

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**Monitoreo y control de calidad en la planta de aguas residuales de la Embotelladora La
Cascada S.A. de C.V.**

POR

MELQUICEDEC ALEXANDER VÁSQUEZ RIVAS

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DEL 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

ING. M. SC. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO

ING. M. SC. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ING. HUMBERTO RUIZ MEJÍA

ASESOR INTERNO

ING. HAYDEE ESMERALDA MUNGUIA DE PEREZ

ASESOR EXTERNO

LIC. ALMA ESTHER DE LANDAVERDE

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

ING. HAYDEE ESMERALDA MUNGUIA DE PÉREZ

INDICE	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
1. INFORMACION DE LA UNIDAD PRODUCTIVA	3
1.1 Datos generales	3
1.1.1. Localización	3
1.1.2. Antecedentes.....	3
1.1.3. Recursos.....	4
1.1.3.1. Naturales.....	4
1.1.3.2. Instalaciones y equipos	4
1.1.3.3. Humanos	7
1.2. Actividades actuales	8
1.2.1. Producción principal	8
1.2.2. Situación técnica	9
1.2.3. Situación administrativa	10
2. ANALISIS DEL PROBLEMA EN EL SECTOR	11
3. MARCO TEORICO	12
3.1. Aguas residuales industriales.	12
3.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales MBBR.	14
3.3. Tipos de microorganismos aeróbicos en sistema MBBR.	15
3.4. Regulación de aguas residuales.	16
4.1. Metodología de Laboratorio	17
4.1.1. Análisis Físicoquímico.....	17
4.1.2. Análisis microbiológico.	20
4.1.3. Programa de análisis de laboratorio.	21
4.1.4. Actividades emergentes	21

4.2. Metodología de Campo	22
4.2.1. Operación de Equipo de PTAR	22
4.2.2. Muestreo de Aguas Residuales	24
4.2.3. Limpieza de Áreas de PTAR	25
4.3. Metodología de escritorio.....	25
4.3.1. Ordenamiento de la información.	25
4.3.2. Recuperación de programas.	25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1 Resultados de análisis microbiológicos	26
5.2 Resultados de análisis físico- químico de efluente	27
5.3. Inventarios	31
5.4. Registro y recuperación de la información.....	31
6. CONCLUSIONES.....	32
7. RECOMENDACIONES.....	33
BIBLIOGRAFIA	34
ANEXOS.....	36

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de Embotelladora La Cascada.	3
Figura 2: Principales componentes de la planta de aguas residuales de Embotelladora La Cascada.	6
Figura 3: Organigrama Administrativo.....	10
Figura 4: Diagrama de flujo de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales.	22
Figura 5: Rotífero observado en reactores biológicos.	26
Figura 6: <i>Paramecium caudatum</i> observado en reactores biológicos.....	26

Figura 7: <i>Vorticella convallaria</i> observado en reactores biológicos.	27
Figura 8: <i>Euplotes spp.</i> Observado en reactores biológicos.	27
Figura 9: Tendencia de pH de entrada y salida.	29
Figura 10: Tendencia de Resultados de DQO.	29
Figura 11: Tendencia de resultados de DBO.	30

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Equipo de laboratorio utilizado en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).	7
Cuadro 2: Productos de Embotelladora La Cascada.	8
Cuadro 3: Situación técnica de la embotelladora.	10
Cuadro 4: Programa de monitoreo diario.	21
Cuadro 5: Promedio mensual de resultados de análisis fisicoquímico de agua de entrada.	28
Cuadro 6: Promedio mensual de resultados de análisis fisicoquímico del efluente.	28

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla en la empresa Embotelladora La Cascada S.A., ubicada en la 29 calle oriente, col. La Rábida, San Salvador. Donde se desarrollan actividades de producción de bebidas carbonatadas, no carbonatadas, energizantes, entre otros. Entre las principales áreas que permiten a la empresa garantizar el cumplimiento medio ambiental es la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) resultantes de proceso productivo, la cual cuenta con un sistema MBBR (biorreactor de lecho móvil, por sus siglas en ingles), donde se desarrollaron actividades de mediciones de la calidad del efluente antes de ser vertido al alcantarillado público, dándole cumplimiento a los programas del sistema de gestión de calidad de la empresa. En el periodo del 19 de marzo al 19 de septiembre del 2024 se realizaron actividades relacionadas al seguimiento y cumplimiento de los programas y normas para suplir las necesidades emergentes de la planta; además, se detallan los métodos utilizados para alcanzar los objetivos de calidad establecidos. Entre los resultados obtenidos durante este período está el control de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las etapas de la planta de tratamiento de aguas residuales. También, se destaca la creación de una base de datos de los análisis diarios realizados para hacer más comprensible su interpretación, al igual que la recuperación de programas que se encontraban en desuso.

Palabras clave: aguas, residuales, tratamiento.

INTRODUCCIÓN

Una de las actividades del control de calidad es el manejo de los parámetros de los desechos que salen de la actividad productiva; en este caso la empresa por ser productora de bebidas carbonatadas su mayor desecho es el agua residual, por lo que la pasantía se desarrolla mayormente en esta área.

Las aguas residuales de tipo especial resultantes de procesos de producción no deben promover un impacto al medio ambiente y al cuerpo receptor al que son vertidos. En el caso de la Embotelladora La Cascada, esta se encuentra en medio de la ciudad capitalina por lo que las aguas residuales de tipo especial no deben ser vertidas dentro del alcantarillado público sin antes haber sido tratadas, de tal manera que se reduzcan sus niveles de contaminación hasta alcanzar los límites máximos permitidos establecidos por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA, 2004). Este dicta las directrices para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario para cumplir con los parámetros que se buscan controlar en el agua residual antes de ser vertida son: pH, Temperatura, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, Turbidez, Cloro, Nitratos, Ortofosfatos, entre otros.

A continuación, se detallan las generales de producción de la Embotelladora La Cascada y las actividades que se desarrollaron en la planta de tratamiento de aguas residuales, los métodos utilizados para el cumplimiento de los objetivos establecidos y los principales resultados que se obtuvieron.

OBJETIVOS

- Medir la calidad del agua a través análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, garantizando el cumplimiento de los criterios de calidad establecidos.
- Cumplir con el programa de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con el sistema de gestión de calidad establecido en la empresa.
- Atender las indicaciones relacionadas al seguimiento de los programas y normas de la empresa, para suplir las necesidades emergentes de la misma.

1. INFORMACION DE LA UNIDAD PRODUCTIVA

1.1 Datos generales

1.1.1. Localización

Embotelladora La Casada se encuentra en 29 calle oriente, col. La Rábida, San Salvador, N° 1708, San Salvador (ver figura 1). A 650 msnm. Con una temperatura promedio anual de 23.4°C según Climate Data sf.

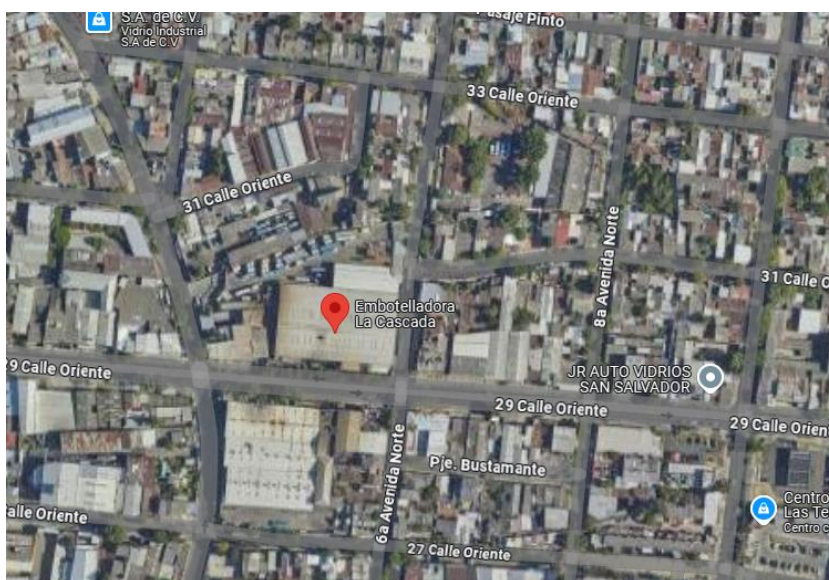


Figura 1. Ubicación geográfica de Embotelladora La Cascada.

Fuente: Google maps, 2024.

1.1.2. Antecedentes

Según Embotelladora La Cascada S.A, es una empresa de capital totalmente salvadoreño fundada en 1948 en el departamento de Santa Ana. El objetivo principal de su fundación es dedicarse a la producción, comercialización y distribución de bebidas gaseosas, siendo a lo largo de su historia una fuente constante de crecimiento y desarrollo para El Salvador. En la actualidad, cuenta con más de 1,200 empleos directos y se establecen a través de sus clientes y proveedores oportunidades de trabajo para miles de salvadoreños. Es una empresa con cobertura nacional, pues cuenta con 10 agencias distribuidas en todo el país; a su vez crea puestos de trabajo para muchas familias tanto en el área urbana como rural. También se

caracteriza por ser un poderoso motor canalizador en la recaudación de impuestos directos e indirectos para las arcas del país, dado el carácter de Grandes Contribuyentes que el Ministerio de Hacienda les ha otorgado. Una parte fundamental de la estrategia que la empresa ha sostenido a lo largo de los años ha sido caracterizarse por mantener una presencia consolidada de sus marcas en el ámbito nacional. Lo anterior le ha permitido alcanzar una alta idealización de los productos que comercializa; de esta manera logra una gran identificación con el folklore del pueblo salvadoreño, beneficiando a comerciantes y consumidores al contar en el mercado con opciones de bebidas de alta calidad a los mejores precios (Embotelladora La Cascada S.A. 2025)

1.1.3. Recursos

1.1.3.1. Naturales

El principal recurso natural usado por la empresa es el agua; el cual es extraída por 2 pozos subterráneos con profundidades mayores a los 250 metros del nivel del suelo, la cual es tratada y potabilizada a través de procesos físicos y químicos. Además, se hace uso del agua suministrada por la red de abastecimiento de ANDA para tareas menores.

Las áreas verdes con las que cuenta la planta se encuentran en dos ubicaciones denominadas lote 3 y lote 4, donde se encuentran las oficinas principales y la planta de tratamiento de aguas residuales, correspondientemente. La primera consta de pequeños jardines frente a los cubículos, donde se pueden apreciar algunas variedades de clavel (*Dianthus caryophyllus*), hortensias (*Hydrangea*), helechos (*Pteridium aquilinum*), entre otras. También cuenta con árboles de gran tamaño como: mango (*Mangifera indica*), etc.; la segunda consta en gran parte de la extensión de terreno de grama catalana o grama americana (*Stenotaphrum secundatum*), además de 10 plantas de mirto y 16 árboles pequeños de ciprés (*Cipressus spp*). También cuenta con un árbol de mango (*Mangifera indica*) de gran tamaño a un costado de la planta.

1.1.3.2. Instalaciones y equipos

Embotelladora la cascada cuenta con 2 plantas de producción. La planta 1 consta de 6 líneas de producción: línea 72, línea 40, línea 42-2, línea 80, línea 30 y línea de agua envasada. La

línea de producción 120 se encuentra en la planta 2, que se ubica a una cuadra hacia el norte de la planta 1, en esta línea se procesan las bebidas 1, 2 y 3 litros.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se encuentra a una cuadra oeste de la planta uno, donde se extraen las aguas residuales de las 7 líneas de producción.

Para el buen funcionamiento del tratamiento de aguas residuales por lodos activados por vía aerobia, es necesario contar con las instalaciones y equipos necesarios con los que podemos mencionar algunos los siguientes:

Bomba de alimentación: esta se encarga de bombear las aguas residuales producidas durante la elaboración de bebidas, las cuales son reunidas en una cisterna; esta puede funcionar de manera manual o automática, activándose cuando el nivel del agua alcanza el nivel mínimo para ser bombeada al tanque de homogenización.

Tanque de homogenización: este tanque cuenta con paredes de concreto las cuales tienen la capacidad de albergar 68 metros cúbicos, mediante un motor sumergible de hélice se logra agitar el agua para que sea procesada lo más homogénea posible en las siguientes etapas.

Reactores microbiológicos: al igual que el tanque de homogenización cuenta con paredes de concreto, en esta etapa se logra la descomposición de la materia orgánica disuelta en el agua mediante la actividad microbiana aerobia, la aireación de los reactores mediante sopladores que impulsan aire del ambiente en los reactores y medios de adherencia microbiana. Estos reactores tienen capacidad de 32 metros cúbicos cada uno.

Clarificador: el clarificador DAF (por sus siglas en inglés: Dissolved Air Flotation, es decir, Flotación por Aire Disuelto), se encarga de la aplicación de un tanque de acero inoxidable donde se aplica polímero coagulante de sólidos sedimentables al agua proveniente de los reactores, además de la inyección de aire. Una vez que la materia sólida ha flocculado en forma de lodos, es arrastrado por raspadores de superficie hasta el Tanque Digestor de Lodos; obteniendo dos subproductos: lodos y efluente.

Tanque digestor de lodos: La función de esta etapa es espesar y sedimentar los lodos, y sea más fácil su deshidratación. Para ello se inyecta aire continuamente a través de sopladores.

Prensado de lodos: una vez que los lodos han terminado su proceso de digestión son extraídos por una bomba y estator que los empuja a través de una serie de filtros donde quedan atrapados. Estos lodos ya deshidratados son sacados de los filtros manual y posteriormente enviados a Manejo Integral de Desechos Sólidos (MIDES), donde se encargan de la disposición final de manera mensual. Mensualmente se envía un promedio de 2,200 kilogramos de lodo deshidratado.

Componentes de planta de tratamiento de aguas residuales

A continuación, se muestra una representación gráfica de la planta y sus principales componentes (ver figura 2).

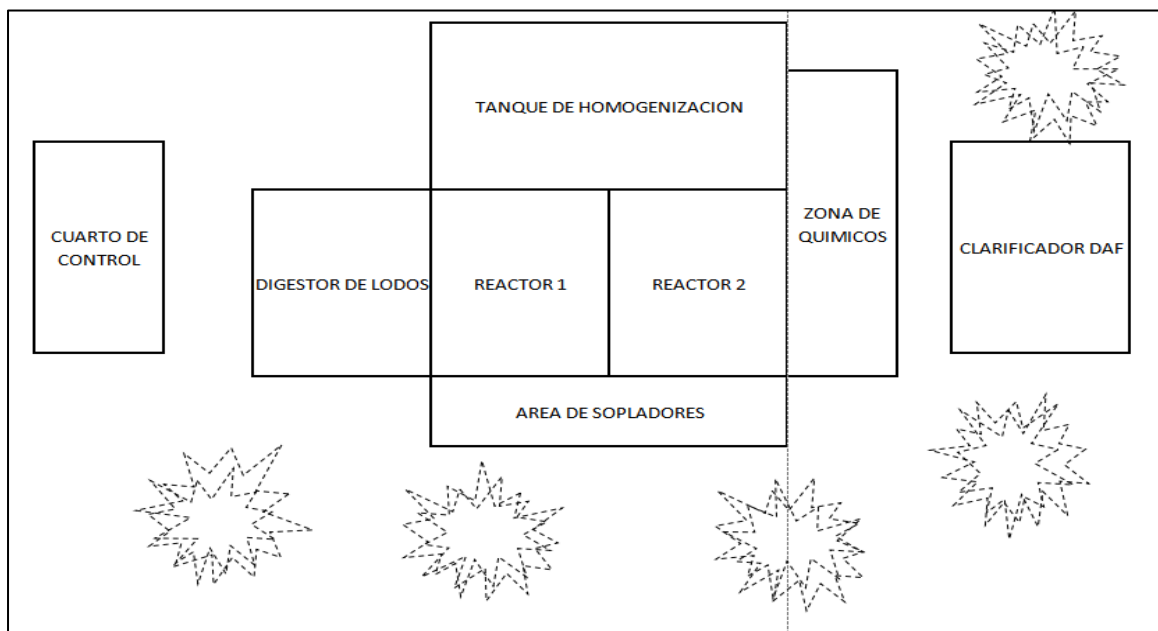


Figura 2: Principales componentes de la planta de aguas residuales de Embotelladora La Cascada.

Para la realización de los análisis físicos, químicos y microbiológicos es necesaria la utilización de equipo especializado el cual se detalla a continuación (ver cuadro 1):

Cuadro 1: Equipo de laboratorio utilizado en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Equipo	Análisis
Equipo de Oxitop	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Microscopio	Análisis de Biomasa
Horno deshidratador	Sólidos suspendidos totales, humedad de lodos.
Espectrofotómetro	Demanda Química de Oxígeno, Color real, nitrógeno amoniacal, Nitratos, Ortofosfatos, Cloro.
Incubadora a 20°C	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Desecador	Sólidos Suspendidos Totales, Humedad.
Balanza Analítica con 4 decimales	Sólidos suspendidos totales
Bomba de vacío	Sólidos suspendidos totales
PH-metro Portátil	PH, Temperatura
Tubímetro	Turbidez
Oxímetro Portátil	Oxígeno Disuelto
Conductímetro	Conductividad, Temperatura

1.1.3.3. Humanos



La empresa cuenta con más de 1,300 colaboradores, los cuales están divididos entre administrativos, gerencias, analistas, operarios, bodegueros, mecánicos, montacarguistas, conductores, vendedores y distribuidores. Además, como empresa con mucho reconocimiento en el mercado.





1.2. Actividades actuales

1.2.1. Producción principal

Empresa Embotelladora dedicada a la producción distribución y comercialización de bebidas carbonatadas, bebidas no carbonatadas y agua envasada. Cuenta con más de 70 años de experiencia en la elaboración de bebidas gaseosas, principalmente los productos que son reconocidos en el interior del país como lo son la marca Kolashanpan y Salva cola; también se encuentran los sabores Orange, Grape y Strawberry de la misma categoría. Además, cuenta con productos nuevos e innovadores en el mercado como las bebidas no carbonatadas o llamados jugos de Cascada Piña y Coco y Cascada Naranja. El más reciente producto que ha tenido una buena aceptación en el mercado es el suplemento alimenticio para perros GuaGuaú. Además, cuenta con diferentes presentaciones que se presentan en el cuadro 2:

Cuadro 2: Productos de Embotelladora La Cascada.

Producto	Presentación	Imagen
Bebidas carbonatadas <ul style="list-style-type: none"> • Kolashanpan • Salvacola 	6.5 oz	
	12 oz	
	1 litro	
	1.25 litros	
	2 litros	
	3 litros	
Bebidas carbonatadas <ul style="list-style-type: none"> • Grape • Strawberry • Orange 	12 oz	
	1 litro	
	1.25 litros	
	3 litros	
Bebidas no carbonatadas	12 oz	

<ul style="list-style-type: none"> • Piña y coco • Naranja 	1 litro	
	1.25 litros	
	3 litros	
Bebida energizante <ul style="list-style-type: none"> • Hi Energy 	500 ml	
Bebida estimulante <ul style="list-style-type: none"> • Cascada Lit 	500 ml	
<ul style="list-style-type: none"> • Agua Cascada 	700 ml	

1.2.2. Situación técnica

En su mayoría las operaciones de producción son semitecnificadas, detalladas de forma general a continuación (ver cuadro 3):

Cuadro 3: Situación técnica de la embotelladora.

AREA	OPERACION	SITUACION
Producción	Llenado	Tecnificado
	Taponado	Tecnificado
	Empaquetado	Semitecnificado
	Paletizado	Semitecnificado
Tratamiento de aguas	Extracción	Tecnificado
	Enfriamiento	Tecnificado
	Potabilización	Semitecnificado
Tratamiento de aguas residuales	Clarificación	Tecnificado
	Filtración y desecho de lodos	Semitecnificado

1.2.3. Situación administrativa

Embotelladora La Cascada cuenta con una estructura jerárquica funcional donde la comunicación entre las diferentes gerencias es de forma escalonada de la siguiente manera (ver figura 3):

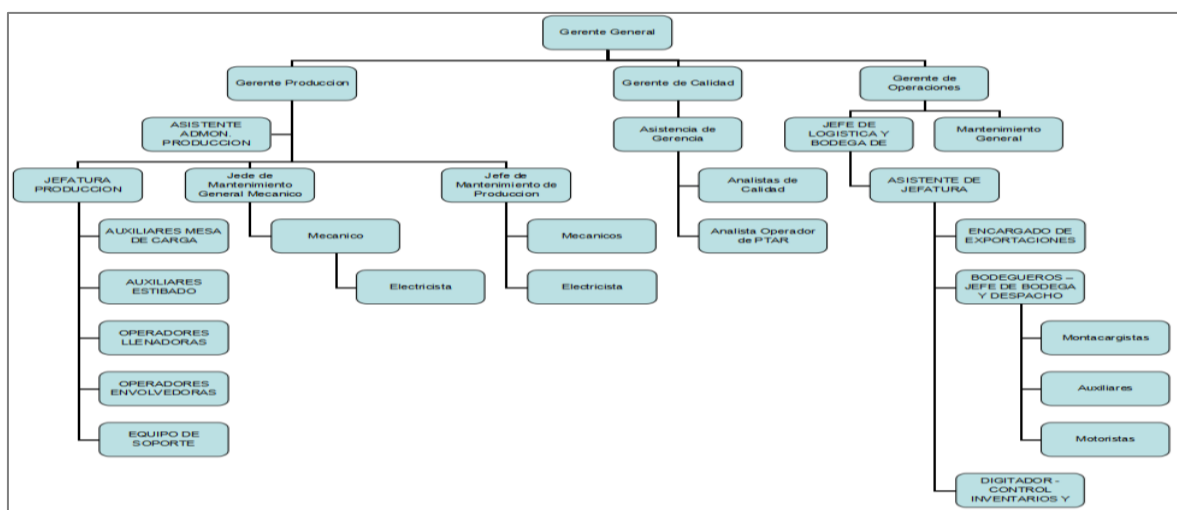


Figura 3: Organigrama Administrativo.

1.2.4. Generales de comercialización

Embotelladora La Cascada cuenta con 3 Centros de Distribución principales ubicados en Ilopango, Santa Ana y San Miguel, donde se cuenta con camiones encargados de llevar el producto a los mercados, supermercados, tiendas mayoristas, tiendas minoristas y tiendas ubicadas en el interior del país, cantones y caseríos.

2. ANALISIS DEL PROBLEMA EN EL SECTOR

Uno de los problemas a los que se enfrenta la empresa, debido principalmente a la zona donde se encuentra ubicada; es la constante evaluación del cumplimiento de las normativas y reglamentos medioambientales que buscan evitar que grandes empresas de producción masiva de alimentos representen un impacto negativo al medio ambiente y población del entorno, mediante la emanación de gases tóxicos; también, el drenaje de aguas residuales con altas concentraciones de contaminantes las cuales son vertidas a los cuerpos receptores a través del alcantarillado.

El principal desecho de la planta de producción son las aguas residuales de los procesos; por lo tanto, el cumplimiento de los parámetros establecidos por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados determina el cierre o continuidad de la Embotelladora La Cascada S.A. Esto quiere decir que, la empresa debe velar por la calidad del agua residual vertida al alcantarillado público y es la responsable de mantener los controles que vayan encaminados a cumplir los requerimientos exigidos por la institución correspondiente.

Como parte del Departamento de Calidad se busca mantener este sistema de control a través de: análisis fisicoquímicos, verificación y evaluación diaria del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y aportar soluciones alternativas al trabajo de operación dentro de la planta.

3. MARCO TEORICO

3.1. Aguas residuales industriales

La industria alimentaria es una gran consumidora de agua para usos diversos (ingrediente, agente de limpieza, medio de transporte, refrigeración, calor para tratamientos térmicos, etc.). Este gran consumo lleva asociada la producción de volúmenes significativos de aguas residuales. Los efluentes de la industria alimentaria pueden clasificarse por su origen en los siguientes grupos:

- Aguas de proceso, que pueden definirse como aguas que intervienen en el proceso de fabricación y suelen estar en contacto con las materias primas o los productos semielaborados y finales (acondicionado de materias primas como lava dos, escaldados, cocciones, marinados, tratamientos térmicos de conservación en forma de vapor o agua caliente, transporte de productos, etc.).
- Aguas de limpieza de equipos e instalaciones (estas operaciones son muy importantes en la industria alimentaria, pues son necesarias para garantizar la salubridad de los alimentos elaborados). Es uno de los principales focos de consumo y generación de aguas residuales de las industrias agroalimentarias.
- Aguas de servicio (aguas de refrigeración, purgas de calderas, regeneración de intercambiadores, etc.). Suelen estar menos cargadas que las anteriores y debe ser optimizado su consumo mediante un buen mantenimiento de las instalaciones y la reutilización de las aguas hasta que sea posible. Las aguas de servicios se caracterizan por su alta temperatura (aguas de refrigeración y purgas de calderas), concentración de sales disueltas y/o ácidos o bases (regeneración de ablandamiento) y eventualmente trazas de aditivos químicos.
- Aguas sanitarias (utilizadas en los servicios de empleados duchas, aseos, lavabos, etc.). Son similares a las aguas domésticas. Las aguas de proceso y las de limpieza son las más importantes y suelen caracterizarse por su contenido en materia orgánica y sólidos en suspensión, con la aportación, según el tipo de industria, de otros contaminantes procedentes de la materia prima (sales disueltas, aceites y grasas, fenoles, nitratos, fosfatos, potasio, etc.),

de productos químicos que intervienen en los procesos de fabricación (ácidos, álcalis, salmueras, etc....) o de productos de limpieza.

Entre los distintos subsectores agroalimentarios existen grandes diferencias en consumo y volumen y carga de las aguas residuales. No obstante, en general, se puede observar cómo en todos ellos la característica común es el marcado carácter orgánico. Las aguas residuales agroalimentarias contienen una carga orgánica entre 10-100 veces mayor que las aguas residuales urbanas. Casi todos los vertidos agroalimentarios presentan altos niveles de biodegradabilidad. Los vertidos de la industria alimentaria suelen presentar una considerable variabilidad diaria durante la producción debido a la operación discontinua de los procesos de fabricación y al carácter intermitente de la mayoría de los procesos de limpieza. La carencia o exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) es un aspecto para considerar para el adecuado diseño y posterior operación del sistema de tratamiento pertinente. Además, en muchos subsectores se trabaja por campañas (conservas, almazaras, bodegas, azucareras, etc.) lo que produce vertidos estacionales de distintas características. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta cuando se diseña una instalación de depuración. (Canut A. Duque R; 2016).

Según el MARN (2019), un sistema de tratamiento de aguas residuales puede provocar, entre otros, los impactos siguientes:

Positivos.

1. Disminución de enfermedades.
2. Creación o aumento de empleos (para la construcción, operación y mantenimiento).
3. Protección de las comunidades aguas abajo de las descargas de aguas residuales.
4. Fertilización de suelos agrícolas con lodos tratados que contienen materia orgánica y minerales.
5. Sustitución del empleo de agua subterránea en lugares donde es la única fuente de riego.
6. Disminución de vertimiento de carga orgánica a las aguas (superficiales o subterráneas), el suelo y la atmósfera.

Negativos.

1. Pérdida de valor de los terrenos aledaños si se presentan malos olores o molestias por el diseño incorrecto o inadecuada operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.
2. Peligros para la salud pública en las cercanías de los sitios de descarga o reutilización, durante la operación normal del sistema.
3. Contaminación de las aguas, el suelo, los cultivos, la atmósfera.
4. Afectaciones por ruidos.
5. Reproducción o alimentación de vectores, especialmente en los sitios de almacenaje, reutilización o eliminación del lodo.
6. Deterioro del suelo por incremento de la tasa de salinización y saturación del agua, si no se presta la debida atención a las necesidades de filtración y drenaje.
7. Accidentes laborales durante la construcción y operación, especialmente en las operaciones con zanjas profundas.
8. Problemas regionales del manejo de desechos sólidos, exacerbados por el lodo.
9. Reducción de la actividad turística o recreativa.

3.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales MBBR

El MBBR es un reactor biológico de lecho móvil (proceso MBBR, por sus siglas en inglés: Moving Bed Biofilm Reactor) diseñado e implementado especialmente para el tratamiento de aguas residuales (domesticas, comerciales y municipales) de alta complejidad cuyo principio de funcionamiento se basa en un proceso biológico avanzado cuyo medio de soporte utiliza Diferentes Rellenos (principalmente MUTAG biochip, FLOCOR o tirillas de BIOFLEX), dichos rellenos poseen una densidad ligeramente inferior a la del agua lo que le permite mantenerse en suspensión en el agua (NyFdecolombia, 2017).

El medio dentro del reactor se mantiene en suspensión utilizando difusores de aire de burbuja fina o gruesa si el sistema es aerobio o con mezcladores mecánicos si el sistema es anaerobio. Dentro de los procesos llevados a cabo en el MBBR no existe un retorno de lodos activados. El medio usado en los sistemas de MBBR es elaborado en polietileno de forma cilíndrica y con una capacidad máxima de llenado del 70%. La cantidad utilizada depende de la carga orgánica

e hidráulica, la temperatura, la capacidad de transferencia de oxígeno y el grado de tratamiento requerido. (CAR Cundinamarca, 2011).

El principio básico del proceso de lecho móvil es el crecimiento de la biomasa en soportes plásticos que se mueven en el reactor biológico mediante la agitación generada por sistemas de aireación o por sistemas mecánicos. Los soportes son de material plástico con densidad próxima a 1gr/cm^3 que les permite moverse fácilmente en el reactor incluso con porcentajes de llenado del 70%. (Larrea, 2004).

3.3. Tipos de microorganismos aeróbicos en sistema MBBR

Las bacterias aeróbicas propician procesos de oxidación y nitrificación. Sin embargo, para desarrollar estos procesos, necesitan oxígeno. Un aspecto que debe ser tenido en cuenta es la resistencia de los microorganismos. Viven en un rango entre 9 – 28 grados centígrados. Además, el pH que soportan es de entre 5.0 y 7.0. Pseudomonas: Logran alcanzar el 80% del lodo activo. Son capaces de procesar alcoholes, ácidos grasos, hidrocarburos, parafinas, entre otras sustancias orgánicas. Nitrificantes: permiten la oxidación de compuestos de nitrógeno. Bacterias filamentosas: se encargan de la oxidación de compuestos de carbono (Larrea, 2004).

Según Aquafix (sf.), entre los diferentes microorganismos que podemos encontrar en un tratamiento de aguas residuales están:

- Rotíferos: son un tipo de metazoos que se alimentan de materia muerta y en descomposición, así como bacterias, algas y protozoos mas pequeños. Esto ayuda a producir un efluente claro. Los rotíferos se encuentran comúnmente en plantas de aguas residuales saludables; sin embargo, nunca deben ser dominantes. Una de las funciones de los rotíferos es ayudar a desarrollar flóculos mediante la secreción de moco por la boca o el pie.
- Ciliados rastreros: son un tipo de protozoo que son beneficiosos para los sistemas de aguas residuales. Son indicativos de una edad saludable del lodo. Se alimentan de bacterias poco adheridas en los bordes del floculo, lo que ayuda a mantener una estructura de floculo saludable, creando flóculos más condensados.

- Ciliados pedunculados: son unos de los ciliados más importantes en un sistema de aguas residuales para ayudar a limpiar los efluentes. Hay dos tipos: los que tienen una concha, o una lorica, y los que no la tienen. El primer y más común tipo de ciliados pedunculados son los que no tienen concha. Todos los tipos tienen una cabeza en forma de campana invertida o zooide. Estas cabezas tienen cilios en la parte superior que se utiliza para alimentarse. Los cilios se utilizan para crear una corriente de agua con el fin de filtrar las partículas de alimentos, como bacterias libres, algas o protozoos pequeños en su boca. Este tipo de alimentación ayuda a crear un efluente claro.
- Ciliados nadadores: tienden a ser abundantes cuando los niveles de bacterias libres disminuyen a niveles saludables. Una plétora de ciliados nadadores puede indicar una abundancia de bacterias activas y nutrientes que no se han agotado. Los ciliados nadadores tienen filas de estructuras cortas parecidas a pelos, o cilios, en toda la superficie de su cuerpo. Los cilios laten al unísono para crear movimiento, así como para atraer corrientes de agua con bacterias libres hacia su boca que se abre en su lado ventral.

3.4. Regulación de aguas residuales

El agua residual de tipo especial es el agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquéllas que no se consideran de tipo ordinario. Se originan en cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua (que no sean las aguas residuales domésticas ni las aguas pluviales). Se diferencia de las aguas residuales ordinarias, en el grado de contaminación (física, química, microbiológica y radiactiva) que presentan y por supuesto en lo complejo que resulta su tratamiento y eliminación. La cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen no pueden ser eliminados mediante un sistema de tratamiento convencional, por lo que se necesitan la combinación de ellos para lograr su estabilización (MARN, 2019).

Los límites máximos permisibles de los parámetros de esta norma (Norma para regular la calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario) deberán ser alcanzados por medio de los tratamientos respectivos o adecuación de procesos. Para

alcanzar dichos niveles no será permitida (al alcantarillado sanitario) las descargas de: materias sólidas y líquidas que por sí solas o por interacción con otras puedan solidificarse o dar lugar a obstrucciones que dificulten el normal funcionamiento de los sistemas de recolección de aguas residuales, líquidos explosivos o inflamables, líquidos volátiles, gases y vapores inflamables, etc. (ANDA, 2004).

Se deberá determinar a toda descarga de tipo industrial los valores de los siguientes parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, aceites y grasas, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y temperatura (ANDA. 2004).

4. METODOLOGIA

4.1. Metodología de Laboratorio

4.1.1. Análisis Físicoquímico

Para un adecuado control de calidad se realizaron actividades guiadas al mantenimiento de los parámetros de calidad principalmente dentro de la planta de aguas residuales. Los análisis físicoquímicos se llevaron a cabo en 4 puntos de muestreo donde se toman 100 ml, estos son: tanque de homogenización (TH), reactor 1 (R1), reactor 2 (R2), efluente (E).

A continuación, se presentan las actividades de trabajo realizados en el Laboratorio Ambiental según el Manual de Marchas Analíticas del laboratorio ambiental:

- Determinación de Cloro Residual. (Método 8016)

La medición indica la presencia de cloro "activo", el cual será consumido unos minutos después de tomada la respuesta del análisis.

Límite máximo permisible: 0.0 a 0.5 ppm

- Determinación Temperatura (Método Potenciométrico) y pH (Método Electrométrico 4500-H)

El método de prueba normado establece el procedimiento para realizar la medición en el sitio donde se encuentra el agua, y el resultado se expresa en grados centígrados (°C). Las temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física en el

agua, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos. Para la evaluación limnológica de un cuerpo de agua es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes en el agua.

La concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad tanto para aguas naturales como aguas residuales. El intervalo de concentración para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua industrial con una concentración adversa de ion de hidrógeno es difícil de tratar con métodos biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

Límite de temperatura: 20- 35 °C

Límite de pH: 5.5 - 9

Según el Plan hidro-2009. Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario.

- Determinación de sólidos sedimentables (Método Estándar 2540-F Conos Imhoff)

El análisis de sólidos sedimentables presentes en una muestra de agua indica la cantidad de sólidos que pueden sedimentarse a partir de un volumen dado de muestra en un tiempo determinado. Es una medida de la cantidad de sólidos que pueden ser eliminados en el tratamiento primario.

Límite permisible: 20 ml/L

Plan hidro-2009. Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario.

- Determinación de Oxígeno Disuelto (Método Potenciométrico)

El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir y es el indicador de la salud de la biomasa.

Límite permisible: 2.0 - 7.0 ppm.

- Determinación de Ortofosfatos (Método Estándar 8048)

Es considerado como un parámetro crítico en la calidad de aguas debido a su influencia en el proceso de eutrofización que es el enriquecimiento excesivo de nutrientes principalmente nitrógeno y fosforo en los cuerpos de agua; de ahí la importancia de disponer de las técnicas analíticas y de muestreo adecuadas para la determinación de la concentración de las diferentes especies que pueden estar disueltas en el agua, la prueba de ortofosfatos mide la cantidad de nutrientes que se encuentran en el efluente final.

Límite permisible: 0.02 a 2.5 mg/L

- Determinación de Nitrógeno Amoniacal (Método Nessler 8038)

Las aguas residuales presentan una elevada carga contaminante que responde, en gran parte, a la materia orgánica que contienen; en cuya composición se encuentran los compuestos de nitrógeno. Entre las formas de nitrógeno, unas de las de mayor interés en las aguas son el amoniacal y el total, ya que determina la cantidad de nitrógeno amoniacal residual para mantener una biomasa sana y la cantidad de comida adecuada para mantener el sistema estable y evitar malos olores.

Límite permisible: 0.02 - 2.5 ppm NH_4+N

- Determinación de Nitratos (Método 8039 Reducción de Cadmio)

Los nitratos inorgánicos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, etc. En esta descomposición se forma amoníaco o amonio respectivamente. En presencia de oxígeno éste es oxidado por microorganismos de tipo nitrobacter a ácido nítrico que ataca cualquier base (generalmente carbonatos) que hay en el medio formando el nitrato.

Eliminación de nitratos de las aguas residuales domésticas y procedentes de la industria. Se basa en dos procesos combinados de nitrificación y desnitrificación que conllevan una producción de fango en forma de biomasa fácilmente decantable.

Límite máximo permisible: 0.3 a 30 mg/L N de NO_3

- Determinación de Demanda Química de Oxígeno (Método de Digestión 8000)

Los resultados en mg/L de Demanda Química de

Oxígeno (DQO) miden la cantidad de oxígeno necesaria para producir la oxidación química fuerte de sustancias susceptibles de origen inorgánico y orgánico presentes en el agua. La

comparativa del análisis de entrada y de salida de este parámetro nos indica la eficiencia que tiene la planta al tratar el agua residual, según el manual de operación.

Límite máximo permisible: <1000 ppm

- Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO₅)

Es una prueba experimental utilizada para determinar las necesidades de oxígeno de las aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas. La prueba mide el oxígeno molecular utilizado durante un período de incubación específico para la degradación bioquímica de la materia orgánica (demanda carbonosa) y el oxígeno utilizado para oxidar material inorgánico tal como sulfuros y hierro ferroso. También puede medir la cantidad de oxígeno usado para oxidar formas reducidas de nitrógeno (demanda nitrogenada) a menos que su oxidación sea impedida por un inhibidor.

Límite permisible: < 400 ppm

- Determinación de Color (Método estándar 8025 APHA Platino Cobalto)

El color que en el agua produce la materia suspendida y disuelta, se le denomina "Color aparente", una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como "Color verdadero" siendo este último el que se mide en esta determinación.

Límite permisible: Norma Local CONACYT (1996) "efluente líquido no deberá incrementar color visible al Cuerpo receptor".

4.1.2. Análisis microbiológico

Dentro de los análisis realizados a las muestras de aguas, también se encuentran la observación e identificación de la microbiota presente en los reactores de medios móviles (ver anexo A1), donde a través del microscopio se deben contabilizar y reconocer los microorganismos que garantizan una buena depuración de contaminantes químicos. Según el manual de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Embotelladora La Cascada S.A. los microorganismos que se buscan que estén presentes son: *Paramecium caudatum*, *Euplotes spp.*, *Philidona spp.*, *Rotíferos* y *Vorticella convallaria*.

4.1.3. Programa de análisis de laboratorio

El control de análisis físico, químico y microbiológico se lleva a cabo diariamente a excepción de algunos análisis que son realizados en diferente frecuencia como se detalla a continuación (ver Cuadro 4):

Cuadro 4: Programa de monitoreo diario.

Análisis	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Punto de Muestreo
pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	TH, R1, R2, EF
Temperatura °C	Tº	Tº	Tº	Tº	Tº	Tº	Tº	TH, R1, R2, EF
Sólidos Sedimentables	Ssed	Ssed	Ssed	Ssed	Ssed	Ssed	Ssed	TH, R1, R2, EF
Sólidos Suspendedos Totales	SST	SST		SST	SST		SST	TH, R1, R2, EF
Demanda Química de Oxígeno		DQO				DQO		TH y EF
Oxígeno Disuelto	OD	OD	OD	OD	OD	OD	OD	R1, R2,
Turbidez	NTU	NTU	NTU	NTU	NTU	NTU	NTU	EF
Cloro Residual	Cl	CL	Cl	CL	Cl	CL	CL	TH y EF
Nitratos		NO ₃				NO ₃		TH Y EF
Ortofosfato		PO ₄				PO ₄		EF
Nitrógeno Amoniacal		NH ₄				NH ₄		EF
Color Real		PtCo				PtCo		EF
Control de Microscopio	MI			MI		MI		R1 y R2

Los resultados obtenidos se colocan en la hoja de control de análisis diarios donde llevan registrados los análisis obtenidos (ver anexo A2).

4.1.4. Actividades emergentes

El departamento de Calidad es el encargado de procurar que las bebidas no sufran variaciones en su composición y estructura, ni se vean afectadas por desviaciones de conservación que

permitan la contaminación microbiológica de las mismas. Uno de los productos más comercializados es el agua envasada, donde se deben verificar las condiciones químicas en las que se encuentra. Se logró apoyar en esta línea de producción realizando los siguientes análisis:

La determinación concentración de ozono por método de colorimetría, medición de pH, turbidez, sólidos totales, presión de nitrógeno y conductividad. Además de actividades de muestreo de azúcar para recepción. Los resultados obtenidos se colocan en el formato de control de análisis del laboratorio ambiental de igual forma se digitalizan para que se facilite la lectura e interpretación de los datos.

4.2. Metodología de campo

4.2.1. Operación de equipos de PTAR

La operatividad de la planta originalmente podía llevarse a cabo mediante dos modos: manual y automático; pero actualmente opera de manera semi automática. La operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo de acuerdo con el manual de operación de la planta en un flujo continuo (ver figura 4) como se muestra a continuación.

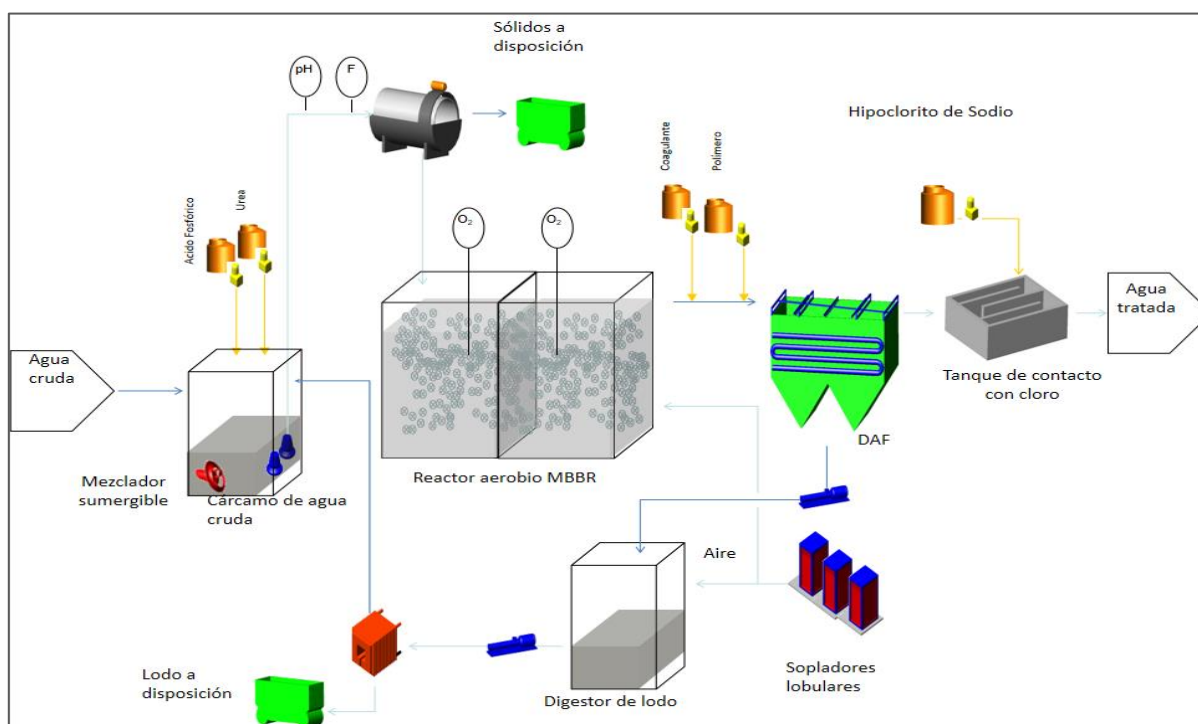


Figura 4: Diagrama de flujo de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales.

Procedimiento de arranque de PTAR:

1. Arranque de bomba sumergible: una vez lleno el tanque de homogenización este equipo envía el agua residual al reactor 1, pasando por gravedad hacia el reactor 2; este flujo es regulado de tal manera que el caudal sea de 6 m³/h.
2. Arranque de criba giratoria: antes de pasar a los reactores, el agua es filtrada a través de este mecanismo que evita que residuos plásticos o materiales ajenos afecten el proceso en las siguientes etapas.
3. Encendido de tratamiento químico y biológico: esta etapa consta de la activación de 3 bombas dosificadoras donde la primera aplica una mezcla de agua y urea perlada al 48% de nitrógeno con una relación de 4:1, la cual se dosifica al caudal de entrada del reactor 98 para alimentar a las bacterias presentes, la dosis establecida es de 105 ml/min; la segunda aplica soda caustica dentro del tanque de homogenización como agente regulador de pH del agua a procesar, su dosis puede variar entre 15 ml/min y 50 ml/min según sea el resultado de la medición de pH el cual debe ingresar lo más neutro posible para un mejor desarrollo de las bacterias; y la tercera se encarga de dosificar cloro al efluente con el fin de reducir la concentración de microorganismos antes de ser arrojada al alcantarillado público, su dosis es de 20 ml/min.
4. Encendido de dosificador de polímero coagulante KLM-49 Polidicmac (sulfato de aluminio): al transcurrir unos 10 a 15 minutos de activada la bomba sumergible se enciende este dosificador el cual agrega polímero coagulante al tanque de disolución del clarificado, este se encarga de aglutinar las partículas sólidas que ingresan a esta última etapa, la dosis que proporciona es de 35 ml/min que en casos excepcionales se aumenta hasta un 100% según sea el resultado de sólidos sedimentables obtenido.
5. Arranque de compresor de clarificador: en el mismo tiempo que se activa la bomba dosificadora de polímero se activa el compresor de aire, este se encarga de enviar aire a presión al tanque de disolución del clarificador que a su vez inyecta aire en burbujas diminutas que ayudan a que el agua del sistema de clarificación Dissolved Air Flotation (DAF) floculen.

6. Encendido de clarificador DAF: el encendido de este equipo se realiza a través de un panel adjunto el cual controla manual y automáticamente una serie de motores y electroválvulas, de manera que el agua tenga las características de presión de aire y adición de coagulante para que los lodos sean separados efectivamente por medio de un raspador de superficie del mismo equipo; así mismo, los lodos sean trasladados al tanque digestor de lodos.
7. Arranque de bomba de lodos: esta consta de un motor y un estator, el cual es activado cuando el tanque digestor presenta un alto nivel de llenado; se encarga en enviar los lodos a través de un tornillo sin fin a la prensa o desecador de lodos haciendo que se logren filtrar los lodos con la presión ejercida.
8. Limpieza de filtros de lodos: una vez que la bomba de lodos se ha desactivado se procede a abrir la prensa de lodos y a retirar los lodos desecados manualmente con espátula, siendo necesario el uso de equipo de protección como guantes, mascarilla, gabacha y lentes si es necesario.
9. Control de sopladores: debido a que los sopladores deben tener turnos de 24 horas de trabajo y 24 horas de descanso; se hace el cambio, apagando el soplador en que ha cumplido con el tiempo de trabajo, simultáneamente se abre y se cierra la válvula correspondiente para activar el segundo soplador.

4.2.2. Muestreo de aguas residuales

Diariamente se recolectaron 4 muestras de agua residual de 100 ml en recipientes PET, para su posterior análisis físico químico. La muestra del tanque de homogenización se toma en válvula cercana a la criba giratoria. La muestra de Reactor 1, se toma a través de un recipiente metálico sujetado por cadena que permite que la toma sea más fácil y práctica. La muestra de Reactor 2, se toma a través de una válvula ubicada en la tubería de salida del reactor hacia el DAF. La muestra de efluente es tomada en la salida de la tubería que se encuentra en una caja de desagüe bajo el nivel del piso.

Para hacer las actividades de muestreo es necesario portar guantes, mascarilla y ropa adecuada, con la finalidad de evitar en la medida de lo posible el contacto con la muestra, ya

que esta contiene una gran cantidad de químicos que pueden ser irritantes para la piel; además de una gran cantidad de bacterias que puede resultar en problemas de salud mayores.

4.2.3. Limpieza de áreas

Se realizó limpieza y ordenamiento de la zonas y equipos de la PTAR semanalmente:

- Tanque clarificador.
- Piso de reactores y tanque de homogenización.
- Zona de químicos.
- Zona de sopladores.
- Cuarto de control.
- Zona de recolección de lodos desecados.
- Laboratorio ambiental.

4.3. Metodología de escritorio

4.3.1. Ordenamiento de la información

Se digitaron los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos obtenidos, con la finalidad de hacer una mejor lectura de las tendencias, cambios y factores que puedan afectar el funcionamiento de la planta de tratamiento, la cual se actualiza diariamente, manteniendo la continuidad de la obtención rápida de los datos.

Además, se buscó la información relacionada al mantenimiento y operación de los equipos, ordenándose en el computador donde se encuentre disponible para su uso. Así mismo, Se elaboró un inventario de productos químicos utilizados en el laboratorio para mantener las existencias.

4.3.2. Recuperación de programas

Se realizaron revisiones profundas dentro de la red de datos informáticos, donde se encontraron diversos programas de la planta de tratamiento de aguas residuales, entre los documentos encontrados están: hojas de seguridad de productos químicos del laboratorio ambiental, programas de limpieza, manuales de uso de equipo de laboratorio, manuales de calibración y programas de contingencia.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados de análisis microbiológicos

Durante la realización de los análisis físicos químicos y microbiológicos del agua residual llevados a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales de las diferentes muestras diarias se logra observar la eficiencia con la que cuenta la planta, cumpliendo con las normas medioambientales, principalmente con la “Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario” de ANDA (2004).

De acuerdo con el programa establecido para la realización de los análisis de laboratorio de la PTAR se lleva a cabo la observación al microscopio la cual nos indica una buena salud de los medios móviles. Donde se observaron los siguientes microorganismos:

1. *Rotíferos spp.* (ver fig. 5):



Figura 5: Rotífero observado en reactores biológicos.

2. *Paramecium caudatum* (ver fig. 6):



Figura 6: *Paramecium caudatum* observado en reactores biológicos.

3. *Vorticella convallaria* (ver fig. 7):



Figura 7: *Vorticella convallaria* observado en reactores biológicos.

4. *Euplotes spp.* (ver fig. 8):



Figura 8: *Euplotes spp.* Observado en reactores biológicos.

Con la variedad y cantidad los microorganismos que se observaron al microscopio, se puede determinar la salud de los reactores microbiológicos ya que estos contienen una gran variedad de microorganismos beneficiosos cumpliendo las funciones de degradación de contaminantes químicos del agua residual. Esta capacidad de degradación es gracias al cumplimiento de la operatividad de la planta de tratamiento y la correcta dosificación de nitrógeno, control de pH y manejo de los caudales.

5.2 Resultados de análisis físico- químico de efluente

A continuación, se detallan los promedios de los resultados de los análisis fisicoquímicos de la entrada (ver cuadro 5) y efluente (ver cuadro 6) obtenidos en el periodo de abril a septiembre del 2024:

Cuadro 5: Promedio mensual de resultados de análisis fisicoquímico de agua de entrada.

Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
pH	4.67	5.04	4.94	4.61	5.32	5.76
Temperatura	28.6 °C	29.0 °C	27.8 °C	28.4 °C	27.0 °C	28.1 °C
Sólidos Sedimentables	0.0 ml/L	0.0 ml/L	0.0 ml/L	0.0 ml/L	0.0 ml/L	0.0 ml/L
Sólidos Suspendedos Totales	325 ppm	264 ppm	218 ppm	192 ppm	157 ppm	236 ppm
Demanda Química de Oxígeno	2,786 ppm	3,311 ppm	2,725 ppm	2,697 ppm	3,408 ppm	3,882 ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1,691 ppm	1,346 ppm	1,102 ppm	1353 ppm	1349 ppm	1291 ppm

Cuadro 6: Promedio mensual de resultados de análisis fisicoquímico del efluente.

Parámetro	Limite ANDA	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
pH	6.00-9.00	7.71	7.36	7.24	7.14	6.74	7.04
Temperatura	20°C - 35°C	30.2 °C	29.5 °C	33.38 °C	31.23 °C	29.40 °C	29.79 °C
Sólidos Sedimentables	20 ml/L	0.0 ml/L	0.0 ml/L	0.0 ml/L	1.21 ml/L	3.33 ml/L	0.0 ml/L
Sólidos Suspendedos Totales	450 ppm	50 ppm	86 ppm	100 ppm	182.14 ppm	58.75 ppm	60 ppm
Demanda Química de Oxígeno	1000 ppm	463 ppm	752 ppm	320 ppm	813.13 ppm	173 ppm	300 ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	400 ppm	243 ppm	364 ppm	170 ppm	350 ppm	344 ppm	295 ppm
Turbidez	---	54 NTU	25.3 NTU	29.5 NTU	92.28 NTU	43.79 NTU	21.19 NTU
Cloro Residual	---	0.58 ppm	0.23 ppm	3.25 ppm	1.48 ppm	1.35	2.50 ppm
Nitratos	---	24.1 ppm	10.9 ppm	15.5 ppm	32.1 ppm	50.45 ppm	30.68 ppm
Ortofosfatos	---	11.9 ppm	5.2 ppm	1.70 ppm	8.59 ppm	35.57 ppm	15.30 ppm

Nitrógeno Amoniacal	---	3.8 ppm	7.8 ppm	14 ppm	3.39 ppm	1.38 ppm	0.75 ppm
Color Real	---	94	45	105	786	412	200

A continuación, se logran apreciar las tendencias de comportamiento del análisis a través del tiempo:

Tendencia de resultados de pH de entrada y salida (ver figura 9):

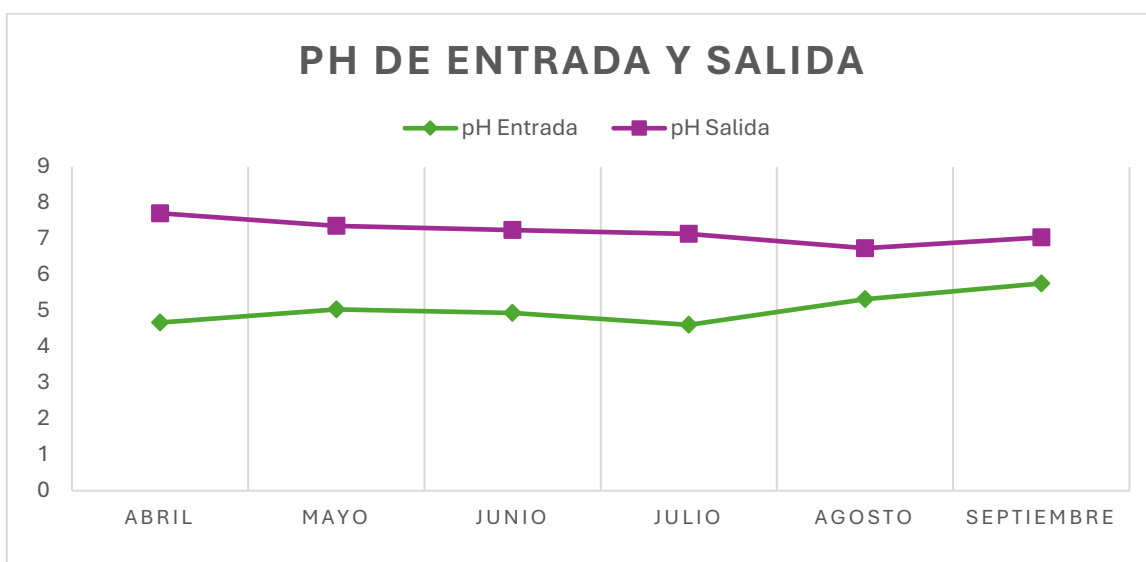


Figura 9: Tendencia de pH de entrada y salida.

Tendencia de resultados de DQO de entrada y salida (ver figura 10):

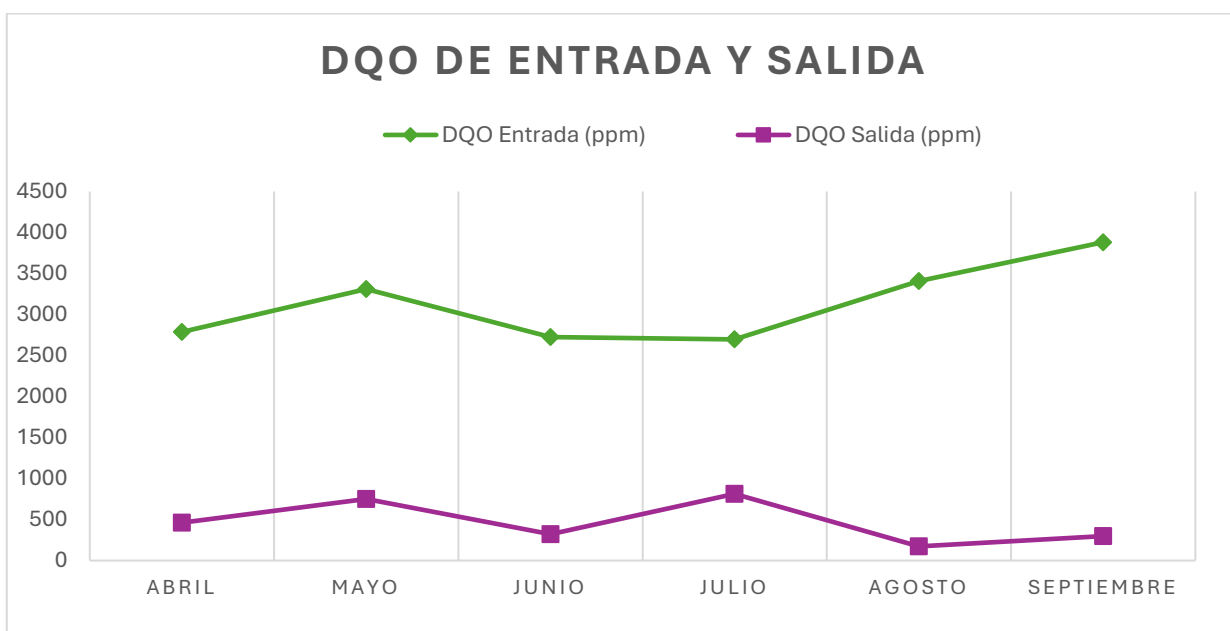


Figura 10: Tendencia de Resultados de DQO

Tendencia de resultados de DBO de entrada y salida (ver figura 11):

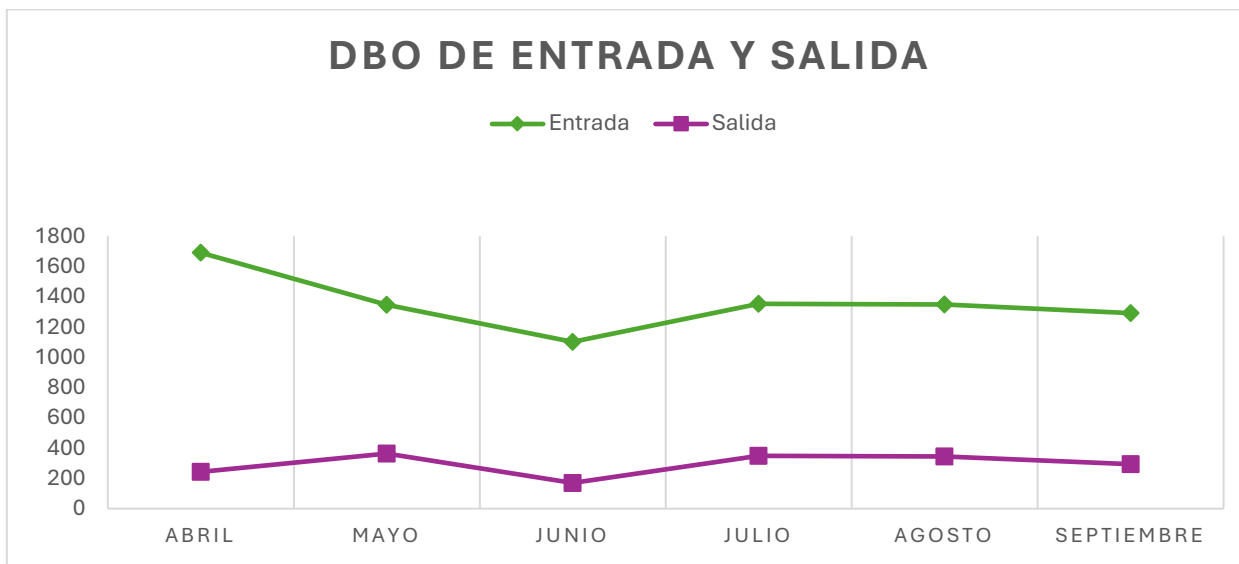


Figura 11: Tendencia de resultados de DBO.

Con los resultados obtenidos se logra apreciar el comportamiento que tiene la planta de tratamiento con la reducción contaminantes diluidos en el agua. Ya que la carga contaminante se determina mediante el análisis de demanda química de oxígeno, se puede medir la eficiencia que tiene la planta de la siguiente manera:

$$Eficiencia = \frac{(DQO\ Entrada - DQO\ Efluente) * 100}{DQO\ Entrada}$$

Donde se tienen los siguientes resultados:

Abril: 83.38 %, mayo: 77.29%, junio: 88.26%, julio: 69.85%, agosto: 94.92%, septiembre: 92.27%. En promedio la eficiencia obtenida en el periodo es de 84.32%, lo que hace que la planta de tratamiento sea efectiva en la reducción de contaminantes.

Según los límites establecidos por ANDA en la norma para regular la calidad del agua de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario, los análisis de laboratorio cumplen los criterios, por lo que el agua de Embotelladora La Cascada a través de la planta de tratamiento de aguas residuales vierte agua residual CONFORME.

5.3. Inventarios

Para un mejor desempeño del trabajo de laboratorio y mejor interpretación de los datos se actualizaron los documentos referentes a los inventarios de reactivos (ver anexo A3), con el fin de mantener las existencias adecuadas de productos químicos utilizados para los análisis. Tomando en cuenta que no se contaba con un control adecuado de estos; contribuyó a la obtención de resultados confiables que permitan realizar un mejor manejo de la planta ante situaciones adversas a su funcionamiento.

5.4. Registro y recuperación de la información

Se estableció un formato digital en el cual se registran los resultados de los análisis físicos y químicos de las muestras de la PTAR (ver anexo A4), con la que se logran identificar los picos de la tendencia de cada parámetro apreciándose así el comportamiento que tiene la planta, evitándose contratiempos al momento de presentar una vista general de los procesos que se llevan a cabo y los resultados que se obtienen en distintos periodos. También se inició la redacción de bitácora de actividades diarias que sean relevantes dentro de la planta, estos pueden ser cambios en las dosificaciones de químicos, indicaciones de trabajo, modificaciones del programa de monitoreo y situaciones adversas.

6. CONCLUSIONES

- La correcta determinación de los parámetros físicos y químicos del agua residual tratada a través de las marchas analíticas; apoya la iniciativa medio ambiental de las instituciones de Estado que constantemente velan por la reducción de contaminantes emanadas de la industria alimentaria, en este caso, la industria de bebidas carbonatadas.
- El constante monitoreo y registro de los controles diarios realizados, y el manejo adecuado de los equipos de acuerdo con las indicaciones de uso del manual de operación; ayuda a resolver problemas emergentes de la planta de tratamiento y minimizar desviaciones en los análisis de laboratorio. Logrando una eficiencia del 84.32% de eficiencia en promedio, a pesar de que en el mes de septiembre se halla tenido un promedio de DQO de 3882 ppm de entrada, se logró reducir a un promedio mensual de 300 ppm en la salida.
- Los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos demuestran que la planta de tratamiento de aguas residuales cumple con los criterios de calidad establecidos por la normativa de ANDA; Dado que los niveles de pH, temperatura, DQO, DBO₅, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales se encuentran dentro del rango normado por la institución reguladora.

7. RECOMENDACIONES

Capacitar el personal de turno sobre los mecanismos de control y el manejo adecuado de la planta de tratamiento; con la finalidad de contar con colaboradores capaces de solventar adecuada y oportunamente situaciones problemáticas como: valores químicos fuera de parámetros, desaireación de tanques reactores, dosificación química inadecuada, deterioro de equipo e instalaciones.

Contar con planes de contingencia según la situación de la planta. Esto garantizará que el personal encargado en una situación fortuita pueda tomar acciones según protocolo; creado a partir de las experiencias suscitadas desde el inicio de las funciones de la PTAR.

Establecer un programa de mantenimiento preventivo de los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales, con el que se promueva la extensión de la vida útil de los mismos, evitándose pérdidas económicas.

BIBLIOGRAFIA

ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados). (2004). Plan Hidro 2009, Norma Técnica. Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. San Salvador, El Salvador.

Aquafuix, sf. Guía para identificar y tratar los microorganismos de aguas residuales. Estados Unidos. <https://teamaquafix.com/es/identificacion-de-microorganismos-de-aguas-residuales>

Canut A. Duque R. (2016). Technology moving bed biological (MBBR) para el tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria. Soluciones industriales y tratamientos ambientales, S.L (SITRA), Artículo. https://sitra.es/wp-content/uploads/2021/11/Tecnologia_MBBR_industria_agroalimentaria_CTC_JUN_2016_0-pdf

CAR Cundinamarca (2011). Información Compilada de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Disponibles y Aplicables al Proyecto. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5aec916f61396.pdf>

Climate Data. (s.f.) Clima San Salvador. República de El Salvador. es.climate-data.org/americadel-norte/republica-de-el-salvador/departamento-de-san-salvador/san-salvador-1889/

CONACYT. (1996). Norma Salvadoreña NSO 13.49.01:09. Agua. Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. San Salvador. El Salvador.

Embotelladora La Cascada S.A. (2025). Quienes somos. <https://www.salvacola.com.sv/es/inicio.php>

Larrea, L. (2004). Ventajas y aplicaciones de la tecnología de lecho móvil en aguas residuales urbanas e industriales. Guipúzcoa: Universidad de Navarra.
<https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2127/1/Juli%C3%A1n%20andr%C3%A9s%20Huartos.pdf>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2019. Agua. Aguas Residuales. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales. <https://bibliotecaambiental.ambiente.gob.sv/download/reglamento-tecnico-salvadoreno-aguas-residuales-parametros-de-calidad-de-aguas-residuales-para-descarga-y-manejo-de-lodos-residuales/>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2019. Guía Técnica para la Evaluación de Impacto Ambiental de Aguas Residuales. Dirección General de Evaluación y Cumplimiento. El Salvador.
<https://www.transparencia.gob.sv/institutions/marn/documents/475795/download>


NyFdecolombia. (2017). PLANTAS MBBR (LECHO MOVIL - LECHO FLUIDIZADO). Colombia.
https://www.nyfdecolombia.com/plantas/plantas_mbbbr

ANEXOS


A1. Medio móvil o Biocarrier de un sistema MBBR.



A2. Control de Análisis Diarios.


EMBOTELLADORA LA CASCADA S.A.
 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD
 PLANTA DE TRATAMIENTO DE
 AGUAS RESIDUALES

Fecha _____ Producción: _____
 Analista/Operador _____



PARAMETROS	UNIDAD	PUNTOS DE MUESTREO						
		TANQUE DE HOMOGENIZACION	REACTOR 1	REACTOR 2	NORMA EFLUENTE FINAL*	EFLUENTE FINAL	LODO	FILTRO PRENSA
pH								
Temperatura (T°)	°C				6-9.0			
Sólidos Sedimentables (Ssed)	ml/L				20-35			
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	ppm				20			
Detergentes, SAAM	ppm LAS				450			
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	ppm				35			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	ppm				1000			
Sólidos Suspendedos Totales Volátiles (SSTV)	ppm				400			
Oxígeno Disuelto (OD)	ppm				-			
Turbidez	NTU				-			
Cloro Total (CL)	ppm				-			
Dureza Total	ppm				-			
Nitratos (No3-)	ppm de CaCO3				-			
Ortofosfatos (PO4)	ppm				-			
Nitrógeno Amoniacal (NH4+)	ppm				-			
Color Real	PtCo				-			
Consistencia de Lodo	%				-			
Materia Seca	%				-			
Humedad	%				-			

* Norma para regular Calidad de Aguas Residuales de tipo especial descargadas al Alcantarillado Sanitario Plan Hidro 2009 ANDA.

OBSERVACIONES:
