

# PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS EL PAJONAL

## PRE-DESIGN OF A WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR THE EL PAJONAL DAIRY COMPANY

Wilson Javier Samaniego Marin<sup>1</sup>, Marcia Yolanda Núñez Orozco<sup>2</sup>

{wilsonjavier\_94@hotmail.com<sup>1</sup>, marcimex.20@hotmail.es<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 18 de agosto de 2022 /Fecha de aceptación: 14 de octubre de 2022 /Fecha de publicación: 29 de diciembre de 2022

**RESUMEN:** La industria láctea tiene gran importancia en el sector agrícola y ganadero de la provincia de Chimborazo, sin embargo, sus actividades generan problemas de contaminación, debido a los tratamientos de agua inadecuados de sus efluentes, por tal motivo se presenta la propuesta de investigación denominada, pre diseño de una planta de tratamiento de las aguas residuales de la empresa de lácteos “EL PAJONAL” en la parroquia rural de Químiag, perteneciente al cantón Riobamba en la provincia de Chimborazo, la metodología utilizada se basó en el reconocimiento en las instalaciones de los procesos de producción de la industria quesera, posteriormente, se determinó el caudal promedio de la zona de producción y de la zona de lavado mediante el método de flotadores y el método volumétrico, obteniendo un caudal promedio de 1,94 L/s, a partir de muestras compuestas durante un lapso de tiempo de 4 semanas se realizó una caracterización físico – química de las aguas residuales industriales. Los resultados obtenidos indicaron el alto contenido de carga orgánica y grasas en el efluente, bajo esta realidad se evaluó, seleccionó y dimensionó un sistema de tratamiento adecuado para las aguas residuales de la empresa conformado por un tanque homogeneizador, sedimentador primario, sistema de flotación por aire disuelto, tanque de lodos activados, y por último un sedimentador secundario. Finalmente, a través de un balance teórico de remoción de contaminantes se demostró que la implementación del tren de depuración propuesto garantiza un agua tratada que cumpliría con los límites estipulados en la normativa nacional para efluentes industriales.

**Palabras clave:** Efluentes, industria, contaminantes, quesera.

**ABSTRACT:** Colocar aquí acatando la guía para la elaboración de artículos científicos.

The dairy industry is of great importance in the agricultural and livestock sector of the province of Chimborazo, however, its activities generate pollution problems, due to inadequate water treatment of its effluents, for this reason the research proposal called, pre-design of a wastewater treatment plant of the dairy company "EL PAJONAL" in the rural parish of Químiag, belonging to the Riobamba canton in the province of Chimborazo, the

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería; Carrera de Ingeniería Ambiental; Universidad Nacional de Chimborazo - Ecuador; 593968635882

<sup>2</sup> Maestría en Agroindustrias Mención Gestión de la Calidad y Seguridad Alimentaria Versión 2; Instituto de Posgrado y Educación Continua; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador; 5930993397034

technology used was based on the recognition in the facilities of the production processes of the cheese industry, later, the average flow rate of the production area and the washing area will be extended using the float method and the volumetric method, obtaining an average flow rate of 1.94 L/s, from of composite samples over a period of 4 weeks, a physical-chemical characterization of industrial wastewater was carried out. The results obtained indicated the high content of organic load and fats in the effluent, under this reality an adequate treatment system for the company's wastewater was evaluated, selected and dimensioned, consisting of a homogenizer tank, primary settler, flotation system by dissolved air, activated sludge tank, and last a secondary settler. Finally, through a theoretical balance of contaminant removal, it was revealed that the implementation of the proposed purification train guarantees treated water that would comply with the limits stipulated in the national regulations for industrial effluents.

**Keywords:** *Effluents, industry, contaminants, cheese factory.*

## INTRODUCCIÓN

Por la diversidad de procesos y productos que genera la industria láctea, se produce una gran cantidad de residuos de tipo sólido, líquido y gaseoso, incrementándose la cantidad de acuerdo a la productividad, sanidad y calidad de los productos. El queso es el producto principal de la industria, de este proceso se obtiene un subproducto denominado lacto suero en volúmenes altos, siendo el factor más importante en la evaluación de aspectos del medio ambiente en cuanto a esta industria, el contenido de proteínas, lactosa, grasas, vitaminas y minerales son los responsables de valores elevados de DBO<sub>5</sub> y DBO presentes en el mismo (1). El agua es un recurso natural limitado, importante en el desarrollo de la vida animal, vegetal y del hombre. La contaminación de esta es importante, porque tiene influencia directa en la salud del humano, flora y fauna, por ende del ecosistema, para ello se hace necesario la aplicación de la política pública garantizada por los gobiernos sectoriales. Se han realizado estudios documentales bibliográficos, cuyo objetivo fue realizar la revisión de contaminación de los ríos, bajo marco legal para establecer factores que tienen incidencia en la contaminación del río Guayas y sus efluentes, en donde los autores concluyen que los principales factores de contaminación de este río son descargas continuas de aguas residuales, restos de la industria, desechos tóxicos entre otros (2).

En Ecuador se han realizado varios estudios de los cuales se expone a continuación los principios de investigación, en el proyecto denominado: Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas de la planta procesadora “Lácteos Oriente del Ecuador” indica el principio de tratamiento de separación o eliminación de grasas y aceites, por medio de una trampa de grasas (3). De la misma forma en la investigación cuyo tema fue: Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Planta de Lácteos “San Jacinto”, ubicada en el cantón Penipe, provincia de Chimborazo, por medio de una trampa de grasas y aceite (4).

- **Contaminación del agua por la industria**

La contaminación se produce por la introducción de sustancias que ponen en riesgo la salud humana, recursos naturales y ecosistemas (5). La contaminación del agua es la acción de introducir material que altera la calidad y composición química. La Organización Mundial de la Salud indica que el agua esta contaminada “cuando se haya modificado su composición de forma que no se reune condiciones adecuadas para el uso, que hubiera sido destinado en estado natural”. En la actualidad la industria representa una gran fuente de contaminación del recurso agua, porque se produce contaminantes extremadamente nocivos para personas y el medio ambiente, la mayoría de instalaciones industriales vierten sus residuos desde la planta a los ríos, lagos y océanos (6).

- **Parámetros de Análisis de calidad de agua**

Al hablar de calidad de agua se hace referencia a condiciones con respecto a características físicas, químicas y biológicas, en estado natural o luego de haber sido alteradas por la acción del humano, se considera que, el agua es de buena calidad cuando puede ser utilizada sin causar ningún tipo de daño; también debe estar libre de sustancias y organismos que sean desagradables y peligrosos, como el olor, color, sabor y turbidez, la importancia de la calidad de agua reside en que es uno de los principales medios por los cuales se transmite varias enfermedades que enferman al hombre. De ahí que, el agua debe ser evaluada en su calidad total analizando parámetros físicos, químicos y biológicos, en los ensayos realizados se debe evaluar estas propiedades de forma universal para realizar comparaciones con estándares de calidad (7).

Parámetros físicos: para determinar la contaminación del agua se toman en cuenta los siguientes parámetros físicos.

Propiedades organolépticas (color, olor, sabor): Estas propiedades ayudan a identificar si llegara a existir algún indicio de contaminación de la fuente de agua, ya que el color resulta de la presencia de materiales de origen vegetal, como disueltos en suspensión, hierro, turba, ácidos húmicos, además, el color es una característica que esta ligado a la turbidez, el olor y sabor se encuentran relacionados entre si, las sustancias que generan olor y sabor en el agua pueden ser compuestos que se derivan de la actividad de microorganismos o también pueden tener el origen en descargas de desechos de la industria (8).

Turbidez: Esta propiedad indica la presencia de materiales en suspensión, cuya presencia puede ser un indicador de cambios en la calidad del agua, ejemplo contaminación por organismos o por presencia de sustancias inorgánicas como arena, arcilla. Esta propiedad es un factor de importancia ambiental en aguas naturales, puede afectar al ecosistema porque la actividad fotosintética depende de la penetración de la luz, aguas con turbidez alta presentan menor actividad fotosintética afectando a la producción de fitoplancton y también al normal funcionamiento del sistema (8).

Temperatura: Es el parámetro físico que influye en el aceleramiento o retardo de la actividad biológica, absorción de oxígeno, precipitación de compuestos, floculación filtración y sedimentación, de ahí que es considerada como la propiedad física más importante (9)

**Conductividad:** Es considerada como la expresión numérica de la habilidad que tiene el agua para transportar corriente eléctrica, esta depende de la concentración de sustancias ionizadas disueltas en el agua, de ahí que cualquier cambio en la cantidad total de sustancias disueltas, movilidad de iones disueltos implicará un cambio en la conductividad eléctrica del agua, de ahí que esta propiedad se utiliza en muchos análisis de aguas con la finalidad de obtener una estimación rápida de sólidos disueltos, el instrumento más utilizado para medir esta propiedad es el conductímetro (10).

**Parámetros Químicos:** Estos parámetros son muy importantes porque permiten precisar la calidad de agua, e identificar agentes responsables de contaminación como: fenoles, metales pesados, insecticidas, cianuros, entre otros.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBQ):** El oxígeno es importante para la degradación de la materia orgánica en una fuente hídrica, porque el alto contenido de materia orgánica sobrelleva el desarrollo de hongos y bacterias. Cuando la materia orgánica se oxida se ve limitado en progreso de flora y fauna ya que el proceso necesita oxígeno y esto provoca la desaparición del ecosistema acuático por ende las especies (11).

**Oxígeno disuelto (OD):** La presencia de oxígeno es esencial en el agua; la principal fuente es el aire, cuando los niveles de oxígeno son bajo en el agua, puede ser un indicativo de contaminación elevada, además, indica una elevada actividad bacteriana, de ahí que a esta propiedad se le considera como un indicador de contaminación (8).

**Nitratos:** Representa el estado de oxidación localizado en lo más alto del ciclo del nitrógeno, alcanzado concentraciones elevadas luego de la oxidación biológica, son una fuente de nutriente significativo para microorganismos autótrofos fotosintéticos que en muchos casos se transforman en limitantes para el crecimiento (11).

**pH:** Es una propiedad básica que afecta a varias reacciones, el potencial hidrógeno es utilizado para determinar si el agua es neutra, alcalina o ácida, si el pH del agua es menor a 7 se considera como aguas ácidas, mientras que aguas con un pH mayor de 7 se las conoce como alcalinas, por lo general fuentes hídricas no contaminadas presentan valores entre 6,5 a 8,5 (11).

**Parámetros microbiológicos:** Los más comunes son: estreptococos fecales, coliformes totales, coliformes fecales, para determinar los parámetros microbiológicos se requiere una buena técnica de recolección de la muestra, procedimiento de análisis e identificación de colonias, que será importante para diferenciar de otras colonias que también crecen en los medios de cultivo calidad (7).

**Aguas Residuales:** El agua que se encuentra en la naturaleza conlleva determinadas sustancias disueltas o en suspensión que son obtenidas a lo largo de su recorrido, ya sea en la superficie o al interior de la tierra como el caso de las aguas subterráneas, sin embargo, además de estos

agregados que son de origen natural, existen otros que se originan en las sustancias de desecho producto de la actividad del hombre, ya sea arrojadas de forma directa al agua, usando como transporte para la eliminación de productos no deseados, o como consecuencia del lavado. A las aguas residuales se las define como un conjunto de aguas que conlleva elementos diferentes a su composición original, ya sea por causas naturales o inducidas de forma directa o indirecta por actividades humanas, estas pueden estar compuestas por combinaciones de: efluentes de desagüe de viviendas, comercio y oficinas de instituciones públicas y privadas, aguas residuales de la industria, efluentes de la actividad agrícola y ganadera, también se pueden considerar aguas residuales aquellas aguas subterráneas, superficiales producto de la escorrentía que transitan por las calles, de espacios de recreación, terrazas de edificios y tejados que van a parar al alcantarillado (12).

Los efectos perjudiciales de las aguas residuales que producen a los cauces que los reciben son los siguientes: fuertes olores que son causados por las sustancias que contienen en su seno, ya que se produce desprendimiento de gas a consecuencia de la descomposición de sus componentes en ausencia de oxígeno, otro efecto sería la toxicidad por la presencia de algunos minerales, con una afección directa a la flora y fauna del cauce receptor y a los consumidores de esta agua, finalmente puede provocar infecciones debido a la presencia de microorganismos como virus y bacterias que se encuentran presentes en aguas residuales (12).

- **Sistemas de tratamientos de aguas residuales**

El principal objetivo de los tratamientos es que las aguas vertidas cumplan con especificaciones denotadas en la normativa nacional, esto por medio de la eliminación de componentes definidos como contaminantes perjudiciales para el cuerpo receptor, en el proceso de tratamiento se debe considerar factores como la composición, caudal y concentraciones de dichos contaminantes, la calidad solicitada del efluente y las posibilidades de reutilizar, en cuanto a tecnología utilizada para el tratamiento de estos efluentes son amplias y variadas, por ello se dificulta precisar un tratamiento estandarizado. Sin embargo se pueden mostrar de forma general los tratamientos más empleados habitualmente (13).

- **Fases del tratamiento**

Pretratamiento: las operaciones para esta fase se adaptan a las condiciones del agua residual, antes de someterlas a proceso de tratamiento biológico o secundario, esto conlleva la separación de material flotante, arena, grasas y aceites, en cuanto al pH, las aguas residuales pueden tener valores muy ácidos como es el caso de la industria láctea por ello se necesita realizar una corrección del mismo, en el proceso de pretratamiento el sistema más utilizado es el tamizado que consiste en eliminar sólidos gruesos antes del ingreso a la planta depuradora, posterior a ello pasa a los tanques de sedimentación que son utilizados para industrias que producen una alta cantidad de sólidos en suspensión, como tercer paso esta la homogeneización y neutralización proceso que es de vital importancia en la industria láctea, debido a que durante el lavado puede generarse aguas muy ácidas o muy alcalinas que podrían provocar vertidos que impiden tratamientos biológicos a posterior, además de incumplir con valores que se establecen en la normativa. De ahí la importancia de instalar tanques de tiempo de retención donde se mezclan aguas ácidas y alcalinas provocando así una neutralización natural, finalmente se

realiza el desengrasado, este proceso es importante en la industria láctea, porque se genera una alta cantidad de grasas dificultosas de eliminar, para esto se instalan tanques que llevan introducidos aire en forma de burbujas finas al fondo con la finalidad de que la grasa flote, con esto se facilita empujar la grasa que queda formada en la superficie a la zona de remanso de ahí por medio de un jalador se retira a la canaleta y de ahí al contenedor para retirar a un vertedero (13).

Tratamiento primario: Se realiza con la finalidad de reducir los sólidos en suspensión, aquí se reduce la turbidez y  $DBO_5$ , porque parte de los sólidos en suspensión es la materia orgánica, a su vez se elimina una parte de contaminación bacteriana como coliformes y estreptococos. En esta fase se trata de eliminar los sólidos suspendidos sedimentables. También se puede incluir a este proceso la decantación primaria, procesos fisicoquímicos y flotación (14).

Tratamiento secundario: en esta fase el objetivo conduce a reducir la materia orgánica disuelta. Este tratamiento es biológico donde se elimina materia orgánica disuelta y coloidal, esto se logra por medio de la coagulación y floculación de la materia orgánica coloidal, el proceso consiste en el consumo de materia orgánica por organismos específicos y adecuados para esta actividad, se puede utilizar lechos bacterianos o filtros biológicos, además de otros procesos como: fangos activos, lagunas aireadas y estanques de estabilización, esta etapa es importante porque se logra una buena eliminación de  $DBO_5$ , al finalizar esta operación, el vertido o efluente tendrá una etapa de depuración para eliminar fangos en exceso que se han producido denominados flóculos biológicos (14).

- **Industria láctea**

La leche provee de nutrientes necesarios para el correcto desarrollo de los humanos, de ahí que es considerado como un alimento completo, este es uno de los alimentos que consume el hombre durante una etapa prolongada de su vida. Su composición está influenciada por varios factores como las prácticas de producción, alimentación, manejo cría y las condiciones climáticas. Los componentes principales de la leche son, agua en un 87%, proteínas, grasas, sales minerales y lactosa. De la leche se consigue una variada diversidad de derivados como queso, mantequillas, crema, yogurt entre otros (15). En Ecuador en época de la conquista española hubo un consumo alto de leche, el problema radicaba en cómo preservarla en un buen estado, a partir de 1900 el consumo comienza a desarrollarse y se empieza a realizar procesos de pasteurización sin deteriorar su valor nutricional, de ahí que el consumo fue masivo alcanzando zonas rurales. Actualmente esta industria se encuentra en constante crecimiento en el Ecuador siendo una de las importantes actividades económicas que ayuda a dinamizar el comercio y además, genera mayor empleabilidad en el sector agrícola rural (16).

Impacto ambiental de la industria láctea: grandes cantidades de residuos líquidos son generados por la industria láctea, principalmente leche disuelta, leche separada, suero y crema, además se incluye grasas, aceites sólidos en suspensión y nitrógeno, la descrea de estos efluentes sin un previo tratamiento se convierte en un fuente de contaminación, en los lavados se puede encontrar residuos alcalinos y químicos que se utilizan para remover la leche y productos lácteos, de igual manera se genera material total o parcialmente caramelizados de tambos,

latas, tanques, tinas, tuberías, bombas, pisos y salidas calientes. Los vertidos como el lactosuero contiene un 50% de nutrientes del producto base, además las salmueras incrementan de manera considerable la carga de contaminación al vertido final (17). El problema de mayor importancia de la industria de lácteos es la producción de aguas residuales, tanto por el volumen producido además de la carga contaminante asociada de origen orgánico. El volumen en el que oscila las aguas residuales producidas por una empresa de lácteos es entre 2 y 6 L/L de leche que ha sido procesada, se atribuye que el 90% de la DQO de las aguas residuales se considera que proviene de la leche y tan solo el 10% restante se atribuye a suciedades ajenas de la misma. De forma general los efluentes derivados de la industria láctea presentan características que tienen influencia en la contaminación de los cuerpos de agua, tales como: gran cantidad de materia orgánica, por la presencia de los mismos componentes de la leche, la media de DBQ de las aguas residuales de una industria de lácteos se encuentra entre 1000 a 6000 mg DBO/L, además existe la presencia de grasas y aceites, niveles altos de nitrógeno y fósforo esto a causa de los productos utilizados para limpieza y desinfección, existe también variaciones considerables en el pH, a causa de vertidos de soluciones ácidas y básicas ocasionados por las operaciones de limpieza, el pH puede variar con valores de 2 a 11, la conductividad y temperatura también tienen variaciones significativas (18).

Consumo de agua en la industria láctea: el consumo de agua en las empresas agroalimentarias es en grandes cantidades, una de las que consume una gran cantidad de agua es la industria láctea, este alto consumo tiene la finalidad de mantener las condiciones higiénico sanitarias requeridas, en la tabla 1 se detalla los valores de agua consumida en la industria láctea.

**Tabla 1.** Valoración cualitativa del consumo de agua en la industria láctea

<b>Proceso productivo</b>	<b>Nivel de consumo</b>	<b>Operaciones con mayor consumo de agua</b>	<b>Observaciones</b>
Leche	Bajo	Tratamiento térmico – Envasado	
Mantequilla	Bajo	Pasterización de la nata Batido-Amasado	Lavado de la mazada antes del amasado
Yogurt	Bajo		Principalmente en operaciones auxiliares
Queso	Medio	Salado	Salado mediante salmueras
Operaciones Auxiliares	Alto	Limpieza y desinfección Generación de vapor - Refrigeración	Estas operaciones suponen el mayor consumo de agua

*Fuente: (18).*

Consumo de agua en la industria láctea: la industria El Pajonal realiza en secuencia varias actividades para el proceso de transformación de la leche y obtener alimentos de calidad que

satisfacen la demanda de los consumidores, locales y nacionales, a continuación se describe las principales líneas de producción.

**Queso:** este es un producto que, durante varios siglos se ha elaborado de forma artesanal e incluso en los países desarrollados, en la actualidad todavía se elabora de esa forma, con la diferencia que se cuida la inocuidad y aptitud para su uso bajo el cumplimiento estricto de las regulaciones y normativas de calidad y seguridad alimentaria para su elaboración. Las fases para su elaboración son mecanizadas y automatizadas con la finalidad de dar garantía al proceso (19).

**Yogurt:** El yogurt se define como un producto que resulta del proceso de fermentación de leche cruda, semidesnatada, pasteurizada a 63°C, por acción de fermento lácteo liofilizado que contiene cepas de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* que se inoculan a temperatura comprendida entre 40 a 45°C por un tiempo de 5 horas en un ambiente inocuo, formalmente enfriado, batido y almacenado a temperatura de refrigeración (5-0°C). Las propiedades fisicoquímicas del yogurt son influenciadas por varios factores, como la composición y formulación de la leche, el tratamiento térmico que se le dio a la leche, la combinación de las bacterias ácido lácticas utilizadas, la velocidad de acidificación de la leche y el tiempo de almacenamiento (20).

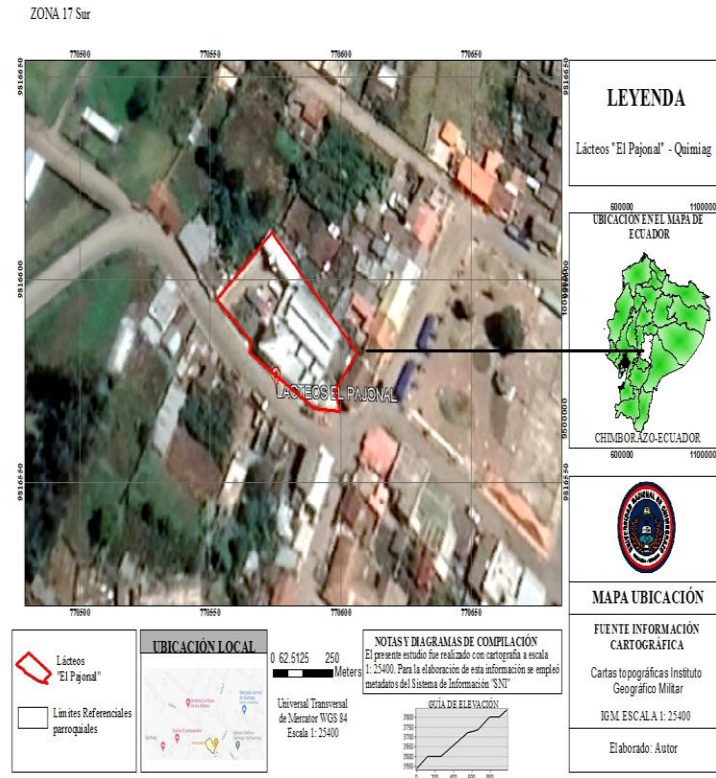
## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La estrategia metodológica que se utilizó para realizar la investigación, fue por medio de la observación, mediciones y recolección de muestras de forma directa en las instalaciones de la empresa El Pajonal, de acuerdo a la literatura revisada se infiere que este tipo de investigación fue de campo porque se desarrolló en el medio donde se encuentra el problema que es el objeto de estudio, en la cual el investigador recolecta la información de la realidad directa (21). De ahí que el diseño de la investigación fue de campo con apoyo documental debido a los medios utilizados que fueron (Técnicas e instrumentos), las principales fuentes de información utilizadas fueron: revistas, tesis, textos, etc.

La investigación de forma inicial se basó en llevar a cabo un análisis de la realidad actual de la empresa, como aplicación del proceso de manufactura, generación de residuos líquidos, del proyecto para tratamiento de los mismos

La investigación tuvo como población objeto de estudio todas las industrias lácteas existentes en la provincia de Chimborazo, mismas que general aguas residuales en sus procesos productivos, para el tamaño de la muestra se trabajó con las aguas residuales producidas por los procesos de producción de la empresa El Pajonal, la industria cuenta con dos zonas que generan las aguas residuales divididas en zona de producción y zona de lavado.





**Figura 1.** Ubicación de la empresa de lácteos “El Pajonal”

Métodos de análisis: para medir el caudal en la zona de producción se utilizó el método área – velocidad o flotadores con la aplicación de las siguientes ecuaciones (22).

$$\text{Caudal (Q)} = \text{Área de la seccion transversal} * \text{Velocidad} \quad (1)$$

$$\frac{m^3}{s} \text{ o } \frac{L}{s} \text{ las unidades de medición}$$

$$\text{Área} = \frac{(\text{Base mayor} + \text{base menor})}{2} * \text{altura} \quad (2)$$

$$\text{Velocidad (V)} = \frac{\text{Distancia (m)}}{\text{Tiempo (s)}} \quad (3)$$

$$\text{Caudal(Q)} = \text{Área de la seccion} * \text{Velocidad} \quad (4)$$

Caracterización de las aguas residuales: Se realizó la toma de muestras simples durante 3 días diferentes por semana en cada zona de generación de aguas residuales, en laboratorio de Ciencias Químicas se elaboraron muestras compuestas a partir de las muestras simples y se aplicó los parámetros físico químicos que se muestran en la tabla 2, para la medición de cada parámetro se aplicó métodos normalizados de análisis para aguas residuales (23).

*Tabla 2. Parámetros físico químicos de análisis de las aguas residuales*

<b>Parámetro</b>	<b>Método Normalizado</b>
pH	Método potenciométrico 4500-H <sup>+</sup> B
Conductividad eléctrica	Método 2510 B
Turbidez	Método nefelométrico 2130 B
Dureza total	Método 2340 C
Sólidos totales	Método 2540 B
Sólidos sedimentables	Método 2540 B
Aceites y grasas	Método TP0150
Demanda biológica de oxígeno	Método 5210 B
Demanda química de oxígeno	Método 5220 D

La técnica de análisis de datos muestra la forma para procesar la información que se ha obtenido en la investigación, para el caso de este estudio se realizó de manera cualitativa y cuantitativa. Un análisis cualitativo hace referencia al que se procede a hacer con información de tipo verbal, recogidas mediante herramientas como fichas, el análisis se realiza comparando datos referentes a un mismo aspecto y a la vez evaluando la confiabilidad de la información (24). Bajo esta premisa en la presente investigación se realizó una observación directa de las características físicas de las aguas residuales color, olor, en las dos zonas de estudio (producción y lavado), valores que no se pueden cuantificar de forma directa.

De ahí que es importante analizar cuantitativamente ya que es una práctica que se efectúa con toda la información numérica resultante de la investigación (24). Por medio de este análisis se logró cuantificar los resultados obtenidos del estudio, por medio de la caracterización físico química de las muestras de las aguas residuales y a la vez procesarlos en un conjunto de tablas y gráficas, de esta forma se obtuvo información ordenada con representación visual que favoreció el entendimiento, análisis e interpretación.

## RESULTADOS

Determinación de caudales: en la empresa “El Pajonal” se generan aguas residuales en dos zonas, la primera zona es la de las líneas de producción de quesos, mantequilla y yogurt, mientras que la segunda zona es la de lavado y recepción de materia prima, la tabla 3 detalla el caudal de aguas residuales producido.

**Tabla 3.** Caudales promedio de las dos zonas en estudio de la empresa

Zona	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
Producción	0,001367	1,367
Recepción	0,000573	0,573
Total	0,001940	1,940

La tabla 4 muestra los resultados de la caracterización de las aguas residuales de la empresa láctea El pajonal, valores que reflejan el promedio de las mediciones de las muestras compuestas semanales.

**Tabla 4.** Caracterización de las aguas residuales

Parámetros	Valor medido	Límite máximo permisible según la normativa ambiental vigente (TULSMA anexo I del libro IV)*
pH	4,32	5-9
Turbidez (NTU)	176,8	-
Conductividad eléctrica (µS/cm)	725	-
Alcalinidad (mg/L)	198	-
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	1484,4	220
Sólidos sedimentables (mg/L)	576,8	20
Dureza total (mg/L)	267,8	-
Aceites y grasas (mg/L)	378,1	100
DBO5 (mg/L)	3515	250
DQO (mg/L)	4950	500

Sedimentador primario: para dimensionar esta unidad fue importante fijar el tiempo de retención, al igual que la carga hidráulica con la que ingresa el agua residual al equipo, el efecto que conlleva estos dos valores a la unidad de sedimentación primario influenciará en la remoción de DBO5 y SST.

*Tabla 5. Datos y dimensiones del sedimentador primario*

<b>Parámetro</b>	<b>Nomenclatura y unidades</b>	<b>Valor</b>
Caudal de diseño	Q (m <sup>3</sup> /h)	6,984
Tiempo de retención	TR (h)	2,50
Profundidad del tanque	H (m)	2,50
Volumen del tanque (6)	V (m <sup>3</sup> )	0,728
Área del tanque (7)	A (m <sup>2</sup> )	0,291
Diámetro del tanque (8)	D (m)	0,609
Carga superficial (9)	CS (m/d)	576,00
Velocidad de sedimentación (10)	VS (m/h)	24,00

Flotación por aire disuelto: la unidad fue diseñada en función del tipo de agua residual que es necesario tratar en el estudio, porque el efluente resultante del sedimentador primario posee una gran concentración de grasas.

*Tabla 6. Dimensionamiento del sistema de flotación por aire disuelto*

<b>Parámetro</b>	<b>Nomenclatura y Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de diseño	Q (L/s)	1,94
Porcentaje de recirculación	FR (%)	25
Caudal recirculado	QR (L/s)	0,49
Relación aire /sólido (13)	A/S	0,002
Altura del tanque	H (m)	2,32
Altura del cilindro	HC (m)	0,85
Altura del cono truncado	HCT (m)	1,47
Superficie de flotación	A (m <sup>2</sup> )	1,80
Diámetro externo del tanque	De (m)	1,80
Diámetro interno del tanque	DI (m)	1,50
Diámetro del espesor	Des (m)	2,00
Volumen del cilindro (14)	VC (m <sup>3</sup> )	0,13
Volumen del cono truncado (15)	VCT (m <sup>3</sup> )	2,79
Volumen del tanque (16)	V (m <sup>3</sup> )	2,92
Tiempo de retención (17)	TR (min)	1,51
Velocidad ascensional (18)	Va (m/h)	1,08

**PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE LÁCTEOS  
EL PAJONAL**

En la tabla 6 se reportan los resultados de los cálculos realizados para el dimensionamiento del tanque de lodos activados y requerimiento de oxígeno para el reactor biológico.

**Tabla 7. Datos y dimensionamiento del tanque de aireación de lodos activados**

<b>Parámetro</b>	<b>Nomenclatura y Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de diseño	QDis (L/s)	1,94
Tiempo de retención hidráulico o aireación	$\theta$ (h)	12,00
Edad de lodos o tiempo de retención celular	$\theta_c$ (d)	5,00
Volumen del tanque (21)	V (m <sup>3</sup> )	23,28
Profundidad del tanque	H (m)	3,00
Área del tanque (22)	A (m <sup>2</sup> )	7,76
Ancho del tanque (23)	B (m)	2,78
Largo del tanque (23)	L (m)	2,78
Carga orgánica (24)	CO (g DBO /d)	135,6
Carga orgánica volumétrica (25)	COV (g DBO /m <sup>3</sup> .d)	5,19
Relación en masa DBO/DBOUC	(mg DBO/ mg DBOUC)	0,68
Relación en masa O <sub>2</sub> consumido/ células oxidadas	(mg O <sub>2</sub> cons/ mg Células oxi.)	1,42
Remoción de SS biodegradable	R <sub>ss</sub> (%)	85,00
DBO efluente	DBO <sub>e</sub> (mg/L)	92,00
SS efluente	S <sub>Se</sub> (mg/L)	50,00
DBO soluble efluente (26)	S <sub>e</sub> (mg/L)	92,00
Coeficiente de declinación endógena	K <sub>d</sub> (d <sup>-1</sup> )	0,045
Coeficiente de producción de crecimiento	Y (mg SSV/ mg DBO)	0,48
DBO	S <sub>o</sub> (mg/L)	1285,61
Sólidos suspendidos volátiles*volumen (27)	X*V (mg SSV)	405763034,0
Sólidos suspendidos volátiles (28)	X (mg/L)	17589,368
Relación en masa alimento/microorganismos (29)	A/M (g DBO /gSSV*d)	0,42
Producción de lodos en base a SSV(30)	P <sub>x</sub> (kg/d)	36,58
Producción de lodos en base a SST (31)	LSST (kg/d)	43,04

Una vez dimensionada la unidad biológica se realiza el balance teórico de eficiencia de remoción, para ver la calidad del agua residual obtenida después de este sistema de depuración los datos se muestran en la tabla 7.

**Tabla 8.** Balance de remoción de lodos activados

Parámetro	% remoción	% seleccionado	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)
SS	10-40%	10	100,20	90,17
DBO	80-95%	90	1285,61	128,56
DQO	80-85%	85	2257,20	338,58
N	15-50%	50	76,84	38,42
P	10-25%	25	16,55	12,41
Grasas	10-25%	25	22,69	17,02

Sedimentador secundario: En la tabla 8 se muestran los resultados de los cálculos realizados para el dimensionamiento de esta unidad.

**Tabla 9.** Datos para el diseño del sedimentador secundario

Parámetro	Nomenclatura y Unidades	Valor
Caudal de diseño	$Q_{Dis}$ (m <sup>3</sup> /h)	6,98
Profundidad del tanque	H (m)	3,50
Carga superficial	$C_s$ (m/d)	28
Área del tanque (37)	A (m <sup>2</sup> )	5,99
Diámetro del tanque (38)	D (m)	2,76
Volumen del tanque (39)	V (m <sup>3</sup> )	6,67
Tiempo de retención (40)	$T_R$ (h)	0,95

En la tabla 9 se muestran los resultados de los cálculos realizados para recirculación de lodos

**Tabla 10.** Recirculación de los lodos producidos en el sedimentador secundario

Parámetro	Nomenclatura y Unidad	Valor
Caudal diseño	$Q_{Dis}$ (m <sup>3</sup> /d)	167,61
Recirculación	R (%)	45,00
Caudal recirculado (41)	$Q_R$ (m <sup>3</sup> /d)	75,42
Sólidos suspendidos volátiles	X (mg/L)	17589,36
Concentración de SSV (42)	$X_r$ (mg/L)	21498,11
Fracción de SSV en el lodo	$R_{ssv}$ (%)	70,00
Concentración de SST en lodo (43)	$SS_{Lodo}$ (mg/L)	20340,89
SS a la salida	$X_e$ (mg/L)	5,49
Producción de lodos en base a SSV	$P_x$ (kg/d)	27,19
Caudal purgado (44)	$Q_w$ (m <sup>3</sup> /d)	1,84

Finalmente, se realiza el balance de remoción teórico alrededor del sedimentador secundario, los resultados de la calidad del agua tratada se reportan en la tabla 10.

*Tabla 11. Balance de Remoción del sedimentador secundario*

Parámetro	% remoción	% seleccionado	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)
SS	40-70%	40	90,17	54,10
DBO	25-40%	30	128,56	89,99
DQO	25-35%	25	338,58	253,94
Grasas	10-40%	40	17,02	10,20

## DISCUSIÓN

Los resultados de caracterización de las aguas residuales de la muestra completa arrojaron parámetros normados que superan al límite permisible de acuerdo a la normativa vigente (26). Según la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua, el agua residual de la industria láctea presentó valores de pH ácido con un elevado nivel de turbidez a causa de la concentración de sólidos, parámetros como alcalinidad, conductividad y dureza no están normados, sin embargo, los valores indican la presencia de sales disueltas en la descarga de la empresa, además, el resultado de 267,8 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, muestra que el agua residual es extremadamente dura (27).

La DBO y DQO, superan el límite permisible, debido a la alta carga orgánica proveniente de los desechos de la producción de mantequilla, quesos y yogurt, al igual las grasas superan en 3 veces al valor permitido a consecuencia de la variedad en las líneas de producción de la empresa (27).

El sedimentador primario se construirá de forma circular, porque a diferencia de los modelos rectangulares la barrera de lodos requiere de menos partes móviles que el mecanismo de arrastre de un sedimentador rectangular, inclusive los costos de producción son menores (28), según las características fluctuantes del agua residual industrial es recomendable utilizar una pantalla de acero inoxidable antes de la salida del sedimentador primario a distancias aproximadas de 0,6 y 1, 0 m, a una profundidad desde el nivel del agua 0,3 m a 0,5 m, con la finalidad de retener sólidos flotantes.

Para diseñar el tratamiento secundario se seleccionó el proceso biológico que permitirá remover la mayor cantidad de materia orgánica, y componentes en exceso presentes en el agua residual. Para elegir el proceso se analizó comparaciones de ventajas y desventajas de procesos de descomposición aerobios y anaerobios, llegando a concluir que es más recomendable utilizar el proceso anaerobio, para evitar malos olores y a su vez la producción de insectos y otros animales que pueden ocasionar problemas por plagas en la industria, para el tratamiento

biológico aerobio se consideró el proceso de lodos activados convencional, que consiste en colocar el agua residual en un sistema de aireación con una masa floculenta de microorganismos y materiales inorgánicos, conocidos como floc biológico, que posee la propiedad de permitir la adsorción de materiales coloidales y suspendidos del agua residual, en este proceso es necesario que los microorganismos reciban todos los nutrientes que se requieren para formar protoplasma, de acuerdo a la bibliografía consultada recomienda expresar la cantidad de nutrientes en forma de DBO/N/P, cuya relación adecuada es de 100/5/1 (28). Es recomendable colocar dos tanques de aireación que se dispondrán en paralelo y que tendrán las mismas dimensiones, la elección es considerada para mantener la eficacia de depuración del agua y a su vez para poder alternar al momento de realizar actividades de limpieza (29).

Para la aireación del reactor se tomó en cuenta las consideraciones de diseño recomendadas según la eficiencia de transferencia de oxígeno del aireador de 90% (28), y la cantidad de oxígeno que varía entre 0,21 a 0,25 kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (29).

De acuerdo a la bibliografía revisada, esta recomienda después del tratamiento biológico aerobico realizar un proceso de sedimentación secundaria para el estudio realizado fue necesario ya que, la mezcla de agua residual con el floc biológico en suspensión que se genera y sale del proceso de lodos activados es separado en este apartado de tratamiento, obteniendo de esta manera agua tratada o clarificada, con condiciones mejores para ser descargada, para el dimensionamiento se tomó en cuenta recomendaciones sugeridas por la bibliografía especializada (28), así también recomendaciones vertidas por (29), que resultaron en una profundidad del tanque entre 3,7 a 4,6 m, la carga superficial para el caudal medio entre 16 a 32 m<sup>3</sup>/día y para caudal pico de 41 a 49 m<sup>3</sup>/día.

## **CONCLUSIÓN**

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa láctea El Pajonal se seleccionó principalmente en función de las características físico químicas, a su vez se estableció el caudal de diseño de 1,94 L/s, debido a que el caudal del efluente es fijo, ya que se produce la misma cantidad de producto en las líneas de quesos, yogurt y mantequilla.

Las características del agua residual a tratar en cuanto a contenidos de materia orgánica no cumplieron con la normativa nacional como la DBO5 que resulto en 3515 mg/L, grasas de 378,1 mg/L y DQO DE 4950 mg/L. La propuesta de tratamiento que se realizó permitirá obtener efluentes finales con niveles por debajo de lo establecido en la normativa nacional para los principales parámetros como DBQ, DBO, sólidos y grasas.

El diseño de tratamiento para el agua residual seleccionado y dimensionado cuenta con un tanque homogeneizador como parte del pretratamiento, un sedimentador primario y un sistema de flotación por aire disuelto para el sistema primario de tratamiento, además, de un



proceso convencional de lodos activados con aireación y sedimentación secundaria como parte del tratamiento secundario.

Los criterios especificados para el diseño de las unidades de tratamiento estuvieron en función de las exigencias de la empresa que requería la mínima producción de malos olores, bajo requerimiento de mano de obra para la operación y mantenimiento, factibilidad técnica y eficiencia teórica de remoción de las unidades por lo cual fue necesario fundamentarse en los porcentajes teóricos de eficiencia tomados.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. González M. ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS PROCESOS DE LA INDUSTRIA LÁCTEA. Mundo Pecuario. 2012; VIII(16-32).
2. Baquerizo M, Acuña M, Solis M. Contaminación de los ríos: Caso río Guyas y sus efluentes. Revista de investigación científica Manglar. 2019; 16(63-70).
3. Chariguaman L. Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en la planta procesadora 'lácteos oriente del Ecuador', ubicada en la provincia Pastaza. [Online].; 2018. Acceso marzo de 26 de 2022. Disponible en: HYPERLINK "<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8650/1/96T00452.pdf>"  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8650/1/96T00452.pdf>.
4. Soría K. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Planta de Lácteos "San Jacinto", ubicada en el cantón Penipe, provincia de Chimborazo. [Online].; 2019. Acceso 10 de febrero de 2022. Disponible en: HYPERLINK "<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13599>"  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13599> .
5. Zavala A, Rubio S. "Malformaciones congénitas en neonatos relacionados con la contaminación ambiental". [Online].; 2019. Acceso 18 de marzo de 2022. Disponible en: HYPERLINK "<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30404>"  
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30404> .
6. Guadamarra R, Kido J, Roldán G, Salas M. Contaminación del agua. Revista de Ciencias

- Ambientales y Recursos Naturales. 2016; 2(1-10).
7. Quintuña J, Samaniego M. Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua potable de la plata potabilizadora del cantón Chordeleg. [Online].; 2016. Acceso 15 de diciembre de 2021. Disponible en: HYPERLINK "<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24847>"  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24847> .
  8. Vertil R. Determinación de parámetros físicos y químicos, y su influencia en las características organolépticas en la quebrada el Herrero, Soritor, 2015. [Online].; 2018. Acceso 6 de febrero de 2022. Disponible en: HYPERLINK "<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2999/SANITARIA%20-%20Vertil%20Sanchez%20Requejo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>"  
<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2999/SANITARIA%20-%20Vertil%20Sanchez%20Requejo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> .
  9. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. [Online].; 2006. Acceso 10 de febrero de 2022. Disponible en: HYPERLINK "[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OMS%202006.%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20calidad%20dl%20agua%20potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OMS%202006.%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20calidad%20dl%20agua%20potable.pdf)"  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OMS%202006.%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20calidad%20dl%20agua%20potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OMS%202006.%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20calidad%20dl%20agua%20potable.pdf) .
  10. Tenelanda R, Muyulema J. Optimización de la unidad de floculación y calidad, microbiológica y físico-química del agua del sistema de abastecimiento de la parroquia Sinincay. [Online].; 2013. Acceso 18 de enero de 2022. Disponible en: HYPERLINK "<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4751>"  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4751> .
  11. Morales K. Uso de diatomeas como bioindicadoras de calidad de agua en la zona ganadera del río Tarqui. [Online].; 2021. Acceso 15 de mayo de 2022. Disponible en: HYPERLINK "<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10944>"

- <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10944> .
12. Pérez M. Tratamiento avanzado de aguas residuales para riego mediante oxidación con ozono: una alternativa ecológica. [Online].; 2006. Acceso 13 de abril de 2022. Disponible en: HYPERLINK "http://www.cosemarozono.es/pdf/noticia\_22.pdf" [http://www.cosemarozono.es/pdf/noticia\\_22.pdf](http://www.cosemarozono.es/pdf/noticia_22.pdf) .
  13. Landi M. Evaluación técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea. [Online].; 2018. Acceso 15 de marzo de 2022. Disponible en: HYPERLINK "https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19553" <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19553> .
  14. Chávez I. Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas Residuales. Dominio de ciencias. 2017; 3(536-560).
  15. Zamorán D. Manual de procesamiento Lácteo. [Online].; s.f. Acceso 20 de enero de 2022. Disponible en: HYPERLINK "https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/14\_agriculture01.pdf" [https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/14\\_agriculture01.pdf](https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/14_agriculture01.pdf) .
  16. Vallejo A. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la quesera "El Pajonal" Quimiag 2013. [Online].; 2014. Acceso 8 de diciembre de 2021. Disponible en: HYPERLINK "http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3640" <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3640> .
  17. Zamora M. "CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA DESALOJADA POR LA EMPRESA DE PRODUCTOS LÁCTEOS MARCO'S CON EL FIN DE DISMINUIR SU CONTAMINACIÓN EN EL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA". [Online].; 2011. Acceso 3 de marzo de 2022. Disponible en: HYPERLINK "https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1778/1/MSc.12.pdf" <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1778/1/MSc.12.pdf>

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1778/1/MSc.12.pdf> .

18. Centro de Actividad Regional para la Actividad Limpia (CAR/PL). Prevención de la contaminación en la industria láctea. [Online].; 2002. Acceso 20 de enero de 2022. Disponible en: HYPERLINK "http://coli.usal.es/web/demo\_appcc/demo\_ejercicio/lac\_es.pdf" [http://coli.usal.es/web/demo\\_appcc/demo\\_ejercicio/lac es.pdf](http://coli.usal.es/web/demo_appcc/demo_ejercicio/lac_es.pdf) .
19. Macedo R, Vélez J. Propiedades Físicoquímicas y de Flujo de un Yogur Asentado Enriquecido con Microcápsulas que Contienen Ácidos Grasos Omega 3. Revista Scielo. 2015;; p. 87-96.
20. Sánchez J. La industria láctea. [Online].; 2009. Acceso 10 de enero de 2022. Disponible en: HYPERLINK "http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/818/1/27T0157.pdf" <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/818/1/27T0157.pdf> .
21. Macedo R, Vélez J. Propiedades físicoquímicas y de flujo de un yogurt, asentado enroquecido con microcápsulas que contienen ácidos grasos y omega 3. Scielo. 2015; 26(87-96).
22. Hernández-Sampieri R, Fernández C, Baptista P. Metodología de la Investigación. 6th ed. México: McGraw-Hill; 2014.
23. Organización Internacional de Normalización. Liquid Flow Measurement in open channels: Velocity-Area Methods -Collection and Processing of Datafor Determinación. 2nd ed. Ginebra: ISO 1088; 1985.
24. APHA AyW. Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Estados Unidos: American Public Health Association; 2017.
25. Sabino C. Metodología de la Investigación Bogotá: Editorial Panamericana; 2016.
26. TULSMA. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso agua. 2312003rd ed.; 2017.

27. Tchobanoglous. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones Colombia: Quebecar Impreandes; 2000.
28. Prato J, González-Ramírez L, Pérez M, Rodríguez M. Adsorción de la dureza de aguas sobre lechos de rocas volcánicas de Ecuador. Información Tecnológica. 2021; 32 (2)(51-60).
29. Romero J. Tratamiento de aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. 3rd ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 2005.
30. Ramón J. Tratamiento de aguas residualesurbanas utilizando la depuración simbiótica. BISTUA. 2005; 3(26-33).