UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

DETERMINACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS Y NITROGENADOS, EN LA PLANTA PROCESADORA LÁCTEOS MASIGÜITO R.L, CAMOAPA, BOACO

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Aricel María Sándigo Suárez
Br. Jarek Francisco Díaz Arróliga

Tutor

MSc. Henry Javier Vílchez Pérez

Managua, noviembre 2021

Dedicatoria

Con mucha gratitud y todo el cariño dedico este trabajo:

A Dios, todo poderoso, por permitirme haber llegado hasta aquí aun cuando creía no tener la capacidad para seguir avanzando, por darme salud, sabiduría, y voluntad de continuar; por cuidar en todo momento de mí, de mi familia y amigos; y por ser mi refugio y mi luz tanto en mis momentos más felices, así como en mis momentos de oscuridad.

A mis padres, Aricel Suárez Martínez y Juan José Sándigo Suárez (Q.E.P.D), por ser mi ejemplo, mi motivación y animarme cada día, por darme la confianza y el apoyo durante los cinco años de estudio y todo este tiempo de preparación de la tesis; especialmente dedico esta monografía a la memoria de mi papá, porque aunque físicamente no esté presente, sé que estaba esperando este momento, verme convertida en una profesional; a mi hermano Juan José y mis hermanas (Yunieth, Gisel y Lilliam) por siempre estar pendientes de mí.

ARICEL MARÍA SÁNDIGO SUÁREZ

Dedicatoria

Con mucho amor y todo el cariño dedico este trabajo de investigación:

A Dios, padre celestial, por permitirme lograr unas de mis metas, por brindarme mucha paciencia, salud, sabiduría, fuerzas de continuar y cuidar en todo momento de mí y de mi familia.

A mi madre, Cándida Rosa Arróliga, por ser una de las personas más importante en mi vida, ya que me ha apoyado en todos mis buenos y malos momentos, además, por darme la confianza y el apoyo durante los cinco años de estudio y todo este tiempo de preparación de la tesis.

A mi abuela, María Arróliga Luna, por ser ejemplo, motivación, cuidarme cada día y por poner su confianza en mí.

A mis tíos**,** que siempre me apoyaron desde mi niñez, siempre creyeron en mí y sé que esperan verme convertido en profesional.

JAREK FRANCISCO DÍAZ ARRÓLIGA

Agradecimientos

Agradecemos a Dios, nuestra luz de vida, que en todo momento nos ha guiado para continuar el camino y alcanzar nuestras metas.

Muchas gracias al M.Sc. Henry Javier Vílchez Pérez, por todo su amor y dedicación, por el conocimiento brindado durante todo este tiempo de la realización de este estudio, fomentando el espíritu investigativo.

De manera particular a la empresa cooperativa Masigüito R.L, por el permiso para evaluar su planta de tratamiento de aguas residuales, así como, el financiamiento de los análisis de agua.

A todas aquellas personas que una u otra forma nos ayudaron, ya que sin ellos no hubiese sido posible la culminación de nuestro proyecto monográfico.

A nuestros maestros, que compartieron sus conocimientos y nos guiaron durante estos cinco años de estudio.

¡Muchas gracias y que Dios derrame muchas bendiciones!

ARICEL MARÍA SÁNDIGO SUÁREZ

JAREK FRANCISCO DÍAZ ARRÓLIGA

Listas de abreviaturas

CCT: carga contaminante total

DAF: sistema de flotación por aire disuelto

DBO_5: demanda bioquímica de oxígeno.

G y A: grasas y aceites

INETER: Instituto Nicaragüense de Estudios y Territoriales

LMP: limite máximo permisible

m: metros

MARENA: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales

NT: nitrógeno total

NTON: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense

pH: Potencial de Hidrogeno.

PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales

SST: sólidos suspendidos totales

TRH: tiempo de retención hidráulico

Q: Caudal

º C: Grados centígrados

Resumen

El objetivo general de la investigación fue determinar la degradación de contaminantes orgánicos y nitrogenados en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales lácteas de Masigüito R.L.

En cuanto al funcionamiento operacional de la planta de tratamiento de aguas residuales se encontró que existe un abandono parcial en cuanto al mantenimiento de las obras civiles en las unidades de depuración. Así mismo, se encontró con la carencia de unidades de pretratamiento, que ayuden a mejorar el desempeño de los módulos lagunares primarios, siendo un indicador de éste el exceso de natas, grasas y sólidos flotantes en las lagunas. Por otra parte, en los módulos lagunares, los taludes están erosionados, por falta de mantenimiento, a su vez, existe una necesidad de reposición de las válvulas de descarga de efluentes.

La investigación consideró determinar las variaciones de caudal en afluente y efluente de la PTAR, por 13 días consecutivos considerando los tiempos de operación de la planta (10 horas). Registrándose un caudal máximo en el afluente de 8.92 m^3/h, un promedio de 8.28 m^3/h y mínimo de 7.66 m^3/h para el módulo A y para el módulo B un caudal máximo de 8.38 m^3/h, un promedio de 7.85 m^3/h y mínimo de 6.94 m^3/h. No se logró hacer aforo de caudales en el efluente porque los módulos tenían dañadas las válvulas de descarga de efluentes.

Se determinó por medio del levantamiento batimétrico, la distribución de los lodos sedimentados en los módulos lagunares A y B. El volumen total del módulo lagunar A, es de 1,700 m^3 con un volumen útil de 1,279 m^3 y 419.32 m^3 de lodos, lo que representa el 25 % del volumen total con respecto, al módulo B, el volumen total es de 2,200.49 m^3, con un volumen útil de 1,781 m^3 y 421 m^3 de lodos lo que representa un 19% del volumen total.

El siguiente aspecto trata sobre las concentraciones obtenidas en el efluente, debido a que no se cuentan con válvulas de descargas en efluentes, se decidió tomar las muestras en diferentes puntos del espejo de agua, donde las lagunas dan rebose. De tal manera, que no se cumple con ninguno de los parámetros en el artículo 34, del Decreto 21-2017 en cuanto a DBO_5, ya que el valor máximo permisible es de 100 mgO_2/L. Con respecto al efluente, sus concentraciones son de 1,425 mgO_2/L en el módulo A y en el módulo B una concentración promedio de 795 mgO_2/L, así como, el nitrógeno total no cumple, ya que el valor máximo permisible es de 45 mg/L y su concentración en el efluente para el módulo A, es de 76.71 mg/L y en el módulo B, con un promedio de 51.8 mg/L, excepto del potencial de hidrogeno ya que se encuentra dentro del rangos de 6-9, que si cumple con el Decreto 21-2017

Por otro lado, se determinó el funcionamiento operacional de las lagunas basado en los periodos de retención y cargas aplicadas. Los períodos de retención fueron variables debido a que los módulos tienen volúmenes diferentes, por lo que el TRH del módulo A es de seis días y el módulo B es de nueve días. En cuanto a las cargas másicas en el afluente con respecto a la DBO_5 fueron de 1,010.19 kg DBO_5/día y de 310.29 kg DBO_5/día en el efluente para el módulo A y para el módulo B en su afluente de 576.519 kg DBO_5/día y de 164.18 kg DBO_5/día en el efluente.

De igual manera, la carga másica nitrogenada en el afluente para el módulo A es de 16.83 kg NT/día y en el efluente es de 16.70 kg NT/día y para el módulo B, en su afluente es de 11.04 kg NT/día y en el efluente es de 10.70 kg NT/día.

Palabras claves

Degradación, caudales, batimetría, TRH, concentración.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. GENERALIDADES 15

1.1. Introducción 15

1.2. Antecedentes 17

1.3. Justificación 18

1.4. Objetivos 21

1.4.1. Objetivo general 21

1.4.2. Objetivos específicos 21

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 23

2.1 Aguas residuales industriales 23

2.1.1 Generalidades 23

2.1.2 Carga orgánica 23

2.1.3 Biodegradación de materia orgánica 23

2.1.4 Biodegradación del nitrógeno 24

2.1.5 Características de las aguas residuales 25

2.1.5.1 Características físicas 25

2.1.5.2. Características químicas 26

2.1.5.3 Características biológicas 27

2.2 Tratamiento de aguas residuales industriales de Masiguito R.L. 28

2.2.1 Pretratamiento 28

2.2.1.1 Trampa de desbaste 29

2.2.1.2 Cárcamo de bombeo 29

2.2.2 Tratamiento primario: 29

2.3 Balance hídrico 30

2.4 Estudio batimétrico 31

2.5 Eutroficación 32

2.6 Balance de masa 33

2.7 Regulaciones ambientales 34
2.7.1 Decreto 21-2017 34
2.7.2 Norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reúso (NTON 05 027-05) 34
CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO 36
3.1 Tipo de investigación 36
3.2 Procedimiento de investigación 37
3.3 Primera etapa: Recolección de información básica 37
3.3.1 Área del sitio 38
3.3.2 Servicios básicos del municipio de Camoapa 39
3.3.3 Actividad económica 39
3.3.4 Descripción de la planta de procesamiento 40
3.4 Segunda etapa: Cálculo de caudales y período de retención 42
3.4.1 Cálculo de caudales 42
3.4.2 Período de retención 45
3.4.2.1 Balance hídrico 46
3.4.2.2 Estudio batimétrico 47
3.5 Tercera etapa: Toma y análisis de muestras 49
3.5.1 Recolección y preparación de muestra 49
3.5.2 Parámetros físico-químicos a evaluar 52
3.6 Cuarta etapa: Regulaciones ambientales y eficiencia de remoción de CC 53
3.6.1 Regulaciones ambientales 53
3.6.1.1 Determinación de cargas contaminantes 53
3.6.1.2 Determinación de las eficiencias en la PTAR 54
3.6.1.3 Balance de masa 55
CAPÍTULO 4. RESULTADOS 61
4.1 Primera etapa: recolección de información básica 61

4.1.1 Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales 61
4.1.1.1 Pretratamiento 61
4.1.1.2 Tratamiento primario 64
4.1.1.3 Efluente general PTAR – Cooperativa Masigüito R, L 67
4.1.2 Criterios para evaluación de ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con respecto a NTON 05-027 05. 67
2.2 Evaluaciones de las condiciones físicas de operación y mantenimiento de la PTAR – Cooperativa Masigüito R.L. 72
4.2 Segunda etapa: cálculo de caudales y períodos de retención 77
4.2.1 Cálculo de caudales 77
4.2.2 Determinación del período de retención 79
4.2.2.1 Balance hídrico 79
4.2.2.2 Estudio batimétrico 80
4.2.2.3 Períodos de retención 83
4.3 Tercera etapa: toma y análisis de muestra 84
4.3.1 Resultados de análisis fisicoquímicos afluente 84
4.4 Cuarta etapa: Regulaciones ambientales y eficiencia de remoción de CC 88
4.4.1 Resultados de análisis fisicoquímicos con respecto a las regulaciones ambientales 88
4.4.2 Análisis fisicoquímicos con respecto a otras PTAR 93
4.4.3 Determinación de las eficiencias de remoción de contaminantes en la PTAR 97
4.4.4 Determinación de la carga orgánica 99
4.4.5 Balance de masa de materia orgánica, NT, Aceites y Grasas, SST 101
4.4.6 Biodegradación de la materia orgánica y nitrogenada 102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 105
Conclusiones 105
Recomendaciones 109
BIBLIOGRAFÍA 110

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Procedimiento de aforo en el afluente 43
Esquema 2. Puntos de la toma de muestras en la PTAR 50
Esquema 3. Pretratamiento 62
Esquema 4. Tratamiento primario 65
Esquema 5. Rendimiento obtenido en cada unidad de la PTAR 97
Esquema 6. Biodegradación de la materia orgánica en la laguna 101
Esquema 7. Rutas metabólicas de cargas másicas y nitrogenadas 102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de aforo de la PTAR 44
Tabla 2. Aforo de tiempo para los caudales 45
Tabla 3. Ubicación, espécimen y periodos de muestras 50
Tabla 4. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos 52
Tabla 5. Valores máximos permisibles por el Decreto 21 – 2017 53
Tabla 6. Tabla de balance de masa 58
Tabla 7. Ubicación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales 69
Tabla 8. Evaluaciones de condiciones operación de la PTAR 73
Tabla 9. Parámetros operacionales 74
Tabla 10. Mantenimiento preventivo 76
Tabla 11. Registro de caudales (m^3/h) día martes módulo A 77
Tabla 12. Caudal promedio del afluente por módulo 79
Tabla 13. Determinación del caudal de la laguna mediante el balance hídrico 80
Tabla 14. Áreas y volúmenes de módulos 83
Tabla 15. Período de retención hidráulico TRH 84
Tabla 16. Relación entre temperatura, tiempo de retención hidráulica y eficiencias en las lagunas facultativas. 98
Tabla 17. Cargas contaminantes totales 99
Tabla 18. Cargas contaminantes totales efluente 100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del procedimiento de investigación 37
Figura 2. Macro y micro localización 39
Figura 3. Vista cuadrícula imaginaria de 5 metros por 5 metros en el módulo B ... 48
Figura 4. Alineamiento de puntos de terrenos 49
Figura 5. Recolección y preparación de las muestras 51
Figura 6. Trampa de desbaste 63
Figura 7. Cárcamo de bombeo 64
Figura 8. Bomba centrífuga 64
Figura 9. Lagunas de estabilización 66
Figura 10. Efluentes en las lagunas 67
Figura 11. Crecimiento urbano, ciudad de Camoapa 68
Figura 12. Vista planta módulo A 81
Figura 13. Vista planta módulo B 81
Figura 14. Detalle de zona de entrada del módulo A 82
Figura 15. Distribución de los lodos en el fondo de la laguna 83
Figura 18. Rebose de efluente de lagunas 89

Índice de gráficas

Gráfica 1. Caudales promedios máximos, medios y mínimos en el afluente módulo A 78
Gráfica 2. Concentraciones de DBO_5 en el afluente de la PTAR 84
Gráfica 3. Concentraciones del nitrógeno 85
Gráfica 4. Concentraciones de solidos suspendidos totales 86
Gráfica 5. Concentración de aceites y grasas 87
Gráfica 6. Concentraciones de pH 88
Gráfica 7. Concentración de efluente 89
Gráfica 8. Concentración de nitrógeno 90

Gráfica 9. Concentración de SST 92
Gráfica 10. Concentración de grasas y aceites 92
Gráfica 11. Potencial de hidrogeno efluente 93
Gráfica 12. Concentraciones DBO_5 afluente 94
Gráfica 13. Concentraciones DBO_5 efluente 94
Gráfica 14. Concentraciones del nitrógeno afluente 95
Gráfica 15. Concentraciones del nitrógeno Efluente 96

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación para determinar el caudal 43
Ecuación 2. Ecuación para determinar el volumen del recipiente 43
Ecuación 3. Determinación del período de retención 45
Ecuación 4. Determinación de balance hídrico 46
Ecuación 5. Corrección balance hídrico 47
Ecuación 6. Muestras de Campo 52
Ecuación 7. Determinación de carga contaminante 54
Ecuación 8. Determinación de las eficiencias de la PTAR de la cooperativa 54
Ecuación 9. Carga DBO_5 Afluente (másico) 55
Ecuación 10. Eficiencia de remoción teórica 55
Ecuación 11. % Eficiencia de remoción de DBO_5 en el reactor 56
Ecuación 12. Concentración de materia orgánica transformada con respecto a la DBO_5 56
Ecuación 13. Masa de DBO_5 convertida a metano 56
Ecuación 14. Volumen de metano a condiciones normales 57

ARICEL SANDIGO & JAREK DIAZ

Capítulo I. Generalidades



"El agua y la tierra, los dos fluidos esenciales de los que depende la vida, se han convertido en latas globales de basura"

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. Introducción

La contaminación del agua es causada por las actividades del ser humano siendo un fenómeno ambiental de importancia, iniciado desde los primeros intentos de industrialización, para transformarse en un problema generalizado, a partir de la revolución industrial (Castillo y Palacios, 2013).

En la industria láctea, los principales procesos contaminantes son la producción de quesos, cremas y mantequilla, el proceso de lavado de torres de secado y las soluciones de limpieza alcalina. Se estima que el suero generado en la elaboración de quesos tiene una DBO_5 del orden de 40,000 – 50,000 mgO_2/L (Grupo Aqua Limpia, 2010).

El lactosuero, suero lácteo o suero de queso, es el líquido que se separa de la leche, cuando este se coagula para la obtención del queso; son todos los componentes de la leche que no se integran en la coagulación de la caseína (Valencia, 2010). Se estima que a partir de diez litros de leche de vaca se puede producir de uno a dos kg de queso y un promedio de nueve a ocho kg de suero, es decir 90% del volumen de la leche, contiene la mayor parte de los compuestos hidrosolubles como son: Las grasas constituyen alrededor del 3% a 4% del contenido sólido, las proteínas aproximadamente el 3.5% y la lactosa el 5%, pero la composición química bruta de la leche de vaca varía según la raza (Valencia, 2010).

Las aguas residuales de la industria láctea se caracterizan por poseer una gran cantidad de materia orgánica, especialmente grasas y aceites, fósforo, nitrógeno, además de sólidos suspendidos y gran variabilidad de pH, que se salen de los rangos aceptables para vertimiento del Decreto 21-2017 (Castillo & Palacios, 2013).

Debido a la explosión demográfica presente en la actualidad, las industrias, especialmente las alimenticias, se encuentran en constante innovación para

incrementar sus actividades productivas, por lo que su ampliación dentro y fuera del país ha incrementado la contaminación generada a partir de sus procesos, como es el caso de la empresa Masigüito R.L. los principales contaminantes derivados de la actividad de procesamiento de leche son: La contaminación causada al medio ambiente y al personal que se dedica a la actividad lechera, se puede resumir en la generación de efluentes (Romero, 2009).

Considerando lo anterior, el objetivo de la investigación fue la **determinación de la degradación de contaminantes orgánicos y nitrogenados, en la planta procesadora de lácteos Masigüito R.L, Camoapa, Boaco** que se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas correspondientes a latitud norte: 12°23' 58.7'' y longitud oeste: 85°29' 08.1‘‘.

La planta procesadora de lácteos Masigüito R.L en sus instalaciones tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales, con el siguiente arreglo: Trampas de desbastes + Cárcamo de bombeo + Lagunas facultativas en paralelo. El sistema de tratamiento está en abandono parcial y nunca se han realizado evaluaciones a las cargas contaminantes que se descargan en efluente, por esta razón el MARENA ha multado a la empresa en múltiples ocasiones.

Debido a esto, se evaluó la remoción de cargas orgánicas y nitrogenadas de la PTAR, con el fin de conocer la calidad operacional de cada una de las fases del tratamiento de las aguas residuales. Por lo que, con los resultados obtenidos se realizaron propuestas de mejoras para el mantenimiento operacional y funcional de la PTAR.

Considerando lo anterior, se hizo necesario como estudio preliminar, la determinación de las variaciones de caudal. Así como, también la determinación del funcionamiento operacional de la PTAR basados en los periodos de retención, logrando así determinar la degradación y transformación de la materia orgánica y nitrogenada en las lagunas. Por último, se analizaron las concentraciones obtenidas

en afluente y efluente, para verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de vertido en el Decreto 21-2017 y NTON 05-027-05, además de analizar el balance de masa de la materia orgánica degradada en la laguna.

1.2. Antecedentes

La cooperativa Masigüito R.L, inició en 1991 con la colaboración de un grupo de finlandeses, en sus inicios de operación funcionó como un acopio de leche, en ese momento los afluentes que se generaban se descargaban en la quebrada Coyanchigüe.

En 1998, considerando el aumento en la demanda, se convierte en una cooperativa y se ven en la necesidad de construir un sistema de tratamiento de las aguas residuales. En colaboración con una empresa de ingenieros consultores, realizaron acuerdos de estudios de prefactibilidad, que permitieron la construcción de un sistema moderno de saneamiento de aguas residuales.

Considerando las concentraciones físicas y químicas de las aguas residuales lácteas, la opción de diseño y construcción fue del tipo lodos activados, ya que las condiciones y recursos con que se contaban la hacían la opción más viable, además que el efluente se seguía descargando a la quebrada Coyanchigüe. En el año 2000, se dio por finalizada la PTAR, que dispondría de unas trampas de grasas, y una zona de bombeo hasta llegar a la unidad de lodos activados.

A inicios del año 2001, arranca su operación conectando todos los afluentes de las distintas áreas que conformaban la cooperativa. De esta manera, se inició a operar logrando depurar los afluentes y poder hacer la descarga sin efectos directos al cuerpo receptor, durante este tiempo se llevaron registro de los parámetros fisicoquímicos como son: el pH (tres veces al día), DQO y DBO_5 mensualmente. La PTAR únicamente opero por dos años aproximadamente dado que no se contaba con personal para su operación, así como, los costos de mantenimiento.

Considerando estás particularidades se cambió a un sistema lagunar sin tomar en consideración un diseño y evaluación de la selección de esta alternativa para el cumplimiento de normativas ambientales.

Pero desde ese momento no cuentan con ningún registro de evaluaciones al sistema, por lo que el MARENA han realizado inspecciones y multas, producto de la mala operación de los efluentes de ellos.

De la misma manera, otras empresas referentes en el sector han sido multadas por no presentar el informe de vertidos a la autoridad nacional del agua y el MARENA, entre los que se puede mencionar: La Montaña S.A y La Perfecta (CPML, 2009).

1.3. Justificación

De acuerdo a las Naciones Unidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como Objetivos Mundiales, se adoptaron por todos los Estados Miembros en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030.

De ahí que, se plantea el objetivo 6: “Agua limpia y saneamiento”, el origen de la crisis radica en la falta de infraestructuras y sistemas de gestión adecuados para el volumen creciente de aguas residuales generadas. A nivel mundial se vierten dos millones de toneladas de aguas servidas y desechos industriales y agrícolas en los cursos de agua del planeta, esto sin contar el vertido no regulado o ilegal de agua contaminada. Estas aguas residuales contaminan el agua dulce y los ecosistemas costeros, ponen en peligro la seguridad alimentaria y el acceso seguro al agua potable y de baño, y constituyen un grave problema para la gestión sanitaria y medioambiental.

Entre el 70 y el 90 % del agua dulce consumida se emplea en la producción de alimentos y vuelve en su mayoría a los cursos de agua, con nutrientes y

contaminantes adicionales, uniéndose aguas abajo a los desechos humanos e industriales. Hasta el 90 % de las aguas residuales llegan sin tratar a las zonas costeras densamente pobladas, incrementando las pérdidas de biodiversidad y resiliencia de los ecosistemas y socavando la prosperidad y los esfuerzos en pro de un futuro más sostenible.

Camoapa es un municipio del departamento de Boaco, eminentemente ganadero y como tal, la vida de sus 42 mil habitantes gira en torno al destino de su envidiable hato, que por cierto es uno de los más grandes del país. Camoapa cuenta con dos acopiadoras de leche, las cuales son: San Francisco de Asís R.L, y Cooperativa Masigüito R.L, ya que estas aportan a la economía del municipio.

La producción de la cooperativa se ha incrementado considerablemente, actualmente se acopian y se procesan 90,000 L de leche diario; en el año 2019, se acopiaron y procesaron 7, 560,000 galones. Actualmente se le vende a la Centrolac 1, 456, 000 galones. Por lo que, se producen y comercializan 6, 734,000 libras de queso al año. De tal manera, que con el crecimiento experimentado en la producción se da una gran demanda de agua potable para realizar estos procesos.

En la industria láctea de la cooperativa de Masigüito, los principales procesos contaminantes son la producción de quesos, cremas y mantequilla, el proceso de lavado de torres de secado y las soluciones de limpieza alcalina para garantizar las condiciones de asepsia, en la producción.

A causa de todas estas actividades, se produce un caudal de aguas residuales que está siendo tratado de manera parcial, más aún, se desconoce por falta de supervisión y mantenimiento el estado de la planta de tratamiento. Considerando que MARENA ha realizado, en múltiples ocasiones, inspecciones por una mala disposición en el vertido de las aguas residuales.

El problema de la contaminación que se está presentando, es por un exceso de nutrientes en las aguas residuales de la empresa, que más tarde, cuando por rebose en las lagunas por falta de la unidad de evacuación en el efluente, se da una inundación en todo el perímetro de la planta de tratamiento, lo que genera la proliferación de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente la calidad y belleza escénica del sitio de emplazamiento.

Las aguas residuales que por escorrentía drenan en un pequeño cuerpo receptor, que se encuentran en las inmediaciones de la PTAR, generan un consumo de una gran cantidad del oxígeno disuelto en el cuerpo receptor, por lo que, las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. Se llega, por tanto, a condiciones anaerobias y se desarrollan procesos fermentativos de los cuales se origina SH_2 (sulfuro de hidrógeno) y NH_3 (amoníaco), responsables de mal olor en estos sistemas acuáticos.

Es por ello, que este estudio servirá en primera instancia para conocer las concentraciones de los distintos contaminantes que están en las aguas residuales de la industria láctea, además de conocer cómo se hace la operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales de la Cooperativa Masigüito R, L.

Así mismo, mediante los resultados obtenidos a través de las pruebas de laboratorio, se obtendrán las concentraciones másicas orgánicas y nitrogenadas que están siendo retenidas en las lagunas y que luego por rebose están siendo vertidas al cuerpo receptor.

Considerando que se tendrán las concentraciones contaminantes establecidas en los límites máximos permisibles del Decreto 21-2017, se realizará un análisis de la calidad del agua residual para verificar el cumplimiento de las regulaciones ambientales. De igual forma, se podrá determinar las eficiencias de las unidades de depuración que actualmente están operando por la empresa y proponer las medidas correctivas para mejorar la calidad del efluente que se está vertiendo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinación de la degradación de contaminantes orgánicos y nitrogenados en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales láctea de Masigüito R.L

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar las variaciones de caudal en el afluente y efluente del sistema de tratamiento para elaboración de hidrogramas de aguas residuales.

2. Determinación de la carga orgánica producida en la planta de industria láctea Masigüito R.L. que es descargada en efluente.

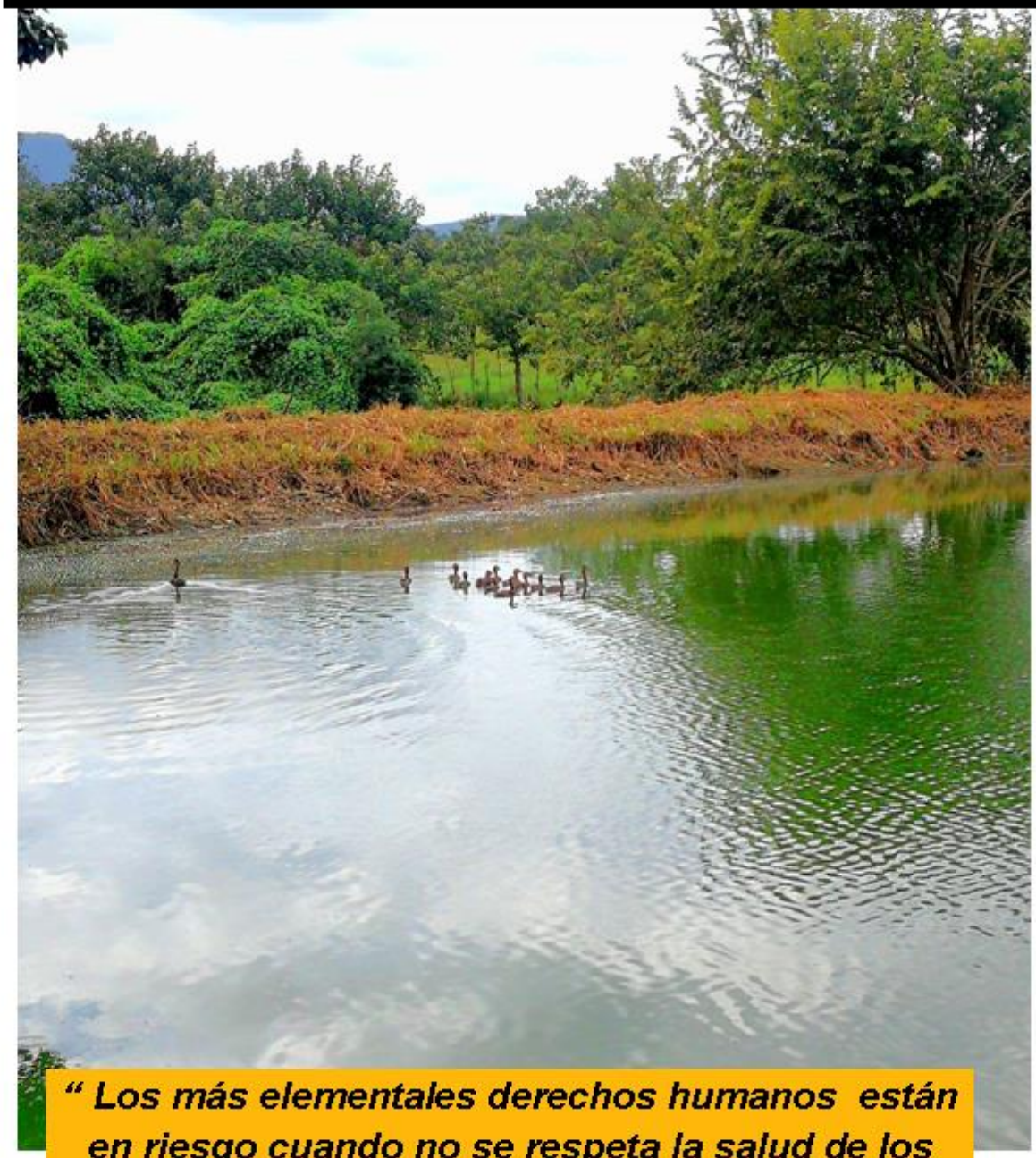
3. Determinación de la carga de nutrientes producida en la planta de industria láctea Masigüito R.L. que es descargada en efluente.

4. Realizar batimetría de lodos en las lagunas de vertidos para determinar volumen de lodos acumulados y tiempo de purga de lodos.

5. Determinar del funcionamiento operacional de la planta Masigüito R.L. en el manejo de las aguas residuales proveniente del proceso industrial.

6. Analizar las concentraciones obtenidas de los muestreos compuestos para verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de vertido del Decreto 21-2017 y NTON 05-027-05.

Capítulo II. Marco teórico



" Los más elementales derechos humanos están en riesgo cuando no se respeta la salud de los océanos"

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Se presenta el marco teórico en el que se sustenta la investigación considerando tipo de agua residual, las unidades de depuración existente y el marco legal existente, así como, otros conceptos de interés.

2.1 Aguas residuales industriales

2.1.1 Generalidades

Las aguas residuales industriales proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales (Espigares García, m. y Pérez López, ja., 1985).

La variedad de productos, los métodos de producción, hace que las aguas residuales de la industria láctea, tenga características muy variables, ya que según el producto que se elabore afecta considerablemente la carga contaminante (Matute, 2000).

2.1.2 Carga orgánica

Es determinada con respecto a DBO_5, o DQO que se le aplica diariamente a la laguna que será estabilizada en el tratamiento biológico. Su valor se expresa normalmente en kg de DBO_5, por unidad de tiempo.

Además, se define como el contenido de compuestos de carbono en un efluente, cualquiera sea su origen. Dichos compuestos de carbono son estructuras químicas (moléculas) donde el carbono está enlazado a hidrógeno y otros elementos como azufre, oxígeno, nitrógeno, fósforo y cloro, entre otros (Metcalf, 1995).

2.1.3 Biodegradación de materia orgánica

Para la eliminación de materia orgánica, es necesario conocer la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y de los sólidos suspendidos (SS, sedimentables y/o

no sedimentables) presentes en el agua residual. El oxígeno que se requiere para la degradación de la materia orgánica y el alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos, mejorando la calidad del efluente y operación de la planta.

Los constituyentes orgánicos biodegradables presentes en una laguna, sean estos solubles, no sedimentables o sedimentables, pueden ser transformados en organismos heterótrofos ordinarios (OHO, XBH), los cuales pasan a formar parte de los sólidos suspendidos orgánicos volátiles (SSV) en el reactor. Cuando estos organismos mueren, dejan tras de sí material orgánico no biodegradable y no soluble, llamado residuo endógeno (XEH), compuesto principalmente del material no biodegradable de la pared celular. Este residuo endógeno se incorpora a la masa de sólidos suspendidos volátiles en el reactor (SSV).

La fracción de material orgánico particulado (suspendido y sedimentable), no biodegradable (XI) se adhiere o es absorbida junto con la masa de OHOs y de residuo endógeno. Juntos estos tres componentes (XBH + XEH + XI) forman el componente orgánico de los sólidos sedimentables que se acumulan en el reactor biológico (SSV, XV).

Los componentes inorgánicos (sedimentables y suspendidos), junto con los componentes inorgánicos solubles precipitables, forman la masa de sólidos sedimentables inorgánicos (SSI). Los compuestos inorgánicos solubles biológicamente utilizables son absorbidos por la biomasa y se convierten en parte de esta o se transforman a la fase gaseosa, en cuyo caso escapan a la atmósfera. Los compuestos inorgánicos solubles no precipitables y no aprovechables biológicamente escapan con el efluente (George, Hense, van Loosdrecht, & A. Ekama y D. Brdjanovic, 2017).

2.1.4 Biodegradación del nitrógeno

La presencia de nitrógeno en agua residual de la industria láctea, se debe a los siguientes procesos operacionales:

- Limpieza de equipos y superficies que contienen niveles elevados de nitrógeno y fósforo.
- Derrames de leches, que en su composición química por cada 100 mg de leche contiene 3.5 % en proteínas.

Por otro lado, el nitrógeno es un contaminante que debe de ser eliminado, ya que principalmente reduce el oxígeno de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, con gran riesgo para la salud pública.

El nitrógeno se puede presentar en el agua de muchas maneras y durante los procesos de tratamiento sufrir transformaciones, lo que permite convertir el nitrógeno en nitrógeno amoniacal, y éste en otros productos que permiten fácilmente su separación del agua residual.

Para eliminar el nitrógeno se hace por medio de dos etapas:

La primera etapa es la Nitrificación, donde con la ayuda de dos géneros de bacterias (Nitrosomas y Nitrobacter). En esta etapa se reduce la demanda de oxígeno, las bacterias Nitrosomas se encargan de oxidar el amoniaco y es convertido a Nitrito; posteriormente las Nitrobacter convierten el Nitrito en Nitrato. El nitrógeno no es eliminado en esta etapa, solo es transformado.

En la segunda etapa, llamada desnitrificación, el proceso se da por medio de bacterias heterótrofas facultativas que se encargan de convertir el nitrito en un producto gaseoso llamado nitrato. (George, Hense, van Loosdrecht, & A. Ekama y D. Brdjanovic, 2017)

2.1.5 Características de las aguas residuales

2.1.5.1 Características físicas

a) Temperatura

Es un parámetro importante en el proceso de tratamiento del agua residual. Favorece el proceso de fotosíntesis y el metabolismo de las bacterias que depuran el agua. Temperaturas entre 20 y 25°C generan condiciones óptimas para la producción de oxígeno en las lagunas facultativas. El rango de temperaturas

mínimas y máximas donde disminuye la eficiencia en la remoción de contaminantes es entre 4 y 35 °C., mientras que la fermentación anaerobia se lleva a cabo después de los 22 °C y disminuye debajo de los 15 °C (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017).

b) Olor

Depende del grado de septización de las aguas. En el agua residual reciente el olor es tolerable, pero conforme va pasando el tiempo y se va agotando el oxígeno, entran en juego los microorganismos anaerobios, que reducen los sulfatos y sulfitos a sulfuros.

En las lagunas se pueden dar malos olores debido a: Sobrecarga de DBO_5 que causa condiciones anaeróbicas. La sobrecarga puede ser causada por un exceso de caudal, mal diseño, períodos de retención hidráulica demasiado bajos por cortocircuitos hidráulicos o sobre acumulación de lodos, y la descomposición anaeróbica de lodos demasiado profundos al fondo de la laguna. Además de la descomposición anaeróbica de natas y materia flotante no removida de la superficie de la laguna (Oakley S. M., 2005).

2.1.5.2. Características químicas

a) Potencial de hidrógeno (pH)

Las aguas residuales de la industria láctea generalmente son neutras o poco alcalinas, pero tienen tendencia a volverse ácidas muy rápidamente a causa de la fermentación del azúcar de la leche produciendo ácido láctico, sobre todo en ausencia de oxígeno y la formación simultánea de ácido butírico, descendiendo el pH a 4.5 – 5.0 (Bedoya y Sousa 2018).

b) Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos

retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105ºC hasta peso constante (Thompson, J E, and Duthie, J R, 1968).

c) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Se define como el oxígeno disuelto necesario para que los organismos vivos que se encuentran en el agua descompongan la materia orgánica (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017).

A pesar del mayor consumo de agua, las cargas de DBO_5 en el sector lácteo están por sobre los rangos observados a nivel mundial, observándose valores medios entre 1,000 y 3,000 mg/L.

d) Grasas y aceites

Presencia de aceites y grasas, debido a la grasa de la leche y otros productos lácteos, como en las aguas de lavado de la mazada. Las grasas se hallan entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla. No obstante, sufren el ataque de ácidos minerales, lo cual conduce a la formación de glicerina y ácidos grasos.

e) Nutrientes

Se llaman así las especies químicas utilizadas como alimento en el desarrollo de los microorganismos (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017). Aunque los nutrientes abarcan un gran número de especies que los microorganismos necesitan en poca cantidad, el nombre se utiliza casi siempre para indicar a las distintas formas de nitrógeno y fósforo, que son los que se necesitan en mayores cantidades.

2.1.5.3 Características biológicas

a) Algas

Existen en formas unicelulares, pluricelulares, móviles o inmóviles; no fijan nitrógeno atmosférico, pero lo requieren para sus procesos metabólicos, especialmente en forma inorgánica.

La presencia de las algas en niveles adecuados asegura el funcionamiento de la fase aerobia de las lagunas. Cuando se pierde el equilibrio ecológico, se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaerobia, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017).

b) Virus

Proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales. Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, virus Echo, Coxsackrevirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus (Espigares & Perez, 1985).

c) Bacterias

Organismo unicelular y procariota perteneciente al reino monera, su aspecto externo es variado, puede poseer una forma esférica (coco), helicoidal o alargado (bacilo). Y aunque se pueden encontrar aisladas, cuando las condiciones son favorables se multiplican asexualmente por bipartición y generan colonias. La estructura celular consta de una membrana lipídica en cuyo citoplasma abundan los ribosomas. Las bacterias carecen de membrana nuclear, por lo que el material genético se halla esparcido por toda la célula; este consta de un único cromosoma circular y, a veces, existe un segundo anillo muy reducido denominado “plásmido” (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017).

2.2 Tratamiento de aguas residuales industriales de Masiguito R.L.

2.2.1 Pretratamiento

Las unidades que componen el pretratamiento están destinadas a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, así como, eliminar los sólidos orgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas. Sirven también para minimizar

algunos efectos negativos al tratamiento, como: grandes variaciones de caudal u obstrucciones a los equipos mecánicos y tuberías (Metcalf & Eddy, 2014).

2.2.1.1 Trampa de desbaste

Las rejas de desbaste o cribas deben utilizarse en toda planta de tratamiento, aun en las más simples.

Esta operación física tiene como objetivo eliminar los sólidos gruesos y sedimentables por retención, separando así cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión, que arrastra el agua residual del beneficiado (bolsas, hojas, grasas, entre otros). Con este tratamiento se garantiza el buen funcionamiento y eficiencia de las unidades posteriores del sistema, evitando así perjuicios a los equipos (METCALF&EDDY,INC, 1996).

2.2.1.2 Cárcamo de bombeo

Un cárcamo de bombeo es utilizado para impulsar todo tipo de agua que se anega en su interior, ya sea de origen residual, pluvial o industrial.

Su función es elevar el agua residual de una cota inferior a otra superior, con el propósito de hacer que llegue a su destino por gravedad, permitiendo así tanto el desahogo de su instalación como la prevención o mitigación de inundaciones que ocurren en el drenaje sanitario y pluvial.

A nivel industrial, la recolección de aguas negras se hace cuando la red de drenaje se sitúa en un plano más bajo que la salida a los registros de estas aguas, por lo que la salida hacia los colectores municipales se regula por medio de un motor que bombea las aguas residuales hacia dichos colectores, por lo que el mantenimiento del cárcamo debe ser periódico y a conciencia (SAMAYO, 2010).

2.2.2 Tratamiento primario:

Una laguna facultativa se caracteriza por presentar tres zonas bien definidas. La zona superficial, donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias. La zona del fondo, de carácter anaerobio, donde los sólidos se

acumulan y son descompuestos, fermentativamente. Y por último una zona intermedia, parcialmente aerobia y parcialmente anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas. El agua residual entre la laguna, la materia orgánica y partículas sedimentadables se depositan en el fondo, mientras que la materia orgánica soluble y coloidal será consumida por las bacterias que se encuentran en la zona de degradación. Las bacterias utilizan el oxígeno disuelto en el agua para transformar la materia orgánica en CO_2 y en más bacterias, para completar el proceso es necesario que el agua contenga nitrógeno amoniacal y fosfatos. Las nuevas bacterias se incorporan al proceso, las células muertas sedimentan y forman parte de los lodos que se degradan por vía anaerobia.

El CO_2 generado por las bacterias es utilizado por las algas en presencia de la luz solar para generar más algas y oxígeno molecular que será aprovechado por las bacterias Aerobias. Bacterias y algas requieren de nitrógeno y fósforo para completar el proceso de transformación. En el fondo de la laguna en la zona de sedimentos ocurre una degradación a nivel anaerobio (ausencia de oxígeno) la materia orgánica es transformada por acción de las bacterias anaerobia, en compuestos intermedios como ácidos orgánicos y finalmente en compuestos más simples como metano, dióxido de carbono, nitrógeno amoniacal y ácido sulfhídrico. El CO_2 el NH_3 y el H_2S son altamente solubles y serán utilizados por los microorganismos o se combinan para formar nuevos compuestos, El metano tenderá a escapar a la atmósfera (TILLEY et al. 2018; CONAGUA 2015; Martinez, 2002).

2.3 Balance hídrico

El estudio de balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de la continuidad.

Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

El balance hídrico solo se aplica en lagunas facultativas y de maduración a causa de que en las anaerobias no es posible, en vista de que generalmente la superficie es cubierta de una nata que impide en gran manera la evaporación (Cortés Martínez, y otros, 2011).

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural, o cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua. En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación en forma de lluvia, la evaporación desde la superficie de masa de agua (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1971).

2.4 Estudio batimétrico

El término “batimetría” procede del griego, “El arte de medir las profundidades”.

En topografía, batimetría es levantamiento del relieve de una superficie sub acuática (levantamientos del fondo del mar, así como del fondo de cursos de agua, de embalses, entre otros); la labor del topógrafo consiste en realizar el levantamiento de los fondos, como si de un terreno seco se tratase.

El levantamiento batimétrico se efectúa para verificar los perfiles de acumulación de sólidos sedimentados y estimar la cantidad de lodos acumulados en el fondo de las lagunas, así como, el volumen útil disponible en cada unidad.

La parte más compleja en la batimetría, es la determinación de la profundidad, esta tarea se denomina operación de sondeo. La profundidad de un punto se obtiene midiendo la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

En el levantamiento topográfico de los extremos, para determinar la posición planimetría de un punto acuático, existen varios métodos para obtener las coordenadas en los puntos sub acuáticos; el método directo, es el más básico, se fundamenta en la materialización de una alineación por medio de una cuerda atada a cada extremo de la orilla en la laguna, y marcada a distancias determinadas. El método consiste en colocar la balsa en cada marca de la cuerda y determinar en

estos puntos la profundidad. Este método es preciso para lagunas, reservorios de agua o para fuentes donde cursa el agua.

En el levantamiento batimétrico los puntos se organizan en perfiles. Los perfiles consisten en un conjunto de puntos alineados en una determinada dirección (longitudinales o transversales), situados de modo paralelo uno con otro, realizando algunos en dirección transversal a los principales (longitudinales) o viceversa, para una mayor cobertura de la zona (CELADA PEREZ, 1999)

2.5 Eutroficación

Proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, etc.).

Las masas de agua eutróficas tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos; proliferan las algas, tienen aguas profundas pobres en oxígeno y un crecimiento intenso de las plantas acuáticas. En contraste, los cuerpos de agua oligotróficos, poseen concentraciones bajas de nutrientes, poseen mayor diversidad en las comunidades de plantas y animales, un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa y una buena calidad del agua para distintos usos.

Los factores que afectan el grado de eutroficación son:

- Clima: los climas cálidos favorecen el proceso.
- Cuerpos de agua poco profundos y/o de bajo caudal son más propicios para el desarrollo del proceso
- Área de drenaje: la poca cubierta arbórea sujeta a precipitaciones abundantes favorece la erosión y el arrastre de nutrientes hacia el cuerpo de agua

- Geología: en áreas de drenaje donde predominan rocas sedimentarias hay mayor aporte de fósforo por escorrentía. Los suelos arcillosos drenan pobremente y también favorecen la escorrentía y consecuentemente el aporte de nutrientes.

Las causas de la eutroficación pueden ser:

a) Naturales:

- Aportes atmosféricos: precipitación.
- Re suspensión de los sedimentos del fondo.
- Liberación desde los sedimentos anóxicos.
- Descomposición y excreción de organismos.
- Fijación de nitrógeno por microorganismos.

b) Antropogénicas:

- Vertidos de residuos industriales, agrícolas, urbanos y de plantas de tratamiento.
- Deforestación que aumenta la erosión y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca, aumentando su ingreso al cuerpo de agua.
- Fertilizantes aplicados en exceso.
- Aguas residuales de granjas (silos, tambos).
- Tanques sépticos.
- Uso de detergentes con grandes cantidades de fósforo.
- Aporte de contaminantes por agua de lluvia.
- Sistema de alcantarilla do de ciudades y pueblos.

2.6 Balance de masa

El balance de masa, puede definirse como una contabilidad de entradas y salidas de masa en un proceso o de una parte de éste. No es más que la aplicación de la ley de conservación de la masa que expresa “La masa no se crea ni se destruye”.

Los cálculos de balance de masa son casi siempre un requisito previo para todos los demás cálculos, además, las habilidades que se adquieren al realizar los balances de masa se pueden transferir con facilidad a otros tipos de balances.

Los balances de la materia generalmente designados balances de masa, son muy útiles para examinar un proceso o partes de él; se emplean bastante en ingeniería química y también son muy útiles en campos ambientales. Los balances de la materia sirven para comprobar las mediciones de aquellas corrientes difíciles, o imposibles, de medir directamente; también ayudan al diseño de procesos para incluir todos los materiales, tanto de producción como de consumo (inclusive los residuales). Cuando en un sistema no existe acumulación, es que tiene un estado estacionario. En el estado no estacionario, la velocidad de acumulación cambia con el tiempo, el vaciado o llenado de un tanque de almacenamiento sería un ejemplo de balance de materia no estacionario (Henry & Heinke, 1999).

2.7 Regulaciones ambientales

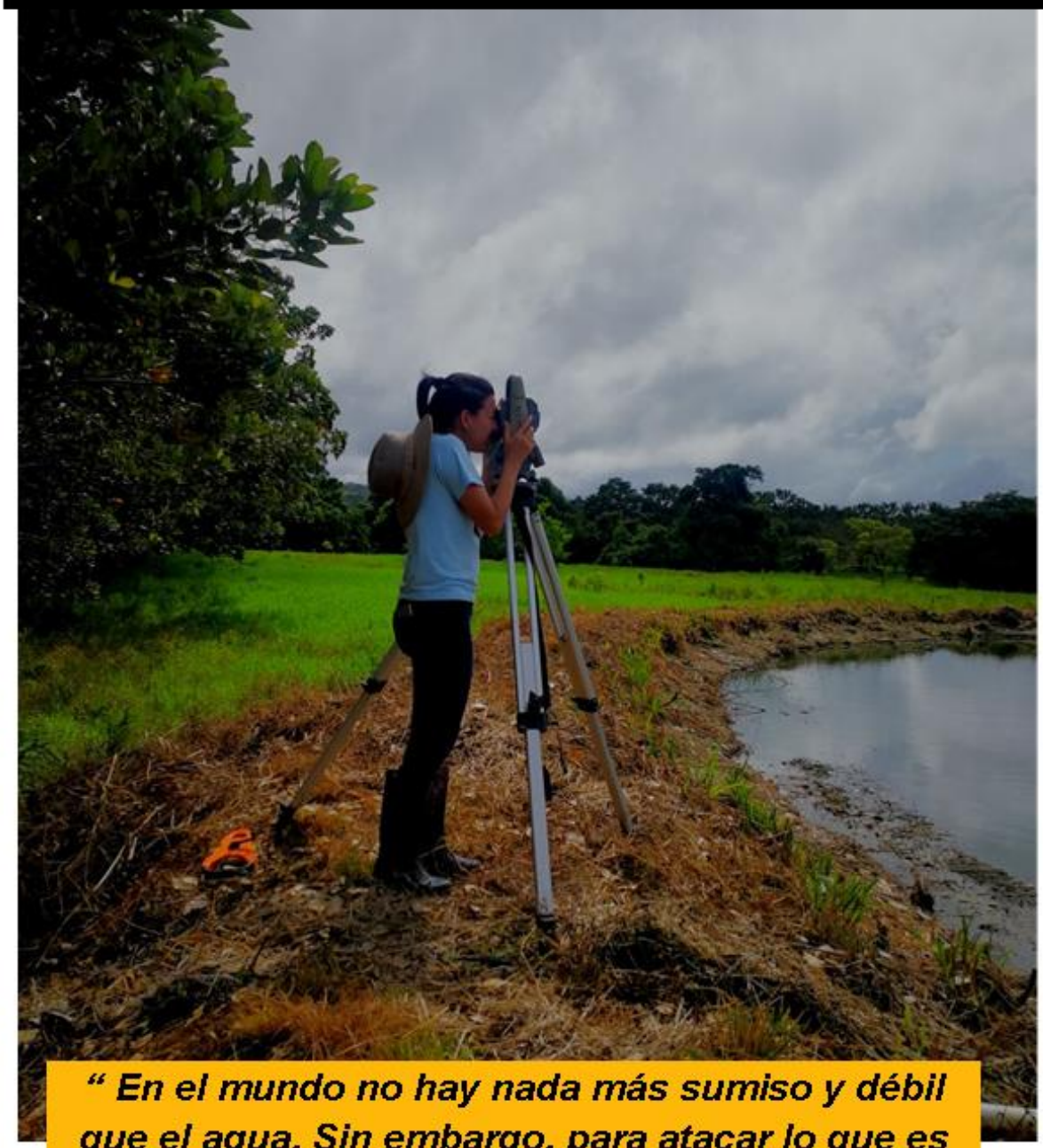
2.7.1 Decreto 21-2017

Tiene por objeto establecer las disposiciones en materia de regulación del Vertido de Aguas Residuales provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agroindustriales y de servicio a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario, mediante el establecimiento de límites o rangos máximos permisibles de vertidos, todo de conformidad al mandato de la Ley No. 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y su Reglamento.

2.7.2 Norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reúso (NTON 05 027-05)

Esta norma tiene por objeto establecer las disposiciones y regulaciones técnicas y ambientales para la ubicación, operación y mantenimiento, manejo y disposición final de los desechos líquidos y sólidos generados por los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias; incluyendo el reúso de las aguas tratadas.

Capítulo III. Diseño metodológico



“ En el mundo no hay nada más sumiso y débil que el agua. Sin embargo, para atacar lo que es duro y fuerte nada puede superarla”

CAPÍTULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2018); Dankhe (1986), existe cuatro tipos de investigación; exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. En este caso se explicarán los tipos de investigación que se utilizarán.

- ***Descriptivo:*** Se describen rutas metabólicas de degradación de materia orgánica que será transformada en los procesos biológicos lagunares, es decir cómo se transforma la materia y sirve de sustrato para diversos microrganismos. Se tomarán como indicadores de materia orgánica la DBO_5 y como nutrientes el nitrógeno total.

- ***Cuantitativa:*** Se realizarán las cuantificaciones de las concentraciones de diversos contaminantes de las aguas residuales, obtenido de los resultados de laboratorio: pH, temperatura, nitrógeno total. Así como, la cuantificación de caudales por métodos volumétricos.

- ***Correlacional:*** La utilidad y el propósito principal de este enfoque será saber cómo se comportaron las variables ambientales (temperatura y precipitaciones) con respecto a las concentraciones de aguas residuales (DQO, NT, y entre otras).

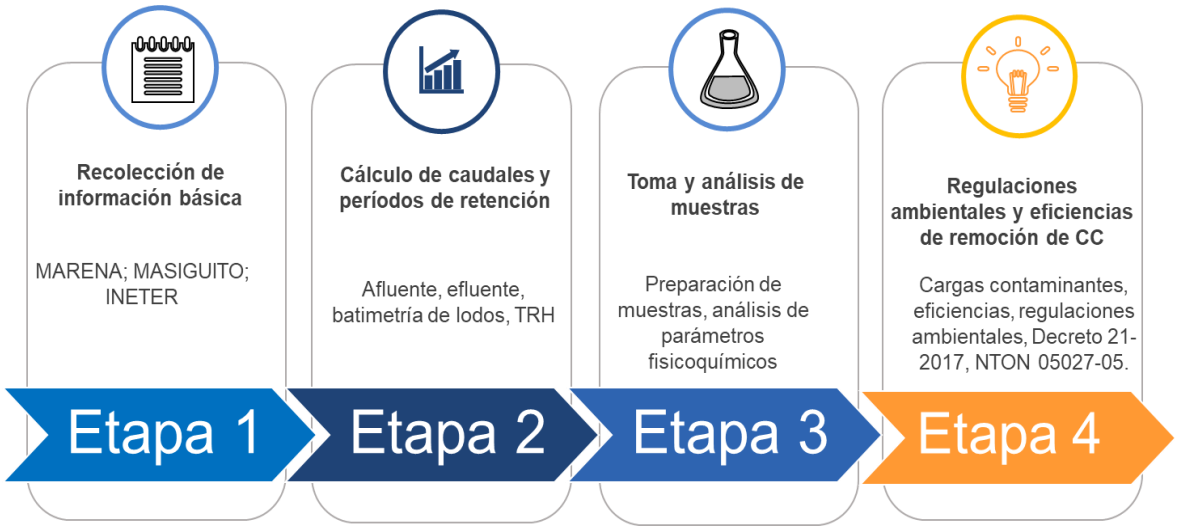
- ***De corte transversal:*** Debido a que se analizaran variables en un tiempo determinado, comprendido desde marzo hasta mayo.

De acuerdo a Fernández et al. (2017) una investigación puede tener una combinación de los diferentes tipos de enfoques, pero nunca podrá ser básicamente de un solo tipo, sino que siempre tendrá elementos de alguno de los otros tipos de enfoques. Es por esta razón que la investigación es de enfoque mixto.

3.2 Procedimiento de investigación

El procedimiento contará de cuatro etapas que serán mencionadas de manera general en la figura 1 se presenta cada de una de las etapas que se seguirán para lograr los objetivos de la investigación.

Figura 1. Etapas del procedimiento de investigación



3.3 Primera etapa: Recolección de información básica

Se realizó una revisión bibliográfica detallada, recolectando información de soporte que permitió tener una perspectiva de las variables y los objetivos considerados en esta investigación. Tuvo como objetivo conocer el estado referente al tema: Antecedentes, definiciones, entre otros.

Se visitó las oficinas correspondientes a la Cooperativa Masigüito R.L., lo que permitió obtener información como fue la documentación de estudios realizados que contribuyeron a la evaluación del sistema.

También permitió explicar la importancia del problema de estudio y sus aportes a la sociedad. Se realizó observación in situ, donde se identificaron todos los procesos

unitarios que conforman la PTAR de la cooperativa Masiguito R.L. de la ciudad de Camoapa. Haciendo énfasis en la carga orgánica y nutrientes.

Las herramientas de recolección de datos se mencionan a continuación:

Esta etapa se realizó con el fin de conocer a fondo el estado de la PTAR y cada una de las unidades de depuración, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Reconocimiento del campo de trabajo.
- Ubicación de los puntos de muestreo y de medición de caudal.
- Diagnostico operacional y funcional de la PTAR.

En el anexo A, plano A-01, se representa la distribución arquitectónica de la Cooperativa Masigüito R.L.

3.3.1 Área del sitio

El sitio de influencia de la PTAR perteneciente a la Cooperativa Masigüito se encuentra ubicado en la ciudad de Camoapa, departamento de Boaco, en Nicaragua. Sus coordenadas geográficas son 12°23' 58.7"N y 85°29' 08.1"O a una altitud de 520 msnm y una temperatura promedia de 25.2°C.

La PTAR, se encuentra situado al oeste de la planta láctea Masigüito y al este de la quebrada Coyanchigüe; y al sur, a 850 metros con la potabilizadora Camoapura. Al oeste del sistema, hay terrenos conservados para la ampliación del sistema actual (Coop. Masigüito, 2021).

En la figura 2, se puede observar la macro y micro localización de la PTAR con respecto al casco urbano de Camoapa.

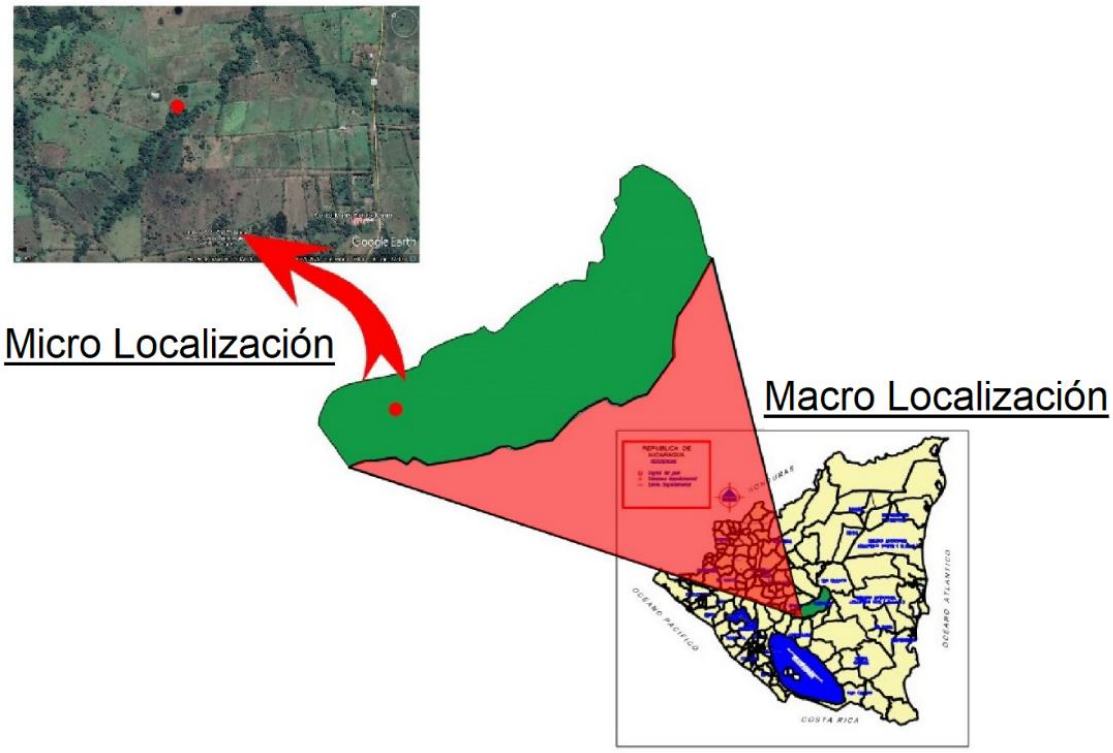


Figura 2. Macro y micro localización

Fuente: Adaptado de Google Maps, 2021

3.3.2 Servicios básicos del municipio de Camoapa

En el caso de los servicios básicos, la planta está conectada a la energía pública a cargo de la DISNORTE-DISSUR.

El abastecimiento de agua es por medio de aguas subterráneas, extraída de un pozo propio, el NEA se encuentra a 7.75 metros de profundidad, ubicado a 150 metros del edificio de procesos industriales. El pozo tiene una capacidad de producción de 87 m^3/día.

3.3.3 Actividad económica

El municipio de Camoapa tiene como principal rubro económico la Ganadería. Por ende, la principal actividad de la cooperativa es la elaboración de productos derivados de la leche, acopiando en promedio 90,000 L de leche al día, de los cuales se obtienen los siguientes subproductos:

1) Queso moralique
2) Queso fresco
3) Queso ahumado
4) Quesillo
5) Crema
6) Mantequilla lavada
7) Leche fluida pasteurizada

3.3.4 Descripción de la planta de procesamiento

La Cooperativa Masigüito R.L. cuenta con diferentes tipos de procesos para la elaboración de productos que generan las aguas residuales que la planta de tratamiento recibe durante todo el día, actualmente cuenta con una distribución de áreas de proceso que están conectadas por medio de drenajes y tuberías subterráneas a la PTAR las cuales son detalladas a continuación:

1. Área de acopio o recepción de leche

Esta área está destinada para la recepción y almacenamiento de leche cruda, se utilizan químicos tales como: jabón líquido industrial y cloro que son utilizados para la limpieza del área como tal; soda caustica y detergente acido no fosforado para la limpieza de tuberías de acero inoxidable por donde fluye la leche, generando volúmenes de aguas con carga química y contaminantes biodegradables.

2. Área de elaboración de quesillo

En este sitio se elaboran 4 tipos de quesillos que son exportados a Estados Unidos, El salvador y como venta local, el proceso inicia una vez que se recibe la leche, la cual es vertida en tinas de 2400 Lts para separar la proteína del lactosuero para luego ser fundido en equipos de cocción. Para la limpieza se utiliza soda caustica y ácidos que eliminan los residuos que deja la leche en equipos y tuberías por medio de un lavado manual.

3. Área de elaboración de quesos

En este lugar se elaboran 8 tipos de quesos que son exportados a Estados Unidos, El salvador, Guatemala, Costa Rica y como venta local. El Proceso inicia una vez que se recibe la leche y pasa por el pasteurizador con el fin de eliminar o reducir la carga microbiana por medio del proceso térmico y es ingresada en tinas con capacidades de hasta 7000 Lts, luego es procesada para la extracción de la cuajada y esta sea prensada para la obtención del queso. Para la limpieza se utiliza soda caustica y ácidos que eliminan los residuos que deja la leche en equipos y tuberías por medio de un lavado CIP (circuito cerrado), para el lavado del lugar se utiliza una combinación de jabón líquido y cloro, mientras que para los utensilios se utiliza detergente alcalino clorado (HC-10) por método manual.

4. Área de elaboración de crema

En esta área se extrae la grasa de la leche para producir crema pasteurizada y crema cruda por medio de dos centrifugas, en estos procesos se utilizan diferentes químicos para limpieza de equipos por medio de un lavado CIP (circuito cerrado), para el lavado del lugar se utiliza una combinación de jabón líquido y cloro, mientras que para los utensilios se utiliza detergente alcalino clorado (HC-10) por método manual.

5. Área de empaque

Esta área está destinada para el sellado y embalaje de todos los productos que son elaborados en las distintas áreas. Dicho lugar, utensilios y equipos son lavados con una combinación de jabón líquido y cloro, mientras que la desinfección se realiza con ácido peracético por método manual.

6. Área de Laboratorio de análisis físico-químico y microbiológico

Esta área está destinada para los análisis de productos y determinar los parámetros de calidad e inocuidad de los productos para que puedan ser enviados hacia los consumidores. En esta área se utilizan diferentes químicos y reactivos que son vertidos en los drenajes que van hacia la PTAR.

De forma general en relación con la limpieza esta se compone en tres etapas: preoperacional, operacional y post operacional para comprender mejor se detallan a continuación:

- Preoperacional: Consiste en la limpieza y desinfección de equipos, accesorios y utensilios con ácido peracético que son utilizados para la elaboración de los productos antes de iniciar proceso.

- Operacional: Esta etapa consiste en el lavado y desinfección del área y utensilios que para evitar la contaminación cruzada requieren de dicha operación.

- Post operacional: Finalmente esta etapa concluye con la limpieza y desinfección del lugar, equipos, accesorios y utensilios al momento de finalizar la jornada de producción.

3.4 Segunda etapa: Cálculo de caudales y período de retención

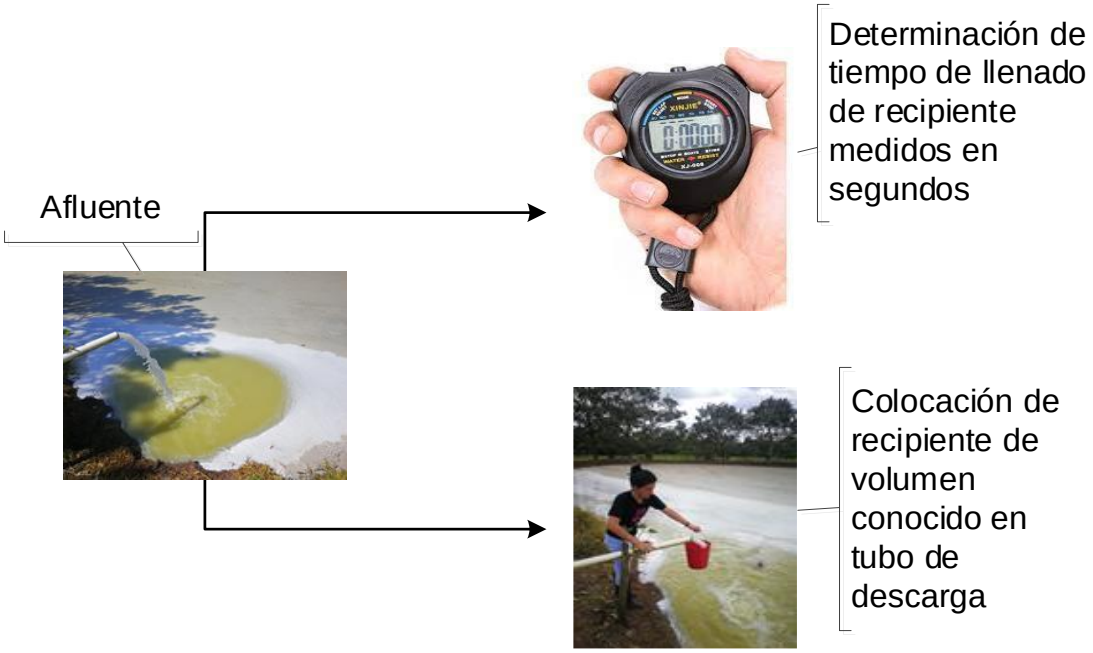
3.4.1 Cálculo de caudales

a) Afluente

Para la realización del aforo en el afluente se consideraron los siguientes aspectos:

- No se cuenta con canaleta Parshall, con lo único que se cuenta es con tubo PVC de descarga a las lagunas, por ende, se usó el método volumétrico. Esto con el objetivo de poder determinar el caudal por hora, ver esquema 1.

Esquema 1. Procedimiento de aforo en el afluente



Con las variables obtenidas y haciendo uso de la ecuación 1 del método volumétrico obtenemos el caudal.

Ecuación 1. Ecuación para determinar el caudal

$$\boldsymbol{Q = \frac{V}{t}}$$

Donde:

V: Volumen (m^3)

A continuación, se detalla la ecuación 2 para determinar el volumen del recipiente.

Ecuación 2. Ecuación para determinar el volumen del recipiente

$$\boldsymbol{V = \pi \frac{h}{12}(D^2 + d^2) + (D * d)}$$

Donde:

$\boldsymbol{\pi}$: 3.1416

H: Altura del recipiente (m)

D: Diámetro de la base superior (m)

D: Diámetro de la base inferior (m)

t: Tiempo (h)

Usando para el tiempo una conversión

$$\frac{1\ h}{3600} * t$$

Donde:

t: Es el tiempo en segundos cronometrado en el aforo

b) Efluente

No se cuenta con tubería de descargue del efluente, por cual no se pudo medir caudales.

Se realizaron 13 aforos, considerando las 10 horas de operación de la planta, en las fechas comprendidas del 15 de febrero al 27 de febrero del 2021. El cronograma establecido para la medición de caudales es el siguiente:

Tabla 1. Cronograma de aforo de la PTAR

No. De aforo	Día	Fecha	Hora de inicio/hora final	Período	Observaciones
1	Lunes	15 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
2	Martes	16 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
3	Miércoles	17 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
4	Jueves	18 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
5	Viernes	19 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
6	Sábado	20 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
7	Domingo	21 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
8	Lunes	22 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
9	Martes	23 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
10	Miércoles	24 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
11	Jueves	25 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
12	Viernes	26 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	
13	Sábado	27 de febrero	07.00 am - 05.00 pm	10 horas	

c) Ficha de campo

En la tabla 2, se presenta el formato de registro de caudales, considerando el método volumétrico. La ficha de campo de registro de caudal permitió recolectar información al momento de la lectura de los tiempos.

Tabla 2. Aforo de tiempo para los caudales

Hora	**Afluente**	
	Volumen(m^3)	**Tiempo (s)**

3.4.2 Período de retención

El período de retención para cada laguna del sistema de tratamiento, se obtuvo de la relación entre el volumen y el caudal afluente promedio, como se muestra en la ecuacion 3 (Arthur, 1984).

Ecuación 3. Determinación del período de retención

$$\mathbf{TRH} = \frac{\mathbf{V\ lag}}{\mathbf{Qmedio}}$$

Donde:

Vlag: Volumen de laguna (m^3)

Qmedio: Caudal medio de la PTAR (m^3/día)

Consideraciones:

- Las lagunas están expuestas a la evaporación, por lo que, se realizó una corrección a los caudales afectándolos por la evaporación.
- La determinación del volumen de las lagunas depende directamente del volumen de lodos que están presentes, por lo que, se realizó la batimetría en cada laguna.

3.4.2.1 Balance hídrico

Según Sáenz (1985), estableció el criterio en el cual se toma en cuenta el mes más crítico; es decir, el de menor precipitación, nivel freático muy bajo y alta evaporación.

Ecuación 4. Determinación de balance hídrico

$$\mathbf{Q_e = Q_a + (Pr + Pc) - (E + Pe)}$$

Donde:

Q_e: Caudal del efluente.

Q_a: Caudal afluente de aguas residuales.

P_r: Precipitación sobre el área de laguna.

P_c: Infiltración de agua subterránea hacia la laguna.

E: Evaporación

P_e: Pérdida por percolación: sucede cuando no se impermeabilizan las lagunas. Las unidades, en todas las variables, pueden considerarse en (m^3/día) o (L/día).

En el caso de las evaluaciones a los sistemas de tratamiento lagunares de acuerdo con Cortés Martínez et al., (2011). Los valores que se obtienen en el cálculo de los caudales, se deben aplicar algunas consideraciones al balance hídrico para corregir el caudal del efluente de cada unidad de tratamiento, debido a las condiciones actuales que existen en la PTAR se tomarán las siguientes:

- Los valores de precipitación se despreciaron, ya que la evaluación se realizó en época de verano.
- Para los valores de evaporación se utilizaron los valores históricos, de la estación meteorológica de Juigalpa, los cuales se solicitaron a INETER.
- Los valores de infiltración no se consideraron debido a que inicialmente puede ser muy alta, es probable que disminuya con el tiempo debido al taponamiento del suelo (fondo de lagunas) por las bacterias y la materia orgánica, hasta que alcance su mínimo valor (Sáenz, 1985).

Es por ello, que de acuerdo a los criterios antes mencionados la ecuación se simplifica (ver ecuación 4). Esta coincide con la ecuación propuesta por (Cortés Martínez et al., 2011).

Ecuación 5. Corrección balance hídrico

$$Q_e = Q_i - 0.001A.E.$$

Donde:

Q_e: Caudal del efluente (m^3/d).

Q_i: Caudal medio del afluente (m^3/d).

E: Evaporación (mm/d).

A: Área (m^2)

3.4.2.2 Estudio batimétrico

Se realizó un levantamiento batimétrico, auxiliado de una estación total marca Gowin, modelo tks-202 y un prisma topográfico.

Con el fin de determinar la acumulación de sólidos sedimentados, a partir de ellos calcular la cantidad de lodos acumulados en el fondo de la laguna y el volumen útil disponible en cada unidad, estableciendo los periodos de retención reales.

La obtención de datos batimétricos sobre las profundidades de las lagunas, la columna de agua y lodo acumulado, se efectuó con tubería milimetrada.

Con los datos obtenidos, se elaboraron los planos del fondo de la laguna, acumulación de sedimentos y se calcularon los volúmenes de lodos por medio del software civil 3.

Para la captura uniforme de datos batimétricos en la laguna del módulo A, se definieron nueve perfiles longitudinales y seis perfiles transversales con tramos de cinco metros, con excepción del primer perfil longitudinal a cuatro metros y los dos perfiles transversales ubicados en los extremos laterales separados por 1.5 metros.

En la segunda laguna se definieron ocho perfiles longitudinales y siete transversales, con tramos de cinco metros, con excepción del primer perfil longitudinal a tres metros y en los extremos laterales transversales cuya separación será de tres metros.

En la figura 3 se presenta la vista cuadrícula de donde se tomaron datos para el estudio de batimetría.

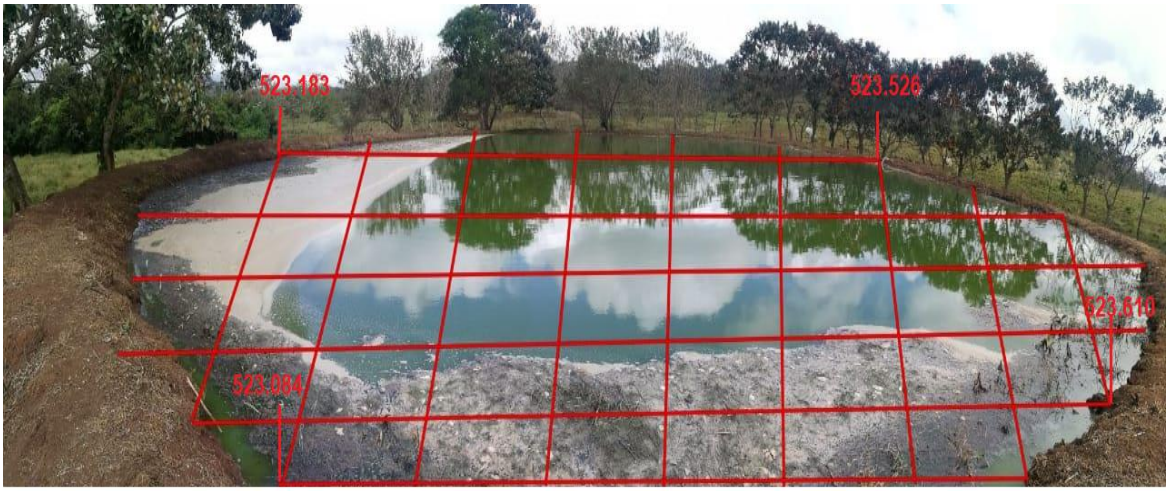


Figura 3. Vista cuadrícula imaginaria de 5 metros por 5 metros en el módulo B

Con el objetivo de mantener el alineamiento de los puntos en terreno, se utilizó una cuerda marcada a 25 m de distancia entre puntos transversales y también estacas ubicadas fuera de la laguna que fueron colocadas a cinco metros de distancia longitudinalmente como se ve en la sección.

En la figura 4 se observa la sección como se mantuvo el alineamiento de los puntos a tomar datos.

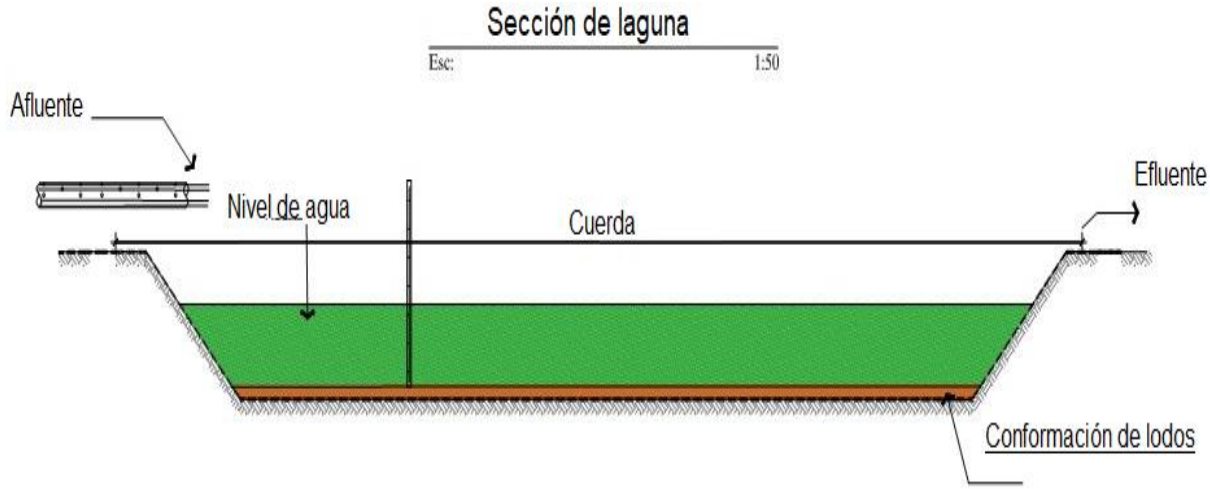


Figura 4. Alineamiento de puntos de terrenos

3.5 Tercera etapa: Toma y análisis de muestras

3.5.1 Recolección y preparación de muestra

Se realizó la toma de muestras a lo largo de la planta, las cuales serán de tipo compuesta, constituida por la mezcla homogénea de muestras puntuales con intervalos de una hora, sin exceder las 10 horas de muestreo. Para esto, se consideraron puntos de muestreo representativos dentro de la PTAR, que ayuden a obtener una concordancia entre resultados de laboratorio y las condiciones actuales que existen en el sistema.

Es por ello, que se considera como el punto de muestreo el afluente general de la PTAR posterior al cárcamo de bombeo, ya que este es de gran importancia, para conocer la concentración de cargas contaminantes que ingresan al sistema, ya que, aún las aguas no han recibido ningún tipo de tratamiento y se consideran aguas crudas.

La PTAR está compuesto por dos módulos, divididos por una laguna cada módulo dispuesto en paralelo, debido al mantenimiento que se realiza cada 3 meses a cada laguna, se tomó en cuenta como primer punto de muestreo, el afluente de la laguna del módulo A, el cual, se tomó como una muestra compuesta y el efluente se tomó

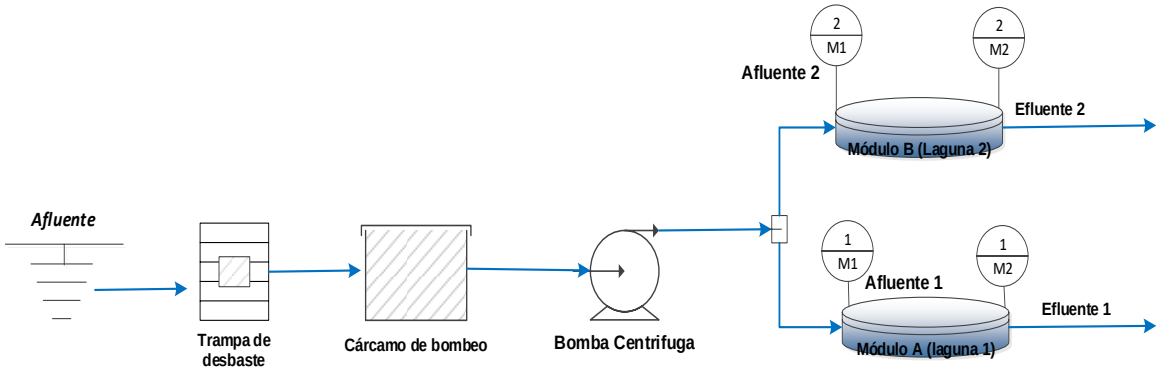
en el espejo de agua, como una muestra puntual, en vista de que no hay tubería de descargue para efluente.

Como segundo punto de muestreo se tomó en el módulo B, en el tubo de descargue de afluente, como muestra de tipo compuesta; para el efluente, en el espejo de agua se tomó dos muestras de tipo puntual, en puntos diferentes de la laguna en días diferentes pero la misma hora.

Las muestras de efluentes se tomaron en el espejo de agua, en lo que podríamos determinar salidas por rebose, con el fin de conocer la concentración de cargas contaminantes que están presente en el cuerpo receptor de la PTAR.

En el esquema 2 se representa los puntos para las muestras de los análisis de laboratorio.

Esquema 2. Puntos de la toma de muestras en la PTAR



El tipo de muestra recolectada es compuesta durante un periodo de diez horas (tiempo de operación de la planta en el día) en el caso del afluente general de la PTAR y puntual en el efluente de las lagunas como se observa en la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Ubicación, espécimen y periodos de muestras

Tipo de muestra	Localización	Fechas	N◦ total de muestra
Compuesta	Afluente general PTAR, módulo A	17-feb-21	1

Tipo de muestra	Localización	Fechas	N◦ total de muestra
Puntual	Efluente general PTAR, módulo A	17-feb-21	1
Compuesta	Afluente general PTAR, módulo B	21-feb-21	1
Puntual	Efluente general PTAR, módulo B	21-feb-21	1
Compuesta	Afluente general PTAR, módulo B	23-feb-21	1
Puntual	Efluente general PTAR, módulo B	23-feb-21	1

Definido los puntos de muestreo conocidos, se procedió a la recolección de muestras. Estas se recolectaron en recipientes de polietileno con capacidad de 1 galón para las muestras compuestas y con capacidad de 1 galón para las muestras puntuales. Para evitar la contaminación de las muestras, fue necesario enjuagar los envases 3 veces con el agua de muestreo.

Los recipientes se llenaron con la muestra de agua residual provenientes de cada una de las etapas antes descritas, para posteriormente ser rotulados con la fecha y hora del muestreo, preservándose en un termo con hielo, como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Recolección y preparación de las muestras

a) Toma de muestras en campo

La cantidad de muestra compuesta recolectada por hora se determinó mediante la siguiente operación matemática (Instituto de Toxicología de la Defensa, 2016):

Ecuación 6. Muestras de Campo

$$Vi = \frac{(Qi * V)}{(Qp * n)}$$

Donde:

Vi: Volumen de alícuota de muestra simple (L)

Qi: Caudal a la hora de la muestra simple (L/s)

V: Volumen total del recipiente (L)

Qp: Caudal promedio (L/s)

n: Número de muestras integrales tomadas a las diferentes horas

Esta ecuación dio paso a cumplir el objetivo de este documento, es la eficiencia de degradación de carga orgánica en función de DBO_5, eficiencia degradación de carga nitrogenada que tiene dicha PTAR, para esto fue necesario hacer estudios de laboratorios, los cuales se realizaron en los laboratorios del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA).Para lograr el objetivo se hicieron 13 días de muestreos de 10 horas, en los cuales se recolectaron muestras compuestas y puntuales.

3.5.2 Parámetros físico-químicos a evaluar

En esta etapa se realizaron los análisis de las muestras recolectadas en campo, que fueron llevadas a los laboratorios del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA), para obtener sus concentraciones.

Una vez seleccionado los parámetros a analizar, se pueden apreciar en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos

Parámetro	Lugar de medición	Método SM/EPA
pH	Laboratorio	SM/EPA 4500-B
Sólidos suspendidos totales	Laboratorio	SM/EPA 2540-D
DBO_5	Laboratorio	SM/EPA 5210-B
Aceites y grasas	Laboratorio	SM/EPA 5520-B
Nitrógeno total	Laboratorio	SM/EPA 4500-B

3.6 Cuarta etapa: Regulaciones ambientales y eficiencia de remoción de CC

3.6.1 Regulaciones ambientales

Durante esta etapa se valoraron los resultados de laboratorios de los parámetros químicos que se evaluaron y los valores máximos permisibles de vertido, estipulados en el Decreto 21-2017 y los parámetros establecidos en la norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales industriales y su reúso (NTON 05 027-05). Ver tabla 5

Tabla 5. Valores máximos permisibles por el Decreto 21 – 2017

Parámetros	Límites máximos permisibles Decreto 21 – 2017, Art. 34
pH	6-9
Sólidos suspendidos Totales (mg/L)	100
DBO_5 (mgO_2/L)	100
Aceites y grasas (mg/L)	30
Nitrógeno total (mg/L)	45

Los resultados de los análisis de nitrógeno total se compararon con el valor permisible estipulado en el Decreto 21-2017 en su Arto.34. Rango y valores máximos permisibles para los vertidos de aguas residuales provenientes de la industria láctea y sus derivados a nivel industrial, que sean descargados a los cuerpos receptores. Se consideró el nitrógeno en base a carga de nutrientes, debido a que es un componente importante para los microorganismos, al tener escasez de este, afecta el proceso de nitrificación de la PTAR y por ende su funcionamiento operacional.

3.6.1.1 Determinación de cargas contaminantes

Se realizó el cálculo a fin de conocer la carga contaminante que realmente se está disponiendo por parte del sistema. En este sentido las evaluaciones se hicieron en función de las concentraciones de DBO_5, nitrógeno, por lo que la ecuación general será:

Ecuación 7. Determinación de carga contaminante

$$\mathbf{CC = Concentración \times Caudal \times 0.0864}$$

Donde:

Concentración: Se tomaron cada una de las concentraciones determinadas por análisis químicos y fueron sustituidas en esta ecuación para obtener valores de carga orgánica en función de DBO_5, carga de nutrientes en función del nitrógeno, expresada en mg/L.

Caudal: Caudal promedio expresado en L/s

0.864 : Conversión de mg/l a Kg/ día para el cálculo de la COT.

Una vez obtenidos los valores de concentraciones con respecto a DBO_5 y caudal promedio en el afluente del tratamiento primario, se procedió al cálculo del aporte de carga orgánica que se va por rebose a la quebrada Coyanchigüe. Se consideró un valor promedio de evaporación mensual de 188.51 mm para la ciudad de Camoapa, obtenido del registro histórico de INETER (2002).

También se consideró la infiltración de la zona por medio de cateos que se realizó en el lugar (ver anexo B)

3.6.1.2 Determinación de las eficiencias en la PTAR

Para la eficiencia en la remoción de cargas contaminantes en la PTAR de la cooperativa, se utilizó:

Ecuación 8. Determinación de las eficiencias de la PTAR de la cooperativa

$$\mathbf{Eficiencia\ (\%) = \frac{Afluente - Efluente}{Afluente} * 100}$$

A través de la ecuación 8, se obtuvo la eficiencia en el efluente del PTAR, con respecto a los valores de DBO_5, nitrógenos, aceites y grasas, sólidos suspendidos que entran en el sistema.

3.6.1.3 Balance de masa

Se determinará la carga másica de la DBO_5 tomando en cuenta que dicho valor representa la carga másica de materia orgánica del afluente. Con el fin de convertir la concentración de DBO_5 expresada en mgO_2/L, a valor másico expresada en $kgDBO_5$/día, para ello se multiplicará la concentración por caudal medio, todo esto multiplicado por un factor de conversión equivalente a 0.0864

Ecuación 9. Carga DBO_5 Afluente (másico)

$$\text{Carga } DBO_5 \text{ Afluente (másico)} = Q_{medio} \times DBO_5 \text{ afluente}$$

$$CC = \text{Concentración} \times \text{Caudal} \times 0.0864$$

Donde:

Carga DBO_5 Afluente (másico): Expresado en: Kg DBO_5/día

Caudal medio: (m^3/día)

DBO_5 Afluente: (mgO_2/ L)

Se determinó la eficiencia de la remoción de carga orgánica en el reactor según los datos que se obtendrán del análisis de laboratorio con respecto a la DBO_5 obtenida en el afluente y el efluente. El intervalo de 60 a 70% que se observara a continuación es de acuerdo a Chernicharo & Bressani-Ribeiro (2019), por lo que se espera un valor similar en la PTAR Masigüito.

Ecuación 10. Eficiencia de remoción teórica

Eficiencia de remoción teórica ε = 60 a 70%

Se determinará la eficiencia de remoción de DBO_5 en el efluente mediante la siguiente ecuación que expresa el porcentaje de materia orgánica que será removido en el proceso biológico de los módulos. Ver ecuación 8 acápite 4.2.4.3.

Ecuación 11. % Eficiencia de remoción de DBO_5 en el reactor

A continuación, se presenta la ecuación para determinar el porcentaje de la materia orgánica que no ha sido removido multiplicado por el valor másico.

$$DBO_{5\ ef.} = (1-\varepsilon) * DBO\ Afluente\ (másico)$$

Donde:

DBO_5 ef.: Kg DBO_5/día

Se determinará la DBO convertida mediante la resta de los valores de DBO_5 afluente (másico) menos el valor de la DBO_5 efluente, obteniendo de esta forma la concentración de materia orgánica que es transformada con respecto a la DBO_5.

Ecuación 12. Concentración de materia orgánica transformada con respecto a la DBO_5

DBO_5 Convertida= DBO_5 Afluente (másico) – DBO_5 Efluente (másico)

Según Chernicharo & Bressani-Ribeiro (2019) la materia orgánica con respecto a DBO_5 se fracciona en:

a) La fracción de DBO_5 convertida a biomasa oscila entre 5 a 15 % (Y)
b) La fracción de DBO_5 convertida a CH_4 (Z: 0.9)

Ecuación 13. Masa de DBO_5 convertida a metano

Masa de DBO_5 convertida a metano (M CH_4) = Z x DQO convertido

c) La fracción de DBO_5 convertida a H_2O= DBO_5 Efluente

Se observa estequiométricamente una relación que un mol de metano es oxidado por dos moles de oxígeno, por lo que un mol de metano ocupa 22.4 litros en condiciones normales de temperatura y presión (CNTP), dos moles de oxígenos pesan 64 gramos, debido a que se está oxidando se hace equivalente a 64 gramos

de DBO_5, por lo que a partir de esta relación 1 litro de metano (CNTP) equivale a 64/22.4 lo cual es igual a 2.86 g de DBO_5, multiplicado por la Masa de DBO_5 que se está convirtiendo en metano obteniendo de esta forma la ecuación:

$$CH_4 + 2\ O_2 = CO_2 + 2H_2O$$

$$(16g) + (64g) = (44g) + (36g)$$

$$1\ mol\ CH_4 = 2\ mol\ O_2$$

$$1\ L\ CH_4\ (CNTP) = 64/22.4 = 2.86\ g\ DBO_5$$

Ecuación 14. Volumen de metano a condiciones normales

$$V_{CH4} = \frac{22.4 * M\ CH_4}{64}$$

Donde:

Volumen de metano a condiciones normales (VCH_4) = se expresa en m^3 CH_4/día

Masa de DBO convertida a metano ($M\ CH_4$) = se expresa en Kg DBO_5/día

Se determinará el valor de DBO_5 de biomasa según la siguiente ecuación.

Ecuación 13. DBO_5 de biomasa

$$DBO_5\ Biomasa = (Y)\ x\ DBO_5\ convertida$$

Donde:

DQO de biomasa es expresada en kg de DBO_5 convertido en sólidos / día. La fracción de DBO_5 convertida a biomasa (Y): kg DBO_5/día

Se convertirá los sólidos suspendidos volátiles de lodo (SSV) en Kg de DBO_5 de la siguiente forma.

1 kg SSV de lodo= 1.42 kg DBO_5 convertido a sólidos.

Se utilizará un factor estequiométrico de 1.42 para la determinación de lodos generados mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 14. Lodos generados

$$\text{Lodo generado} = \frac{DBO_5 \text{ biomasa}}{\text{Factor estequiométrico}}$$

Donde:

Lodo generado: se expresa en Kg SSV Lodo / día.

Se convertirá el valor de lodo generado a Kg SST/día con el siguiente factor de conversión.

SSV: 0.7SST

Utilizando la siguiente ecuación se obtiene que

Ecuación 15. Lodos generados

$$\text{Lodo generado} = \frac{\text{Lodo generado (Kg SSV} \frac{\text{Lodo}}{\text{día}})}{0.7}$$

Donde:

"Lodo generado": se Expresa en Kg SST/día

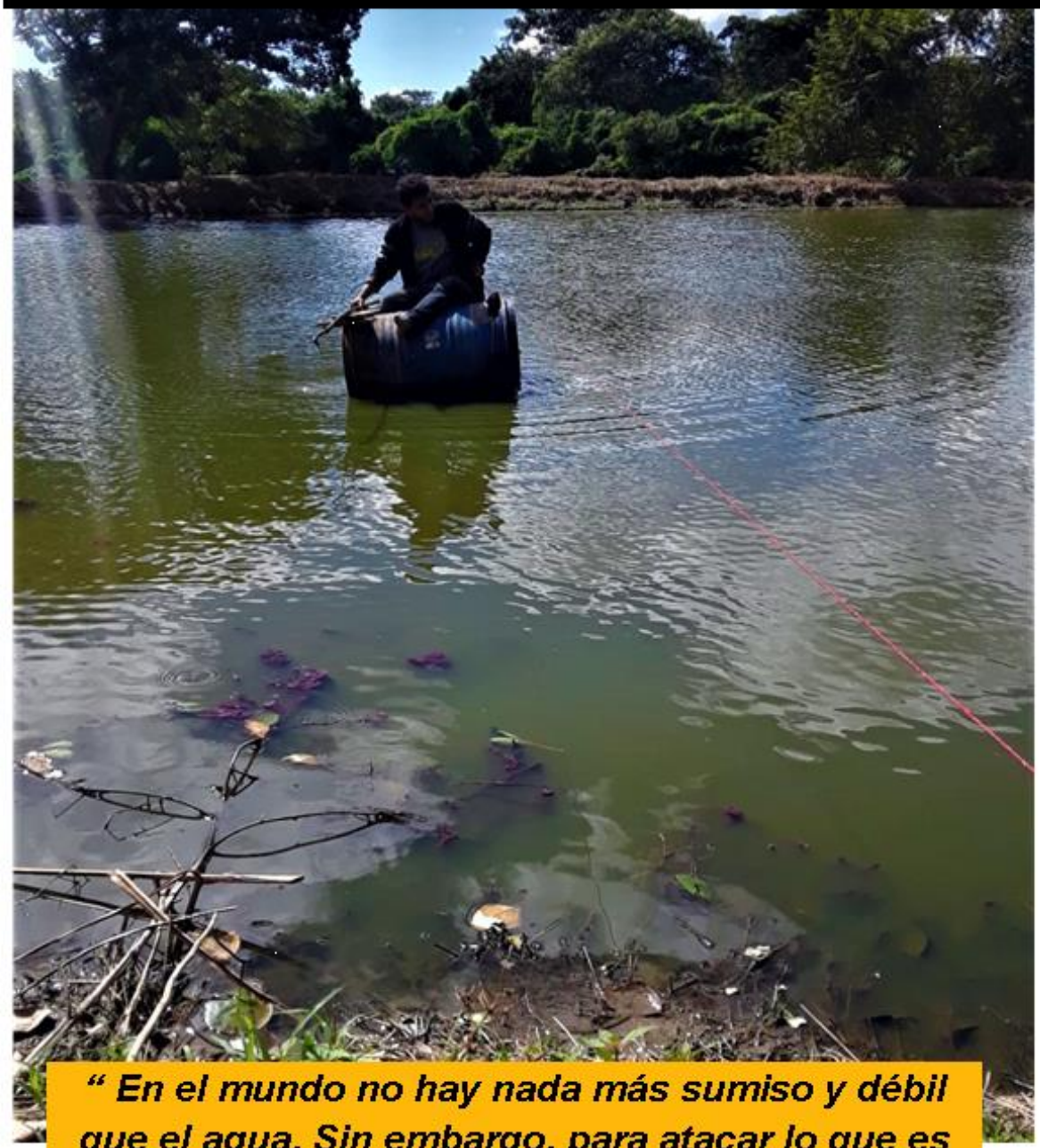
A continuación, se presenta en la tabla 6 del cálculo de balance de masa.

Tabla 6. Tabla de balance de masa

Datos de entrada	**Ecuaciones**
Q de diseño	
DBO Afluente	
Carga DBO_5 Afluente (másico)	Q * C
Eficiencia de remoción	
DBO_5 Efluente	DBOef=(1-ε) *DBOinf
DBO_5 Convertida	Ver ecuación # 8

Datos de entrada	Ecuaciones
Estimación de metano	
Fracción DBO_5 convertida a biomasa (Y)	
Fracción DBO_5 convertida a metano (Z)	transformación de DBO_5 a metano
Masa de DBO_5 convertida a metano (M CH_4)	Mch=Z*DBOconv
Volumen de metano a condiciones normales (V CH_4)	VCH_4=22.4*MCH/64
CH_4 disuelto en el agua residual	0.25
CH_4 en el biogás	0.75
Flujo efectivo de CH_4 en el biogás	$FECH_4$=VCH_4*0.75
Fracción de metano en el biogás (70% al 75%)	
Q biogás efectivo	$FrCH_4$=FECH4/0.75
Estimación de producción de lodo	
Rendimiento Biomasa (Y)	
DBO_5 biomasa	DBO_5biomasa=Y*DBO_5conv
La biomasa está expresada como DBO_5. Hay que transformarla en unidades de SSV.	
Factor estequiométrico	
Lodo generado (Lg)	Lg=DBO_5 biomasa/Fe
SSV = 0.7 SST	SSV = 0.7 SST
Lodo generado (Lg)	Lg=Lg* SSV

Capítulo IV. Resultados



" En el mundo no hay nada más sumiso y débil que el agua. Sin embargo, para atacar lo que es duro y fuerte nada puede superarla"

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 Primera etapa: recolección de información básica

4.1.1 Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales

La planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la Cooperativa Masigüito R.L. tiene las siguientes unidades de depuración: pretratamiento (sistema de rejas gruesas y finas); un cárcamo de bombeo, una bomba centrífuga y como tratamiento primario (dos lagunas de estabilización que trabajan en paralelo); cuyo fin es la degradación de materia orgánica proveniente de la Cooperativa Masigüito R.L.

A continuación, se describen cada una de las etapas necesarias para estabilización de las aguas de la industria láctea.

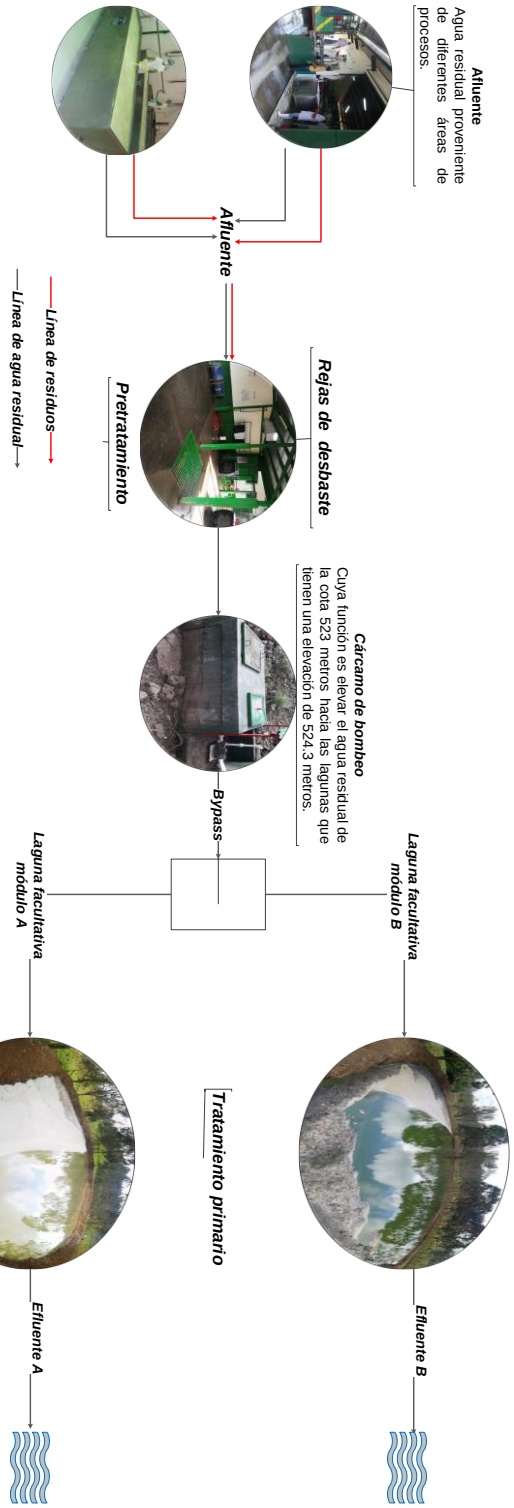
4.1.1.1 Pretratamiento

Las unidades que conforman el pre tratamiento en la PTAR de la empresa Masigüito R.L. será detallado en el siguiente esquema.

En el esquema 3, se pueden observar las unidades de pretratamiento con las que se cuenta, como son el sistema de rejillas gruesas y finas que se ubican dentro del área de proceso industrial.

Como en esta área se deben mantener condiciones de asepsia, la limpieza del área se da en un inicio y final de cada jornada laboral. En el área de proceso encontramos algunos drenajes de piso, así como, también, en la zona de recepción de leche, que de igual manera en época de invierno se usan para drenar las aguas pluviales, que escurrirán por los drenes de piso hasta pasar a la siguiente etapa de tratamiento.

Esquema 3. Pretratamiento



En la figura 6, se puede observar el sistema de cribas cuadradas de acero con 1.5 metros de ancho y 1.5 metros de largo, protegida por una pre-reja de barrotes espaciados a 15 centímetros, con una reja en su interior de 0.50 metros de ancho y 0.50 metros de largo prevista generalmente para limpieza manual, ver figura 6.



Figura 6. Trampa de desbaste

Se cuenta con un cárcamo de bombeo, cuya función es elevar el agua residual de la cota 523 metros hacia las lagunas, que tiene una elevación de 524.3 metros.

El cárcamo de bombeo no obedece a ningún calculo hidráulico, por lo tanto, para la selección del equipo de bombeo se contrató a un fontanero que recomendó la compra de la bomba centrifuga.

El cárcamo es una estructura rectangular de concreto armado con 1.65 metros de ancho y tres metros de largo, por tres metros de alto, con paredes de espesor de 0.15 metros dividido en dos cámaras por una pared de 2.25 metros de alto, ambas cámaras encargadas de almacenar el agua residual proveniente de las diferentes áreas (área de procesos y lavado de lecheras metálicas).

La primera cámara con 1.65 metros de ancho, 0.8 metros de largo y tres metros de profundidad, y la segunda cámara con 1.65 metros de ancho, dos metros de largo y tres metros de profundidad, en esta cámara el agua residual al llegar a los 0.60 metros de altura (a partir de la profundidad total) activa la bomba automática, que

se encarga de enviarla a la laguna a través de una tubería de tres pulgadas de diámetro, Ver figura 7.



Figura 7. Cárcamo de bombeo

Se puede observar en la figura 8, la bomba centrifuga, que de acuerdo a la etiqueta es del modelo No. N145T34FZ1, es una bomba con una potencia de 3 HP, 3,410 R.P.M., sin embargo, al consultar la curva característica de esta bomba no se encontraron datos técnicos para este equipo.

El equipo se encuentra conectado simultáneamente al cárcamo de bombeo, lo que le permite impulsar las aguas hacia las lagunas.



Figura 8. Bomba centrífuga

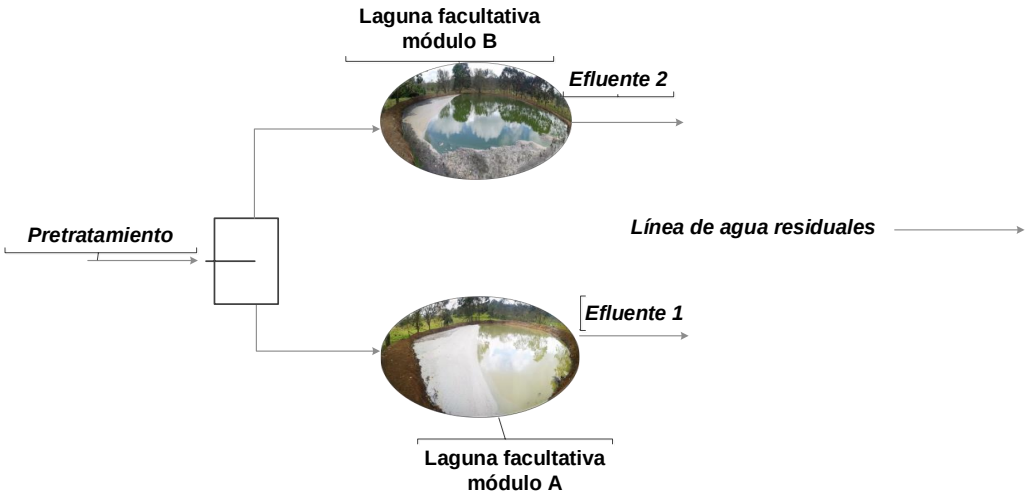
4.1.1.2 Tratamiento primario

En esta fase, el tratamiento primario es variado, ya que regula pH, color, olor, reduce sólidos suspendidos, elimina materia flotante y elementos que puedan dañar etapas

posteriores de tratamiento. La planta de tratamiento de aguas residuales está compuesta de dos módulos lagunares de tipo facultativa (A y B) trabajando en paralelo, ya que actualmente se le da mantenimiento por módulo.

En el esquema 4, se presentan las unidades que constituyen la fase de tratamiento primario.

Esquema 4. Tratamiento primario



Se puede observar en el esquema 4, que se cuenta con dos lagunas de estabilización, las cuales son diseñadas para el tratamiento de aguas residuales en un periodo de tiempo que es dependiente del volumen y caudal que ingresa a las unidades depuración. En estas unidades es donde se generan los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica biodegradable y otros compuestos solubles (George, Hense, van Loosdrecht, & A. Ekama y D. Brdjanovic, 2017).

Se puede observar en el esquema 4, que estas son las únicas unidades de depuración de aguas residuales presentes en las instalaciones de la empresa. Las dimensiones de las lagunas son:

Módulo A, con forma ovalada de un radio 21.52 metros para el lado más largo y un radio de 20 metros para el lado más pequeño, aproximadamente, comprendiendo un área efectiva de 1,195 m^2, diseñada para funcionar de forma facultativa.

Módulo B, ubicada a 55 metros del módulo A, con forma ovalada, de un radio 25.5 metros para el lado más largo y un radio de 22.5 metros para el lado más pequeño, aproximadamente, comprendiendo un área efectiva de 1,442.90 m^2, diseñada para funcionar de forma facultativa.

Se puede apreciar en la figura 9 que aproximadamente una cuarta parte de cada laguna presentan natas en la superficie, que se encuentran ubicadas en sus extremos este, esto se debe a que no se tiene un pretratamiento para remoción de natas, que por acción del viento se acumulan en los extremos, ver figura 9.

Los microrganismos asimilan la mayor parte de la materia orgánica, mediante oxidación de la misma, con la producción de bióxido de carbono y otros subproductos de las transformaciones metabólicas, como amoníaco y nitrato; las algas utilizan el bióxido de carbono y los nutrientes para producir oxígeno a través de la fotosíntesis, como se observa en la figura 9.



Laguna facultativa módulo A Laguna facultativa módulo B

Figura 9. Lagunas de estabilización

4.1.1.3 Efluente general PTAR – Cooperativa Masigüito R, L

No se cuenta con un efluente de agua, ya que la válvula de globo para descarga de efluente se encuentra dañada y por ende el agua en las lagunas sale por rebose, y esto ha generado malos olores, infiltraciones y pantanos en los terrenos cercanos, por el mal diseño de las lagunas.

En la figura 10 se presenta las válvulas de globo para descarga de efluentes dañadas



Efluente laguna módulo A



Efluente laguna módulo B

Figura 10. Efluentes en las lagunas

4.1.2 Criterios para evaluación de ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con respecto a NTON 05-027 05.

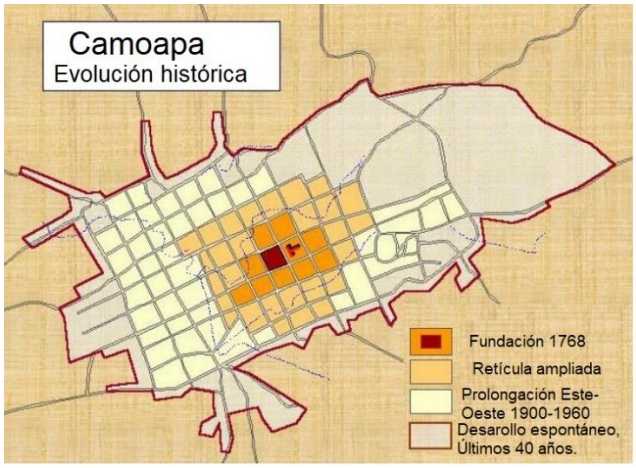
La ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales debe cumplir con todos los criterios establecidos en el Acápite seis de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense, para regular la PTAR y su reúso (NTON 05-027 05):

1. ***La ubicación de la PTAR debe tomar en cuenta los planes de desarrollo urbano de la municipalidad o localidad.***

De acuerdo al plan de ordenamiento de la ciudad Camoapa, adquiere un crecimiento de su estructura urbana y desarrollo del comercio, continuando con el modelo de cuadrícula y adaptándose a las condiciones topográficas de los alrededores, consolidándose los sitios de origen de ciudad y expandiéndose en

sentido suroeste y noreste; como se muestra en la figura 13. (INETER & MARENA, 2004).

Por lo tanto, la PTAR se encuentra ubicada a cuatro kilómetros de la ciudad en dirección este lo cual, no afecta, ni afectará a los pobladores en la salud y condiciones higiénicas a largo plazo.



Fuente: INETER & MARENA, 2004

Figura 11. Crecimiento urbano, ciudad de Camoapa

2. **El *terreno donde se construya una PTAR no debe ser un área inundable. No se permite la construcción en pantanales, humedales, marisma y similares.***

Según el plan de ordenamiento territorial de Camoapa, la topografía de este municipio posee un relieve plano ligeramente ondulado a montañoso, por lo que no es un área vulnerable a inundaciones (INETER & MARENA, 2004).

Por esta razón, la PTAR de la Cooperativa Masigüito R.L. está construida topográficamente en un relieve plano ligeramente ondulado, de este modo se cumple con este acápite.

3. ***El área del terreno donde se ubique o se instale una PTAR debe tener una pendiente menor de 5%.***

De acuerdo a lo indicado se cumple, ya que la PTAR se encuentra ubicada en una zona con pendiente de 1.3%, que permite el buen drenaje de las aguas pluviales.

4. ***La instalación o construcción de la PTAR debe estar ubicado a sotavento de cualquier actividad donde haya permanencia de personas por más de 8 horas, de tal manera que el aire circule de las actividades hacia el sitio de la ubicación del PTAR y no lo contrario.***

En la PTAR, el viento va en dirección Este. Las instalaciones de este sistema se encuentran ubicados a sotavento.

5. ***La distancia de separación entre la instalación o construcción de cualquier PTAR, y/o viviendas, fuente de abastecimiento y nivel freático se establece en la tabla 7*:**

Tabla 7. Ubicación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales

Unidades de tratamiento	**Pozos individuales de agua para consumo doméstico**	**Lindero de propiedad**	**Viviendas o zonas pobladas**	**Nivel freático**
Lagunas de estabilización	Mayor de 200 metros	Mayor de 20 metros	Mayor de 300 metros	Mayor de 3 metros

Fuente: NTON 05-027 05

La PTAR Cooperativa Masigüito R, L no se encuentra cerca de nuevos barrios, con respecto a pozos para consumo doméstico, su ubicación es mayor a 800 m, por lo que no se ve afectado.

En los alrededores de la PTAR, los linderos de propiedad están ubicados a más de 1000 m, por lo que, los pobladores aledaños no se ven afectados por los malos

olores del sistema. Respecto al nivel freático no se cuenta con un registro de valoración o profundidad respecto a él.

6. ***En el caso de nuevas actividades o proyectos que requieran instalarse cerca del área de influencia de una PTAR en operación deben de regirse por los criterios establecidos en la presente normativa y los criterios técnicos que las autoridades competentes dictaminen***.

El plan de ordenamiento territorial de Camoapa ubica a esta zona como rural, por lo tanto, no se toma en cuenta con respecto al crecimiento urbanístico, de modo que con el paso de los años no presentaran problemas con respecto poblaciones aledañas (INETER & MARENA, 2004).

7. ***La distancia mínima entre la PTAR y campos de pozos de abastecimiento de agua potable debe ser en un radio de 1000 metros medidos desde el pozo más cercano.***

El campo de pozo Camoapura para abastecimiento de agua potable, es el único pozo existente en esta área y se encuentra a una distancia de 1000 metros, por lo que la PTAR de la Cooperativa Masigüito R, L cumple con este acápite de la norma.

8. ***Toda PTAR que se ubique en áreas protegidas debe solicitar la autorización o permiso ambiental al MARENA según corresponda. En el caso de áreas protegidas con planes de manejo, el sitio de ubicación de los PTAR deberá regirse según la zonificación y su normativa correspondiente.***

El predio donde está ubicada la PTAR es propiedad privada y pertenece a la misma Cooperativa. No existe un área protegida dentro de este lindero, ni colindante, por lo tanto, se cumple con lo establecido en la NTON 05-027 05.

9. ***La distancia mínima entre una PTAR y esteros (estuarios), debe ser de 100 metros de la línea máxima de crecida, en caso contrario el MARENA o INAA según su competencia establecerá su autorización en dependencia del tipo de sistema.***

Cabe señalar que la ubicación de la PTAR se encuentra en la zona central de Nicaragua, retirada de las zonas costeras del pacifico y mar caribe, por lo que no posee ningún estuario. Con respecto a la normativa en este inciso la PTAR cumple.

10. ***Cuando la descarga o disposición final del efluente de una PTAR se requiera en aguas superficiales, debe ser autorizada por el MARENA según el tipo de corriente, uso del recurso y actividades que se realicen en el punto de descarga. En el caso de los ríos y quebradas se debe tomar en cuenta el uso y las actividades que se realicen aguas abajo.***

En el caso de la Cooperativa Masigüito R, L de la ciudad de Camoapa, se tiene una descarga del efluente en aguas superficiales en la quebrada Coyanchigue, el MARENA no ha autorizado el vertido de las aguas residuales a dicho punto de descarga.

11. ***La distancia entre una PTAR y un aeropuerto, aeródromo o una terminal aérea, debe ser establecida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura.***

La Cooperativa Masigüito R, L no cuenta con una terminal aérea cercana, en este caso el PTAR con respecto a la normativa cumple.

12. ***La instalación de una PTAR con respecto a la profundidad del manto freático debe ser como mínimo de 2 metros a partir del fondo de la PTAR y cumplir con las especificaciones diferentes.***

a. Para suelos limosos y limo-arenoso se debe impermeabilizar y compactar el área al 95% proctor estándar.

b. En aquellos casos en que la profundidad del nivel freático sea menor a 2 metros MARENA e INAA, según su competencia autorizará la viabilidad del sistema.

13. En aquellos casos en que la profundidad del nivel freático sea menor de dos metros MARENA e INAA, según su competencia autorizará la viabilidad del sistema.

En el inciso 12 y 13 del Acápite 6 de la NTON 05-027 05, no existe un estudio realizado para la valoración y profundidad del manto freático en la zona, por lo tanto, se desconoce el estado actual del acuífero de Camoapa.

2.2 Evaluaciones de las condiciones físicas de operación y mantenimiento de la PTAR – Cooperativa Masigüito R.L.

En la tabla 8, 9 y 10 se presentan las condiciones de operación de la PTAR, con un análisis de las acciones necesarias para determinar la funcionalidad de cada una de las unidades de depuración.

Tabla 8. Evaluaciones de condiciones operación de la PTAR

Unidad	Condición física	Personal	Observaciones
Rejas de desbaste	Rejas en buen estado.	1 operador	No hay apoyo técnico
Cárcamo de bombeo	Caja de concreto con daños estructurales como fisuras.	1 operador	No existe apoyo técnico. No hay presupuesto
Bomba centrífuga	Presenta oxidación en la parte exterior.	1 operador	Manual de especificaciones técnicas. No hay presupuesto.
Lagunas de estabilización	• Falta caseta de operación. • Acceso difícil en invierno. • Erosión de taludes por escurrimiento de agua rebosada. • Sobrecargado. • No poseen geomembranas. • No hay caudalímetro. • No se cuenta con tubería, ni canal de descargue. • No se cuenta con pluviómetro	1 operador	No existe apoyo técnico. No hay presupuesto.

Tabla 9. Parámetros operacionales

	Variable	Monitoreos	Observaciones
Condición física	Pretratamiento	Rejas de desbaste: revisión diaria para que no haya exceso de sólidos.	No hay presupuesto para asistencia técnica en creación de manual de operación de planta de tratamiento.
	Cárcamo de bombeo	No hay monitoreo de control de grasas y gases. No se controla la temperatura, vibración y presiones de succión.	
	Tratamiento primario	No se utiliza desnatador para retirar natas y una carretilla para disposición final. No se realiza eliminación de maleza y vegetación en los perímetros de la laguna. Nunca se ha hecho batimetría de lodos. No se realiza evaluación del estado de los taludes.	

	Variable	Monitoreos	Observaciones
Condición hidráulica	Caudal: Afluente de la planta Efluente de la planta	No se toma, ya que no posee un caudalímetro a la entrada de la planta No se toma, ya que no posee un caudalímetro a la salida de la planta	No existe formato de registro de caudales. No existe unidad hidráulica para el aforo en el afluente y efluente. El operador no ha recibido capacitación para recolección de datos
Condición fisicoquímica	Temperatura del agua	No se lleva control No se toma Nunca se ha hecho	No existe presupuesto de sistema de tratamiento, por esta razón, no se ha podido entregar el informe de vertidos que solicito MARENA.
	Color		
	pH Afluente y efluente de la PTAR.		
	DBO_5 Afluente y efluente de la PTAR en cada unidad.		
	SST Afluente y efluente de la PTAR.		
	Nitrógeno Afluente y efluente de la PTAR.		
	Aceites y grasas totales Afluente y efluente de la PTAR.		

Tabla 10. Mantenimiento preventivo

A continuación, se enlistan las actividades de mantenimiento preventivo de las que es carente la PTAR - Masigüito.

Ubicación	Punto	Mantenimiento
Rejas de desbastes	Rejas metálicas	Pintar
	Rejas metálicas	Limpiar y lavar
	Desbastador	Eliminar cualquier residuo sólido de gran tamaño, como piezas de bolsas, hojas entre otros.
Cárcamo de bombeo	Cámara 1	Limpieza de paredes.
		Eliminar cualquier residuo sólido.
	Cámara 2	Limpieza de paredes.
		Eliminar cualquier biomasa adherida que pueda formarse.
Bomba	Válvula de pie	Limpieza.
	Manómetro	Inspección de agujas de regulación de presión
	Ejes de bomba	Inspección de rotación
Laguna módulo A	Espejo de agua	Remover natas, grasas y sólidos flotantes.
	Talud	Inspeccionar la condición de los taludes y reparar de inmediato los daños encontrados.
	Extracción de lodos	Cuando el nivel de acumulación de lodos supere el estrato mayor a un metro de altura, esta se deberá limpiar.

Ubicación	Punto	Mantenimiento
Laguna módulo B	Espejo de agua	Remover natas, grasas y sólidos flotantes.
	Talud	Inspeccionar la condición de los taludes y reparar de inmediato los daños encontrados. Limpiar vegetación en el talud interior.
	Extracción de lodos	Cuando el nivel de acumulación de lodos supere el estrato mayor a un metro de altura, esta se deberá limpiar.

4.2 Segunda etapa: cálculo de caudales y períodos de retención

4.2.1 Cálculo de caudales

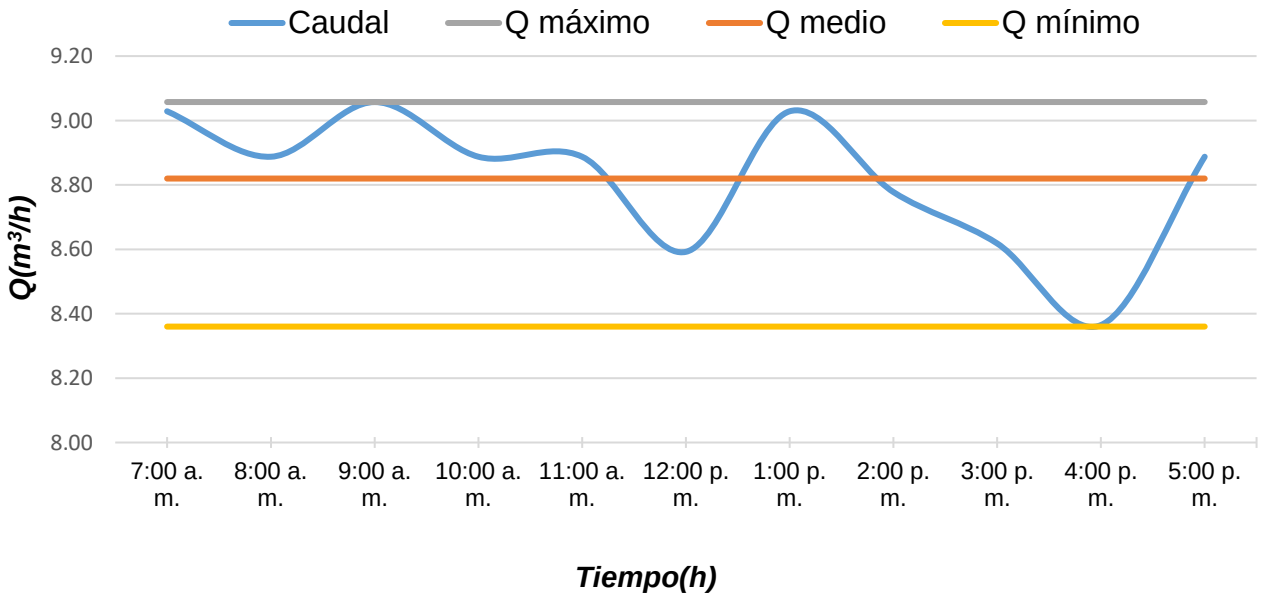
En la tabla 11, se muestran los resultados del aforo de caudales para el día martes 16 de febrero 2021, del afluente en el módulo A. Obteniendo este día el caudal máximo, debido a que hubo descargue de lacto-suero en el afluente, a causa de fallas en el área de prensado de queso.

Tabla 11. Registro de caudales (m^3/h) día martes módulo A

Tiempo	Q	Q máximo	Q medio	Q mínimo
07:00 a. m.	9.03	9.06	8.82	8.36
08:00 a. m.	8.89			
09:00 a. m.	9.06			
10:00 a. m.	8.89			
11:00 a. m.	8.89			
12:00 p. m.	8.59			
01:00 p. m.	9.03			
02:00 p. m.	8.78			
03:00 p. m.	8.62			
04:00 p. m.	8.36			
05:00 p. m.	8.89			
∑ **Q**	97.02			

Con los aforos realizados, se alcanzaron los caudales maximos, medios y minimos, obtenidos del afluente durante 10 horas por dia y se expresa en la gráfica 1.

Gráfica 1. Caudales promedios máximos, medios y mínimos en el afluente módulo A



En la gráfica 1, se representa los caudales promedios para el día 16 de febrero, en el que se visualizan los caudales en el afluente procedente de la planta de proceso, se puede observar que las horas de mayor demanda se registran en un periodo de intervalos 07:00, 9:00 am;1:00 y 5:00 pm. Los intervalos de la mañana (07:00 ;09:00 am) se dan debido a que los camiones recolectores de leche comienzan a llegar a la planta a descargar la leche en el área de acopio, luego se pasa por el área de lavado de lecheras metálicas, en la cual se da una demanda alta de agua por la limpieza de las lecheras metálicas y en el intervalo de la tarde (01.00 - 05.00 pm), es causado porque se lleva a cabo el lavado de las áreas de proceso, área de prensa de queso, área de pasteurización (pasteurizadores).

Se obtuvo como resultado que la hora de caudal mínimo se comprende en los horarios de las 4:00 pm, cuando las actividades de mayor importancia en la planta de proceso se han finalizado.

Por lo contrario, en el efluente no se registraron caudales, debido a que no se presenta válvula de salida de agua y por ende sale por rebose.

Se pueden ver en los anexos C, los demás días de registro de caudales.

Tabla 12. Caudal promedio del afluente por módulo

Módulos	Q promedio(m^3/h)
Módulo A	9.11
Módulo B	8.65

En la tabla número 12, podemos observar la alteración del caudal en el afluente de la planta, en el módulo A, esto debido a que cuando se hizo el aforo hubo un crecimiento en la producción de leche, por lo cual se generó más consumo de agua en el área de proceso, con respecto al módulo B que el promedio es menor, debido a que la producción de leche se mantuvo constante.

4.2.2 Determinación del período de retención

El período de retención es fundamental para la reducción de carga orgánica y patógenos; estos valores fueron obtenidos por la ecuación que se encuentra en el CAPÍTULO 3, acapite 3.4.2, ecuación 3.

A continuación, se hace la correcion de caudal, que fue retenido en los módulos A y B, asi como, los volúmenes reales de operación de cada módulo:

4.2.2.1 Balance hídrico

Se utilizó el dato promedio histórico de evaporación de la estación meteorológica de Juigalpa, ya que es la estación más cercana a la zona de evaluación de la PTAR, la fuente de información es de INETER.

Se consideró el cálculo del balance hídrico, para conocer el caudal real que se encuentra en los módulos, a fin de saber cuánto disminuye la evaporación al caudal del afluente, obteniéndose como resultados una disminución del caudal, debido a

las pérdidas por evaporación. A continuación, se presenta la tabla 13, los resultados de los caudales reales encontrados en cada módulo.

Tabla 13. Determinación del caudal de la laguna mediante el balance hídrico

Unidad de tratamiento	Caudal medio PTAR(m^3/día)	Evaporación (mm/día)	Área (m^2)	Caudal laguna (m^3/día)
Módulo A	218.64	0.75	1,195.00	217.74
Módulo B	207.6	0.75	1,442.90	206.52

Se puede observar en la tabla 13, que el módulo A, tiene una pérdida por evaporación de 0.90 m^3/día y 1.08 m^3/día en el módulo B, la diferencia entre pérdidas de caudales en los módulos, se debe a que la laguna del módulo B comprende un área mayor. De acuerdo con Cortés, Treviño, & Tomasini (2017), las pérdidas por evaporación son en un 10 % como máximo en cualquier sistema lagunar, en el caso de la PTAR las pérdidas por evaporación están dentro del rango establecido.

4.2.2.2 Estudio batimétrico

El levantamiento batimétrico permitió conocer las condiciones de operación de las lagunas, con el fin de determinar los perfiles de acumulación de sólidos sedimentados y a partir de ellos calcular la cantidad de lodo acumulado en el fondo de las lagunas, así como, el volumen útil disponible en cada módulo.

La figura 12 y 13 ilustran las vistas en planta de los módulos A y B. Se pueden observar los ejes longitudinales y transversales definidos para el estudio batimétrico de cada módulo.

Los perfiles evidencian una acumulación relativamente variada de los lodos, con excepción de la mayor presencia de estos en el sector inicial de la laguna, lo que se debe a que la distribución del flujo en el afluente no se realiza de manera equitativa por la tubería de entrada, ver figura 12. Así mismo, debido a la heterogénea distribución del flujo, se propicia la acumulación de sólidos de fácil sedimentación al inicio del módulo lagunar, situación que se aprecia con total claridad en la figura 12,

que presenta una fotografía de la zona de entrada donde se visualizan los montículos de material e inclusive la presencia de vegetación de gran tamaño.

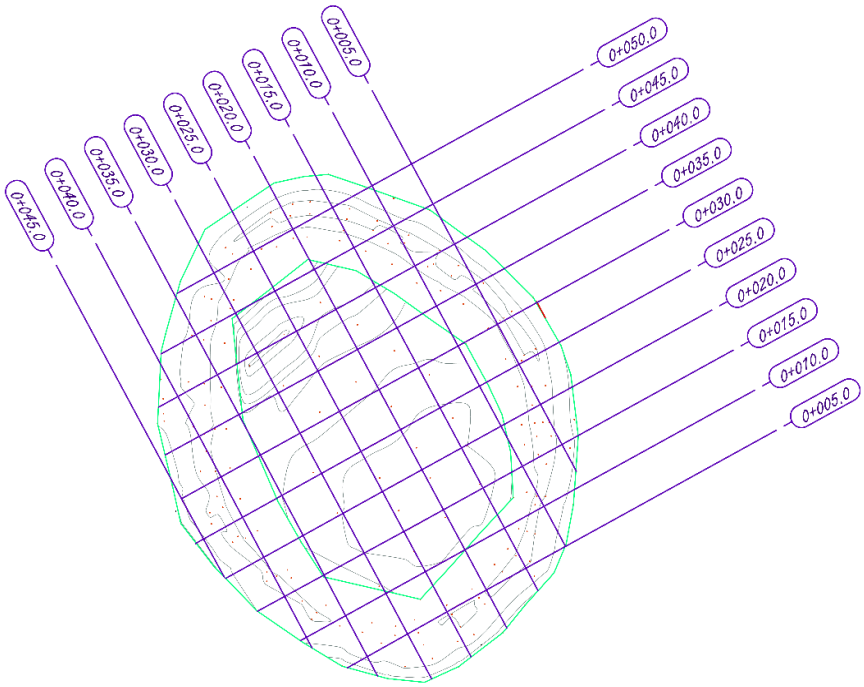


Figura 12. Vista planta módulo A

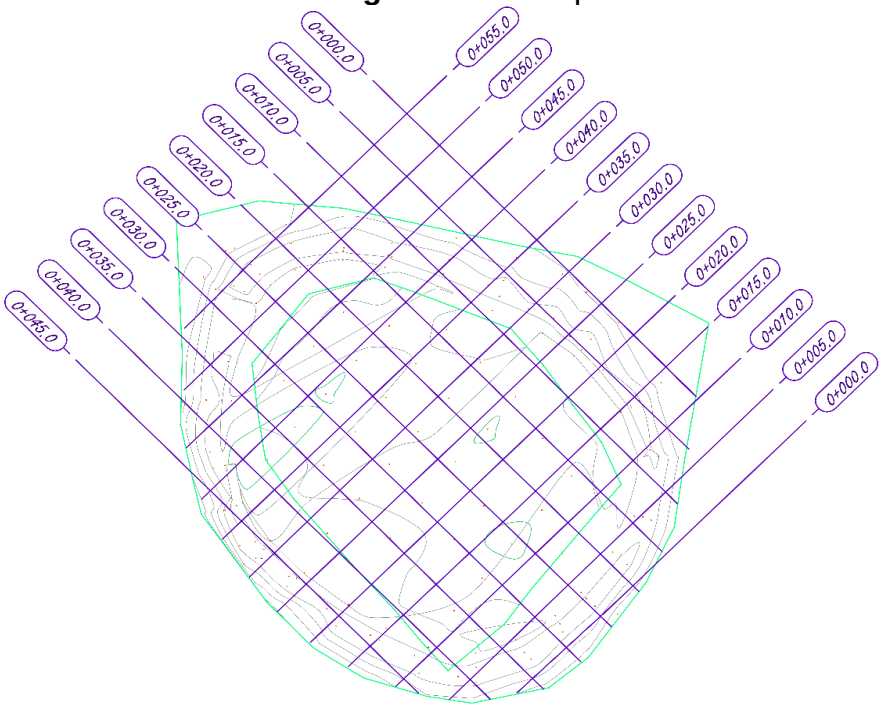


Figura 13. Vista planta módulo B

La acumulación de lodos concentrada en ciertos lugares genera alteraciones en el desempeño hidráulico de la unidad de tratamiento y afecta de manera negativa el mantenimiento de las condiciones de diseño de la laguna en cuanto a su tiempo de retención hidráulica (TRH), ello debido a que la formación de zonas muertas y caminos preferenciales que reducen el tiempo de permanencia del líquido en la laguna ver figura 14.



Figura 14. Detalle de zona de entrada del módulo A

Como se puede observar en la figura 15, en el perfil transversal 0+015 del módulo A presenta una acumulación relativamente homogénea de sedimentos en la mayor parte de su extensión hacia el centro de lagunas, con excepción del tercio inicial y con un ligero énfasis en su parte derecha como consecuencia del mayor flujo de los afluentes.

La mayor concentración de los sedimentos se encuentra en las zonas cercanas a los puntos de ingreso del afluente esto sugiere su labor de biodegradación en la sedimentación de sólidos, eventualmente un remanente de sólidos solubles escapa de la laguna por rebose.

En la figura 15 se observa la distribución de los lodos al fondo de la laguna, así como, la pérdida de la conformación de los taludes en todos los perímetros de la laguna dando como resultado de la reducción en su TRH anteriormente comentada. Se pueden observar todos los perfiles de los módulos en anexo D.

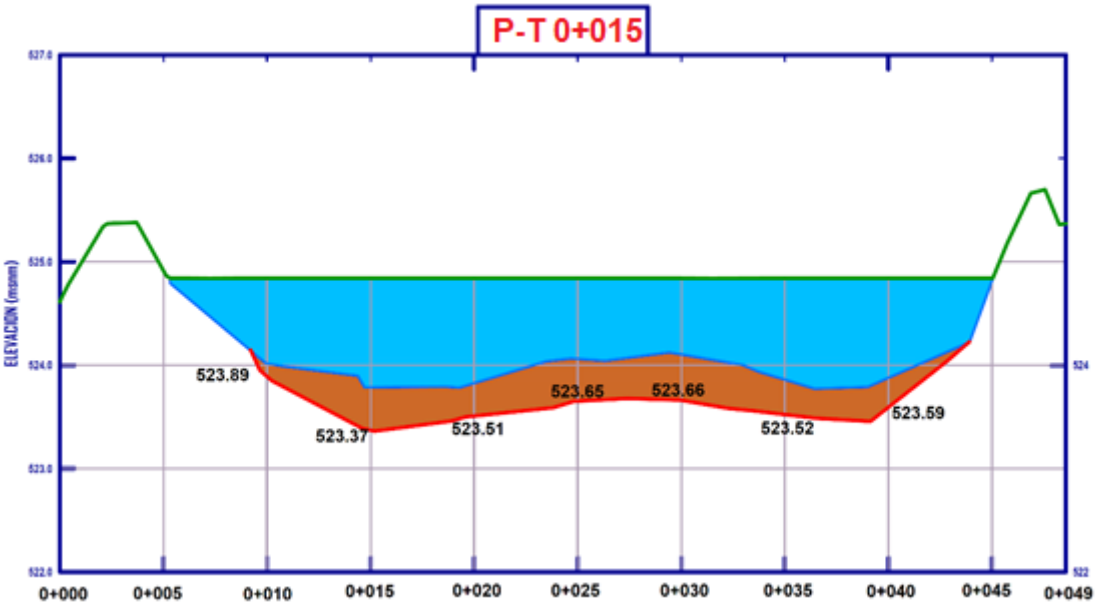


Figura 15. Distribución de los lodos en el fondo de la laguna

A partir de los datos de levantamiento batimétrico, el volumen útil de cada módulo lagunar es: módulo A (1,279 m^3), y en el módulo B (1,781.17m^3).

El volumen de lodo acumulado en el módulo A es: de 421 m^3, así como, en la laguna del módulo B es de: 419.32 m^3 lo que provoca una reducción de la profundidad y de su volumen útil, ver tabla 14.

Tabla 14. Áreas y volúmenes de módulos

Módulo	Área(m^2)	Vol. agua(m^3)	Vol. lodo(m^3)	Vol. total(m^3)
A	1,195.00	1,279.00	421	1,700.00
B	1,442.90	1,781.17	419.32	2,200.49

4.2.2.3 Períodos de retención

Se presenta la tabla 15 en la que se registró los valores de TRH, considerando la influencia de la evaporación en el caudal, así como, el volumen de lodos obtenidos a través de batimetría. Se puede observar en la tabla 15, que los periodos de retención hidráulicos están de acuerdo con lo que indica Oakley *"Para lagunas*

facultativas su periodo debe de ser 10 dias como minimo, teniendo un período de 9 días en el modulo B y en el módulo A con períodos de 6 días. (Oakley S. M., 2005)*".*

Tabla 15. Período de retención hidráulico TRH

Módulo	Vol. agua(m3)	Q medio(m^3/día)	TRH (día)
A	1,279.00	217.74	6
B	1,781.17	206.52	9

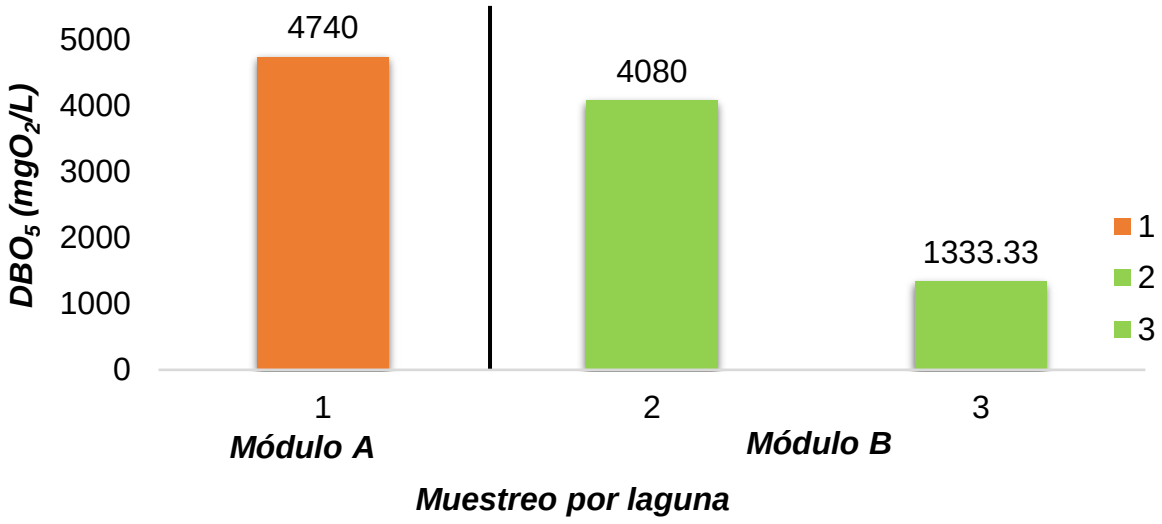
4.3 Tercera etapa: toma y análisis de muestra

4.3.1 Resultados de análisis fisicoquímicos afluente

a) Concentración de DBO_5

En la gráfica N.º 2 se presentan las concentraciones de DBO_5 obtenidos de los análisis físicoquímicos en el laboratorio PIENSA, a partir de los muestreos compuestos realizados en la PTAR en tres monitoreos comprendidos desde el 17 hasta el 23 de febrero del 2021,(ver anexo N° E).

Gráfica 2. Concentraciones de DBO_5 en el afluente de la PTAR



Se puede observar en la gráfica dos, que la máxima concentración de DBO_5 durante los muestreos fue en el módulo A, con 4,740 mgO_2/L, que corresponde al día 17 de febrero. Posteriormente el día 21 de febrero se reporta una concentración de 4,080

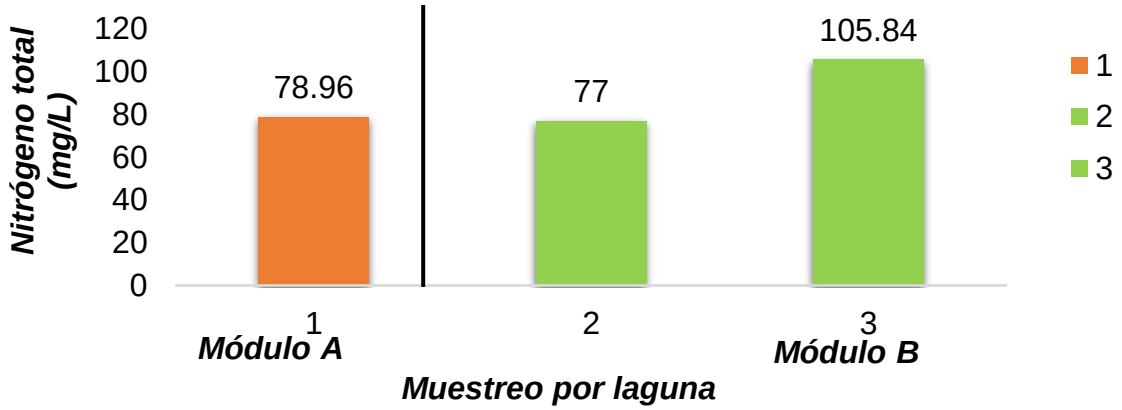
mgO_2/L, debido a que los muestreo se realizaron en el día que hubo fallas en el área de prensa y tuvo como consecuencia la descarga de todo el lacto-suero en la planta de tratamiento, el cual, presenta un elevado contenido de materia orgánica, con respecto a las concentraciones de DBO_5. En contraste, al día 23 de febrero que la planta operó con normalidad presentando 1,333.33 mgO_2/L.

A nivel internacional existen como referencia el intervalo de 1,000 a 3,000 mgO_2/L, de concentración de DBO_5 para sector lácteo, al observar los valores reportados en la gráfica dos, las concentraciones de los días 17 y 21 de febrero no se encuentran en el intervalo establecido, esto se debe a que el intervalo no considera el proceso de lacto-suero, es por esta razón que industrias como las de torres de secado llegan a valores del orden de 7,000 mg/L y las industrias queseras del orden de 6,000 mg/L (Factor de productos Lácteos, 1998).

b) Concentración Nitrógeno

Se puede observar en la gráfica 3 que en el módulo B, en la fecha 23 de febrero se da la mayor la concentración de nitrógeno de 105.84 mg/L, esto debido a que, los productos de limpieza y desinfección, así como, las actividades efectuadas en la planta como; limpieza de líneas de conducción, equipos, cisternas, silos de leche, el proceso y empacados de productos, así como, los lavados de lechera metálicas que usan productos con altos contenidos de matriz nitrogenada para su desinfección.

Gráfica 3. Concentraciones del nitrógeno



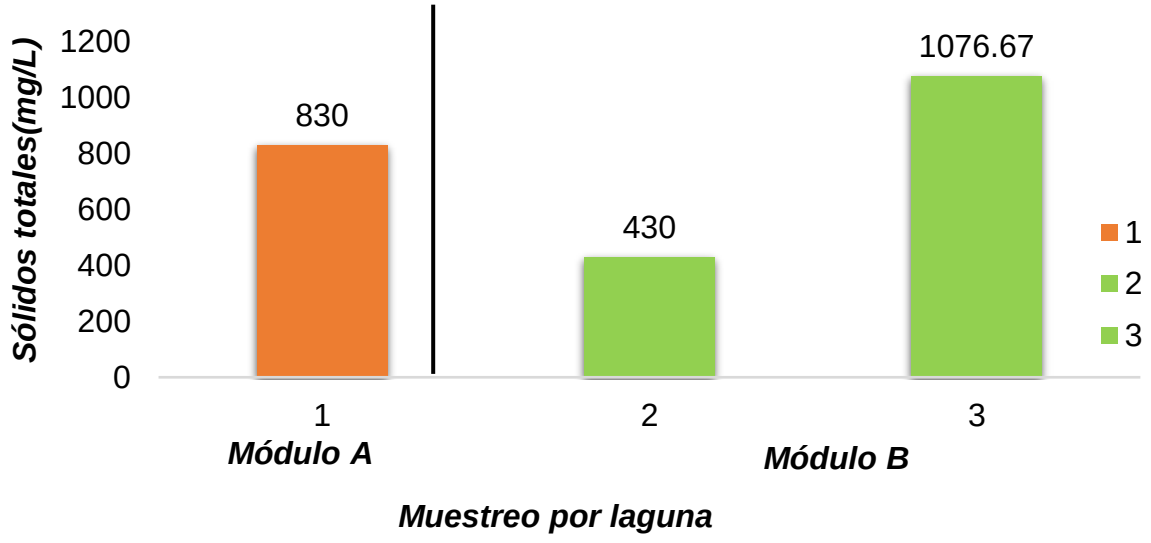
Al observar los resultados de los días de 17 y 21 presentan unas concentraciones de 78.96 mg/L y 77 mg/L, se puede observar que existen una tendencia a un valor más estable con respecto al día 23 de febrero.

A nivel internacional existen como referencias los rangos 11-160 mg/L de concentración de nitrógeno, para el sector lácteo, al observar los valores reportados en la gráfica tres, las concentraciones de los días 17, 21 y 23 de febrero se encuentran en el intervalo establecido (Villena, 1995).

c) Concentracion de sólidos suspendidos totales

En La gráfica 4 se puede observar que en el módulo B, en la fecha del 23 de febrero se da la mayor la concentración de SST de 1,076.67 mg/L, esto se relacionan con presencia de sólidos suspendidos y disueltos ya que se descargan sustancias orgánicas e inorgánicas, parte de cuajado del proceso, residuos de productos y elaboración de quesos, así como, residuos de las actividades de limpieza.

Gráfica 4. Concentraciones de solidos suspendidos totales

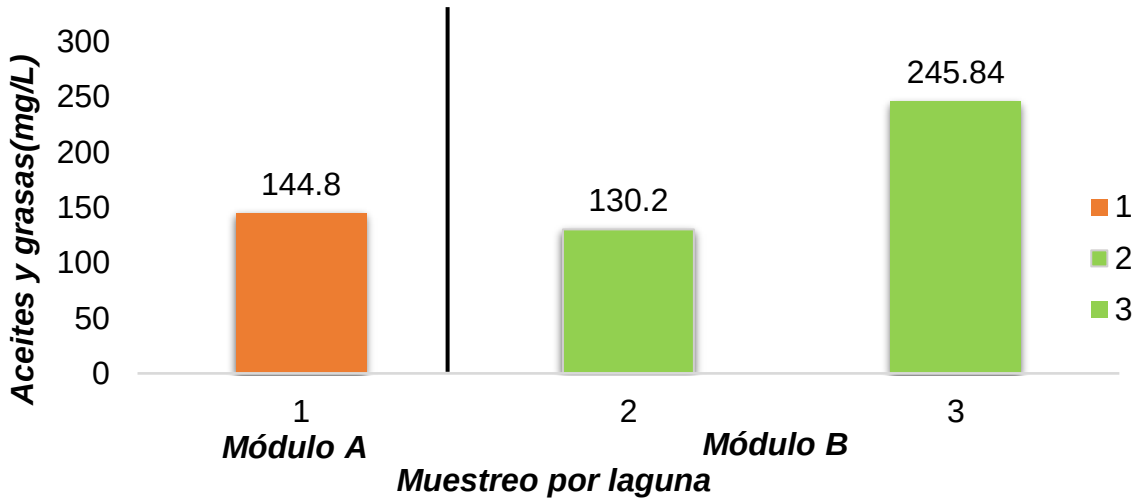


La concentración de SST se establece a nivel internacional en los rangos de 135 - 8,500 mg/L, en contraste con este intervalo se observa que las concentraciones de los módulos A y B, se encuentran dentro de lo establecidos (Villena, 1995).

d) Concentración de aceites y grasas

De acuerdo con la gráfica 5, las concentraciones de aceites y grasas, son muy variables con el pasar de los días. Las variaciones en las concentraciones se debe a que las características del agua varían considerablemente de una jornada a otra debido a la limpieza de lecheras metálicas, limpieza de camiones, cisternas que generan unos residuos en los que la cantidad de grasa es abundante, ya que el propio transporte de la leche provoca un desnatado parcial de la misma, también por la estandarización de leche, como se observa el día 23 de febrero presenta la mayor concentración de 245.84 mg/L y la fecha del 21 de febrero la menor concentración de 130.2 mg/L.

Gráfica 5. Concentración de aceites y grasas



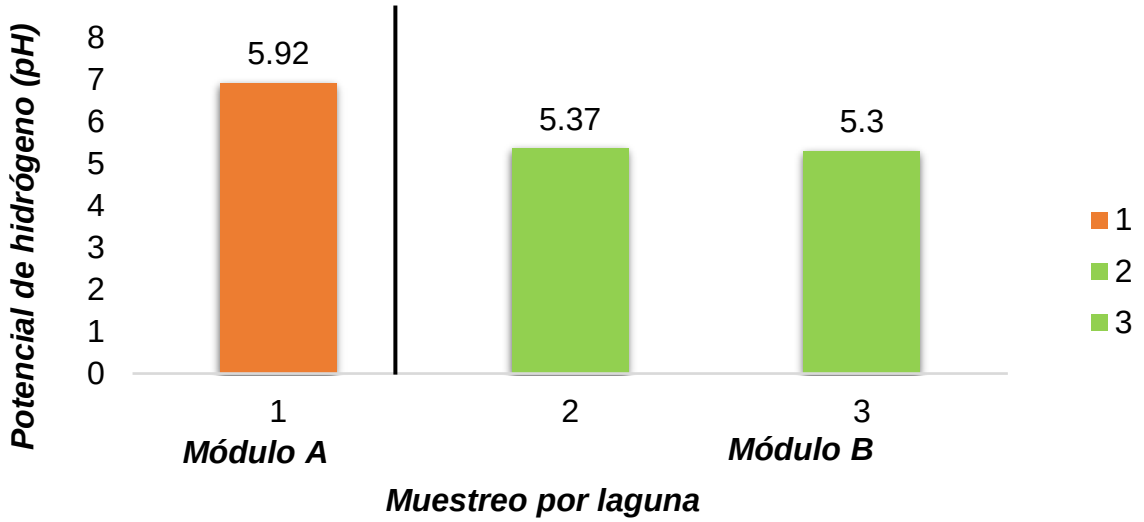
A nivel internacional se establecen rangos de 35 - 500 mg/L, se pueda observar que las concentraciones reportadas en la gráfica 5, están dentro del rango (Villena, 1995).

e) pH

Se observa en la gráfica 6, que el parámetro de pH de los días 21 y 23 de febrero, son ácidas esto debido a que la mayor parte de las aguas residuales lácteas proceden de lavados de áreas de proceso, donde se eliminan restos de productos con ácido y no se dosifica bien la concentración de sosa así como el uso de los

desinfectantes, siendo muy variable como se aplican estos productos con el pasar de los días, cabe mencionar que en la fecha del 17 de febrero la concentración del pH está en un rango neutro esto debido a que se generó un mayor caudal, y provoco un efecto de dilución.

Gráfica 6. Concentraciones de pH



A nivel internacional se establecen rangos de 5.3 -9.4 pH, en el que se observa que las muestras en la fecha del 21 y 23 de febrero, están en el límite de los rangos, mientras que el 17 de febrero está dentro de los rangos (Villena, 1995).

4.4 Cuarta etapa: Regulaciones ambientales y eficiencia de remoción de CC

4.4.1 Resultados de análisis fisicoquímicos con respecto a las regulaciones ambientales

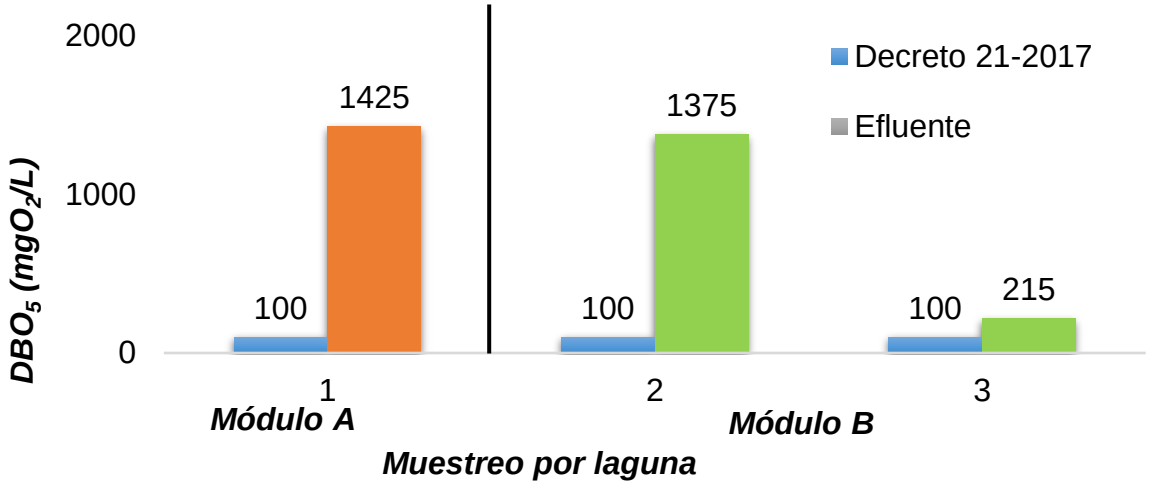
a) Concentración de DBO_5

En la gráfica 7, se representan los resultados de las muestras de efluente para los módulos A y B, que fueron de tipo puntuales, tomadas en diferentes puntos de las lagunas, ya que no posee tubo de descarga de efluente.

En la gráfica 7 se puede observar que ninguno de los módulos de la PTAR cumple con el límite máximo permisible de descarga de 100 mg/L. La descarga del efluente constituye un riesgo de contaminación por materia orgánica, al observar que las concentraciones son de agua cruda sin tratamiento, esto debido a que las lagunas

no tienen la capacidad de degradar las altas concentraciones que se le están descargando.

Gráfica 7. Concentración de efluente



Se observa en la figura 18, que la descarga del efluente se hace por rebose debido a la falta de mantenimiento en la válvula de descarga que se averió y necesita un remplazo. El efluente parcialmente tratado se ira por escorrentía a la quebraba Coyanchigüe.

Figura 16. Rebose de efluente de lagunas



En la laguna del módulo B, los resultados de la concentración de materia orgánica con respecto a DBO_5 son variables en el efluente con concentraciones de 1,375 y

215 que varía en comparación con los resultados de la laguna en el módulo A, que es de 1,425.

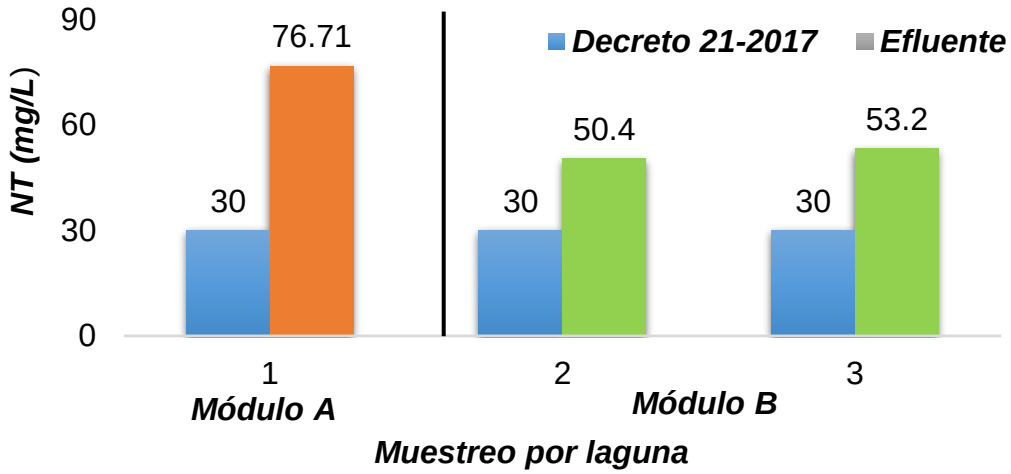
El módulo A estaba en mantenimiento, por ende, se tomaron dos muestras puntuales en días diferentes a la misma hora, ya que se encuentra en operación actualmente. En la primera muestra tomada a las 10:00 am, presentó una elevada concentración de materia orgánica, debido a que el caudal es bajo por ende habrá una mayor concentración de contaminantes, en la segunda muestra presenta gran reducción de la materia orgánica, debido a que hay más caudal de entrada, por ende, la concentración de contaminantes será menor.

Se considera que las lagunas primarias funcionan con un buen porcentaje de remoción, debido a que dicho valor es cercano al rango de 70-85% de DBO_5 establecido en la NTON 05-027-05 (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, 2018) para todo el sistema de tratamiento conformado por lagunas facultativas.

b) Concentración de nitrógeno total

Se presenta la gráfica 8 donde se comparan los resultados con el Decreto 21-2017, se puede apreciar que no se cumple con los limites máximo permisibles, esto se debe a que las lagunas no son eficientes en la remoción de nutrientes.

Gráfica 8. Concentración de nitrógeno



En la gráfica 8 se puede observar que en el módulo B existe poca variabilidad en la concentración de nitrógeno y al ser contrastado con el módulo A, se observa una mayor concentración de NT esto se debe a que al aumentar los períodos de retención los microorganismos metabolizan la materia orgánica y la transforman a compuestos nitrogenados para oxidar materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

Las altas concentraciones de nitrógeno en el efluente, es debido a que leche contiene amonio y fosfatos procedentes de los aminoácidos, así como, una fuente de proteínas que proviene principalmente en forma de caseína, por lo cual se da una fase de formación aeróbica de amonio a nitritos a partir de la materia orgánica y otra fase en la que el nitrito es oxidado a nitrato por las bacterias nitrificantes, en esta fase el crecimiento que se establece entre las poblaciones de microorganismos autótrofas y heterótrofas, provocan una inhibición del proceso de nitrificación causando que la concentración de nitrato cae a cero y se transforma en nitrito, posteriormente en nitrógeno en un fase gaseoso, el cual por sus propiedades es liberado a la atmosfera y otro remanente es liberado en el efluente, dando como resultados un aumento en la concentración de nitrógeno en las lagunas.

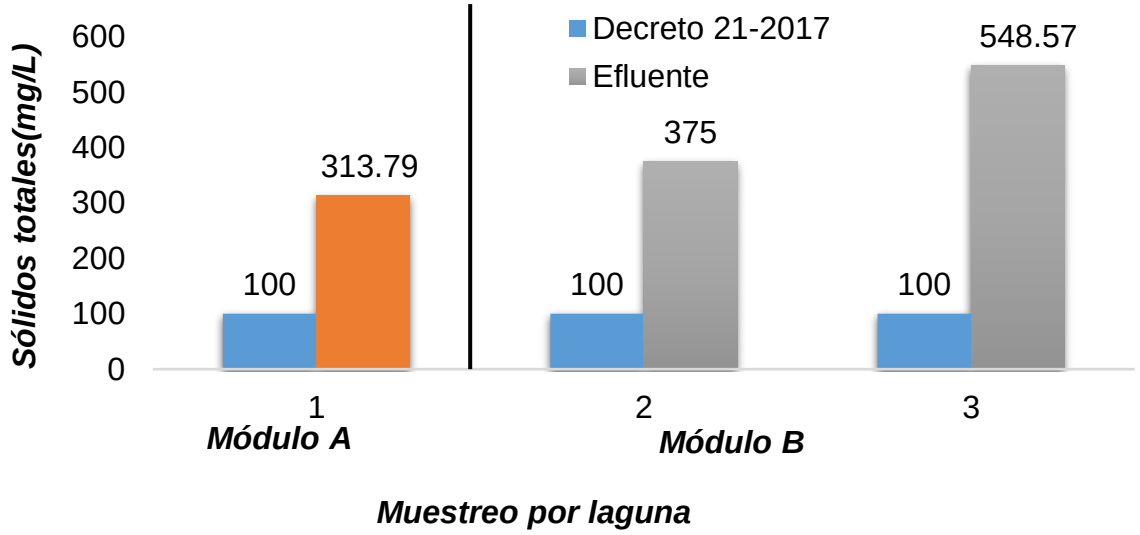
c) Concentración de SST

De la gráfica 9, se puede observar que las altas concentraciones de SST se encuentran concentrados en las lagunas por la falta de una unidad de desarenador en el pretratamiento, además, se debe considerar que, en el momento de limpieza de las áreas de proceso, el agua arrastra un alto contenido de sólidos y se concentraran en el efluente al no poder ser sedimentados con eficiencia en las lagunas.

Por esta razón, se observa que se excede en más de 200 mg/L SST, en el efluente que está siendo descargado por la PTAR. El Módulo A y B mantienen una tendencia a los 344 mg/L de SST como promedio, con una concentración de 548.57 mg/L en el módulo B al parecer atípica dada la tendencia, pero se relaciona con un aumento

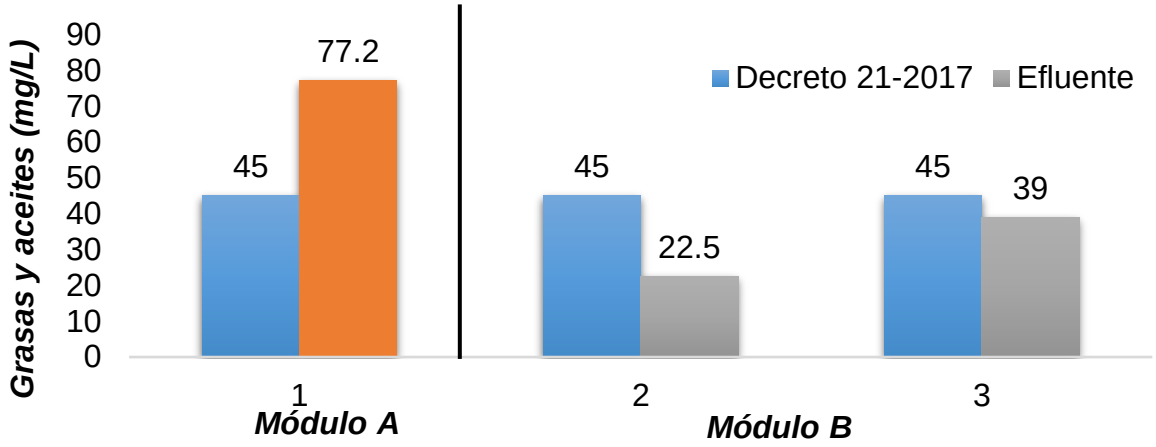
del caudal el 23 de febrero que trajo consigo una alta concentración de sólidos, ver gráfica 9.

Gráfica 9. Concentración de SST



d) Concentración de grasas y aceites

Gráfica 10. Concentración de grasas y aceites



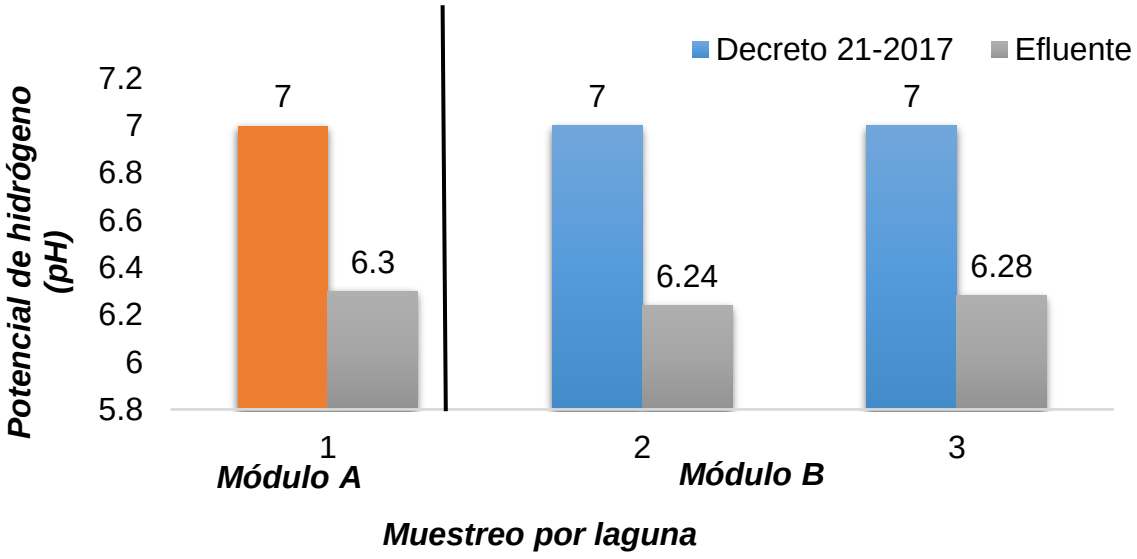
Se muestran las concentraciones de aceites y grasas, que excede los límites máximos establecidos en el Decreto 21-2017, debido a que existe una abundante concentración de grasas y aceites, esto se debe a que los procesos de elaboración de los productos lácteos generan una emulsificación de las grasas en el agua, además que no se cuenta con una unidad de pretratamiento que se encargue de la

reducción de las grasas y aceites, esto afectara tanto en el afluente como el efluente.

e) pH

Se observa en la gráfica 11, que las muestras analizadas están dentro del límite máximo permisible establecido en el decreto a un pH neutro, esto se debe a que lagunas al contener un volumen considerable sirven, como homogeneizadoras de pH. A pesar de las variabilidades en cuanto a operaciones y falta de mantenimiento se logra tener un pH con una tendencia en promedio para ambas lagunas de 6.27 que está dentro del rango establecida en las regulaciones ambientales.

Gráfica 11. Potencial de hidrogeno efluente



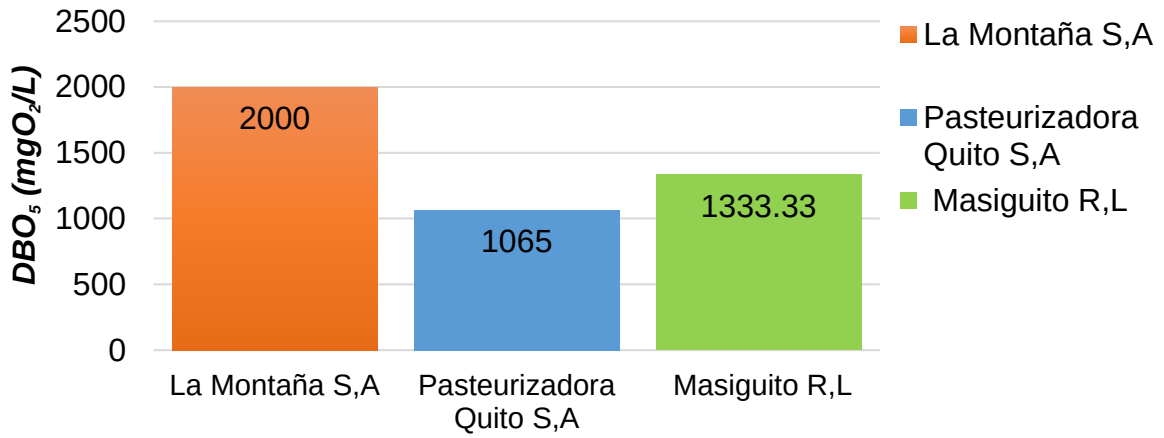
4.4.2 Análisis fisicoquímicos con respecto a otras PTAR

a) DBO_5

En la gráfica 12, se presentan las concentraciones de afluentes con respecto a DBO_5 de la PTAR Masigüito R, L; La montaña S, A y Pasteurizadora Quito S, A, en los cuales se observa una variabilidad de las concentraciones, esto se debe a que la DBO_5 en los afluentes dependen inicialmente de las áreas de procesos industriales que son vertidas a las PTAR.

Se puede observar en la gráfica 12 que la empresa La montaña S, A, presenta una elevada concentración de 2,000 de mgO_2/L de DBO_5 esto debido a que descargan lacto-suero en su sistema, con respecto a la pasteurizadora Quito S, A y Masigüito R.L, que presenta concentraciones inferiores en el orden de 1,065 y 1, 333 mgO_2/L esto debido a que se relacionan con las actividades del procesamiento de la materia prima; lavado de equipos, instalaciones y derrames de leche de las etapas de procesamiento.

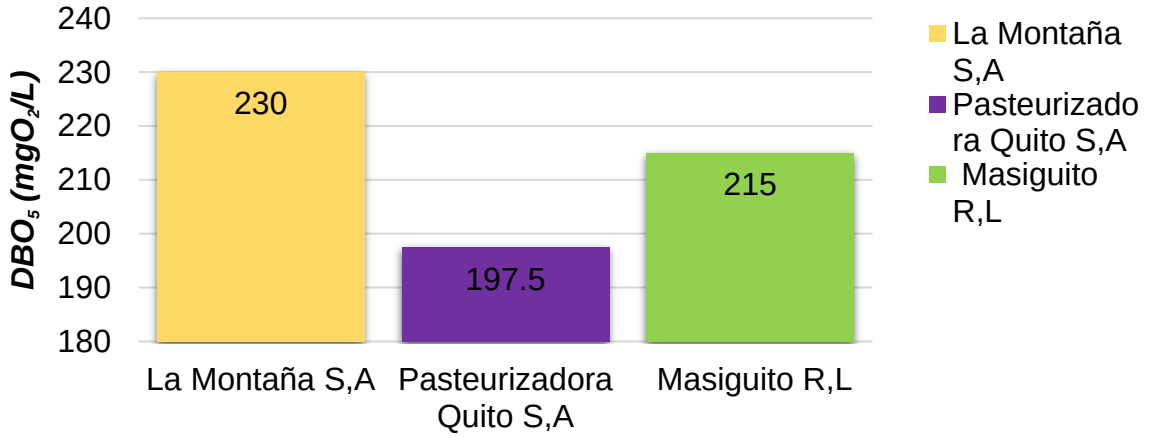
Gráfica 12. Concentraciones DBO_5 afluente



Afluente general

Con respecto a los efluentes que se generan de las industrias analizadas, se muestran en la gráfica 13, las concentraciones de DBO_5, de las PTAR.

Gráfica 13. Concentraciones DBO_5 efluente



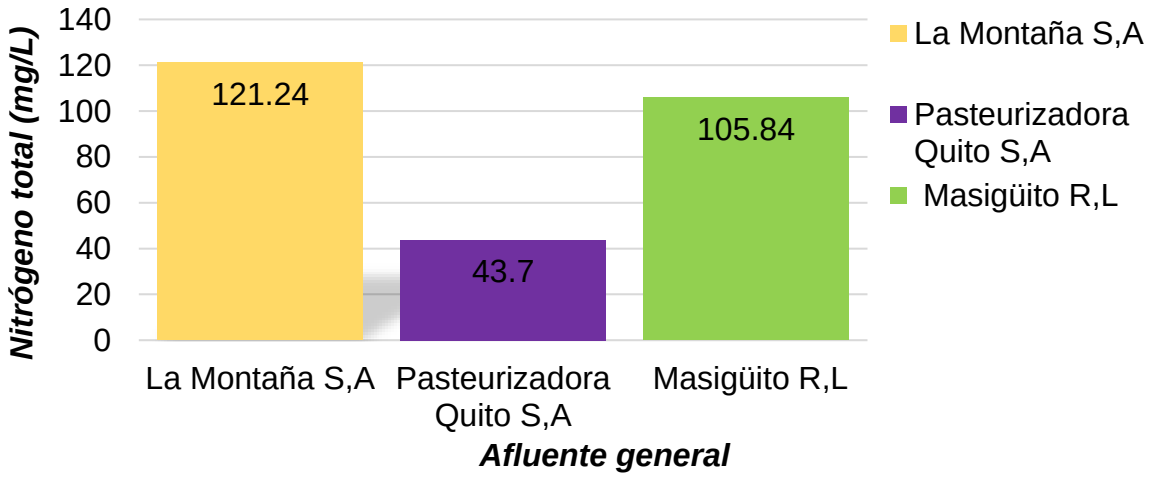
Efluente general

Al realizar la interpretación de los resultados mostrado en la gráfica 13 se obtiene que las concentraciones de la montaña S, A, son de 230 mgO_2/L, debido a que su sistema posee un reactor anaeróbico, diseñado para el tratamiento de concentraciones medias a altas con un 89% de eficiencia en remoción de DBO_5, con respecto, a la empresa la empresa Quito S, A, presenta 197.5 mgO_2/L, debido a que su sistema presenta un DAF, que tiene una eficiencia del 89 % en la remoción de DBO_5, no obstante la Masigüito R.L reporta una concentración de 215 mgO_2/L, debido que sus unidades depuración primaria son lagunas facultativas que están diseñadas para la remoción de materia orgánica, logrando una eficiencia de remoción del 84%, se puede concretar que las eficiencias varían de acuerdo a las unidades de depuración que sean implementadas, en el caso particular de la empresa Masigüito R.L, solo cuenta con unidades lagunares como tratamiento por lo que no cumplirán con el Decreto 21-2017.

b) Nitrógeno

En la gráfica 14, se presenta las concentraciones de afluente con respecto a nitrógeno de las PTAR Masigüito R, L; La montaña S, A y Pasteurizadora Quito S, A, las cuales varían, considerando los procesos limpieza en las diferentes áreas de procesos industriales, así como, los diferentes productos empleados para la limpieza.

Gráfica 14. Concentraciones del nitrógeno afluente



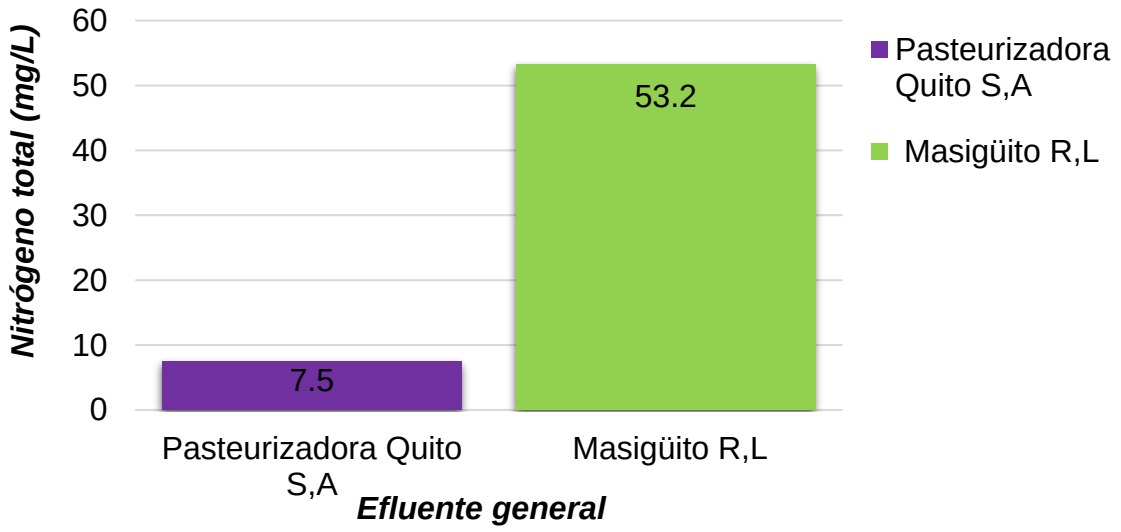
De los resultados comparados en la gráfica 14, se observa que las concentraciones son muy variables y dependientes de los procesos internos de limpieza, así como, el tipo de producto que se elaboran, por esta razón, se observa que la montaña S, A, presenta 121.24 mg/L, debido a que en cada etapa de procesamiento se generan residuos lácteos, así como, el lavado de las lecheras metálicas durante la mañana.

Los residuos lácteos deben ser retirados de los equipos e instalaciones para asegurar las condiciones de asepsia que establecen las normativas de inocuidad de alimentos, por lo que se requiere de grandes cantidades de agua y productos químicos de limpieza (detergentes, sosa caustica), este mismo efecto se ve reflejado en la empresa Masigüito que reporta 105.84 mg/L.

Ahora bien, en la pasteurizadora Quito S, A, presenta 43.7 mg/L esto debido a que su producción es diferente, dedicándose únicamente a bebidas lácteas simples y saborizadas, por lo que las actividades de limpieza son más reducidas.

Con respecto a los efluentes que se generan de las industrias analizadas, se muestra en la gráfica 15, las concentraciones de NT, de las PTAR.

Gráfica 15. Concentraciones del nitrógeno Efluente



En la gráfica 15, se presenta las concentraciones de efluente con respecto a nitrógeno de la PTAR Masigüito R, L y Pasteurizadora Quito S, A, los cuales sus

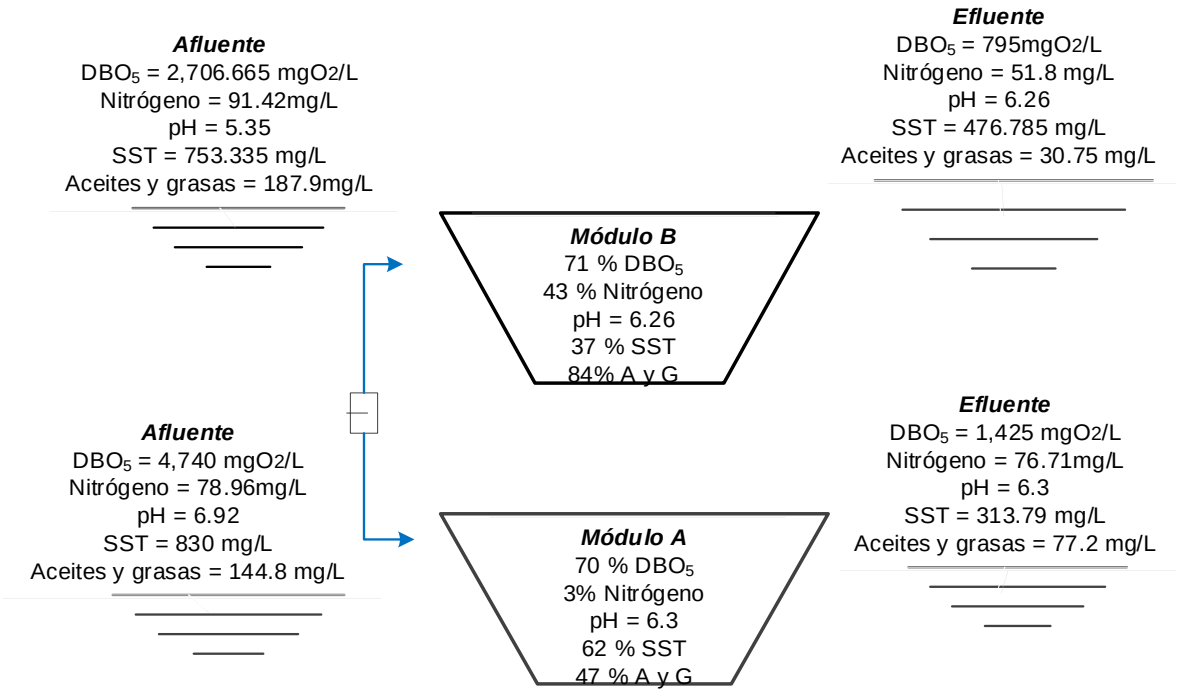
resultados varían, debido a que éstas dependen inicialmente de las actividades de limpieza en las diferentes áreas de procesos y los productos que utilizan para ello y posteriormente la tecnificación de las unidades de depuración que emplean, siendo la más básica las lagunas de la PTAR Masigüito R, L.

En los resultados se muestra una reducción de nitrógeno en la planta Masigüito R, L, de 53.2 mg/L, debido a que el sistema lagunar no está diseñado para remoción de materia nitrogenada. En cuanto a Pasteurizadora Quito S, A, presenta 7.5 mg/L, ya que el sistema cuenta con tren de tratamiento completo como es: Trampa de grasa + tanque de homogenización, posterior un DAF, luego un tanque de almacenamiento y como unidades de remoción de nutrientes, se cuenta con dos biofiltros en paralelo que están diseñados para reducir nutrientes.

4.4.3 Determinación de las eficiencias de remoción de contaminantes en la PTAR

Se puede observar en el esquema 5, las diferentes eficiencias de remoción de los distintos contaminantes evaluados.

Esquema 5. Rendimiento obtenido en cada unidad de la PTAR



Los resultados obtenidos en cuanto a remoción de DBO_5 fueron muy buenos considerando que se logra remover en el módulo A 70% y en el módulo B 71%, a pesar del abandono en el que se encuentra la PTAR. Las eficiencias de remoción conseguidas en DBO_5 son el reflejo que los sistemas lagunares son muy buenos para la remoción de estos contaminantes, aun siendo mal operados, reportándose las mismas eficiencias del 70% que han sido encontradas en otras investigaciones como las de Betanco (2018); Blandon & Valenzuela (2018); Larios & Pravia (2018); Pinell & López (2017); Cortés Martínez, et al. (2011); Yanez Cossio, (1990), todas estas invesitigaciones evaluaron la degradación de DBO_5 en los sistemas lagunares.

Todos los investigadores antes mencionados reportaron que las lagunas no fueron muy eficientes en la remoción de nitrógeno, esto se debe a los procesos biológicos que se requieren para lograr la desnitrificación parcial, no se puden llevar a cavo en estas unidades de depuración, siendo esta la razón por la que se consiguieron efiencias tan bajas de 3% y 43% de remoción de NT para los módulos A y B.

La eficiencia de las lagunas facultativas es relacionada a la temperatura y al tiempo de retención hidráulica, como se ve en la tabla 16.

Tabla 16. Relación entre temperatura, tiempo de retención hidráulica y eficiencias en las lagunas facultativas.

Temperatura, º C	TRH, días	Remoción de DBO %	Fuente
10-15	4-5	30-40	Yánez (1992)
15-20	2-3	40-50	
20-25	1-2	50-60	
25-30	1-2	60-80	
34	6	70	Módulo A - 17/02/2021
31	9	71	Módulo B - 23/02/2021

Fuente: Yánez (1992).

Se puede observar en la tabla 16 que la eficiencia en la remoción de materia orgánica está afectada directamente por la temperatura y no por los periodos de retención, esto debido a que la radiación solar, afecta a la fotosíntesis, así como, el metabolismo de las bacterias responsables de la remoción de materia orgánica. Cuando hay bajas temperaturas los microorganismos bajan la eficiencia de degradación debido a que no se encuentran en las condiciones óptimas para que ellas logren hacer su función. Siendo esta la razón por la que se logran eficiencias del 70% en los módulos de la PTAR y no por lo períodos de retención extendido que tienen los módulos.

4.4.4 Determinación de la carga orgánica

Las concentraciones de DBO_5 se utilizaron para la determinación de carga orgánica en cada unidad de depuración, se observa en la tabla N° 17 la determinación de la carga orgánica total en función de la DBO_5. Así como la carga de nutrientes con respecto a la concentración de nitrógeno.

Tabla 17. Cargas contaminantes totales

Unidad de tratamiento	**Concentración (g/m^3)**	**Qprom (m^3/d)**	**CO (kg DBO_5/día)**
Laguna 1 módulo A	4,740	213.12	1010.19
Laguna 2 módulo B	2,106.67	213.12	576.85
Carga orgánica (CO)			1587.04

Unidad de tratamiento	**Concentración (g/m^3)**	**Qprom (m^3/d)**	**CN (kg NT/día)**
Laguna 1 módulo A	78.96	213.12	16.83
Laguna 2 módulo B	91.42	213.12	19.48
Carga nitrogenada (CN)			36.31

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 17, las cargas contaminantes diarias que ingresa al sistema de tratamiento que será usado como una masa de sustrato (DBO_5 y NT) en los módulos lagunares y que serán estabilizados en el tratamiento biológico.

Al analizar las cargas másicas en los módulos lagunares se hace necesario como paso previo analizar las cargas volumétricas que es una relación entre la masa de un determinado contaminante por unidad de tiempo, en el caso del módulo A es de 789.83 kg de $DBO_5*m^{-3}d^{-1}$ con respecto 1010.19 kg DBO_5/día de materia orgánica diaria por lo que la planta de tratamiento tiene una sobre carga orgánica diaria de 220 kg DBO_5/día.

En el caso del Módulo B su carga volumétrica es de 323.86 kg de $DBO_5*m^{-3}d^{-1}$ con respecto 576.85 kg DBO_5/día de materia orgánica diaria por lo que la planta de tratamiento tiene una sobre carga orgánica diaria de 252.99 kg DBO_5/día.

Para la degradación de la materia orgánica es necesario que exista una carga de nutrientes en el flujo de agua en los sistemas de tratamiento, pero esta no debe exceder de su capacidad volumétrica para evitar el exceso de biomasa dentro de las lagunas por esta razón, se observa que el módulo A entran diariamente 16.83 kgNT/día y su capacidad volumétrica es de 13.15 de $NT*m^{-3}d^{-1}$ se verá un excedente diario de 3.66 kgNT/día. Con respecto al módulo B entran diariamente 19.48 kgNT/día y su capacidad volumétrica es de 10.936 de $NT*m^{-3}d^{-1}$ se verá u n excedente diario de 8.54 kgNT/día.

Tabla 18. Cargas contaminantes totales efluente

Unidad de tratamiento	**Concentración DBO^5 (g/m^3)**	**Qprom (m^3/d)**	**COT (kg DBO_5/día)**
Laguna 1 módulo A	1,425	217.74	310.29
Laguna 2 módulo B	795.00	206.52	164.18
Carga orgánica total (COT)			474.47

Unidad de tratamiento	**Concentración NT (g/m^3)**	**Qprom (m^3/d)**	**COT (kg NT/día)**
Laguna 1 módulo A	76.71	217.74	16.70
Laguna 2 módulo B	51.80	206.52	10.70
Carga orgánica total (COT)			13.70

En la tabla 18 se observa, una suposición de las cargas contaminantes de la DBO_5 Y NT diarias que salen del sistema de tratamiento dado que no cuenta con una

válvula de descarga, cabe destacar que se tomó en cuenta el caudal de entrada afectado por evaporación en cada módulo y las concentraciones del efluente.

En el caso del módulo A es de 310.29 kg DBO_5/día de materia orgánica diaria por lo que la planta de tratamiento tiene una eficiencia sobre carga orgánica diaria de 69 %.

En el caso del Módulo B, es de 164.18 kg DBO_5/día de materia orgánica diaria por lo que la planta de tratamiento tiene una eficiencia sobre carga orgánica diaria de 72 %.

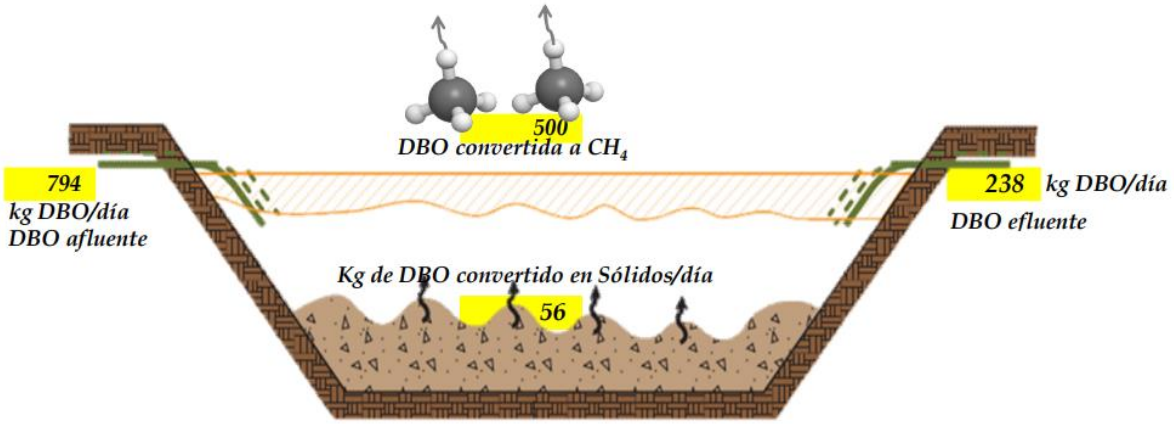
Con respecto al nitrógeno total, se observa que el módulo A, salen de materia nitrogenada diariamente 13.050 kgNT/día, por lo que la eficiencia es de 1%.

Con respecto al módulo B salen diariamente 10.70 kgNT/día de materia nitrogenada, por lo que la eficiencia es de 3%.

Se debe considerar que los sistemas lagunares no son óptimos en la remoción del nitrógeno dado su nula capacidad de desnitrificar por completo los subproductos.

4.4.5 Balance de masa de materia orgánica, NT, Aceites y Grasas, SST

Esquema 6. Biodegradación de la materia orgánica en la laguna



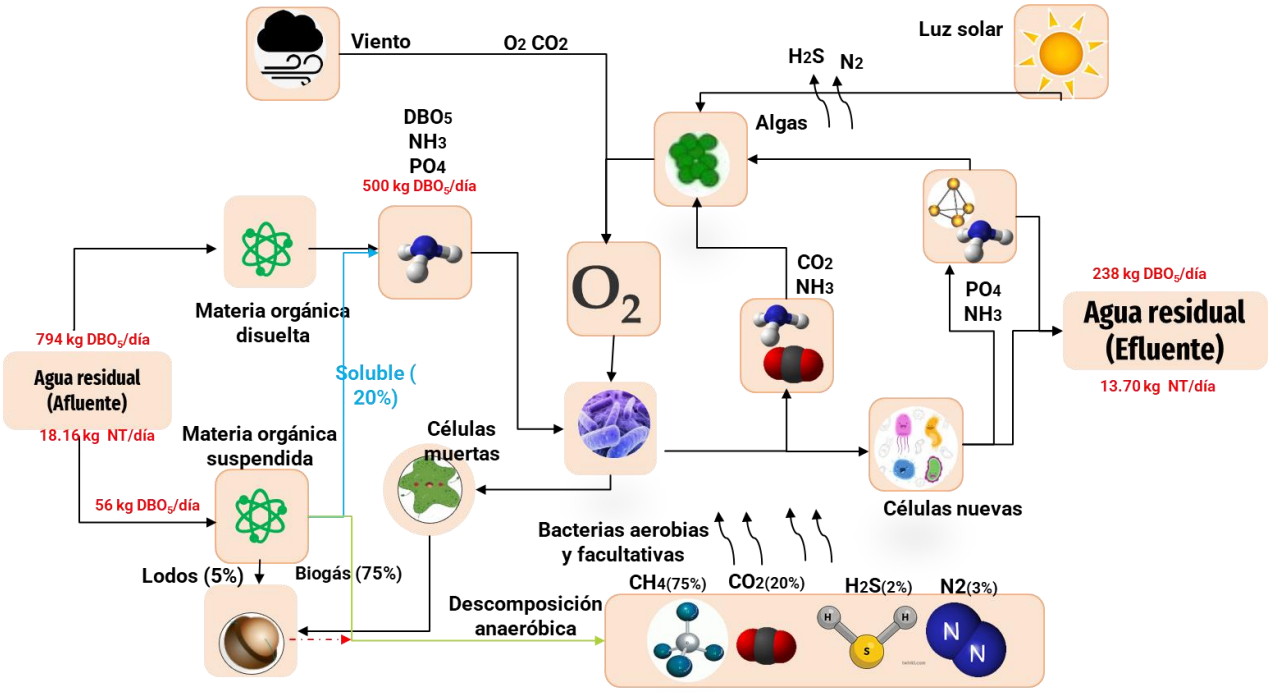
Se observa en el esquema 6 una entrada de carga másica diaria de 794 kg DBO_5/día, de los cuales el 63% es materia orgánica disuelta que se transforma en CH_4 en la zona facultativa y aerobia lo que corresponde a 500 kg de DBO/día, por

otro lado, el 7% es materia orgánica suspendida que es metabolizada en la zona anaerobia en lodo, lo que representa 56 kg de sólidos/día, como resultado de estos procesos metabólicos se logra una reducción de la carga másica del 70% que corresponden a 238 kg DBO/día, que son descargado diariamente por rebose en el perímetro de los módulos lagunares.

4.4.6 Biodegradación de la materia orgánica y nitrogenada

En el siguiente esquema se representa la biodegradación de la materia orgánica con respecto a la DBO_5 en la PTAR Masiguito.

Esquema 7. Rutas metabólicas de cargas másicas y nitrogenadas



Al analizar la biodegradación orgánica y nitrogenada de las aguas residuales industriales de la empresa Masigüito R.L ver esquema 7, las rutas metabólicas y subproductos de la estabilización de los contaminantes analizados.

Se puede observar en el esquema 7 que la carga másica de materia orgánica diaria es de 794 kg DBO_5/día y la carga másica nitrogenada es de 13.93 kg NT/día que fueron metabolizados por los microorganismos en dos etapas:

Con respecto a la primera etapa la materia orgánica disuelta (ver esquema 6) sufrió una transformación de 500 kg de DBO_5/día y 0.28 kg NT/día en la zona facultativa y aerobia, se puede observar que en las rutas metabólicas se da una transformación de amonio a nitritos a partir de la materia orgánica (500 kg de DBO_5/día) en simbiosis entre las poblaciones de microorganismos autótrofas y heterótrofas en la que el nitrito es oxidado a nitrato por bacterias nitrificantes, el proceso de nitrificación se inhibe y la concentración de nitrato cae a cero por lo que se transforma en nitrito que luego es transformado una parte en nitrógeno gaseoso que se va a la atmosfera y la otra que es descargado en el efluente con una carga másica de 13.70 kg NT/día.

En la segunda etapa la materia orgánica suspendida, es usada por los microorganismos para el catabolismo y anabolismo, se puede observar en el esquema 7 la transformación a 56 kg de DBO_5 de materia orgánica suspendida, de tal manera que el 5 % se convierte en lodo, un 20% se encuentra diluido de manera floculante en la matriz de agua, por último, con un 75% el subproducto de la estabilización de la materia orgánica suspendida en el fondo de la laguna como es el metabolito conocido como biogás. Este subproducto de la estatización(biogás) a su vez se descompone en; 20% CO_2, 75% en metano, 3% en N_2 y el otro 2% en otros gases que son liberados a la atmosfera.

Conclusiones y recomendaciones



“ No es la contaminación que esta dañando al ambiente. Son las impurezas en nuestras aguas las que lo están haciendo”

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El resultado de la determinación de la degradación de contaminantes orgánicos y nitrogenados en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales láctea de Masigüito R.L, dió inicio conforme al funcionamiento operacional de la planta de tratamiento de aguas residuales, se encontró que existe un abandono parcial en cuanto al mantenimiento de obras civiles en las unidades de depuración. más aún, se encontró que los taludes están erosionados, por falta de mantenimiento, la válvula de descarga en el efluente está dañada a causa de esto se da rebose de agua en los periféricos de las lagunas y son descargados en la quebrada Coyanchigüe.

Por lo que se refiere al exceso de natas, grasas y sólidos flotantes son un reflejo de la carencia operacional, porque no se hacen operaciones de limpieza en el cárcamo de bombeo, así como, la falta del diseño de unidades de pretratamiento que remuevan estos contaminantes.

En cuanto a la determinación del caudal se realizaron en 13 aforos consecutivos de 10 horas cada uno, realizados desde el 15 al 27 de febrero del año 2021, dando como resultado un caudal promedio en 212.13 m^3/día, sin embargo, en efluente no se registró caudales ya que la válvula de descarga está dañada.

Por lo que se refiere al levantamiento batimétrico se encontró una distribución variable de los lodos sedimentados en los módulos A y B, debido a que no se cuenta con un pretratamiento se da la acumulación de solidos sedimentables en las zonas de descargas de afluente, así como, en el perímetro de la válvula de descarga de efluente. Por otro lado, el volumen de lodo en el módulo A, es de 421.00 m^3 y en el módulo B, es de 419.32 m^3, lo que resulta en una reducción del volumen útil del 25%, para el módulo A y en el módulo B de 19%.

En relación con los TRH, fueron de seis días para el módulo A y nueve días en el módulo B, la diferencia en los TRH, se debe a que los módulos son de volúmenes

variables, se puede concluir que tiene una mayor importancia la temperatura que los períodos de retención en la eficiencia de la PTAR.

El siguiente aspecto trata sobre las concentraciones obtenidas en el efluente, debido a que no se cuentan con las válvulas de descarga se decidió tomar las muestras en los puntos donde se da el rebose en las lagunas. De tal manera que los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio de acuerdo a los parámetros establecidos en los Art. 34, del Decreto 21-2017, se obtiene que la PTAR no cumple con los límites máximos permisibles, con respecto a DBO_5 ya que, el valor máximo permisible es de 100 (mgO_2/L) y la concentración del efluente es de 1,425 mgO_2/L en el módulo A y en el módulo B una concentración de 795 (mgO_2/L), así como, el nitrógeno total no cumple ya que el valor máximo permisible es de 45 (mg/L) y su valor en el efluente en el módulo A, es de 76.71 mg/L y en el módulo B, con un promedio de 51.8 mg/L. Por otro lado, el potencial de hidrógeno cumple con el LMP ya que se encuentran dentro del rangos de 6-9.

En relación a la eficiencia de remoción de los contaminantes, se determinó que el módulo A tiene una eficiencia en cuanto a: DBO_5 el 70%, 3% NT, 62% SST, 47% aceites y grasas. En cuanto al módulo B da una eficiencia de 71% DBO_5, 43% NT, 37% SST, 84% aceites y grasas. Pese a que la PTAR cuenta con una eficiencia bastante significativa respecto a la remoción DBO_5, su disposición final no cumple con el valor máximo permisible, así como el nitrógeno total, con base al artículo 34 Decreto 21-17.

Para el caso de las cargas contaminantes de DBO_5, se calcularon a través de las ecuaciones de Chernicharo & Bressani-Ribeiro (2019), dando como resultado para el módulo A una carga másica orgánica de 310.29 kg DBO_5/día, dando una eficiencia de remoción del 69 %. Con respecto al módulo B da como resultado una carga másica orgánica de 164.18 kg DBO_5/día logrando una eficiencia de remoción 72 %. A pesar que la PTAR tiene una alta remoción de carga orgánica el efluente no es apto para el vertido dadas sus altas concentraciones de materia orgánica que provocaran un efecto de eutrofización.

Al analizar las cargas másicas en los módulos lagunares se hace necesario como paso previo analizar las cargas volumétricas que es una relación entre la masa de un determinado contaminante por unidad de tiempo, en el caso del módulo A es de 789.83 kg de $DBO_5*m^{-3}d^{-1}$ con respecto 1010.19 kg DBO_5/día de materia orgánica diaria por lo que la planta de tratamiento tiene una sobre carga orgánica diaria de 220 kg DBO_5/día.

En el caso del Módulo B su carga volumétrica es de 323.86 kg de $DBO_5*m^{-3}d^{-1}$ con respecto 576.85 kg DBO_5/día de materia orgánica diaria por lo que la planta de tratamiento tiene una sobre carga orgánica diaria de 252.99 kg DBO_5/día.

En cuanto a las cargas contaminantes de nitrogenadas, para el módulo A, la carga nitrogenada es de 13.60 kgNT/día, con una eficiencia de 1%, con respecto al módulo B, que es de 10.70 kgNT/día de carga nitrogenada logrando una eficiencia es de 3%. Se debe considerar que las bajas eficiencias en la remoción de carga nitrogenada en las lagunas se deben a que los sistemas lagunares no son óptimos en la remoción del nitrógeno dado su nula capacidad de desnitrificar por completos los sub productos.

Para la degradación de la materia orgánica es necesario que exista una carga de nutrientes en el flujo de agua en los sistemas de tratamiento, pero esta no debe exceder de su capacidad volumétrica para evitar el exceso de biomasa dentro de las lagunas por esta razón, se observa que el módulo A entran diariamente 16.83 kgNT/día y su capacidad volumétrica es de 13.16 de $NT*m^{-3}d^{-1}$ se verá un excedente diario de 3.67 kgNT/día. Con respecto al módulo B entran diariamente 19.48 kgNT/día y su capacidad volumétrica es de 10.936 de $NT*m^{-3}d^{-1}$ se verá un excedente diario de 8.54 kgNT/día.

A pesar que la PTAR tiene una alta remoción de carga orgánica, el efluente no es apto para el vertido, dadas sus altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes lo que provocaran un efecto de eutrofización.

Considerando toda la carga másica contaminante (DBO_5 y NT) que se vierte en la quebrada Coyanchigue, el efecto directo que origina es la eutrofización debido al exceso de materia orgánica y nitrogenada lo que provoca una ausencia de oxígeno disuelto por ende una proliferación de algas y lechugas de agua. De esta manera, los peces y otra biota presente en el cuerpo receptor se verán extintas.

Se debe tomar en consideración que la quebrada en época de verano no tiene caudal, más que el generado por el efluente de la PTAR, cuando este llega por escorrentía. En la estación lluviosa se genera un mayor caudal en la planta de tratamiento, por lo tanto, el caudal por escorrentía aumenta hacia la quebrada Coyanchigue, lo que genera una contaminación anual de 170, 809.2 kgDBO_5/año de materia orgánica, así como, 4, 932 kgNT/año de nutrientes lo que provoca una seria contaminación al cuerpo receptor, siendo la causa por la que en múltiples ocasiones el MARENA ha multado a la empresa.

Recomendaciones

Para que la PTAR de cooperativa Masigüito tenga sostenibilidad a largo plazo, se deberán de tomar en cuenta lo siguiente:

1. Crear manual de operación y mantenimiento de la PTAR, con el fin de capacitar operadores.
2. Evitar que se produzcan pérdidas del producto de la leche como lo es el lacto-suero.
3. Diseñar y construir una trampa de grasa y de esta manera evitar el exceso de nata en las lagunas.
4. Desarrollar planes de la expansión del sistema de tratamiento de forma que se da el aumento de producción de leche.
5. Implementar un fondo económico con el que puedan cubrir los costos para la remoción y disposición final de lodos cada 5 a 10 años.
6. Realizar inventario de pozos para conocer si existe una contaminación en los pozos cercanos según el acápite 6 de la NTON 05-027 05.
7. Realizar mejora de dosificación de productos químicos tales como: soda cáustica, detergentes, ácido no fosforado y ácidos que eliminan los residuos que deja la leche en equipos con respecto a las necesidades reales de los volúmenes de producción en verano e invierno.

BIBLIOGRAFÍA

Arthur, J. (1984). *Notes on the desig and operation and waste stabilization ponds in wam climates of Developing countries.* Technical paper Number 7 E.U.A.

Betanco, M. (2018). *Evaluación de la remoción de carga de nutrientes y patógenos del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Somoto.* Managua.

Blandon, J., & Valenzuela, Y. (2018). *Determinación de valores per cápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Sébaco.* Managua.

Brock, T. ,. (2004). *Biología de los microorganismos.* Pearson: Pearson educations.

Castillo, E., & Palacios, S. (2013). *La contaminación del agua para consumo humano como problema social en la parroquia Quinara.* loja: Universidad Nacional de Loja.

Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; Diseño de lagunas de estabilizacion.* Mexico D.F: Autor.

Cortés Martínez, F., Luevanos Rojas, A., Luevanos Rojas, R., Uranga Sifuentes, A. C., Avila Garza, C. M., & Gonzalez Barrios, J. L. (2011). Diseño de Lagunas de estabilizacion en serie con diferentes configuaraciones. (Caso comarcalagunera estado de Durango, Mexico). *Revista de arquitectura e ingenieria*.

Cortés, M., Treviño, C., & Tomasini, O. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización.* Mexico: IMTA.

DURMAN. (2018). *Manual Técnico Trampas para Grasa.*

Espigares García, m. y Pérez López, ja. (1985). *aspectos sanitarios del estudio de las aguas.*

Espigares, G., & Perez, L. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.* Granada.: Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones.

Factor de productos Lácteos. (1998). *Guia para el control y prevencion de la contaminacion industrial.* santigo de Chile: Comision chilena de medio ambiente.

George, E. A., Hense, E. M., van Loosdrecht, M., & A. Ekama y D. Brdjanovic. (2017). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño. .* london UK: IWA publishing.

German Society for International Cooperation. (2012). *Diagnostico general de 35 sistemas de tratamiento de agua residual de ENACAL.* Managua, Nicaragua: Autor.

Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingenieria Ambiental.* México: PRENTICE HALL.

Huttunen, J. ,. (2001a). *“Greenhouse Gases in Non- Oxygenated and Artificially Oxygenated Eutrophied Lakes during Winter Stratification”.* J. Environmental .Quality.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, & Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (2004). *Programa Nacional de ordenamiento Territorial de la Republica de Nicaragua.* Managua.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Contribución del Grupo de Trabajo I al Tercer Informe de Evaluación de Cambridge, Reino Unido.* New York, USA: Autor.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Directrices de la IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.* Hayama, Japón: Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES).

Instituto de Toxicología de la Defensa. (2016). *CONDICIONES GENERALES PARA LA TOMA DE MUESTRAS.* Madrid.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2015). *Estudio de mapificación hidrogeológica e hidrogeoquimica de la región central de Nicaragua.* Managua.

KFW. (2016). *Historia del proyecto de agua de Matagalpa y Jinotega.* Autor.

Larios, J., & Pravia, N. (2018). *Determinar valores per cápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) en la ciudad de Matagalpa.* Managua.

Liikanen, A. (2002b). *“Greenhouse Gas and Nutrient Dynamics in Lake Sediment and Water Column in Changing Environment”. in: vol. 147Kuopio University Publications C, Vol. Ph.D. Thesis Natural and Environmental Sciences.* Kuopio, Finland: university publications.

Martinez, G. T. (2002). *Factibilidad tecnica-economica del sistema de alcantarillado sanitario para la ciudad de Juigalpa.* Managua - nicaragua.

METCALF&EDDY,INC. (1996). *Ingenieria de aguas residuales.tratamiento y vertido y reutilizacion.* madrid: Mcgraw Hill Editorial.

Metcalf, E. (1995). *Ingeniería de las aguas residuales vol.1.* España: Impresos y Revistas, S.A (IMPRESA).

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (2018). *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.* Managua, Nicaragua: Autor.

Oakley, S. M. (1998). *Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras: Las Experiencias de Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala.* Tegucigalpa, Honduras: Red Regional de Agua y Saneamiento de Centro América (RRAS-CA).

Oakley, S. M. (2005). *Manual de diseño, construccion, Operacion y mantenimiento, monitoreao y sostenibilidad.* Honduras.

Oakley, S. M. (2005). *Manual de diseño, construccion, Operacion y mantenimiento, monitoreao y sostenibilidad. lagunas de estabilizacion de Honduras.* Universidad Estatal de California.

Oakley, S. M. (2005). *Manual de diseño, construccion, Operacion y mantenimiento, monitoreao y sostenibilidad. lagunas de estabilizacion de Honduras.*

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales.* Lima, Peru: Autor.

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene.* Ginebra, Suiza.

Pinell, W., & López, F. (2017). *Evaluación operacional del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Estelí, departamento de Estelí, Nicaragua.* Managua.

Ramalho, R. S. (1990). *Tratamiento de aguas reciduales.* Reverte.

ROJAS VARGAS.Ricardo. (1996). *Aspectos practicos de Construcion de lagunas de estabilizacion .* Lima-Peru.

Sáenz, F. R. (1985). *Lagunas de estabilización y otrossistemas simplificados para el tratamientode aguas residuales. Serie DTIAPA BID/OPS/OMS Manual C-14, 137.*

The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (1971). *scientific framework of world wáter balance.* Paris.

Thompson, J E, and Duthie, J R. (1968). *"The BlOdegradablhty and Treatment of NTA".* Cincinnati.

Villena, L. (1995). *Contaminación de Industrias Lácteas.* Anales de la Academia de Ciencias Veterinarias(Vol. 8). ACVAO.

Yanez Cossio, F. (26 de 05 de 1990). *Reduccion de organismos patogenos y diseño de lagunas de estabilizacion en paises en desarrollo.* Obtenido de CEPIS: http://www.cepis.org.pe/bvsacd/scan2/015767/015767.pdf

ARICEL SANDIGO & JAREK DIAZ

ANEXOS

