

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES (STAR) DE UNA EMPRESA DEL SECTOR PANELERO EN EL
VALLE DEL CAUCA

ANDRÉS FELIPE BARBOSA SAAVEDRA

JUAN CAMILO QUINTERO LABORDA

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ
2019

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES (STAR) DE UNA EMPRESA DEL SECTOR PANELERO EN EL
VALLE DEL CAUCA

ANDRÉS FELIPE BARBOSA SAAVEDRA

JUAN CAMILO QUINTERO LABORDA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

DIRECTORA
Ing. SANDRA SANTACOLOMA LONDOÑO
Magíster en Ingeniería Ambiental

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ
2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre del presidente del jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A Dios, quien nos dio la fé, la fortaleza y la esperanza para terminar con éxito este trabajo. Pues es él nuestro guía maestro, quien decide lo que se puede y no se puede. Nos acompaña, nos protege, nos da fuerza y ayuda en los momentos difíciles de la vida.

A nuestros padres, por darnos todo su apoyo y por ser un ejemplo de superación, humildad y triunfo en la vida; enseñándonos a valorar todo lo que tenemos.

A nuestros hermanos, por los consejos, por ser gran motivación para cumplir este sueño.

A nuestros compañeros, con los que iniciamos este recorrido, por ayudarnos y motivarnos tanto.

Andrés Felipe Barbosa Saavedra y Juan Camilo Quintero Laborda.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a *Dios* por la vida, por ser guía y acompañarnos durante todo este recorrido. Por permitirnos llegar a este punto y por habernos dado salud para lograr nuestros objetivos.

A nuestros padres, por ser un apoyo incondicional, por brindarnos motivación día a día, por la confianza, paciencia y los valores inculcados para ser mejores personas.

A nuestros formadores y compañeros, que sin esperar nada a cambio, compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas.

Finalmente, agradecemos a nuestra directora de trabajo de grado, Sandra Santacoloma Londoño, por su colaboración y paciencia, por sus indicaciones y orientaciones indispensables para el desarrollo de este trabajo, por no ser solo una asesora durante nuestra formación, sino una gran guía y consejera de vida.

Andrés Felipe Barbosa Saavedra y Juan Camilo Quintero Laborda.

GLOSARIO

ACIDOGÉNESIS: etapa básica del proceso anaerobio en la cual las moléculas pequeñas, producto de la hidrólisis, se transforman en hidrógeno, gas carbónico ó ácidos orgánicos (butírico, propiónico y acético).¹

ANAEROBIO: se refiere a los organismos que no requieren oxígeno para vivir, y a los procesos que tienen lugar sin la presencia de oxígeno.²

BACTERIAS: son organismos eubacteriales procarióticos unicelulares. Morfológicamente se clasifican como cocos, bacilos, curvados o vibriones, espirales o espirillas o espiroquetas y filamentosas. Son los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica.²

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras.²

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo unas tres horas.²

FACULTATIVO: se refiere a la oxidación de la materia orgánica. Esta se realiza en condiciones aerobias y anaerobias.¹

HIDRÓLISIS: etapa básica del tratamiento anaerobio en la cual la materia orgánica se hidroliza en partículas pequeñas.¹

¹ MANUAL DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (MADRU). (2014). Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo / Monográficos Agua en Centroamérica.

² ROMERO, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.

HUMEDAL ARTIFICIAL: son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales.³

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN: son estanques excavados con el propósito de embalsar agua residual con largos periodos de retención. En estas se realiza un tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de algas y otros organismos.³

MATERIA ORGÁNICA: es una combinación de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno (CHON), principalmente; con las proteínas, los carbohidratos y las grasas y aceites como grupos más importantes. Concentraciones grandes de materia orgánica en aguas residuales, se miden mediante la DBO, la DQO y el COT. Concentraciones pequeñas de materia orgánica, del orden de trazas, 10-12 a 10-3 mg/L, se cuantifican por cromatografía de gases y espectroscopía de masa.³

METANOGENÉISIS: etapa del proceso anaerobio en la cual se genera gas metano y gas carbónico.³

NUTRIENTES: constituyen la fuente de alimento durante el proceso biológico: Nitrógeno y Fósforo, entre otros.³

OXÍGENO DISUELTO (OD): es un gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto limita la capacidad auto-purificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para disposición en ríos y embalses. La concentración de saturación de O.D se encuentra en función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua.³

pH: es la medida de la concentración ión hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ión hidrógeno. Aguas residuales en concentración adversa del ión hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos.⁴

³ MANUAL DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (MADRU). (2014). Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo / Monográficos Agua en Centroamérica.

PROCESO BIOLÓGICO: son los procesos mediante los cuales las actividades biológicas de las bacterias y de otros microorganismos descomponen complejos materiales orgánicos en sustancias simples más estables.⁴

SÓLIDOS TOTALES: son materiales suspendidos y disueltos en el agua. La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en una muestra de agua. Se basa en una medición cuantitativa del incremento de peso que experimenta una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante a 103-105°C.⁵

TEMPERATURA: es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final.⁴

⁴ CONAGUA/IMTA. (2007b). *Lagunas de estabilización. En Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Paquetes tecnológicos para el tratamiento de excretas y aguas residuales en comunidades rurales.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

⁵ ROMERO, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño.* Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 23 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... | 25 |
| 1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 33 |
| 2. JUSTIFICACIÓN..... | 34 |
| 3. OBJETIVOS..... | 37 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL..... | 37 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 37 |
| 4. MARCO REFERENCIAL..... | 38 |
| 4.1. MARCO HISTÓRICO | 38 |
| 4.1.1. Historia del tratamiento de las aguas residuales. | 38 |
| 4.1.2. Antecedentes del tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas de estabilización..... | 39 |
| 4.1.3. Antecedentes de los humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales. | 40 |
| 4.2. MARCO TEÓRICO | 41 |
| 4.2.1. Estado del arte. | 41 |
| 4.2.2. El agua residual..... | 47 |
| 4.2.3. Características de las aguas residuales | 47 |
| 4.2.4. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual | 48 |
| 4.2.5. Tratamiento del agua residual | 49 |
| 4.2.6. Tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas de estabilización..... | 50 |
| 4.2.7. Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial..... | 59 |
| 4.2.8. Optimización de un sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR). | 64 |
| 4.3. MARCO CONCEPTUAL..... | 65 |
| 4.4. MARCO LEGAL..... | 67 |
| 5. DISEÑO METODOLÓGICO..... | 69 |

| | |
|--|----|
| 5.1. FASE 1 - DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN ACTUAL DEL STAR EN CUANTO A LAS CONDICIONES DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE TODOS SUS COMPONENTES CON RELACIÓN AL DISEÑO INICIAL. | 69 |
| 5.1.1. Visitas técnicas de reconocimiento | 69 |
| 5.1.2. Recolección de información | 69 |
| 5.1.3. Caracterización del agua residual | 70 |
| 5.1.4. Evaluación operativa. | 71 |
| 5.1.5. Determinación del grado de desviación. | 72 |
| 5.2. FASE 2 - EVALUACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO, LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN VIABLES..... | 72 |
| 5.2.1. Análisis de las principales causas de cada problema o área a mejorar identificada. | 73 |
| 5.2.2. Priorización de los problemas identificados | 73 |
| 5.2.3. Proposición de alternativas de optimización..... | 73 |
| 5.2.4. Evaluación de las alternativas planteadas. | 74 |
| 5.2.5. Consolidación de las alternativas de optimización | 75 |
| 5.3. FASE 3 - ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE OPTIMIZACIÓN DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL STAR PARA SU IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO. | 75 |
| 5.3.1. Análisis de la información obtenida..... | 75 |
| 5.3.2. Descripción de los objetivos de la guía de optimización | 76 |
| 5.3.3. Consolidación de los procedimientos de optimización | 76 |
| 5.3.4. Formulación de procesos de evaluación. | 77 |
| 5.3.5. Elaboración de la guía de optimización..... | 77 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 78 |
| 6.1. FASE 1 - DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN ACTUAL DEL STAR EN CUANTO A LAS CONDICIONES DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE TODOS SUS COMPONENTES CON RELACIÓN AL DISEÑO INICIAL | 78 |
| 6.1.1. Matriz para la recolección de información general de la empresa y de su Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). | 78 |

| | |
|---|-----|
| 6.1.2. Información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales similares al existente. | 82 |
| 6.1.3. Recolección de información puntual del STAR mediante solicitud escrita a la persona responsable del área encargada de su manejo. | 84 |
| 6.1.4. Caracterización del agua residual con el objetivo de conocer los atributos físicos y químicos del sistema de lagunas y el humedal de flujo subsuperficial en condiciones de afluente y efluente en el STAR. | 85 |
| 6.1.5. Evaluación operativa del cumplimiento de cada uno de los procesos de funcionamiento del STAR. | 88 |
| 6.1.6. Determinación del grado de desviación de cada operación y proceso unitario llevado a cabo dentro del STAR. | 97 |
| 6.2. FASE 2 - EVALUACIÓN AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN VIABLES | 99 |
| 6.2.1. Análisis de las principales causas de cada problema o área a mejorar identificada durante la evaluación operativa del STAR. | 99 |
| 6.2.2. Priorización de los problemas identificados de acuerdo a los criterios establecidos de impacto, casualidad, valoración social y urgencia. | 104 |
| 6.2.3. Planteamiento de alternativas de optimización del STAR que se ajusten a las condiciones actuales del sistema de tratamiento. | 106 |
| 6.2.4. Evaluación ambiental, social y económica de las alternativas planteadas. | 138 |
| 6.3. FASE 3 - ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE OPTIMIZACIÓN DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL STAR PARA SU IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO | 149 |
| 7. CONCLUSIONES | 151 |
| 8. RECOMENDACIONES | 153 |
| 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 155 |
| 10. ANEXOS | 163 |

LISTA DE IMÁGENES

| | |
|---|-----|
| Imagen 1. Enfermedades en el Imperio Romano..... | 38 |
| Imagen 2. Mamparas en lagunas de estabilización. | 56 |
| Imagen 3. Laguna con dispositivos múltiples de entrada y salida para aproximarse al flujo pistón..... | 57 |
| Imagen 4. Laguna con entradas y salidas múltiples. | 58 |
| Imagen 5. Principales componentes y procesos depurativos en humedales artificiales. | 61 |
| Imagen 6. Humedal artificial de flujo subsuperficial. | 62 |
| Imagen 7. Diseño de múltiples entradas en la laguna anaerobia. | 119 |
| Imagen 8. Diseño de múltiples entradas en la laguna facultativa. | 120 |
| Imagen 9. Diseño de las mamparas o pantallas deflectoras en la laguna anaerobia | 123 |
| Imagen 10. Diseño de las mamparas o pantallas deflectoras en la laguna facultativa..... | 123 |
| Imagen 11. Descripción de los puntos de siembra de <i>H. psittacorum</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial. | 133 |
| Imagen 12. Descripción de los puntos de siembra de <i>Cyperus papyrus</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial..... | 136 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Oxidación de la materia orgánica en lagunas anaerobias. | 52 |
| Figura 2. Biodegradación de la materia orgánica en una laguna facultativa. | 53 |
| Figura 3. Simbiosis entre bacterias y algas en una laguna facultativa. | 54 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Contaminantes de interés en el tratamiento de aguas residuales..... | 48 |
| Tabla 2. Parámetros físico-químicos a evaluar para análisis de las unidades del STAR. | 71 |
| Tabla 3. Matriz para la recolección de información general de la empresa y de su sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR)..... | 79 |
| Tabla 4. Recolección de información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales similares al existente. | 82 |
| Tabla 5. Análisis históricos de laboratorio en condiciones de afluente y efluente desde el inicio de operación del STAR. | 84 |
| Tabla 6. Resultados de la caracterización del agua residual del sistema de lagunas y el humedal artificial de flujo subsuperficial. | 86 |
| Tabla 7. Lista de chequeo para evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). | 89 |
| Tabla 8. Lista de chequeo para la verificación de acciones de control en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). | 95 |
| Tabla 9. Determinación del grado de desviación del STAR en todos sus componentes con relación al diseño inicial..... | 97 |
| Tabla 10. Matriz para la priorización de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). | 104 |
| Tabla 11. Matriz para la generación de alternativas de solución a los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)..... | 106 |
| Tabla 12. Descripción del alternativas del programa de producción más limpia (P+L)..... | 107 |
| Tabla 13. Descripción del alternativas del programa de producción más limpia (P+L)..... | 108 |
| Tabla 14. Descripción del proyecto de uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela. | 111 |
| Tabla 15. Descripción del alternativas del programa de neutralización de pH..... | 113 |
| Tabla 16. Descripción del proyecto de la determinación de un rango óptimo de dosificación de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 114 |
| Tabla 17. Descripción del proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto..... | 116 |
| Tabla 18. Descripción del alternativas del programa de distribución homogénea del agua residual. | 118 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 19. Descripción del proyecto del diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas. | 119 |
| Tabla 20. Descripción del proyecto del diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas..... | 122 |
| Tabla 21. Descripción del alternativas del programa de estimulación microbiana en lagunas de estabilización..... | 126 |
| Tabla 22. Descripción del proyecto de inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck. | 127 |
| Tabla 23. Descripción del proyecto de bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático. | 129 |
| Tabla 24. Descripción del alternativas del programa de restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial. | 131 |
| Tabla 25. Descripción del proyecto de siembra de Heliconia psittacorum en el humedal artificial de flujo subsuperficial..... | 132 |
| Tabla 26. Siembra de Cyperus papyrus en el humedal artificial de flujo subsuperficial..... | 135 |
| Tabla 27. Calculo de la relación beneficio-costos (B/C). | 142 |
| Tabla 28. Matriz para la evaluación de alternativas en la solución de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)..... | 148 |

LISTA DE DIAGRAMAS

| | |
|--|-----|
| Diagrama 1. Esquema de operaciones y procesos del STAR. | 31 |
| Diagrama 2. Ubicación de los puntos de muestreo para análisis del sistema de lagunas y del humedal artificial de flujo subsuperficial en el STAR. | 71 |
| Diagrama 3. Estructura general del diagrama Causa-Efecto. | 73 |
| Diagrama 4. Causa-Efecto – Problema 1 (P ₁). | 100 |
| Diagrama 5. Causa-Efecto – Problema 2 (P ₂). | 101 |
| Diagrama 6. Causa-Efecto – Problema 3 (P ₃). | 102 |
| Diagrama 7. Causa-Efecto – Problema 4 (P ₄). | 103 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Estudio de caso 1 - Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de Tunja - Boyacá..... | 41 |
| Cuadro 2. Estudio de caso 2 - Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Bojacá-Cundinamarca..... | 42 |
| Cuadro 3. Estudio de caso 3 - Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales del complejo urbanístico Barcelona de Indias. (Cartagena, Colombia). | 44 |
| Cuadro 4. Estudio de caso 4 - Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales de trapiches paneleros..... | 45 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo A. Matriz para la recolección de información general de la empresa del sector panelero y de su Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). | 163 |
| Anexo B. Matriz para la recolección de información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales similares al existente..... | 164 |
| Anexo C. Lista de chequeo para evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). | 164 |
| Anexo D. Lista de chequeo para la verificación de acciones de control en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). | 166 |
| Anexo E. Matriz para la priorización de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR). | 167 |
| Anexo F. Matriz para la generación de alternativas de solución a los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)..... | 167 |
| Anexo G. Matriz para la evaluación de alternativas en la solución de problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)..... | 168 |
| Anexo H. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de ahorro y uso eficiente de agua. | 168 |
| Anexo I. Relación beneficio-costos (B/C) del proyecto de ahorro y uso eficiente de agua..... | 169 |
| Anexo J. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela. | 169 |
| Anexo K. Relación beneficio-costos (B/C) del proyecto de uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela..... | 170 |
| Anexo L. Condiciones del proceso de dosificación de cal Ca(OH)_2 antes y después de la implementación del proyecto de determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 | 170 |
| Anexo M. Relación beneficio-costos (B/C) del proyecto de determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 | 171 |
| Anexo N. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto..... | 171 |
| Anexo O. Relación beneficio-costos (B/C) del proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto. | 172 |

| | |
|---|-----|
| Anexo P. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas. | 172 |
| Anexo Q. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas. | 173 |
| Anexo R. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas. | 173 |
| Anexo S. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de diseño de de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas. | 174 |
| Anexo T. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de inoculación microbiana en lagunas empleando Biomerck..... | 174 |
| Anexo U. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck. | 175 |
| Anexo V. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático. | 175 |
| Anexo W. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático..... | 176 |
| Anexo X. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de siembra de Heliconia psittacorum en el humedal artificial de flujo subsuperficial. | 176 |
| Anexo Y. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de siembra de Heliconia psittacorum en el humedal artificial de flujo subsuperficial. | 177 |
| Anexo Z. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de siembra de Cyperus papyrus en el humedal artificial de flujo subsuperficial. | 177 |
| Anexo AA. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de siembra de Cyperus papyrus en el humedal artificial de flujo subsuperficial. | 178 |
| Anexo BB. Guía de optimización del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de una empresa del sector panelero en el Valle del Cauca. | 180 |

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD:

“El presente trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Unidad Central del Valle del Cauca no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. Este proyecto es resultado de las investigaciones de los autores, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas”.

Andrés Felipe Barbosa Saavedra
Cód. 210142004

Juan Camilo Quintero Laborda
Cód. 210142020

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó una propuesta de optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de una empresa del sector panelero en el Valle del Cauca, que inició con un diagnóstico de la operación actual del STAR en cuanto a las condiciones de afluente y efluente de todos sus componentes con relación al diseño inicial; posteriormente se plantearon alternativas de optimización que desde el punto de vista ambiental, social y económico se consideraron viables de acuerdo con las características específicas de las aguas tratadas y la situación de la empresa y por último se elaboró una guía de optimización de los diferentes componentes del STAR para su implementación y seguimiento.

En el diagnóstico se encontraron diversos problemas, dentro de los cuales, el más relevante fue el pH, el cual no es el óptimo para el buen funcionamiento del sistema. Entre otros problemas se consideró que la operación unitaria de mezclado en el punto de adición de cal no se hace efectiva, la presencia de condiciones de flujo no uniforme, con lo cual, se ve afectado el rendimiento esperado del STAR y finalmente la inexistencia de plantas específicas que complementen el tratamiento del agua debido a la presencia de plantas invasoras, las cuales, compiten por nutrientes y espacio con la vegetación específica del humedal.

Una vez terminado el diagnóstico, se realizó la evaluación ambiental, social y económica de las diferentes alternativas de optimización, teniendo en cuenta aspectos técnicos, institucionales, económicos, financieros, socioculturales y ambientales. En la evaluación se consideraron cinco programas, uno de producción más limpia, neutralización de pH, distribución homogénea del caudal, estimulación microbiana y como último, la restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial. Finalmente se elaboró la guía de optimización, estableciendo los lineamientos metodológicos para la implementación y el seguimiento de los diferentes procedimientos de optimización del STAR.

Palabras clave: Optimización, STAR, evaluación, procedimiento, trapiche, sostenibilidad ambiental.

ABSTRACT

In the present work, a proposal for the optimization of the wastewater treatment system (WTS) was designed for a company in the panela sector in Valle del Cauca, which began with a diagnosis of the current operation of the WTS in terms of tributary conditions, and effluent of all its components in relation to the initial design; Subsequently, optimization alternatives were considered that from the environmental, social and economic point of view were considered viable according to the specific characteristics of the treated water and the situation of the company and finally a guide was drawn up to optimize the different components of the WTS for its implementation and monitoring.

In the diagnosis several problems were found, among which, the most relevant was the pH, which is not optimal for the proper functioning of the system. Likewise, that the unit operation of mixing at the point of addition of lime does not become effective, the presence of conditions of non-uniform flow, with which, the expected performance of the WTS is affected and finally the absence of specific plants that complement the water treatment due to the presence of invasive plants, which compete for nutrients and space with the specific vegetation of the wetland.

Once the diagnosis was completed, an evaluation was made from the environmental, social and economic point of view of the different optimization alternatives, taking into account technical, institutional, economic, financial, sociocultural and environmental aspects. In the evaluation, five programs were considered, one of cleaner production, pH neutralization, homogeneous flow distribution, microbial stimulation and, lastly, the restoration of the vegetation cover of the artificial subsurface flow wetland. Finally, the optimization guide was drawn up, establishing the methodological guidelines for the implementation and monitoring of the different WTS optimization procedures.

Key words: Optimization, WTS, evaluation, procedure, trapiche, environmental sustainability.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los centros urbanos, el incremento de la población y el auge del desarrollo industrial, ha acentuado la contaminación de la mayoría de las fuentes de agua disponible, especialmente las superficiales. Esto es debido al manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas e industriales que son depositadas en los cuerpos de agua con un alto porcentaje de compuestos que afectan la salud pública y ambiental.

Estos graves inconvenientes de contaminación, han acelerado el deterioro de los recursos hídricos en Colombia; por lo tanto, el país en las últimas décadas ha venido mostrando su preocupación y está tratando de resolver los problemas relacionados con la disposición de las aguas residuales provenientes del uso doméstico, comercial e industrial, lo que implica que las aguas residuales deban recibir un tratamiento adecuado, antes de ser vertidas en las masas receptoras, que mejore sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas para evitar que su disposición cause los problemas antes mencionados y cumpla las normas y criterios definidos por la autoridad ambiental.

Por consiguiente, la optimización de sistemas de tratamiento de aguas residuales que registren bajos o nulos niveles de operación, resulta fundamental para mantener como mínimo los criterios de calidad del recurso hídrico para sus diferentes usos y el equilibrio del sistema natural, así como para mejorar los índices de escasez. Por tal motivo, el desarrollo del presente trabajo tiene como objetivo elaborar una propuesta para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de una empresa del sector panelero en el Valle del Cauca. La propuesta está dirigida al personal administrativo del STAR y establece procedimientos para generar una mayor eficiencia en las actividades, reduciendo costos, disminuyendo los impactos ambientales negativos y mejorando las técnicas de operación y mantenimiento.

El desarrollo del estudio se orienta en primer lugar en realizar un diagnóstico de la operación actual del STAR y de esta manera, proceder al análisis del mismo para establecer las operaciones de su mejoramiento. Luego de la evaluación, se identifican las causas del problema y las alternativas de solución con base en las cuales se dan las pautas para emprender la optimización del STAR. En este contexto, los procedimientos planteados responden a criterios que garantizan una

visión integral de la problemática, formulando políticas de acción que facilitan el desarrollo de las actividades habituales de operación.

En síntesis, se trata de una metodología que identifica las causas del problema y las alternativas de solución, con base en las cuales, se dan las pautas para emprender la optimización del STAR. De esta manera, en el diseño de la guía, se formulan procedimientos de optimización según los problemas identificados, en donde se plantea la denominación, el procedimiento y su objetivo, su alcance, el método de trabajo, la descripción de las actividades, el tipo de evaluación a utilizar e instrucciones claras y precisas con información destacada para el desarrollo de los mismos.

Se espera que la realización de este trabajo de investigación sirva como lineamiento para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la empresa y que a su vez, permita disminuir los impactos sociales, económicos y ambientales, aplicando las observaciones y recomendaciones de la guía de optimización que se presenta al final del documento.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El 80% de las aguas residuales en el mundo no reciben un tratamiento adecuado para disminuir la contaminación ambiental y la propagación de enfermedades, una situación que perjudica especialmente a los países menos desarrollados.

La falta de recursos económicos, es sin duda uno de los principales causales de las deficiencias en la gestión de las aguas residuales en la mayoría de los países, en donde gran parte de ellas se vierten directamente a fuentes hídricas sin un tratamiento adecuado. Sin embargo, parece encontrarse una variabilidad significativa en este tema entre diferentes regiones del mundo: en Europa, se trata el 71% de las aguas residuales municipales e industriales generadas, mientras que en los países de América Latina solo se trata el 20%⁶.

Se estima que en Oriente Medio y África del Norte (MENA) un 51% de las aguas residuales municipales e industriales son tratadas. En los países africanos, la falta de recursos financieros para el establecimiento de instalaciones de aguas residuales constituye una limitación importante en la gestión de las aguas residuales; se conoce que 32 de los 48 países de África subsahariana no disponen de datos sobre la generación y el tratamiento de aguas residuales.

En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. Estas estimaciones sustentan la aproximación que se cita comúnmente que, en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno⁷.

En Colombia y América Latina el problema de la contaminación de las fuentes de agua por el vertimiento de aguas residuales es cada vez mayor generalmente por

⁶ PNUMA. (2015b). *Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action*. [citado el 1 de marzo de 2018]. Disponible en: unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf.

⁷ SATO, T. et al. (2013). *Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use*. *Agricultural Water Management*, Vol. 130, pp. 1-13. [dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007).

la baja cobertura de tratamientos, la escasez de recursos para darles el tratamiento necesario y el abandono de los sistemas implementados, ya que la primera prioridad que demandan las poblaciones se ha centrado principalmente en el suministro de agua potable, con calidad adecuada y cantidad suficiente; y ya logrado este objetivo, surge otro “no” menos importante que consiste en la adecuada disposición de las aguas ya utilizadas que se convierten en potenciales vehículos de muchas enfermedades y trastornos para el medioambiente.

En América Latina, la cobertura de los servicios de tratamiento de aguas residuales se mantuvo baja por muchas décadas. Los principales motivos fueron la necesidad de priorizar el crecimiento de los servicios de suministro de agua y de saneamiento, y las restricciones impuestas por los elevados costos de los tratamientos de aguas residuales. Esto resultó especialmente problemático en un contexto donde los presupuestos gubernamentales son limitados, las tarifas de los servicios hídricos no alcanzan a cubrir los costos de su prestación, el cumplimiento de la normativa vigente es poco estricto y se debe atender a otras necesidades sociales urgentes⁸.

Por ello, los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina incumplen a nivel general lo requerido en materia ambiental por la cantidad de agua contaminada y la poca infraestructura e inversión en estas plantas⁹, siendo una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas contaminadas y de las producciones agropecuarias, la entrega directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo¹⁰.

⁸ LABATUT, B. (2017). *Reutilización de aguas residuales urbanas puede favorecer a la agricultura y disminuir presión sobre los recursos naturales*. Oficina Regional de la FAO Para América Latina y el Caribe [citado el 18 de marzo de 2018]. Disponible en: < <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/853862/pdf> >.

⁹ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP). (2010). *Superintendencia de servicios públicos domiciliarios: Informe Técnico Sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá D.C. [citado el 28 de febrero de 2018] Disponible en: https://issuu.com/luisespinoso7/docs/informe_t_cnico_sobre__sistemas_de.

¹⁰ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). (2011). *Desarrollo de Capacidades en el Uso Seguro de Aguas Residuales para Agricultura*. [Citado el 20 de Marzo del 2018] Disponible en: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/119/Colombia_Informe%20Nacional.pdf.

Sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar dos tipos de problemas: de salud pública, particularmente importantes en países como Colombia por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales¹¹, y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente, esto genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada en las riberas de los cuerpos de agua receptores en donde se realizan este tipo de descargas¹².

Hasta el año 2014, Colombia trataba el 10% de las aguas residuales a pesar de contar con una capacidad instalada que alcanzaría el 20%. Es decir, que menos de la cuarta parte de los municipios de 21 departamentos analizados cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales.¹³ Hasta el mismo año, existían 562 sistemas instalados en diferentes municipios del país. Lamentablemente, no todos los sistemas trataban la totalidad del agua residual producida: se estima que solo un 10% de los sistemas construidos tienen un adecuado funcionamiento. La tendencia en cuanto a sistemas de tratamiento de aguas en Colombia es la utilización de tratamientos secundarios, como la construcción de lagunas de estabilización (44%), sistemas de aireación extendida (9,4%) y filtros biológicos (7%)¹⁴.

Sin embargo, la situación comenzó a cambiar en las últimas dos décadas y se ha prestado mayor atención no solo a los servicios de abastecimiento de agua y

¹¹ BOFILL-MAS, S. et al. (2005). *Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos*. *Rev. Esp. Salud Pública* [online]. 2005, vol.79, n.2, pp.253-269. ISSN 2173-9110. [citado el 14 de febrero de 2018]. Disponible en: < <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion10.pdf> >.

¹² NOYOLA, A. (2010). *La problemática de los servicios y su impacto en la sociedad y el medio ambiente*. [citado el 15 de febrero de 2018]. Disponible en: http://info.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/noyola_cea_jalisco.pdf.

¹³ FONDO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA INFANCIA (UNICEF). (2014). *El agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo*. [citado el 02 de febrero de 2018]. Disponible en < <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf> >.

¹⁴ MARTIN, A. (2014). *El tratamiento de aguas residuales en Colombia. Twenergy (Una iniciativa de Endesa por la eficiencia y sostenibilidad)*. [citado el 19 de febrero de 2018]. Disponible en: < <https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142> >.

saneamiento, sino también a la creación de instalaciones para el tratamiento de aguas residuales.

Los motivos de este cambio son:

- Los altos niveles de cobertura de agua y saneamiento logrados como parte del proceso de los ODM¹⁵.
- La mejora en la situación económica de los prestadores de servicios, especialmente en las ciudades más grandes, que en los últimos años avanzaron notoriamente en pos de la recuperación de costos¹⁶.
- El fuerte crecimiento socioeconómico de la región en la primera década del siglo, que resultó en el nacimiento de una clase media por la salida de muchas personas de la pobreza.

Con este nuevo avance, prácticamente se duplicó la tasa de cobertura de los tratamientos de aguas residuales urbanas desde fines de la década de 1990 y se estima que alcanzó entre un 20% y un 30%¹⁷ de las aguas residuales recolectadas en los sistemas de alcantarillado urbano. Las principales tecnologías utilizadas (cerca del 80% tanto en términos de cantidad de instalaciones como en volumen de agua tratada) son los estanques de estabilización, lodos activados y reactores anaeróbicos de flujo ascendente y manto de lodos¹⁸. Exaltando que, entre las técnicas de bajo costo en este tipo de actividades, los sistemas lagunares son los que han encontrado mayor aplicación.

¹⁵ OMS/UNICEF. *Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento 2015. Progresos en materia de saneamiento y agua potable: informe de actualización 2015 y Evaluación de los ODM*. Nueva York/Ginebra. [citado el 1 de marzo de 2018]. Disponible en: < www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPUpdate-report-2015_English.pdf >.

¹⁶ FERRO, G.; LENTINI, L. (2013). *Políticas Tarifarias para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), Situación Actual y Tendencias Regionales Recientes*. Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe de Naciones Unidas (CEPAL). [citado el 15 de febrero de 2018]. Disponible en: < https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4045/S2013024_es.pdf >.

¹⁷ BALLESTERO, M. et al. (2015). *Documento Temático: Agua Potable y Saneamiento para Todos. VII Foro Mundial del Agua - Proceso Regional*. [citado el 13 de febrero de 2018]. Disponible en: < <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/798> >.

¹⁸ NOYOLA, A. et al. (2012). *Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America*. Clean - Soil, Air, Water, Vol. 40, N° 9, pp. 926-932. [citado el 15 de febrero de 2018]. Disponible en: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/clen.201100707> >.

Avanzando hacia un contexto mas específico, dentro del sector panelero, se tiene que la producción de la panela es una de las más tradicionales agroindustrias rurales en América Latina y el Caribe, en la cual se destaca Colombia ocupando el primer puesto a nivel mundial en términos de consumo por habitante, con un promedio de 24,7 kg de panela por persona al año según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural y el segundo puesto a nivel mundial, después de la India, en materia de producción de la misma¹⁹.

El departamento del Valle del Cauca es reconocido por su industria panelera, la cual provee los mercados de Colombia y países cercanos. El azúcar es obtenida de los grandes sembrados de caña de azúcar logrando unos de los mayores rendimientos por hectárea a nivel mundial, debido a la industrialización y economía de escala que se aplica en la zona vallecaucana.

Se estima que en la actualidad existen cerca de 20.000 trapiches en funcionamiento que generan aguas residuales industriales que provienen de sus actividades diarias; concretamente del lavado de sus equipos y herramientas¹⁷. La disposición de estas aguas se hace generalmente en sitios aledaños a estos trapiches, sin contemplar que el vertido de las aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas en el medio ambiente provoca la contaminación de las aguas superficiales, el suelo y las aguas subterráneas, ya que una vez vertidas en las masas de agua, las aguas residuales se diluyen y son transportadas aguas abajo, o se infiltran en los acuíferos, donde pueden afectar la calidad (y, por lo tanto, la disponibilidad) de los suministros de agua dulce²⁰.

Pese a que existe una normatividad para el tratamiento de las aguas residuales en el país, estos no se efectúan de manera adecuada, teniendo como principales causales las nombradas a continuación:

¹⁹ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). (2012). *Producción de panela en trapiche y precio pagado al productor*. Biblioteca Digital Agronet; [citado el 14 de febrero de 2018]. Disponible en: <<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4532/1/INFORME%20PANELA.PDF>>.

²⁰ PNUMA. (2015b). *Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action*. [citado el 1 de marzo de 2018]. Disponible en: <unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf>.

- El desconocimiento de los propietarios del daño que se causa en las diversas fuentes de agua debido a la ejecución de los vertimientos, acompañados por una falta de conciencia ambiental, la cual se presenta principalmente porque las unidades productoras se encuentran muy dispersas a lo largo y ancho de la geografía andina del país.
- En Colombia no existe un tratamiento estandarizado para el manejo de las aguas residuales provenientes de este tipo de actividades.
- Y finalmente, tal vez, uno de los principales causales es la falta de recursos económicos que se presenta en el país, la cual no es indiferente a este sector, generando gran dificultad a la hora de implementar un sistema de tratamiento para dichos vertimientos²¹.

Esto hace que muchas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ubicadas en diferentes trapiches paneleros, especialmente en las comunidades más pequeñas, padezcan una gestión y mantenimiento deficiente y muchas veces terminen siendo abandonadas por la falta de capacidad técnica y apoyo presupuestario de los gobiernos y prestadores de servicios locales.

En cuanto a la empresa objeto de este estudio, se estima que actualmente tiene una producción de panela aproximada de 690 Ton/mes, la cual, lleva consigo un alto porcentaje de consumo de agua en sus diferentes procesos. El agua para usos industriales, bebida y preparación de alimentos es tomada del acueducto municipal, mientras que la empleada para el lavado de pisos y riego de jardines es tomada de un aljibe de 20m de profundidad.

Se estima que el consumo de agua en la empresa, se encuentra en un aproximado de $21.000 \frac{m^3}{año}$ de la extracción que se realiza del aljibe y $3.330 \frac{m^3}{año}$ que se toman directamente del acueducto municipal.

Este consumo de agua, por consiguiente, trae como consecuencia la generación de vertimientos de aguas residuales tanto domésticas como industriales. Ante la ausencia de un sistema de alcantarillado en la zona, las aguas residuales domésticas e industriales son entregadas a una fuente hídrica luego de ser tratadas en un sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) con el fin de cumplir los requerimientos impuestos por la autoridad ambiental y de esta manera

²¹ SAC, FEDEPANELA, MIN AMBIENTE. (2010). *Guía ambiental para el subsector panelero*. [citado el 29 de enero de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/guia_ambiental_panelera.pdf>.

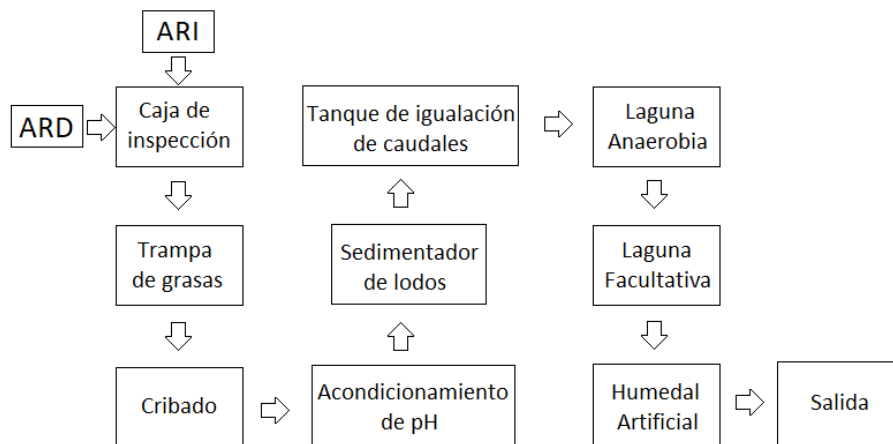
ampliar su modelo de mercado y desarrollo sostenible, en donde se busca principalmente disminuir los riesgos emitidos al entorno circundante, los cuales, luego de ser emitidos pueden causar riesgos para el equilibrio del medio ambiente y generar alteraciones que afecten a los seres vivos presentes en el área de influencia.

El sistema de tratamiento de aguas residuales a optimizar está conformado por los siguientes tratamientos:

- Trampa de grasas
- Cribado
- Acondicionamiento de pH y aporte de Alcalinidad
- Sedimentador de lodos
- Tanque de igualación de caudales y bombeo
- Laguna anaerobia
- Laguna facultativa
- Humedal artificial de flujo subsuperficial y
- Sistema de reúso de agua tratada.

Los cuales se encuentran organizados en la secuencia que se especifica a continuación:

Diagrama 1. Esquema de operaciones y procesos del STAR.



Fuente: Autores.

El sistema dispone de dos lagunas en serie seguidas de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de los vertimientos producto de las actividades y

servicios de la empresa. El 100% de las aguas residuales producidas son conducidas hasta este sistema convirtiéndolo de esta manera, en el único método de tratamiento de las aguas residuales de la empresa y en el aspecto sanitario de mayor importancia por la magnitud, frecuencia e importancia legal que representa.

Actualmente, el tratamiento de las aguas residuales se ha visto comprometido debido a algunos problemas que se han presentado, ocasionando cambios en los parámetros de diseño establecidos en el momento en que inició su funcionamiento, lo cual está afectando la calidad de las aguas que son vertidas a la fuente hídrica y si bien es cierto, la empresa está tomando medidas para solucionar estos problemas, pero a pesar de ello, no se ve una solución real al problema a corto plazo.

Algunos de los problemas identificados en el funcionamiento del STAR se especifican a continuación:

- La operación unitaria de mezclado en el punto de adición de cal no se hace efectiva, ya que ambas sustancias como lo son el agua y la cal no se distribuyen efectivamente entre sí.
- La laguna anaerobia y el humedal de flujo subsuperficial presentan condiciones de flujo no uniforme, con lo cual, se puede ver afectado el rendimiento esperado ya que esta situación impide que el afluente se extienda a lo largo y ancho de toda su superficie.
- En la laguna facultativa hay presencia de ceniza en la superficie por las actividades de la caldera en el proceso de producción de la panela.
- Por otro lado, es prácticamente inexistente la presencia de plantas específicas que complementen el tratamiento del agua debido a la presencia de plantas invasoras, las cuales, compiten por nutrientes y espacio con la vegetación específica del humedal.

Todos los aspectos mencionados sugieren que el STAR requiere de una optimización que mejore sus actuales condiciones de funcionamiento para así propiciar un mejor desempeño y que el efluente final del sistema pueda ajustarse nuevamente a las condiciones requeridas por la normatividad nacional vigente.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con base al problema anteriormente expuesto, se plantea la siguiente pregunta problematizadora.

¿Cómo optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales de una empresa del sector panelero para mejorar su desempeño ambiental y cumplimiento de la normatividad?

2. JUSTIFICACIÓN

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales en los que se apoya el desarrollo de las poblaciones. Con el crecimiento de los centros urbanos, el incremento de la población y el auge del desarrollo industrial, se ha acentuado la contaminación de la mayoría de las fuentes de agua disponible, especialmente las superficiales. Esto es debido al manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas e industriales que son depositadas en los cuerpos de agua con un alto porcentaje de compuestos que afectan la salud pública y ambiental, ocasionando graves inconvenientes de contaminación en donde no solo se ve afectada la población, sino también la flora y fauna de la región y el ambiente como tal.

Esta situación, sugiere que el STAR de la empresa del sector panelero requiere de una optimización para mejorar sus condiciones de funcionamiento y de esta manera propiciar un mejor desempeño para que el efluente final del sistema pueda ajustarse nuevamente a las condiciones requeridas por la normatividad nacional vigente.

En consecuencia, resulta prioritario desarrollar metodologías encaminadas a aumentar la sostenibilidad ambiental, social y económica de este sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) y de este modo disminuir el impacto ocasionado por los vertimientos de agua contaminada a la fuente hídrica. En este sentido, es necesario establecer cuál o cuáles son las condiciones que deben mejorarse para hacer que este sistema de tratamiento sea uno de los más eficaces en las condiciones ambientales de la región, tal como se planteó la empresa al momento de diseñar y construir un sistema de tratamiento que funcionando adecuadamente le permitiese depurar las aguas residuales producidas y entregar así a la fuente hídrica un efluente que no la alterara negativamente.

En cuanto a los componentes del STAR a optimizar, se tienen diferentes experiencias alrededor del mundo, esto en cuanto a lagunas y humedales artificiales que demuestran que éste sistema tiene varias aplicaciones con bastantes beneficios.

Los humedales artificiales correctamente diseñados y contruidos, pueden depurar las aguas municipales, industriales y las de lluvia, y son especialmente eficaces en la eliminación de contaminantes del agua, como son sólidos suspendidos,

nitrógeno, fósforo, hidrocarburos y metales. Son una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación del agua si se mantienen y operan adecuadamente²².

De igual manera, pueden perfilarse como una de las opciones más manejables que además de depurar las aguas residuales ofrecen varios beneficios, entre ellos mejorar la calidad ambiental, restaurar hábitats, y contribuir a generar zonas de amortiguamiento en el ambiente²³.

El buen funcionamiento de este sistema implicaría por lo tanto en cuanto a lo ambiental, la disminución de la carga orgánica vertida a la fuente hídrica, la disminución de la carga microbiológica descargada en ella, la generación y restauración de entornos ecológicos, el mantenimiento de la capacidad de reproducción del ecosistema y una mejora efectiva del paisaje.

En lo económico, la disminución del pago que se impone por la tasa retributiva por el vertimiento de aguas residuales menos contaminadas, la prevención de imposición de multas por parte de la autoridad ambiental a razón del incumplimiento normativo, la fertilización de suelos agrícolas circundantes cultivados con caña de azúcar con lodos tratados o estabilizados, los cuales, pueden ser utilizados como acondicionadores de suelos en la agricultura sustituyendo los fertilizantes químicos. Éstos mejoran las características del suelo, aumentarían la retención del agua y proveen nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal como Nitrógeno, Fósforo, Níquel, Zinc y Cobre.

En el aspecto social, la protección de las comunidades que se encuentran ubicadas aguas abajo por las descargas de aguas residuales y la mejora en la calidad de vida de la población por la generación de un ambiente más sano con un entorno ecológico más saludable, poniendo de manifiesto la estrecha relación existente entre los niveles de contaminación ambiental y la salud de la población.

²² ROMERO-AGUILAR, M. et al. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3) 157-167, 2009. [citado el 13 de febrero de 2018]. Disponible en: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf> >.

²³ ARIAS, C.; BRIX, H. (2013). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, núm. 13, julio, 2003, pp. 17-24 Universidad Militar Nueva Granada Bogotá, Colombia. [citado el 25 de febrero de 2018] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101302>.

Es así como surge la preocupación por llevar a cabo la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales de esta empresa y por lo tanto, desarrollar el presente trabajo, con la finalidad de brindar alternativas de mejoramiento del STAR existente, asegurando condiciones específicas de operación, mantenimiento y control, de modo que a corto plazo, el sistema pueda ajustarse nuevamente con los parámetros requeridos de acuerdo a la normatividad vigente en cuanto a vertimientos, teniendo en cuenta que es un sistema de tratamiento económico, ambiental y socialmente viable.

Ante la situación, la empresa se ha comprometido en suministrar la información y el apoyo necesario para el desarrollo del proyecto, como herramienta de regulación de su desempeño ambiental y de esta manera disminuir los impactos sociales, económicos y ambientales que genera la operación del STAR, facilitando el cumplimiento de la legislación vigente y la política ambiental de la organización.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una propuesta para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de una empresa del sector panelero en el Valle del Cauca.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diagnóstico de la operación actual del STAR en cuanto a las condiciones de afluente y efluente de todos sus componentes con relación al diseño inicial.
- Evaluar desde el punto de vista ambiental, social y económico, las diferentes alternativas de optimización viables de acuerdo con las características específicas de las aguas tratadas y la situación de la empresa.
- Elaborar una guía de optimización de los diferentes componentes del STAR para su implementación y seguimiento.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO HISTÓRICO

4.1.1. Historia del tratamiento de las aguas residuales.

Las aguas residuales empezaron a existir desde que al hombre se le ocurrió que el agua sería un excelente medio para limpiar y transportar los desechos humanos generados en su actividad cotidiana. Sin embargo, se cree que en la antigüedad solo se pensaba en el transporte de residuos mediante el uso del agua sin pensar en su contaminación; esta situación se presentaba porque la concentración no era tan alta para ser reconocida como un problema de sanidad²⁴.

No obstante, era evidente que los centros urbanos tenían un serio problema de salud pública debido a la falta de gestión de sus aguas residuales, (Imagen 1) lo que se tradujo en la prevalencia de enfermedades agudas y eran una causa importante de mortalidad²⁵.

Imagen 1. Enfermedades en el Imperio Romano.



Fuente: Vuorinen, H. et al., 2007.

Solo fue hasta el siglo XIX cuando se encontró que concentrando microorganismos descomponedores de materia orgánica se lograba la reducción de la contaminación del agua en poco tiempo si se hacía en condiciones

²⁴ OROZCO, J. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño*, Santa Fé de Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ACODAL. pág. 482.

²⁵ VUORINEN, H. et al. (2007). *History of water and Health from ancient civilizations to modern times*. *Water Sci Technol*, 7:49–57.

controladas. El primer intento para usar la descomposición anaeróbica en el tratamiento de aguas residuales se efectuó por Mouras en 1891 en un tanque que sería el precursor del actual pozo séptico.

Finalmente, fue hasta el año 1912 cuando Fowler, Arden y Lockett dieron origen al sistema de lodos activados concentrando microorganismos descomponedores en cantidades suficientes para metabolizar la materia orgánica de las aguas residuales en corto tiempo. Desde entonces, el tratamiento aerobio se ha desarrollado a través de lodos activados, aireación extendida, lagunas de estabilización, filtros percoladores y biodiscos rotatorios²⁶.

4.1.2. Antecedentes del tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas de estabilización.

El conocimiento del uso conveniente de estos dispositivos llegó accidentalmente de Texas (EE.UU.) durante los primeros años de la década de 1920, cuando el Departamento Estatal de Servicios de Salud de Texas (DSHS), fue acosado con la pregunta del por qué las aguas residuales del pueblo de Palestine, que eran descargadas en una pequeña área pantanosa, se convertían en una fresca y brillante corriente después de un tiempo.

Poco después, la ciudad de Abilene se vio obligada por agricultores aguas abajo a impedir la polución de su río, para lo cual, las autoridades de la ciudad construyeron un pequeño embalse para almacenar las aguas residuales que causaban daño a los agricultores hasta que hubiera fondos para construir una planta de tratamiento, obteniendo resultados satisfactorios sin la molestia de malos olores y sin originar la contaminación de ninguna otra corriente.

Este método funcionó con éxito por muchos años y se llegó así, de una manera accidental, a construir la primera laguna de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales. Aunque D.F. Smallhorst b. n. Walton, y J. Myllis, en su publicación "Oxidation Ponds" en 1954, reportan la ciudad de San Antonio, Texas, como la primera ciudad que utilizó el principio de las lagunas de estabilización, en el año 1901.

²⁶ OROZCO, J. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño*, Santa Fé de Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ACODAL. pág. 482.

Desde entonces, en 1959, en la edición del manual “Water Pollution Control Federation” las lagunas de estabilización son reconocidas y aceptadas como método de tratamiento de las aguas residuales y son usadas en muchos países actualmente²⁷.

4.1.3. Antecedentes de los humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales.

La utilización de humedales artificiales para la recepción de aguas residuales se remonta a comienzos del siglo XX cuando la mejora en la calidad del agua en humedales naturales fue observada por científicos e ingenieros durante muchos años, lo que motivó el desarrollo de esta tecnología para duplicar en ecosistemas construidos los beneficios de calidad del agua y hábitat de los humedales naturales²⁸.

La historia de este método tuvo su origen en los trabajos de K. Seidel, del Max Planck Institute en Alemania, a comienzos de los años 50. En años posteriores, K. Seidel trabajó con R. Kickuth en el desarrollo de un sistema de tratamiento conocido como “Root Zone Method”, que operaba con flujo subsuperficial horizontal, recurriendo al empleo de arcilla como sustrato filtrante²⁹

Siguiendo las directrices del Max Planck Institute, se construyó en 1974, en una localidad alemana, el primer humedal artificial europeo a escala real. Sin embargo, el hecho de emplear como sustrato filtrante el propio suelo natural, provocó que un gran número de instalaciones construidas en los años 70 y 80 presentasen problemas operativos, como consecuencia de la colmatación de los sustratos. La situación se invirtió a comienzos de los 80, al comenzar a emplearse como medio filtrante gravilla y grava, con el objeto de garantizar la adecuada conductividad hidráulica y minimizar los riesgos de colmatación del sustrato, lo que condujo a un auge en la implantación de este tipo de tecnología.

²⁷ GUTIERREZ, C. (1978). *Conceptos básicos sobre lagunas de oxidación*. Universidad Centroamericana - Escuela de Biología y Recursos Naturales. Managua, Nicaragua.

²⁸ US, EPA. (2000). *National Water Quality Inventory. The U.S. Environmental Protection Agency* (EPA). WASHINGTON, D.C. 20460.

²⁹ RODRÍGUEZ, J. et al. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Centa, Sevilla – España.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Estado del arte.

A continuación, se presenta la síntesis de la revisión de los estudios más representativos de optimización de diferentes STAR, los cuales, ayudaron a comprender en que van los avances de la optimización de sistemas de tratamiento de aguas residuales en situaciones similares a las del presente estudio y que sirvieron de referente para su desarrollo.

Cuadro 1. Estudio de caso 1 - Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de Tunja - Boyacá.

| | | |
|---|------------------|------------------------------|
| TITULO DE ESTUDIO: DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR) DE TUNJA – BOYACÁ | | |
| AUTOR: LUISA LORENA PINEDA BUITRAGO | AÑO: 2017 | NÚMERO DE PAGINAS: 76 |
| OBJETIVOS: | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Recolectar información correspondiente de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Tunja para su posterior análisis y diagnóstico.• Realizar los cálculos correspondientes para cada estructura perteneciente a la PTAR, con el fin de verificar el estado y funcionamiento de cada una de ellas.• Realizar el análisis fisicoquímico del agua con los datos suministrados en la planta.• Determinar el estado actual que presenta la PTAR y la posibilidad de actualización de la planta física. | | |
| DESCRIPCIÓN: | | |
| <ul style="list-style-type: none">• El proyecto se realizó en la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tunja, ubicada al nor-orienté de la ciudad y cuyo efluente es vertido al río Jordán. El principal objetivo de este proyecto fue presentar un diagnóstico de la PTAR para lo cual, inicialmente se recopiló la información necesaria para entender el modo de operación de la PTAR y las especificaciones de cada una de las estructuras; posterior a esto, se realizó la verificación de cumplimiento de los parámetros de diseño dados por diferentes autores para cada una de las estructuras de la PTAR. Finalmente, se determinó la posibilidad de actualización de la planta física por medio de la implementación de una tecnología técnicamente viable. | | |
| RESULTADOS: | | |
| <ul style="list-style-type: none">• En el diagnóstico realizado se encontró que la planta de tratamiento no se encuentra en óptimas condiciones para tratar el caudal total del presente año y no | | |

necesariamente por que se encuentre en mal estado; por el contrario, todas las estructuras están en buenas condiciones funcionales y estructurales, sin embargo, cada módulo tiene una capacidad menor a la demandada actualmente. Identificando ya este problema, se realizaron de nuevo los cálculos disminuyendo el caudal gradualmente y verificando el cumplimiento de los parámetros de cada uno de los componentes.

- En cuanto a la proyección constructiva, según el diseño original se idealizo construir la totalidad de 8 módulos, sin embargo, se considera que con 6 se puede cubrir el tratamiento para el año 2030.
- Finalmente, teniendo en cuenta las características de la planta y su estado actual, se eligió una de cinco tecnologías alternativas utilizadas en los últimos años alrededor del mundo, la cual se considera como la mejor opción a implementar en este caso como una actualización de la planta física, este es el Reactor Biológico de Membrana (reactor biológico + ultrafiltración)

CONCLUSIÓN:

- Las estructuras de la planta de tratamiento de agua residual se encuentran en buen estado estructural; sin embargo, solo se encuentran construidos tres módulos cada uno con una capacidad de 128 L/s, los cuales no dan abasto para el caudal actual que es de 553,4 L/s; esta situación puede generar fallas en los equipos y estructuras en tiempos menores a los deseados.
- Considerando los hallazgos encontrados en cuanto al número de módulos de tratamiento requeridos en la PTAR para el periodo comprendido entre los años 2017 al 2030, la planta debe realizar una verificación del diseño original de la planta que conlleve a replantear o reafirmar la cantidad de estos.
- La tecnología de membranas de ultrafiltración es una buena alternativa en el tratamiento de agua residual ya que se puede ahorrar el uso de espacio y se aumenta la calidad en el efluente. Además de esto, un factor importante en su implementación es la flexibilidad a la hora de su instalación ya que se pueden añadir en diversas fases según dicte la capacidad de operación de la planta.

Fuente: Pineda, L., 2017.

Cuadro 2. Estudio de caso 2 - Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Bojacá-Cundinamarca.

| | | |
|---|------------------|-------------------------------|
| TITULO DE ESTUDIO: OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE BOJACÁ-CUNDINAMARCA | | |
| AUTOR: JEAN PIERRE GONZALEZ SILVA Y KATHERINE ALEXANDRA GÓMEZ ORTEGA | AÑO: 2016 | NÚMERO DE PAGINAS: 119 |
| OBJETIVOS: | | |

- Evaluar de manera técnico-operativa el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales con zanjón de oxidación del municipio de Bojacá-Cundinamarca.
- Proponer el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, para una eficiencia de remoción hasta de 20 mg/L de materia orgánica.
- Determinar la eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de la planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de cumplir la normatividad ambiental vigente.

DESCRIPCIÓN:

- El municipio presenta un problema de gran magnitud, en cuanto a la PTAR, ya que no se encuentra en capacidad de tratar caudales picos (semana santa y festivos) del casco urbano, por tal motivo solo realiza su proceso con el caudal de diseño, el restante es vertido a la laguna El Juncal generando una contaminación en ella, no cumple con características físico-químicas como lo son la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) , la remoción de Solidos Suspendidos Totales (SST), grasas y aceites. Por ello, al realizar una evaluación teórico-práctica de la PTAR se decide optimizarla por los problemas expuestos y para ello utiliza los parámetros del libro Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de diseño, de Jairo Alberto Romero Rojas, y el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000).

RESULTADOS:

- Los análisis confirmaron que actualmentente la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bojacá-Cundinamarca, no cumple con la capacidad de caudal que entra a la planta ya que, en sus horas pico (festivos y semana santa) entra un caudal de 11L/s y el caudal de diseño es de 7 L/s lo que implica que el caudal restante quede en el sistema de reboce y entregue directamente al vertimiento, en este caso la laguna el juncal, sin haberse tratado el agua residual.
- La optimización de la PTAR dio como resultado un porcentaje de remoción de DBO del 96,45%, la cual cumple con la remoción mínima del 80 % y de vertimiento con 20 mg/L según el decreto 1584 de 1984.
- La PTAR es diseñada para un periodo de 20 años, con un desarenador que también cumple con la función de retener grasas y aceites por medio de una pantalla, dos zanjones de oxidación, un sedimentador secundario, un cuarto para una bomba sumergible, una estructura de lodo digestor, y lechos de secado, cumple con sus principales condiciones tales como: remoción de DBO, remoción de SST, y grasas y aceites, se realiza el plano de la planta de tratamiento de aguas residuales y los detalles de cada estructura.

CONCLUSIÓN:

- La planta de tratamiento de aguas residuales de tipo zanjón de oxidación, al no cumplir con los parámetros mencionados y tener una problemática con la capacidad, la cual surge por el déficit de diseño en las proyecciones de la

población, debe tener una optimización en la cual se asumieron dos estructuras de zanjones de oxidación, la optimización contemplo los parámetros que no estaban cumpliendo con las remociones mínimas establecidas en el decreto 1584 de 1984. La planta de tratamiento de aguas residuales diseñada en el proyecto, debe tener un sistema de pantallas, las cuales cumplen la función de retener el 100% de las grasas y aceites para evitar malos procesos al tratar el agua.

Fuente: Gonzalez, J.; Gómez, K., 2016.

Cuadro 3. Estudio de caso 3 - Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales del complejo urbanístico Barcelona de Indias. (Cartagena, Colombia).

| | | |
|---|------------------|------------------------------|
| TITULO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL COMPLEJO URBANÍSTICO BARCELONA DE INDIAS. (CARTAGENA, COLOMBIA) | | |
| AUTOR: CRISTHIAN ALVIS YEPES | AÑO: 2015 | NÚMERO DE PAGINAS: 58 |
| OBJETIVOS: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar el diagnóstico de los procesos, del funcionamiento y de la operación de la planta de tratamiento de la urbanización Barcelona de Indias para formular los requisitos de optimización. • Determinar las características y condiciones de cada uno de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la urbanización Barcelona de Indias. • Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento existente. • Analizar el cumplimiento de las normas de vertimiento exigidas a la urbanización Barcelona de Indias. • Formular recomendaciones para dar cumplimiento a las normas vigentes. | | |
| DESCRIPCIÓN: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • El trabajo desarrollado evaluó el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del complejo urbanístico Barcelona de Indias. Para ello se realizó una descripción de cada uno de los componentes de la planta para entender su funcionamiento ya que no existen planos ni memorias de cálculo ni especificaciones técnicas. Se analizaron muestras del afluente y del efluente de la planta de tratamiento entre el 15 y 23 de julio de 2013, y se evaluaron teniendo en cuenta los parámetros establecidos en el decreto 1594 de 1984, vigentes para la época del estudio. | | |
| RESULTADOS: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • La planta de tratamiento del complejo urbanístico Barcelona de Indias fue concebida como un proceso aerobio del tipo de lodos activados. • Los valores de temperatura, pH, nitrógeno y fósforo total cumplen con lo | | |

establecido en el decreto 1594 de 1984.

- El porcentaje promedio de remoción de DBO y DQO es de 52 y 29% respectivamente, valores que no satisfacen los criterios de eficiencia de un tratamiento de lodos activados.
- La PTAR no cumple la eficiencia esperada en remoción de sólidos suspendidos totales.

CONCLUSIÓN:

- Se debe dotar a la PTAR de un operador capacitado en los conceptos de funcionamiento, control y operación de un proceso de lodos activados.
- Se debe dotar a la PTAR de los requisitos necesarios para un proceso de lodos activados: capacidad de aireación para mantener OD > 2mg/L, capacidad de recirculación de lodos para mantener la concentración requerida de biomasa en el reactor y capacidad de mezcla suficiente para mantener el contenido del reactor biológico completamente suspendido.
- Los funcionarios deben realizar periódicamente revisión del efluente con el fin de verificar el cumplimiento de la normativa vigente.

Fuente: Alvis, C., 2015.

Cuadro 4. Estudio de caso 4 - Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales de trapiches paneleros.

| | | |
|--|------------------|------------------------------|
| TITULO DE ESTUDIO: SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE TRAPICHES PANELEROS | | |
| AUTOR: ADRIANA LÓPEZ DELGADO, CARMEN ELIZABETH ARTEAGA, LILIANA ARCINIEGAS Y JEAN PAUL TUPAZ FLOREZ | AÑO: 2010 | NÚMERO DE PAGINAS: 41 |
| OBJETIVOS: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar una guía para la implementación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales en trapiches paneleros, con tal eficiencia, que permitan no solo el cumplimiento del requisito legal ambiental y sanitario sino, también, su competitividad frente al mercado moderno que exige este tipo de responsabilidades frente a los recursos naturales. • Evaluar las características fisicoquímicas de las Aguas Residuales Industriales generadas en los trapiches paneleros que se presentan tanto en la jornada laboral como en los días de producción por semana. • Diseñar el prototipo del sistema modelo adecuado para tratar las aguas servidas de la operación de cada trapiche. • Medir el comportamiento y eficiencia de los microorganismos eficientes (EM) encargados de brindar el tratamiento adicional a los vertimientos de cada | | |

trapiche.

DESCRIPCIÓN:

- Fueron 20 los sistemas de tratamiento de aguas residuales construidos con el esfuerzo de CORPONARIÑO y su Ventanilla Ambiental, las administraciones municipales de Sandoná, Linares y Ancuya, FEDEPANELA y el Instituto Departamental de Salud, en el marco del Convenio de Producción Más Limpia suscrito con este grupo de actores y Coopanela Ltda en el año 2006. Una primera fase del proceso giró entorno al diseño de la tecnología que se habría de emplear para tratar las aguas servidas de esta industria, caracterizadas por su alta carga orgánica, su acidificación temprana y el flujo discontinuo que se presenta tanto en la jornada laboral como en los días de producción por semana. Una vez diseñado el prototipo del sistema modelo, se dimensionaron sus características, se plasmaron en planos y con ello, se abrió paso a la construcción de la obra, sobre la que se desarrolló una segunda fase de carácter experimental, en la que se hicieron chequeos de flujo, análisis de adaptación de las biopelículas naturales y análisis fisicoquímicos de eficiencia, que sirvieron de base para tomar los respectivos correctivos y ajustes necesarios para la adaptación específica y optimización tanto de la tecnología como de cada uno de los sistemas una vez inoculados los microorganismo eficientes (EM).

RESULTADOS:

- Los modelos piloto de tratamiento implementados arrojaron excelentes resultados, aún sin la adición de los EM.
- La experiencia se llevó a cabo en tres trapiches de Sandoná y Linares, en los cuales se realizaron pruebas de eficiencia desde una condición de partida sin la presencia de microorganismos, hasta muestreos en diferentes tiempos de inoculación y adaptación de la tecnología EM en las condiciones especiales del vertimiento.

CONCLUSIÓN:

- El buen desempeño del sistema requiere no solo atención a las tareas habituales de mantenimiento en los tanques y el canal de aireación sino, además, una serie de actitudes frente al proceso mismo de evacuación de los residuos generados en la producción de panela.
- Debe tenerse claro que los líquidos de trabajo son aguas residuales y por ello demandan cuidado, puesto que su descomposición incontrolada genera problemas sanitarios y ambientales que pueden repercutir sobre la salud de los operarios e incluso sobre la inocuidad del producto.

Fuente: López, A. et al., (2010).

4.2.2. El agua residual.

Las aguas residuales son aquellas “aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado”. Estas aguas están contaminadas y sin un previo tratamiento no son de uso recomendable. De acuerdo a su procedencia se pueden clasificar en aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales.

En general, “se consideran Aguas Residuales Domésticas (ARD), a los líquidos provenientes de las viviendas, edificios comerciales e institucionales y Aguas Residuales Industriales (ARI) a las aguas residuales provenientes de las descargas de industria de manufactura”.

4.2.3. Características de las aguas residuales.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica.

Entre las características físicas más importantes del agua residual se encuentra el contenido total de sólidos, “término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta que afecta la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición”. Otras características físicas importantes son el Olor, “que constituye una de las principales objeciones ambientales y su control en las plantas de tratamiento es muy importante;” la temperatura, que afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacterial; el color que es generalmente gris y a medida que envejece, cambia a gris oscuro y luego a negro”; y la Turbiedad, “que constituye una medida óptica del material suspendido en el agua”.

El estudio de las características químicas de las aguas residuales abarca la materia orgánica, inorgánica y los gases presentes en el agua residual. La materia orgánica de las aguas residuales es “una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno”. También se tienen en cuenta otros parámetros como; pH, nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), y gases, donde el pH “es la medida de concentración del ión hidrogeno en el agua” y el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas.

Finalmente, las características biológicas “incluyen el conocimiento de los grupos principales de microorganismos que se encuentran en las aguas superficiales y

residuales, así como aquellos que intervienen en el tratamiento biológico y el de los organismos utilizados como indicadores de polución donde se pueden clasificar en protistas, plantas y animales”³⁰.

4.2.4. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.

Las aguas residuales, por lo regular, tienen composiciones altamente complejas y normalmente se necesita modificar su composición para ajustarlas a un uso en particular. En consecuencia, se requiere de una variedad de procesos para separar los diversos contaminantes que con seguridad se encontrarán en ellas. (Tabla1).

Tabla 1. Contaminantes de interés en el tratamiento de aguas residuales.

| Contaminantes | Razón de la importancia |
|-------------------------------|--|
| Sólidos en suspensión | Pueden conducir al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático. |
| M.O. Biodegradable | Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales. La materia orgánica se mide, la mayoría de las veces, en términos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas. |
| M.O. Refractaria | Tiende a revestir los métodos convencionales de tratamiento. Ej.: agentes termoactivos, fenoles y pesticidas agrícolas. |
| Metales Pesados | Son añadidos frecuentemente al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede que deban ser eliminados si se va a reutilizar el agua residual. |
| Sólidos inorgánicos disueltos | Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como resultado del uso del agua y puede que deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual. |
| Patógenos | Los presentes en el agua residual pueden transmitir |

³⁰ METCALF & EDDY. (1995). *Ingeniería De Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. tercera ed. España: McGraw-Hill, 504 p. ISBN 84-481-1727-1 (vol 1).

| Contaminantes | Razón de la importancia |
|---------------|---|
| | enfermedades infecto contagiosas. |
| Nutrientes | Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten en el entorno acuático, estos nutrientes pueden llevar el crecimiento de una vida acuática no deseada. |

Fuente: Romero, J., 1999.

4.2.5. Tratamiento del agua residual.

El tratamiento y disposición de las aguas residuales se puede definir como “una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano”.

La eliminación de los contaminantes se realiza de forma ordenada y secuencial a través de diferentes etapas, que aplicadas de forma sucesiva proporcionan un grado de tratamiento a estas aguas. Por esta razón, es común hablar de pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario³¹.

El pretratamiento “tiene como objeto remover del agua residual aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores”. El tratamiento primario “se refiere comúnmente a la remoción parcial de sólidos suspendidos y materia orgánica, mediante sedimentación u otro medio, y prepara el agua para el tratamiento secundario”.

Por su parte, el tratamiento secundario “se usa principalmente para remoción de DBO soluble y sólidos suspendidos”. Finalmente, el tratamiento terciario supone generalmente, “la necesidad de remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorar la calidad de un efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su uso”³².

³¹ METCALF & EDDY. (1995). *Ingeniería De Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. tercera ed. España: McGraw-Hill, 504 p. ISBN 84-481-1727-1 (vol 1).

³² QASIM, S. (2000). *Wastewater Treatment Plants: Planning, design and operation*. Boca Raton: CRC Press.

4.2.6. Tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas de estabilización.

Los sistemas lagunares representan un método eficaz para el tratamiento de las aguas residuales, especialmente para las comunidades rurales, periurbanas y con disponibilidad de tierras³³.

El método consiste en el almacenamiento de aguas residuales en estanques excavados de gran tamaño diseñados para el tratamiento biológico durante un determinado período de tiempo, en el que se desarrollan procesos físicos, químicos y biológicos con el objetivo de:

- a) Remover la materia orgánica de las aguas residuales,
- b) La remoción simultánea de nutrientes: nitrógeno y fósforo, y;
- c) la eliminación de microorganismos patógenos.

4.2.6.1. Ventajas y desventajas del tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización.

Como cualquier otro sistema de depuración de aguas residuales, el lagunaje presenta una serie de ventajas e inconvenientes que pueden aconsejar o no su utilización³⁴.

Entre las ventajas se destacan:

- Costos bajos por construcción, operación y mantenimiento.
- Facilidad al construir, operar y mantener (no se necesita personal calificado).
- Buena remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos.
- Absorben los picos hidráulicos, cargas orgánicas y compuestos tóxicos.

³³ CONAGUA/IMTA. (2007b). *Lagunas de estabilización. En Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Paquetes tecnológicos para el tratamiento de excretas y aguas residuales en comunidades rurales.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

³⁴ ROLIM, M. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego.* (OPS/OMS), McGraw-Hill, Colombia.

- Consumo energético nulo, si el agua a tratar puede llegar por gravedad hasta la estación depuradora. Las únicas fuentes de energía son el sol y el viento.
- No presentan problemas de operación en el manejo y disposición de lodos.
- Utilización del agua tratada en agricultura y acuicultura.
- Se pueden utilizar como sistemas reguladores de riego.
- Integración medioambiental.

Entre los inconvenientes deben mencionarse:

- La principal desventaja es que necesitan una gran área de terreno.
- Debido a la infiltración, no deben construirse en suelos arenosos por la contaminación que causan a los mantos acuíferos.
- Pueden generar olores desagradables cuando se incluya una laguna anaerobia y esta reciba alta concentración de carga orgánica.
- El funcionamiento adecuado de un sistema de lagunas depende en gran medida de las condiciones ambientales del lugar: viento, temperatura, nubosidad, etcétera.
- Se recomienda que la ubicación del sistema de tratamiento se localice, por lo menos, a 500 metros de la mancha urbana.
- El efluente descargado incluye alto contenido de algas (sólidos suspendidos) que puede ocasionar problemas en el suelo cuando se reutiliza en regadío de cultivos.

4.2.6.2. Clasificación de las lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización se clasifican en cuatro tipos de acuerdo al contenido del oxígeno en los procesos de tratamiento: anaerobias, facultativas, de maduración o pulimiento y aerobias de alta tasa. También se pueden clasificar de acuerdo con la función del lugar que ocupan, al propósito del tratamiento y a la secuencia de unidades del proceso³⁵.

En el STAR de la empresa del sector panelero, el sistema de lagunas está conformado por dos lagunas en serie: anaerobia y facultativa, las cuales se describen a continuación:

³⁵ ROLIM, M. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío*. (OPS/OMS), McGraw-Hill, Colombia.

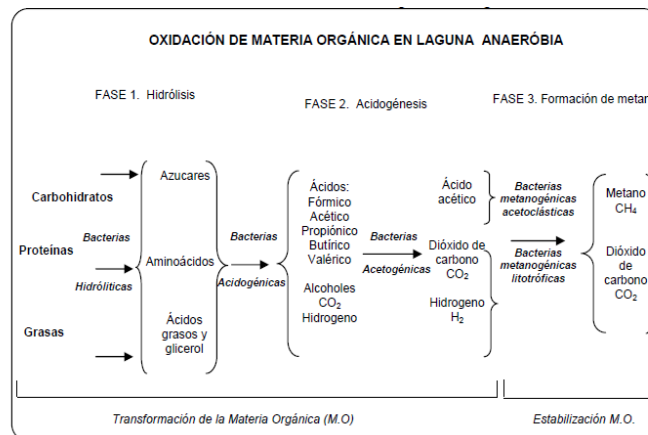
4.2.6.2.1. Lagunas anaerobias.

Las lagunas anaerobias constituyen un proceso de tratamiento que requiere pequeñas áreas, no genera algas y tampoco existe un proceso fotosintético; es decir, no existe oxígeno disuelto como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto período de retención del agua residual. Por lo general tienen una profundidad entre 2 y 5 metros y reciben cargas orgánicas volumétricas mayores a 100 g DBO₅/m³ d.

Generalmente se emplean como lagunas primarias, es decir, en la primera etapa del tratamiento. Su objetivo principal es la remoción de sólidos sedimentables, la retención de sólidos flotantes y la oxidación anaerobia o en ausencia de oxígeno de la materia orgánica, depositada en el fondo de la laguna³⁶.

La degradación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante las fases de hidrólisis, acidogénesis y metogénesis, actuando en cada una de ellas grupos específicos de bacterias heterótrofas de tipo anaerobia, facultativa y estrictamente anaeróbicas, produciéndose la estabilización o reducción de la materia orgánica únicamente en la etapa final de formación de metano y CO₂. (Figura 1).

Figura 1. Oxidación de la materia orgánica en lagunas anaerobias.



Fuente: Díaz-Báez, M. et al., 2002.

³⁶ ALVES, P. (2007). *Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização*. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Sanitária para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. Brasil, p 169.

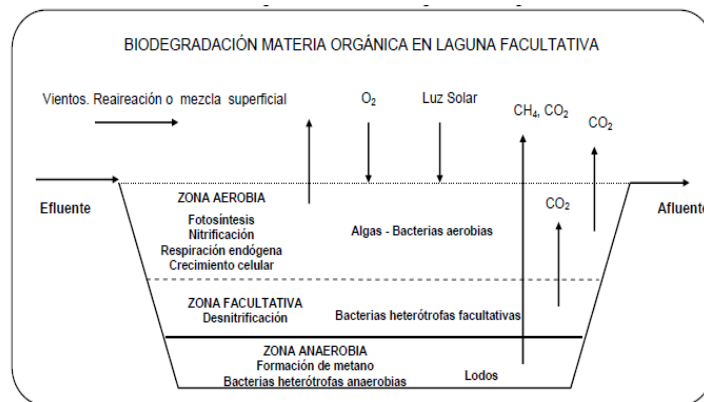
4.2.6.2.2. Lagunas facultativas.

Las lagunas facultativas son estanques de poca profundidad entre 1 y 2 m que se caracterizan por tener una zona aerobia y una zona anaerobia, situadas respectivamente en superficie y fondo. Por tanto, en estas lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismo, desde anaerobios estrictos en el fango del fondo hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Sin embargo, los seres vivos más adaptados al medio serán los microorganismos facultativos, que pueden sobrevivir en las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año³⁷.

El tratamiento del agua residual en este tipo de lagunas considera tres zonas:

- Una zona en la que se establecen condiciones aerobias en la parte superior; es decir, existe oxígeno disuelto.
- Una parte facultativa intermedia en donde las bacterias aerobias, anaerobias y facultativas (las bacterias facultativas pueden vivir tanto en condiciones anaerobias como aerobias) llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica (DBO).
- Una zona anaerobia en la parte inferior de la laguna, donde los sólidos que sedimentan se descomponen de manera fermentativa. (Figura 2).

Figura 2. Biodegradación de la materia orgánica en una laguna facultativa.



Fuente: Moreno, M., 1991.

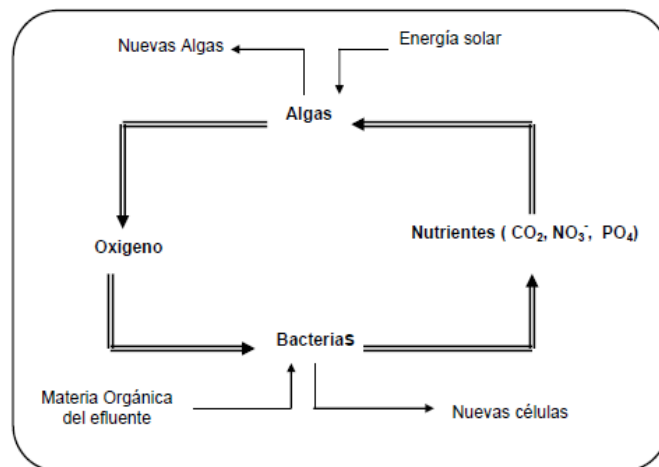
³⁷ MORENO, M. (1991). *Depuración por lagunaje de aguas residuales: Manual de operadores. España. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Secretaría General Técnica. jun. 1991. Madrid. ES.*

La degradación de la materia orgánica en lagunas facultativas tiene lugar fundamentalmente, por la actividad metabólica de bacterias heterótrofas, que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno disuelto, aunque si bien, la velocidad de crecimiento y por tanto la velocidad de depuración, es mayor en condiciones aerobias.

El proceso se desarrolla inicialmente cuando las algas producen oxígeno a través de su actividad fotosintética y es empleado por las bacterias heterótrofas para la síntesis ó crecimiento bacterial y la oxidación aerobia de la materia orgánica presente en el agua residual.

Las bacterias, a su vez, producto de su última labor, generan CO_2 , amoníaco, nitratos, fosfatos y otros nutrientes, que posteriormente son utilizados por las algas para su metabolismo fotosintético representado en la producción de oxígeno y crecimiento algal, estableciéndose una simbiosis fundamental entre algas y bacterias.³⁸ (Figura 3).

Figura 3. Simbiosis entre bacterias y algas en una laguna facultativa.



Fuente: Moreno, M., 1991.

4.2.6.3. Factores hidráulicos de los sistemas lagunares.

³⁸ METCALF & EDDY, (1979). *Wastewater engineering: treatment disposal reuse*. McGraw-Hill, 1979 - 920 pages.

Los sistemas lagunares se consideran reactores en donde se llevan a cabo procesos físicos, químicos y biológicos. Algunos factores importantes que influyen en la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales son: la profundidad, la forma y tamaño de los estanques, el tiempo de retención hidráulico y el patrón de flujo hidráulico que se establezca.

La existencia de cortocircuitos hidráulicos en una laguna de estabilización genera serios problemas en el proceso de tratamiento que conllevan a la formación de zonas muertas en algunas áreas de la laguna. Lo anterior significa que el agua residual permanece estancada y las consecuencias son:

- a) Se disminuye el volumen de trabajo de la laguna, así como el área superficial.
- b) Se generan malos olores.
- c) La eficiencia del tratamiento se reduce en forma importante.

Por consiguiente, es recomendable favorecer la mezcla de las aguas residuales, con el propósito de realizar un tratamiento adecuado³⁹.

Algunas condiciones que ayudan a disminuir los efectos hidráulicos negativos, se describen a continuación:

4.2.6.3.1. Mezcla.

Con el propósito de realizar un tratamiento adecuado del agua residual, se recomienda verificar que la distribución del agua sea uniforme; esto es, que se utilice todo el volumen de la laguna. Esta acción permitirá obtener lo siguiente: se establecerá el tiempo de retención proyectado, y como ya se indicó, se evitará la formación de zonas muertas.

Las lagunas que requieren una mayor área son las facultativas. En ellas es posible instalar canales de flujo independiente, o bien, mamparas con flujo horizontal, tal como se muestra en la imagen 2. Los investigadores Kilani y Ogunrombi⁴⁰;

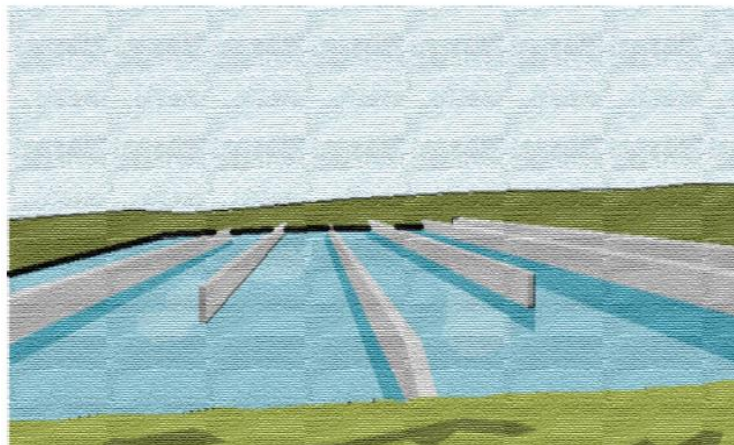
³⁹ CORTÉS, F. et al. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización* /. -- Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017. 128 p. ISBN: 978-607-9368-57-9.

⁴⁰ KILANI, J.; OGUNROMBI, J. (1984). *Effects of Baffles on the Performance of Model Waste Stabilization Ponds*. Water Res. 18:941-944.

Muttamara y Puetpaiboon⁴¹; Sperling *et ál.*⁴²; Shilton y Harrison⁴³; Shilton y Mara⁴⁴, Abbas *et ál.*⁴⁵ y Cortés *et ál.*⁴⁶, recomiendan la utilización de mamparas o deflectores, ya que según los resultados se obtienen las siguientes ventajas:

- a) Se aumenta la eficiencia en la remoción de contaminantes.
- b) Se mejora la hidráulica dentro del estanque porque se establece el flujo pistón.
- c) Se eliminan las zonas muertas.

Imagen 2. Mamparas en lagunas de estabilización.



Fuente: Oakley, S., 2005.

⁴¹ MUTTAMARA, S.; PUETPAIBOON, U. (1997). *Roles of Baffles in Waste Stabilization Ponds*. Water Sci. Technol. 35: 275-284.

⁴² SPERLING, M. et al. (2003). *Evaluation and Modelling of Helminth Eggs Removal in Baffled and Unbaffled Ponds Treating Anaerobic Effluent*. Water Sci. Technol. 48: 113-120.

⁴³ SHILTON, A.; HARRISON, J. (2003). *Guidelines for the Hydraulic Design of Waste Stabilization Ponds*. Institute of Technology and Engineering, Massey University, Palmerston North, New Zealand.

⁴⁴ SHILTON, A.; MARA, D. (2005). *CFD (computational fluid dynamics) Modeling of Baffles for Optimizing Tropical Waste Stabilization Ponds System*. Water Sci. Technol. 51: 103-106.

⁴⁵ ABBAS, H. et al. (2006). *Study of Waste Stabilization Pond Geometry for Wastewater Treatment Efficiency*. Ecol. Eng. 28: 25-34.

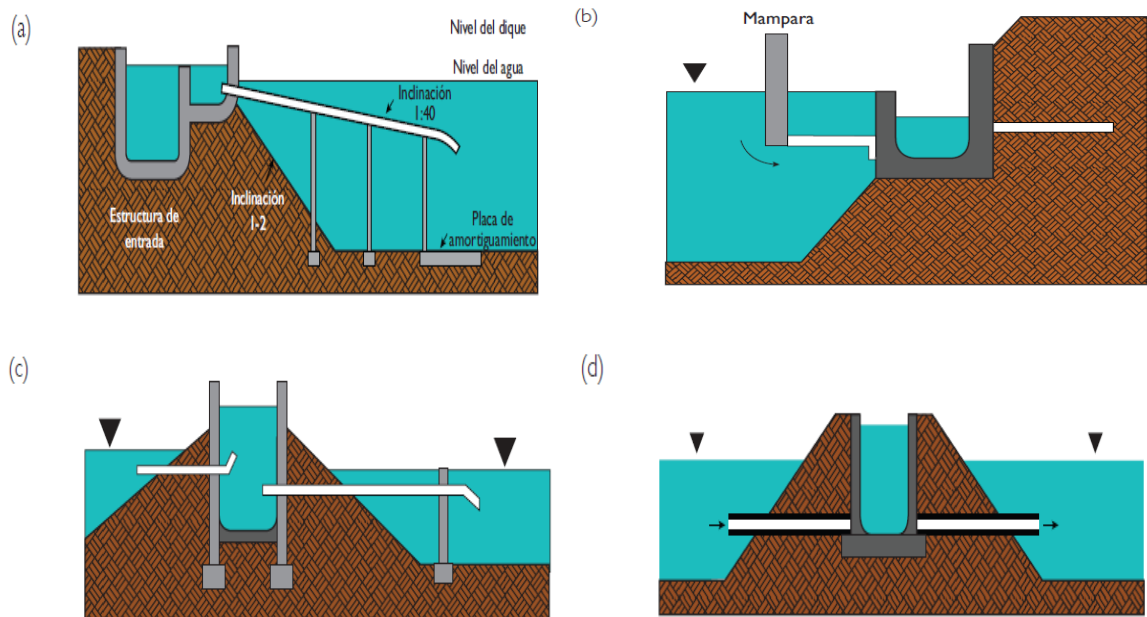
⁴⁶ CORTÉS, F. et al. (2013). *Mathematical Model for the Optimization of the Design of a Facultative Pond (Case Study)*. Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS). Vol. 81, issue 1, 127-145.

4.2.6.3.2. Entradas y salidas de flujo en lagunas de estabilización.

La entrada para las lagunas anaerobias, facultativas y maduración deben localizarse por debajo del nivel del espejo de agua, aproximadamente a media profundidad. Esta acción favorecerá la operación adecuada de las lagunas, puesto que se reduce la generación de cortocircuitos hidráulicos. En la imagen 3 (a, b, c) y d) se muestran algunos detalles de entradas y salidas en sistemas lagunares.

Existen varios tipos de estructuras de salida, pero se recomienda que se utilicen según su preferencia. Lo anterior con fines de operación y mantenimiento de bordos del sistema lagunar⁴⁷.

Imagen 3. Laguna con dispositivos múltiples de entrada y salida para aproximarse al flujo pistón.



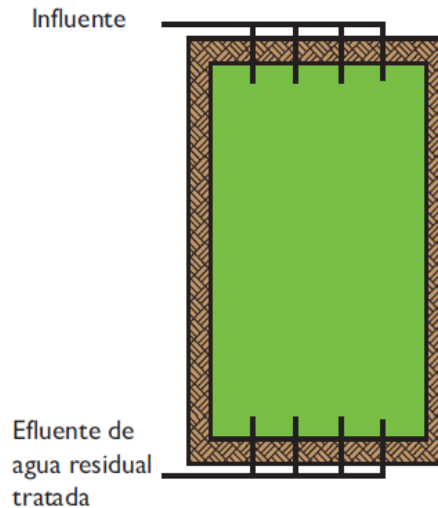
Fuente: Oakley, S., 2005.

Otra consideración importante es colocar varias entradas y salidas en el sistema de lagunas con el propósito de aproximarse al flujo pistón. Además, se distribuyen

⁴⁷ OAKLEY, S. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras*. Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad, USA.

uniformemente los lodos que se depositan en el fondo de la laguna⁴⁸. En la Imagen 4 se muestra una laguna de estabilización con entradas y salidas múltiples.

Imagen 4. Laguna con entradas y salidas múltiples.



Fuente: Oakley, S., 2005.

4.2.6.4. Problemas de funcionamiento en lagunas de estabilización.

Siendo el lagunaje un conjunto de recipientes creados artificialmente para que en ellos se desarrollen de forma natural los procesos de autodepuración, estos elementos han sido dimensionados y diseñados para que el proceso tenga lugar bajo unas determinadas condiciones, tanto medioambientales como de carga. Sin embargo, en determinadas circunstancias se producen anomalías que el operador debe conocer y saber corregir.

4.2.6.4.1. Problemas de funcionamiento en lagunas anaerobias y facultativas.

La depuración de aguas residuales en lagunas de estabilización presenta una tolerancia bastante baja a cambios medioambientales y aunque el diseño permite una cierta flexibilidad en estas variables, en ocasiones pueden presentarse circunstancias en las que el proceso no puede desarrollarse correctamente, dando

⁴⁸ ROLIM, M. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego*. (OPS/OMS), McGraw-Hill, Colombia.

lugar a la aparición de síntomas de mal funcionamiento⁴⁹. Algunos de ellos se citan a continuación:

- **La aparición de malos olores:** que pueden deberse a una de las razones siguientes:
 - Desajuste en la carga orgánica aplicada a la laguna, tanto por encima como por debajo del intervalo utilizado para el diseño.
 - Desajuste en el caudal de entrada. Cuando el caudal aumenta o disminuye con respecto al intervalo de diseño el agua residual permanece, respectivamente, menos y más tiempo del previsto en las lagunas. Esto provoca que se rompa el equilibrio necesario entre las distintas fases de la depuración anaerobia (hidrolítica, acidogénica y metanogénica).
 - Caída repentina de la temperatura ambiente, que da lugar a la ralentización de los mecanismos de depuración.
 - Variación en la composición del agua residual de la entrada.

- **Sobrecarga:** cuando la alimentación presenta cargas orgánicas por encima de las de diseño o el caudal supera el máximo de diseño, se produce un desequilibrio entre las fases de la depuración, con acumulación de ácidos, descenso del pH y generación de olores.

- **Crecimiento de malas hierbas y plantas acuáticas:** el crecimiento de plantas acuáticas provoca la proliferación de insectos. Además, la presencia de insectos y larvas atrae a las ranas, que a su vez atraen a los roedores, y éstos a las serpientes.

4.2.7. Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial.

En el STAR de la empresa del sector panelero, después del sistema de lagunas, las aguas residuales son conducidas hacia un último tratamiento: un humedal artificial de flujo subsuperficial, el cual se describe a continuación.

⁴⁹ MANUAL DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (MADRU). (2014). Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo / Monográficos Agua en Centroamérica.

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales⁵⁰.

El carácter artificial de estos humedales viene definido por las siguientes particularidades:

- El vaso del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo.
- Se emplean sustratos para el enraizamiento de las plantas diferentes al terreno original.
- Se eligen las plantas que van a colonizar el humedal.

En estos humedales crecen y se desarrollan diferentes tipos de vegetales, animales y microorganismos adaptados a estas condiciones, debido a esto, pueden ser considerados como un complejo ecosistema, en el cual, los principales autores son:

- **El sustrato:** que sirve de soporte a la vegetación, y permite la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula) que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.
- **La vegetación (macrófitas):** que contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y en la que también tiene lugar el desarrollo de la biopelícula.
- **El agua a tratar:** que circula a través del sustrato y de la vegetación.

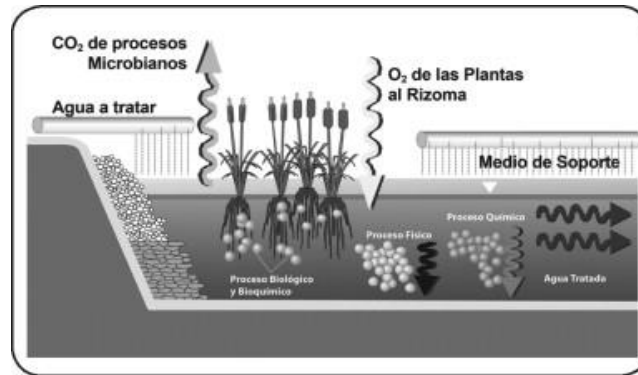
En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos.⁵¹

⁵⁰ MANUAL DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (MADRU). (2014). Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo / Monográficos Agua en Centroamérica.

⁵¹ KOLB, P. (1998). *Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós*. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur, Universität für Bodenkultur.

En la imagen 5 se muestran los principales componentes y procesos depurativos que se presentan en los humedales artificiales.

Imagen 5. Principales componentes y procesos depurativos en humedales artificiales.



Fuente: Luna-Pabello, V.; Aburto-Castañeda, S., 2014.

Los sistemas de flujo subsuperficial se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo). La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas.

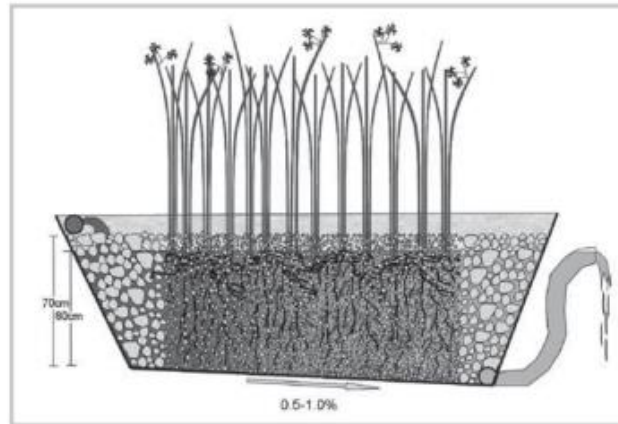
El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*), en donde toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo⁵².

El agua ingresa en forma permanente; es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). (Ver imagen 6). Por su parte, el sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel

⁵² KOLB, P. (1998). *Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós*. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur, Universität für Bodenkultur.

inferior a la superficie (5-10 cm), lo cual, se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento⁵³.

Imagen 6. Humedal artificial de flujo subsuperficial.



Fuente: Delgadillo, O. et al., 2010.

4.2.7.1. Ventajas y desventajas del tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales.

Los humedales artificiales, como cualquier otro sistema de depuración de aguas residuales, presentan una serie de ventajas e inconvenientes que pueden aconsejar o no su utilización⁵⁴.

Entre las ventajas se destacan:

- Consumo energético nulo si las aguas residuales a tratar pueden circular por gravedad hasta los humedales.
- Escasa generación de lodos en el tratamiento primario.
- Posible aprovechamiento de la biomasa vegetal generada (ornamentación, alimentación animal).

⁵³ DELGADILLO, O. et al. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la gestión y uso del agua. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Agronomía. Cochabamba, Bolivia.

⁵⁴ DELGADILLO, O. et al. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la gestión y uso del agua. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Agronomía. Cochabamba, Bolivia.

- Mínima producción de olores al no estar expuestas al aire las aguas a tratar en los humedales de flujo subsuperficial y por alimentarse con efluentes ya depurados los humedales de flujo superficial.
- Perfecta integración ambiental.

Entre los inconvenientes deben mencionarse:

- Exigen más superficie de terreno para su implantación que las tecnologías convencionales de depuración, lo que puede repercutir grandemente en los costes de construcción si conlleva la adquisición de los terrenos.
- Los humedales de flujo subsuperficial presentan riesgos de colmatación del sustrato, si este no se elige convenientemente, o si la instalación recibe vertidos anómalos con elevadas concentraciones de sólidos en suspensión o grasas.
- Pérdidas de agua por evapotranspiración, lo que incrementa la salinidad de los efluentes depurados.
- Posible aparición de mosquitos en los humedales de flujo libre.
- Los humedales artificiales presentan pocas posibilidades de actuación y control ante modificaciones de las condiciones operativas.

4.2.7.2. Problemas de operación más frecuentes en humedales de flujo subsuperficial.

La operación es muy importante si quieren obtenerse buenos resultados. Por tanto, debe contarse con un plan de operación y mantenimiento que debe escribirse durante la etapa de diseño final del sistema⁵⁵.

Los problemas de operación más frecuentes en humedales de flujo subsuperficial, se desarrollan cuando:

- El sustrato se encuentra colmatado.
- No se proporciona un contacto eficiente entre el agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.
- El flujo no está al alcance de todas las partes del humedal.
- No se mantiene un ambiente saludable para los microbios.

⁵⁵ LARA-BORRERO, J. et al. (2018). *Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. ISBN: 978-958-781-235-0.

4.2.8. Optimización de un sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR).

La palabra “optimizar” se refiere a la forma de mejorar alguna acción o trabajo realizado, esto da a entender que un proceso de optimización es buscar la forma de mejorar el uso de un recurso para que este tenga mejores resultados, mayor eficiencia o mejor eficacia.

El objetivo central es eliminar todas las barreras que impidan un buen desempeño. Por lo tanto, se ha optimizado un proceso cuando se han efectuado modificaciones en la fórmula usual de proceder y se han obtenido resultados que están por encima de lo regular o lo esperado. En este sentido, optimizar es realizar una mejor gestión de los procesos en función del objetivo que se persigue.

Lo anterior, implica que, en el proceso de optimización, a partir de un conjunto de posibles alternativas se seleccione aquella que mejor satisfaga los objetivos propuestos, concretándose en dos etapas principales: la formulación de un modelo de funcionamiento y la resolución y validación de dicho modelo.

Por lo tanto, adelantar un programa de optimización, requiere de la evaluación de la problemática actual del STAR, de los aspectos técnicos, institucionales, económicos, financieros y socioculturales, que no han permitido la utilización y el buen funcionamiento de la infraestructura construida para el tratamiento de las aguas residuales de la actividad en particular.

En la evaluación, es importante comparar cada componente del STAR con las condiciones de diseño, construcción y operación actual (dimensionamiento, aspectos constructivos, operacionales); con el objetivo de establecer la ocurrencia de errores en el diseño, construcción o si se han presentado condiciones que hayan influido en la operación normal.

El siguiente paso es realizar el plan de acción para la optimización del STAR. El plan debe contener la identificación de alternativas de solución a los principales problemas identificados, revisando cada uno de los componentes y estableciendo prioridades de acuerdo con el nivel de complejidad de las consecuencias. Una vez priorizados los mayores problemas e identificadas las soluciones, el ente administrativo debe concertar un cronograma de trabajo para dar solución a estos, definiendo los recursos disponibles, actividades y gestiones de orden técnico ambiental, administrativo y financiero para una efectiva implementación del programa.

Finalmente, es fundamental mantener su óptimo funcionamiento a través de un seguimiento oportuno que permita evaluar el desempeño del sistema, del operador mismo y de ser necesario permita realizar las correcciones pertinentes, buscando que el STAR continúe prestando el servicio para el cual fue diseñado, procurando cumplir las metas trazadas de calidad del efluente⁵⁶.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Para la total comprensión de este documento, es necesario que el lector tenga claro y pueda relacionar los conceptos que aquí se mencionan con el desarrollo y sentido del proyecto.

La actividad productiva del sector panelero genera vertimientos líquidos que se mezclan en un sistema único de drenaje y se caracteriza por su abundante materia orgánica como consecuencia de vertimientos de cachaza líquida y disposición de ceniza directa sobre las fuentes de agua superficial. Estos vertimientos, a su vez, aumentan los sólidos sedimentables en los lechos por el lavado de elementos y equipos de la planta, siendo sin duda, la generación de aguas residuales, el aspecto ambiental más significativo de la actividad del sector, tanto por los elevados volúmenes generados, como por la carga contaminante asociada a las mismas.

Cuando se habla de contaminantes del agua residual, se refiere a aquellos elementos que se han acogido a ella por ese uso que reviste, conteniendo presencia de grasas, materia orgánica, residuos agro ganaderos e industriales, detergentes, sustancias tóxicas, entre otros, que procedentes de las actividades cotidianas de la actividad humana se han constituido como un producto inevitable y por lo tanto resulta ineludible su tratamiento.

Ante tales condiciones, en este documento se enmarca la importancia de la depuración de estas aguas antes de ser liberadas a la naturaleza y entrar en contacto nuevamente con el entorno natural, siendo tratadas de un modo especial mediante la aplicación de diversos métodos y técnicas físicas, químicas y biológicas para su correcto tratamiento, siendo el objetivo final de este proceso

⁵⁶ PLAN NACIONAL DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES (PMAR). (2015). *Guía de optimización de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*. Serie: Prevención y control de la contaminación. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. ISBN 958-97878-4-3. [citado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://issuu.com/mundolimpiosasesp/docs/guia_optimizaci__n_tratamiento_agua>.

que el agua regrese al medio ambiente de manera depurada y cumpliendo los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad vigente.

Por consiguiente, se hace referencia a las alternativas empleadas en el STAR para tratar estas aguas mediante las llamadas “tecnologías apropiadas” siendo sin duda, el uso de lagunas de estabilización y de humedales artificiales, una muy buena alternativa en el tratamiento de las aguas residuales de la actividad en particular, la cual, funciona de forma óptima en climas tropicales y subtropicales como el de la región, dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación de la materia orgánica.

Sin embargo, se toma como base, que el complejo proceso que se lleva a cabo en lagunas de estabilización y humedales artificiales puede verse afectado por una gran variedad de factores, tales como la insolación, la temperatura, el viento, la precipitación, la evaporación, entre otros, que no están sujetos a control por el hombre y la percolación, la forma de la laguna, el área, la profundidad, las facilidades artificiales, los métodos operacionales, la sedimentación, etc., que por el contrario, sí están sujetos al control del hombre. Igualmente, se mencionan otros factores de tipo físico, químico y biológico que ante cualquier variabilidad o cambio afectarán directamente el sistema de tratamiento dando lugar a la aparición de síntomas de mal funcionamiento.

Por tanto, en el desarrollo de una propuesta de optimización del STAR, el diagnóstico ayudará a comprender qué sucede en él y, sobretodo, debe contribuir a normalizar su situación y darle sus condiciones adecuadas. De esta manera, proponer alternativas de optimización implica determinar las características de las aguas tratadas y la cantidad de contaminantes hallados, entre ellos, la cantidad de materia orgánica, lo anterior, con el objetivo de lograr una amplia variedad de información sobre el tipo y la concentración de los contaminantes hallados en el agua residual.

Así se contará con una recolección de datos confiables, ejecutada bajo ciertas consideraciones que evalúen el funcionamiento del STAR y en base a los problemas identificados, proponer alternativas de optimización que se guíen en soluciones eficaces, evaluadas a través de instrumentos metodológicos que representen el enlace entre la gestión ambiental y la gestión técnica, económica y administrativa e igualmente, aporten elementos para lograr su viabilidad global, haciendo que los proyectos o actividades que se propongan sean ambientalmente

satisfactorios y desde un punto de vista global se ajusten a las condiciones actuales del sistema para lograr una efectiva optimización, teniendo en cuenta el buen uso de las tecnologías, la calidad de agua deseada, los costos asociados y la normatividad ambiental vigente.

4.4. MARCO LEGAL

| Norma | Descripción | Artículo que aplica | Autoridad competente |
|---|--|---------------------|--|
| Decreto ley 2811 de 1974 | Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. | Todo | Presidencia de la República de Colombia |
| Ley 9 de 1979 | Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. | 1,8,10,11,15,50,72 | Congreso de Colombia |
| Ley 373 de 1997 | Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. | 1,2,11,17 | Congreso de Colombia |
| Decreto 4742 de 2005 derogado por el capítulo 6 del decreto 1076 del 2015 | Modifica el artículo 12 del DECRETO 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la LEY 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas. | Todo | Presidencia de la república de Colombia |
| Resolución 1207 de 2014 | Reúso de Aguas Residuales Tratadas. | Todo | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible |
| Resolución 0631 de 2015 | Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales | 5, 9 | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible |

| | | | |
|------------------------------------|---|--|--|
| | no domesticas - ARnD a cuerpos de aguas superficiales. | | |
| Decreto 1076 de 2015 | <p>Capítulo III</p> <p>Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.</p> | <p>Sección 1: 2.2.3.3.1.5, 2.2.3.3.1.7</p> <p>Sección 2: 2.2.3.3.2.1, 2.2.3.3.2.8</p> <p>Sección 4: 2.2.3.3.4.1, 2.2.3.3.4.3, 2.2.3.3.4.7 2.2.3.3.4.8,2.2.3.3.4.9, 2.2.3.3.4.10,2.2.3.3.4.11, 2.2.3.3.4.12,2.2.3.3.4.13 2.2.3.3.4.15,2.2.3.3.4.16</p> <p>Sección 5: Todo</p> | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible |
| Resolución 2659 de 2015 | Por la cual se modifica el artículo 21 de la Resolución 0631 de 2015. | 1 | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible |
| Resolución 0330 de 2017 - RAS 2017 | <p>Capítulo V</p> <p>Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2017.</p> | 166, 180, 183, 184, 185, 186, 198, 199, 201, 202 | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio |

Fuente: Autores.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo los objetivos propuestos, se tuvo en cuenta el desarrollo de tres fases durante la realización del trabajo, las cuales corresponden con cada objetivo específico planteado.

5.1. FASE 1 - DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN ACTUAL DEL STAR EN CUANTO A LAS CONDICIONES DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE TODOS SUS COMPONENTES CON RELACIÓN AL DISEÑO INICIAL.

Esta fase se orientó a conocer en detalle el funcionamiento actual del sistema en todos sus componentes con relación al diseño inicial. Se procedió con la recolección de información secundaria de distintos autores en cuanto al funcionamiento de los diversos procesos existentes en el STAR, así como de sistemas de lagunas y humedales subsuperficiales.

La evaluación se enfocó en el análisis del grado de ejecución de sus procesos, de las desviaciones en dichos procesos y de las modificaciones a realizar, con la finalidad de alcanzar la optimización que se requiere.

Las actividades desarrolladas en esta primera fase, se presentan a continuación:

5.1.1. Visitas técnicas de reconocimiento.

- Se realizaron visitas técnicas al sistema de tratamiento de aguas residuales del área de estudio, para conocer a fondo cada uno de los procesos y estructuras que conforman el sistema, los cuales vienen siendo administrados por el departamento de gestión ambiental de la empresa. Las visitas debieron planearse con anticipación, especificando los tiempos y movimientos de todas las actividades a realizar en campo, con el fin de recibir la autorización y colaboración necesaria por parte del Departamento de Gestión Ambiental. (*Anexo A: Matriz para la recolección de información general de la empresa y de su Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)*).

5.1.2. Recolección de información.

- Se recolectó información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales

similares al existente, teniendo como referente diferentes fuentes bibliográficas con el objetivo de identificar el estado de desarrollo alcanzado en el STAR y ampliar el conocimiento sobre el tema estudiado con el fin de aportar argumentos que contribuyan a justificar y definir el alcance de la investigación. *(Anexo B: Matriz para la recolección de información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales similares al existente).*

- Se solicitó información puntual del STAR a la persona responsable del área encargada de su manejo, en donde fue posible recolectar la mayor cantidad de información en específico (manual de operación y diseño del STAR, los análisis históricos de laboratorio en condiciones de afluente y efluente desde el inicio de operación del sistema de tratamiento de aguas residuales, etc).

5.1.3. Caracterización del agua residual.

- Se caracterizó el agua residual con el objetivo de conocer los atributos físicos y químicos del sistema de lagunas y el humedal de flujo subsuperficial en condiciones de afluente y efluente en el STAR. Para ello, se llevó a cabo la toma de muestras compuestas en afluente y efluente de cada tratamiento en modalidad tiempo constante durante una jornada de composición de seis (6) horas y en intervalos de tiempo de una (1) hora. Las muestras fueron compuestas por volúmenes iguales, calculando el volumen de cada alícuota teniendo en cuenta el volumen total requerido.

El volumen de cada alícuota colectada fue definido por la siguiente fórmula:

$$Va = \frac{V}{n}$$

Donde:

Va = Volumen de cada alícuota.

V = Volumen total a componer.

n = Número de muestras tomadas.

Para el cumplimiento de este ítem se planteó la realización de un (1) muestreo compuesto por cada laguna (anaerobia y facultativa), un (1) muestreo compuesto por el humedal de flujo subsuperficial y un (1) muestreo compuesto general del STAR (teniendo en cuenta el ingreso del agua al primer tratamiento y su salida del último tratamiento), analizando los parámetros físico-químicos

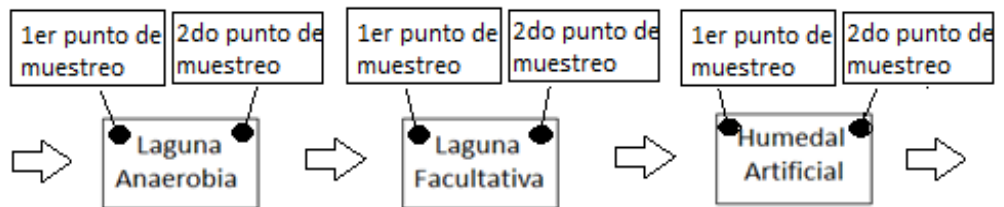
(ver tabla 2) del afluente y efluente de cada tratamiento como se muestra en el diagrama 2 a continuación:

Tabla 2. Parámetros físico-químicos a evaluar para análisis de las unidades del STAR.

| Parámetros | Unidad | Método | Ref. Est. Methods |
|------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Temperatura | °C | Termómetro | - |
| pH | Potencial de Hidrogeno | Electrométrico | - |
| DBO ₅ | mg/L | Electrodo de Luminiscencia | SM 5210 B, Edición 23:2017 |
| DQO | mg/L | Colorimétrico | SM 5220 D, Edición 23:2017 |
| SST | mg/L | Gravimetrico, Secado a 103 – 105 °C | SM 2540 D |

Fuente: Autores.

Diagrama 2. Ubicación de los puntos de muestreo para análisis del sistema de lagunas y del humedal artificial de flujo subsuperficial en el STAR.



Fuente: Autores.

Las muestras analizadas fueron recolectadas en sus respectivas botellas (polietileno y vidrio) debidamente rotuladas, cumpliendo todas las recomendaciones para la toma y preservación de muestras y fueron trasladadas para su análisis a las instalaciones de Analtec Laboratorios.

5.1.4. Evaluación operativa.

- Se realizó la evaluación operativa del cumplimiento de cada uno de los procesos de funcionamiento del STAR, mediante la realización de listas de chequeo que proporcionaron datos fáciles de comprender y reflejaron de manera pertinente

los problemas existentes en la operación del sistema (*Anexos C y D: listas de chequeo para la evaluación rutinaria y la verificación de acciones de control en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)*).

5.1.5. Determinación del grado de desviación.

- Se estableció el grado de desviación de cada operación y proceso unitario llevado a cabo dentro del STAR con relación a las condiciones de diseño inicial y partiendo de los resultados obtenidos en la evaluación operativa.

El grado de desviación de cada unidad se determinó mediante el cálculo del error absoluto y relativo. El error absoluto se determinó como la diferencia entre el valor de la eficiencia de diseño y la obtenida experimentalmente durante la caracterización del agua residual, este se connotó por ΔE y, por tanto, su expresión fue:

$$\Delta E = E - E_o$$

En donde:

ΔE = Error absoluto.

E = Eficiencia de diseño de la unidad de tratamiento.

E_o = Eficiencia real de la unidad de tratamiento.

No obstante, es conveniente resaltar la importancia relativa de esa desviación. Por ello, se definió el error relativo como el cociente entre el error absoluto (ΔE) y el valor de la eficiencia de diseño de la unidad de tratamiento (E); notándolo por ε y su expresión fue:

$$\varepsilon (\%) = \frac{\Delta E}{E} \times 100$$

El cálculo del error relativo permitió establecer el grado de desviación de cada unidad en relación a las condiciones de diseño inicial.

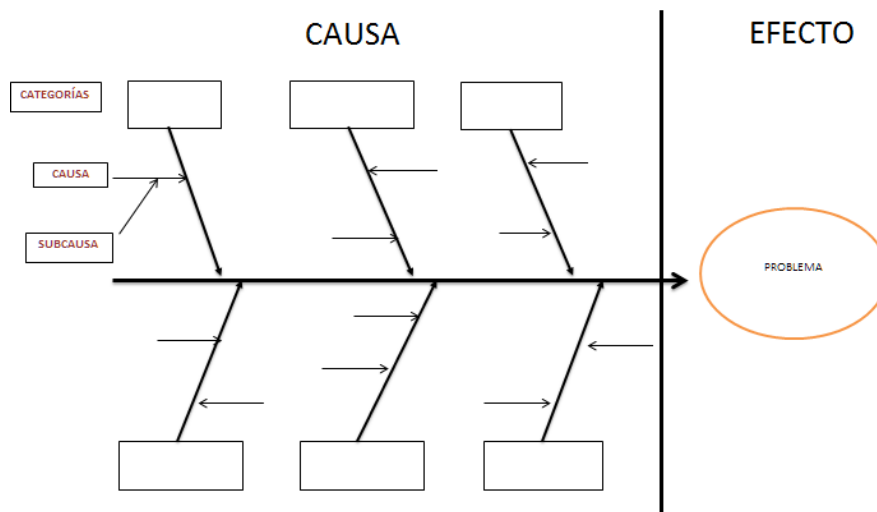
5.2. FASE 2 - EVALUACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO, LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN VIABLES.

La ejecución de esta fase, fue llevada a cabo mediante la realización de las siguientes actividades:

5.2.1. Análisis de las principales causas de cada problema o área a mejorar identificada.

- Se analizaron las principales causas de cada problema o área a mejorar identificada durante la evaluación operativa del STAR utilizando como herramienta el diagrama de Ishikawa, conocido también como diagrama causa-efecto. Esta herramienta permitió representar las causas de los problemas o situaciones específicas de las que se tuvieron pocos datos cuantitativos disponibles. (Diagrama 3).

Diagrama 3. Estructura general del diagrama Causa-Efecto.



Fuente: Ishikawa, 1943.

5.2.2. Priorización de los problemas identificados.

- Se priorizaron los problemas identificados de acuerdo a los criterios establecidos de impacto, casualidad, valoración social y urgencia. (*Anexo E: Matriz para la priorización de problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)*).

5.2.3. Proposición del alternativas de optimización.

- Se propusieron alternativas de optimización del STAR, las cuales luego de un proceso de evaluación permitieron la toma de decisiones que se guiaron en soluciones eficaces que desde un punto de vista global se ajusten a las condiciones actuales del sistema de tratamiento. (*Anexo F: Matriz para la*

generación de alternativas de solución a los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)).

5.2.4. Evaluación de las alternativas planteadas.

- Se evaluaron las alternativas planteadas desde el punto de vista ambiental, social y económico en donde se incluyó el análisis de variables como sus impactos sobre el medio ambiente, funcionamiento técnico, la viabilidad económica e impactos sociales que pudieron generarse. Para esta actividad se tuvo en cuenta la metodología de evaluación de impactos y alternativas mediante la jerarquización de las posibles afectaciones (*Anexo G: Matriz para la evaluación de alternativas en la solución de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)*) y el análisis de la relación beneficio-costos que permitió valorar el problema ambiental mediante una comparación del impacto económico que se tienen del problema actual frente a los costos que se tendrían para evitarlo.

El análisis de la relación beneficio-costos (B/C) se halló mediante la suma de los beneficios descontados y se dividió sobre la suma de los costos también descontados.

$$R \left(\frac{B}{C} \right) = \frac{\sum_{t=0}^n B_t}{\sum_{t=0}^n C_t}$$

En donde:

B_t = Beneficios en el periodo (t)

C_t = Costos en el periodo (t).

n = horizonte temporal o vida útil de la alternativa.

Para el análisis, se establecieron los costos de inversión inicial, costos recurrentes y beneficios del proyecto con base en los datos actuales. Se determinaron los beneficios cualitativos los cuales se clasificaron en diferentes grupos: ambientales, legales, sociales y de imagen corporativa de la empresa del sector panelero. Por último, se establecieron los beneficios económicos de la implementación de cada procedimiento de optimización.

Todo fue valorado mediante la construcción de un flujo de caja mediante la identificación de la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR); posteriormente se desarrollaron los cálculos del Valor Presente Neto (VPN) tanto a los costos como a los beneficios y luego se realizó el cálculo de la relación beneficio-costos (B/C) para identificar la rentabilidad del proyecto en caso de ser implementado.

Bajo este enfoque, en la conclusión de la viabilidad de las alternativas se tuvo en cuenta la comparación de la relación B/C así:

- $B/C > 1$ indicó que los beneficios superan los costos, por consiguiente, la alternativa debió ser considerada.
- $B/C = 1$ aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costos. (Dado que la alternativa no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida, la decisión debió basarse en otros criterios, como la viabilidad técnica, efecto a corto y largo plazo, sostenibilidad u otros factores).
- $B/C < 1$ muestra que los costos son mayores que los beneficios, por lo tanto, la alternativa no se debió considerar.

5.2.5. Consolidación de las alternativas de optimización.

- Se identificaron las alternativas de tratamiento óptimas en cuanto a lo ambiental, social y económicamente viable con base a los resultados de la evaluación de alternativas, con el objetivo de lograr una efectiva optimización del funcionamiento actual del sistema de tratamiento de aguas residuales.

5.3. FASE 3 - ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE OPTIMIZACIÓN DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL STAR PARA SU IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO.

El desarrollo de esta tercera fase tuvo como objetivo principal orientar mediante la elaboración de una guía las alternativas planteadas durante la fase anterior, con la finalidad de que la empresa inicie la implementación del programa de optimización del STAR y así mismo pueda realizar un seguimiento sobre el desarrollo de los procesos que se lleven a cabo.

Las actividades realizadas durante esta tercera fase se especifican a continuación:

5.3.1. Análisis de la información obtenida.

- Se analizó la información obtenida como resultado final de la realización de las fases anteriores. Este punto consistió en recabar los documentos y los datos, que una vez organizados, analizados y sistematizados, permitieron conocer los

procesos tal y como operan en el momento, y posteriormente se propusieron los ajustes que se consideraron convenientes.

5.3.2. Descripción de los objetivos de la guía de optimización.

- Se describieron claramente los objetivos que se desearon alcanzar con la elaboración de la guía con el fin de lograr de lograr la optimización del STAR. De esta manera, el departamento de gestión ambiental de la empresa tendrá claridad en cuanto a las actividades a desarrollar en la fase de implementación y seguimiento del programa de optimización.
- Se relacionó cada objetivo planteado en el programa de optimización. De esta manera fue posible conducir a un mejor desarrollo de los mismos y fijar instrucciones en cada uno de los procedimientos propuestos a realizar. El objetivo debió ser lo más concreto posible, y su redacción clara y en párrafos breves; además, la primera parte de su contenido debió expresar qué se hace; y la segunda, para qué se hace.

5.3.3. Consolidación de los procedimientos de optimización.

- Se propusieron procedimientos de optimización según los problemas identificados en el STAR. Una vez que todas las actividades fueron sometidas al análisis correspondiente, y se consideró que es necesario mejorar o rediseñar un procedimiento, se utilizó la técnica de los cinco puntos que se presenta a continuación, entre los que se encontraron las opciones de: eliminar, combinar, cambiar, mejorar o mantener dichos procedimientos.
- Se delimitaron los procedimientos de optimización establecidos. ¿Cuál es el procedimiento que se va a analizar?, ¿Dónde se inicia? o ¿Dónde termina? El primer punto que debe concretarse cuando se investigan uno o varios procedimientos, ya sea para describirlos, implantarlos, mejorarlos o sustituirlos, es el de definirlos con la mayor precisión posible. Se planteó tener en este punto: la denominación del procedimiento de optimización y su objetivo, su alcance, el método de trabajo, la descripción de las actividades, el tipo de evaluación a utilizar e instrucciones claras y precisas con información destacada para el desarrollo de los mismos.
- Se consolidaron los procedimientos de optimización en cuanto a lo ambiental, social y económicamente viable para la solución de los problemas identificados

en el funcionamiento del STAR de acuerdo a las características de las aguas tratadas.

- Se contextualizaron los procedimientos planteados de acuerdo a las características específicas de las aguas tratadas y la situación de la empresa.

5.3.4. Formulación de procesos de evaluación.

- Se formularon procesos de evaluación como método de seguimiento a los procedimientos planteados; es importante que durante la implementación del programa de optimización del STAR, fuera posible revisar y comprobar los logros obtenidos o en su defecto poder analizar sus errores, para así reafirmar los objetivos planteados y de esta manera autoevaluar el programa de optimización establecido.

5.3.5. Elaboración de la guía de optimización.

- Se elaboró la guía de optimización de los diferentes componentes del STAR para su implementación y seguimiento, de una manera ágil, dinámica, concreta y accesible, incluyendo elementos gráficos y muy visuales para garantizar su buen entendimiento y desarrollo.

La estructura general de la guía de optimización se presenta a continuación:

(CONTENIDO)

1. Introducción.
2. Objetivos.
 - 2.1. Objetivo General.
 - 2.2. Objetivos Específicos.
3. Alcance.
4. Metodo de trabajo.
5. Descripción de los procedimientos de optimización.
 - 5.1. Denominación del procedimiento.
 - 5.2. Descripción de las actividades.
 - 5.3. Programa de seguimiento, evaluación y control.
6. Conclusiones.
7. Recomendaciones generales.
8. Bibliografía.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentarán en detalle los resultados del trabajo, dando cumplimiento a los objetivos propuestos a partir de la implementación del diseño metodológico.

En primer lugar, se presenta un completo diagnóstico de la operación actual del STAR en cuanto a las condiciones de afluente y efluente de todos sus componentes con relación al diseño inicial; en segundo lugar, la evaluación desde el punto de vista ambiental, social y económico, de las diferentes alternativas de optimización viables de acuerdo con las características específicas de las aguas tratadas y la situación de la empresa; y por último la elaboración de la guía de optimización de los diferentes componentes del STAR para su implementación y seguimiento.

6.1. FASE 1 - DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN ACTUAL DEL STAR EN CUANTO A LAS CONDICIONES DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE TODOS SUS COMPONENTES CON RELACIÓN AL DISEÑO INICIAL

6.1.1. Matriz para la recolección de información general de la empresa y de su Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

Se realizaron visitas técnicas al sistema de tratamiento de aguas residuales del área de estudio, para conocer a fondo cada uno de los procesos y estructuras que conforman el sistema.

En la tabla 3 se presenta la información general recolectada de la empresa y de su sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR).

Tabla 3. Matriz para la recolección de información general de la empresa y de su sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR).

| RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA DEL SECTOR PANELERO Y DE SU SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) | | | | | | | |
|---|---|-------------------------|---------------|-------------------------|----|---------------------|----|
| Fecha de constitución de la empresa: | Noviembre 29 de 1999 / N° de matrícula: 34805 | N° de empleados: | 217 empleados | N° de turnos/día | 03 | | |
| Funcionamiento: | Continuo | Horas/día: | 24 | Días/semana: | 06 | Semanas/mes: | 04 |
| 1. PROCESO DE ELABORACIÓN DE PANELA | | | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Campo <ul style="list-style-type: none"> - Adecuación de terreno para el cultivo de caña. - Preparación de suelos para remover residuos de cultivos anteriores. - Riego de germinación. - Labores de control (plagas, subsuelo, abonamiento, reguladores de crecimiento con productos orgánicos). - Corte del cultivo. Residuo: material de empaque. | | | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Cosecha <ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de maduradores orgánicos. - Corte manual de la caña (verde limpia). - Alce de caña (mecánico). - Transporte. - Entrega en báscula (pesado y tabulado). | | | | | | | |

- **Fábrica:**

Moler: Se utilizan picadoras y desfibradoras con el propósito de desbaratar la caña y llevarla al molino en forma más uniforme, continua y fácil de moler. En el proceso de molienda se cuenta con tres molinos en serie, de tal forma, que la caña se muele tres veces para obtener una mejor extracción y rendimiento.

Producto en proceso: Jugo de caña.

Residuos: Bagazo y bagacillo (sirve como biocombustible para las calderas en el proceso de elaboración de la panela).

Clarificar: En este equipo se le retiran las impurezas que lleva el jugo para dejarlo muy limpio, posteriormente es llevado a los evaporadores para convertirlo en miel.

Insumo: Hidróxido de calcio Ca(OH)_2
Ácido fosfórico (H_3PO_4)
Floculante poliacrilamida

Producto en proceso: Meladura clarificada.

Residuos: Impurezas del jugo de caña (cachaza).

Moldear: Los operarios de forma manual elaboran las diferentes formas de la panela, pasando primero por el punteo, después por el paneleo, moldeo, secado y marcado.

Producto en proceso: Panela moldeada

Residuo: Sobrante de panela.

Empacar:

Producto terminado: Panela empacada de 500 y 1000 gramos.

2. ENTRADA DE AGUA

| | |
|---|--|
| Sistema de medición del afluente: | Medidor de flujo (agua potable) Medidor de flujo (pozo) |
| Usos del agua*: | Consumo humano, doméstico e industrial |
| ¿Utiliza agua en el proceso o en otra actividad? | Operaciones de lavado y limpieza de instalaciones y equipos para el mantenimiento de las condiciones higiénicas y sanitarias en la planta productora |
| Fuente de abastecimiento**: | Fuente subterránea (uso industrial) Acueducto municipal (uso doméstico y consumo humano) |
| Tiene concesión de aguas: (Solicitar número y fecha) | Agua subterránea Res. 0730 N° 000439 del 08 julio de 2015 |
| Consumo (m³/mes): | 12600,6 m ³ /mes |
| ¿Cuentan con una política interna | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| para la optimización y minimización del uso de tal recurso? | SI | NO | |
| 3. SALIDA DE AGUA (Vertimiento) | | | |
| Sistema de medición del efluente: | Método Volumétrico | | |
| Volumen total vertido (m ³ /mes): | 6402,24 m ³ /mes | | |
| Tipo de vertimiento***: | Aguas residuales domésticas e industriales | | |
| Clase de descarga****: | Continua | | |
| Tiempo de descarga del vertimiento: | Horas/día: | Días/semana: | Semanas/mes: |
| | 24 | 07 | 04 |
| Tipo de fuente receptora: | Fuente superficial | | |
| *USOS DE AGUA: Consumo humano, domestico, industrial, etc. | | | |
| ** FUENTE DE ABASTECIMIENTO: Fuente superficial, fuente subterránea, acueducto municipal, etc. | | | |
| ***TIPO DE VERTIMIENTO: 1: Aguas residuales industriales, 2: aguas residuales domésticas, 3: aguas residuales domesticas e industriales. | | | |
| **** CLASE DE DESCARGA: continua – intermitente | | | |
| Tiene resultados de monitoreo realizados al vertimiento: (Si la respuesta es sí solicitar copia) | SI | NO | |
| 4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | | | |
| ETAPAS | UNIDADES DE TRATAMIENTO | | |
| Pretratamiento | Trampa de grasas Cribado Acondicionamiento de pH Tanque de igualación de caudales | | |
| Primario | Sedimentador de Lodos | | |
| Secundario | Laguna Anaerobia Laguna Facultativa Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial | | |
| REMOCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | | | |
| Volumen de agua residual tratada (m ³ /mes): | 6402,24 m ³ /mes | | |
| Parámetro | Punto de muestreo | Valor Máximo Permisible (mg/L) Resolución 0631/2015 | Observaciones |
| | Salida STAR | | |
| DBO ₅ (mg/L) | 3073,1 | 500 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| SST (mg/L) | 420,9 | 200 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |

Fuente: Autores.

6.1.2. Información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales similares al existente.

Tabla 4. Recolección de información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales similares al existente.

| LAGUNA ANAEROBIA | | | |
|---|--|---|---------------------------|
| AUTOR | CONDICIONES SEGÚN LOS AUTORES | CONDICIONES DEL STAR | CUMPLE / NO CUMPLE |
| Romero (1999). | Profundidades entre 2 a 5 metros. | Profundidad útil: 3 metros. | |
| | Tiempo de Retención Hidráulico entre 2-5 días. | Tiempo de Retención Hidráulico: 11 días. | |
| | Carga Orgánica Volumétrica mayores a 100 g DBO ₅ /m ³ d. | Carga Orgánica Volumétrica: 411,5 DBO ₅ /m ³ d. | |
| Oakley (2005). | pH entre 6,8 y 7,2 con predominio de la fase metanogénica sobre la fase acidogénica o formación de ácidos volátiles. | pH máximo: 8,0 pH mínimo: 5,9 | |
| | Para bacterias anaerobias viven en temperaturas entre 30 y 35°C (mesófilas). | Temp.máxima: 33,7°C Temp.mínima: 30,3°C | |
| Rolim (2000); Conagua/ IMTA (2007^a; 2007b). | No existe Oxígeno Disuelto. | Oxígeno Disuelto: 0 mg/L | |
| LAGUNA FACULTATIVA | | | |
| AUTOR | CONDICIONES SEGÚN LOS AUTORES | CONDICIONES DEL STAR | CUMPLE / NO CUMPLE |
| MORENO M. (1991). | Profundidades entre 1 a 2 metros. | Profundidad útil: 1,5 metros. | |
| EPA (1999). | Existe Oxígeno Disuelto. | Producción de Oxígeno Disuelto. | |

| | | | |
|--|---|--|---------------------------|
| Gloyna (1971); Feachem, et ál. (1977); Rolim (2000); Oakley (2005). | Tiempo de Retención Hidráulico entre 7 a 10 días. | Tiempo de Retención Hidráulico: 4,8 días. | |
| | El pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden 7,5 a 8,5. | pH máximo: 5,8 pH mínimo: 4,5 | |
| | Temperatura óptima para la producción de oxígeno está en un intervalo de 20 a 25°C. | Temp.máxima: 28,2°C Temp.mínima: 26,4°C | |
| HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL | | | |
| AUTOR | CONDICIONES SEGÚN LOS AUTORES | CONDICIONES DEL STAR | CUMPLE / NO CUMPLE |
| KOLB, P. (1998). | Profundidad de agua cercana a los 0,6 metros. | Profundidad: 1,0 metro. | |
| | La vegetación está compuesta por macrófitas acuáticas. | No cuenta con vegetación compuesta por macrófitas acuáticas. | |
| DELGADILLO, O. et al. (2010). | Mínima producción de olores. | No se generan olores ofensivos. | |

Fuente: Autores.

| Convenciones: | |
|---|--|
| CUMPLE CON LO ESTABLECIDO POR LOS DIFERENTES AUTORES | |
| NO CUMPLE CON LO ESTABLECIDO POR LOS DIFERENTES AUTORES | |

Según los resultados obtenidos en la recolección de información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales similares al existente, se determinó que el STAR de la empresa del sector panelero no cumple con seis (6) de los catorce (14) criterios evaluados, es decir, que el sistema no cumple con el 50% de los criterios recomendados según lo establecido por los diferentes autores.

6.1.3. Recolección de información puntual del STAR mediante solicitud escrita a la persona responsable del área encargada de su manejo.

Se recolectó la mayor cantidad de información del STAR, en donde fue posible obtener el manual de operación y diseño del sistema y los análisis históricos de laboratorio en condiciones de afluente y efluente desde el inicio de operación del STAR.

En la tabla 5 se presentan los análisis históricos de laboratorio en condiciones de afluente y efluente desde el inicio de la operación del STAR de la empresa del sector panelero.

Tabla 5. Análisis históricos de laboratorio en condiciones de afluente y efluente desde el inicio de operación del STAR.

| Fecha | Parametro | Punto de Muestreo | | Valor Máximo Permisible (mg/L) Resolución 0631/2015 | Observaciones |
|------------------|-------------------------|-------------------|-------------|---|--|
| | | Entrada STAR | Salida STAR | | |
| Mayo 28 de 2015 | DBO ₅ (mg/L) | 6100 | 2869,08 | 500 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | SST (mg/L) | 1600 | 71,00 | 200 | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| Abril 18 de 2016 | DBO ₅ (mg/L) | * | 951 | 500 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | DQO (mg/L) | * | 1045 | 900 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | SST (mg/L) | * | 420,9 | 200 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | pH (unidades de pH) | * | (4,1 – 6,7) | (6,0 – 9,0) | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | Temperatura máxima (°C) | * | 29,6 | 40 | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |

| | | | | | |
|--------------------|-------------------------|------|-------------|-------------|--|
| Mayo 03 de 2017 | DBO ₅ (mg/L) | * | 1358,7 | 500 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | DQO (mg/L) | * | 751,2 | 900 | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | SST (mg/L) | * | 266,4 | 200 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | pH (unidades de pH) | * | 8,4 | (6,0 – 9,0) | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | Temperatura máxima (°C) | * | 30,2 | 40 | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| Febrero 07 de 2018 | DBO ₅ (mg/L) | 5611 | 3073,1 | 500 | No se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | SST (mg/L) | 400 | 192,5 | 200 | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | pH (unidades de pH) | * | (4,4 – 5,5) | (6,0 – 9,0) | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |
| | Temperatura máxima (°C) | * | 29,1 | 40 | Se encuentra dentro del valor máximo permisible por la norma. |

Fuente: Empresa del sector panelero.

6.1.4. Caracterización del agua residual con el objetivo de conocer los atributos físicos y químicos del sistema de lagunas y el humedal de flujo subsuperficial en condiciones de afluente y efluente en el STAR.

Los resultados de la caracterización del agua residual del sistema de lagunas y el humedal de flujo subsuperficial en condiciones de afluente y efluente se presentan a continuación:

Tabla 6. Resultados de la caracterización del agua residual del sistema de lagunas y el humedal artificial de flujo subsuperficial.

| FECHA DE TOMA DE MUESTRAS: 13/03/2019 | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|------------|------------|-------|---|
| Punto de Muestreo | Parametro | Afluente | Efluente | E (%) | Observaciones |
| Laguna Anaerobia | DBO ₅ (mg/L) | 14781 | 8745 | 40,8 | Presenta un nivel de funcionamiento aceptable en la remoción de DBO ₅ . |
| | DQO (mg/L) | 22297 | 16369 | 25,4 | Presenta un bajo nivel de funcionamiento en la remoción de DQO. |
| | SST (mg/L) | 1056 | 320 | 69,7 | Presenta un nivel de funcionamiento adecuado en la remoción de SST. |
| | pH (unidades de pH) | 8,0 (Máx) | 5,8 (Máx) | - | Cumple con los valores recomendados para el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento biológico aunque presenta tendencia a valores bajos de pH. |
| | | 5,9 (Min) | 4,5 (Min) | - | |
| | Temperatura (°C) | 33,7 (Máx) | 30,8 (Máx) | - | Cumple con los valores recomendados para el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento biológico. |
| 30,0 (Min) | | 27,7 (Min) | - | | |
| | DBO ₅ (mg/L) | 8745 | 8762 | -0,19 | Presenta un nivel de funcionamiento deficiente en la remoción de DBO ₅ . |
| | DQO (mg/L) | 16369 | 14050 | 15,6 | Presenta un bajo nivel de funcionamiento en la remoción de DQO. |
| | SST (mg/L) | 320 | 238 | 25,6 | Presenta un nivel de funcionamiento aceptable en la |

| | | | | | |
|---------------------------|---|-------------------------|------------|------|---|
| Laguna Facultativa | | | | | remoción de SST. |
| | pH (unidades de pH) | 5,8 (Máx) | 5,9 (Máx) | - | Cumple con los valores recomendados para el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento biológico aunque presenta tendencia a valores bajos de pH. |
| | | 4,5 (Min) | 4,6 (Min) | - | |
| | Temperatura (°C) | 30,8 (Máx) | 28,2 (Máx) | - | Cumple con los valores recomendados para el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento biológico. |
| | | 27,7 (Min) | 26,4 (Min) | -. | |
| | Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial | DBO ₅ (mg/L) | 8762 | 8829 | -0,76 |
| DQO (mg/L) | | 14050 | 13620 | 3,1 | Presenta un bajo nivel de funcionamiento en la remoción de DQO. |
| SST (mg/L) | | 238 | 179 | 24,8 | Presenta un nivel de funcionamiento aceptable en la remoción de SST. |
| pH (unidades de pH) | | 5,9 (Máx) | 5,9 (Máx) | - | Cumple con los valores recomendados para el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento biológico aunque presenta tendencia a valores bajos de pH. |
| | | 4,6 (Min) | 4,6 (Min) | - | |
| Temperatura (°C) | | 28,2 (Máx) | 29,6 (Máx) | - | Cumple con los valores recomendados para el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento biológico. |
| | 26,4 (Min) | 28,2 (Min) | - | | |

Fuente: Analtec Laboratorios.

Según los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual del STAR se observa un crecimiento de la DBO_5 en el efluente de la laguna facultativa y del humedal artificial de flujo subsuperficial, lo cual puede deberse, desde el punto de vista teórico, a las siguientes razones:

- La relación de la materia orgánica soluble a la materia orgánica suspendida, los sólidos sedimentables, la presencia de hierro en su forma oxidada o reducida y la presencia de compuestos azufrados.
- La circulación del agua a través del sistema de lagunas y el humedal artificial de flujo subsuperficial es afectada por la forma y tamaño de las unidades de tratamiento, la situación de entradas y salidas, velocidades y direcciones de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad dentro de los estanques. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de las lagunas en las que el agua permanece estancada durante largos períodos de tiempo.

6.1.5. Evaluación operativa del cumplimiento de cada uno de los procesos de funcionamiento del STAR.

La evaluación operativa del STAR se orientó al análisis del grado de ejecución de sus procesos, de las desviaciones en dichos procesos y de las modificaciones a realizar, con la finalidad de alcanzar la optimización que se requiere.

Se realizó una lista de chequeo para la evaluación operativa del sistema de tratamiento de aguas residuales, otorgándole a criterio de los autores una calificación numérica a la evaluación del STAR donde se evidenciaron valores máximos y mínimos que permitieron entender de manera pertinente los problemas existentes en la operación del sistema, donde el valor cinco (5) en la escala de importancia fue la calificación más alta y uno (1) la calificación más baja.

En las tablas 7 y 8 se presentan respectivamente los resultados de la evaluación y la verificación de acciones de control en el sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR).

Tabla 7. Lista de chequeo para evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| LISTA DE CHEQUEO | EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------|----------------------|--|
| | ITEM | Pobre o incompleto | Regular o intermedio | Muy bueno/bueno |
| 1. VERIFICACIÓN DEL EXTERIOR | | | | |
| Ubicación | | | 5 | En particular, el STAR contempla la dinámica del desarrollo urbano prevista a corto, mediano y largo plazo de las áreas habitadas y las proyectadas en los próximos años. Este se encuentra ubicado en la zona rural de su municipio, con una distancia considerable de amortiguamiento respecto a las zonas residenciales o ecosistemas ambientalmente sensibles. |
| Acceso | | 3 | | El sistema cuenta con caminos o conductos externos en buen estado pero en tamaño limitado, los cuales brindan facilidad de ingreso al personal aunque en ocasiones presenta dificultades de acceso de equipos de mayor tamaño. |
| Infraestructura | | 3 | | Las condiciones físicas de infraestructura del STAR no se encuentran en condiciones de garantizar la eficiencia de diseño propuesta en la formulación del proyecto para el tratamiento de las aguas residuales de la empresa en particular. |
| Vías de | | | | El sistema cuenta con caminos o conductos internos en buen estado lo cual ayuda a brindar al |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| circulación interna | | | 4 | personal o a los operarios una facilidad de ingreso, acceso de equipos de mantenimiento a lo largo de su trazado. |
| Estabilidad del Terreno | | | 5 | Las dimensiones y la tipología del STAR se encuentran construidas de tal forma que las cargas generadas por las estructuras no pongan en peligro la obra o generen situaciones de inestabilidad de las propias estructuras o del terreno. |
| Distancia de zonas residenciales | | | 4 | El STAR se encuentra localizado a una distancia considerable de las amplias zonas de importancia social, cumpliendo con lo estipulado en la resolución 0330 de 2017 estando una distancia mínima de 500 metros de los centros poblados. Sin embargo hay algunas viviendas dispersas en la zona. |
| Contorno del STAR | | 3 | | El contorno del STAR no se encuentra en óptimas condiciones, debido a que no se realizan constantes actividades de limpieza y mantenimiento de las vías, vegetación y disposición de residuos de cachaza. |
| Sistema de mitigación de olores y vectores | 1 | | | El STAR no cuenta con un sistema de mitigación de olores y vectores diseñado para tal fin, sin embargo, este no presenta mayores problemáticas de olores ni vectores en el área. |
| Mantenimiento | | 3 | | En general, el mantenimiento que se realiza para conservar en buen estado las instalaciones y equipo de la planta; asegurando su buen funcionamiento y alargando |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| del Sistema | | | | su vida útil, no se realiza con la debida frecuencia para prevenir desperfectos. |
| 2. DOCUMENTOS | | | | |
| Manual de operaciones | | 3 | | La adecuada operación de los diferentes procesos para garantizar el correcto funcionamiento del sistema diseñado se encuentra descrita en el Manual de Operación y Mantenimiento del STAR, sin embargo, el programa descrito no se ejecuta adecuadamente. |
| Caracterización de vertimientos | | 3 | | La administración del STAR, no realiza constantes monitoreos sobre la calidad del vertimiento efectuado a la fuente superficial. |
| Permiso de vertimientos | | | 5 | El STAR cuenta con un permiso de vertimientos vigente expedido por la Autoridad Ambiental |
| Calidad del vertimiento | 1 | | | La calidad del agua vertida no cumple con los parámetros dispuestos en la legislación nacional vigente. |
| Plan de manejo de vertimientos | 1 | | | El STAR no cuenta con un plan de manejo de vertimientos diseñado que permita avanzar en el saneamiento y el tratamiento de las aguas residuales derivadas de la actividad productiva de la empresa. |
| Plan de contingencia y emergencias | | | 5 | El STAR cuenta con una estructura estratégica y operativa construida que ayuda a controlar una situación de emergencia y minimizar sus consecuencias negativas. |
| | | | | El STAR cuenta con pocos operarios dedicados a las |

| | | | | |
|---|----------|----------|----------|---|
| Certificados académicos de operarios | | 3 | | labores de operación y mantenimiento del STAR. Gran porcentaje de ellos no cuenta con documentos oficiales que acrediten sus conocimientos. Sin embargo, cuentan con experiencia empírica en el área. |
| 3. FUNCIONAMIENTO | | | | |
| ¿Se encuentra en funcionamiento ? | | | 5 | El STAR se encuentra en total funcionamiento en cada una de sus etapas. |
| Control de pH | 1 | | | Se presentan condiciones de pH muy variables con tendencia a ser ácido. Esta condición genera situaciones técnicas restringidas para las plantas y microorganismos presentes en el STAR. |
| Control de espumas | | | 5 | Se tiene un control de espumas en el tratamiento secundario de las aguas residuales industriales producidas por la empresa. |
| Control de sobrecarga hidráulica | 1 | | | No se tiene control de las situaciones de sobrecarga hidráulica en el STAR, lo cual genera serios problemas en el proceso de tratamiento que producen un desequilibrio entre las fases de la depuración, con acumulación de ácidos, descenso del pH y generación de olores. |
| Control de dosificación de cal | 2 | | | El control sobre la dosificación de cal no es el adecuado para el óptimo funcionamiento, ya que los resultados obtenidos para el pH en el proceso no han sido los esperados. |
| | 1 | | | No se tiene control sobre las situaciones de descarga de insumos industriales que son utilizados en el proceso |

| | | | | |
|--|---|--|---|---|
| Control de insumos industriales utilizados en el proceso productivo | 1 | | | productivo y que llegan finalmente al STAR. Esta condición, genera serios problemas principalmente al observarse la presencia de ácido fosfórico en cantidades que alteran el funcionamiento del STAR, además de las características físicas y químicas del cuerpo receptor. |
| Válvulas de entrada | 2 | | | Las válvulas de entrada a las unidades del STAR, no cumplen su función principal de regular el paso de las aguas residuales a tratar, en sentido que se pueda iniciar, detener o regular la circulación de dichos líquidos mediante una pieza movable que pueda abrirse o cerrarse y que obstruya en forma parcial o total los conductos de ingreso del agua a las unidades de tratamiento. |
| Cribado | | | 5 | El cribado en el STAR funciona adecuadamente ya que su función de separar el material grueso que llega de los diferentes procesos de elaboración de panela se retienen en el en el mismo con el fin de no obstruir el funcionamiento de válvulas, tuberías y equipos de las siguientes unidades de tratamiento. |
| Trampa de grasas | | | 5 | La trampa de grasas en el STAR funciona adecuadamente, ya que su función de retener la mayor cantidad de grasas y aceites antes de que llegue a las siguientes unidades de tratamiento se hace correctamente y no afecta el buen funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas residuales industriales |

| | | | | |
|--|---|---|--|---|
| | | | | producidas por la empresa. |
| Tanque de igualación de caudales y bombeo | | 3 | | El tanque de igualación de caudales y bombeo en el STAR no funciona adecuadamente ya que la función de amortiguar las variaciones de caudal del afluente a tratar y controlar las cargas de choque orgánicas no obtiene los resultados esperados. |
| Laguna Anaerobia | 1 | | | En la laguna Anaerobia se está produciendo un descenso de pH bastante notable (condiciones altamente ácidas). Lo cual inhibe la actividad microbológica en dicha laguna para remover la materia orgánica presente en el afluente. |
| Laguna Facultativa | 2 | | | En la laguna facultativa hay presencia de ceniza en la superficie por las actividades de la caldera en el proceso de producción de la panela. Esta acumulación de ceniza afecta la actividad biológica de la zona aerobia al disminuirse el traspaso de los rayos solares y con ello se afecta la actividad fotosintética efectuada por las algas |
| Humedal de flujo subsuperficial | 1 | | | El humedal de flujo subsuperficial presenta condiciones de operación inaceptables. Actualmente, es prácticamente inexistente la presencia de plantas específicas que complementen el tratamiento del agua debido a la presencia de plantas invasoras, las cuales, compiten por nutrientes y espacio con la vegetación específica del humedal. |

| | | | | |
|---------------------------------------|--|--|---|---|
| Tratamiento de lodos primarios | | | 5 | El sedimentador de lodos funciona adecuadamente ya que su función de separar las partículas suspendidas más pesadas que el agua a tratar se realiza eficientemente mediante la acción de la gravedad. |
|---------------------------------------|--|--|---|---|

Fuente: Autores.

| ESCALA DE IMPORTANCIA | |
|-----------------------|------------|
| 1 | POBRE |
| 2 | INCOMPLETO |
| 3 | REGULAR |
| 4 | INTERMEDIO |
| 5 | MUY BUENO |

Tabla 8. Lista de chequeo para la verificación de acciones de control en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| LISTA DE CHEQUEO | ACCIONES DE CONTROL - SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) | | |
|---|---|----|---|
| ACCIONES DE CONTROL | SI | NO | OBSERVACIONES |
| ¿Los procesos de producción son proyectados y operados para generar el menor impacto ambiental posible? | | | La empresa en su proceso de producción es proyectada a su crecimiento con el fin de que se pueda lograr la satisfacción del cliente, cubriendo las necesidades que se extraen de su demanda mediante su producto terminado (panela), más no para operar generando el menor impacto ambiental posible. |
| ¿Se utiliza la mejor tecnología disponible para la prevención de los daños ambientales? | | | La empresa cuenta con algunos programas en tecnología ambiental tales como manejo integral de los residuos sólidos, RESPEL y tratamiento de aguas residuales. |
| ¿Se considera la inversión en nuevas tecnologías para evitar o minimizar los daños ambientales? | | | No cuentan con inversión en nuevas tecnologías para minimizar los daños ambientales producidos en la empresa. |
| ¿Cuentan con una política interna para la optimización y minimización del uso del agua? | | | La empresa no cuenta con una política interna ni programas que se encuentren enfocados en la minimización del uso del agua. |
| ¿Tiene resultados de monitoreo realizados al vertimiento? | | | Se cuenta con un registro histórico de los resultados obtenidos en las caracterizaciones realizadas al vertimiento. |

| | | | |
|---|--|--|---|
| ¿Son tomadas acciones para minimizar los efluentes generados? | | | La empresa no toma acciones de minimización del efluente generado con el fin de disminuir la carga orgánica generada en el vertimiento. |
| ¿Se realizan análisis de las descargas de los efluentes? | | | Se realizan análisis físicos a los efluentes a tratar por medio de mediciones de pH y temperatura dos veces al día. |
| ¿Los valores de las descargas se encuadran con los valores exigidos por la normativa aplicable vigente? | | | En la caracterización más reciente de las aguas tratadas en condiciones de afluente y efluente del STAR, se evidencia que los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) no cumplen con los valores máximos permisibles de vertimiento al cuerpo de agua superficial en cuanto a la normatividad nacional (resolución 0631 de 2015, artículo 9 - páginas 8 y 9). |
| ¿Los muestreos son realizados por personas que fueron capacitadas para desarrollar tal tarea? | | | Los muestreos realizados por la empresa cuentan con profesionales y/o técnicos debidamente capacitados en la realización de toma de muestras de agua, y con conocimientos básicos en aguas residuales. |
| ¿El laboratorio responsable de realizar los análisis utiliza técnicas estandarizadas y cuenta con el reconocimiento y la confiabilidad en la tarea desarrollada? | | | El laboratorio responsable de los análisis cuenta con acreditación ante el IDEAM bajo la Norma NTC – ISO –IEC 17025:2005, en las mediciones analíticas se utilizan métodos y equipos que han sido probados para asegurar que sean adecuados para el propósito buscado y el personal que realiza las mediciones se encuentra calificado y competente para realizar dichas tareas. |
| ¿Cumplen con el pago de tasas? | | | Se realiza el pago de tasa retributiva en el primer y segundo semestre de cada año por la utilización del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales directos o indirectos generados por la empresa. |
| ¿Se encuentran libres de sanciones administrativas (multas, inhabilitaciones, etc.)? Especificar | | | La empresa no cuenta con sanciones administrativas por parte de la autoridad ambiental. |
| ¿El STAR se encuentra en buen estado y no se ha registrado algún tipo de incidente que pueda haber generado una alteración o contaminación del cuerpo de agua receptor de las | | | Se registró un incidente hace dos años el cual fue causado por la caída de un caballo a la laguna facultativa, lo cual produjo la desestabilización de dicha laguna e infiltración del agua a tratar al suelo. |

| | | | |
|---|--|--|---|
| descargas cloacales? | | | |
| ¿Se reduce al máximo la probabilidad de ocurrencia de incidentes (pérdidas o derrames) que afecten el ambiente? | | | No se ha registrado ningún tipo de incidente que haya causado daño al medio ambiente. |
| ¿Cuentan con una política interna para la optimización y minimización del vertimiento del STAR? | | | La empresa no cuenta con una política interna en la optimización y minimización del vertimiento del STAR. |

Fuente: Autores

6.1.6. Determinación del grado de desviación de cada operación y proceso unitario llevado a cabo dentro del STAR.

A continuación, en la tabla 9, se presentan los resultados obtenidos en la determinación del grado de desviación del STAR en todos sus componentes en relación al diseño inicial.

Para la determinación del grado de desviación de los componentes del STAR, se tuvo en cuenta la eficiencia de diseño (E) y la eficiencia real de cada unidad de tratamiento (E_o) obtenida en la caracterización más reciente del agua residual en el parámetro de DBO_5 (Ver tabla 6). En efecto, se calculó el error absoluto (ΔE) y relativo (ϵ) entre la eficiencia real y de diseño de cada unidad evaluada, estableciendo el grado de desviación de cada componente en relación a las condiciones de diseño inicial.

Tabla 9. Determinación del grado de desviación del STAR en todos sus componentes con relación al diseño inicial.

| Componente del STAR | E (%) | E_o (%) | (ΔE) | ϵ (%) |
|--|-------|-----------|----------------|----------------|
| Laguna Anaerobia | 70% | 40,8% | 29,2 | 41,7 |
| Laguna Facultativa | 80% | -19,4% | 99,4 | 124,3 |
| Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial | 70% | -0,76% | 70,8 | 101,1 |

Fuente: Autores

| CONVENCIONES | |
|--------------------------|---|
| E (%) | Eficiencia de diseño de la unidad de tratamiento. |
| E_o (%) | Eficiencia real de la unidad de tratamiento |
| (ΔE) | Error absoluto. |
| ε (%) | Error relativo |

Según los datos anteriores, la unidad de tratamiento más eficiente del STAR es la laguna anaerobia con un 40,8% de eficiencia y la unidad de tratamiento menos eficiente es la laguna facultativa con un (-19,4%). El valor negativo en la eficiencia real (E_o) de la laguna facultativa y el humedal artificial de flujo subsuperficial se debe al incremento de la DBO₅ que se presenta en el efluente de las unidades mencionadas.

Una vez determinado el grado de desviación de cada componente en relación a las condiciones de diseño inicial, se establece que la laguna anaerobia, facultativa y el humedal artificial de flujo subsuperficial presentan un porcentaje de desviación del 41,7%, 124,3% y 101,1 % respectivamente.

Las desviaciones presentadas en dichos procesos se deben a diversos problemas de funcionamiento que se presentan en el STAR, los cuales se especifican a continuación:

- La operación unitaria de mezclado en el punto de adición de cal no se hace efectiva, ya que ambas sustancias como lo son el agua y la cal no se distribuyen efectivamente entre sí. Esta falencia hace que no se produzcan los cambios deseables en ambos materiales, lo que dificulta la eficiencia de las reacciones químicas y biológicas *in situ* y en procesos posteriores.
- El pH de los procesos no es el adecuado para el óptimo funcionamiento del sistema. El afluente está ingresando con un pH muy alto con valores cercanos a 12 lo que hace pensar que los resultados de la dosificación de cal al proceso no han sido los esperados.
- En la laguna anaerobia se está produciendo un descenso de pH bastante notable. El afluente presenta un pH de 12 y el efluente un pH de 4. La alteración del pH de las aguas inhibe la actividad microbiológica en las lagunas de estabilización, ya que la mayoría de los microorganismos se desarrollan con un pH óptimo alrededor de 7,5 con variaciones entre 6,5 y 8,5 y el afluente está

ingresando con valores superiores e inferiores a este rango. Condiciones altamente ácidas o alcalinas generalmente inhiben la actividad microbiológica.

- La laguna anaerobia y el humedal de flujo subsuperficial presentan condiciones de flujo no uniforme, con lo cual, se puede ver afectado el rendimiento esperado ya que esta situación impide que el afluente se extienda a lo largo y ancho de toda su superficie. Actualmente, es prácticamente inexistente la presencia de plantas específicas que complementen el tratamiento del agua debido a la presencia de plantas invasoras, las cuales, compiten por nutrientes y espacio con la vegetación específica del humedal.
- De otro lado, en la laguna facultativa hay presencia de ceniza en la superficie por las actividades de la caldera en el proceso de producción de la panela. Esta acumulación de ceniza afecta la actividad biológica de la zona aerobia al disminuirse el traspaso de los rayos solares y con ello se afecta la actividad fotosintética efectuada por las algas.

6.2. FASE 2 - EVALUACIÓN AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN VIABLES

6.2.1. Análisis de las principales causas de cada problema o área a mejorar identificada durante la evaluación operativa del STAR.

A continuación, se presenta el análisis de las principales causas según los problemas o áreas a mejorar identificadas durante la evaluación operativa del STAR.

Diagrama 4. Causa-Efecto – Problema 1 (P₁).

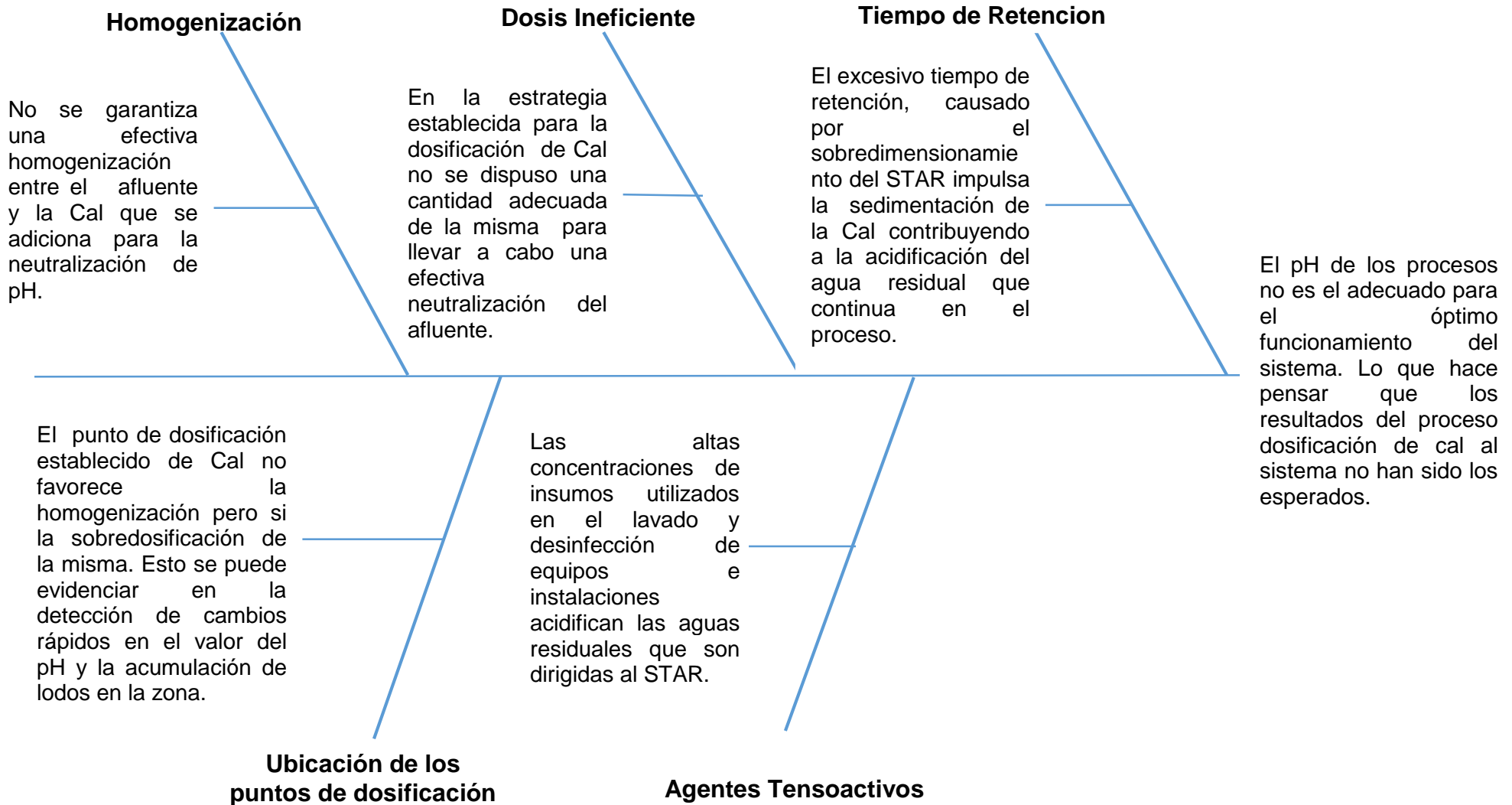


Diagrama 5. Causa-Efecto – Problema 2 (P₂).

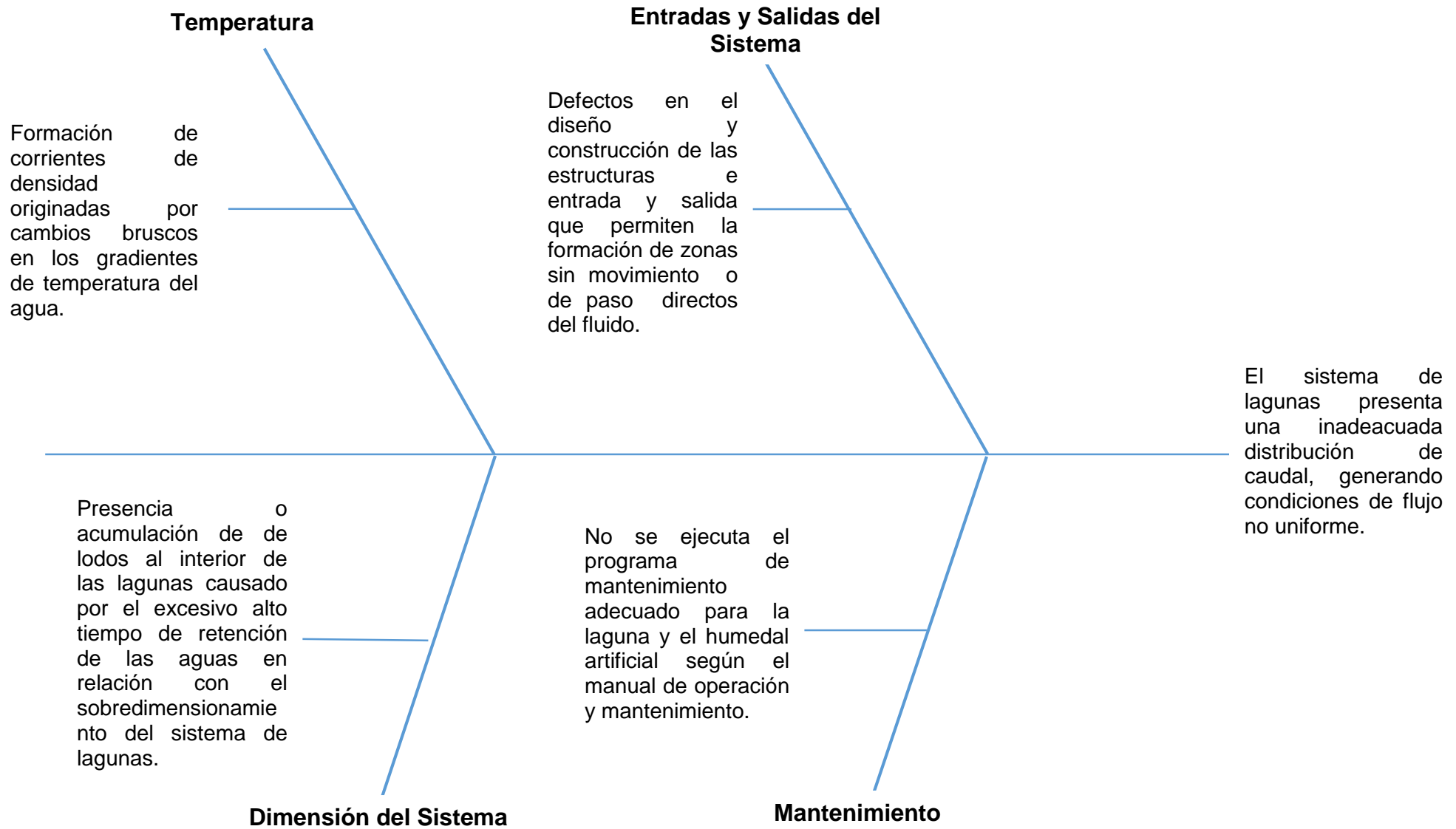


Diagrama 6. Causa-Efecto – Problema 3 (P₃).

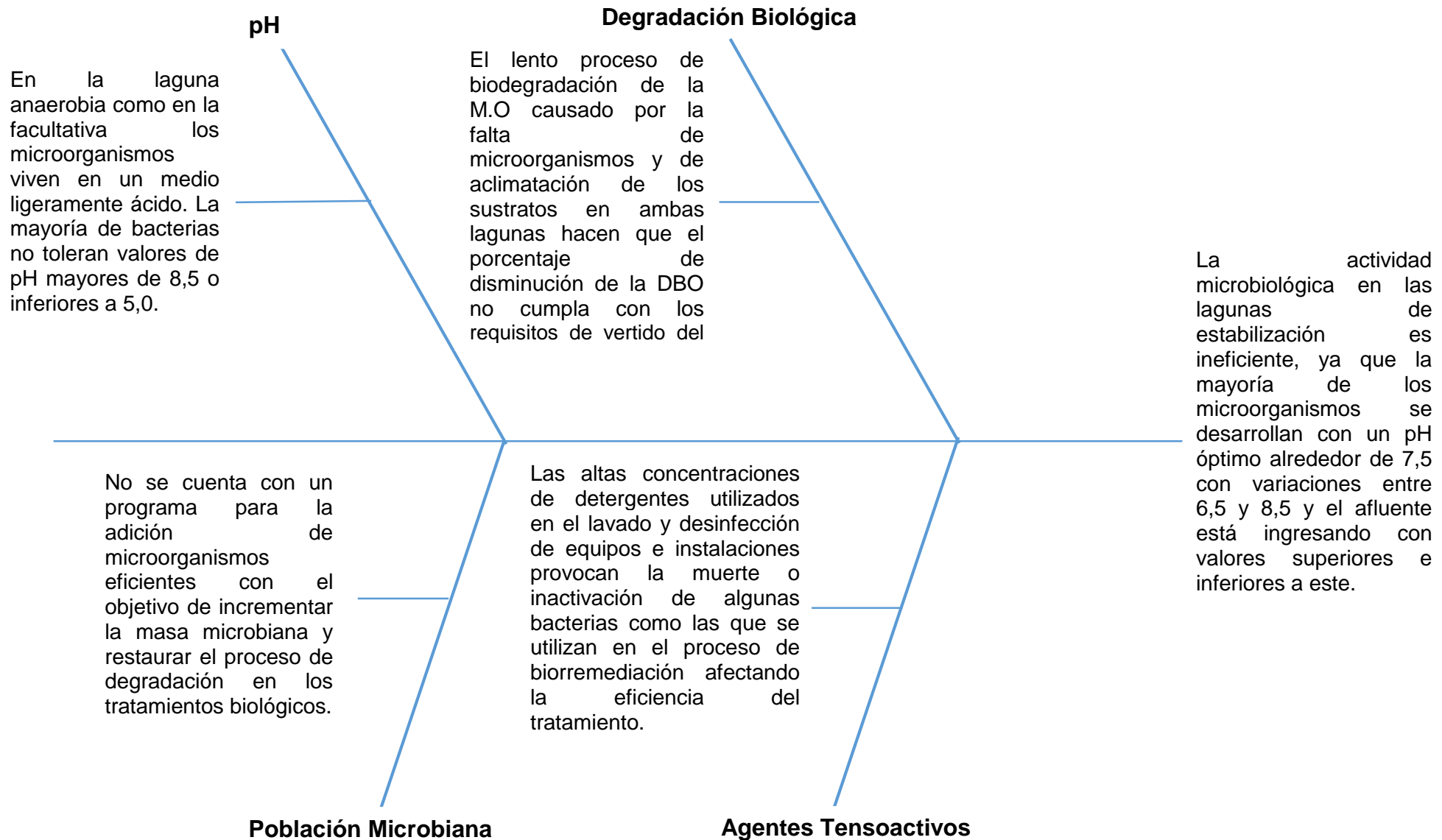
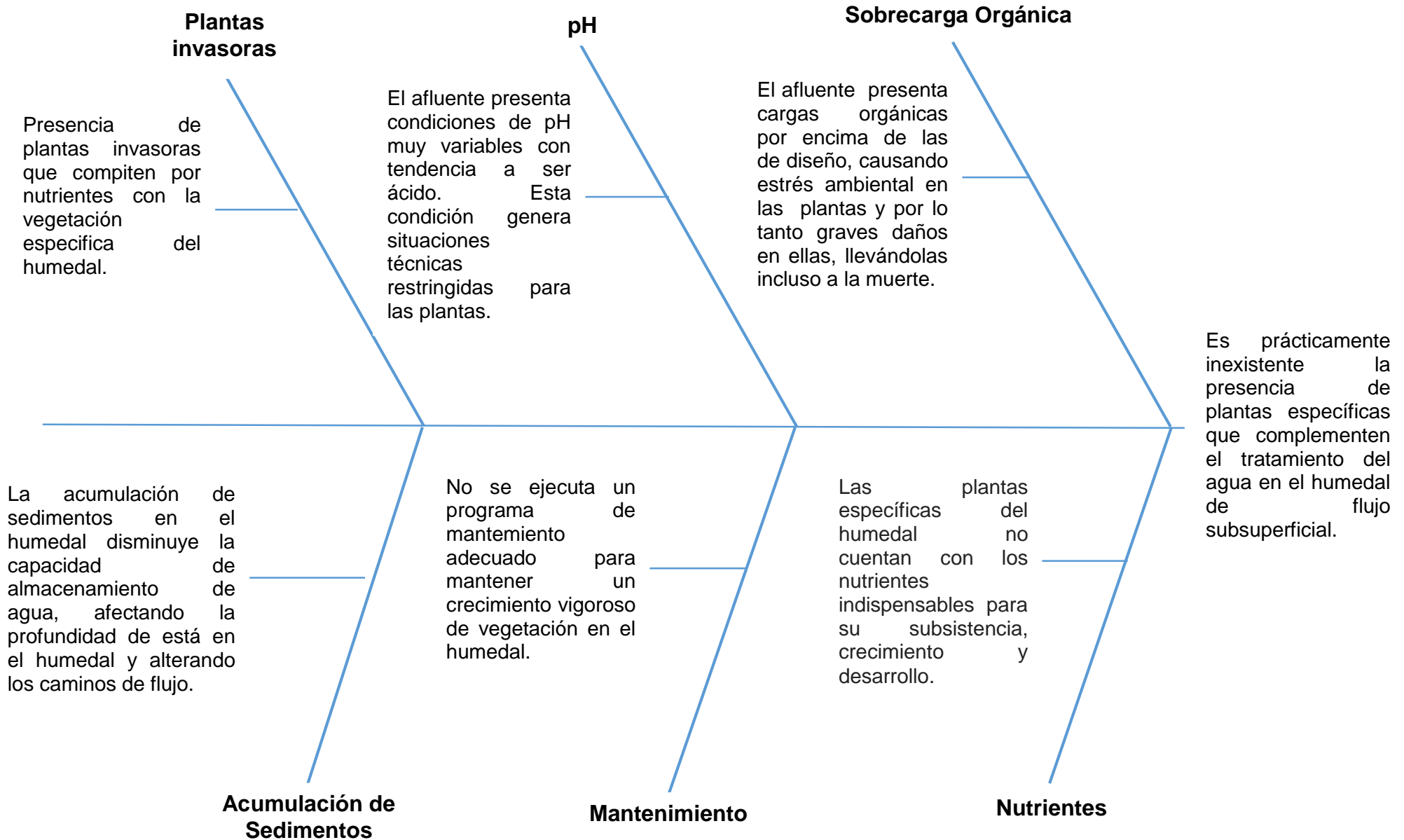


Diagrama 7. Causa-Efecto – Problema 4 (P4).



6.2.2. Priorización de los problemas identificados de acuerdo a los criterios establecidos de impacto, casualidad, valoración social y urgencia.

Para que la priorización y posterior valoración de los problemas identificados se realizara de forma integral, fue necesario definir criterios que tuviesen en cuenta tanto las características de los impactos ambientales como los requisitos de valoración social, otorgándole a criterio de los autores una calificación numérica a cada uno, en valores que van desde uno a cinco, donde el valor cinco (5) en la escala de importancia será la calificación más alta y uno (1) la calificación más baja, evidenciando cual de los problemas identificados es el que más afecta el STAR.

De esta manera, en la tabla 10 que hace referencia a la matriz para la priorización de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) se fijó un orden en responder a los problemas a ser solucionados a corto, mediano y a largo plazo, esto significa que la lista de problemas debe ser depurada asignando prioridades.

Tabla 10. Matriz para la priorización de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|------------|---|---|---|---|-------------------|---|---|---|---|----------|---|---|---|---|--------------------|
| PROBLEMA (P) | IMPACTO | | | | | CASUALIDAD | | | | | VALORACION SOCIAL | | | | | URGENCIA | | | | | TOTAL POR PROBLEMA |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| P ₁ | El pH de los procesos no es el adecuado para el óptimo funcionamiento del sistema. Lo que hace pensar que los resultados del proceso de dosificación de cal al sistema no han sido los esperados. | | | | | | | | | | | | | | | 20 | | | | | |
| P ₂ | El sistema de lagunas y el humedal de flujo subsuperficial presentan una inadecuada distribución de caudal, generando | | | | | | | | | | | | | | | 16 | | | | | |

6.2.3. Planteamiento de alternativas de optimización del STAR que se ajusten a las condiciones actuales del sistema de tratamiento.

A continuación, en la tabla 11 se plantean las alternativas de optimización que guiadas en soluciones eficaces desde un punto de vista global se ajustaron a las condiciones actuales del STAR.

Tabla 11. Matriz para la generación de .alternativas de solución a los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| MATRIZ DE GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS | | |
|--------------------------------------|---|---|
| P ₁ | A ₁ | A ₂ |
| | Producción más Limpia (P+L). | Neutralización de pH. |
| P ₂ | A ₁ | A ₂ |
| | Adecuación de múltiples entradas en el sistema de lagunas. | Instalación de mamparas o pantallas deflectoras en lagunas de estabilización. |
| P ₃ | A ₁ | A ₂ |
| | Inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck. | Estimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático. |
| P ₄ | A ₁ | A ₂ |
| | Restauración de la cubierta vegetal del humedal mediante la siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> . | Restauración de la cubierta vegetal del humedal mediante la siembra de <i>Cyperus papyrus</i> . |

Fuente: Adaptada y modificada a partir de los desarrollos de Plaza, 2015.

A continuación, se presenta una descripción de las alternativas planteadas para la solución de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

6.2.3.1. Programa de producción más limpia (P+L).

Tabla 12. Descripción del alternativas del programa de producción más limpia (P+L).

| PROGRAMA | Producción más Limpia (P+L) |
|-----------------------|--|
| PROYECTO No.1 | Uso eficiente y Ahorro de Agua |
| OBJETIVO | Formular acciones orientadas a promover el uso eficiente y ahorro del recurso hídrico dentro las instalaciones de la empresa. |
| METAS | <ul style="list-style-type: none"> - Disminuir el consumo de agua en un 25% en relación al año anterior. - Desarrollar campañas educativas que sensibilicen el 100% de los empleados. - Reducir en un 25% el volumen o carga orgánica de las aguas residuales vertidas por la empresa en relación al año anterior. |
| INDICADORES | <ul style="list-style-type: none"> - $(\text{Consumo en el periodo anterior en m}^3 - \text{consumo en el periodo actual en m}^3) / \text{consumo en el periodo anterior en m}^3 * 100$ - $(\text{Número de empleados capacitados} / \text{Número total de empleados}) * 100$ - $(\text{Carga orgánica vertida en el periodo actual} - \text{carga orgánica vertida en el periodo anterior} / \text{carga orgánica vertida en el periodo anterior}) * 100$ |
| PROYECTO No. 2 | Uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela |
| OBJETIVO | Inducir el uso adecuado del ácido fosfórico utilizado en el proceso de fosforilación de la panela. |
| METAS | Utilizar el 100% del ácido fosfórico comprado al año solo para el proceso productivo de la panela. |
| INDICADORES | $(\text{Volumen de ácido fosfórico utilizado en el proceso productivo} / \text{Volumen de ácido fosfórico adquirido para el proceso productivo}) * 100$ |
| | |

Fuente: Autores.

6.2.3.1.1. Uso eficiente y ahorro de agua.

Tabla 13. Descripción del alternativas del programa de producción más limpia (P+L).

| PROGRAMA | P+L |
|---|--------------------------------|
| PROYECTO No. 1 | Uso eficiente y Ahorro de Agua |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>El proyecto de uso eficiente y ahorro de agua está enfocado en promover el uso sostenible del recurso hídrico, mediante la identificación y caracterización de aquellos eventos que por su naturaleza producen efectos negativos sobre él y por tanto resulta importante establecer medidas de control y mitigación adecuadas.</p> | |
| <p>En este sentido, en el proyecto de ahorro y uso eficiente de agua se proponen soluciones a los consumos excesivos y desperdicios de agua, garantizando así la disponibilidad del recurso hídrico ante necesidades futuras; todo esto bajo la implementación de un programa ambiental, buscando la conservación del recurso en todas las fases desde su captación hasta su distribución final, garantizando el uso eficiente del mismo y el cumplimiento de los requisitos técnicos, ambientales y socioeconómicos, regidos bajo la normatividad.</p> | |
| <p>Entre los beneficios de la implementación del proyecto en el STAR se encuentra: el ahorro de agua, la disminución de costos por el uso del recurso, el desarrollo de conciencia medioambiental en los empleados y la disminución del volumen o carga orgánica de las aguas residuales vertidas a la fuente de agua superficial.</p> | |
| ACTIVIDADES | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Designar un equipo de trabajo encargado de la realización del proyecto y establecer por escrito un compromiso de trabajo a nivel institucional. - Realizar el registro de los consumos a diario, tomándolos a la misma hora, estableciendo consumos normales para la empresa y para cada proceso, permitiendo identificar cualquier aumento anormal en el registro. - Realizar la reparación de fugas y escapes de vapor con la mayor brevedad posible, no mayor a un período de 24 horas, reduciendo significativamente los consumos de agua, tiempo y dinero. - Realizar revisión del estado de tuberías y válvulas con el fin de reparar o reemplazar aquellas que a simple vista, presentan fugas, corrosión y golpe de ariete, por lo que fue una forma de mejorar las condiciones de operación de la planta y empezar a cambiar es identificar las tuberías en mal estado. | |

- Realizar mantenimiento preventivo y predictivo minimizando las reparaciones y daños dentro de la planta, por lo tanto se debe enfatizar en su planeación y ejecución, reduciendo las actividades correctivas, ya que atrasan el cumplimiento de las solicitudes de trabajo y dificultan la implementación de estrategias de mejora.
- Incluir y programar en el mantenimiento anual, el estado y funcionamiento de los contadores de agua existentes en la planta, asegurando así un adecuado registro y la vida útil del medidor.
- Instalar pistolas de bajo volumen y alta presión en las mangueras permitiendo obtener grandes ahorros en el consumo de agua. Esta implementación debe realizarse prioritariamente en las áreas de molienda y moldeo de la panela, ya que en estas zonas es donde se presenta el mayor uso del agua para el lavado y eliminación de residuos de las gaveras y otros utensilios de la molienda. Al implementar esta estrategia se obtendrán beneficios como: reducir los tiempos de operación de lavado de equipos, utensilios y planta en general, evitar que por olvidos del operario las llaves permanezcan abiertas y ahorrar gran cantidad de dinero mediante la minimización del consumo de agua.
- Cambiar los hábitos de limpieza dentro de la planta, sustituyendo el uso de carros de aseo, baldes, exprimidores y mangueras. Para cambiar estos hábitos se debe explicar y enseñar la necesidad de participar y adoptar estas nuevas medidas de limpieza, debido a que actualmente, durante el proceso de limpieza de la empresa es común observar que los operarios consuman mucha agua para limpiar y empujar el residuo remanente del proceso al drenaje. Para esto, deben realizarse jornadas de capacitación para mejorar el uso del agua en las operaciones de limpieza y desinfección, por lo que primero debe realizarse una previa limpieza en seco, con la ayuda de palas que permitan recoger los residuos remanentes y de esta manera reducir los consumos de agua. Esta medida debe implementarse en las áreas de molienda, clarificación de los jugos, moldeo y empaque, ya que es en estas zonas donde se presenta la mayor generación de residuos. Al implementar esta estrategia se obtendrán los siguientes beneficios: reducción del uso del agua y reducción del volumen de sólidos que llegan al STAR.
- Instalar llaves de sistema PUSH para lavamanos, las cuales, traigan consigo reductores de caudal de accionamiento hidromecánico y cierre automático; que permiten evitar los hilos continuos de goteo de agua al dejarlas mal cerradas, al irse el agua y quedar abiertas o cuando el lavado de manos y el cepillado de dientes se realiza con la llave abierta mientras no se necesita. El objeto de esta estrategia es el de evitar el goteo continuo de agua en las llaves de los

lavamanos, ya que varias veces se encontraron mal cerradas las llaves o se dejan abiertas mientras se realizan otras actividades, por lo que contar con sistemas ahorradores de agua permite evitar estos malos hábitos u olvidos. Estas llaves deben ubicarse: (1) una en los baños del área de molienda, (1) una en el área de casino, (1) una en el área de aseo, (2) dos en el área de gerencia y (8) ocho en el área de operarios de servicios generales , para un total de 13 llaves de sistema push. Estas llaves presentan un ahorro del 40% en el consumo mensual de agua en el área de baños y vestieres.

- Realizar actividades que fortalezcan las competencias del talento humano de la empresa en la inducción de buenas practicas ambientales que promuevan el desarrollo de conocimientos y habilidades en el ahorro u uso eficiente del agua. Para ello, deberán contemplarse capacitaciones:
 - o De corta duración: que deben realizarse a través de cursos, seminarios, talleres, conferencias, foros, congreso, etc. organizados directamente por la empresa o por otros organismos diferentes a la organización.
 - o De duración continua: que deben realizarse de manera periódica en varias sesiones dirigidas al promover el desarrollo de la capacitación teórico-practica de los empleados a través de diplomado o programa de actualización.

Es importante que la programación de estas capacitaciones este sujeta entre la temática especifica a tratar y las funciones del puesto de cada empleado. De igual manera, la asistencia a las jornadas de sensibilización deberá ser constante exceptuando única y exclusivamente a los empleados que por causas de fuerza mayor no puedan asistir a las capacitaciones programadas.

| PRESUPUESTO | | | | |
|--|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| Revisión y detención de fugas: reducción de perdidas | - | 1 | \$ 1.500.000 | \$ 1.500.000 |
| Mantenimiento y calibración de medidores de flujo. | - | 1 | \$ 1.200.000 | \$ 1.200.000 |
| Aplicación de dispositivos ahorradores de agua. | - | 1 | \$ 2.200.000 | \$ 2.200.000 |

| | | | | |
|--|---|---|----------------------|--------------|
| Mejoramiento y cambio de redes de distribución. | - | 1 | \$ 2.000.000 | \$ 2.000.000 |
| Mantenimiento de equipos. | - | 1 | \$ 2.100.000 | \$ 2.100.000 |
| Aplicación de propuesta de sensibilización ambiental | - | 1 | \$ 1.000.000 | \$ 1.000.000 |
| TOTAL | | | \$ 10.000.000 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.1.2. Uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela.

Tabla 14. Descripción del proyecto de uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela.

| PROGRAMA | P+L |
|--|--|
| PROYECTO No. 2 | Uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>En el proyecto de uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela se propone reducir el uso excesivo de ácido fosfórico utilizado en actividades diferentes al proceso de neutralización y adición de fosfatos en el proceso productivo, el cual se ha venido utilizando en actividades de limpieza y desinfección alterando el funcionamiento del STAR, además de las características físicas y químicas del cuerpo de receptor.</p> <p>El ácido fosfórico es una de las principales fuentes de acidez de las aguas residuales que ingresan al STAR. En grandes volúmenes, este dificulta el proceso de neutralización del pH y la eficiencia del STAR como unidad de tratamiento biológico. En este sentido, disminuir los volúmenes de ácido enviados al STAR termina siendo una de las mejores alternativas para la neutralización de pH del afluente, que debido a su amplio espectro, es indispensable para generar unas condiciones ambientales favorables para el desarrollo y crecimiento de la biomasa y de esta manera lograr las eficiencias de remoción esperadas en el tratamiento.</p> <p>Por lo anterior, en las actividades de lavado y desinfección solo deben ser utilizados los insumos destinados para tal fin y que en su medida sean biodegradables y compatibles con el funcionamiento del STAR, dado que en la medida que son descargados al</p> | |

sistema se combinan con otros compuestos orgánicos que hacen que sus concentraciones sean bajas y no impacten la actividad microbiana de forma negativa.

ACTIVIDADES

- Designar un equipo de trabajo encargado de la realización del proyecto y establecer por escrito un compromiso de trabajo a nivel institucional.
- Desarrollar normas específicas sobre el uso de este insumo dentro de las actividades de la planta, en el que su uso sea destinado solo para las actividades en las que su utilización sea obligatoria y en cantidad tal en la que esté autorizado.
- Suspender el uso del ácido fosfórico utilizado en las actividades de limpieza y desinfección de equipos, herramientas e instalaciones en las áreas de molienda, clarificación de los jugos y moldeo de la panela.
- Reformar el procedimiento llevado a cabo para el lavado y la desinfección de equipos y herramientas en planta, en el cual, no intervenga el uso de ácido fosfórico sino solo aquellos desinfectantes y detergentes ecológicos que actualmente la empresa del sector panelero dispone.
- Adoptar una política de compras verdes o ambientalmente sostenibles, definiendo en el proceso de contratación la extracción de la materia prima, su fabricación, su distribución, su uso y disposición final.
- Llevar a cabo sensibilizaciones al personal de la empresa en las que se propenda por incentivar el uso adecuado de insumos industriales utilizados dentro del proceso productivo de la panela.
- Realizar actividades que fortalezcan las competencias del talento humano de la empresa en el desarrollo de conocimientos y habilidades que propendan por mejorar el uso de dichos insumos industriales utilizados en el proceso productivo de la panela.
- En similitud al programa de ahorro y uso eficiente de agua, en el programa de uso adecuado de insumos industriales se contemplen capacitaciones de:
 - o Corta duración: que deben realizarse a través de cursos, seminarios, talleres, conferencias, foros, congreso, etc. organizados directamente por la empresa o por otros organismos diferentes a la organización.
 - o Duración continua: que deben realizarse de manera periódica en varias sesiones dirigidas al promover el desarrollo de la capacitación teórico-práctica de los empleados a través de diplomado o programa de

actualización.

Es importante que la asistencia a las jornadas de capacitación en el uso de dichos insumos sea obligatoria exceptuando única y exclusivamente a los empleados que por causas de fuerza mayor no puedan asistir a las capacitaciones programadas.

| PRESUPUESTO | | | | |
|--|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| Implementación de la propuesta de sensibilización ambiental y capacitación en el uso adecuado de insumos industriales en el proceso productivo de la panela. | - | 1 | \$ 4.000.000 | \$ 4.000.000 |
| TOTAL | | | \$ 4.000.000 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.2. Programa de neutralización de pH

Tabla 15. Descripción del alternativas del programa de neutralización de pH

| PROGRAMA | Neutralización de pH |
|-----------------------|--|
| PROYECTO No.1 | Determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 |
| OBJETIVO | Determinar la dosis óptima de cal Ca(OH)_2 que neutralice eficientemente el pH del agua residual del STAR. |
| METAS | Disminuir en un 25% la cantidad de cal Ca(OH)_2 utilizada en el proceso de neutralización de pH en realización al año anterior. |
| INDICADORES | (Volumen de cal Ca(OH)_2 utilizada en el periodo actual/ Volumen de cal Ca(OH)_2 utilizada en el periodo anterior)*100 |
| PROYECTO No. 2 | Implementación de un tanque mezclador dosificador de producto |
| OBJETIVO | Plantear la implementación de un tanque mezclador dosificador de producto adicional que permita optimizar la eficiencia del proceso de estabilización de pH. |

| | |
|--------------------|---|
| METAS | Disminuir el porcentaje de variación de pH del agua residual a un valor inferior del 30%. |
| INDICADORES | $(\text{pH medido en el efluente de la unidad de neutralización} - \text{pH medido en el afluente de la unidad de neutralización} / \text{pH medido en la efluente la unidad de neutralización}) * 100$ |

Fuente: Autores.

6.2.3.2.1. Determinación de un rango óptimo de dosificación de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Tabla 16. Descripción del proyecto de la determinación de un rango óptimo de dosificación de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

| PROGRAMA | Neutralización de pH |
|---|--|
| PROYECTO No. 1 | Determinación de un rango óptimo de dosificación de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>En el proyecto de la determinación de un rango óptimo de dosificación de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para la neutralización de las aguas residuales que ingresan al STAR, se plantea la fijación de una dosis óptima de cal que neutralice eficientemente el valor de pH de las aguas residuales que ingresan a la unidad de tratamiento, ya que solo mediante este proceso, el afluente podrá cumplir los valores que requieren las unidades de tratamiento biológico.</p> <p>El grado de pre-neutralización requerido es una función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y del contenido de Alcalinidad o de Acidez del agua residual (capacidad de producción o de consumo de ácido, que es distinto del pH).</p> <p>La dosificación requerida para el tratamiento debe entonces realizarse a partir de experiencias en laboratorio (ensayo de neutralización). Las dosis a utilizar deben variar dependiendo del pH inicial del agua y deben ser suficientes para asegurar un pH final del agua comprendido entre 6,5 y 8,5.</p> <p>El grado de neutralización del agua residual también dependerá del tipo de Cal utilizada y el diseño de la curva de titulación de la cal a utilizar.</p> | |
| ACTIVIDADES | |
| <p>Preparación del montaje de las muestras del agua residual:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para iniciar con el montaje del ensayo deben tomarse 5 vasos de precipitado de 1000 mL a los cuales se les agrega 500 mL de muestra del agua residual a tratar. - Al tener preparadas las muestras se procede a registrar de manera inicial el comportamiento del pH en cada uno de los vasos. - Preparar la solución madre de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presentación granulada a una | |

concentración madre de 100.000 ppm, la cual, se aplica de forma líquida sobre cada una de las muestras de agua residual a tratar.

Realización del ensayo de dosificación de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 :

- Adicionar a cada muestra cierta cantidad de solución de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , la cual inicie en 1 mL, aumentando la dosis aplicada en una escala de 0,5 mL de acuerdo al número de ensayos, es decir, que se aplicará una mayor dosis de neutralizador a los últimos ensayos a analizar. Es importante tener en cuenta que cada mL de solución equivale a una concentración de 200 mg/L de neutralizador aplicado.
- Homogenizar cada una de las muestras de agua residual contenidas en los vasos de precipitado una vez añadida la dosis de neutralizador de pH.
- Registrar nuevamente el comportamiento de pH de las muestras del agua residual con el fin de determinar la dosis de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 que dé como resultado el mayor porcentaje de neutralización, es decir, aquella concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 con la que se obtenga un valor de pH comprendido entre 6,5 y 8,5.

Determinación de la dosis óptima de Ca(OH)_2 :

- Escoger como dosis óptima en esta primera etapa, aquella dosis de Ca(OH)_2 que permita obtener un valor de pH óptimo comprendido entre 6,5 y 8,5. Esta concentración se tomará como punto medio para realizar el afinamiento de la dosis.
- Relacionar a escala real el proceso de neutralización del agua que se lleva a cabo en el STAR, de manera que se permita evaluar a cierta escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso la dosificación de Ca(OH)_2 en la variación del pH. Para este escalamiento se toma como referencia el volumen de agua a tratar.

| PRESUPUESTO | | | | |
|--|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| Vaso de precipitado de vidrio de 250 mL | - | 5 | \$ 55.600 | \$ 278.000 |
| Saco de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 de 25 kg | - | 1 | \$ 16.350 | \$ 16.350 |
| TOTAL | | | \$ 294.350 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.2.2. Implementación de un tanque mezclador dosificador de producto.

Tabla 17. Descripción del proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto.

| PROGRAMA | Neutralización de pH | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------------|---------------------|----------------------|------|-----------------|-----------------------|---------|-------------|-------------|-----------------------|----|----|---------|-------------|-------|-------|------|--------|
| PROYECTO No. 2 | Implementación de un tanque mezclador dosificador de producto | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>El proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto tiene como objetivo amortiguar las variaciones de pH que presente el flujo de aguas residuales a través de la dosificación programada y medida de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en condiciones uniformes, la cual es requerida para usos y propósitos específicos, garantizando una homogenización adecuada entre el líquido y el insumo químico que se adiciona para la neutralización.</p> <p>El tanque mezclador incluye todos los componentes que permiten disolver las partículas de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y obtener una emulsión estable y homogénea del producto. La acción consiste en la distribución de un sólido disperso en un fluido cuyo objetivo es mantener en suspensión las partículas sólidas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en la totalidad del líquido.</p> <p>Las especificaciones de diseño del tanque propuesto se presentan a continuación:</p> <p>Tanque cilíndrico vertical en plástico reforzado con fibra de vidrio para almacenamiento hidróxido de calcio capacidad 1 m³</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tipo de tanque</td> <td>Cilíndrico vertical</td> </tr> <tr> <td>Producto a almacenar</td> <td>Agua</td> </tr> <tr> <td>Densidad aprox.</td> <td>1,2 g/cm³</td> </tr> <tr> <td>Volumen</td> <td>1020 litros</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones</td> <td>1,3 de altura x 1.0 Ø</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Presión</td> <td>Atmosférica</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>Plano</td> </tr> <tr> <td>Tapa</td> <td>Cónico</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tipo de Construcción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laminado por sistema manual (Hand LayUp), con telas de fibra de vidrio MAT 700 de | | Tipo de tanque | Cilíndrico vertical | Producto a almacenar | Agua | Densidad aprox. | 1,2 g/cm ³ | Volumen | 1020 litros | Dimensiones | 1,3 de altura x 1.0 Ø | pH | 12 | Presión | Atmosférica | Fondo | Plano | Tapa | Cónico |
| Tipo de tanque | Cilíndrico vertical | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Producto a almacenar | Agua | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Densidad aprox. | 1,2 g/cm ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Volumen | 1020 litros | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dimensiones | 1,3 de altura x 1.0 Ø | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presión | Atmosférica | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fondo | Plano | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tapa | Cónico | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

450 g/m², y fibra de vidrio Wonded Mat (combinación de fibra de vidrio Mat 700 aglutinada fibra tejida Woveng Roving de 600 g/m²).

- Aplicación de resina VINILESTER para construcción de barrera química aglomerado con fibra mat 450 g/cm².
- Barrera estructural con Resina ORTHOFTALICA aglomerada con el sistema de combinación de diferentes tipos de fibras (MAT 450 g/m² y Woveng Roving 600 g/ m²).
- Aplicación de Top Coat Color blanco + Absorbedor de rayos UV y antitac (agente parafinado) como antiadherente de suciedad.
- Post-curado final con aire caliente para optimización de propiedades físicoquímicas y eliminación de residuos.

Accesorios:

Tres (3) Bridas de 2" Ø (entrada, salida, rebose) en PRFV Normalizado ANSI B16.5 -
 Dos (2) bridas de nivel de 1" Ø (aforo del tanque) en PRFV Normalizado ANSI B16.5 -
 Un (1) Cuello de ganso o venteo de 2" Ø en PVC recubierto en PRFV

ACTIVIDADES

Preparación del área de trabajo:

Completar y aprobar toda la documentación previa para la construcción. Esto incluye el contrato, planos y los materiales necesarios. Realizar los cierres perimetrales que separan el área de influencia de los espacios públicos. De igual manera examinar, limpiar y excavar el terreno del área a trabajar.

Implementación del tanque mezclador dosificador de producto:

Adoptar las acciones pertinentes, para la adquisición del tanque mezclador dosificador de producto. Le corresponde a los funcionarios del departamento de gestion ambiental en compañía del departamento de mantenimiento y reparaciones realizar el respectivo montaje del tanque previo al ingreso de la laguna anaerobia y ubicarlo en un punto tal que el sitio de descarga favorezca la homogenización de la mezcla entre el insumo neutralizador y el flujo de aguas residuales.

Regulación de la bomba dosificadora de acuerdo a la dosis óptima de hidróxido de calcio Ca(OH)₂:

Regular la cantidad de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ que es suministrada al proceso de acuerdo al cálculo de la dosis óptima de cal, es decir, garantizar la reproductividad y repetividad del volumen programado en el tiempo.

PRESUPUESTO

| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR | VALOR |
|-------------|--------|----------|-------|-------|
|-------------|--------|----------|-------|-------|

| | | | UNITARIO | TOTAL |
|--|---|---|--------------|--------------|
| Tanque mezclador dosificador de producto | - | 1 | \$ 2.486.260 | \$ 2.486.260 |
| Bomba dosificadora o dosificador eléctrico | - | 1 | \$ 1.320.000 | \$ 1.320.000 |
| TOTAL | | | \$ 3.806.260 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.3. Programa de distribución homogénea del agua residual.

Tabla 18. Descripción del alternativas del programa de distribución homogénea del agua residual.

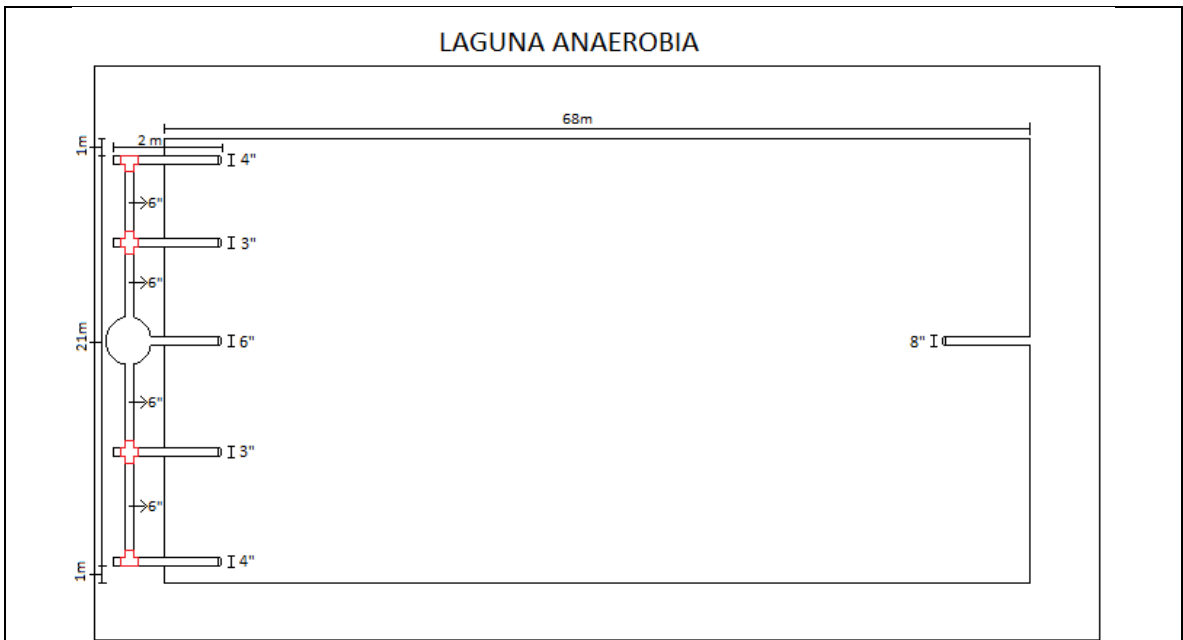
| PROGRAMA | Distribución homogénea del agua residual |
|-----------------------|---|
| PROYECTO No. 1 | Diseño de múltiples entradas y salidas en el sistema de lagunas |
| OBJETIVO | Plantear el diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas que proporcionen una efectiva distribución del agua a tratar. |
| METAS | - Aumentar en un 40% la eficiencia de remoción de los parámetros de DBO ₅ y DQO en relación al año anterior. |
| INDICADORES | - (Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO ₅ y DQO en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO ₅ y DQO en el periodo anterior)*100. |
| PROYECTO No. 2 | Diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas |
| OBJETIVO | Plantear el diseño mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas para optimizar la eficiencia de remoción del STAR. |
| METAS | - Aumentar en un 40% la eficiencia de remoción de los parámetros de DBO ₅ y DQO en comparación al año anterior. |
| INDICADORES | - (Eficiencia obtenida en los parametros de DBO ₅ y DQO en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO ₅ y DQO en el periodo anterior)*100 |

Fuente: Autores.

6.2.3.3.1. Diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas.

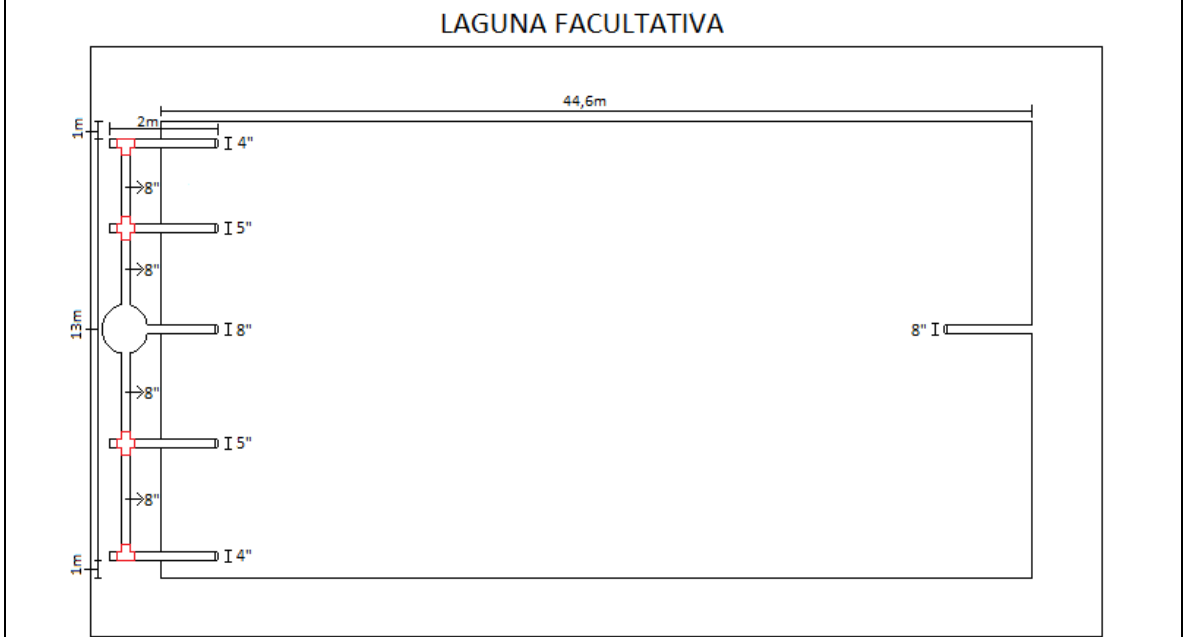
Tabla 19. Descripción del proyecto del diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas.

| PROGRAMA | Distribución homogénea del agua residual |
|---|--|
| PROYECTO No. 1 | Diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>El proyecto del diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas, propone la adecuación de estructuras de ingreso del agua residual en la laguna anaerobia y facultativa, generando de esta manera mejor distribución del afluente.</p> <p>Lo anterior, garantizará que la distribución del agua sea uniforme; esto es, que se utilice todo el volumen de la laguna. Esta acción permitirá obtener lo siguiente: se alcanzará el tiempo de retención de diseño y se evitará la formación de zonas muertas. Además de que se distribuyen uniformemente los lodos que normalmente se depositan en el fondo de la laguna.</p> <p>El agua residual se distribuirá desde una caja principal mediante la utilización de un sistema cajas menores conectadas que mantendrán el sistema de distribución de agua presurizado (Ver imagenes 7 y 8). La distribución se realizará mediante tuberías PVC tipo PAVCO o similar, las cuales deben instalarse de acuerdo a las recomendaciones técnicas de los fabricantes</p> <p>En este sentido, teniendo las estructuras de entrada en las posiciones correctas, se disminuirán los cortocircuitos y, en derivación, se optimizará la eficiencia hidráulica de las lagunas de estabilización.</p> <p>Para la adecuación de las estructuras de entrada y una de salida se propone el siguiente diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas:</p> <p>Imagen 7. Diseño de múltiples entradas en la laguna anaerobia.</p> | |



Fuente: Autores.

Imagen 8. Diseño de múltiples entradas en la laguna facultativa.



Fuente: Autores.

ACTIVIDADES

Preparación del área de trabajo:

- Completar y aprobar toda la documentación previa para la construcción. Esto incluye el contrato, planos y los materiales necesarios.
- Realizar los cierres perimetrales que separan el área de influencia de los espacios públicos. De igual manera examinar, limpiar y excavar el terreno del área a trabajar.
- Retirar la capa superior del suelo y apilar los fragmentos en otro lugar para un uso posterior.

Instalación de las tuberías de entrada al sistema de lagunas:

- Realizar la instalación de la tubería de distribución del afluente. Para ello, se dejará un espacio libre de un (1) metro a cada lado de las lagunas, es decir, que la longitud de la tubería de distribución será dos (2) metros menor que el ancho de cada laguna. Por lo tanto, para la laguna anaerobia con un ancho de 23 m, la longitud de la tubería de distribución será de 21 m y para la laguna facultativa con un ancho de 15 m la longitud de la misma será de 13 m. (Ver imagenes 7 y 8).
- Distribuir proporcionalmente cinco (5) puntos de entrada al sistema de lagunas. Lo anterior se realizará a través de la instalación de 4 uniones (tee) PVC que conectarán la tubería principal de distribución con una serie de tuberías menores que conducirán finalmente el flujo de agua residual hacia el interior de las lagunas.
- Instalar los accesorios necesarios, así como uniones, reducciones, codos y demás herramientas necesarias que garanticen la conducción equitativa del agua residual tomando como referencia los diseños presentados en las imagenes 7 y 8.

Inicio de operación:

- Conectar el sistema de distribución construido con la caja principal de ingreso del afluente del agua residual a la laguna.
- Evaluar el funcionamiento del sistema de distribución. Esto es, que las conexiones hayan quedado compactas y que el agua residual fluya a través de la totalidad de las tuberías instaladas.

| PRESUPUESTO | | | | |
|--------------------|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| Tubería 3" | Metros | 6 | \$ 900 | \$ 5.400 |
| Tubería 4" | Metros | 12 | \$ 13.000 | \$ 156.000 |
| Tubería 5" | Metros | 4 | \$ 23.650 | \$ 94.600 |
| Tubería 6" | Metros | 24 | \$ 28.350 | \$ 680.400 |

| | | | | |
|-----------------------|--------|----|--------------|------------|
| Tubería 8" | Metros | 15 | \$ 42.800 | \$ 642.000 |
| T doble de 8 a 5" | - | 2 | \$ 84.700 | \$ 169.400 |
| T doble de 6 a 3" | - | 2 | \$ 77.900 | \$ 155.800 |
| T de 6 a 4" | - | 2 | \$ 79.900 | \$ 159.800 |
| T de 8 a 4" | - | 2 | \$ 91.200 | \$ 182.400 |
| Tapín de 5 | - | 2 | \$ 3.950 | \$ 7.900 |
| Tapín de 4" | - | 4 | \$ 3.150 | \$ 12.600 |
| Tapón de 3" | - | 2 | \$ 1.200 | \$ 2.400 |
| Pegante Marca Pavco | - | 1 | \$ 49.900 | \$ 49.900 |
| Limpiador Marca Pavco | - | 1 | \$ 22.900 | \$ 22.900 |
| TOTAL | | | \$ 2.341.500 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.3.2. Diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas.

Tabla 20. Descripción del proyecto del diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas.

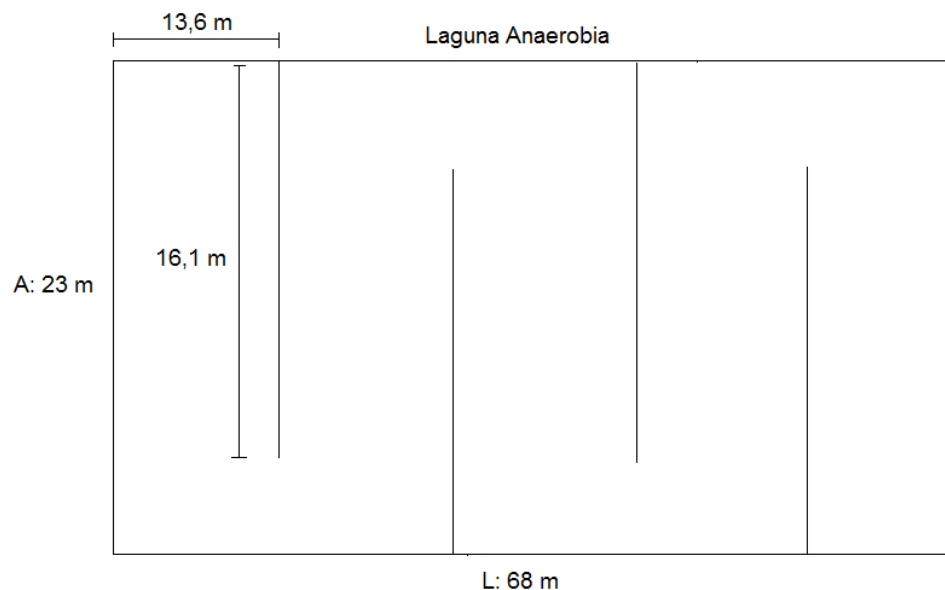
| PROGRAMA | Distribución homogénea del agua residual |
|---|--|
| PROYECTO No. 2 | Diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>El proyecto de diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas tiene como objetivos principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducir el corto circuito hidráulico del sistema de lagunas y proveer una superficie sumergida que pueda aumentar el crecimiento de biomasa adherida. - Incrementar la masa total de microorganismos en el sistema de lagunas y de esta forma mejorar la eficiencia del tratamiento. - Promover la turbulencia hidráulica del sistema, la cual estimularia la mezcla del líquido. <p>De la misma manera, la eficiencia de remoción de DBO₅ y SST aumentará a medida que aumenta el número de pantallas, y asimismo, aumentará el periodo de detención real, lo cual equivale a decir que se reducen los índices de cortocircuitos y de zonas muertas en el sistema de lagunas.</p> | |

En las Guías para el Diseño Hidráulico de Lagunas de Estabilización, en relación con las pantallas⁵⁷, se establece que:

- Las pantallas deben tener una longitud del 70% de la dimensión correspondiente de la laguna.
- Se deben utilizar 4 pantallas en el caso en que se requiera elevar al máximo la eficiencia de remoción del sistema de lagunas. (como es el caso).

En este sentido, para la instalación de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas se propone el siguiente diseño:

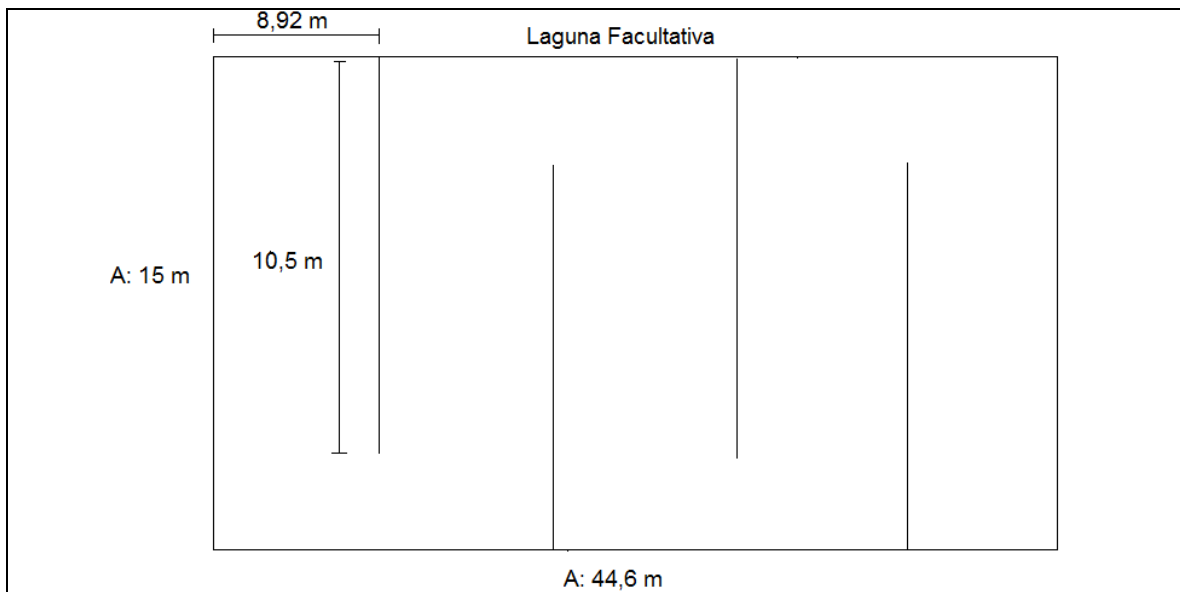
Imagen 9. Diseño de las mamparas o pantallas deflectoras en la laguna anaerobia



Fuente: Autores.

Imagen 10. Diseño de las mamparas o pantallas deflectoras en la laguna facultativa

⁵⁷ SHILTON, A.; HARRISON, J. (2003). *Guidelines for the Hydraulic Design of Waste Stabilization Ponds*. Institute of Technology and Engineering, Massey University, Palmerston North, New Zealand.



Fuente: Autores.

Longitud de las mamparas o pantallas deflectoras = 70% de A

ACTIVIDADES

Preparación del área de trabajo:

- Completar y aprobar toda la documentación previa para la construcción. Esto incluye el contrato, planos y los materiales necesarios.
- Realizar los cierres perimetrales que separan el área de influencia de los espacios públicos. De igual manera examinar, limpiar y excavar el terreno del área a trabajar.

Bypass:

- Bloquear el ingreso de aguas residuales al sistema de lagunas, habilitando el Bypass para desviar el flujo de agua influente desde el tanque de igualación directamente hacia el humedal artificial de flujo subsuperficial.

Instalación de las mamparas o pantallas deflectoras:

- Introducir por medio de una retroexcavadora los sacos de gravilla revestidos con empaques de polipropileno de alta densidad, con el objetivo de construir las mamparas o pantallas deflectoras tomando como referencia los diseños presentados en las imágenes 9 y 10.
- Realizar la acomodación de los sacos, teniendo en cuenta la siguiente referencia para su organización (medidas de cada saco):

Largo: 65 cm

Ancho 45 cm

Alto: 18 cm

En el caso de la laguna anaerobia se deberán instalar:

- 25 sacos para construir la longitud (L) de la mampara y 20 sacos para sobrepasar el espejo de agua de la laguna (H) en un nivel de 0,5 m. Es decir, que para construir cada mampara o pantalla deflectora se deberá acomodar un total de 500 sacos. *(Tener como referencia el diseño presentado en la imagen 9).*

Para el caso de la laguna facultativa se deberán instalar:

- 17 sacos para construir la longitud (L) de la mampara y 12 sacos para sobrepasar el espejo de agua de la laguna (H) en un nivel de 0,5 m. Es decir, que para construir cada mampara o pantalla deflectora se deberá acomodar un total de 204 sacos. *(Tener como referencia el diseño presentado en la imagen 10).*

Revestimiento de las mamparas o pantallas deflectoras:

- Revestir las mamparas o pantallas deflectoras utilizando una membrana impermeabilizante de polipropileno de alta densidad. Para ello se debe tener en cuenta las dimensiones de cada pantalla.

En el caso de la laguna anaerobia, se requieren las siguientes dimensiones de membrana impermeabilizante por cada una de las pantallas instaladas:

Largo: 16,1 m

Ancho: 0,45 m

Altura: 3,5 m

Para la laguna facultativa, se requieren las siguientes dimensiones de membrana impermeabilizante por cada una de las pantallas instaladas:

Largo: 10,5 m

Ancho: 0,45 m

Altura: 2,0 m

Inicio de operación:

- Desconectar el bypass que desvía el flujo de agua desde el tanque de igualación directamente hacia el humedal artificial de flujo subsuperficial.
- Permitir gradualmente el ingreso de agua al sistema de lagunas, logrando que el afluente sea conducido a través de la ruta determinada por la configuración de las pantallas.

| PRESUPUESTO | | | | |
|---|----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| Sacos de Gravilla x 50 Kg | - | 750 | \$ 18.200 | \$ 13.650.000 |
| Geomembrana Hdpe por m ² para revestimiento. | m ² | 700 | \$ 5.500 | \$ 3.850.000 |
| TOTAL | | | \$ 17.500.000 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.4. Programa de estimulación microbiana en lagunas de estabilización.

Tabla 21. Descripción del alternativas del programa de estimulación microbiana en lagunas de estabilización.

| | |
|-----------------------|--|
| PROGRAMA | Estimulación microbiana en lagunas de estabilización |
| PROYECTO No. 1 | Inoculación microbiana en lagunas empleando Biomerk |
| OBJETIVO | Plantear la inoculación microbiana en el sistema lagunas optimizando la degradación biológica de contaminantes en el STAR |
| METAS | - Aumentar en un 40% la eficiencia remoción de los parámetros DBO, DQO y SST en relación al año anterior |
| INDICADORES | - (Eficiencia obtenida en los parametros de DBO, DQO y SST en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO, DQO y SST en el periodo anterior)*100 |
| PROYECTO No. 2 | Bioestimulación microbiana en lagunas empleando Bioenzimático |
| OBJETIVO | Estimular el crecimiento de la biodiversidad microbiana en el sistema de lagunas reduciendo la carga contaminante de las aguas residuales |
| METAS | Aumentar en un 40% la eficiencia remoción de los parámetros DBO, DQO, y SST en relación al año anterior. |
| INDICADORES | (Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO, DQO y SST en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO, DQO y SST en el periodo anterior)*100 |

Fuente: Autores.

6.2.3.4.1 Inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando BiomerK.

Tabla 22. Descripción del proyecto de inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando BiomerK.

| PROGRAMA | Estimulación microbiana en lagunas de estabilización |
|--|--|
| PROYECTO No. 1 | Inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando BiomerK |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>El proyecto de inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando BiomerK propone la aplicación del producto como inoculante biológico de alta concentración, especialmente formulado para la optimización de sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas, municipales e industriales. El producto cuenta con cepas facultativas de bacterias con capacidad para degradar diferentes compuestos presentes en las aguas residuales como nitratos, fosfatos, exceso de biomasa/lodos, proteínas, azúcares, grasa animal y vegetal, aceites, almidones, ácido sulfhídrico, entre otros, que afectan la eficiencia y el funcionamiento del sistema, lo cual se ve reflejado en los valores de DBO, DQO y SST.</p> <p>Una vez que se realice la inoculación de BiomerK en el sistema de lagunas, las bacterias comenzarán a multiplicarse y a formar parte de la microbiota del licor de mezcla y de los lodos del sistema. En la medida que esto sucede, las cepas pueden degradar la biomasa que está en exceso. Esta biomasa en exceso es responsable de la producción de gases atrapados, producto de la descomposición anaeróbica. El resultado final es un aumento de la eficiencia del sistema gracias a una mejor degradación de la materia orgánica que reduce la acumulación de los lodos.</p> <p>Una descripción del producto a aplicar se presenta a continuación:</p> | |
| Nombre del producto | BIOMERK® AR BIOCUBO BIOMERK® HC BIOCUBO |
| Presentación | Biocubo de 906 gramos |
| Concentración mínima garantizada | 2X109 UFC/g |
| <p>Las dosis de aplicación del producto recomendadas por el fabricante para el STAR en particular son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un Biocubo de BIOMERK® AR BIOCUBO, cada 2.700m³, cada 15 días aproximadamente. - Un Biocubo de BIOMERK® HC BIOCUBO, cada 2.700m³, cada 15 días aproximadamente. | |

Forma de Aplicación:

Para la aplicación del producto, es necesario ubicar los biocubos de manera simultánea en frente del tubería de ingreso a la laguna anaerobia de manera que el caudal de ingreso impacte los biocubos y estos queden apenas sumergidos en el agua.

ACTIVIDADES**Inoculación del producto BIOMERK® en el sistema de lagunas:**

Realizar el proceso de inoculación en el sistema de lagunas, utilizando el producto Biomerk ®, el cual se debe inocular en frente de la tubería de ingreso de la laguna anaerobia.

El kit biológico está compuesto por un biocubo de 906 gramos. Cada Biocubo de *Biomerk* ® deberá ser ubicado sobre la tubería de ingreso a la primera laguna. La inoculación se realizará de la siguiente manera: 15 días un biocubo *BIOMERK*® AR y 15 días un biocubo *BIOMERK*® HC.

El proceso debe llevarse a cabo de manera consecutiva, es decir, realizando la aplicación continua (cada 15 días) de las bacterias en el sistema de lagunas.

Evaluar los resultados después 60 días de haberse iniciado el proceso de bioaumentación.

PRESUPUESTO

| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|-----------------------|---------|----------|---------------------|-------------|
| Biomerk®HC Biocubo | Biocubo | 2 | \$ 380.000 | \$ 760.000 |
| Biomerk®AR Biocubo | Biocubo | 2 | \$ 380.000 | \$ 760.000 |
| TOTAL | | | \$ 1.520.000 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.4.2 Bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático.

Tabla 23. Descripción del proyecto de bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático.

| PROGRAMA | Estimulación microbiana en lagunas de estabilización |
|---|---|
| PROYECTO No. 2 | Bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>El proyecto de bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático, propone la aplicación del producto biológico en polvo para degradar residuos presentes en aguas y suelos. Con la aplicación de Bioenzimático en las lagunas, se aumentará la diversidad biológica y por ende la actividad del sistema mejorando la calidad del efluente. En este sentido, el sistema será más eficiente en la remoción de la DBO₅, DQO y SST.</p> | |
| <p>Las bacterias naturales formuladas en Bioenzimático, trabajan digiriendo residuo orgánico para prevenir olores ofensivos y acumulaciones de lodos en sistemas de tratamiento. Bioenzimático tiene gran efectividad en la degradación de nitratos y residuos industriales.</p> | |
| <p>Puesto que las bacterias y las enzimas trabajan juntas en el proceso de digestión, la mezcla seleccionada de los dos es muy importante. Las enzimas ponen en marcha la digestión, las bacterias degradan y producen más enzimas necesarias para digerir el tipo particular de residuos orgánicos en el sistema.</p> | |
| <p>El producto se encuentra disponible en las siguientes formas:</p> | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Polvo granulado amarillo blancuzco con olor característico empacado por libras (453 gramos). • Al granel por libras individuales. Cada libra está empacada en una bolsa plástica hidrosoluble. • Baldes plásticos o cajas de 6, 12 y 30 libras . | |
| <p>Aplicación del producto:</p> | |
| <p>Para la aplicación del producto se debe tener en cuenta que el programa de “Bioaumentación” se inicia con una dosis de “choque, arranque o inicio” reflejada en el primer mes y dosis de “sostenimiento” reflejada en los meses posteriores. Para meses pico, se sugiere aumentar la cantidad de bacterias a sus dosis de “choque”.</p> | |

| DOSIS DE ARRANQUE O DE INICIO | |
|--------------------------------------|-------------------|
| Dosis | Frecuencia |
| 6 libras (2,72 Kg) | Diaria |

Fuente: Autores.

| DOSIS DE MANTENIMIENTO | |
|-------------------------------|-------------------|
| Dosis | Frecuencia |
| 3 libras (1,36 Kg) | Diaria |

Fuente: Autores.

ACTIVIDADES

Inoculación del producto BIOENZIMÁTICO en el sistema de lagunas:

Realizar el proceso de inoculación en el sistema de lagunas, utilizando el producto de Bioenzimático, el cual se debe inocular en frente de la tubería de ingreso a la laguna anaerobia.

Durante el primer mes de aplicación del producto, se deberá dosificar de forma manual una dosis de arranque, la cual consiste en 6 lb del producto en frecuencia diaria. Una vez transcurrido el mes, el operario deberá dosificar una dosis de mantenimiento, aplicando 3 lb del producto en la misma frecuencia..

El proceso debe llevarse a cabo de manera consecutiva, es decir, realizando la aplicación continua (cada 24 horas) de las bacterias en el sistema de lagunas.

Evaluar los resultados después 60 días de haberse iniciado el proceso de bioaumentación.

| PRESUPUESTO | | | | |
|-------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| Kit Biológico – Bioenzimático | Lb | 90 | \$ 28.000 | \$ 2.520.000 |
| TOTAL | | | \$ 2.520.000 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.5. Restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial.

Tabla 24. Descripción del alternativas del programa de restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial.

| | |
|-----------------------|---|
| PROGRAMA | Restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial |
| PROYECTO No. 1 | Siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial |
| OBJETIVO | Restaurar la cobertura vegetal del humedal artificial mediante la siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> por su capacidad de remover contaminantes |
| METAS | <ul style="list-style-type: none"> - Aumentar en un 40% la eficiencia remoción de los parámetros de DBO₅ y DQO en relación al año anterior - Cubrir el 100% de la superficie del humedal con la planta <i>Heliconia psittacorum</i> |
| INDICADORES | <ul style="list-style-type: none"> - (Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO₅ y DQO en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO₅ y DQO en el periodo anterior)*100 - (Área plantada con <i>Heliconia psittacorum</i>/Área del humedal)*100 |
| PROYECTO No. 2 | Siembra de <i>Cyperus papyrus</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial |
| OBJETIVO | Restaurar la cobertura vegetal del humedal artificial mediante la siembra de <i>Cyperus papyrus</i> por su capacidad de remover contaminantes |
| METAS | <ul style="list-style-type: none"> - Aumentar en un 40% la eficiencia remoción de los parámetros de DBO₅ y DQO en relación al año anterior. - Cubrir el 100% de la superficie del humedal con la planta <i>Cyperus papyrus</i>. |
| INDICADORES | <ul style="list-style-type: none"> - (Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO₅ y DQO en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO₅ y DQO en el periodo anterior)*100 - (Área plantada con <i>Cyperus papyrus</i>/Área del humedal)*100. |

Fuente: Autores.

6.2.3.5.1. Siembra de *Heliconia psittacorum* en el humedal artificial de flujo subsuperficial.

Tabla 25. Descripción del proyecto de siembra de *Heliconia psittacorum* en el humedal artificial de flujo subsuperficial.

| PROGRAMA | Restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial |
|---|--|
| PROYECTO No. 1 | Siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>El proyecto de siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial plantea la restauración de la cubierta vegetal del mismo por medio de la plantación de la <i>Heliconia</i>, una planta herbácea perenne propia de las selvas tropicales y subtropicales de América del Sur y el Caribe.</p> | |
| <p>Estudios realizados con <i>Heliconia psittacorum</i> demuestran que esta planta presenta características de aclimatación adecuadas a las condiciones de los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en Colombia. Entre las características más relevantes, es la capacidad de eliminación de DBO₅, DQO y SST mayor a 60% en la mayoría de los estudios, su capacidad para acumular metales pesados sin detrimento de sus propiedades fisiológicas y su rápido crecimiento y desarrollo. En el caso del uso de <i>Heliconia psittacorum</i> en humedales construidos de flujo subsuperficial, algunos autores reportan remociones superiores al 70% para DBO₅⁵⁸.</p> | |
| <p>La especie se propaga usualmente de manera natural a través del desarrollo de las yemas vegetativas presentes en su tallo rizomatoso. Aunque también pueden propagarse por semilla. Se recomiendan temperaturas entre 25°C y 35°C en semillero y trasplantar cuando los brotes tengan de 2 a 4 cm de altura. Para la plantación prefieren los suelos ácidos, aunque algunos cultivares soportan también los ligeramente alcalinos.</p> | |
| <p>Para la multiplicación, los rizomas deben ser divididos de manera tal, que cada fracción vaya provista de varias yemas vegetativas que den origen al desarrollo de nuevos rizomas y aparatos vegetativos. Para el cultivo en suelo, se proponen espaciados entre plantas que varían entre 0,75-1 m para <i>H. psittacorum</i> aunque se ha comprobado que un marco de plantación de 0,50x0,50m resulta adecuado para ella. De este modo, la poceta se llena de plantas en unos seis meses.</p> | |
| <p>Generalmente, es necesario proceder a levantar y renovar la plantación cada dos a tres</p> | |

⁵⁸ DELGADILLO, O. et al. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la gestión y uso del agua. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Agronomía. Cochabamba, Bolivia.

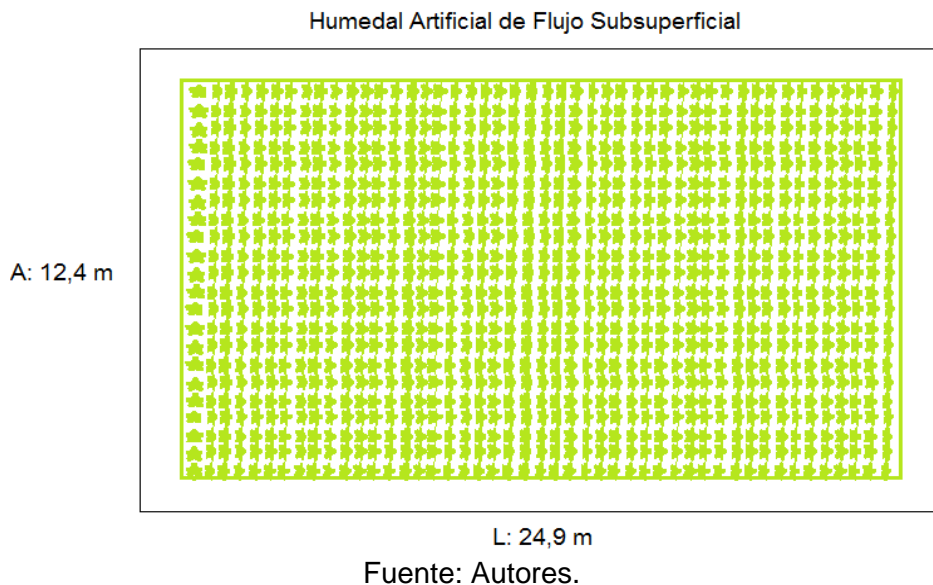
años, debido a que la densidad de pseudotallos llega a ser excesiva y hace decrecer su calidad. La renovación ha de hacerse con mayor frecuencia en climas más tropicales.

En cuanto al consumo de agua, apenas existen referencias. Se aconseja aplicar entre 7 y 9 L/día de agua para el cultivo de *H. psittacorum* aunque las dosis pueden ser bastante menores ya que son complementarias a la lluvia.

Algunos datos sobre la siembra de *H. psittacorum* en el humedal artificial se describen a continuación:

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Borde libre de especies | 1 m |
| Largo | 47 especies |
| Ancho | 22 especies |
| Espacio entre cada especie | 50 cm |

Imagen 11. Descripción de los puntos de siembra de *H. psittacorum* en el humedal artificial de flujo subsuperficial.



ACTIVIDADES

Labranza:

Realizar la preparación del suelo para el cultivo empleando un arado que penetra en el suelo hasta una profundidad de 15 cm y voltea la tierra, arrancando o eliminando las malas hierbas que crecen en el terreno, removiendo y aflojando las capas superficiales del suelo y dejando el lecho con la humedad suficiente para que germinen las especies

sembradas.

Allanar:

Eliminar los terrones o conglomerados de tierra compactada que se forman en la tierra fuera del punto adecuado de tempero y con la tierra seca. Para deshacerlos es necesario mojarlos abundantemente y dejarlos con humedad hasta el día siguiente, momento en que se desharán con facilidad pasando el reverso del rastrillo. La zona de cultivo del humedal debe quedar llana y la tierra con una textura suave y con el granulado de la tierra fino.

Elaboración de los huecos de siembra:

Elaborar los huecos de siembra de acuerdo al tamaño del rizoma o bolsa de las especies adquiridas. Estos deberán realizarse generalmente de 50 cm de diámetro y 20 cm de profundidad. Cuando se siembran partes de plantas con varios vástagos con raíces sanas en suelo se requiere elaborar huecos de hasta 80 cm de diámetro.

Riego:

Aportar agua a las especies sembradas durante los primeros meses de crecimiento, principalmente en periodos secos y en determinados volúmenes según la incidencia lumínica de la zona. Para el caso de la ubicación específica del humedal a plena exposición a la luz solar el requerimiento mínimo es de 20 mm diarios de agua.

Deshije:

Eliminar los vástagos desnutridos entre 2 o 3 meses luego de sembrado el cultivo, lo que le permite a la planta tener mayor circulación de aire, previniendo así enfermedades y permitiendo la brotación de nuevos vástagos, más vigorosos y productivos. Igualmente se deben eliminar vástagos adultos con flores muy abiertas o dañadas. El corte se debe realizar 5 cm por encima del cuello del rizoma, en bisel (oblicuo) para prevenir la pudrición y evitar futuros daños a los nuevos brotes que surjan del rizoma.

Deshoje:

Realizar el corte de las hojas cuando estén secándose por vejez o daño mecánico. Aproximadamente cada 25 a 35 días. Esta labor también facilita la circulación de aire y reduce la incidencia de enfermedades.

Tutorado:

Amarrar los vástagos de cada planta para que crezcan en forma vertical, permitiendo mejor acceso al interior del humedal, más aireación y obtener plantas de mejor calidad al disminuir el porcentaje de plantas torcidas.

Resiembra:

Realizar resiembras cuando las plantas dejen un centro despejado debido a la floración o muerte de sus primeros vástagos o por la muerte total de la planta. Esta actividad permite el aprovechamiento del espacio y conservar la densidad inicial del cultivo en el humedal.

Monitoreo:

Realizar monitoreos permanentes del cultivo en cuanto a incidencia (presencia o no) y severidad (grado de afección), como el reconocimiento de los problemas fitosanitarios que se presentan en el cultivo de heliconias.

| PRESUPUESTO | | | | |
|------------------------------|--------|----------|----------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| <i>Heliconia psittacorum</i> | - | 1034 | \$5.000 | \$5.170.000 |
| TOTAL | | | \$5.170.000 | |

Fuente: Autores.

6.2.3.5.2. Siembra de *Cyperus papyrus* en el humedal artificial de flujo subsuperficial.

Tabla 26. Siembra de *Cyperus papyrus* en el humedal artificial de flujo subsuperficial.

| | |
|--|---|
| PROGRAMA | Restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial |
| PROYECTO No. 2 | Siembra de <i>Cyperus papyrus</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial |
| DESCRIPCIÓN | |
| <p>El proyecto de siembra de <i>Cyperus papyrus</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial plantea la restauración de la cubierta vegetal del mismo mediante la plantación de papiro, una especie acuática, perenne y robusta que puede crecer hasta llegar a los 4 o 5 metros de altura.</p> <p>La especie presenta ciertas características que le permiten un buen desempeño como macrófita enraizada, posee grandes rizomas y espigas cilíndricas, tolera temperaturas de 20 a 33 °C y valores de pH entre 6 y 8; además, tiene su capacidad para soportar altos niveles de insolación, resistencia a plagas y su adaptabilidad a condiciones climáticas tropicales (Pérez et al 2013).</p> <p>E.l <i>Cyperus papyrus</i> es la especie que con más frecuencia se emplea en África para</p> | |

tratamientos con humedales construidos (Vymazal, 2013). Se ha demostrado que los humedales artificiales de flujo subsuperficial, son más eficientes en la remoción de la carga orgánica (DBO₅, DQO, Fósforo y Nitrógeno) utilizando el papiro (*Cyperus papyrus*) obteniendo como resultados de remoción de 91% para el caso del DBO₅ y 72% para el DQO. En cuanto a nutrientes, se obtienen remociones del 75% para el Fósforo soluble. Además, demostró ser apta para crecer en ambientes con temperaturas de 20 a 33°C (Pérez, Alfaro, Sasa, & Agüero, 2012).

Las semillas de papiro no germinan con facilidad y puede llevar más de un mes hasta que aparezcan los primeros brotes. Incluso en sus condiciones naturales, la planta no se propaga fácilmente por su simiente. La técnica de reproducción más utilizada es la de división de rizomas; para ello, se desentierra la planta una vez que ha pasado el peligro de heladas y se recortan los rizomas en grupos de dos o tres y luego se las coloca en nuevas macetas.

El papiro prefiere una exposición a pleno sol, aunque también puede crecer y desarrollarse en la sombra parcial. Por lo general, se planta por rizomas en suelo fértil y húmedo en macetas y luego se sumerge en un medio acuático, también se puede sembrar directamente en 90 centímetros de sustrato fangoso para mantener los pesados tallos en posición vertical.

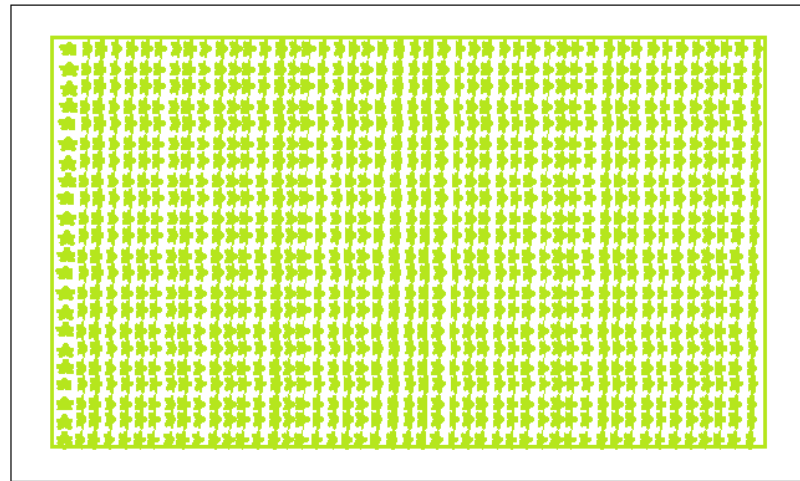
Algunos datos sobre la siembra de *Cyperus papyrus* en el humedal artificial se describen a continuación:

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Borde libre de especies | 1 m |
| Largo | 47 especies |
| Ancho | 22 especies |
| Espacio entre cada especie | 50 cm |

Imagen 12. Descripción de los puntos de siembra de *Cyperus papyrus* en el humedal artificial de flujo subsuperficial

Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial

A: 12,4 m



L: 24,9 m

Fuente: Autores.

ACTIVIDADES

Labranza:

Realizar la preparación del suelo para el cultivo empleando un arado que penetra en el suelo hasta una profundidad de 15 cm y voltea la tierra, arrancando o eliminando las malas hierbas que crecen en el terreno, removiendo y aflojando las capas superficiales del suelo y dejando el lecho con la humedad suficiente para que germinen la especies a sembradas.

Allanar:

Eliminar los terrones o conglomerados de tierra compactada que se forman en la tierra fuera del punto adecuado de tempero y con la tierra seca. Para deshacerlos es necesario mojarlos abundantemente y dejarlos con humedad hasta el día siguiente, momento en que se desharán con facilidad pasando el reverso del rastrillo. La zona de cultivo del humedal debe quedar llana y la tierra con una textura suave y con el granulado de la tierra fino.

Elaboración de los huecos de siembra:

Elaborar los huecos de acuerdo al tamaño del rizoma o bolsa de las especies adquiridas. Estos se plantaran directamente a una profundidad de 30 cm en el barro para que mantenga los tallos derechos.

Riego:

Aportar durante los primeros meses de crecimiento la suficiente agua a las especies sembradas, principalmente en periodos secos y en determinados volúmenes según la incidencia lumínica de la zona. El papiro es una planta que requiere abundante agua, puede requerir humedad constante o estar sumergido en agua.

Deshije:

Eliminar los vástagos desnutridos entre 2 o 3 meses luego de sembrado el cultivo, lo que le permite a la planta tener mayor circulación de aire, previniendo así enfermedades y permitiendo la brotación de nuevos vástagos, más vigorosos y productivos. El corte se debe realizar por encima del cuello del rizoma, en bisel (oblicuo) para prevenir la pudrición y evitar futuros daños a los nuevos brotes que surjan del rizoma.

Deshoje:

Realizar el corte que a las hojas cuando que estén secándose por vejez o daño mecánico. Aproximadamente cada 25 a 35 días. Esta labor también facilita la circulación de aire y reduce la incidencia de enfermedades.

Tutorado:

Amarrar los vástagos de cada planta para que crezcan en forma vertical, permitiendo mejor acceso al interior del humedal, más aireación y obtener plantas de mejor calidad al disminuir el porcentaje de plantas torcidas.

Resiembr:

Realizar resiembras cuando las plantas dejen un centro despejado debido a la floración o muerte de sus primeros vástagos o por la muerte total de la planta. Esta actividad permite el aprovechamiento del espacio y conservar la densidad inicial del cultivo en el humedal.

Monitoreo:

Realizar monitoreos permanentes del cultivo en cuanto a incidencia (presencia o no) y severidad (grado de afección), como el reconocimiento de los problemas fitosanitarios que se presenten en el cultivo del papiro.

| PRESUPUESTO | | | | |
|------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| <i>Cyperus papyrus</i> | - | 1034 | \$8.500 | \$8.789.000 |
| TOTAL | | | | \$8.789.000 |

Fuente: Autores.

6.2.4. Evaluación ambiental, social y económica de las alternativas planteadas.

A continuación, se presenta la evaluación ambiental, social y económica de las alternativas planteadas para la optimización del STAR. Para la evaluación,

primeramente se realizó el análisis de la relación beneficio-costos que permitió valorar el problema ambiental mediante una comparación del impacto económico que se tiene del problema actual frente a los costos que se tendrían para disminuirlo.

Una vez determinada la relación beneficio-costos se procedió a la realización de la evaluación de alternativas en la solución de los problemas identificados en el STAR teniendo en cuenta el análisis de variables como su impacto sobre el medio ambiente, funcionamiento técnico, viabilidad económica e impactos sociales que puedan generarse durante su realización.

6.2.4.1. Análisis de la relación beneficio-costos (B/C).

- **Costos de inversión inicial:**

La inversión inicial del proyecto va compuesta de varios gastos que incluyen la instalación de mecanismos y equipos reductores de consumo para el ahorro y uso eficiente de agua, la adquisición del tanque mezclador dosificador de producto para la neutralización de pH, la instalación de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas, la adecuación de múltiples entradas y salidas para la distribución homogénea del caudal, la adquisición de bioestimuladores microbianos para el sistema de lagunas y finalmente la siembra de vegetación específica del humedal artificial de flujo subsuperficial.

Entre otros gastos de inversión, se considera la adecuación de las áreas a intervenir, se incluye entonces la dotación de elementos de protección individual (guantes, gafas, tapabocas y casco de seguridad), dotación de ropa (overol y botas) y señalización. Por lo que se refiere a otros activos menores, se consideran los documentos informativos que deben incluirse en los procedimientos de optimización de cada una de las áreas a intervenir.

- **Costos recurrentes:**

Se identificó el valor total de los costos recurrentes a partir de los gastos de operación y mantenimiento de cada uno de los procedimientos de optimización, entre los que se incluyó: la verificación de cada uno de los programas de optimización, reparación y mantenimiento de equipos reductores de consumo de agua, del tanque homogenizador dosificador de producto, de las mamparas o pantallas deflectoras, de la estructura de múltiples entradas, la adquisición de

bioestimuladores microbianos, análisis de laboratorio, elementos de control para el cultivo de las plantas específicas del humedal, dotación, papelería y servicios públicos. De igual manera, se tuvo en cuenta lo que se debe adquirir cada año para continuar con el funcionamiento de cada uno de los procedimientos de optimización.

- **Beneficios del proyecto:**

Se determinaron los beneficios cualitativos del proyecto, los cuales son ambientales, legales, sociales y de mejoramiento de la imagen corporativa de la empresa del sector panelero. Por último, se establecieron los beneficios económicos tras la implementación del proyecto.

- **Beneficios ambientales:** la disminución de la carga orgánica vertida a la fuente hídrica, la generación y restauración de entornos ecológicos, el mantenimiento de la capacidad de reproducción del ecosistema y una mejora efectiva del paisaje.
- **Beneficios legales:** el cumplimiento de la normatividad ambiental en lo dispuesto en la resolución 0631 de 2015, artículo 9 - páginas 8 y 9. “Por la cual se establecen los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería”.
- **Beneficios sociales:** la generación de empleo, educación y cultura ambiental en los empleados de la empresa del sector panelero. La protección de las comunidades que se encuentran ubicadas aguas abajo por las descargas de aguas residuales y la mejora en la calidad de vida de la población por la generación de un ambiente más sano con un entorno ecológico más saludable.
- **Beneficios sobre la imagen corporativa de la empresa:** contribuye a que la organización sea considerada como ejemplo y pueda emprender la obtención de sellos verdes y certificaciones ambientales otorgando los estímulos pertinentes a la empresa del sector panelero por el liderazgo en el cuidado y mejoramiento del medio ambiente.

- **Beneficios económicos:** este proyecto contribuye a tener resultados económicos satisfactorios tras la implementación del proyecto de optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la empresa del sector panelero. Por lo tanto, mediante la realización del proyecto, la empresa obtendrá utilidades a través del ahorro, por la disminución del pago de la tasa retributiva por el vertimiento de aguas residuales menos contaminadas, la prevención de imposición de multas por parte de la autoridad ambiental por el incumplimiento normativo, tramitología ambiental, formulación e implementación de planes de saneamiento y manejo de vertimientos, entre muchos otros.

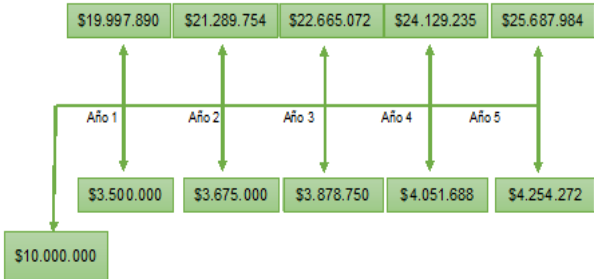
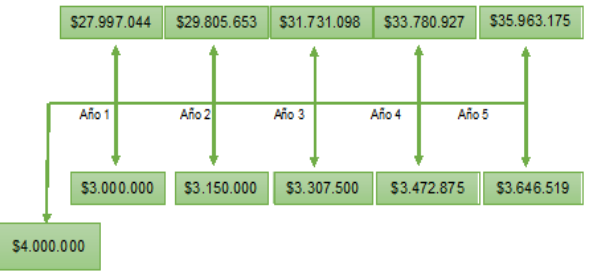
- **Cálculo de la relación beneficio-costo (B/C):**

Para el cálculo de la relación beneficio-costo (B/C) se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- El horizonte de evaluación considerado fue de 5 años (60 meses).
- La Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) considerada fue de 15 %. *(Teniendo presente que para proyectos es el TMAR recomendado).*
- El aumento del pago anual de la tasa retributiva que se impone por el vertimiento de aguas residuales es de 6,46%.
- El alce de los costos recurrentes anuales es del 5%.

El cálculo de la relación beneficio-costo (B/C) de cada una de las alternativas propuestas para la optimización del STAR se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 27. Calculo de la relación beneficio-costo (B/C).

| Proyecto | Descripción del beneficio económico | Flujo de Caja | Relación Beneficio/Costo (B/C) |
|---|--|--|---|
| <p>Ahorro y Uso Eficiente de Agua</p> | <p>Los beneficios económicos del proyecto de ahorro y uso eficiente de agua se obtuvieron en relación a la disminución del volumen de agua enviada al STAR y por consiguiente a la disminución del volumen de agua vertida a la fuente hídrica. Esta disminución del volumen vertido trae consigo la disminución de la carga orgánica del agua residual y por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas. <i>(Ver anexo H).</i></p> |  | <p>4,82 <i>(Ver Anexo I)</i></p> |
| <p>Uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela</p> | <p>Los beneficios económicos del proyecto de uso adecuado del ácido fosfórico utilizado en el proceso de fosforilación de la panela se obtuvieron en relación a la disminución del costo anual de compra del mismo, la disminución del volumen de ácido fosfórico enviado al STAR y por consiguiente el mejoramiento de las condiciones del pH, estimulando la eficiencia del sistema de tratamiento. Por lo tanto, esta disminución del volumen de ácido enviado al STAR trae consigo la disminución de la carga contaminante del agua residual del mismo y</p> |  | <p>8,75 <i>(Ver Anexo K)</i></p> |

| | por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas. (Ver anexo J). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|-----------------|---------------|-------------|-----------------|---|-------------|-------------|--------------|---|--|-------------|--------------|---|--|-------------|--------------|---|--|-------------|--------------|---|--|-------------|--------------|-------------------------------|
| Determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 | Los beneficios económicos del proyecto de determinación de un rango óptimo de dosificación de Cal Ca(OH)_2 se obtuvieron en relación a la disminución del costo total anual destinado a la compra del insumo. Por lo tanto, la disminución de la cantidad de cal desperdiciada en el proceso trae consigo la disminución de los costos de tratamiento del agua residual en el STAR. (Ver anexo L). | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Costo Inicial</th> <th>Flujo Anual</th> <th>Valor Acumulado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>\$292.400</td> <td>\$584.800</td> <td>\$8.951.298</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>\$614.040</td> <td>\$9.529.552</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>\$644.742</td> <td>\$10.145.161</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>\$676.979</td> <td>\$10.800.538</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>\$710.828</td> <td>\$11.498.25</td> </tr> </tbody> </table> | Año | Costo Inicial | Flujo Anual | Valor Acumulado | 1 | \$292.400 | \$584.800 | \$8.951.298 | 2 | | \$614.040 | \$9.529.552 | 3 | | \$644.742 | \$10.145.161 | 4 | | \$676.979 | \$10.800.538 | 5 | | \$710.828 | \$11.498.25 | 15,27 (Ver anexo M) |
| Año | Costo Inicial | Flujo Anual | Valor Acumulado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | \$292.400 | \$584.800 | \$8.951.298 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | \$614.040 | \$9.529.552 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | \$644.742 | \$10.145.161 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | \$676.979 | \$10.800.538 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | \$710.828 | \$11.498.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Implementación de un tanque mezclador dosificador de producto | Los beneficios económicos del proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto se obtuvieron en relación a la condición de mejoramiento de la unidad de neutralización de pH en el STAR y por consiguiente, la estimulación de la eficiencia del sistema de tratamiento. Por lo tanto, la implementación del tanque mezclador dosificador de producto contribuye a la disminución de la carga contaminante del agua residual en el STAR y por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas. (Ver anexo N). | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Costo Inicial</th> <th>Flujo Anual</th> <th>Valor Acumulado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>\$3.806.260</td> <td>\$2.000.000</td> <td>\$32.001.754</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>\$2.100.000</td> <td>\$34.069.067</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>\$2.205.000</td> <td>\$36.269.929</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>\$2.315.250</td> <td>\$38.612.966</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>\$2.431.012</td> <td>\$41.107.364</td> </tr> </tbody> </table> | Año | Costo Inicial | Flujo Anual | Valor Acumulado | 1 | \$3.806.260 | \$2.000.000 | \$32.001.754 | 2 | | \$2.100.000 | \$34.069.067 | 3 | | \$2.205.000 | \$36.269.929 | 4 | | \$2.315.250 | \$38.612.966 | 5 | | \$2.431.012 | \$41.107.364 | 14,40 (Ver Anexo O) |
| Año | Costo Inicial | Flujo Anual | Valor Acumulado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | \$3.806.260 | \$2.000.000 | \$32.001.754 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | \$2.100.000 | \$34.069.067 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | \$2.205.000 | \$36.269.929 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | \$2.315.250 | \$38.612.966 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | \$2.431.012 | \$41.107.364 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de múltiples entradas en el | Los beneficios económicos del proyecto de diseño de múltiples entradas en el sistema de | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| <p>sistema de lagunas</p> | <p>lagunas se obtuvieron en relación a la condición del mejoramiento de la distribución del agua en el sistema de lagunas; la implementación de múltiples entradas en el sistema de lagunas en el STAR contribuirá a la disminución de la carga contaminante del agua residual del mismo y por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas. (Ver anexo P).</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Salida</th> <th>Entrada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Año 1</td> <td>\$2.341.500</td> <td>\$1.800.000</td> </tr> <tr> <td>Año 2</td> <td></td> <td>\$1.890.000</td> </tr> <tr> <td>Año 3</td> <td></td> <td>\$1.984.500</td> </tr> <tr> <td>Año 4</td> <td></td> <td>\$2.083.725</td> </tr> <tr> <td>Año 5</td> <td></td> <td>\$2.187.911</td> </tr> </tbody> </table> | Año | Salida | Entrada | Año 1 | \$2.341.500 | \$1.800.000 | Año 2 | | \$1.890.000 | Año 3 | | \$1.984.500 | Año 4 | | \$2.083.725 | Año 5 | | \$2.187.911 | <p>16,70 (Ver anexo Q)</p> |
|---|---|---|-----|--------|---------|-------|--------------|-------------|-------|--|-------------|-------|--|-------------|-------|--|-------------|-------|--|-------------|---------------------------------------|
| Año | Salida | Entrada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 1 | \$2.341.500 | \$1.800.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 2 | | \$1.890.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 3 | | \$1.984.500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 4 | | \$2.083.725 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 5 | | \$2.187.911 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas</p> | <p>Los beneficios económicos del proyecto de diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas se obtuvieron en relación a la condición de la reducción del corto circuito hidráulico en el sistema de lagunas y proveer una superficie sumergida que pueda aumentar el crecimiento de biomasa adherida, la masa total de microorganismos y promover la turbulencia hidráulica de las unidades de tratamiento, de esta forma mejorar la eficiencia del tratamiento en el sistema de lagunas, esto es, que se utilice todo el volumen de la laguna. Por lo tanto, la eficiencia de remoción de DBO₅ y SST aumentará a medida que aumenta el número de pantallas aumenta y de igual manera, aumentará el periodo de detención real, lo cual equivale a decir que se reduce la carga contaminante del agua residual del</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Salida</th> <th>Entrada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Año 1</td> <td>\$17.500.000</td> <td>\$3.000.000</td> </tr> <tr> <td>Año 2</td> <td></td> <td>\$3.150.000</td> </tr> <tr> <td>Año 3</td> <td></td> <td>\$3.307.500</td> </tr> <tr> <td>Año 4</td> <td></td> <td>\$3.472.875</td> </tr> <tr> <td>Año 5</td> <td></td> <td>\$3.646.519</td> </tr> </tbody> </table> | Año | Salida | Entrada | Año 1 | \$17.500.000 | \$3.000.000 | Año 2 | | \$3.150.000 | Año 3 | | \$3.307.500 | Año 4 | | \$3.472.875 | Año 5 | | \$3.646.519 | <p>7,54 (Ver anexo S)</p> |
| Año | Salida | Entrada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 1 | \$17.500.000 | \$3.000.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 2 | | \$3.150.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 3 | | \$3.307.500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 4 | | \$3.472.875 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 5 | | \$3.646.519 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | STAR y por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas. (Ver anexo R). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|-----|---------|--------|-------|--------------|-------------|-------|--------------|-------------|-------|--------------|-------------|-------|--------------|-------------|-------|--------------|-------------|--|
| Inoculación microbiana en lagunas empleando Biomerck | <p>Los beneficios económicos del proyecto de inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck se obtuvieron en relación a que se realizará la adición de bacterias con capacidad para degradar diferentes compuestos presentes en las aguas residuales como nitratos, fosfatos, exceso de biomasa/lodos, proteínas, azúcares, grasa vegetal, aceites, almidones, ácido fosfórico, entre otros, que afectan la eficiencia y el funcionamiento del sistema, lo cual se ve reflejado en los valores de DBO y SST. Por lo tanto, la inoculación microbiana en el sistema de lagunas contribuirá a la disminución de la carga contaminante del agua residual del mismo y por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas. (Ver anexo T).</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Ingreso</th> <th>Egreso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Año 1</td> <td>\$32.001.754</td> <td>\$4.560.000</td> </tr> <tr> <td>Año 2</td> <td>\$34.069.067</td> <td>\$4.788.000</td> </tr> <tr> <td>Año 3</td> <td>\$36.269.929</td> <td>\$5.027.400</td> </tr> <tr> <td>Año 4</td> <td>\$38.612.966</td> <td>\$5.278.770</td> </tr> <tr> <td>Año 5</td> <td>\$41.107.364</td> <td>\$5.542.709</td> </tr> </tbody> </table> <p>\$18.240.000</p> | Año | Ingreso | Egreso | Año 1 | \$32.001.754 | \$4.560.000 | Año 2 | \$34.069.067 | \$4.788.000 | Año 3 | \$36.269.929 | \$5.027.400 | Año 4 | \$38.612.966 | \$5.278.770 | Año 5 | \$41.107.364 | \$5.542.709 | <p style="text-align: center;">5,51 (Ver anexo U)</p> |
| Año | Ingreso | Egreso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 1 | \$32.001.754 | \$4.560.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 2 | \$34.069.067 | \$4.788.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 3 | \$36.269.929 | \$5.027.400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 4 | \$38.612.966 | \$5.278.770 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 5 | \$41.107.364 | \$5.542.709 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando | <p>Los beneficios económicos del proyecto de bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático se obtuvieron de acuerdo a la condición en que se realizará la bioestimulación de bacterias aumentando la diversidad biológica y por ende</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | |
|--|---|--|---------------------------------------|
| <p>Bioenzimático</p> | <p>la actividad del sistema mejorando la calidad del efluente. En este sentido, el sistema será más eficiente en la remoción de la DBO₅ y SST. Por lo tanto, la bioestimulación microbiana en el sistema lagunas empleando Bioenzimático contribuirá a la disminución de la carga contaminante del agua residual del STAR y por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas. (Ver anexo V).</p> | | <p>2,91 (Ver anexo W)</p> |
| <p>Siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial</p> | <p>Los beneficios económicos del proyecto de siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial se obtuvieron de acuerdo a la condición en que se realizará la restauración de la cubierta vegetal del humedal, optimizando la unidad de tratamiento. En este sentido, se tuvo en cuenta que la siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial es uno de los métodos más eficientes en la remoción de la DBO₅ y SST. Por lo tanto, el proyecto de restauración vegetal del humedal empleando <i>Heliconia psittacorum</i> contribuirá a la disminución de la carga contaminante del agua residual del STAR y por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos</p> | | <p>11,39 (Ver anexo Y)</p> |

| | | | |
|---|--|--|--|
| | contaminadas. (Ver anexo X). | | |
| Siembra de <i>Cyperus papyrus</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial | <p>Los beneficios económicos del proyecto de siembra de <i>Cyperus papyrus</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial se obtuvieron en relación a la condición en que se realizará la restauración de la cubierta vegetal del humedal, optimizando la unidad de tratamiento. En este sentido, se tuvo en cuenta que la siembra de <i>Cyperus papyrus</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial hará más eficiente el STAR en la remoción de DBO₅ y SST. Por lo tanto, el proyecto de restauración vegetal del humedal empleando <i>Cyperus papyrus</i> contribuirá a la disminución de la carga contaminante del agua residual del STAR y por tanto la disminución del pago respectivo de la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas. (Ver anexo Z).</p> | | <p style="text-align: center;">10,36 (Ver anexo AA)</p> |

Fuente: Autores.

Bajo este enfoque, en la conclusión de la viabilidad de las alternativas, se tuvo en cuenta la comparación de la relación B/C hallada en comparación con el valor uno (1). En donde se obtuvo que los beneficios superaron los costos, por consiguiente, la totalidad de los proyectos generan utilidad.

6.2.4.2. Valoración de la evaluación de alternativas de solución a los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

Se elaboró la matriz para la evaluación de alternativas de solución a los problemas identificados en STAR, en la cual, se tuvo en cuenta la importancia porcentual de cada uno de los criterios evaluados y a juicio de las autores se les otorgó una calificación numérica en donde se evidenció cuales obtuvieron los valores máximos y mínimos para entender la viabilidad de la(s) alternativa(s) a desarrollar en la guía de optimización del STAR.

En la tabla 28 se presenta la matriz para la evaluación de alternativas en la solución de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

Tabla 28. Matriz para la evaluación de alternativas en la solución de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| MATRIZ DE EVALUACION DE ALTERNATIVAS | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------------|---------------|----------------|----------------------|-----------|
| Problemas (P) | Alternativas (A) | Viabilidad Técnica | Viabilidad Ambiental | Costo-Beneficio | Efecto a corto plazo | Efecto social | Sostenibilidad | Efecto a largo plazo | Total |
| | | Hasta 20 | Hasta 20 | Hasta 15 | Hasta 15 | Hasta 10 | Hasta 10 | Hasta 10 | Hasta 100 |
| P ₁ | A ₁ | 18 | 18 | 10 | 12 | 8 | 8 | 8 | 80 |
| | A ₂ | 18 | 18 | 12 | 12 | 8 | 8 | 8 | 82 |
| P ₂ | A ₁ | 8 | 16 | 12 | 10 | 8 | 8 | 6 | 68 |
| | A ₂ | 16 | 16 | 10 | 12 | 8 | 8 | 8 | 78 |
| P ₃ | A ₁ | 16 | 16 | 13 | 12 | 8 | 8 | 8 | 81 |
| | A ₂ | 10 | 16 | 6 | 12 | 8 | 8 | 5 | 65 |
| P ₄ | A ₁ | 16 | 16 | 12 | 5 | 8 | 8 | 8 | 73 |
| | A ₂ | 14 | 14 | 10 | 3 | 6 | 8 | 6 | 61 |

Fuente: Adaptada y modificada a partir de los desarrollos de SINNAPS, 2017.

| | |
|--|------------------------------------|
| | La alternativa fue considerada. |
| | La alternativa no fue considerada. |

De acuerdo a la valoración de alternativas de solución a los problemas identificados en el STAR, se establecieron cinco (5) alternativas como las más viables para lograr una efectiva optimización del STAR, siendo estas: producción más limpia, neutralización de pH, distribución homogénea del caudal, estimulación microbiana y como último, la restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial.

Entre las alternativas propuestas se incluyeron siete (7) proyectos, siendo estos: ahorro y uso eficiente de agua, uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela, determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 , implementación de un tanque mezclador dosificador de producto, distribución homogénea del agua residual mediante el diseño e instalación de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas, restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial mediante la siembra de *Heliconia psittacorum* y la estimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck.

6.3. FASE 3 - ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE OPTIMIZACIÓN DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL STAR PARA SU IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO

GUÍA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) DE UNA EMPRESA DEL SECTOR PANELERO EN EL VALLE DEL CAUCA.

La guía de optimización contiene los objetivos, el alcance y los responsables de ejecutar lo estipulado en el documento; también establece los lineamientos para el mejoramiento de las condiciones de funcionamiento del STAR. De igual manera, para llevar una documentación organizada, se diseñó un formato para diligenciar los procedimientos de optimización, con la finalidad de tener un conocimiento más amplio y preciso sobre las actividades a realizar.

Por otra parte, se propusieron cinco programas: producción más limpia, neutralización de pH, distribución homogénea del caudal, estimulación microbiana y como último, la restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial, con el propósito de optimizar el funcionamiento del STAR.

Con respecto a cada programa se diseñaron proyectos a través de los cuales se da cumplimiento a los objetivos y metas establecidas en cada programa, siendo

estos: ahorro y uso eficiente de agua, uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela, determinación de un rango óptimo de dosificación de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$, implementación de un tanque mezclador dosificador de producto, distribución homogénea del agua residual mediante el diseño e instalación de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas, restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial mediante la siembra de *Heliconia psittacorum* y la estimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck.

En lo que se refiere a la sensibilización, se propusieron estrategias ambientales en la optimización del STAR, en donde se difunde información básica, talleres de capacitación y charlas para propiciar cambios de actitud y operación, donde estén involucrados operarios, supervisores, administrativos y jefes de áreas involucrados en el funcionamiento del STAR.

De esta manera, en la guía de optimización se describen los elementos metodológicos para la correcta aplicación de los procedimientos de optimización que permitirán el mejoramiento del STAR, desde el desarrollo de programas y proyectos que definan funciones de dirección, coordinación y evaluación de las mejoras planteadas en la propuesta de optimización del STAR, a través de la sistematización de las actividades, la identificación de mejoras y la definición del método para efectuarlas.

En el Anexo BB, se incluye la Guía de Optimización del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de la empresa del sector panelero en el Valle del Cauca.

7. CONCLUSIONES

- Se elaboró un diagnóstico de la operación actual del STAR, en el cual se identificó que no hay una adecuada gestión del tratamiento de las aguas residuales desde la generación hasta su disposición final.
- Se determinaron los atributos físicos y químicos del sistema de lagunas y el humedal artificial de flujo subsuperficial en condiciones de afluente y efluente en el STAR estableciendo que la unidad de tratamiento más eficiente es la laguna anaerobia con un 40,8% de eficiencia y que la unidad de tratamiento menos eficiente es la laguna facultativa con un (-19,4%). El valor negativo en la eficiencia de dicha laguna se debe al incremento de la DBO₅ que se presenta en el efluente de las unidades mencionadas.
- Se realizó la evaluación del análisis del grado de ejecución de los procesos del STAR y de las desviaciones en dichos procesos, en la cual se estableció que la laguna anaerobia, facultativa y el humedal artificial de flujo subsuperficial presentan un grado de desviación del 41,7%, 124,3% y 101,1 % respectivamente.
- Se determinó que la empresa no cumple con los requerimientos de vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas ArnD a cuerpos de agua superficial - Resolución 0631 de 2015 – Artículo 9 – paginas 8 y 9.
- Se realizó la evaluación operativa del STAR y se determinó que el pH de los procesos no es el adecuado para el óptimo funcionamiento del sistema, que el sistema de lagunas y el humedal de flujo subsuperficial presentan una inadecuada distribución de caudal, que la actividad microbiológica en las lagunas de estabilización es ineficiente y que es prácticamente inexistente la presencia de plantas específicas que complementen el tratamiento del agua en el humedal de flujo subsuperficial.
- Se elaboró la matriz para la priorización de problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) y se determinó que el componente mas afectado es el pH, debido a que es la alteración que mas impacto produce sobre el funcionamiento del STAR en funcion de la gravedad de su ocurrencia, por lo tanto, es el que implica mayor urgencia de atención y debe solucionarse con rapidez.

- Se propusieron alternativas de optimización del STAR guiadas en soluciones eficaces de acuerdo a cada uno de los problemas identificados en la evaluación operativa del sistema, a través de la formulación de cinco programas: producción más limpia, neutralización de pH, distribución homogénea del caudal, estimulación microbiana y como último, la restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial.
- Se elaboró la evaluación de alternativas desde el punto de vista ambiental, social y económico, estableciendo siete alternativas como las más viables, siendo estas: ahorro y uso eficiente de agua, uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela, determinación de un rango óptimo de dosificación de Cal Ca(OH)_2 , implementación de un tanque mezclador dosificador de producto, distribución homogénea del agua residual mediante el diseño e instalación de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas, restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial mediante la siembra de *Heliconia psittacorum* y la estimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck.
- Se identificó en el análisis Beneficio/Costo que, en un horizonte de evaluación de 5 años, todos los procedimientos de optimización generan ahorros, los cuales se generan en su mayoría, al disminuir el pago que se impone por la tasa retributiva por el vertimiento de unas aguas residuales menos contaminadas.
- Se establecieron procedimientos de optimización para cada alternativa establecida, fijando instrucciones en cada una de las actividades a realizar conduciendo a un mejor desarrollo de los mismos. Asimismo, se formularon procesos de evaluación como método de seguimiento a los procedimientos planteados.
- Se elaboró la guía de optimización de los diferentes componentes del STAR para su implementación y seguimiento, orientada a mejorar el desempeño ambiental del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la empresa del sector panelero y a la prevención de la contaminación ambiental del recurso hídrico.

8. RECOMENDACIONES

- La empresa debe implementar y asegurar el cumplimiento de los procedimientos planteados para la optimización del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) y de esta manera dar cumplimiento a la normatividad ambiental vigente en lo referente a vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ArnD a cuerpos de aguas superficiales - Resolución 0631 de 2015.
- La empresa debe contemplar la formalización de un Departamento de gestión ambiental, para que se encargue de establecer y cumplir una política, en cabeza de la alta dirección, en donde se establezcan los compromisos y propósitos en relación al cuidado del medio ambiente, así como el cumplimiento de los requisitos legales.
- Se debe aumentar el número de personas capacitadas que apoyen las actividades operativas y administrativas que involucren el manejo ambiental de la empresa.
- La empresa debe contemplar la adquisición de equipos y materiales de laboratorio, al igual que un área específica para realizar los análisis requeridos de laboratorio que permitan visualizar las características fisicoquímicas de las aguas tratadas en el STAR y de esta manera determinar si los resultados obtenidos están enmarcados en lo que establece la normatividad ambiental.
- La presente propuesta de optimización debe ser actualizada por lo menos una vez al año, dependiendo de los cambios en los procedimientos que se realicen en el STAR y acorde a las condiciones de la empresa, es decir, que la guía sea dirigida según las condiciones del momento y que sea adaptada a su propia realidad.
- Es importante continuar realizando proyectos de investigación con características de innovación, que contribuyan al mejoramiento continuo del STAR, promoviendo la aplicación de estrategias ambientales que optimicen el funcionamiento del sistema emprendiendo la obtención de sellos verdes y certificaciones ambientales que otorguen los estímulos

pertinentes a la empresa del sector panelero en el liderazgo y cuidado del medio ambiente.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABBAS, H. et al. (2006). *Study of Waste Stabilization Pond Geometry for Wastewater Treatment Efficiency*. Ecol. Eng. 28: 25-34.
- ALVES, P. (2007). *Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização*. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Sanitária para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. Brasil, p 169.
- ARIAS, C.; BRIX, H. (2013). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, núm. 13, julio, 2003, pp. 17-24 Universidad Militar Nueva Granada Bogotá, Colombia. [citado el 25 de febrero de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101302>>.
- ALVIS, C. (2015). *Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Complejo Urbanístico Barcelona de Indias*. Bogotá D.C. [Citado el 6 de noviembre del 2018]. Disponible en: <<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/305/1/Alvis%20Yepes%20Cristhian%20-%202015.pdf>>.
- BALLESTERO, M. et al. (2015). *Documento Temático: Agua Potable y Saneamiento para Todos. VII Foro Mundial del Agua - Proceso Regional*. [citado el 13 de febrero de 2018]. Disponible en: <<http://scioteca.caf.com/handle/123456789/798>>.
- BOFILL-MAS, S. et al. (2005). *Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos*. *Rev. Esp. Salud Publica* [online]. 2005, vol.79, n.2, pp.253-269. ISSN 2173-9110. [citado el 14 de febrero de 2018]. Disponible en: <<http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion10.pdf>>.
- CONAGUA/IMTA. (2007b). *Lagunas de estabilización*. En *Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Paquetes tecnológicos para el tratamiento de excretas y aguas residuales en comunidades rurales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

- CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL (CONPES 3177). (2002). *Departamento Nacional de Planeación (Colombia). Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales*. [citado el 13 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>.
- CORTÉS, F. et al. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización / Jiutepec, Mor.:* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017. 128 p. ISBN: 978-607-9368-57-9.
- CORTÉS, F. et al. (2013). *Mathematical Model for the Optimization of the Design of a Facultative Pond (Case Study)*. Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS). Vol. 81, issue 1, 127-145.
- DELGADILLO, O. et al. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la gestión y uso del agua.* Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Agronomía. Cochabamba, Bolivia.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP). (2010). *Superintendencia de servicios públicos domiciliarios: Informe Técnico Sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogota D.C. [citado el 28 de febrero de 2018] Disponible en: https://issuu.com/luisespিনosa7/docs/informe_t_cnico_sobre__sistemas_d_e.
- DÍAZ-BÁEZ, M. et al. (2002). *Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología*. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia.
- FERRERO & CHIOTTI. (2015). *Optimización del proceso de enriquecimiento proteico del bagazo de caña de azúcar*. [citado el 25 de septiembre de 2018]. Disponible en: < http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000100009 >.
- FERRO, G. & LENTINI, L. (2013). *Políticas Tarifarias para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), Situación Actual y Tendencias Regionales Recientes. Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe de Naciones Unidas (CEPAL)*. [citado el 15 de febrero de 2018].

Disponible en: < https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4045/S2013024_es.pdf >.

- FONDO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA INFANCIA (UNICEF). (2014). *El agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo*. [citado el 02 de febrero de 2018]. Disponible en < <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf> >.
- GUERRERO, I. (2016). *Matriz de priorización de los desafíos y retos según los campos de la Chakana Héctor. Subdirectoría de formación general I.E. "Mercedes Indacochea Lozano"*. Huacho, Perú. [citado el 25 de septiembre de 2018]. Disponible en: <<https://www.slideshare.net/IselaGuerreroPacheco/matriz-de-priorizacin-de-los-desafos-y-retos-segn-los-campos-de-la-chakana-hector>>.
- GUTIERREZ, C. (1978). *Conceptos básicos sobre lagunas de oxidación*. Universidad Centroamericana - Escuela de Biología y Recursos Naturales. Managua, Nicaragua.
- GONZALEZ, J.; GÓMEZ, K. (2016). *Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bojacá-Cundinamarca. Bogotá D.C.* [Citado el 6 de noviembre del 2018]. Disponible en: <<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13907/4/OPTIMIZACI%C3%93N%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20BOJAC%C3%81.pdf>>.
- ISHIKAWA, H. (1943). *Diagrama Causa-Efecto*. Universidad de las Americas. Santiago, Chile. [citado el 25 de septiembre de 2018]. Disponible en:<<http://www.udla.cl/portales/tp6c6191b55q52/uploadImg/File/autoaprendizaje/Ficha%205%20Diagrama%20de%20causa-efecto.pdf> >.
- KILANI, J.; OGUNROMBI, J. (1984). *Effects of Baffles on the Performance of Model Waste Stabilization Ponds*. Water Res. 18:941-944.
- KOLB, P. (1998). *Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós*. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur, Universitat für Bodenkultur.

- LABATUT, B. (2017). *Reutilización de aguas residuales urbanas puede favorecer a la agricultura y disminuir presión sobre los recursos naturales*. Oficina Regional de la FAO Para América Latina y el Caribe [citado el 18 de marzo de 2018]. Disponible en: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/853862/pdf>>.
- LARA-BORRERO, J.et al. (2018). *Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia. ISBN: 978-958-781-235-0.
- LUNA-PABELLO, V.; ABURTO-CASTAÑEDA, S. (2014). *Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón*. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Deleg. Coyoacán. D.R. © TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 17(1):32-55, 2014.
- LÓPEZ, A. et al. (2010). *Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales de trapiches paneleros*. [Citado el 6 de noviembre del 2018]. Disponible en: <<http://corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/cartillacompletapanelena.pdf>>.
- MANUAL DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (MADRU). (2014). Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo monográficos agua en centroamérica.
- MARTIN, A. (2014). *El tratamiento de aguas residuales en Colombia. Twenergy (Una iniciativa de Endesa por la eficiencia y sostenibilidad)*. [citado el 19 de febrero de 2018]. Disponible en: <<https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142>>.
- METCALF & EDDY. (1979). *Wastewater engineering: treatment disposal reuse*. McGraw-Hill, 1979 - 920 pages.
- METCALF & EDDY. (1995). *Ingeniería De Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. tercera ed. España: McGraw-Hill, 504 p. ISBN 84-481-1727-1 (vol 1).

- MIHELICIC, J.; ZIMMERMAN, J. (2012). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. Editorial: Alfaomega. ISBN: 9789586829076. Pg 698.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (2011). *Desarrollo de Capacidades en el Uso Seguro de Aguas Residuales para Agricultura*. [Citado el 20 de marzo del 2018]. Disponible en: <http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/119/Colombia_Informe%20Nacional.pdf>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (MADR). (2012). *Producción de panela en trapiche y precio pagado al productor*. Biblioteca Digital Agronet; [citado el 14 de febrero de 2018]. Disponible en: <<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4532/1/INFORME%20PANELA.PDF>>.
- MORENO, M. (1991). *Depuración por lagunaje de aguas residuales: Manual de operadores. España. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Secretaría General Técnica*. jun. 1991. Madrid. ES.
- MUTTAMARA, S.; PUETPAIBOON, U. (1997). *Roles of Baffles in Waste Stabilization Ponds*. Water Sci. Technol. 35: 275-284.
- NOYOLA, A. (2010). *La problemática de los servicios y su impacto en la sociedad y el medio ambiente*. [citado el 15 de febrero de 2018]. Disponible en: http://info.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/noyola_cea_jalisco.pdf.
- NOYOLA, A. et al. (2012). *Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America*. Clean - Soil, Air, Water, Vol. 40, N° 9, pp. 926-932. [citado el 15 de febrero de 2018]. Disponible en: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/clen.201100707>>.
- OAKLEY, S. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras*. Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad, USA.
- OMS/UNICEF. Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento. (2015). *Progresos en materia de saneamiento y*

agua potable: informe de actualización 2015 y Evaluación de los ODM. Nueva York/Ginebra. [citado el 1 de marzo de 2018]. Disponible en: < www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPUpdate-report-2015_English.pdf >.

- OROZCO, J. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño*, Santa Fé de Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ACODAL. pág. 482.
- PLAN NACIONAL DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES (PMAR). (2015). *Guía de optimización de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*. Serie: Prevención y control de la contaminación. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. ISBN 958 – 97878 - 4 – 3. [citado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: https://issuu.com/mundolimpiosasesp/docs/guia_optimizaci__n_tratamiento_agua.
- PLAZA, I. (2015). *Técnicas de generación y evaluación de alternativas*. [Citado el 25 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/5473491/>.
- PNUMA. (2015b). *Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action*. [citado el 1 de marzo de 2018]. Disponible en: <unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf>.
- PINEDA, L. (2017). *Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Tunja – Boyacá. Bogotá D.C.* [Citado el 6 de noviembre del 2018]. Disponible en: <<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14554/1/Diagnostico%20de%20la%20planta%20de%20tratamiento%20de%20agua%20PTAR%20residual%20de%20Tunja%20-%20Boyac%C3%A1.pdf>>.
- POLPRASET, C. & AGARWALLA, K. (1994). *A Facultative Pond Model incorporating Biofilm Activity*. *Water Environment Research*. 66: 725-732. Gran Bretaña.
- QASIM, S. (2000). *Wastewater Treatment Plants: Planning, design and operation*. Boca Raton: CRC Press.

- RODRÍGUEZ, J.; ET AL. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Centa, Sevilla – España.
- ROLIM, M. S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego*. (OPS/OMS), McGraw-Hill, Colombia.
- ROMERO, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- ROMERO-AGUILAR, M.; ET AL. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3) 157-167, 2009. [citado el 13 de febrero de 2018]. Disponible en: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf>>.
- SAC, FEDEPANELA, MIN AMBIENTE. (2010). *Guía ambiental para el subsector panelero*. [citado el 29 de enero de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/guia_ambiental_panelera.pdf>.
- SATO, T.; ET AL. (2013). *Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use*. Agricultural Water Management, Vol. 130, pp. 1-13. [dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007).
- SHIFRIN, N. (2005). *Pollution management in twentieth century*. J Environ Eng - Asce;131:676–91.
- SHILTON, A.; HARRISON, J. (2003). *Guidelines for the Hydraulic Design of Waste Stabilization Ponds*. Institute of Technology and Engineering, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- SHILTON, A.; MARA, D. (2005). *CFD (computational fluid dynamics) Modeling of Baffles for Optimizing Tropical Waste Stabilization Ponds System*. Water Sci. Technol. 51: 103-106.
- SINNAPS, (2017). *Matriz de priorización de problemas*. [citado el 25 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/matriz-de-priorizacion>.

- SPERLING, M. et al. (2003). *Evaluation and Modelling of Helminth Eggs Removal in Baffled and Unbaffled Ponds Treating Anaerobic Effluent*. Water Sci. Technol. 48: 113-120.
- TEBBUTT, T. (2002). *Fundamentos de control de la calidad del agua/ Fundamentals of Quality Control of Water*. Editorial Limusa S.A. De C.V. México, D.F. ISBN 13: 9789681833176.
- TOKICH, H. (2006). *Wastewater management strategy: centralized v. decentralized technologies for small communities*. (CSTM-reeks; Vol. 271, No. 271). Enschede: Centrum voor Schone Technologie en Milieubeleid (CSTM). [citado el 13 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://wst.iwaponline.com/content/33/7/23>.
- US, EPA. (2000). *National Water Quality Inventory. The U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*. WASHINGTON, D.C. 20460.
- VUORINEN, H. et al. (2007). *History of water and Health from ancient civilizations to modern times*. Water Sci Technol, 7:49–57.

10. ANEXOS

Anexo A. Matriz para la recolección de información general de la empresa del sector panelero y de su Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| MATRIZ | RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA DEL SECTOR PANELERO Y DE SU SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) | | | | | | |
|--|--|------------|------------------|--------------|--|------------------|--------------|
| Fecha de constitución de la empresa: | | | N° de empleados: | | | N° de turnos/día | |
| Funcionamiento: | | Horas/día: | | Días/semana: | | Semanas/mes: | |
| 1. PROCESO DE ELABORACIÓN DE PANELA | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2. ENTRADA DE AGUA | | | | | | | |
| Sistema de medición del afluente: | | | | | | | |
| Usos del agua*: | | | | | | | |
| ¿Utiliza agua en el proceso o en otra actividad? | | | | | | | |
| Fuente de abastecimiento**: | | | | | | | |
| Tiene concesión de aguas: (Solicitar número y fecha) | | | | | | | |
| Consumo (m ³ /mes): | | | | | | | |
| ¿Cuentan con una política interna para la optimización y minimización del uso de tal recurso? | SI | | | NO | | | |
| 3. SALIDA DE AGUA (Vertimiento) | | | | | | | |
| Sistema de medición del efluente: | | | | | | | |
| Volumen total vertido (m ³ /mes): | | | | | | | |
| Tipo de vertimiento***: | | | | | | | |
| Clase de descarga****: | | | | | | | |
| Tiempo de descarga del vertimiento: | Horas/día: | | | Días/semana: | | | Semanas/mes: |
| | | | | | | | |
| Tipo de fuente receptora: | | | | | | | |
| *USOS DE AGUA: Consumo humano, domestico, industrial, etc. | | | | | | | |
| ** FUENTE DE ABASTECIMIENTO: Fuente superficial, fuente subterránea, acueducto municipal, etc. | | | | | | | |

| | | | |
|--|--------------------------------|--|----------------------|
| ***TIPO DE VERTIMIENTO: 1: Aguas residuales industriales, 2: aguas residuales domésticas, 3: aguas residuales domésticas e industriales. | | | |
| **** CLASE DE DESCARGA: continua – intermitente | | | |
| Tiene resultados de monitoreo realizados al vertimiento: (Si la respuesta es sí solicitar copia) | SI | NO | |
| 4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | | | |
| ETAPAS | UNIDADES DE TRATAMIENTO | | |
| Pretratamiento | | | |
| Primario | | | |
| Secundario | | | |
| REMOCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | | | |
| Volumen de agua residual tratada (m ³ /mes): | | | |
| Parámetro | Punto de muestreo | Valor Máximo Permisible (mg/L) Resolución 0631/2015 | Observaciones |
| | Salida STAR | | |
| | | | |

Fuente: Autores.

Anexo B. Matriz para la recolección de información general acerca de la operación, mantenimiento y características de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales similares al existente.

| | | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| LAGUNA ANAEROBIA | | | |
| AUTOR | CONDICIONES SEGÚN LOS AUTORES | CONDICIONES DEL STAR | CUMPLE / NO CUMPLE |
| | | | |
| LAGUNA FACULTATIVA | | | |
| AUTOR | CONDICIONES SEGÚN LOS AUTORES | CONDICIONES DEL STAR | CUMPLE / NO CUMPLE |
| | | | |
| HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL | | | |
| AUTOR | CONDICIONES SEGÚN LOS AUTORES | CONDICIONES DEL STAR | CUMPLE / NO CUMPLE |
| | | | |

Fuente: Autores.

Anexo C. Lista de chequeo para evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| | |
|-----------------|---|
| LISTA DE | EVALUACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS |
|-----------------|---|

| CHEQUEO | RESIDUALES | | | |
|--|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| ITEM | POBRE O INCOMPLETO | SATISFACTORIO O BUENO | MUY BUENO O EXCELENTE | OBSERVACIONES |
| 1. VERIFICACION DEL EXTERIOR | | | | |
| Ubicación y acceso al STAR | | | | |
| Infraestructura | | | | |
| Vías de circulación interna | | | | |
| Estabilidad del Terreno | | | | |
| Distancia de zonas residenciales | | | | |
| Contorno del STAR | | | | |
| Sistema de mitigación de olores y vectores | | | | |
| Mantenimiento del Sistema | | | | |
| 2. DOCUMENTOS | | | | |
| Manual de operaciones | | | | |
| Caracterización de vertimientos | | | | |
| Permiso de vertimientos. | | | | |
| Plan de manejo de vertimientos | | | | |
| Plan de contingencia y emergencias | | | | |
| Certificados académicos de operarios | | | | |
| 3. FUNCIONAMIENTO | | | | |
| ¿Se encuentra en funcionamiento ? | | | | |
| Control de pH | | | | |
| Control de espumas | | | | |

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| Control de sobrecarga hidráulica | | | | |
| Control de dosificación de cal | | | | |
| Estructura de excesos | | | | |
| Válvulas de entrada | | | | |
| Cribado | | | | |
| Trampa de grasas | | | | |
| Natas y flotantes | | | | |
| Tanque de igualación de caudales y bombeo | | | | |
| Laguna Anaerobia | | | | |
| Laguna Facultativa | | | | |
| Humedal de flujo subsuperficial | | | | |
| Tratamiento de lodos | | | | |
| Observaciones: | | | | |

Fuente: Autores.

Anexo D. Lista de chequeo para la verificación de acciones de control en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| LISTA DE CHEQUEO | ACCIONES DE CONTROL - SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | | |
|---|--|----|---------------|
| | SI | NO | OBSERVACIONES |
| ¿Los procesos de producción son proyectados y operados para generar el menor impacto ambiental posible? | | | |
| ¿Se utiliza la mejor la mejor tecnología disponible para la prevención de los daños ambientales? | | | |
| En el caso de la pregunta anterior ser negativa: ¿se evalúa la posibilidad del desarrollo e implementación de nuevas tecnologías? | | | |
| ¿Se considera la inversión en nuevas tecnologías para evitar o minimizar los daños ambientales? | | | |
| ¿Cuentan con una política interna para la optimización y minimización del uso del agua? | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| ¿Tiene resultados de monitoreo realizados al vertimiento? (Si la respuesta es sí solicitar copia) | | | |
| ¿Son tomadas acciones para minimizar los efluentes generados? | | | |
| ¿Se realizan análisis de las descargas de los efluentes? | | | |
| ¿Los valores de las descargas se encuadran con los valores exigidos por la normativa aplicable vigente? | | | |
| ¿Los muestreos son realizados por personas que fueron capacitadas para desarrollar tal tarea? | | | |
| ¿El laboratorio responsable de realizar los análisis utiliza técnicas estandarizadas y cuenta con el reconocimiento y la confiabilidad en la tarea desarrollada? | | | |
| ¿Cumplen con el pago de tasas? | | | |
| ¿Le han sido aplicadas sanciones administrativas (multas, inhabilitaciones, etc.)? Especificar | | | |
| ¿Se ha registrado algún tipo de incidente que pueda haber generado una alteración o contaminación del cuerpo de agua receptor de las descargas cloacales? | | | |
| ¿Se ha registrado algún tipo de incidente (pérdida o derrame) que haya afectado al ambiente? | | | |
| ¿Cuentan con una política interna para la optimización y minimización del STAR? | | | |

Fuente: Autores.

Anexo E. Matriz para la priorización de los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------|---|---|---|---|------------|---|---|---|---|-------------------|---|---|---|---|----------|---|---|---|---|--------------------|
| PROBLEMA (P) | IMPACTO | | | | | CASUALIDAD | | | | | VALORACION SOCIAL | | | | | URGENCIA | | | | | TOTAL POR PROBLEMA |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| P ₁ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P _n | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Adaptada y modificada a partir de los desarrollos de Guerrero, 2016.

Anexo F. Matriz para la generación de alternativas de solución a los problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| MATRIZ DE GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| PROBLEMAS (P) | | | | | | | | |
| P ₁ | | | P ₂ | | | P _n | | |
| A ₁ | A ₂ | A _n | A ₁ | A ₂ | A _n | A ₁ | A ₂ | A _n |
| | | | | | | | | |

Fuente: Adaptada y modificada a partir de los desarrollos de Plaza, 2015.

Anexo G. Matriz para la evaluación de alternativas en la solución de problemas identificados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

| MATRIZ DE EVALUACION DE ALTERNATIVAS | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------------|---------------|----------------|----------------------|-----------|
| Problemas (P) | Alternativas (A) | Viabilidad Técnica | Viabilidad Ambiental | Costo-Beneficio | Efecto a corto plazo | Efecto social | Sostenibilidad | Efecto a largo plazo | Total |
| | | Hasta 20 | Hasta 20 | Hasta 15 | Hasta 15 | Hasta 10 | Hasta 10 | Hasta 10 | Hasta 100 |
| P ₁ | A ₁ | | | | | | | | |
| | A ₂ | | | | | | | | |
| | A _n | | | | | | | | |
| P ₂ | A ₁ | | | | | | | | |
| | A ₂ | | | | | | | | |
| | A _n | | | | | | | | |
| P _n | A ₁ | | | | | | | | |
| | A ₂ | | | | | | | | |
| | A _n | | | | | | | | |

Fuente: Adaptada y modificada a partir de los desarrollos de SINNAPS, 2017.

Anexo H. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de ahorro y uso eficiente de agua.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|--|--------------|--------------|-------|--|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45770 | DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 34327 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 696 |
| Q(L/seg) | 2,0 | | | Q(L/seg) | 1.5 | | |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$29.996.835 | | |

Fuente: Autores.

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Tretributiva (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$ 39.995.780 – \$ 29.996.835

Ahorro: \$ 9.998.945 (Semestralmente) = \$ 19.997.890 (Anualmente)

Anexo I. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de ahorro y uso eficiente de agua.

| PROY. AHORRO Y USO EFICIENTE DE AGUA | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 10.000.000 | | |
| 1 | \$ 19.997.890 | \$ 3.500.000 | \$ 17.389.470 | \$ 3.043.478 |
| 2 | \$ 21.289.754 | \$ 3.675.000 | \$ 34.610.942 | \$ 5.974.480 |
| 3 | \$ 22.665.072 | \$ 3.858.750 | \$ 51.749.461 | \$ 8.810.395 |
| 4 | \$ 24.129.235 | \$ 4.051.688 | \$ 68.888.445 | \$ 11.567.480 |
| 5 | \$ 25.687.984 | \$ 4.254.272 | \$ 86.110.107 | \$ 14.260.979 |

| | |
|--|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 258.748.424,12 |
| VPN Egresos | \$ 53.656.812,63 |
| Relación beneficio- costo (B/C) | 4,82 |

Fuente: Autores

Anexo J. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|--|--------------|--------------|-------|--|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45769 | DBO (mg/L) | 5739 | DBO (Kg/mes) | 10355 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 116 | SST (Kg/mes) | 1418 |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$25.997.258 | | |

Fuente: Autores.

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$39.995.780 – \$25.997.258

Ahorro: \$13.998.522 (Semestralmente) = \$27.997.044 (Anualmente)

Anexo K. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela.

| Proy. Uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela | | | | |
|---|--------------------|--------------|----------------|---------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 4.000.000 | | |
| 1 | \$ 27.997.044 | \$ 3.000.000 | \$ 24.345.256 | \$ 2.608.696 |
| 2 | \$ 29.805.653 | \$ 3.150.000 | \$ 48.455.315 | \$ 5.120.983 |
| 3 | \$ 31.731.098 | \$ 3.307.500 | \$ 72.449.240 | \$ 7.551.767 |
| 4 | \$ 33.780.927 | \$ 3.472.875 | \$ 96.443.816 | \$ 9.914.983 |
| 5 | \$ 35.963.175 | \$ 3.646.519 | \$ 120.554.141 | \$ 12.223.696 |

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 362.247.767,89 |
| VPN Egresos | \$ 41.420.125,11 |
| Relación beneficio-costo (B/C) | 8,75 |

Fuente: Autores.

Anexo L. Condiciones del proceso de dosificación de cal Ca(OH)_2 antes y después de la implementación del proyecto de determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 .

| Condiciones antes de la implementación | | Condiciones después de la implementación | |
|--|--------------|--|--------------|
| Kg/año de Ca(OH)_2 | 54.750 | Kg/año de Ca(OH)_2 | 41.063 |
| Valor (\$) | \$35.806.500 | Valor (\$) | \$26.855.202 |

Fuente: Autores.

*Ahorro: Valor en (\$) de la compra del insumo (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la compra del insumo (Después de la implementación del proyecto)*

Ahorro: \$35.806.500 – \$26.855.202

Ahorro: \$8.951.298

Anexo M. Relación beneficio-costos (B/C) del proyecto de determinación de un rango óptimo de dosificación de cal (OH)₂.

| Proy. Determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)₂ | | | | |
|---|---------------------------|---------------|--------------------|-------------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$292.400 | | |
| 1 | \$8.951.298 | \$584.800 | \$ 7.783.737 | \$ 508.522 |
| 2 | \$9.529.552 | \$614.040 | \$ 15.492.277 | \$ 998.250 |
| 3 | \$10.145.161 | \$644.742 | \$ 23.163.686 | \$ 1.472.091 |
| 4 | \$10.800.538 | \$676.979 | \$ 30.835.303 | \$ 1.932.761 |
| 5 | \$11.498.253 | \$710.828 | \$ 38.543.927 | \$ 2.382.806 |

| | |
|--|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 115.818.931,46 |
| VPN Egresos | \$ 7.586.829,72 |
| Relación beneficio-costos (B/C) | 15,27 |

Fuente: Autores.

Anexo N. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|---|--------------|--------------|-------|---|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45769 | DBO (mg/L) | 5297 | DBO (Kg/mes) | 20595 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 107 | SST (Kg/mes) | 416 |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$23.994.903 | | |

Fuente: Autores.

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$ 39.995.780 – \$ 23.994.903

Ahorro: \$16.000.877 (Semestralmente) = \$32.001.754 (Anualmente)

Anexo O. Relación beneficio-costos (B/C) del proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto.

| Proy. Implementación de un tanque mezclador dosificador de producto | | | | |
|--|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 3.806.260 | | |
| 1 | \$ 32.001.754 | \$ 2.000.000 | \$ 27.827.612 | \$ 1.739.130 |
| 2 | \$ 34.069.067 | \$ 2.100.000 | \$ 55.386.385 | \$ 3.413.988 |
| 3 | \$ 36.269.929 | \$ 2.205.000 | \$ 82.812.413 | \$ 5.034.511 |
| 4 | \$ 38.612.966 | \$ 2.315.250 | \$ 110.239.183 | \$ 6.609.988 |
| 5 | \$ 41.107.364 | \$ 2.431.012 | \$ 137.798.260 | \$ 8.149.130 |

| | |
|--|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 414.063.854,57 |
| VPN Egresos | \$ 28.753.010,08 |
| Relación beneficio-costos (B/C) | 14,40 |

Fuente: Autores.

Anexo P. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|--|--------------|--------------|--------|--|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45769, | DBO (mg/L) | 5297 | DBO (Kg/mes) | 20595 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 107 | SST (Kg/mes) | 416 |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$23.994.903 | | |

Fuente: Autores.

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$39.995.780 – \$23.994.903

Ahorro: \$16.000.877 (Semestralmente) = \$32.001.754 (Anualmente)

Anexo Q. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de diseño de múltiples entradas en el sistema de lagunas.

| Proy. Diseño de múltiples entradas y salidas en el sistema de lagunas | | | | |
|---|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 2.341.500 | | |
| 1 | \$ 32.001.754 | \$ 1.800.000 | \$ 27.827.612 | \$ 1.565.217 |
| 2 | \$ 34.069.067 | \$ 1.890.000 | \$ 55.386.385 | \$ 3.072.590 |
| 3 | \$ 36.269.929 | \$ 1.984.500 | \$ 82.812.413 | \$ 4.531.060 |
| 4 | \$ 38.612.966 | \$ 2.083.725 | \$ 110.239.184 | \$ 5.948.990 |
| 5 | \$ 41.107.364 | \$ 2.187.911 | \$ 137.798.260 | \$ 7.334.218 |

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 414.063.854,57 |
| VPN Egresos | \$ 24.793.575,07 |
| Relación beneficio-costo (B/C) | 16,70 |

Fuente: Autores.

Anexo R. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|--|--------------|--------------|-------|--|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45769 | DBO (mg/L) | 5297 | DBO (Kg/mes) | 20595 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 107 | SST (Kg/mes) | 416 |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$23.994.903 | | |

Fuente: Autores.

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$39.995.780 – \$23.994.903

Ahorro: \$16.000.877 (Semestralmente) = \$32.001.754 (Anualmente)

Anexo S. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de diseño de de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas.

| Proy. Diseño de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas. | | | | |
|--|--------------------|---------------|----------------|---------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 17.500.000 | | |
| 1 | \$ 32.001.754 | \$ 3.000.000 | \$ 27.827.612 | \$ 2.608.696 |
| 2 | \$ 34.069.067 | \$ 3.150.000 | \$ 55.386.385 | \$ 5.120.983 |
| 3 | \$ 36.269.929 | \$ 3.307.500 | \$ 82.812.413 | \$ 7.551.767 |
| 4 | \$ 38.612.966 | \$ 3.472.875 | \$ 110.239.184 | \$ 9.914.983 |
| 5 | \$ 41.107.364 | \$ 3.646.519 | \$ 137.798.260 | \$ 12.223.696 |

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 414.063.854,57 |
| VPN Egresos | \$ 54.920.125,11 |
| Relación beneficio-costo (B/C) | 7,54 |

Fuente: Autores.

Anexo T. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de inoculación microbiana en lagunas empleando Biomerck.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|--|--------------|--------------|-------|--|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45769 | DBO (mg/L) | 5297 | DBO (Kg/mes) | 20595 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 107 | SST (Kg/mes) | 416 |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$23.994.903 | | |

Fuente: Autores.

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$ 39.995.780 – \$ 23.994.903

Ahorro: \$ 16.000.877 (Semestralmente) = 32.001.754 (Anualmente)

Anexo U. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck.

| Proy. Inoculación microbiana en lagunas empleando Biomerck | | | | |
|--|--------------------|---------------|----------------|---------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 18.240.000 | | |
| 1 | \$ 32.001.754 | \$ 4.560.000 | \$ 27.827.612 | \$ 3.965.217 |
| 2 | \$ 34.069.067 | \$ 4.788.000 | \$ 55.386.385 | \$ 7.783.894 |
| 3 | \$ 36.269.929 | \$ 5.027.400 | \$ 82.812.413 | \$ 11.478.686 |
| 4 | \$ 38.612.966 | \$ 5.278.770 | \$ 110.239.184 | \$ 15.070.774 |
| 5 | \$ 41.107.364 | \$ 5.542.709 | \$ 137.798.260 | \$ 18.580.019 |

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 414.063.854,57 |
| VPN Egresos | \$ 75.118.590,17 |
| Relación beneficio-costo (B/C) | 5,51 |

Fuente: Autores.

Anexo V. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|--|--------------|--------------|-------|--|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45769 | DBO (mg/L) | 5297 | DBO (Kg/mes) | 20595 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 107 | SST (Kg/mes) | 416 |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$23.994.903 | | |

Fuente: Autores.

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$39.995.780 – \$23.994.903

Ahorro: \$ 16.000.877 (Semestralmente) = \$32.001.754 (Anualmente)

Anexo W. Relación beneficio-costos (B/C) del proyecto de bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático.

| Proy. Bioestimulación microbiana en el sistema de lagunas empleando Bioenzimático | | | | |
|--|--------------------|---------------|----------------|---------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egreso |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 30.240.000 | | |
| 1 | \$ 32.001.754 | \$ 9.001.000 | \$ 27.827.612 | \$ 7.826.957 |
| 2 | \$ 34.069.067 | \$ 9.451.050 | \$ 55.386.385 | \$ 15.364.656 |
| 3 | \$ 36.269.929 | \$ 9.923.603 | \$ 82.812.413 | \$ 22.657.818 |
| 4 | \$ 38.612.966 | \$ 10.419.783 | \$ 110.239.184 | \$ 29.748.254 |
| 5 | \$ 41.107.364 | \$ 10.940.772 | \$ 137.798.260 | \$ 36.675.164 |

| | |
|--|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 414.063.854,57 |
| VPN Egresos | \$ 142.512.848,71 |
| Relación beneficio-costos (B/C) | 2,91 |

Fuente: Autores.

Anexo X. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de siembra de Heliconia psittacorum en el humedal artificial de flujo subsuperficial.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|--|--------------|--------------|-------|--|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45769 | DBO (mg/L) | 5297 | DBO (Kg/mes) | 20595 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 107 | SST (Kg/mes) | 416 |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$23.994.903 | | |

Fuente: Autores.

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Antes de la implementación del proyecto)
 – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$39.995.780 – \$23.994.903

Ahorro: \$16.000.877 (Semestralmente) = \$32.001.754 (Anualmente)

Anexo Y. Relación beneficio-costo (B/C) del proyecto de siembra de *Heliconia psittacorum* en el humedal artificial de flujo subsuperficial.

| Proy. Siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial | | | | |
|---|--------------------|--------------|----------------|---------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 5.170.000 | | |
| 1 | \$ 32.001.754 | \$ 2.500.000 | \$ 27.827.612 | \$ 2.173.913 |
| 2 | \$ 34.069.067 | \$ 2.625.000 | \$ 55.386.385 | \$ 4.267.486 |
| 3 | \$ 36.269.929 | \$ 2.756.250 | \$ 82.812.413 | \$ 6.293.139 |
| 4 | \$ 38.612.966 | \$ 2.894.063 | \$ 110.239.184 | \$ 8.262.486 |
| 5 | \$ 41.107.364 | \$ 3.038.766 | \$ 137.798.260 | \$ 10.186.414 |

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 414.063.854,57 |
| VPN Egresos | \$ 36.353.437,59 |
| Relación beneficio-costo (B/C) | 11,39 |

Fuente: Autores.

Anexo Z. Condiciones de las aguas tratadas antes y después de la implementación del proyecto de siembra de *Cyperus papyrus* en el humedal artificial de flujo subsuperficial.

| Condiciones antes de la implementación | | | | Condiciones después de la implementación | | | |
|--|--------------|--------------|-------|--|--------------|--------------|-------|
| DBO (mg/L) | 8829 | DBO (Kg/mes) | 45769 | DBO (mg/L) | 5297 | DBO (Kg/mes) | 20595 |
| SST (mg/L) | 179 | SST (Kg/mes) | 928 | SST (mg/L) | 107 | SST (Kg/mes) | 416 |
| Valor Tasa Retributiva (\$) | \$39.995.780 | | | Valor Tasa Retributiva (\$) | \$23.994.903 | | |

Ahorro: Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Antes de la implementación del proyecto) – Valor en (\$) de la Tasa Retributiva (Después de la implementación del proyecto)

Ahorro: \$ 39.995.780 – \$ 23.994.903

Ahorro: \$16.000.877 (Semestralmente) = \$32.001.754 (Anualmente)

Anexo AA. Relación beneficio-costos (B/C) del proyecto de siembra de *Cyperus papyrus* en el humedal artificial de flujo subsuperficial.

| Proy. Siembra de <i>Cyperus papyrus</i> en el humedal artificial de flujo subsuperficial | | | | |
|---|---------------------------|---------------|--------------------|-------------------|
| Año | Flujos de Efectivo | | Vp Ingresos | Vp Egresos |
| | Ingreso | Egreso | | |
| 0 | | \$ 8.789.000 | | |
| 1 | \$ 32.001.754 | \$ 2.500.000 | \$ 27.827.612 | \$ 2.173.913 |
| 2 | \$ 34.069.067 | \$ 2.625.000 | \$ 55.386.385 | \$ 4.267.486 |
| 3 | \$ 36.269.929 | \$ 2.756.250 | \$ 82.812.413 | \$ 6.293.139 |
| 4 | \$ 38.612.966 | \$ 2.894.063 | \$ 110.239.184 | \$ 8.262.486 |
| 5 | \$ 41.107.364 | \$ 3.038.766 | \$ 137.798.260 | \$ 10.186.414 |

| | |
|--|-------------------|
| VPN Ingresos | \$ 414.063.854,57 |
| VPN Egresos | \$ 39.972.437,59 |
| Relación beneficio-costos (B/C) | 10,36 |

Fuente: Autores.

GUÍA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) DE UNA EMPRESA DEL SECTOR PANELERO EN EL VALLE DEL CAUCA



Institución de Educación Superior
UCEVA[®]
Unidad Central del Valle del Cauca

INGENIERÍA AMBIENTAL
UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA

Anexo BB. Guía de optimización del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de una empresa del sector panelero en el Valle del Cauca.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. OBJETIVOS..... | 5 |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL..... | 5 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| 2. ALCANCE..... | 5 |
| 3. METODO DE TRABAJO..... | 6 |
| 4. DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACION..... | 6 |
| 4.1. AHORRO Y USO EFICIENTE DE AGUA..... | 6 |
| 4.2. USO ADECUADO DE INSUMOS INDUSTRIALES UTILIZADOS EN EL PROCESO DE FOSFORILACIÓN DE LA PANELA..... | 10 |
| 4.3. DETERMINACIÓN DE UN RANGO ÓPTIMO DE DOSIFICACIÓN DE CAL VIVA $Ca(OH)_2$ | 11 |
| 4.4. IMPLEMENTACIÓN DE UN TANQUE MEZCLADOR DOSIFICADOR DE PRODUCTO..... | 13 |
| 4.5. DISTRIBUCIÓN HOMOGÉNEA DEL AGUA RESIDUAL MEDIANTE EL DISEÑO E INSTALACION DE MAMPARAS O PANTALLAS DEFLECTORAS EN EL SISTEMA DE LAGUNAS..... | 14 |
| 4.6. RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL MEDIANTE LA SIEMBRA DE <i>HELICONIA PSITTACORUM</i> | 17 |
| 4.7 INOCULACIÓN MICROBIANA EN EL SISTEMA DE LAGUNAS EMPLEANDO BIOMERK..... | 19 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 20 |
| 6.RECOMENDACIONES GENERALES..... | 20 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Descripción del procedimiento de optimización del proyecto de ahorro y uso eficiente de agua..... | 6 |
| Cuadro 2. Descripción del procedimiento de optimización del uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela..... | 10 |
| Cuadro 3. Descripción del procedimiento de optimización de Determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 | 12 |
| Cuadro 4. Descripción del procedimiento de optimización de Implementación de un tanque mezclador dosificador de producto..... | 13 |
| Cuadro 5. Descripción del procedimiento de optimización de distribución homogénea del agua residual mediante el diseño e instalación de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas..... | 14 |
| Cuadro 6. Descripción del procedimiento de optimización de Restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial mediante la siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> | 17 |
| Cuadro 7. Descripción del procedimiento de optimización de Inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando Biomerck..... | 19 |

INTRODUCCIÓN

El proceso productivo de la empresa del sector panelero genera vertimientos líquidos que se mezclan en un sistema único de drenaje y se caracterizan por su abundante materia orgánica. Estos vertimientos, a su vez, aumentan los sólidos sedimentables en los cauces por el lavado de elementos y equipos de la planta, siendo sin duda, la generación de aguas residuales, el aspecto ambiental más significativo de la actividad del sector, tanto por los elevados volúmenes generados, como por la carga contaminante asociada a las mismas.

La totalidad de las aguas residuales producidas en la organización son conducidas hacia un sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR), convirtiéndolo de esta manera, en el único método de tratamiento de las aguas residuales de la empresa en particular. Sin embargo, el funcionamiento deficiente del STAR ha comprometido la calidad de las aguas que son vertidas a la fuente hídrica y si bien es cierto, la empresa está tomando medidas para solucionar estos problemas, pero a pesar de ello, no se ve una solución real a corto plazo.

Por lo tanto, la optimización del STAR, resulta fundamental para mantener como mínimo los criterios de calidad del recurso hídrico para los diferentes usos y el equilibrio del sistema natural, así como para mejorar los índices de escasez. En este contexto, la optimización, responde a criterios que garantizan una visión integral de la problemática, en armonía con la formulación de políticas de acción que faciliten el desarrollo de las actividades habituales de operación.

En este sentido, la guía de optimización del STAR señala las bases para optimizar los procesos realizados, eliminando todas las barreras que impiden un buen desempeño y de esta manera mejorar el uso de los recursos para que el sistema tenga mejores resultados, mayor eficiencia y mejor eficacia.

De esta manera, en la presente guía de optimización se describen los elementos metodológicos para la correcta aplicación de los procedimientos de optimización que permitirán el mejoramiento del STAR, desde el desarrollo de programas y proyectos que definen funciones de dirección, coordinación y evaluación de las mejoras planteadas en la propuesta de optimización del STAR, a través de la sistematización de las actividades, la identificación de mejoras y la definición del método para efectuarlas.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar una guía de optimización, a través de la cual se definan métodos, procedimientos e instrumentos básicos que permitan la optimización del STAR.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer los lineamientos metodológicos para la implementación y el seguimiento de los diferentes procedimientos de optimización del STAR.
- Delimitar las responsabilidades para la ejecución, control y evaluación de los diferentes procedimientos de optimización.
- Determinar instrumentos básicos de evaluación que permitan la toma oportuna de medidas de control o manejo de los procedimientos implementados.

2. ALCANCE

La presente guía de optimización incluye todos los procesos y procedimientos realizados en el sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la empresa del sector panelero. En este sentido, la guía de optimización esta dirigida a todas las personas que bajo cualquier modalidad, se encuentren vinculadas en su operación y mantenimiento. Además de la totalidad de los empleados como comunidad, personal administrativo y financiero de la organización que de manera directa o indirecta se encuentren vinculados en el desarrollo de las alternativas de mejoramiento del STAR.

Este documento describe los procesos de optimización del STAR, y expone en una secuencia ordenada las principales operaciones o pasos que componen cada procedimiento, y la manera de realizarlo e incluye las dependencias administrativas que intervienen, precisando sus responsabilidades y la participación de cada cual.

3. METODO DE TRABAJO

En la presente guía de optimización se plantea un método de trabajo descriptivo y operativo, dado que se explican o exponen las condiciones en las que se encuentra el STAR y a partir de ello, se proponen alternativas desde la formulación de programas y proyectos de optimización que permitan su mejora. Este método es particularmente usado en investigaciones que tienen como objetivo la evaluación del área a optimizar, orientando al área encargada del manejo del STAR en la implementación de las mejoras correspondientes. En este sentido, la descripción implica la formulación técnica de procedimientos de optimización para que puedan entenderse y ejecutarse por otros.

Durante la aplicación de los procedimientos de optimización es importante que la empresa asigne un profesional encargado de hacer cumplir los procedimientos establecidos de acuerdo a sus normativas internas. En la ejecución de las obras los contratistas deben cumplir las especificaciones técnicas, normativas y de calidad de la obra.

De igual manera, todo contratista debe coordinar con el área de gestión ambiental la intervención que realizará sobre el STAR, desde la presentación del procedimiento de optimización hasta la implementación del mismo. De igual manera, el contratista deberá garantizar la calidad y seguridad de las obras realizadas, de acuerdo a la legislación correspondiente.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACIÓN

4.1. AHORRO Y USO EFICIENTE DE AGUA.

Cuadro 1. Descripción del procedimiento de optimización del proyecto de ahorro y uso eficiente de agua.

| | | | |
|-------------------------|---|----------------|-----------------------|
| PROGRAMA | Producción más limpia (P+L) | | |
| PROYECTO | Ahorro y uso eficiente de agua | | |
| OBJETIVO GENERAL | Formular acciones orientadas a promover el uso eficiente y ahorro del recurso hídrico dentro las instalaciones de la empresa. | | |
| META: | INDICADOR: | FORMULA | DEL INDICADOR: |

**GUIA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
(STAR) DE UNA EMPRESA DEL SECTOR PANELERO EN EL VALLE DEL CAUCA**

| | | |
|---|--|--|
| Disminuir el consumo de agua en un 25% en relación al año anterior. | % de disminución en el consumo de agua. | $(\text{Consumo en el periodo anterior en m}^3 - \text{consumo en el periodo actual en m}^3) / \text{consumo en el periodo anterior en m}^3 * 100$ |
| Desarrollar campañas educativas que sensibilicen el 100% de los empleados. | % de empleados capacitados. | $(\text{Número de empleados capacitados} / \text{Número total de empleados}) * 100$ |
| Reducir en un 25% el volumen o carga orgánica de las aguas residuales vertidas por la empresa en relación al año anterior. | % de disminución de la carga contaminante. | $(\text{Carga contaminante vertida en el periodo actual} - \text{carga contaminante vertida en el periodo anterior} / \text{carga contaminante vertida en el periodo anterior}) * 100$ |
| RESPONSABLE: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Departamento de Gestión Ambiental - Subdirección Administrativa y Financiera. - Departamento de mantenimiento y reparaciones. - Departamento de Gestion Humana. | | |
| ACTIVIDADES: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Designar un equipo de trabajo encargado de la realización del proyecto y establecer por escrito un compromiso de trabajo a nivel institucional. - Realizar el registro de los consumos a diario, tomándolos a la misma hora, estableciendo consumos normales para la empresa y para cada proceso, permitiendo identificar cualquier aumento anormal en el registro. - Realizar la reparación de fugas y escapes de vapor con la mayor brevedad posible, no mayor a un período de 24 horas, reduciendo significativamente los consumos de agua, tiempo y dinero. - Realizar revisión del estado de tuberías y válvulas con el fin de reparar o reemplazar aquellas que a simple vista, presentan fugas, corrosión y | | |

golpe de ariete, por lo que fue una forma de mejorar las condiciones de operación de la planta y empezar a cambiar es identificar las tuberías en mal estado.

- Realizar mantenimiento preventivo y predictivo minimizando las reparaciones y daños dentro de la planta, por lo tanto se debe enfatizar en su planeación y ejecución, reduciendo las actividades correctivas, ya que atrasan el cumplimiento de las solicitudes de trabajo y dificultan la implementación de estrategias de mejora.
- Incluir y programar en el mantenimiento anual, el estado y funcionamiento de los contadores de agua existentes en la planta, asegurando así un adecuado registro y la vida útil del medidor.
- Instalar pistolas de bajo volumen y alta presión en las mangueras permitiendo obtener grandes ahorros en el consumo de agua. Esta implementación debe realizarse prioritariamente en las áreas de molienda y moldeo de la panela, ya que en estas zonas es donde se presenta el mayor uso del agua para el lavado y eliminación de residuos de las gaveras y otros utensilios de la molienda. Al implementar esta estrategia se obtendrán beneficios como: reducir los tiempos de operación de lavado de equipos, utensilios y planta en general, evitar que por olvidos del operario las llaves permanezcan abiertas y ahorrar gran cantidad de dinero mediante la minimización del consumo de agua.
- Cambiar los hábitos de limpieza dentro de la planta, sustituyendo el uso de carros de aseo, baldes, exprimidores y mangueras. Para cambiar estos hábitos se debe explicar y enseñar la necesidad de participar y adoptar estas nuevas medidas de limpieza, debido a que actualmente, durante el proceso de limpieza de la empresa es común observar que los operarios consuman mucha agua para limpiar y empujar el residuo remanente del proceso al drenaje. Para esto, deben realizarse jornadas de capacitación para mejorar el uso del agua en las operaciones de limpieza y desinfección, por lo que primero debe realizarse una previa limpieza en seco, con la ayuda de palas que permitan recoger los residuos remanentes y de esta manera reducir los consumos de agua. Esta medida debe implementarse en las áreas de molienda, clarificación de los jugos, moldeo y empaque, ya que es en estas zonas donde se presenta la mayor generación de residuos. Al implementar esta estrategia se obtendrán los siguientes beneficios: reducción del uso del agua y reducción del volumen de sólidos que llegan al STAR.

- Instalar llaves de sistema PUSH para lavamanos, las cuales, traigan consigo reductores de caudal de accionamiento hidromecánico y cierre automático; que permiten evitar los hilos continuos de goteo de agua al dejarlas mal cerradas, al irse el agua y quedar abiertas o cuando el lavado de manos y el cepillado de dientes se realiza con la llave abierta mientras no se necesita. El objeto de esta estrategia es el de evitar el goteo continuo de agua en las llaves de los lavamanos, ya que varias veces se encontraron mal cerradas las llaves o se dejan abiertas mientras se realizan otras actividades, por lo que contar con sistemas ahorradores de agua permite evitar estos malos hábitos u olvidos. Estas llaves deben ubicarse: (1) una en los baños del área de molienda, (1) una en el área de casino, (1) una en el área de aseo, (2) dos en el área de gerencia y (8) ocho en el área de operarios de servicios generales, para un total de 13 llaves de sistema push. Estas llaves presentan un ahorro del 40% en el consumo mensual de agua en el área de baños y vestieres.

- Realizar actividades que fortalezcan las competencias del talento humano de la empresa en la inducción de buenas practicas ambientales que promuevan el desarrollo de conocimientos y habilidades en el ahorro u uso eficiente del agua. Para ello, deberán contemplarse capacitaciones de:
 - o De corta duración: que deben realizarse a través de cursos, seminarios, talleres, conferencias, foros, congreso, etc. organizados directamente por la empresa o por otros organismos diferentes a la organización.
 - o De duración continua: que deben realizarse de manera periódica en varias sesiones dirigidas al promover el desarrollo de la capacitación teórico-practica de los empleados a través de diplomado o programa de actualización.

Es importante que la programación de estas capacitaciones este sujeta entre la temática especifica a tratar y las funciones del puesto de cada empleado. De igual manera, la asistencia a las jornadas de sensibilización deberá ser constante exceptuando única y exclusivamente a los empleados que por causas de fuerza mayor no puedan asistir a las capacitaciones programadas.

Fuente: Autores.

4.2. USO ADECUADO DE INSUMOS INDUSTRIALES UTILIZADOS EN EL PROCESO DE FOSFORILACIÓN DE LA PANELA.

Cuadro 2. Descripción del procedimiento de optimización del proyecto de uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela.

| | | |
|--|---|---|
| PROGRAMA | | Producción más limpia (P+L) |
| PROYECTO | | Uso adecuado de insumos industriales utilizados en el proceso de fosforilación de la panela |
| OBJETIVO GENERAL | | Inducir el uso adecuado del ácido fosfórico utilizado en el proceso de fosforilación de la panela. |
| META: | INDICADOR: | FORMULA DEL INDICADOR: |
| Utilizar el 100% del ácido fosfórico comprado al año solo para el proceso de fosforilación de la panela. | % de disminución del volumen de ácido fosfórico utilizado en el proceso productivo. | $\left(\frac{\text{Volumen de ácido fosfórico utilizado en el proceso productivo}}{\text{Volumen de ácido fosfórico comprado para el proceso productivo}} \right) * 100$ |
| RESPONSABLES: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Departamento de Gestión Ambiental - Subdirección Administrativa y Financiera - Departamento Jurídico - Coordinación de Oficios Varios | | |
| ACTIVIDADES: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Designar un equipo de trabajo encargado de la realización del proyecto y establecer por escrito un compromiso de trabajo a nivel institucional. - Desarrollar normas específicas sobre el uso de este insumo dentro de las actividades de la planta, en el que su uso sea destinado solo para las actividades en las que su utilización sea obligatoria y en cantidad tal en la que esté autorizado. - Suspender el uso del ácido fosfórico utilizado en las actividades de limpieza y desinfección de equipos, herramientas e instalaciones en las áreas de molienda, clarificación de los jugos y moldeo de la panela. - Reformar el procedimiento llevado a cabo para el lavado y la | | |

desinfección de equipos y herramientas en planta, en el cual, no intervenga el uso de ácido fosfórico sino solo aquellos desinfectantes y detergentes ecológicos que actualmente la empresa del sector panelero dispone.

- Adoptar una política de compras verdes o ambientalmente sostenibles, definiendo en el proceso de contratación la extracción de la materia prima, su fabricación, su distribución, su uso y disposición final.
- Llevar a cabo sensibilizaciones al personal de la empresa en las que se propenda por incentivar el uso adecuado de insumos industriales utilizados dentro del proceso productivo de la panela.
- Realizar actividades que fortalezcan las competencias del talento humano de la empresa en el desarrollo de conocimientos y habilidades que propendan por mejorar el uso de dichos insumos industriales utilizados en el proceso productivo de la panela.
- En similitud al programa de ahorro y uso eficiente de agua, en el programa de uso adecuado de insumos industriales se contemplen capacitaciones de:
 - o Corta duración: que deben realizarse a través de cursos, seminarios, talleres, conferencias, foros, congreso, etc. organizados directamente por la empresa o por otros organismos diferentes a la organización.
 - o Duración continua: que deben realizarse de manera periódica en varias sesiones dirigidas al promover el desarrollo de la capacitación teórico-práctica de los empleados a través de diplomado o programa de actualización.

Es importante que la asistencia a las jornadas de capacitación en el uso de dichos insumos sea obligatoria exceptuando única y exclusivamente a los empleados que por causas de fuerza mayor no puedan asistir a las capacitaciones programadas.

Fuente: Autores.

4.3. DETERMINACIÓN DE UN RANGO ÓPTIMO DE DOSIFICACIÓN DE CAL Ca(OH)_2 .

Cuadro 3. Descripción del procedimiento de optimización del proyecto de determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 .

| | | |
|--|---|--|
| PROGRAMA | | Neutralización de Ph |
| PROYECTO | | Determinación de un rango óptimo de dosificación de cal Ca(OH)_2 . |
| OBJETIVO GENERAL | | Determinar la dosis óptima de cal Ca(OH)_2 que neutralice eficientemente el pH del agua residual del STAR. |
| META: | INDICADOR: | FORMULA DEL INDICADOR: |
| - Disminuir en un 25% la cantidad de cal Ca(OH)_2 utilizada en el proceso de neutralización de pH en realización al año anterior. | % de disminución de volumen de cal utilizada en le proceso de neutralización. | (Volumen de cal Ca(OH)_2 utilizada en el periodo actual/ Volumen de cal Ca(OH)_2 utilizada en el periodo anterior)*100 |
| RESPONSABLE: | | |
| - Departamento de Gestión Ambiental | | |
| ACTIVIDADES: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Para iniciar con el montaje del ensayo deben tomarse 5 vasos de precipitado de 1000 mL a los cuales se les agrega 500 mL de muestra del agua residual a tratar. - Al tener preparadas las muestras se procede a registrar de manera inicial el comportamiento del pH en cada uno de los vasos. - Preparar la solución madre de cal (Ca(OH)_2) presentación granulada a una concentración madre de 100.000 ppm la cual se aplica de forma líquida sobre cada una las muestras de agua residual a tratar . - Adicionar a cada muestra cierta cantidad de solución de hidróxido de calcio Ca(OH)_2, la cual inicie en 1 mL, aumentando la dosis aplicada en una escala de 0,5 mL de acuerdo al número de ensayos, es decir, que se aplicará una mayor dosis de neutralizador a los últimos ensayos a analizar. Es importante tener en cuenta que cada mL de solución equivale a una concentración de 200 mg/L de neutralizador aplicado. | | |

- Homogenizar cada una de las muestras de agua residual contenido en los vasos de precipitado una vez añadida la dosis de neutralizador de pH.
- Registrar nuevamente el comportamiento de pH de las muestras del agua residual con el fin de determinar la dosis de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 que dé como resultado el mayor porcentaje de neutralización, es decir, aquella concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 con la que se obtenga un valor de pH comprendido entre 6,5 y 8,5.
- Escoger como dosis óptima en esta primera etapa, aquella dosis de Ca(OH)_2 que permita obtener un valor de pH óptimo comprendido entre 6,5 y 8,5. Esta concentración se tomará como punto medio para realizar el afinamiento de la dosis.
- Relacionar a escala real el proceso de neutralización del agua que se lleva a cabo en el STAR, de manera que se permita evaluar a cierta escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso la dosificación de Ca(OH)_2 en la variación del pH. Para este escalamiento se toma como referencia el volumen de agua a tratar.

Fuente: Autores.

4.4. IMPLEMENTACIÓN DE UN TANQUE MEZCLADOR DOSIFICADOR DE PRODUCTO.

Cuadro 4. Descripción del procedimiento de optimización del proyecto de implementación de un tanque mezclador dosificador de producto.

| | | |
|---|---------------------------|--|
| PROGRAMA | | Neutralización de Ph |
| PROYECTO | | Implementación de un tanque mezclador dosificador de producto. |
| OBJETIVO GENERAL | | Plantear la implementación de un tanque mezclador dosificador de producto adicional que permita optimizar la eficiencia del proceso de estabilización de pH. |
| META: | INDICADOR: | FORMULA DEL INDICADOR: |
| Disminuir el porcentaje de variación de pH del agua residual a un valor inferior del 30%. | % de neutralización de pH | (pH medido en el efluente de la unidad de neutralización – pH medido en el afluente de |

| | | |
|---|--|---|
| | | la unidad de neutralización / pH medido en la efluente la unidad de neutralización)*100 |
| RESPONSABLE: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Departamento de Gestión Ambiental - Subdirección Administrativa y Financiera. - Departamento de Mantenimiento y reparaciones. | | |
| ACTIVIDADES: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Completar y aprobar toda la documentación previa para la construcción. Esto incluye el contrato, planos y los materiales necesarios. Realizar los cierres perimetrales que separan el área de influencia de los espacios públicos. De igual manera examinar, limpiar y excavar el terreno del área a trabajar. - Adoptar las acciones pertinentes, para la adquisición del tanque mezclador dosificador de producto. Le corresponde a los funcionarios del departamento de gestión ambiental en compañía del departamento de mantenimiento y reparaciones realizar el respectivo montaje del tanque previo al ingreso de la laguna anaerobia y ubicarlo en un punto tal que el sitio de descarga favorezca la homogenización de la mezcla entre el insumo neutralizador y el flujo de aguas residuales. - Regular la cantidad de hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ que es suministrada al proceso de acuerdo al cálculo de la dosis óptima de cal, es decir, garantizar la reproductividad y repetividad del volumen programado en el tiempo. | | |

Fuente: Autores.

4.5. DISTRIBUCIÓN HOMOGÉNEA DEL AGUA RESIDUAL MEDIANTE EL DISEÑO E INSTALACION DE MAMPARAS O PANTALLAS DEFLECTORAS EN EL SISTEMA DE LAGUNAS.

Cuadro 5. Descripción del procedimiento de optimización del proyecto de distribución homogénea del agua residual mediante el diseño e instalacion de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas.

| | |
|-----------------|---|
| PROGRAMA | Distribución homogénea del agua residual. |
| PROYECTO | Distribución homogénea del agua |

GUIA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) DE UNA EMPRESA DEL SECTOR PANELERO EN EL VALLE DEL CAUCA

| | | |
|--|--|---|
| | | residual mediante el diseño e instalación de mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas. |
| OBJETIVO GENERAL | | Plantear el diseño mamparas o pantallas deflectoras en el sistema de lagunas para optimizar la eficiencia microbiana del STAR. |
| META: | INDICADOR: | FORMULA DEL INDICADOR: |
| Aumentar en un 40% la eficiencia de remoción con los parámetros DBO ₅ y SST en relación al año anterior | Eficiencia de remoción de contaminantes. | (Eficiencia obtenida en los parametros de DBO ₅ y SST en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO ₅ y SST en el periodo anterior)*100. |
| RESPONSABLE: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Departamento de Gestión Ambiental - Subdirección Administrativa y Financiera - Departamento de mantenimiento y reparaciones. - Coordinación de oficios varios. | | |
| ACTIVIDADES: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Completar y aprobar toda la documentación previa para la construcción. Esto incluye el contrato, planos y los materiales necesarios. - Realizar los cierres perimetrales que separan el área de influencia de los espacios públicos. De igual manera examinar, limpiar y excavar el terreno del área a trabajar. - Bloquear el ingreso de aguas residuales al sistema de lagunas, habilitando el Bypass para desviar el flujo de agua influente desde el tanque de igualación directamente hacia el humedal artificial de flujo subsuperficial. - Introducir por medio de una retroexcavadora los sacos de gravilla revestidos con empaques de polipropileno de alta densidad, con el objetivo de construir las mamparas o pantallas deflectoras tomando como referencia los diseños presentados en las imagenes 9 y 10. - Realizar la acomodación de los sacos, teniendo en cuenta la siguiente referencia para su organización (medidas de cada saco): | | |

Largo: 65 cm, Ancho: 45 cm y Alto: 18 cm

En el caso de la laguna anaerobia se deberán instalar:

- 25 sacos para construir la longitud (L) de la mampara y 20 sacos para sobrepasar el espejo de agua de la laguna (H) en un nivel de 0,5 m. Es decir, que para construir cada mampara o pantalla deflectora se deberá acomodar un total de 500 sacos. *(Tener como referencia el diseño presentado en la imagen 9).*
- Para el caso de la laguna facultativa se deberán instalar:
 - 17 sacos para construir la longitud (L) de la mampara y 12 sacos para sobrepasar el espejo de agua de la laguna (H) en un nivel de 0,5 m. Es decir, que para construir cada mampara o pantalla deflectora se deberá acomodar un total de 204 sacos. *(Tener como referencia el diseño presentado en la imagen 10).*
 - Revestir las mamparas o pantallas deflectoras utilizando una membrana impermeabilizante de polipropileno de alta densidad. Para ello se debe tener en cuenta las dimensiones de cada pantalla.

En el caso de la laguna anaerobia, se requieren las siguientes dimensiones de membrana impermeabilizante por cada una de las pantallas instaladas:

Largo: 16,1 m; Ancho: 0,45 m; Altura: 3,5 m

Para la laguna facultativa, se requieren las siguientes dimensiones de membrana impermeabilizante por cada una de las pantallas instaladas:

Largo: 10,5 m; Ancho: 0,45 m; Altura: 2,0 m

- Desconectar el bypass que desvía el flujo de agua desde el tanque de igualación directamente hacia el humedal artificial de flujo subsuperficial.
- Permitir gradualmente el ingreso de agua al sistema de lagunas, logrando que el afluente sea conducido a través de la ruta determinada por la configuración de las pantallas.

Fuente: Autores.

4.6. RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL MEDIANTE LA SIEMBRA DE *HELICONIA PSITTACORUM*.

Cuadro 6. Descripción del procedimiento de optimización del proyecto de restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial mediante la siembra de *Heliconia psittacorum*.

| | | |
|---|---|--|
| PROGRAMA | | Restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial |
| PROYECTO | | Restauración de la cubierta vegetal del humedal artificial de flujo subsuperficial mediante la siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> . |
| OBJETIVO GENERAL | | Restaurar la cobertura vegetal del humedal artificial mediante la siembra de <i>Heliconia psittacorum</i> por su capacidad de remover contaminantes |
| META: | INDICADOR: | FORMULA DEL INDICADOR: |
| Aumentar en un 40% la eficiencia remoción de los parámetros de DBO ₅ y DQO en relación al año anterior. | (%) Eficiencia de remoción de contaminantes. | (Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO ₅ y DQO en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO ₅ y DQO en el periodo anterior)*100 |
| Cubrir el 100% de la superficie del humedal con la planta <i>Heliconia psittacorum</i> . | % de área plantada con <i>Heliconia Psittacorum</i> | (Área plantada con <i>Heliconia psittacorum</i> /Área del humedal)*100 |
| RESPONSABLE: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Departamento de Gestión Ambiental - Departamento de mantenimiento y reparaciones. - Coordinación de oficios varios. | | |
| ACTIVIDADES: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Realizar la preparación del suelo para el cultivo empleando un arado que penetra en el suelo hasta una profundidad de 15 cm y voltea la tierra, arrancando o eliminando las malas hierbas que crecen en el terreno, removiendo y aflojando las capas superficiales del suelo y dejando el | | |

lecho con la humedad suficiente para que germinen las especies sembradas.

- Eliminar los terrones o conglomerados de tierra compactada que se forman en la tierra fuera del punto adecuado de tempero y con la tierra seca. Para deshacerlos es necesario mojarlos abundantemente y dejarlos con humedad hasta el día siguiente, momento en que se desharán con facilidad pasando el reverso del rastrillo. La zona de cultivo del humedal debe quedar llana y la tierra con una textura suave y con el granulado de la tierra fino.
- Elaborar los huecos de siembra de acuerdo al tamaño del rizoma o bolsa de las especies adquiridas. Estos deberán realizarse generalmente de 50 cm de diámetro y 20 cm de profundidad. Cuando se siembran partes de plantas con varios vástagos con raíces sanas en suelo se requiere elaborar huecos de hasta 80 cm de diámetro.
- Aportar agua a las especies sembradas durante los primeros meses de crecimiento, principalmente en periodos secos y en determinados volúmenes según la incidencia lumínica de la zona. Para el caso de la ubicación específica del humedal a plena exposición a la luz solar el requerimiento mínimo es de 20 mm diarios de agua.
- Eliminar los vástagos desnutridos entre 2 o 3 meses luego de sembrado el cultivo, lo que le permite a la planta tener mayor circulación de aire, previniendo así enfermedades y permitiendo la brotación de nuevos vástagos, más vigorosos y productivos. Igualmente se deben eliminar vástagos adultos con flores muy abiertas o dañadas. El corte se debe realizar 5 cm por encima del cuello del rizoma, en bisel (oblicuo) para prevenir la pudrición y evitar futuros daños a los nuevos brotes que surjan del rizoma.
- Realizar el corte que a las hojas cuando que estén secándose por vejez o daño mecánico. Aproximadamente cada 25 a 35 días. Esta labor también facilita la circulación de aire y reduce la incidencia de enfermedades.
- Amarrar los vástagos de cada planta para que crezcan en forma vertical, permitiendo mejor acceso al interior del humedal, más aireación y obtener plantas de mejor calidad al disminuir el porcentaje de plantas torcidas.

- Realizar resiembras cuando las plantas dejen un centro despejado debido a la floración o muerte de sus primeros vástagos o por la muerte total de la planta. Esta actividad permite el aprovechamiento del espacio y conservar la densidad inicial del cultivo en el humedal.

Fuente: Autores.

4.7. INOCULACIÓN MICROBIANA EN EL SISTEMA DE LAGUNAS EMPLEANDO BIOMERK.

Cuadro 7. Descripción del procedimiento de optimización del proyecto de restauración de inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando BiomerK.

| | | |
|--|--|--|
| PROGRAMA | | Estimulación microbiana en lagunas de estabilización |
| PROYECTO | | Inoculación microbiana en el sistema de lagunas empleando BiomerK |
| OBJETIVO GENERAL | | Plantear la inoculación microbiana en el sistema lagunas optimizando la degradación biológica de contaminantes en el STAR. |
| META: | INDICADOR: | FORMULA DEL INDICADOR: |
| Aumentar en un 40% la eficiencia remoción de los parámetros DBO, DQO, y SST en relación al año anterior. | Eficiencia de remoción de contaminantes. | (Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO, DQO y SST en el periodo actual/ Eficiencia obtenida en los parámetros de DBO, DQO y SST en el periodo anterior)*100 |
| RESPONSABLE: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Departamento de Gestión Ambiental - Coordinación de oficios varios. | | |
| ACTIVIDADES: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Realizar el proceso de inoculación en el sistema de lagunas, utilizando el producto BiomerK®, el cual se debe inocular en frente de la tubería de ingreso de la laguna anaerobia. - El kit biológico está compuesto por un biocubo de 906 gramos. Cada Biocubo de BiomerK® deberá ser ubicado sobre la tubería de ingreso a | | |

la primera laguna. La inoculación se realizará de la siguiente manera: 15 días un biocubo BIOMERK® AR y 15 días un biocubo BIOMERK® HC.

- El proceso debe llevarse a cabo de manera consecutiva, es decir, realizando la aplicación continua (cada 15 días) de las bacterias en el sistema de lagunas.
- Evaluar los resultados después 60 días de haberse iniciado el proceso de bioaumentación.

Fuente: Autores.

5. CONCLUSIONES

- Se elaboró la guía de optimización de los diferentes componentes del STAR para su implementación y seguimiento, orientada al excelente desempeño ambiental del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la empresa del sector panelero y a la prevención de la contaminación ambiental del recurso hídrico.
- Se establecieron procedimientos de optimización para cada alternativa establecida, fijando instrucciones en cada una de las actividades a realizar conduciendo a un mejor desarrollo de los mismos. De igual manera, se formularon procesos de evaluación como método de seguimiento a los procedimientos planteados.
- Se delimitaron las responsabilidades para la ejecución, control y evaluación de los diferentes procedimientos de optimización establecidos. De esta manera, garantizar el cumplimiento de los objetivos de la guía de optimización, a través de la realización de un constante seguimiento y la formulación de medidas preventivas y correctivas a los procedimientos planteados de mejora.

6. RECOMENDACIONES GENERALES

- La empresa debe implementar y asegurar el cumplimiento de los procedimientos planteados para la optimización del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) y de esta manera dar cumplimiento a la

normatividad ambiental vigente en lo referente a vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ArnD a cuerpos de aguas superficiales - Resolución 0631 de 2015.

- Se debe aumentar el número del personal que apoye las actividades operativas y administrativas del sistema de gestión ambiental y verifique que los procedimientos ejecutados en el STAR se hagan de acuerdo con lo establecido asegurando que no perjudiquen el ambiente.
- La empresa debe contemplar la adquisición de equipos y materiales de laboratorio, al igual que un área específica para relizar los análisis requeridos de laboratorio que permitan visualizar las características fisicoquímicas de las aguas tratadas en el STAR y de esta manera determinar si los resultados obtenidos estan enmarcados en lo que establece la normatividad ambiental.
- Se debe coordinar con todo contratista la respectiva intervención que realizará sobre el STAR, desde la presentación del procedimiento de optimización hasta la implementación del mismo. De igual manera, el contratista deberá garantizar la calidad y seguridad de la obras realizadas, de acuerdo a la legislación correspondiente.
- La presente guia de optimización debe ser actualizada por lo menos una vez al año, dependiendo de los cambios en los procedimientos que se realicen en el STAR y acorde a las condiciones de la empresa, es decir, que la guía sea dirigida según las condiciones del momento y que sea adaptada a su propia realidad.
- Es importante continuar realizando proyectos de investigación que contribuyan al mejoramiento continuo del STAR, promoviendo la aplicación de estrategias ambientales que optimicen el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa en particular.

UCEVA

