicio:	5 gpm

Como se observa, las condiciones de operación difieren a las condiciones con las que actualmente trabaja el filtro, ya que éste se ve afectado por los sólidos no sedimentados del tanque reactor, esto se comprobó al cambiar el filtro pulidor ya que se observó cómo los residuos de cal quedan atrapados en él, esto sugiera la idea que la cantidad de desechos es mayor a la observada en los cartuchos pulidores, puesto que los filtros anteriores debieron haber retenido gran parte de ellos

5.3.4 Determinación de las capacidades de diseño y funcionalidad del Filtro Pulidor

El mantenimiento que la empresa da a este equipo es el lavado de los cartuchos pulidores, lo cual se hace aproximadamente cada 3 semanas, indicando que éste se está sobreutilizando, porque estos se lavan únicamente si el operario ve partículas retenidas en él, es decir, cuando el cartucho está saturado de sólidos.

La necesidad de cambio de los cartuchos la realiza el operador cuando observa una tonalidad oscura, lo que le indica que ya han sido lavado varias veces y se hace aproximadamente cada 8 semanas; sin hacer uso de las recomendaciones especificadas en la ficha técnica, que dice deben ser reemplazados con una caída de presión de 21,75 Psi, a pesar que se cuenta con manómetros que indican la presión de trabajo y por lo tanto, indican también cuando se tiene una caída de presión como esta.

Las características encontradas en la ficha técnica de estos filtros se presentan en la Tabla 5.9:

Tabla 5.9 Características técnicas de los filtros pulidores

Características de diseño:	Filtro cartucho plisado, para flujos grandes y larga duración.
Usos:	Remueve sedimentos y partículas para mayor claridad del agua.
Ventajas	Lavable y reusable.
Material de construcción:	Filtro: Poliéster Tapas: Plastisol de Vinil Núcleo: Polipropileno
Rango de trabajo de temperatura:	40 a 125° F (4,4 a 51,7) °C
Máxima baja de presión:	69°F (20°C) 46,4 Psi
Recomendable reemplazable caída de presión:	21,75 Psi
Tasa de flujo para 20 micrones:	16 GPM
ΔP inicial (Psi) a Flujo (GPM):	1 Psi a 20 GPM
Dimensiones:	2 – 3/4" De diámetro * 20" de largo.

5.4 Elaboración de propuestas de cambios para el ST actual

Después de haber realizado el análisis del funcionamiento de los equipos del ST actual, se encontró que se pueden hacer uso de los siguientes equipos con que cuenta la empresa: filtro de arena, filtro de carbón y filtro pulidor.

Para usar el equipo filtro de arena, es importante mencionar que se propone cambiar el medio filtrante por Turbidex™, el cual es un filtro granular mucho más efectivo debido a que tiene una alta porosidad y superficie de contacto, permitiendo la remoción de los sólidos suspendidos, ya que retiene partículas menores a 5

micrones, alcanzando niveles de turbidez en el agua por debajo de 0,1 NTU (Ver ficha técnica Anexo D.4).

Para el caso del filtro de carbón este puede ser usado sin realizar cambio alguno, mientras que para el filtro pulidor se propone el cambio de los cartuchos de 20 micras a 5 micras.

El tanque reactor se sugiere ser eliminado del ST, debido a que durante la evaluación reflejó que afecta negativamente la calidad del agua y también se encontró que con el diseño que tiene, no cumple la función de floculador/sedimentador.

Como parte de las propuestas de cambios al ST actual, se sugiere hacer uso de los equipos que ya se mencionó pueden seguir siendo utilizados y anexar una lámpara UV para el aseguramiento de la calidad microbiológica del agua. El proceso propuesto consistiría en lo siguiente:

- 1) Extraer el agua del pozo y almacenarla en el tanque cisterna.
- 2) Bifurcar una línea de agua del tanque cisterna y clorarla para uso de las oficinas administrativas, baños y uso general (riego, lavado de materiales de limpieza, etc.).
- 3) La otra línea pasa hacia el tratamiento de agua el cual consiste en un filtro con medio filtrante Turbidex, el filtro de carbón, y el filtro pulidor de 5 micras, y finalmente pasa por una lámpara de radiación ultravioleta (UV), como se muestra en la figura del anexo D.2 Con este proceso se asegurará un agua tratada libre de microorganismos patógenos y que cumpla con las normas establecidas para el agua de proceso de la empresa.

Como en esta alternativa se propone hacer uso del medio filtrante Turbidex y un equipo nuevo (lámpara UV), a continuación, se presentan las especificaciones para cada uno de ellos:

Tabla 5.10 Especificaciones técnicas de medio filtrante Turbidex™

<p>Eficiencia de Hiper filtración</p>	<p>Con una eficiencia de filtración menor a 5 micras, Turbidex incrementa el desempeño en flujos bajos, reduciendo costos de químicos, cartuchos para filtros, limpieza de membranas, vida de las membranas, etc.</p>
<p>Tasas de flujos más altas</p>	<p>Las tasas de flujo inicial que maneja son por arriba de los 15 gpm/pie². Pero también permite flujos por encima de los 20 gpm/ pie².</p>
<p>Beneficios</p>	<p>Turbidex™ incorpora intercambio iónico, absorción física y electrostática para reducir sólidos suspendidos, generando un agua con menos de 0.1 NTU de turbiedad.</p> <p>Turbidex™ hace que el tiempo de retrolavado disminuya en comparación al medio filtrante de arena, logrando un tiempo de retrolavado de media hora.</p> <p>Con un tiempo menor de retrolavado, se incurre en menor gasto de agua, al igual que en menor gasto de energía.</p> <p>Disminuye nitritos y nitratos, en poca cantidad.</p>

Especificaciones técnicas de lámpara UV

La lámpara UV seleccionada manejará un caudal en el rango de 60 a 90 m³/día para un tiempo de trabajo de 8 horas, esto significará que se trabajará con un caudal de 33-50 gpm. Fundamentándose en esto, se eligió el modelo WTH 44 cuyas especificaciones técnicas se muestran en la tabla 5.11 y se encuentran completas en el anexo D.3.

Tabla 5.11 Especificaciones técnicas de lámpara UV

Condiciones de operación	Baja caída de presión.
	Voltaje: 120 V
	Watts de las lámparas: 80 W por 2 Piezas
	Presión máxima de operación: 125 Psi
	Temperatura ambiente del agua: 2-40 °C
	Longitud de onda: El rango germicida se encuentra entre 240 y 280 nm (nanómetros) y se obtiene la máxima eficiencia desinfectante cerca de los 260 nm.
	Calidad del agua: La temperatura del agua tiene poca o ninguna influencia en la eficacia de la desinfección con luz ultravioleta, pero afecta el rendimiento operativo de la lámpara de luz ultravioleta, cuando la misma está inmersa en el agua. La energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. La turbiedad debe ser tan baja como sea posible y en todo caso, deben evitarse turbiedades mayores de 5 UTN.
	Intensidad de la radiación: Existe una regla general que dice que no debe haber más de 75 mm de profundidad de agua para asegurar que cada porción de la misma sea alcanzada por los rayos adecuadamente.
Costo de instalación y mantenimiento	Tipo de microorganismos: La radiación ultravioleta se mide en microvatios por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) y la dosis en microvatios segundo por centímetro cuadrado ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$) (radiación por tiempo). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo. No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes (coliformes, pseudomonas, etc.) varía entre 6.000 y 10.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$.
	Tiempo de exposición: Normalmente, el tiempo de contacto del agua dentro del equipo es de 10-20 segundos, esta condición es muy importante para asegurar un buen desempeño.
	Por ser un sistema que procesará menos de 100 m ³ /día el costo de instalación será de C\$ 6 335,41 a esto se le debe sumar C\$ 63 354,14 que es el costo del equipo. Por su parte, los costos de mantenimiento son relativamente bajos porque es de fácil limpieza, pero cuando se deban cambiar las lámparas se tendrá que invertir US\$ 478,99.

Durante la elaboración de la propuesta presentada a la empresa, surgió la necesidad de elaborar una norma de calidad para el agua tratada, con la que se elaborarán sus bebidas, debido a que hay que tener presente que estas deben mantener su sabor característico, pero cumpliendo lo establecido en la norma

CAPRE y tomando como referencia también, los valores típicos para parámetros fisicoquímicos de agua para una industria de bebidas carbonatadas.

Por esta razón, al realizar dicha norma, se decidió mantener la mayoría de los valores fisicoquímicos obtenidos en los resultados de los análisis, ya con estos es que mantiene su sabor, con la salvedad de disminuir la conductividad con ayuda del medio filtrante TURBIDEX™ que cómo se explicó en las especificaciones técnicas posee una eficiencia de filtración menor a 5 micras.

Los parámetros fisicoquímicos requeridos para el agua de proceso de Kola Shaler se muestran en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos requeridos para el agua de proceso en Kola Shaler.

Parámetros Fisicoquímicos	Valor	Unidades
Conductividad	300 máx.	μS/cm
Turbiedad	1 máx.	NTU
Alcalinidad	80-130	mg/L
Carbonatos	1 máx.	mg/L
Nitratos	20 máx.	mg/L
Cloruros	200 máx.	mg/L
Hierro total	0.3	mg/L
Sulfatos	250 máx.	mg/L
Dureza total	80	mg/L
Calcio	50 máx.	mg/L
Sólidos Totales	400	mg/L
Sólidos Totales Disueltos	500 máx.	mg/L
pH	6.5-8.5	Unidades de pH
Temperatura	18-35	°C
Parámetros microbiológicos	Valor	Unidades
Coliformes Totales	NMP<1.1/100 mL	N/A
E. Coli	NMP<1.1/100 mL	N/A
Pseudomonas	0	N/A

5.5 Valoración ambiental, técnica y económica del ST actual y del ST modificado

5.5.1. Valoración ambiental, técnica y económica del ST actual

Aspectos ambientales para sistema de tratamiento actual

El sistema de tratamiento actual hace uso de energía eléctrica suministrada a una bomba 15 HP para extraer el agua del pozo, 2 bombas dosificadoras de 6 amps, 1 bomba de 0.5 HP que mueve el motor del tanque de hidróxido de calcio/cloruro de calcio y una bomba de 3 HP para la alimentación del agua al filtro de arena, esto conlleva a un consumo de 2 606,4 kWh/mes, lo que equivale a generar $1\,094,69 \frac{kg_{CO_2}}{mes}$ de dióxido de carbono.

El sistema actual genera desechos sólidos proveniente de los lodos producidos en el tanque reactor, la masa de estos es de aproximadamente de 4 671 kg, según datos históricos que la empresa posee.

Una vez que se sacan los lodos de cal acumulados, se depositan en una pila que luego de un cierto tiempo (una semana aproximadamente), se solidifican, y son sacados en sacos donde se pesan y se venden a otras empresas que le son de utilidad como la industria de pinturas y evitando con esto, mayor contaminación del ambiente.

Aspectos técnicos para el sistema de tratamiento actual

Con la evaluación realizada al sistema de tratamiento actual, se encontró que presenta perjuicios técnicos, ya que genera mayores gastos de mano de obra, debido al tiempo excesivo de los retrolavados por la cantidad de desechos que se acumulan en el filtro de arena.

Además se encontró que los retrolavados se hacen una vez que se tiene una disminución de caudal en la sala de preparación de jarabe y/o en el carbocooler, equipo que se encarga de inyectar CO₂ a la bebida; por la experiencia que ha ido adquiriendo el operador, sabe que al menos debe realizarlos dos veces por semana, sin embargo esto deja en evidencia que no se hace uso de las técnicas adecuadas para esta operación, ya que los equipos deberían contar con manómetros que indican la presión de trabajo a la entrada y salida y una vez que se tiene una caída de presión, es cuando se deberían realizar los retrolavados.

La distribución de los equipos del ST actual, no permite que el operario brinde el mantenimiento y limpieza adecuada del área, ya que los filtros de arena y carbón, están muy cercanos a la malla de seguridad, lo cual impide que el operario se desplace con conformidad.

Aspectos económicos para sistema de tratamiento actual

En la Tabla 5.12 se muestran los costos anuales que conlleva el tener el sistema de tratamiento actual, en éste se incluyen costos por energía, mantenimiento, materiales y costos de los químicos utilizados durante el proceso; como se observa los costos más altos están en los químicos que la empresa adquiere para el S.T, lo cual como ya se ha discutido es innecesario por el tipo de afluente que se está tratando, los resultados de los cálculos se detallan de manera específica en el anexo C.2.

Tabla 5.13 Costos anuales del ST actual

Servicios	Costo C\$ anuales
Energía	151 436,01
Mantenimiento	6 336,00
Materiales de reposición	26 852,00
Costos Químicos	43 454,68
Total	218 561,65

5.5.2. Valoración ambiental, técnica y económica del ST modificado

Aspectos Ambientales para sistema de tratamiento modificado.

Las emisiones de CO₂ en función del consumo energético expresado en kWh por mes para el Sistema de Tratamiento propuesto son 1 025,89 $\frac{Kg_{CO_2}}{mes}$ consumidos. Los cálculos de estas emisiones se muestran en el Anexo C.1

El sistema de tratamiento no producirá desechos sólidos de ningún tipo, esto ayudará a que la empresa disminuya la producción de contaminantes que es uno de sus principales objetivos.

Aspectos técnicos para el sistema de tratamiento modificado

Dentro de los aspectos técnicos que conlleva el ST propuesto, es muy importante mencionar que los retrolavados no se harán en un intervalo de tiempo muy extenso en comparación a como se hace actualmente, a su vez esto generará una reducción de pago de horas extraordinarias al personal.

Con respecto a las lámparas, se deben cambiar después que haya perdido 25% a 30% de la luz ultravioleta que emitía cuando se encuentra nueva. Las lámparas UV tienen una duración de 10.000 horas, lo que en términos prácticos y teniendo en cuenta el recambio cuando ha descendido su intensidad a 70-75 % significa una vida útil de nueve meses a un año de trabajo sin interrupción, lo que indica que en Kola Shaler tendrá una vida útil mayor a este tiempo, porque no es un proceso continuo.

Para la limpieza del equipo, es preciso asegurar que las camisas de cuarzo o la tubería de teflón estén libres de sedimentos, por lo general esta limpieza se debe hacer una vez al mes como mínimo y puede hacerse a mano.

Se realizó una redistribución de los equipos, para permitir un mejor desplazamiento del operario, tomando en cuenta las recomendaciones técnicas generales para una industria, donde los equipos deben tener como mínimo una distancia de 1.5 m de la malla de seguridad. En el anexo E.2 se puede apreciar la propuesta desde una vista de planta y en la Figura 5.8 se detalla la distribución con los equipos propuestos.

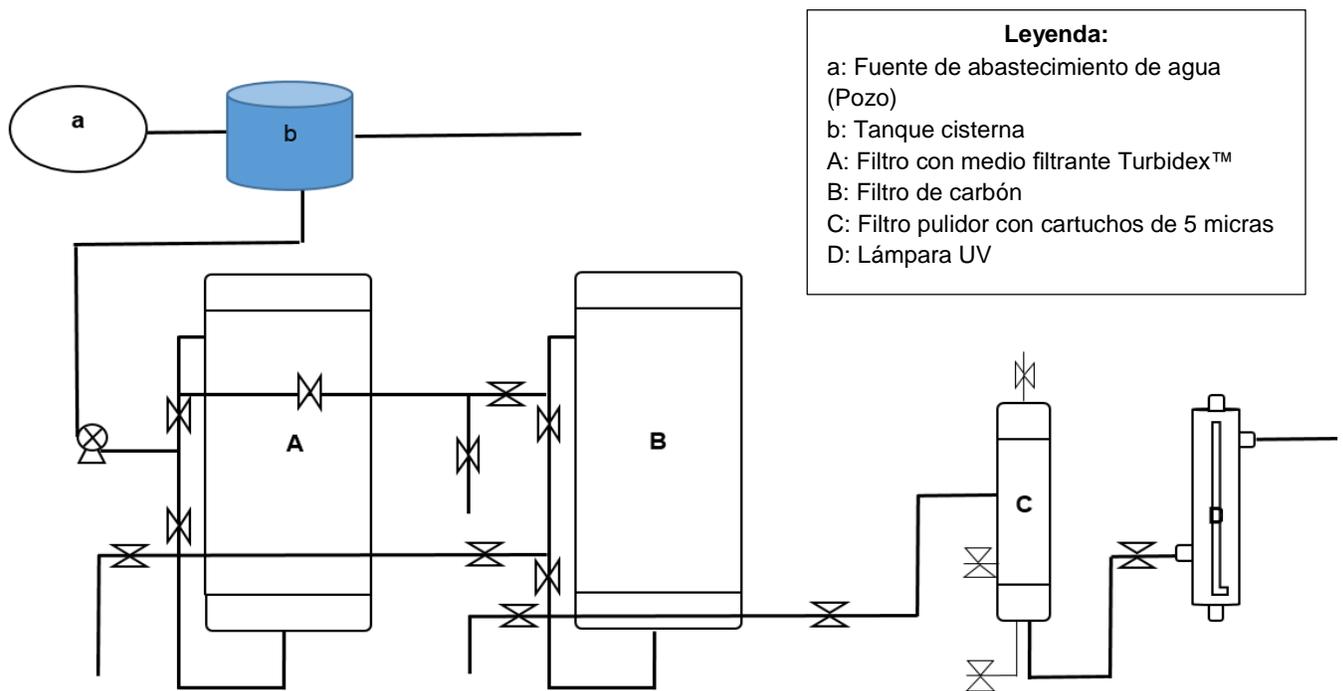


Figura 5.8 Distribución de equipos en el ST modificado

Aspectos económicos para el sistema de tratamiento modificado

Costos de operación del ST modificado

En la tabla 5.14 se muestran los costos que conlleva la instalación y puesta en marcha del sistema de tratamiento modificado, estos gastos se hicieron de manera anual en los cálculos se incluyen el gasto energético y los gastos de materiales para el sistema propuesto y como se observa los costos totales de operación del sistema propuesto son mucho menores que los costos totales del S.T actual, esto se debe a que al eliminar el tanque reactor ya no se utilizarán químicos, y se reducirá el tiempo que se hacen los retrolavados; en el anexos C.1 se muestran los resultados detallados de estos cálculos.

Tabla 5.14 Costos de operación del sistema de tratamiento propuesto

Servicios	Costo C\$ Anuales
Energía	141 918,96
Materiales de reposición	40 263,94
Total	182 182,90

Cálculo del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para reemplazo de equipos.

La alternativa presentada incluye la sustitución de equipos actuales por otros con mayor capacidad para elevar la calidad del agua, por tal razón, se hizo necesario utilizar un método para determinar la viabilidad de la propuesta y como explica (Urbina, 2007), existen ocasiones en donde es necesario seleccionar la mejor alternativa desde el punto de vista económico, pero no existen ingresos en el análisis y por el contrario, la mayoría de los datos que se tienen son costos; en este tipo de escenarios, se debe elegir la mejor alternativa a través del método CAUE.

Una situación que puede usarse de ejemplo es cuando se precisa tomar decisiones para reemplazar equipos o sistemas actuales por otros nuevos, desde luego, con una inversión extra (Urbina, 2007) y precisamente es lo que sucede en este caso. A continuación, se presentan los resultados de estos cálculos, en base a diversos escenarios.

Tabla 5.15 Cálculo del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para reemplazo de equipos

	Sistema propuesto	Sistema actual
INVERSIÓN C\$		
Adquisición de lámpara UV	63 354,14	0
Instalación UV	6,335.41	0
Adquisición e instalación de material filtrante Turbidex	27 064,80	0
Incluir		
Costo total de Inversión	116 714,35	0
COSTOS DE OPERACIÓN C\$		
Compra de Reactivos químicos	0	43,454.68
Material de reposición	40,263.94	26 852,00
Costo Energía	141,918.96	151,436.01
Mantenimiento	0	6,336.00
Costo total de operación	182,182.90	218,561.65

Escenario 1:

En el primer escenario se tomó en cuenta un valor de salvamento para el sistema actual de 0, y el del sistema de tratamiento propuesto, se calculó a través de la tasa de depreciación de saldo decreciente (dsd). En la tabla 5.16 se observan los resultados para cada sistema. La diferencia entre los valores del CAUE para cada sistema, en este escenario es de -22 256,73, los cálculos a detalle se presentan en el anexo C.2.

Tabla 5.16 Cálculo del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) Primer escenario

ESCENARIO 1		
Sistema	Actual Opción A	Propuesto Opción B
Vida Útil	10 años	10 años
Valor Salvamento	0	12 472,81
CAUE	218 561,65	196 304,91

Escenario 2:

En el segundo escenario, se utilizó un valor de salvamento para el sistema de tratamiento actual de C\$ 10,000 y se utilizó el mismo valor para el sistema de tratamiento propuesto, calculado en el escenario anterior. En la tabla 5.17 se muestran los resultados de estos cálculos, los detalles de los mismos se citan en el anexo C.2. La diferencia entre los valores del CAUE para cada sistema, en este segundo escenario es de -22 755,83 los cálculos a detalle se presentan en el anexo C.2.

**Tabla 5.17 Cálculo del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)
Segundo escenario**

ESCENARIO 2		
Sistema	Actual Opción A	Propuesto Opción B
Valor Útil	10 años	10 años
Valor Salvamento	10 000	12 472,81
CAUE	217 766,65	195 010,81

Como se observa en los resultados, en ambos escenarios se tiene un menor valor del CAUE con el sistema propuesto, esto significa que los gastos que conlleva son menores en comparación a mantener el ST actual, por tanto resulta viable seleccionar la opción B, ya que se acepta como válido el pensamiento de un inversionista que objetivo es siempre ganar más dinero; o su contraparte, incurrir en los menores costos, pues esto le proporcionará más dinero.

VIII. CONCLUSIONES

El sistema de tratamiento de agua de proceso de Kola Shaler no es eficiente, ya que no cumple con la función de mejorar la calidad del agua, encontrando que los parámetros fisicoquímicos: conductividad, turbiedad, nitratos, cloruros, hierro total y sulfatos, incrementan significativamente una vez que pasaron por el proceso.

La verificación de la funcionalidad de cada uno de los equipos del sistema de tratamiento revela que el equipo floculador-sedimentador no funciona como tal, debido a que este incrementa los valores de los parámetros fisicoquímicos: conductividad, turbiedad, cloruros, sulfatos, sólidos totales y pH. Sin embargo, los equipos de filtración colocados posterior a él reducen el impacto que esto podría tener en el agua de proceso, ya que en estos se eliminan todos los iones y materiales sólidos que se adicionan en el reactor.

La empresa no contaba con parámetros estándares para el agua de proceso, por tanto, se realizó en conjunto con la empresa una norma, basada en el cumplimiento de la norma CAPRE, y los valores típicos que se usan en una industria de bebidas.

La propuesta de cambio al sistema de tratamiento consiste en mantener los filtros: arena, carbón y pulidor ya que según los resultados fisicoquímicos ejercen una buena función, pero en el caso del filtro de arena se sugiere sustituir el medio filtrante a Turbidex™, debido a que este contribuye a disminuir la conductividad del agua, también se propone incluir una lámpara UV.

Con la valoración técnica, económica y ambiental para el sistema de tratamiento propuesto y el sistema de tratamiento actual, se encontró que es más viable implementar lo que se planteó en este estudio, ya que generará menores desechos al ambiente, mejora puntos débiles que técnicamente tiene el sistema de tratamiento actual y la empresa incurrirá en menores gastos.

IX. RECOMENDACIONES

Implementar el Sistema de Tratamiento propuesto en este estudio, ya que con éste se tendrán mayores beneficios tanto económicos como ambientales, además de esto se reducirán parámetros tales como conductividad y TDS.

Instalar un flujómetro a la entrada del Sistema de Tratamiento, ya que esto permitirá conocer el caudal de agua que entra al sistema y por tanto, la capacidad de tratamiento que tiene, además que se llevará un control de los días en que se demanda mayor cantidad de agua en la planta, lo cual no se lleva hasta el momento.

Evitar el uso de medios coagulantes, ya que las características fisicoquímicas del agua no lo requieren y por ende no son necesarias las operaciones de coagulación y posteriormente floculación.

X. Nomenclatura

A_{Fa} : Área del Filtro de arena.

A_{Fc} : Área del filtro de carbón.

A_T : Área del tanque.

BPM: Buenas prácticas de manufactura.

CAPRE: Comité coordinador regional de instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

CETEAL: Centro tecnológico de Agroindustria y alimentos.

CIRA: Centro para la investigación en recursos acuáticos de Nicaragua.

cm: centímetro

COMMERSA: Empresa Distribuidora de Sistemas de tratamiento de Agua

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno.

D_c^2 : Diámetro del filtro de carbón.

D_{Fa} : Diámetro del filtro de arena.

D_r : Diámetro del reactor.

E. Coli: Escherichia coli.

Etc.: Etcétera

FQ: Físicoquímico

gpm: Galones por minutos.

g/mol: gramos por mol.

h: Altura

ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ISO: International standardization organization.

kPa: KiloPascal

Km: Kilómetro

kW/h: Kilowatt por hora.

m³/m²h: metros cúbicos sobre metros cuadrados por hora.

m³/seg: Metro cúbico sobre segundo.

mg/L: miligramos por litros.

MIFIC: Ministerio de Fomento, industria y comercio.

MINSA: Ministerio de Salud.

mL: mililitro

NSD: No se detectó.

NTON: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense.

OD: Oxígeno disuelto.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

p.e.: Por ejemplo.

PIENSA: Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente.

pH: Potencial de Hidrógeno.

PM: Punto de Muestreo.

Q_R: Caudal del reactor.

Redox: Reducción oxidación.

rpm: Revoluciones por minuto.

S.A.: Sociedad anónima.

ST: Sistema de Tratamiento.

TAR: Tratamiento de Aguas residuales.

TECNOAL: Tecnología de alimentos.

T.D.S.: Total Dissolved Solid (Sólidos totales disueltos).

t_R: Tiempo de residencia.

T.S.: Total Solid (sólidos totales).

V_{Fa}: Volumen del Filtro de arena.

V_{Fc}: Volumen del Filtro de carbón.

V_R: Volumen del reactor.

Å: Amstrong

µm: micrómetro.

°F: Grados Farenheith.

°C: Grados Celsius.

ΔP: Diferencial de presión

VII. Bibliografía

Artículos y Libros:

- (OMS), O. M. (2006). *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Génova, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- A.Q.A. (2008). *Asesorías Químicos Ambientales*. Obtenido de Asesorías Químicos Ambientales: <http://www.aqaltda.com/cloruro-de-calcio>
- Andía, Y. C. (2000). *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de Agua: COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN*. Lima, Perú: SEDEPAL.
- Ascencio, M. T. (2009). *Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones*. Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Association, A. P., Association, A. W., & Federation, W. E. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Blank, L. (2006). *Ingeniería Económica*. México D.F: McGraw-Hill Interamericana.
- Calidra, G. (2002). *Manual de usos ecológicos de la Cal*. México: Calidra.
- CAPRE. (1994). *Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano*. San José, Costa Rica.
- Carvajal, A. L. (2014). *Fundamentos sobre Química Ambiental: El agua*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Díaz, C. G. (4 de Julio de 2004). *Biblioteca Virtual de Vigilancia en Salud*. Obtenido de Biblioteca Virtual de Vigilancia en Salud: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/vigilancia/rtv0404.pdf>
- Doménech, X. (2000). Química de la Hidrósfera, origen y destino de los contaminantes. En X. Doménech, *Química de la Hidrósfera, origen y destino de los contaminantes* (pág. 13). Barcelona: Miraguano Ediciones S.A.
- DUE, A. (2015). Tratamiento de aguas. *A DUE (Juice Technology and Sparking Ideas)*.
- EcuRed. (15 de Mayo de 2015). *Conocimiento con todo y para todos*. Obtenido de Conocimiento con todo y para todos : http://www.ecured.cu/index.php/Sulfato_de_Aluminio
- Fuentes Reyes, H., & Peralta, P. P. (2014). *Reconocimiento hidrogeológico Kola Shaler Industrial S.A*. Managua: Kola Shaler Industrial S.A.
- Galvin, R. M. (2005). Características Físicas, Químicas y Biológicas del agua. *Módulo de Contaminación de Agua*. Sevilla.
- Galvín, R. M. (2005). Características Físicas, Químicas y Biológicas del agua. *Módulo de Contaminación de Agua*. Sevilla.
- Gerard Kiely, J. M. (1999). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión*. España: Mc Graw-Hill Interamericana de España, S.A.U.
- González, J. E. (2012). *Hoja técnica de Cloruro de Calcio*. México: NEXTBAR.

- Henry, J., & G., H. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Monterrey: Pearson Education.
- Hydro-Source, LLC. (2007). *Ficha técnica Turbidex*. Texas.
- Jimenez, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental de México*. México : Limusa.
- Manahan, S. E. (2007). Introducción a la Química Ambiental. En S. E. Manahan, *Introducción a la Química Ambiental* (págs. 46-48). México D.F.: Reverté.
- Mojos, S. I. (2009). *Contaminación y Purificación del Agua*. Bolivia: Hoyam Mojos.
- Mundial, B. (Junio de 2015). *Datos Banco Mundial*. Obtenido de <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.ETOT.ZS/countries/1W-NI?display=default>
- Orellana, J. (2005). Tratamiento de Agua. En J. Arellana, *Ingeniería Sanitaria* (págs. 117-119). La Paz.
- Organization, W. H. (1996). Guidelines for drinking-water quality. En W. H. Organization, *Guidelines for drinking-water quality* (págs. 87-90).
- Rojas, J. A. (1999). *Calidad del Agua*. Mexico : Alfaomega S.A.
- Romero, M. (Abril de 2008). Tratamientos utilizados en Potabilización de Agua. Guatemala, Guatemala.
- Solar Safe Water. (2005). En M. T. Leal Ascencio, *Tecnologías convencionales de tratamientos de agua y sus limitaciones* (págs. 68-70). Morelos.
- TAR. (2009). *Tratamiento Físicoquímicos*. Sevilla, España: Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla.
- TAR, G. (2005). *Tratamiento de Potabilización de Agua*. Sevilla, España: Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla.
- Urbina, G. B. (2007). *Fundamentos de ingeniería económica Cuarta Edición*. Sante Fé, México, D.F: Mc Graw Hill Interamericana Editores, S.A. De C.V.
- Zumaeta, M. A. (2014). *Manual para análisis básicos de calidad de agua de bebida*. Lima: OPS/CEPIS/PUB/02.93.

Monografías:

- Aguilera M, S. (2002). *Evaluación y propuesta de mejoramiento del proceso de tratamiento de Agua, para la producción de bebidas carbonatadas de Embotelladora Nacional S.A. (ENSA)*. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.
- Castrillón, D. y Giraldo, M. (2012). *Determinación de la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la Planta de tratamiento de Villa Santana*. Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Tecnología Química. Pereira, Colombia.

Flores, E. J. y Rivas, G. (2013). *Evaluación del Sistema de Potabilización de Agua constituido por Filtros de Bioarena y Dióxido de Titanio*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad Ingeniería Química. Managua, Nicaragua.

Sitios Web:

A.Q.A. (2008). *Asesorías Químicos Ambientales*. Obtenido de Asesorías Químicos Ambientales. Consultado el 7 de marzo, 2015. En: <http://www.aqaltda.com/cloruro-de-calcio>.

Díaz, C. G. (4 de Julio de 2004). *Biblioteca Virtual de Vigilancia en Salud*. Consultado de Biblioteca Virtual de Vigilancia en Salud: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/vigilancia/rtv0404.pdf>

EcuRed. (15 de Mayo de 2015). *Conocimiento con todo y para todos* . Obtenido de Conocimiento con todo y para todos : http://www.ecured.cu/index.php/Sulfato_de_Aluminio

Mundial, B. (Junio de 2015). *Datos Banco Mundial*. Obtenido de <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.ETOT.ZS/countries/1W-NI?display=default>

VIII. Anexos

Anexo A
Teoría para toma de muestras y
caracterización granulométrica de
partículas

A.1 Fundamentos teóricos para la toma de muestras

Es fundamental cuando se planifica un muestreo precisar claramente cuál es el objetivo del mismo (análisis físico-químico y/o microbiológico para consumo humano, para abrevado animal, para riego, otro), ya que éste define los elementos requeridos y las condiciones en que se realizará (envase, procedimiento y cuidados para la toma de la muestra, condiciones de traslado y conservación, etc.) que se deberá consensuar previamente con el Laboratorio con el cual se planifica realizar el análisis (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2011).

El muestreo es el primer paso para la determinación de la calidad de una fuente de agua, por lo que la persona que recoge una muestra y la lleva al laboratorio es corresponsable de la validez de los resultados. En este sentido debe asegurarse que la muestra sea representativa de la fuente cuya calidad se desea evaluar, y que no se deteriore, ni se contamine antes de llegar al laboratorio, ya que la calidad de los resultados, depende de la integridad de las muestras que ingresan al mismo (Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria-Asociación Civil (CIATI A.C., 2000).

INTA (2011) recalca que la toma de la muestra debe realizarse con sumo cuidado, a fin de garantizar que el resultado analítico represente la composición real de la fuente de origen, y que antes de iniciar el muestreo se debe consultar al laboratorio sobre las condiciones en que éste debe desarrollarse y la información mínima requerida.

Envase

Según los análisis que vayan a realizarse se definirá el tipo de envase a utilizar. El mismo estará en función de la cantidad de muestra a tomar y de la necesidad de dejar (en análisis microbiológicos) o no (en la mayoría de los análisis) una cámara de aire, o un espacio para mezclas o para el agregado de algún reactivo que permita la conservación de la muestra.

En el caso de que las muestras deban ser transportadas, debe dejarse un espacio del 1% de la capacidad del envase para permitir la variación de volumen debida a diferencia térmica.

Para análisis físico-químico se utilizarán envases de plástico o vidrio, con buen cierre, nuevos. Si se va a reutilizar un envase, deben desestimarse envases que hayan contenido agua contaminada, combustibles, soluciones concentradas, etc., únicamente podrían reutilizarse envases de agua mineral o envases de gaseosa muy bien lavados, especialmente aquellos en base a Cola (por el ácido fosfórico). De todas maneras, se trate de un envase nuevo o reutilizado, previo a la toma de la muestra, deberá enjuagarse por lo menos tres veces con el agua a muestrear. La cantidad de muestra necesaria para un análisis físico-químico es de aproximadamente 1 litro como mínimo.

Para análisis microbiológico se utilizarán frascos con capacidad de 250 a 300 ml, de plástico o vidrio, esterilizados, con tapa hermética y en lo posible de boca ancha. También pueden utilizarse bolsas especiales de polietileno estériles

(fabricadas a tal fin), considerando que este tipo de envase es muy cómodo para la recolección y cerrado. También se debe tener presente al seleccionar los envases que este tipo de muestras debe mantenerse refrigerada hasta su llegada al laboratorio y procesamiento

Toma de muestra para análisis físico-químico

Las muestras de agua pueden provenir de fuentes superficiales (ríos, arroyos, canales, represas, lagos, aljibes) o subterráneas (pozos calzados o de balde, perforaciones) y este aspecto definirá las condiciones de muestreo.

En función de la fuente que se vaya a muestrear, y para asegurar que la muestra sea lo más representativa posible del total, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones: cualquiera sea la fuente de agua, previo a la toma de la muestra, se enjuagará el envase por lo menos 2 a 3 veces con el agua a muestrear.

Agua de red

Para la toma de una muestra de agua de red se abrirá el grifo o canilla y se dejará que el agua corra el tiempo suficiente de manera de tener purgada toda la cañería que llega desde el tanque.

El ramal donde se encuentre el grifo debe ser el principal, proveniente de la red, y no debe estar conectado en el trayecto con otras cañerías, filtros, ablandadores u otros artefactos que puedan alterar la calidad del agua del ramal principal.

También se debe tomar la precaución de retirar del grifo o boca de salida las mangueras u otros accesorios, y de limpiarlo tratando de eliminar sustancias acumuladas en el orificio interno de salida del agua y en el reborde externo, dejando correr agua libremente para arrastrar cualquier residuo.

Agua de Perforaciones o Pozos Calzados

La muestra se debe tomar de la cañería inmediata al pozo y es conveniente que, antes de proceder a la toma de la muestra, la impulsión se mantenga en marcha el tiempo suficiente que contemple la profundidad del o de los acuíferos, hasta que el agua emerja clara (sin sedimentos ni restos vegetales) y que sea del acuífero. Se debe prestar especial atención a esto si el pozo estuviera en desuso. No se debe permitir el traslado ni recepción de muestras con olor, producto de materia orgánica en descomposición. Estas muestras no son representativas y se descartarán automáticamente.

Pasos prácticos para la toma de la muestra para análisis físico-químico.

- 1) Si el envase está rotulado verificar que sea el correcto.
- 2) Que el envase tenga una capacidad de por lo menos 1 litro.
- 3) Enjuagar 2 a 3 veces con la fuente de agua que se va a muestrear, desechando el agua de enjuague.

- 4) Cerrar el envase asegurando su cierre hermético.
- 5) Guardar la muestra en lugar fresco (interior de un vehículo) o en conservadora si fuera necesario y llevarla al Laboratorio en el menor tiempo posible (se recomienda como tiempo máximo de entrega a laboratorio de 4 días).

Toma de muestra para análisis microbiológico.

Agua de perforación, pozo calzado o de red:

Donde el material lo permita, se debe calentar el grifo, canilla o caño que viene directamente del mecanismo de bombeo o del depósito principal durante el tiempo necesario para que el agua provenga directamente de la fuente (deseable) o del depósito principal.

Para el calentamiento se puede utilizar un mechero o un hisopo con algodón bien embebido en alcohol.

Pasos prácticos para la toma de la muestra para análisis microbiológico.

- 1) El envase a utilizarse deberá estar esterilizado y durante la toma debe prestarse atención a mantener una adecuada asepsia para evitar la contaminación accidental de la muestra.
- 2) Rotular el envase o verificar que el rótulo sea el correcto.
- 3) Si el grifo, canilla o caño es metálico quemar con un mechero donde sale el agua (si el material es plástico realizar el mismo procedimiento pero un menor tiempo para que no se deteriore el material plástico), luego abrir el grifo, canilla o activar el mecanismo de bombeo y dejar salir el agua el tiempo suficiente hasta que se esté seguro que es agua de la fuente de agua o depósito, de manera que el chorro no sea intenso.
- 4) Abrir el recipiente estéril, evitando todo contacto de los dedos con la boca e interior del mismo y sosteniendo la tapa de manera que ésta mire para abajo.
- 5) Tapar inmediatamente asegurando un cierre perfecto.
- 6) La muestra debe ser guardada en una conservadora oscura y con hielo bien limpia y que no contenga otros elementos propios del muestreo, o en la parte de abajo de una heladera. Nunca poner la muestra en la hielera o en un freezer. En cualquier caso también el mecanismo de conservación (conservadora, heladera) debe tener la mayor higiene posible y en el caso de la conservadora es indispensable no guardar otros elementos allí (comidas, bebidas, etc).
- 7) Trasladarla lo más pronto posible a Laboratorio (tiempo máximo 2 días y correctamente refrigerada en lugar oscuro).

A.2 Fundamentos Para la Caracterización Granulométrica de Partícula

El método de ensayo para el análisis granulométrico de partícula es un procedimiento manual o mecánico, en el cual una muestra de agregado seco de masa conocida se separa en partículas constitutivas según los tamaños, mediante una serie de mallas de aberturas, ordenadas desde la de mayor hasta la de menor abertura; de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño (distribución por tamaño de partículas) que aporta al peso total (ASTM C 136, 2006; Departamento de Mecánica Estructural; 2012).

Los paños de cedazos (mallas) y los marcos de los tamices que se utilizan en los ensayos de análisis granulométrico deben cumplir con la norma ASTM E 11. Además, cuando el ensayo se realiza en un tamizador mecánico, éste debe producir un movimiento de los tamices que provoque que las partículas reboten, caigan o giren, de manera que presenten diferentes orientaciones a la superficie de tamizado. Ambas condiciones deben cumplirse para que los resultados puedan ser usados para propósitos de aceptación (ASTM C 136, 2006).

La acción de tamizado debe durar un periodo de tiempo razonable, de modo que en la práctica las masas de cada tamaño después del tamizado no pasen un tamiz en no más del 1% en masa del material retenido en cualquier tamiz individual (ASTM C 136, 2006).

En base a las masas de cada tamaño de partícula retenida en los tamices respectivos, se calcula los porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total inicial de la muestra, el porcentaje de material que pasa cada tamiz y el porcentaje de material retenido entre tamices consecutivos (ASTM C 136, 2006).

Anexo B
Imágenes de los equipos del
actual sistema de tratamiento y equipos
utilizados para realizar pruebas

B.1 Equipos Sistema de Tratamiento Actual



(a)



(b)

Figura B.1. (a) Tanque de almacenamiento de agua y (b) Tanque de mezcla de hidróxido de calcio (cal) cloruro de calcio



(a)



(b)

Figura B.1.1. (a) Tanque reactor (b) Tanque de dosificación de sulfato de aluminio y de cloro.



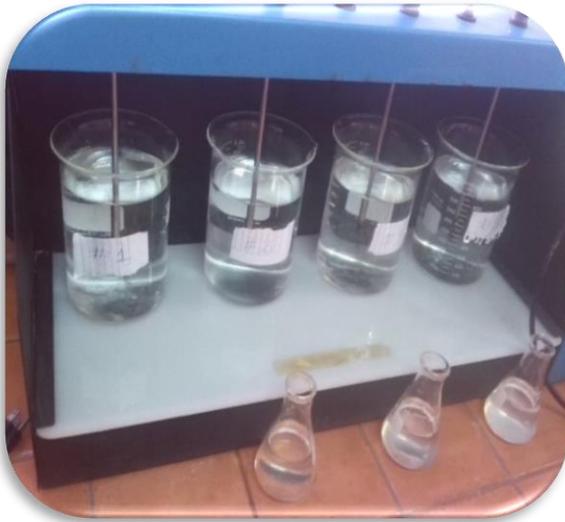
(a)



(b)

Figura B.1.1.1. (a) Filtro de arena y filtro de carbón (b) Filtro pulidor

B.2 Equipos Utilizados para realizar pruebas



(a)



(b)

Figura B.2. (a) Equipo para realizar pruebas de jarras: Phipps & Bird (b) Tamiz Modelo y Marca USA Standard Test Sieve ASTM E-11 Specification



(a)



(b)

Figura B.2.1. (a) pH-metro OHAUS STARTER 300 (b) Medidor de Conductividad Phipps & Bird

B.3 Toma de muestras de agua y almacenamiento para transportarlas



(a)



(b)

Figura B.3 Recolección de muestras de agua (b) Almacenamiento de muestras.

Anexo C

Cálculos

Y comparación de resultado de análisis

C.1 Cálculos de aspectos ambientales y económicos para ambas propuestas

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ en función del consumo energético se hace necesario tener conocimiento de los kW del sistema, éste se muestra en la tabla C.1

Tabla C.1 Costo Energético del Sistema Tratamiento Actual

Costo Energético del Sistema Tratamiento Actual			
Equipo	Capacidad	Cantidad	Total (kW)
Bomba centrífuga	0.5 Hp	1	0.38
Bomba dosificadora	6 amps	2	0.6
Bomba centrífuga	15 Hp	1	11.25
Bomba centrífuga (filtro de arena)	3 Hp	1	2.24
Total			14.48

El cálculo de las emisiones de CO₂ en función del consumo energético expresado en kWh por mes para el Sistema de Tratamiento actual es:

$$E = (kWh^4)(0.42 \frac{kgCO_2}{KWh} \text{consumido}^5)$$

$$E = (2\,606,4 \frac{kWh}{mes})(0.42 \frac{kgCO_2}{KWh} \text{consumidos})$$

$$E = 1\,094,69 \frac{kgCO_2}{mes} \text{consumidos}$$

El consumo de kW de cada equipo del sistema propuesto se muestra en la tabla C.2

Tabla C.2 Costo Energético del Sistema Tratamiento Propuesto

Costo Energético del Sistema Tratamiento Propuesto			
Equipo	Capacidad	Cantidad	Total Kw
Bomba centrífuga	15 Hp	1	11,25
Bomba Centrífuga	3 Hp	1	2,24
Lámpara UV		1	0,08
Total			13,57

⁴ Dato tomado de Pliego Tarifario para Industria Mayor:
http://www.ine.gob.ni/oaip/ajustetarifarios/2015/Resol_INE_01042015_Pliego_Tarifario_Abril_2015.pdf

⁵ Dato tomado de Banco Mundial:
<http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.ETOT.ZS/countries/1W-NI?display=default>

El cálculo de las emisiones de CO₂ en función del consumo energético expresado en kWh por mes para el Sistema de Tratamiento propuesto es:

$$E = (kWh)(0,42 \frac{Kg_{CO_2}}{mes} consumidos)$$

$$E = (2\,442,6 \frac{kWh}{mes})(0,42 \frac{Kg_{CO_2}}{mes} consumidos)$$

$$E = 1\,025,89 \frac{Kg_{CO_2}}{mes} consumidos$$

Cálculo de costos de materiales de reposición y químicos del ST actual y costos de materiales de reposición del ST propuesto.

Tabla C.3 Costos de químicos y materiales de reposición del S.T actual

Costos de químicos	
Nombre	C\$ Anual
Cal	4,082.98
Sulfato de Aluminio	9,800.00
Cloruro de Calcio	17,278.80
Hipoclorito de Sodio	12,292.90
Total	43 454,68
Costos de materiales de reposición	
Cartucho de Filtro	20,052.00
Cloro Test	1,200.00
Químicos Auxiliares	5,600.00
Total	26,852.00
Gran total	70 306,68

Tabla C.4 Costos de Materiales de reposición S.T Propuesto

Costos de materiales de reposición	
Nombre	C\$ Anual
Cartucho de Filtro	20,052.00
Cloro Test	1,200.00
Químicos Auxiliares	5,600.00
Lámpara UV	4,470.65
Cuarzo	1,607.10
Bulbo	7,334.19
Total	40,263.94

C.2. Costo Anual Uniforme Equivalente para reemplazo de equipos

A continuación se muestran los cálculos que se realizaron para conocer cuál de las dos alternativas resulta más idónea para la empresa, a través del método CAUE. Para los cálculos que se presentarán se hizo necesario determinar los siguientes valores:

1. Valor de Salvamento (VS)

Siendo este el valor de mercado de un activo en cualquier momento de su vida útil, a su vez el valor de mercado es el valor monetario al que puede ser vendido un activo en el año n .

Para el cálculo del VS en el caso a presentar se tomaron en cuenta dos aspectos, primero determinar este valor sobre el activo que ya se posee y se desea reemplazar, entonces el valor de este será el valor monetario que se puede obtener por la venta de este activo en el mercado en el momento en que se tome la decisión. Por lo contrario, si el activo no se posee y apenas se va a adquirir la toma de decisión deberá ser estimada en base a la vida útil del mismo (Urbina, 2007).

2. Vida útil del activo:

Puede definirse como el periodo (expresado en años), que un activo sirve o está en la actividad para la cual fue diseñado.

Cálculo de CAUE para el reemplazo de los equipos del S.T actual

Para realizar este cálculo, se tomaron en cuenta dos escenarios: El primero de ellos es dejar el valor de salvamento del sistema a reemplazar en cero, debido al grado de corrosión que el tanque reactor posee; el segundo escenario, es dando un valor de C\$ 10,000 considerando que este se puede vender para ser reciclado.

Cálculos a utilizar:

TMAR: 5%

Precio del equipo a adquirir: C\$ 63,354.14

Precio de Instalación del equipo: 6,335.41

Precio del Turbidex a adquirir: C\$ 27,064.80

Costo total de inversión del sistema propuesto:

$$CT_I = [(P) + (I)] + (PT) + Y$$

Dónde: P es el precio del equipo a adquirir, I es el costo de la instalación del mismo, PT es el costo de Turbidex y Y es el costo de reordenar el sistema de tratamiento propuesto.

$$CT_I = (63,314.14 + 6,335.41 + 27,064.80) + 20,000$$

$$CT_I = \text{C\$ } 116,714.35$$

Costo de Operación del Sistema Actual: C\$ 218,561.65

Costo de Operación del Sistema propuesto: C\$ 182,182.90

- **Primer escenario:**

Vida Útil de Sistema Actual: 10 años

Vida Útil de Sistema Propuesto: 10 años

Valor de salvamento de Sistema Actual: 0

Valor de salvamento Sistema Propuesto:

Para el S.T propuesto se hace necesario estimar el cálculo en base a los años de la vida útil del mismo, por ende primero se calcula la tasa de depreciación de saldo decreciente (dsd) este puede tomarse en rango de 150% a 175%, y posteriormente el valor de salvamento.

Tomando en cuenta una dsd de 150 %:

$$d_{sd} = \frac{1.5}{n}$$

Dónde: n, son los años de la vida útil del sistema propuesto.

$$d_{sd} = \frac{1.5}{10 \text{ años}}$$

$$d_{sd} = 0.15$$

Posteriormente se debe calcular el valor de salvamento del sistema propuesto de la siguiente manera:

$$VS_p = P(1 - d_{sd})^n$$

Donde: VS_p es el valor de salvamento del sistema propuesto, n son los años de la vida útil del equipo propuesto.

$$VS_p = (63\ 354,14)(1 - 0,15)^{10}$$

$$VS_p = 12\ 472,81$$

CAUE para Sistema de tratamiento Actual:

$$CAUE_{STA} = CO_{STA} - VS_{STA}(A/F, TMAR, n_{STA})$$

Donde: CO_{STA} son los costos de operación del sistema de tratamiento actual, VS_{STA} es el valor de salvamento del sistema de tratamiento actual, n_{STA} es la vida útil del sistema de tratamiento actual, y A/F es el factor de anualidad dado un futuro tomado de la tabla 10 del (Blank, 2006) para factores de interés compuesto.

$$CAUE_{STA} = C\$218,561.65 - 0\left(\frac{A}{F}, 5\%, 10 \text{ años}\right)$$

$$CAUE_{STA} = C\$218,561.65 - 0(0.07950)$$

$$CAUE_{STA} = C\$ 218,561.65$$

CAUE para sistema de tratamiento propuesto:

$$CAUE_{STP} = CT_I(A/P, TMAR, n_{STP}) - VS_{STP}(A/F, TMAR, n_{STP}) + CO_{STP}$$

Donde: CT_I son los costos totales de la inversión del sistema de tratamiento propuesto, n_{STP} es la vida útil del sistema de tratamiento propuesto, CO_{STP} son los costos de operación del sistema de tratamiento del sistema propuesto, y A/F es el factor de anualidad dado un futuro, A/P es el factor de anualidad dado un presente, tomados de la tabla 10 del (Blank, 2006) para factores de interés compuesto.

$$CAUE_{STP} = C\$116\,714,35 \left(\frac{A}{P}, 5\%, 10 \text{ años}\right) - 12\,472,81 \left(\frac{A}{F}, 5\%, 10 \text{ años}\right) + C\$ 182\,182,90$$

$$CAUE_{STP} = C\$116,714.35(0.12950) - 12,472.81(0.07950) + C\$ 182,182.90$$

$$CAUE_{STP} = C\$ 196\,304,91$$

$$CAUE = CAUE_{STP} - CAUE_{STA}$$

$$CAUE = C\$ 196\,304,91 - C\$ 218\,561,65$$

$$CAUE = -C\$ 22\,256,73$$

Segundo escenario:

Vida Útil de Sistema Actual: 10 años

Vida Útil de Sistema Propuesto: 10 años

Valor de salvamento de Sistema Actual: C\$ 10,000

Valor de salvamento Sistema Propuesto: C\$ 12,472.81

CAUE para Sistema de tratamiento Actual:

$$CAUE_{STA} = CO_{STA} - VS_{STA}(A/F, TMAR, n_{STA})$$

Donde: CO_{STA} son los costos de operación del sistema de tratamiento actual, VS_{STA} es el valor de salvamento del sistema de tratamiento actual, n_{STA} es la vida útil del sistema de tratamiento actual, y A/F es el factor de anualidad dado un futuro, tomado de la tabla 10 del (Blank, 2006) para factores de interés compuesto.

$$CAUE_{STA} = C\$218,561.65 - C\$ 10,000\left(\frac{A}{F}, 5\%, 10 \text{ años}\right)$$

$$CAUE_{STA} = C\$218,561.65 - C\$ 10,000(0.07950)$$

$$CAUE_{STA} = C\$217,766.65$$

CAUE para sistema de tratamiento propuesto:

$$CAUE_{STP} = (CT_I - VS_{STA})(A/P, TMAR, VU_{STP}) - VS_{STP}(A/F, TMAR, VU_{STP}) + CO_{STP}$$

Donde: CT_I son los costos totales de la inversión del sistema de tratamiento propuesto, n_{STP} es la vida útil del sistema de tratamiento propuesto, CO_{STP} son los costos de operación del sistema de tratamiento del sistema propuesto, y A/F es el factor de anualidad dado un futuro, A/P es el factor de anualidad dado un presente, tomados de la tabla 10 del (Blank, 2006) para factores de interés compuesto.

$$CAUE_{STP} = (116\,714,35 - C\$ 10,000)\left(\frac{A}{P}, 5\%, 10 \text{ años}\right) - 12,472.81\left(\frac{A}{F}, 5\%, 10 \text{ años}\right) + C\$ 182,182.90$$

$$CAUE_{STP} = C\$106\,714,35(0.12950) - 12\,472,81(0.07950) + C\$ 182,182.90$$

$$CAUE_{STP} = C\$ 195\,010,81$$

$$CAUE = CAUE_{STP} - CAUE_{STA}$$

$$CAUE = C\$ 195\,010,81 - C\$ 217,766.65$$

$$CAUE = -C\$ 22\,755.83$$

C.3 Comparación entre resultados de análisis fisicoquímicos realizados al ST actual en MINSa y PIENSA.

Como parte del monitoreo de control de la empresa, se mandaron realizar análisis fisicoquímicos en los laboratorios del MINSa y PIENSA, los resultados se observan muy cercanos en los valores y se muestran en la tabla D.1.

Tabla D.1 Resultados análisis fisicoquímicos MINSa vs PIENSA

Parámetros	Agua de Pozo (PIENSA)	Agua de Pozo (MINSa)	Filtro Pulidor (PIENSA)	Filtro Pulidor (MINSa)	Normas CAPRE
Aspecto Visual	Claro	Claro	Claro	Claro	Incoloro
Conductividad	572	563	571	560	400
Turbiedad	0,029	-	0,050	-	5
Alcalinidad	221	220	124,20	120	NE
Carbonatos	0,10	0,19	0,10	0.19	NE
Nitratos	14,70	14	15,01	14	50
Cloruros	31,10	28	69,50	71	250
Hierro Total	0,007	-	0,015	-	0,3
Sulfatos	26,30	23	34,50	38	250
Dureza Total	67,04	88	46,08	48	400
Calcio	16,48	17	10,81	11	100
T.S.	378	404	362	320	NE
T.D.S.	371	-	341	-	1000
pH	8,21	8,2	8,5	8,2	6,6 - 8,5

Anexo D

Planos y Fichas técnicas