

ANÁLISIS Y REDISEÑO DE TRATAMIENTO PRIMARIO DE
AGUAS RESIDUALES EN PLANTA PECUARIA AVÍCOLA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ANÁLISIS Y REDISEÑO DE TRATAMIENTO PRIMARIO DE
AGUAS RESIDUALES EN PLANTA PECUARIA AVÍCOLA

Trabajo de graduación en modalidad de Trabajo Profesional presentado por

Doriam Stivens Orozco Solares

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Tecnología
Industrial

Guatemala

2019

Vo.Bo

(f)



Ing. David Alejandro Flores Veliz

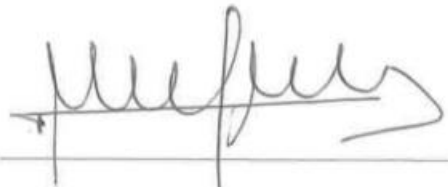
Tribunal examinador:

(f)



Ing. David Alejandro Flores Veliz

(f)



Ing. Héctor Alfonso Monzón

(f)



Ing. Henry Olcot

AGRADECIMIENTOS

El amor, la dedicación y la paciencia con la que día con día mis padres (Doriam y Lorena) me preguntaban y preocupaban por el avance de este trabajo, es el reflejo del apoyo incondicional que siempre tuve de parte de ellos.

Gracias por confiar en mis capacidades y siempre creer en que yo lo podía lograr, gracias porque la persona en la que me he convertido es el reflejo de una vida llena de sacrificios, de obstáculos y barreras que ustedes siempre pudieron superar para brindarme todo lo necesario para ser una persona de bien. Gracias por brindarme una hermana (Andrea) que siempre está para mí, y que también me brinda su apoyo sin condición.

Gracias por permitirme conocer a Dios con quien estoy completamente agradecido, porque diariamente me brinda una nueva oportunidad para alcanzar todas las metas que me propongo.

Gracias a esa persona (Mafer) que durante muchos años de mi vida ha sido la acompañante que me da un motivo más para luchar por mis sueños, por todo su amor y apoyo incondicional, y que juntos alcanzamos una meta más.

A todos mis compañeros, que durante todo este recorrido me brindaron una mano para juntos poder lograr el propósito de este largo caminar.

A mi asesor David Flores, por todo el apoyo brindado en la realización de este trabajo, sus consejos y el tiempo dedicado hacen que este trabajo hoy sea una realidad

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN.....	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
A. GENERAL	2
B. ESPECÍFICOS	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. METODOLOGÍA	4
A. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	4
B. LISTADO DE INCONFORMIDADES	4
C. ESTABLECIMIENTO DE TRATAMIENTO PRIMARIO	4
D. DOSIS DE QUÍMICOS	5
E. PRUEBAS DE LABORATORIO	5
V. RESULTADOS.....	7
A. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ANTIGUO.....	7
B. INCONFORMIDADES	9
C. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO	9
D. ESTUDIO TÉCNICO DE REDISEÑO DE TRATAMIENTO PRIMARIO	12
E. ESTUDIO ECONÓMICO.....	14
F. ESTANDARIZACIÓN EN LA PREPARACIÓN DE QUÍMICOS	17
G. DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS.....	18
H. PRUEBAS DE LABORATORIO	19
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS	21
VII. CONCLUSIONES	23
VIII. RECOMEDACIONES.....	24
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	25
X. ANEXO.....	26
XI. GLOSARIO.....	29

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Cantidades y costos de químicos previo al rediseño.....	5
Cuadro 2 Costo de limpieza de trampa de grasas, tanque unificador y extracción de lodos previo al rediseño	5
Cuadro 3 Presupuesto de inversión del rediseño para el tratamiento primario.....	15
Cuadro 4 Cantidades y costo de químicos luego del rediseño.....	16
Cuadro 5 Costo de mano de obra	16
Cuadro 6 Costo de limpieza de trampa de grasas, tanque unificador y extracción de lodos luego del rediseño	16
Cuadro 7 Cantidad de dosificación de cloro.....	18
Cuadro 8 Cantidades de dosificación de coagulante y floculante.....	19
Cuadro 9 Cantidad de dosificación polímero de lodos.....	19
Cuadro 10 Prueba del laboratorio de análisis compuesta	20
Cuadro 11 Comparación de costo promedio de tratamiento de 1 m ³ de agua residual.....	21
Cuadro 12 Ahorro en limpieza en trampas de grasa, tanque unificador y extracción de lodos	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de proceso antiguo 1	7
Figura 2 Diagrama de proceso antiguo 2	8
Figura 3 Diagrama de proceso propuesto	11
Figura 4 Bomba dosificadora de cloro DDE 6-10	13
Figura 5 Bomba dosificadora de pistón serie Blackline R.....	14
Figura 6 Justificación de inversión por ahorro generado.....	22

RESUMEN

El siguiente trabajo consiste en realizar un análisis y un rediseño del tratamiento primario de aguas residuales en una planta avícola pecuaria, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso.

Las aguas residuales que provienen de la fábrica; salen por tres líneas de conducción de las cuales solamente una pasa por un filtro, las otras llegan directamente al tanque unificador, provocando mayor gasto de químicos (floculante, coagulante, cloro y polímeros de lodos) para tratar el agua residual.

Se identificaron las deficiencias del proceso, las cuales se analizaron y se decidió; que la mejor opción para el sistema eran cajas de rejillas, y una tómbola de separación de pollinaza.

Con el rediseño del tratamiento primario se logró reducir en gran medida la cantidad de sólidos, lo cual redujo el gasto de los mismo y provocó un ahorro en el costo por m³ tratado, también se logró cumplir con los límites máximos permisibles del acuerdo gubernativo 236-2006, buscar negociaciones con los proveedores de los químicos y calibrar constantemente las bombas de dosificación; servirá para que los costos de operación se puedan seguir reduciendo.

I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales actualmente ha ido tomando mayor importancia en las industrias; ya sea para cumplir con regulaciones establecidas por la ley o bien para poder reutilizar el agua en otros procesos de la empresa; debido a la escasez con la que se puede llegar a contar del vital líquido.

La eliminación de aguas no tratadas produce un gran impacto ambiental negativo hacia los cuerpos receptores, en función de la concentración de contaminantes; que el afluente descargado contenga.

Es por esto, que en la planta avícola pecuaria se busca realizar un rediseño del proceso actual; con el cual se logre cumplir con el acuerdo gubernativo 236-2006, “reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de las disposiciones de lodos”, el cual; dentro de él, contiene los límites máximos permisibles que debe contener el agua que se descarga al cuerpo receptor.

Para llevar a cabo el rediseño; será necesario realizar una investigación, la cual en su primera fase; buscará exponer todas las inconformidades que presente el proceso, para posteriormente establecer el tratamiento primario adecuado.

En la siguiente fase, se establecerá el nuevo diagrama de flujo del proceso, a su vez; se realizará un estudio técnico y económico, el cual contendrá los requerimientos de equipos, materiales, montos de inversión y costos de funcionamiento.

En la tercera etapa, se estandarizará el proceso de preparación y dosificación de los químicos, lo cual ayudará a reducir los costos de funcionamiento.

Como etapa final, se realizará pruebas de laboratorio para demostrar; que el rediseño de la planta cumple con lo regulado por la ley por el acuerdo antes mencionado.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL

Analizar y rediseñar el sistema primario de aguas residuales; a través de la realización de un estudio técnico/económico, para lograr una disminución de materiales sólidos en el agua y así cumplir con las regulaciones estipuladas por el acuerdo gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala.

B. ESPECÍFICOS

- Exponer el listado de las inconformidades del tratamiento de aguas residuales actual, mediante el análisis del proceso existente, para desarrollar según este; el rediseño de la planta.
- Realizar investigación en fuentes bibliográficas y en la planta de tratamiento, para establecer el tratamiento primario adecuado; con tecnologías actualizadas; que ayuden a una reducción apropiada de materiales utilizados en el proceso de tratamiento de las aguas residuales.
- Estandarizar las dosis de químicos utilizados, para tratar el agua a través del uso de dosificadores electrónicos para evitar el uso de proporciones mal aplicadas.
- Realizar pruebas de laboratorio a través de toma de muestras del efluente de aguas residuales, para establecer una comparación; entre los datos obtenidos y los límites máximos permisibles establecidos por el acuerdo gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala.

III. JUSTIFICACIÓN

La importancia de una planta de tratamiento de aguas residuales en un proceso industrial, reside en el hecho; de devolver el agua a la naturaleza; sin contaminantes que puedan provocar daños al medio ambiente.

Actualmente en la planta pecuaria avícola existe una planta de tratamiento que fue recientemente construida, este nuevo proceso fue adaptado a un sistema de lagunas, que anteriormente servían para la trata del agua.

Las aguas residuales que provienen de la fábrica, salen por tres líneas, de la cuales solamente una línea pasa por un tamiz rotatorio; que le quita parte de los desechos sólidos, que posteriormente llega a un tanque unificador, donde se junta con las otras dos líneas; que no pasan por ningún filtro, esto provoca un encarecimiento en proceso, debido a que se deben de bombear más químicos (Floculante, coagulante, polímero de lodos y cloro) para tratar el agua.

Con el rediseño del sistema de tratamiento primario actual, se logrará la separación de los residuos de gran tamaño, dejando pasar únicamente agua con residuos pequeños que serán más fáciles de tratar, lo que ayudará a hacer más eficiente el proceso.

Con la realización de la propuesta se deberán cumplir con los límites máximos permisibles establecidos por: “El reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de disposición de lodos”, contemplado dentro del acuerdo gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala.

IV. METODOLOGÍA

A. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La metodología para la recopilación de la información de este trabajo, se basó principalmente en tres instrumentos, los cuales son:

1. Observación:

Instrumento por el cual, se conoció todo el proceso de la planta, a través de un recorrido por todo el proceso, se analizaron las distintas etapas, con el fin de poder realizar el diagrama del funcionamiento actual de la misma.

2. Archivos existentes de la planta:

Se realizó una investigación en los archivos existentes, con el fin de familiarizarse de mejor manera con el proceso, esto sirvió para conocer datos relacionados a los metros cúbicos de agua tratados y costos aproximados de operación; en un día normal de operación.

3. Entrevistas:

Sirvieron para conocer los puntos de vista de los trabajadores y supervisor, relacionados con la operación del proceso y la función que cada uno de ellos ocupa dentro de la planta. Entrevistar a las personas responsables de la operación en la planta; sirvió para determinar las inconformidades que el proceso presenta, y luego del análisis; iniciar a generar la propuesta del rediseño del proceso. Así también en consenso con los trabajadores y se formuló el nuevo diagrama del proceso.

B. LISTADO DE INCONFORMIDADES

Este listado expondrá las debilidades e inconformidades que se presenten en el proceso, estos puntos críticos que se identifiquen dentro del sistema; serán el punto de partida; para poder generar a partir del análisis, las mejoras que sean necesarias; para hacer más eficiente el procedimiento que el agua debe de pasar para poder salir tratada.

C. ESTABLECIMIENTO DE TRATAMIENTO PRIMARIO

Luego de establecer las inconformidades con las que el proceso cuenta, se analizará el diagrama de proceso establecido, se consultará con el personal de la planta y en fuentes bibliográficas cuál es el tratamiento primario que se debe establecer dentro de la planta, poder optimizar los recursos que se utilizan; para que la planta funcione y cumpla con lo regulado dentro de acuerdo gubernativo 236-2006.

Se realizará una comparación entre el costo actual de los químicos, limpieza de trampa de grasas, tanque unificado y viajes de extracción de lodos, versus los costos; luego del rediseño. (Ver cuadros 1-2)

Cuadro 1 Cantidades y costos de químicos previo al rediseño

Día	M ³ Tratados	Cloro (galones)		Coagulante (kg)		Floculante (kg)		Polímero (kg)	
		Cant útil	Costo Q	Cant útil	Costo Q	Cant útil	Costo Q	Cant útil	Costo Q
1	1518.93	95	1045.00	125	812.50	2	97.50	60	2361.00
2	1324.34	100	975.00	187.5	1218.75	4	195.00	60	2361.00
3	1316.05	120	1320.00	187.5	1218.75	4	195.00	60	2361.00
7	1764.25	125	1375.00	195	1267.50	6	292.50	34	1337.90
8	1635.21	125	1375.00	62.5	406.25	4	195.00	35	1377.25

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.

Cuadro 2 Costo de limpieza de trampa de grasas, tanque unificador y extracción de lodos previo al rediseño

Descripción	Frecuencia al mes	Costo unitario	Total
Limpieza de trampas de grasas	2	Q 6,000.00	Q 12,000.00
Limpieza de tanque unificador	1	Q 12,000.00	Q 12,000.00
Extracción de lodos	30	Q 800.00	Q 24,000.00
Total			Q 48,000.00

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.

D. DOSIS DE QUÍMICOS

La estandarización en la preparación y dosificación de los químicos utilizados en el proceso ayudará a tener un mejor orden y control sobre las cantidades que ingresan al sistema, los consumos serán muchos más claros, no se inyectarán cantidades desproporcionadas que puedan perjudicar; en lugar de cumplir la función para la que estos están diseñados, se podrán establecer las cantidades exactas a utilizar, lo cual facilitará la planificación de compras y se reducirán los tiempos de espera debido a la regulación constante que deberá implementarse a las dosificadoras.

E. PRUEBAS DE LABORATORIO

De conformidad con lo establecido en el acuerdo gubernativo 236-2006, la frecuencia de toma de muestras para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y aguas para reúso, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico.

Para poder cumplir con los lineamientos establecidos, en la planta se realizan las tomas de muestras cada 2 meses, realizando un total de 6 durante todo el año; y con ello, para poder controlar de mejor manera los parámetros bajo los cuales se está trabajando; y no exceder los límites máximos permisibles establecidos en el acuerdo gubernativo en mención.

V. RESULTADOS

A. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ANTIGUO

La descripción del proceso actual se logró, gracias al primer punto de la metodología, los distintos instrumentos de recolección de información, sirvieron de ayuda para implementar el diagrama del proceso actual, y servirá para crear la descripción de las partes involucrada en el proceso. En las figuras 1 y 2 se puede observar el diagrama del proceso antiguo.

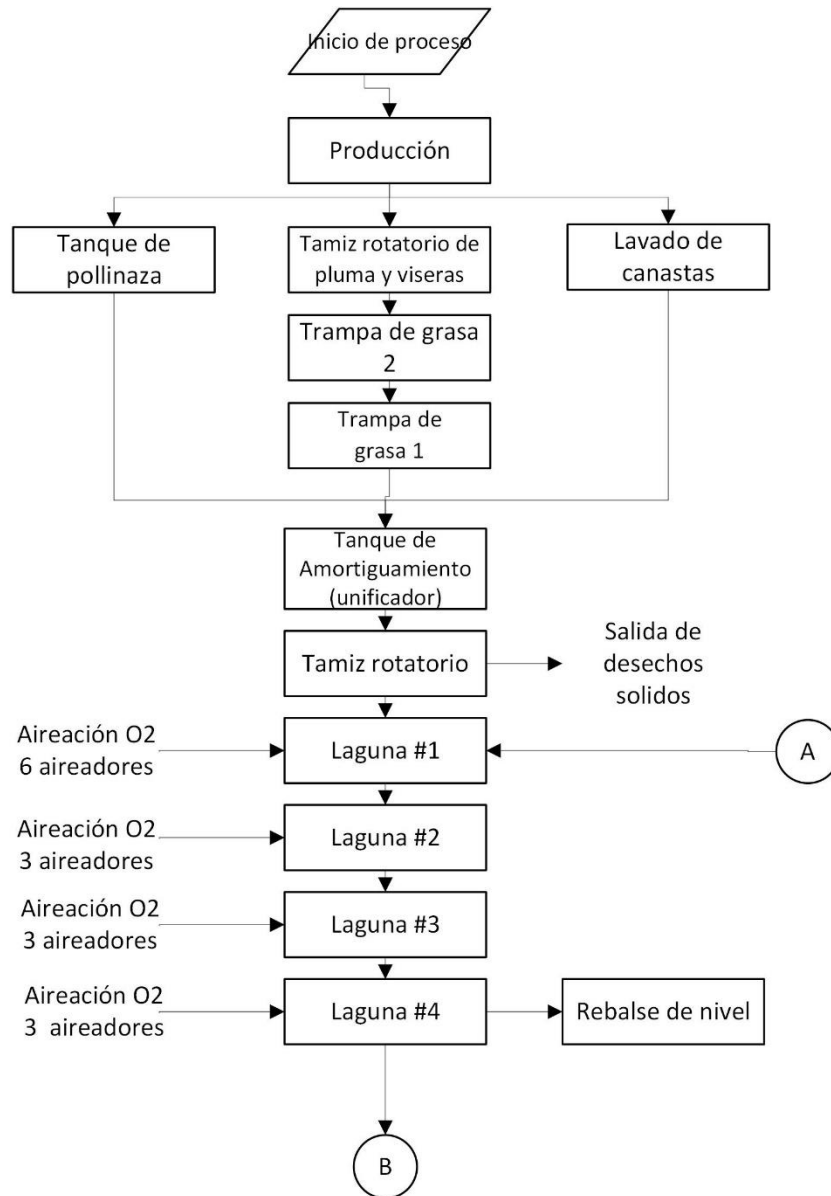


Figura 1 Diagrama de proceso antiguo 1

Fuente: Dorian Stivens Orozco, UVG 2019.

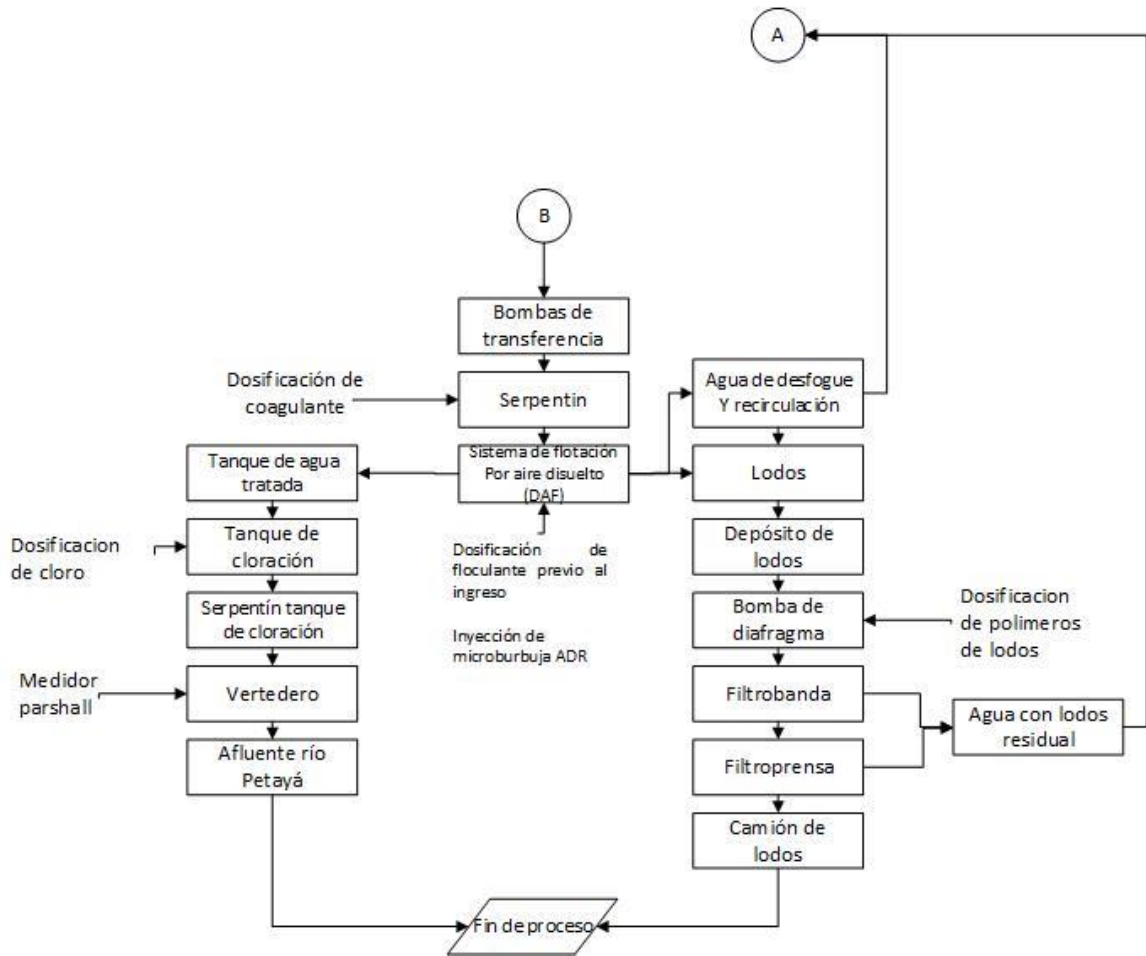


Figura 2 Diagrama de proceso antiguo 2

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.

La primera parte del diagrama de proceso inicia con el agua; que sale del proceso de producción, la cual se divide en tres líneas, la primer línea de conducción del agua sale directamente del muelle donde desembarcan las aves, esta agua es llevada del muelle directamente al tanque unificador, la segunda línea que sale del interior de la planta, es transportada hasta un tamiz rotario; que separa las vísceras y las plumas, dicha agua al salir de este punto es conducida a la trampa de grasa número dos y posteriormente a la trampa de grasa número 1, para después llegar también al tanque unificador, la tercer línea de conducción del agua llega procedente del agua utilizada para lavar las canastas en donde las aves son transportadas, dicha agua al igual que la línea uno es conducida directamente hacia el tanque unificador, en este punto las tres líneas de conducción están dentro del tanque, el cual posee dentro de él; un sistema de hélice que agita el agua constantemente para poder evitar que los sólidos que llegan hasta este punto entorpezcan el proceso.

Luego de la salida del tanque unificador; el agua pasa a un tamiz rotatorio en el cual se extraen parte de los sólidos que el agua lleva hasta ese punto, a continuación; el agua pasa por las lagunas de estabilización

las cuales son 4, la primer laguna cuenta con 6 aireadores que ayudan a oxigenar el agua, cada una de las otras 3 lagunas solamente cuentan con 3 aireadores, de la laguna 1 existe una tubería para recirculación del agua; que más adelante se detallará, de la laguna 4 existe un rebalse de nivel que ayuda a evitar un exceso de agua en épocas de lluvia, luego de la laguna 4; el agua pasa por las bombas de transferencia y posteriormente por un serpentín donde se le aplica el coagulante, el agua sigue su curso y llega al sistema de flotación por aire disuelto (DAF por sus siglas en ingles), en este punto; se le dosifica el floculante al agua, y se le inyectan microburbujas, las cuales ayudan a la separación de sólidos y líquidos.

A partir de la separación de sólidos y líquidos; existe la tubería de recirculación, la cual es capaz de recircular agua ya tratada a la laguna 1, el proceso se divide en dos luego del DAF, del lado de los lodos, llegan a un depósito donde son almacenados y una bomba de diafragma les dosifica polímero de lodos lo cual deshidrata los lodos, que posteriormente pasan a una filtrobanda y una filtro prensa donde terminan de separar el líquido de los lodos, de este punto sale una tubería de recirculación de lodos la cual llega también a la laguna 1, las tuberías de recirculación de agua tratada y lodos se utilizan para estabilizar las lagunas según tenga déficit o excedentes de sólidos, por último el lodo residual cae a un camión donde termina el proceso en esta fase y de forma paralela el agua tratada que sale del DAF pasa a un tanque de almacenamiento, posteriormente llega a un tanque de cloración; donde es clorada el agua; que a continuación pasa por un serpentín que la conduce al vertedero, en el vertedero existe un medidor parshall el cual sirve para medir la cantidad de agua tratada; que se expulsa hacia el afluente del río Petayá donde termina el proceso.

B. INCONFORMIDADES

Luego de realizar la recopilación de la información por medio de la observación, los archivos de la planta, las entrevistas con los trabajadores y supervisor, algunos problemas fueron evidentes, unos más que otros, algunos de carácter rutinario; que parecen ser parte de un proceso establecido; pero que se realizan de manera incorrecta, otros que son notorios y no pueden ser corregidos tan fácilmente debido a que; necesitan de una inversión por parte de la empresa. Los problemas evidenciados son los siguientes:

- Dosificación de químicos no estandarizada
- Inexistencia de pretratamiento
- Mala adaptación del sistema antiguo de tratamiento al sistema nuevo
- Mal diseño de las líneas de conducción del agua
- Falta de aprovechamiento de recursos disponibles
- Contacto prolongado de la pollinaza con el agua, que genera una alta concentración de Nitrógeno.

C. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO

Luego del análisis de la situación actual del proceso y los problemas encontrados, la propuesta de mejora para hacer más eficiente el funcionamiento de la planta de tratamiento incluye: la estandarización de la

preparación y dosificación de químicos, que se realizará a través de un dosificador de modelo más reciente que brinde una mayor exactitud en la cantidad de químico que entra al sistema, esto debido a que los actuales dosificadores se encuentran ya en un mal estado.

Actualmente no existe un tratamiento primario que ayude a eliminar los sólidos suspendidos, se implementará un sistema de cribado por medio de canales con rejillas; que ayudarán a sufrir el tratamiento primario del agua que actualmente no existe, con esto se regularizará en cantidad y tamaño los residuos que continúen hacia el tanque unificador y así también evitar que dañen el agitador que se encuentra dentro del mismo.

Con la implementación del tratamiento primario el proceso de la planta aumentará su eficiencia, debido a que el agua pasará por una etapa que al momento no existe, porque actualmente el agua que sale del muelle en donde las aves son descargadas; viajaba directamente al tanque unificador, lo cual provocaba que la pollinaza tuviera un contacto prolongado con el agua residual, que a su vez generaba un alto contenido de nitrógeno en el sistema. Una de las mejoras al sistema será la utilización de un tanque que capte toda el agua del muelle, la cual luego tendrá un proceso de aireación por medio de un Blower, para homogenizar la pollinaza y evitar que se sedimente dentro del tanque, posteriormente una bomba de transferencia llevará el agua con pollinaza hacia una tómbola rotativa; que separará todos los sólidos y dejará únicamente líquidos, con este se evitará que se genere el contacto prologando; que actualmente genera altas concentraciones de Nitrógeno.

Los cambios en esta nueva propuesta buscan minimizar los costos de operación e implementar cambios que no representen un gasto significativo para la empresa.

1. Diagrama de proceso propuesto

Para poder entender de mejor manera la propuesta del sistema, se reconstruyó el diagrama de proceso a partir de las inconformidades, las cuales sirvieron para realizar el rediseño del tratamiento primario de la planta, con estas mejoras se busca contrarrestar completamente; todo aquello que ocasiona el funcionamiento de manera ineficiente del sistema de la planta de tratamiento. En la Figura 3 se detalla el diagrama propuesto.

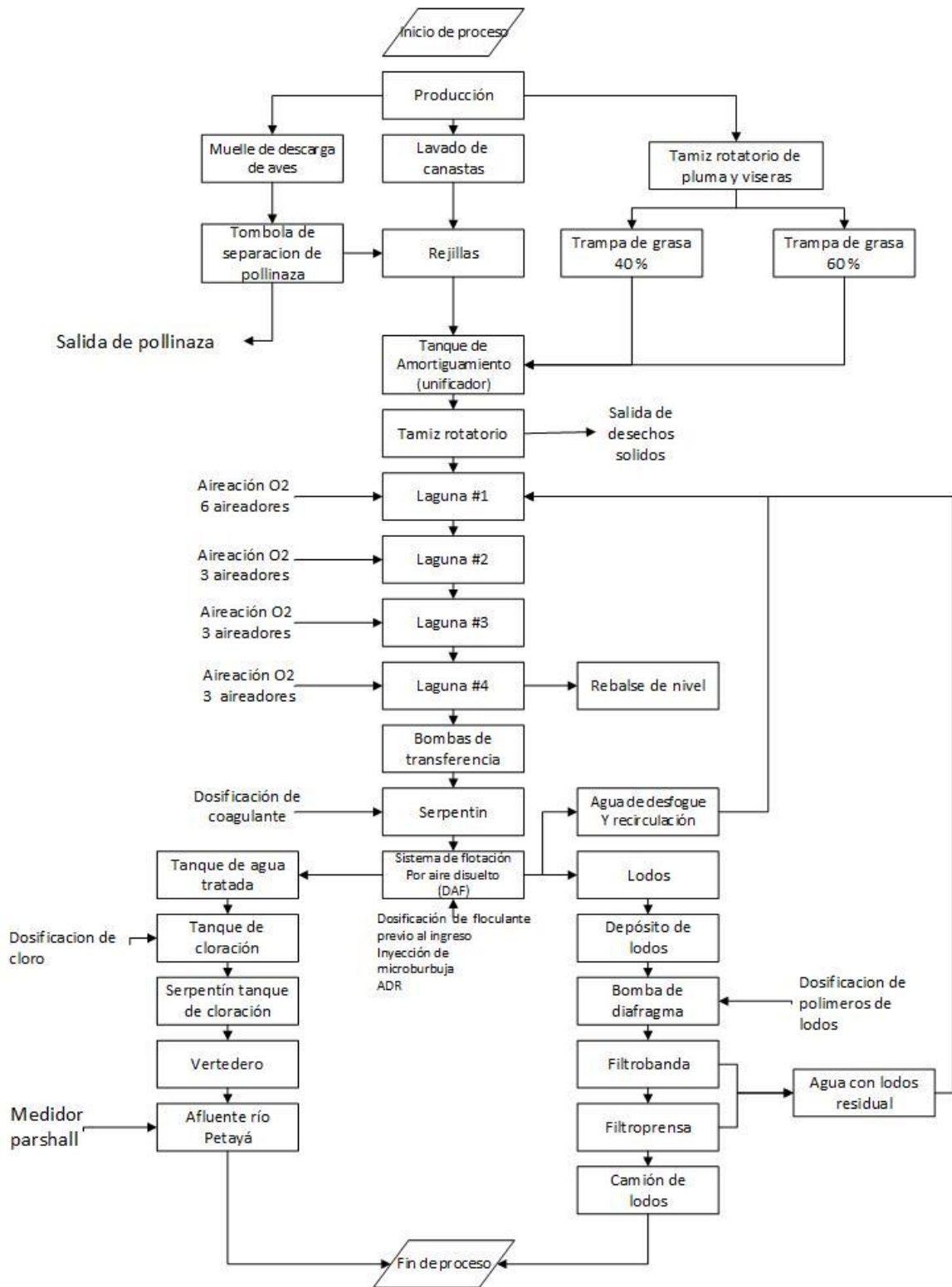


Figura 3 Diagrama de proceso propuesto

Fuente: Doriam Orozco

D. ESTUDIO TÉCNICO DE REDISEÑO DE TRATAMIENTO PRIMARIO

Luego del proceso de decisión del rediseño del tratamiento primario adecuado, descrito anteriormente, se debe analizar todo lo necesario para poder llevar a la realidad.

1. Requerimientos de equipo

a. Dosificadores:

Para inyectar coagulante, floculante y polímero de lodos al sistema, los dosificadores deben ser capaces de ingresar al sistema un mínimo de 396 lph del químico requerido, deberá de trabajar a una presión mínima de 4 bares, y ser impulsados por un motor eléctrico capaz de cumplir con la tarea antes mencionada.

b. Dosificador electrónico de cloro:

Que tenga capacidad de dosificación de 0.5 – 6.3 gph y trabaje a una presión máxima de 150 psi, esto para poder cumplir con los requerimientos de la dosificadora que actualmente está instalada y dosifica el cloro al sistema.

c. Bomba periférica de ½ HP:

Utilizada para trasladar toda el agua con pollinaza que cae del muelle al tanque; hacia la tómbola, que separa el agua de la pollinaza

d. Blower 3 Hp:

Encargado de homogenizar el agua con pollinaza dentro del tanque, para que no exista sedimentación y se creen remanentes de nitrógeno dentro del mismo.

e. Tómbola rotatoria:

Es la que realiza la separación de sólido y líquido, con ella se logra retirar toda la pollinaza al agua.

2. Requerimiento de materiales

a. Cemento 4000 psi:

Cemento de resistencia, necesario para la construcción del canal donde se instalarán las rejillas.

b. Arena de río:

Se debe utilizar arena de río lavada, completamente descontaminada de limo arcilla y poma, debido a que cualquier material extraño afecta directamente la resistencia del concreto.

c. Piedrín de ¾":

Piedra triturada a través de una maquina especial, es importante que no se utilice piedra volcánica, debido a que esto altera también la resistencia final del concreto.

d. Acero #3 legítimo:

Se debe utilizar acero #3 legítimo debido a que por su resistencia es el más adecuado para el tipo de trabajo que se realizará.

e. Malla mesh:

Que se utilizara para realizar las rejillas, las rejillas serán de 3 medidas diferentes para poder lograr capturar todos los sólidos posibles.

3. Monto de inversión por equipo

a. Dosificador de cloro:

DDE de SMART Digital es una bomba dosificadora compacta de membrana y de desplazamiento positivo con funcionamiento de velocidad variable (motor de pasos) y electrónica de control inteligente con el mínimo consumo de energía. La serie SMART Digital Dosing funciona a máxima longitud de carrera; para asegurar una exactitud óptima, aspiración y descarga, incluso para líquidos de alta viscosidad y gasificados. El caudal dosificado puede ajustarse mediante un dispositivo a escala logarítmica de 0.1-100%.

La mejor opción para poder controlar de una manera exacta la dosificación de cloro en el sistema, es la bomba Grundfos DDE 6-10, la cual se puede observar en la Figura 4.

El costo de este equipo es de Q 5,600.00



Figura 4 Bomba dosificadora de cloro DDE 6-10

Fuente: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?custid=GMA&productnumber=97720905&qcid=655932766>

b. Dosificador de químicos:

Para la dosificación de floculante, coagulante y polímero de lodos que son los tres químicos que se utilizan en la planta, era necesario encontrar una bomba que fuera capaz de dosificar los tres sin ningún

inconveniente, la que se adecuaba más a las necesidades es la bomba dosificadora de pistón serie Blackline R marca OBL. (ver Figura 5)

La cual tiene un costo de Q 15,000.00



Figura 5 Bomba dosificadora de pistón serie Blackline R

Fuente: <http://serviclora.com/productos-lideres-en-equipos-de-dosificacion-bombas-dosificadoras/bombas-dosificadoras/bombas-dosificadoras-obl/series-blackline-r>

E. ESTUDIO ECONÓMICO

1. Inversión de la propuesta:

La inversión para implementar los cambios descritos en la descripción del proceso propuesto suma un total de Q 61,952.00. (Ver cuadro 3)

Cuadro 3 Presupuesto de inversión del rediseño para el tratamiento primario

Caja de rejillas				
Cantidad	UM	Material	Costo Unitario	Total
2.5	quintal	Acero #3	Q 26.00	Q 65.00
15	quintal	Cemento	Q 83.00	Q 1,245.00
1.5	m ³	Arena de rio	Q 45.00	Q 67.50
1.5	m ³	Piedrín 3/4"	Q 45.00	Q 67.50
10	libras	Alambre de amarre	Q 6.00	Q 60.00
42	unidad	Tabla	Q 60.00	Q 2,520.00
24	unidad	Regla	Q 45.00	Q 1,080.00
2	m ²	Malla mesh 3/4"	Q 250.00	Q 500.00
2	m ²	Malla mesh 1/2"	Q 265.00	Q 530.00
2	m ²	Malla mesh 1/4"	Q 285.00	Q 570.00
Mano de obra por caja de rejillas completa			Q 3,000.00	Q 3,000.00
Tómbola de separación de pollinaza				
1	unidad	Válvula bola de 4"	Q 1,360.00	Q 1,360.00
3	unidad	Válvula bola de 1/2"	Q 40.00	Q 120.00
1	unidad	Tubo PVC de 4"	Q 150.00	Q 150.00
1	unidad	Tubo PVC de 1/2"	Q 17.00	Q 17.00
1	unidad	Blower 3Hp	Q -	Q -
1	unidad	Bomba 1/2"	Q -	Q -
1	unidad	Tómbola rotativa	Q -	Q -
Bombas dosificadoras				
1	unidad	Bomba dosificadora de cloro	Q 5,600.00	Q 5,600.00
3	unidad	Bomba dosificadora de Coagulante, floculante y polímero de lodos	Q 15,000.00	Q 45,000.00
TOTAL				Q 61,952.00

Fuente: Dorián Stivens Orozco, UVG 2019.

Los materiales los cuales no presentan un costo de inversión, es derivado que la planta ya contaba con ellos pero que no los utilizaba en ningún punto del proceso.

2. Costo de químicos:

El costo que representan diariamente los químicos se presenta a continuación en el Cuadro 4 a través de una tabla que exhibe una muestra de cinco días de funcionamiento normal de la planta.

Cuadro 4 Cantidades y costo de químicos luego del rediseño

Día	M ³ Tratados	Cloro (galones)		Coagulante (kg)		Floculante (kg)		Polímero (kg)	
		Cant útil	Costo Q	Cant útil	Costo Q	Cant útil	Costo Q	Cant útil	Costo Q
1	774.37	4	44	110	715	1.75	85.3125	30	1180.5
2	945.56	5	55	125	812.5	2	97.5	40	1574
3	937.08	5	55	125	812.5	3	146.25	40	1574
4	1058.93	7	77	125	812.5	3	146.25	45	1770.75
5	852.56	4.5	49.5	120	780	2	97.5	35	1377.25

Fuente: Dorian Stivens Orozco, UVG 2019.

3. Costo de mano de obra:

Para el funcionamiento de la planta, se estima el salario de los técnicos operativos, personal de mantenimiento y supervisor. (Ver cuadro 5)

Cuadro 5 Costo de mano de obra

Puesto	Salario mensual	Bonificación incentiva	Horas extras	Total
Técnico Operativo	Q4,000.00	Q250.00	Q2000.00	Q6,250.00
Técnico Operativo	Q4,000.00	Q250.00	Q2000.00	Q6,250.00
Técnico Operativo	Q4,000.00	Q250.00	Q2000.00	Q6,250.00
Técnico de mantenimiento	Q4,000.00	Q250.00	Q2000.00	Q6,250.00
Supervisor	Q4,500.00	Q250.00	Q2,250.00	Q7,000.00
Total				Q32,000.00

Fuente: Dorian Stivens Orozco, UVG 2019.

4. Costo de limpieza de trampa de grasa, tanque unificador y extracción de lodos:

Se recopiló la información después del rediseño para poder establecer una comparativa con los datos que se obtuvieron al inicio de la investigación. (Ver cuadro 6)

Cuadro 6 Costo de limpieza de trampa de grasas, tanque unificador y extracción de lodos luego del rediseño

Descripción	Frecuencia al mes	Costo unitario	Total
Limpieza de trampas de grasas	2	Q 6,000.00	Q 12,000.00
Limpieza de tanque unificador	-	-	-
Extracción de lodos	30	Q 800.00	Q 24,000.00
Total			Q 36,000.00

Fuente: Dorian Stivens Orozco, UVG 2019.

F. ESTANDARIZACIÓN EN LA PREPARACIÓN DE QUÍMICOS

Para lograr la estandarización en la preparación de los químicos se estableció un proceso por medio de cual, se usan las cantidades exactas para hacer las diluciones correctas y lograr así el máximo aprovechamiento de los químicos.

Los tanques utilizados para almacenar los químicos son los siguientes:

- 2 tanques de 2500 litros para coagulante
- 2 tanques de 5000 litros para polímero de lodos
- 2 tanques de 5000 litros para floculante
- 1 tanque de 5000 litros para cloro

A continuación, se describe el procedimiento de estandarización en la preparación:

A. Polímero de lodos

- Verificar la llave de cierre del tanque a preparar.
- Llenar el tanque con agua potable, hasta un 75 por ciento de su capacidad (3750 L)
- Verificar la ausencia de cuerpos extraños, en el tanque.
- Adición de 8 L de polímero de lodos, vertiéndolo en el tanque, alcanzando una concentración al 16 por ciento de volumen (1600 ppm)
- Arrancar el agitador del tanque de polímero de lodos.
- Completar el llenado, 5000 Litros.
- Colocación de resguardo metálico.

B. Floculante

- Verificar la llave de cierre del tanque a preparar.
- Llenar el tanque con agua potable, hasta un 75 por ciento de su capacidad (3750 L)
- Verificar la ausencia de cuerpos extraños, en el tanque.
- Adición de 10 kg de polvo floculante, adicionando lentamente sobre el caudal de la salida de manguera a presión, añadiendo únicamente si se observa disolución del mismo, alcanzando una concentración al 20 por ciento de volumen (2000 ppm)
- Arrancar el agitador del tanque de floculante.
- Completar el llenado, 5000 Litros.
- Cierre de tapa del tanque.
- Agitación de floculante en el tanque, durante 60 minutos, logrando maduración y expansión del Flock.
- Paro de agitador de tanque de floculante preparado.

C. Coagulante

- Verificar la llave de cierre del tanque a preparar.
- Llenar el tanque con agua potable, hasta un 75 por ciento de su capacidad (1875 L)
- Verificar la ausencia de cuerpos extraños, en el tanque.
- Arranque de agitador de tanque de coagulante.
- Adición de 500 kg de policloruro de aluminio, vertiéndolo en el tanque, alcanzando una concentración al 20 por ciento de volumen (2000 ppm)
- Completar el llenado, 2500 Litros.
- Cierre de tapa
- Colocación de resguardo metálico.

G. DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS

La dosificación de químicos que existía en la planta, era realizada en relación a la parte visual y no ligada a las características físico-químicas que el agua presentaba, no existía ningún cálculo el cual ayudara a realizar dosis y respaldara de manera técnica las mismas, debido a lo anterior era necesario deducir dosis relacionadas directamente a las condiciones físico-químicas que existían en el agua residual, a continuación se describe el proceso por medio del cual se establecieron las dosis.

- Cloro: El cloro no está regulado dentro de los límites máximos permisibles del acuerdo gubernativo 236-2006, no obstante, la cantidad de coliformes fecales si lo está y esta se contrala a través de una dosis calculada de cloro, la dosis fue definida de la siguiente manera: (ver Cuadro 7)

Cuadro 7 Cantidad de dosificación de cloro

Dosis	Partes por Millón cloro
700-800 ml/min	6-8
600-700 ml/min	4-6

Fuente: Dorian Stivens Orozco, UVG 2019.

Según el acuerdo 236-2006 lo ideal es mantenerse siempre entre 4 y 8 partes por millón de cloro

- Coagulante / Floculante: Para poder definir de la manera más exacta posible las dosis se optó por utilizar una adaptación del test de jarras que sirve para evaluar, determinar y optimizar el desempeño de uno o varios productos químicos, con la finalidad de encontrar la dosis adecuada tanto en términos de calidad como en términos económicos.

Con los materiales disponibles para realizar el test de jarras, se procedió a llenar cuatro picheles graduados de 1000ml los cuales fueron tomados de la laguna número 4 que es el punto anterior a que el agua tenga contacto con los químicos, la característica que determinara la dosificación son los sólidos suspendidos y la turbidez del agua, debido a que se cuenta en la planta con un aparato para medir sólidos y la turbidez se puede observar.

El resultado de los análisis arrojo lo siguiente:

En el Cuadro 8 se puede observar resultados para una medición inicial de 800 mg/l de sólidos suspendidos se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 8 Cantidades de dosificación de coagulante y floculante

Solidos Suspendidos	Coagulante	Floculante	Resultado SS
800 mg/l	1 ml	3 ml	300 mg/l
800 mg/l	1.5 ml	4.5 ml	250 mg/l
900 mg/l	1.5 ml	4.5 ml	300 mg/l
900 mg/l	2 ml	6 ml	250 mg/l
1000 mg/l	2 ml	6 ml	300 mg/l
1000 mg/l	2.5 ml	7.5 ml	250 mg/l
1100 mg/l	2.5 ml	7.5 ml	300 mg/l
1100 mg/l	3 ml	9 ml	250 mg/l

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.

- Polímero de lodos: La dosificación de los polímeros de lodos es definida mediante la medición de la humedad que va quedando en los lodos luego de la aplicación del mismo, definiendo como dosis adecuada la cantidad mostrada en el Cuadro 9.

Cuadro 9 Cantidad de dosificación polímero de lodos

Dosis prueba a escala	Dosis real
4 ml	7000 ml / min
5 ml	9000 ml / min

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.

Todas las dosis pueden ser ajustadas en función de la condición del agua a tratar en ese momento.

H. PRUEBAS DE LABORATORIO

El procedimiento para realizar la toma de muestras es el siguiente:

Se debe de contar con una hielera, suficiente hielo para albergar un galón (que previamente debe ser desinfectado) que contendrá la muestra. La muestra es una toma compuesta; que consta de un mínimo de 4 y un máximo de 10 tomas en 6 horas, el galón se llena con las tomas del tiempo establecido para que contenga agua tratada de diferente hora del día, el galón es albergado dentro de la hielera en todo momento para mantenerlo a baja temperatura y que el agua no modifique su composición hasta el momento de ser analizada en el laboratorio.

En el Cuadro 10 se pueden observar los resultados obtenidos.

Cuadro 10 Prueba del laboratorio de análisis compuesta

	Planta de proceso	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Laguna 4	Vertedero	
Parámetros	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Dimensionales
Dqo	3850	1925	1995	1305	700	280	Mg/l
Dbo	2566	1290	1330	870	466	186	Mg/l
Solidos suspendidos	850	976	800	725	630	230	Mg/l
Ph	7.6	7.16	7.22	7.1	7.05	7.1	
Nitrógeno total	625	120	135	115	245	65	Mg/l
Fosforo total	385	60	60	65	58	20	Mg/l
Temperatura del agua	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.3	Celsius

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Exponer el listado de las inconformidades con las que el proceso contaba, ayudo a identificar los puntos de oportunidad de mejora, los cuales sirvieron para poder desarrollar una propuesta de rediseño del sistema en el tratamiento de las aguas residuales.

Con el rediseño del tratamiento primario del proceso y luego de los resultados obtenidos por el análisis técnico y económico, se determinó que inicialmente el costo promedio de tratar 1 m³ de agua residual era de Q 2.95 y posteriormente con los cambios realizados el costo promedio se redujo a Q2.68 obteniendo así una disminución del 9%, lo que se traduce en un ahorro de Q 271.48 por cada 1000 m³ de agua tratada, adicionalmente con la reducción de los sólidos suspendidos, el tanque unificador deja de recibir todos los residuos que anteriormente llegaban a él, por lo que se evita tener que realizarle la limpieza que mensualmente se le realizaba, generando un ahorro de Q 12,000.00 al mes. (Ver cuadros 11 y 12).

Con los ahorros generados, en 3 meses la planta recuperara la inversión realizada, evidenciando de esta manera que el proyecto es de gran beneficio en la reducción del costo del funcionamiento de la planta. (Ver Figura 6).

Cuadro 11 Comparación de costo promedio de tratamiento de 1 m³ de agua residual

DIA	Costo promedio inicial	Costo promedio final
1	Q 2.84	Q 2.61
2	Q 3.59	Q 2.69
3	Q 3.87	Q 2.76
4	Q 2.42	Q 2.65
5	Q 2.05	Q 2.70
Promedio	Q 2.95	Q 2.68

Fuente: Dorian Stivens Orozco, UVG 2019.

Cuadro 12 Ahorro en limpieza en trampas de grasas, tanque unificador y extracción de lodos

Descripción	Total, antes del rediseño	Total, después del rediseño	Ahorro
Limpieza de trampas de grasas	Q 12,000.00	Q 12,000.00	Q -
Limpieza de tanque unificador	Q 12,000.00	Q -	Q 12,000.00
Extracción de lodos	Q 24,000.00	Q 24,000.00	Q -
Total	Q 48,000.00	Q 36,000.00	Q 12,000.00

Fuente: Dorian Stivens Orozco, UVG 2019.

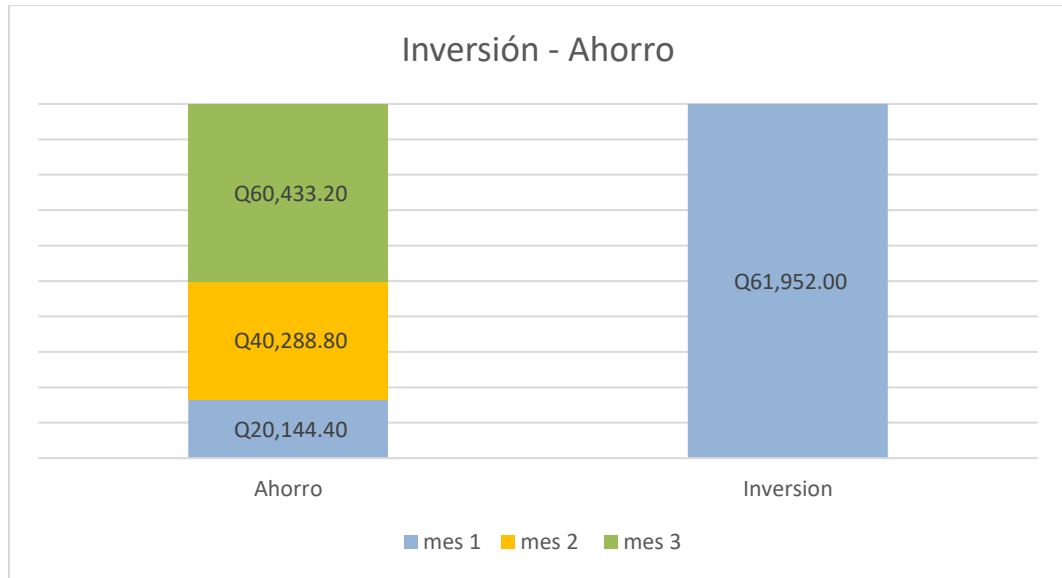


Figura 6 Justificación de inversión por ahorro generado

Fuente: Dorian Stivens Orozco, UVG 2019.

La estandarización de la preparación y la dosificación de los químicos, a través de la definición de un procedimiento y el uso de nuevos dosificadores, ayudo a obtener mejores rendimientos en el uso de los químicos lo cual a su vez redujo el gasto que los mismo generaban.

El control de las características físico-químicas del agua a través del uso de pruebas de laboratorio, garantiza el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006 (Ver anexo 1), la planta actualmente opera según parámetros de 2015, según los resultados de las pruebas de laboratorio se demostró que cumple a cabalidad con lo que establece la ley.

VII. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis y el rediseño del tratamiento primario de aguas residuales a través del estudio técnico y económico por medio del cual se obtuvo un 9% en la reducción del costo por m³ tratado, lo que a su vez está ligado directamente a la reducción de los sólidos suspendidos en el agua, lo cual ayudo a cumplir con las regulaciones del acuerdo gubernativo 236-2006.

Luego del análisis del proceso antiguo se logró evidenciar los problemas con los que la planta contaba, esto fue parte fundamental para efectuar el rediseño debido a que partir de los problemas se buscó atacarlos directamente y eliminarlos del proceso.

Se estableció el tratamiento primario acatando los problemas evidenciados y tratando de adecuar el cambio al proceso, para que no sufriera un cambio drástico, con esto se logró implementar esta fase del tratamiento sin que el proceso sufriera grandes modificaciones.

Con la estandarización en el proceso de preparación y dosificación que químicos, se logró una disminución en el consumo de los mismos, lo cual impacto en la reducción del costo por m³ tratado mencionado en el primer párrafo.

Con los resultados de las pruebas de laboratorio se realizó la comparación contra los límites máximos permisibles del acuerdo 236-2006, dejando en evidencia que el agua descargada en el Río Petaya cumple con tales límites comprendidos en dicho acuerdo.

VIII. RECOMEDACIONES

Hablar con el equipo de compras de la empresa, para poder buscar una oportunidad de negociación de los químicos y así reducir el precio en el que se adquieren.

Estar en constante investigación de mejoras del proceso para poder adaptar la planta de tratamiento al crecimiento proyectado de la planta de procesamiento del pollo beneficiado.

Programar una calibración periódica de las bombas de dosificación para evitar que inyecten de más o de menos la dosis estipulada al sistema y se tenga una variación en características físico-químicas del agua descargada.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo Gubernativo 236-2006. (5 de 5 de 2006). *REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES*. Guatemala, Guatemala.
- Antonio Rodríguez Fernández-Alba, P. G. (s.f.). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid : Elecé Industria Gráfica.
- Díaz-Cuenca, E., Alavarado-Granados, A. R., & Camacho-Calzada, K. E. (2012). *El tratamiento de agua residual domestica para el desarrollo local sostenible*. Ciudad de Mexico: Quivera.
- EDDY, M. &. (1995). *Ingenieria de aguas residuales* . MAdrid: McGraw-Hill.
- Naturales, S. d. (s.f). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario*. Coyoacan, Mexico D.F.: Comision Nacional del Agua.
- Ramalho, R. S. (1983). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec: Reverté.
- Rojas, J. A. (Enero 2000). *Tratamiento de aguas residuales, Teoria y principios*. Escuela colombiana de Ingenieria.

X. ANEXO

A. Anexo 1. Acuerdo gubernativo 236-2006

En Guatemala existe el acuerdo gubernativo No. 236-2006 que regula el “REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LAS DISPOSICIONES DE LODOS” el cual tiene como objetivo establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También es objeto del presente Reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

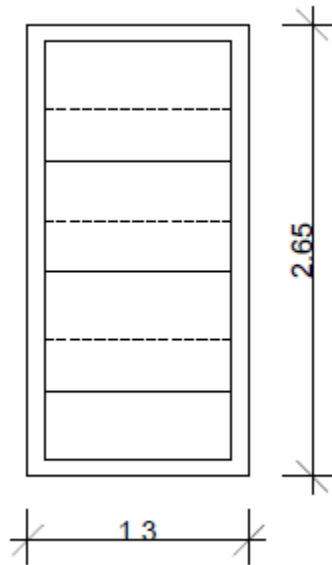
Anexo 1 Límites máximos permisibles del acuerdo gubernativo 236-2006

			Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos once	Dos de mayo de dos quince	Dos de mayo de dos veinte	Dos de mayo de dos veinticuatro
			Etapa			
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/-7	TCR +/-7	TCR +/- 7	TCR +/-7
Grasas y aceites	Mg/L	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia / presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Mg/L	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Mg/L	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Mg/L	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrogeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Mg/L	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Mg/L	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Mg/L	6	3	1	1	1
Cobre	Mg/L	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Mg/L	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Mg/L	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Mg/L	6	4	2	2	2
Plomo	Mg/L	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Mg/L	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.

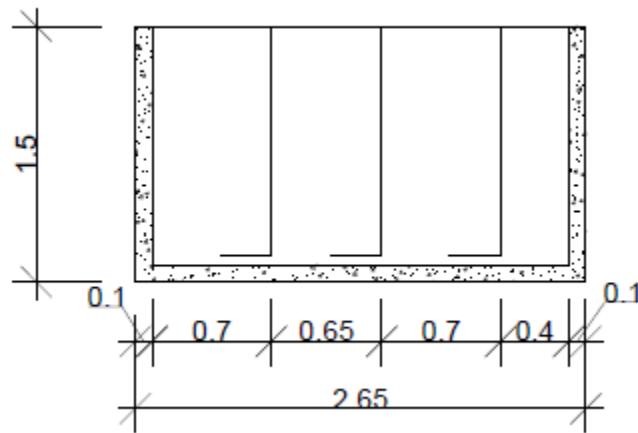
TRC = Temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius

B. Anexo 2 Diseño de caja de rejillas



Anexo 2 Planta de diseño de caja de rejillas

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.



Anexo 2.1 Sección longitudinal de diseño de caja de rejillas

Fuente: Doriam Stivens Orozco, UVG 2019.

XI. GLOSARIO

Afluente: Curso de agua, también llamado tributario, que no desemboca en el mar, sino en otro río que suele ser más importante, con el cual se une en un lugar llamado confluencia.

DQO: La demanda química de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

DBO: La demanda biológica de oxígeno o demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

Floculante: Es una sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.

Coagulante: En química de aguas, un coagulante son sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un flóculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpora partículas coloidales favoreciendo su separación por medio de sedimentación.

Agua residual: Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.

Cuerpo receptor: Es un curso de agua, río o arroyo; un lago, o un ambiente marino, bahía, estuario, golfo, al cual se descarga un afluente de aguas servidas, ya sea de áreas urbanas, de industrias, o de sistemas de riego

Sólidos suspendidos: Se refieren a pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en agua como un coloide o debido al movimiento del agua. Se utiliza como un indicador de la calidad de agua.

Coliformes: Un coliforme fecal es una bacteria facultativamente anaeróbica, en forma de bastón, no esporulante.

Medidor Parshall: Es un elemento para la medición de flujos por gravedad en canales abiertos