

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERAS AMBIENTALES**

**TEMA:
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS Y ANÁLISIS DE LAS
AGUAS SERVIDAS DEL MERCADO CENTRAL DE PAUTE**

**AUTORAS:
GEOVANA ANDREA BERRONES LEÓN
EVELIN SOFÍA TAPIA MOLINA**

**TUTOR:
EDUARDO ALBERTO MIGUEL ARAQUE ARELLANO**

Quito, septiembre del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras Geovana Andrea Berrones León con documento de identificación N° 172429031-5 y Evelin Sofía Tapia Molina con documento de identificación N° 172463844-8, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS Y ANÁLISIS DE LAS AGUAS SERVIDAS DEL MERCADO CENTRAL DE PAUTE, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERAS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Geovana Andrea Berrones León

172429031-5

Evelin Sofía Tapia Molina

172463844-8

Septiembre, 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS Y ANÁLISIS DE LAS AGUAS SERVIDAS DEL MERCADO CENTRAL DE PAUTE realizado por Geovana Andrea Berrones León y Evelin Sofía Tapia Molina, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre de 2020



Eduardo Alberto Miguel Araque Arellano
1707253090

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado de manera muy especial a mis padres Segundo Berrones y María León, quienes con su amor incondicional, consejos, sacrificios y esfuerzos me ayudan a ser mejor persona y a prepararme como profesional; a mis hermanos Jacqueline, Joel y Fernando quienes son el mejor regalo de vida que tengo, ellos siempre me brindan su apoyo y compañía.

A Junior Cedeño mi compañero de vida, por el amor inmenso, la paciencia y el apoyo constante.

Geovana Berrones

Dedico este trabajo a mis padres Néstor y María, porque siempre me han brindado su apoyo incondicional, palabras de aliento en momentos difíciles y más que nada han sido mi ejemplo de perseverancia y fortaleza para siempre salir adelante y triunfar; a mi hermana María Belén por ser mi compañera de aventuras y mi confidente; a mi hermano Darío por enseñarme siempre a ver el lado positivo de las cosas; a mis amigas por su cariño infinito, y a toda mi familia por ser un ejemplo de unión y amor.

Evelin Tapia

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios por ser la luz de nuestras vidas y cuidarnos en cada momento, también por habernos brindado el don de la sabiduría para poder cumplir con nuestras metas.

A nuestras familias por estar siempre pendientes y brindándonos palabras de motivación para salir adelante y realizarnos como profesionales.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director de trabajo experimental el Ing. Miguel Araque, por su paciencia y direccionamiento a lo largo de todo este proceso de investigación, ya que sin ello no lo habríamos logrado.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado de Paute por tomar en cuenta nuestra propuesta, además de facilitarnos su ayuda, con el fin de desarrollar ciertas actividades.

Por último agradecemos también a nuestros docentes que nos han acompañado a lo largo de toda nuestra carrera universitaria, transmitiéndonos sus conocimientos y experiencias; pero sobre todo enseñándonos a ser personas conscientes y luchadoras que velen por cuidar día a día cada recurso y cada ser vivo que forma parte de nuestro planeta.

ÍNDICE

RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 Desarrollo Sostenible	5
3.1.1 Objetivo Seis del Desarrollo Sostenible: Agua Limpia y Saneamiento	5
3.2 Descripción de la Línea Base	6
3.2.1 Componentes del Medio Físico	6
3.2.2 Componentes del Medio Biótico	12
3.2.3 Componente Sociocultural	12
3.2.4 Componente Económico.....	14
3.3 Origen y Clasificación de Aguas Residuales	23
3.3.1 Residuos.....	23
3.3.2 Aguas Residuales.....	23
3.3.3 Clasificación de las Aguas Residuales	24
3.4 Características del Agua Residual.....	25
3.4.1 Características Físicas.....	25

3.4.2 Características Químicas	27
3.4.3 Características Biológicas.....	31
3.5 Niveles de Tratamiento Dentro de un Sistema Integral de Tratamiento de Aguas Residuales.....	34
3.5.1 Tratamiento Preliminar.....	34
3.5.2 Tratamiento Primario.....	35
3.5.3 Tratamiento Secundario.....	35
3.5.4 Tratamiento Terciario.....	35
3.5.5 Tratamiento y Disposición de Lodos.....	36
3.6 Tecnologías que Componen el Tren de Tratamiento de Aguas Residuales	36
3.6.1 Sistemas Naturales de Depuración	39
3.6.2 Lagunaje	39
3.6.3 Tipos de Lagunas.....	39
3.7 Impacto Ambiental.....	41
3.7.1 Tipología de Impactos Ambientales.....	41
3.7.2 Plan de Manejo Ambiental	44
3.8 Normativa Legal.....	46
3.8.1 Constitución.....	46
3.8.2 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.....	49
4. MATERIALES Y MÉTODOS	51
4.1 Descripción General de la Zona	51
4.1.1 Ubicación.....	51

4.1.2 Delimitación de las Zonas de Estudio	52
4.2 Plan de Muestreo	53
4.2.1 Técnicas de Toma de Muestras	53
4.2.2 Procedimientos para la Toma de Muestras	55
4.2.3 Establecimiento de los Puntos de Muestreo	58
4.3 Parámetros Analizados y Selección del Método	59
4.3.1 Medición de Parámetros In Situ en los Puntos de Muestreo	59
4.3.2 Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos	60
4.3.3 Selección del Método	66
4.4 Parámetros de Construcción.....	67
4.4.1 Tratamiento Preliminar.....	67
4.4.2 Lagunas de Estabilización	68
4.5 Cálculos y Diseño.....	69
4.5.1 Determinación de Dosis Óptima y pH Óptimo	69
4.5.2 Cálculo de la Población Futura.....	71
4.5.3 Cálculos de Caudales.....	72
4.5.4 Pretratamiento.....	74
4.5.5 Diseño del Sistema de Lagunas	78
4.6 Análisis Económico y Técnico.....	89
4.6.1 Costos de Inversión	89
4.6.2 Costos de Operación y Mantenimiento	93

4.7 Análisis Social.....	94
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	95
5.1 Dimensionamiento	95
5.1.1 Pretratamiento.....	95
5.1.2 Sistema de Lagunaje	96
5.2 Discusión.....	98
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
6.1 Conclusión.....	101
6.2 Recomendación	102
7. BIBLIOGRAFÍA	103
8. ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 División del terreno por pendientes	6
Tabla 2 Tipología de suelos de Paute.....	7
Tabla 3 Estaciones meteorológicas	8
Tabla 4 Estaciones meteorológicas	8
Tabla 5 Porcentaje poblacional por parroquias al año 2010	13
Tabla 6 Censos de población	15
Tabla 7 Distribución poblacional por sexo	15
Tabla 8 Densidad poblacional del cantón Paute	16
Tabla 9 Acceso a educación por sexo en la parroquia de Paute	17
Tabla 10 Población económicamente activa según principales ramas de actividad .	20
Tabla 11 Agentes infecciosos presentes en el agua residual.....	32
Tabla 12 Organismos indicadores empleados para diferentes tipos de agua.....	34
Tabla 13 Tipología de impactos ambientales.....	41
Tabla 14 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	49
Tabla 15 Requerimiento para la toma de muestras	57
Tabla 16 Resultados in situ	59
Tabla 17 Resultados	60
Tabla 18 Resultados sólidos totales	61
Tabla 19 Resultados sólidos sedimentables	61
Tabla 20 Tabla de referencia para reportar resultados.....	61
Tabla 21 Parámetros de la muestra de agua residual	62
Tabla 22 Índice de Willcomb.....	62
Tabla 23 Determinación de la dosis óptima de coagulante.....	63
Tabla 24 Determinación de pH óptimo.....	64

Tabla 25	Porcentaje de remoción.....	65
Tabla 26	Porcentajes de remoción en lagunas de estabilización	66
Tabla 27	Materiales, reactivos y equipos usados prueba de jarras	69
Tabla 28	Crecimiento poblacional del cantón Paute.....	71
Tabla 29	Características de rejillas de barras.....	76
Tabla 30	Remoción de DBO5 en lagunas anaerobias.....	81
Tabla 31	Costos de inversión del tratamiento preliminar dividido por zonas	90
Tabla 32	Costos de inversión para las lagunas	91
Tabla 33	Resultados del análisis de costos de inversión en el sistema de lagunas	91
Tabla 34	Datos costo metro cúbico zona 1 y zona 2.....	93
Tabla 35	Costos operación y mantenimiento.....	93
Tabla 36	Dimensiones de la criba.....	95
Tabla 37	Dimensiones de la trampa de grasas	95
Tabla 38	Dimensiones de la laguna anaerobia.....	96
Tabla 39	Dimensiones de la laguna facultativa	96
Tabla 40	Dimensiones de la primera laguna de maduración	97
Tabla 41	Dimensiones de la segunda laguna de maduración.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Temperatura media del cantón Paute	9
Figura 2	Temperatura mínima del cantón Paute	9
Figura 3	Temperatura máxima del cantón Paute	10
Figura 4	Precipitación anual del cantón Paute	11
Figura 5	Porcentaje poblacional por parroquias al año 2010.....	14
Figura 6	Distribución poblacional por sexo.....	16
Figura 7	Densidad poblacional del cantón Paute.....	17
Figura 8	Morbilidad en el cantón Paute.....	18
Figura 9	Evolución por sectores económicos de la PEA	20
Figura 10	Comercio al por mayor y menor.....	21
Figura 11	Tecnologías usadas para tratar agua residual	38
Figura 12	Análisis de la zona.....	52
Figura 13	Distribución de zonas de estudio.....	53
Figura 14	Puntos de muestreo.....	59
Figura 15	Relación de la turbidez y dosis coagulante	65
Figura 16	Diseño de una trampa de grasa.....	68
Figura 17	Relación del crecimiento poblacional de las zonas de estudio.....	72
Figura 18	Diferente gasto de diseño para las zonas de estudio	74
Figura 19	Coeficiente de dispersión para valores x	85
Figura 20	Alternativa de Costos de inversión para lagunas de estabilización.....	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Mapa de relieve del cantón Paute	111
Anexo 2	Mapa de pendientes del cantón Paute	112
Anexo 3	Mapa de suelos por taxonomía del cantón Paute	113
Anexo 4	Mapa del clima del cantón Paute	114
Anexo 5	Mapa de precipitación del cantón Paute	115
Anexo 6	Instalaciones “Mercado 26 de Febrero”	116
Anexo 7	Instalaciones “Mercado San José”	117
Anexo 8	Instalaciones "Mercado del centavo"	118
Anexo 9	Procedimiento para la determinación de la dosis óptima del coagulante .	119
Anexo 10	Procedimiento para la determinación del pH óptimo.....	120
Anexo 11	Resultados realizados en el Laboratorio de Saneamiento de Cuenca	121
Anexo 12	Resultados de sólidos totales análisis en el laboratorio LASA de Quito .	122
Anexo 13	Procedimiento 2540F.-sólidos sedimentables- método volumétrico	123
Anexo 14	Medición de parámetros "Punto 1"	124
Anexo 15	Medición de parámetros "Punto 2"	125
Anexo 16	Medición de parámetros "Punto 3"	126
Anexo 17	Análisis de sólidos sedimentables.....	127
Anexo 18	Realización de prueba de jarras	128
Anexo 19	Socialización del proyecto	129
Anexo 20	Solicitud al GADM de Paute	130
Anexo 21	Planos del pretratamiento zona 1	131
Anexo 22	Planos del pretratamiento zona 2	132
Anexo 23	Planos del sistema de lagunas zona 1.....	133
Anexo 24	Planos del sistema de lagunas zona 2.....	134

RESUMEN

A lo largo de los años con el fin de preservar y mantener una buena calidad ambiental de nuestro entorno, Ecuador ha ratificado convenios y tratados internacionales, además posee normativa legal aplicable con el fin de preservar la integridad de los recursos pero sobre todo para cuidar del agua que es fundamental debido a que ayuda al desarrollo de la vida en nuestro planeta (Carrión, 2014); Es por ello que las plantas de tratamiento de aguas residuales son muy importantes, para lograr una adecuada desinfección y mantener la integridad del ambiente.

Con el presente trabajo se busca dar una solución efectiva que ayude en el tratamiento de aguas residuales generadas en el mercado central de Paute, localizado en la provincia de Azuay. Se considera dos zonas de estudio, la primera abarca el mercado y un área de influencia debido a la subdivisión del mismo en varios puestos localizados alrededor de dicho lugar y la segunda zona a más de lo antes mencionado incluye todo el casco colonial de la parroquia de Paute. Bibliográficamente se determinó la metodología utilizada para desarrollar los cálculos de dimensionamiento de la planta y el diseño de planos de esta; a su vez se realizó un análisis de muestras con el fin de conocer la composición del agua residual.

La alternativa elegida para su tratamiento consta de dos partes fundamentales; siendo la primera parte un tratamiento preliminar; este consta de una criba y una trampa de grasas, que luego se conecta a una segunda etapa con el sistema de lagunaje; el cual está compuesto por cuatro lagunas de estabilización: una anaerobia, una facultativa, y dos de maduración. Además se considera importante realizar un análisis de estimación presupuestal para la construcción de la planta, la eficiencia de tratamiento y la socialización de dicho trabajo para conocimiento de la población de Paute.

Palabras clave: Agua residual, zona de estudio, planta de tratamiento, tratamiento preliminar y lagunas de estabilización.

ABSTRACT

Over the years, in order to preserve and maintain a good environmental quality of our surroundings, Ecuador has ratified international conventions and treaties, and also applicable legal regulations in order to preserve the integrity of the resources but above all to take care of the water that is fundamental because it helps the development of life on our planet (Carrión, 2014). For this reason, wastewater treatment plants are indispensable to achieve an adequate disinfection and maintain the integrity of the environment.

The present study seeks to provide an effective solution aiming to achieve an improvement in wastewater treatment generated in Paute's Central Market, located in Azuay province. It is considered two areas of study, the first covers the market and an area of influence due to the subdivision of the same in several posts located around that place and the second area to more than de above mentioned includes the entire colonial area of the parish of Paute. Bibliographically, the methodology used to develop the sizing calculations of the plant and the design of plans was determined; at the same time, an analysis of samples was made in order to know the composition of wastewater.

The chosen alternative is composed of two fundamental plans; the first one consists of a preliminary treatment, consisting of a sieve and a grease trap. In the second phase, this structure is connected to the lagooning system, which is made up of four stabilization lagoons: one anaerobic, one facultative anaerobic, and two of maturing. It is recommended to carry out a budgetary estimation analysis for the construction of the plant, also, the determination of treatment efficiency and the socialization of the current study with Paute's population.

Keywords: Waste water, study area, treatment plant, preliminary treatment and stabilization lagoons.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
A	Área
B	Ancho
CNRH	Consejo Nacional de Recursos Hídricos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EDA	Enfermedad Diarreica Ambulatoria
g	Gramos
GADM	Gobierno Autónomo Municipal
Ha	Hectárea
Hab	Habitante
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
Kg	Kilogramos
L	Litro
m ³	Metro Cúbico
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
mg	Miligramos
mL	Mililitro
PEA	Población Económicamente Activa
pH	Potencial de Hidrógeno
POR	Potencial de Óxido Reducción
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
TULAS	Texto unificado de Legislación Ambiental secundario
V	Volumen

1. INTRODUCCIÓN

En la antigüedad el agua era almacenada en pozos para poder distribuirla porque no contaban con sistemas de alcantarillado, por lo que al pasar el tiempo fueron creando sistemas de transporte los cuales eran contruidos con cemento, roca, plata, madera y plomo con el fin de evitar que se contamine (Lenntech, 1998). El agua residual no era tratada por la falta de recursos.

Al pasar los años la población fue creciendo notablemente y empezaron los problemas de sanidad, los ciudadanos baldeaban con agua sus letrinas y mediante las alcantarillas el agua era conducida a un pozo ciego o eran vertidas al río directamente, sin saber las consecuencias y la contaminación ambiental que provocaban (Roca, 2017). Para inicios del siglo XIX se empezaron a realizar estudios de cómo tratar las aguas residuales, pero el crecimiento poblacional sumado a la revolución industrial conllevó otro problema para el agua, esta era contaminada por compuestos químicos de los cuales se desconocía su grado de afectación, contaminando así a los cuerpos receptores de agua sin ningún límite máximo permisible (TULSMA, 2015).

El agua de consumo en el planeta es apenas el 0,07%, y con la alta tasa de crecimiento poblacional se está agotando este recurso cada vez más rápido, por lo que es necesario aplicar tecnologías que permitan su recuperación. Para el año 1970 el mundo comenzó a desarrollar un gran interés sobre la contaminación del agua y empezaron a realizar procesos de desinfección de aguas, a crear leyes que la protejan y a construir equipos para su tratamiento, los mismos que fueron conocidos por todo el mundo, pero tenían un elevado costo que no era accesible en todos los países. Entonces se empezó a realizar investigaciones que determinaban las características de estas aguas para empezar a ser tratadas (Roca, 2017).

Se calcula que el 90% de las aguas negras son vertidas directamente a cuerpos de agua sin depurar, por esta causa según la ONU (2017), mueren alrededor de 1,8 millones de niños

menores de 5 años anualmente. Razón por la cual es importante tratar las aguas residuales, al contener varios compuestos ajenos al agua es muy difícil su autodepuración. En Ecuador apenas el 12% de las aguas residuales recibe algún tipo de tratamiento antes de ser descargadas a cuerpos fluviales (Yakunina, 2019), por esta causa es necesario la implementación de plantas que traten el agua residual para beneficio de la población y ambiente.

Actualmente en nuestro país de todas las aguas residuales generadas sólo se trata aproximadamente un 10%; las aguas provenientes de empresas enfocadas en comercio, servicios y agroindustrias que contienen carga orgánica alta y contaminantes tóxicos, no reciben ningún tipo de tratamiento siendo descargadas al sistema de alcantarillado o a cuerpos de agua (Sánchez, 2014). Es por ello que para realizar un tratamiento apropiado de las aguas residuales es indispensable determinar sus características físico-químicas y microbiológicas mediante análisis normalizados de acuerdo a la normativa ambiental de nuestro país.

De acuerdo a estudios realizados por Sánchez (2014), Guayaquil posee un porcentaje de cobertura del alcantarillado del 62%, y de tratamiento de aguas residuales del 10%; mientras que la ciudad de Quito cuenta con una cobertura del alcantarillado del 91%, y el porcentaje de tratamiento de las aguas residuales es del 2%, Cuenca tiene un porcentaje de alcantarillado del 74 %, un 70% de aguas residuales tratadas. Además de acuerdo al INEC (2020), es importante indicar que la población en las ciudades antes mencionadas es de 2'723.665 en Guayaquil, 2'781.641 para la ciudad de Quito y Cuenca cuenta con 636.996 habitantes.

Según el INEC (2001-2010), el cantón Paute tiene una población de 25494 habitantes, la zona urbana posee 7226 habitantes y la zona rural 18268 habitantes. La zona rural no cuenta con alcantarillado por este motivo por el cual no se pueden realizar estudios de recolección de aguas residuales mientras que en la zona urbana se cuenta con todos los servicios públicos, pero no existe un tratamiento de aguas residuales previa a su descarga a la Subcuenca del río Paute.

El mercado central de Paute no posee un correcto manejo de aguas residuales por lo que este proyecto busca la implementación de una Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para tratar las aguas contaminadas por residuos en el mercado. Con esto, el mercado busca reducir el problema de contaminación ambiental hacia sistemas donde estos residuos son descargados; como lo son alcantarillado y cuerpos de agua. Se debe crear la PTAR para brindar el tratamiento correcto y efectivo a las descargas de las aguas residuales.

Además, se realizará análisis de las descargas líquidas o del efluente con la evaluación de cada uno de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos para poder tratar el agua residual mediante un proceso adecuado y así posteriormente descargar estas aguas, para provocar el menor impacto posible al medio ambiente para cumplir con los límites máximos permisibles.

La ejecución de este proyecto generará beneficios económicos, ambientales y sociales para el mercado central de Paute, el tratamiento que se dará a las aguas residuales ayudará a reducir los impactos ambientales y a mantener un equilibrio entre los ecosistemas. El agua tratada podrá ser reutilizada en diversos sectores, generando de esta manera una reducción de costos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar la planta de tratamiento de aguas servidas del Mercado Central de Paute, para tratar el agua residual que se genera de dicha actividad productiva, con el fin de que no represente un peligro para la salud, ni para el medio ambiente.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la calidad de agua mediante el muestreo y determinación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de las aguas residuales del Mercado Central de Paute.
- Dimensionar las unidades de la planta de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a los resultados de los parámetros medidos durante el muestreo.
- Realizar un estudio de sostenibilidad económico, técnico y social.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Desarrollo Sostenible

El desarrollo sostenible surge de la idea de las naciones que buscan acciones factibles para combatir los efectos medioambientales negativos que son causados por el crecimiento económico, poblacional e industrial, para utilizar de forma consiente los recursos existentes, sin comprometer las necesidades futuras; este término nace del Informe presentado por la Comisión Brundtland en 1987. El desarrollo sostenible se enfoca en tres ejes principales que son: Desarrollo Económico, Social y Medioambiental (CEPAL, 2018).

El objetivo del desarrollo sostenible es reducir y en lo posible erradicar los problemas que actualmente afectan a nuestro planeta como la pobreza, el hambre, el cambio climático, escasez de recursos, por ello las naciones se han planteado alternativas que se deberán poner en práctica de acuerdo con lo establecido en la Agenda 2030 (CEPAL, 2018).

3.1.1 Objetivo Seis del Desarrollo Sostenible: Agua Limpia y Saneamiento

De acuerdo a lo establecido en la Agenda 2030 es importante resaltar que el objetivo seis que trata sobre Agua Limpia y Saneamiento ayuda en la investigación del presente trabajo, que permitirá conocer los lineamientos establecidos para que el agua esté libre de impurezas y sea accesible para todos. Sin embargo, actualmente la dosificación de agua en todo el planeta no es adecuada, principalmente en países en vías de desarrollo es más notable esta situación, debido a que se presentan sequías ocasionando el aumento del hambre y desnutrición ya existente, además la mala calidad de agua y un saneamiento inadecuado provoca un efecto negativo en la seguridad alimentaria y salud humana. Ventajosamente los sistemas de distribución de cada país han logrado que más del 90% de la población tenga acceso a agua potable (CEPAL, 2018).

3.2 Descripción de la Línea Base

3.2.1 Componentes del Medio Físico

3.2.1.1 Relieve. El cantón Paute está rodeado de dos cordilleras; Oriental y Occidental, además de la Fosa Andina, Paute posee valles altiplanos y páramos que hace que tenga una topografía disforme con pendientes que oscilan desde el 5% hasta el 70% (GADM de Paute, 2014), la altura mínima del relieve es 2320 msnm y la altura máxima es 3753 msnm, como se puede visualizar en el Anexo 1.

3.2.1.2 Pendientes. La elaboración de las pendientes del terreno se realizó con la ayuda de capas encontradas en el Geoportal del IGM, con el fin de visualizar el grado de inclinación del terreno. Las pendientes se dividen en 6 rangos, que están divididas de acuerdo a la descripción que presentan, en la Tabla 1 se puede visualizar el rango entre pendientes y el porcentaje, así como también el mapa de pendientes en el Anexo 2.

Tabla 1

División del terreno por pendientes

Rango	Característica	Porcentaje
0 - 5	Plano a casi plano	4
5 - 12	Suave o ligeramente ondulado	4
12 - 25	Moderadamente ondulada	31
25 - 50	Colinado	24
50 - 70	Escarpado	24
>70	Montañoso	13
Total general		100

Nota: En la tabla se encuentra la caracterización de las pendientes de acuerdo a su rango. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

3.2.1.3 Suelos. El cantón Paute tiene una extensa área rural y poca área urbana, el suelo de esta área rural es utilizado para la siembra y cosecha de productos, es un suelo arenoso que

tiene reservas minerales y gran cantidad de materia orgánica misma que genera una alta fertilidad de suelos, por esta razón existe una mayor producción agrícola que beneficia económicamente a la zona. El área urbana ocupa todo su espacio en construcciones para vivienda, servicio público y existe poca área verde. Estos suelos están clasificados por su taxonomía, como se puede ver en la Tabla 2 y en el Anexo 3.

Tabla 2

Tipología de suelos de Paute

Descripción	Tipo de suelo	Profundidad	Característica
Inceptisoles	Suelos arcillosos	20-40cm	Encima de material más o menos duro, poco meteorizado
Alfisolos	Suelo pardo rojizo	1m	Friable en la profundidad
Mollisoles	Suelos con capas sucesivas de granulometría variable, arenoso, areno-arcilloso, limo-arcilloso-arenoso, areno-arcilloso, limo-arcilloso.	Depende del tipo de suelo	Contiene materia orgánica
Entisoles	Suelo areno-arcilloso	0-20cm	Se encuentra sobre material duro, posiblemente mezclado con ceniza
Vertisoles	Suelo arcilloso	40-60cm	Encima de material más o menos duro, poco meteorizado

Nota: La tabla detalla la composición de los suelos de acuerdo a su profundidad. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

3.2.1.4 Clima y Meteorología. Existen estaciones meteorológicas que están encargadas de realizar observaciones y mediciones, con el fin de poder analizar el comportamiento espacial y estacional de las diferentes variables; además, permiten determinar el clima en tiempo real, realizar pronósticos y alertas climáticas. Los cuales son muy importantes puesto que de ellos depende la realización de ciertas actividades (INAMHI, 2014).

Las estaciones que proporcionan datos meteorológicos al cantón son las siguientes:

Tabla 3

Estaciones meteorológicas

Cód	Prov	Propietario	Latitud	Longitud	Altitud	Tiempo	Estado
M5103	Azuay	Inamhi	-2.897464	-79.003108	2525 m	Meteorológica	Operativa

Nota: La tabla describe la ubicación de la estación meteorológica junto con otros aspectos informativos. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020 con base en datos INAMHI (2014).

Tabla 4

Estaciones meteorológicas

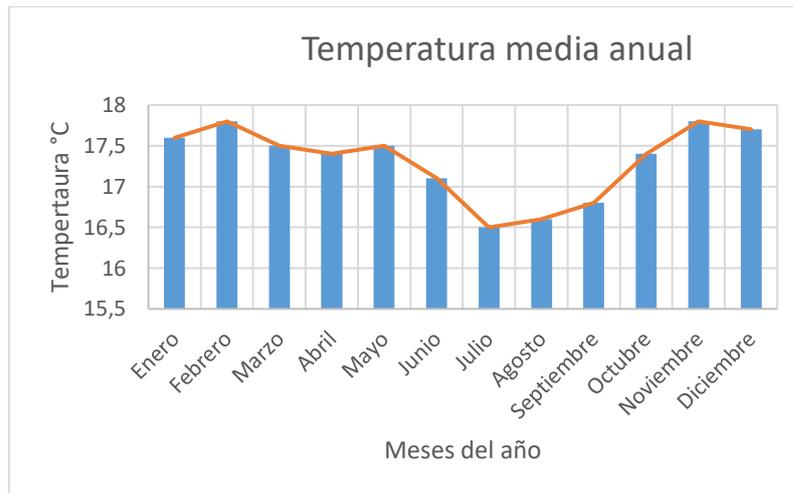
Cód	Prov	Propietario	Latitud	Longitud	Altitud	Tiempo	Estado
H0894	Azuay	Inamhi	-2.758611	-78.740000	2525 m	Hidrológica	Operativa

Nota: En tabla indica datos sobre la estación meteorológica. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020 con base en datos INAMHI (2014).

3.2.1.5 Temperatura. La temperatura del cantón Paute oscila entre 15,9 y 19° C, este valor puede cambiar únicamente en el verano, puede llegar a una temperatura máxima de 22° C en el día y -2° C en la noche. En las Figuras 1, 2, 3 y en el Anexo 4; se puede observar las diferentes temperaturas del cantón, temperatura mínima, media y máxima que fueron medidas mensualmente a lo largo de un año (INAMHI, 2014).

Figura 1

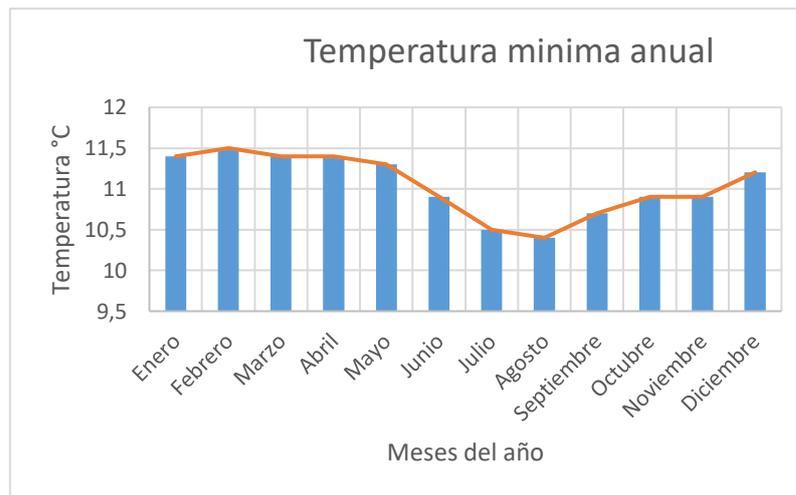
Temperatura media del cantón Paute



Nota: En la gráfica se visualiza los meses más fríos del cantón si como los más cálidos. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

Figura 2

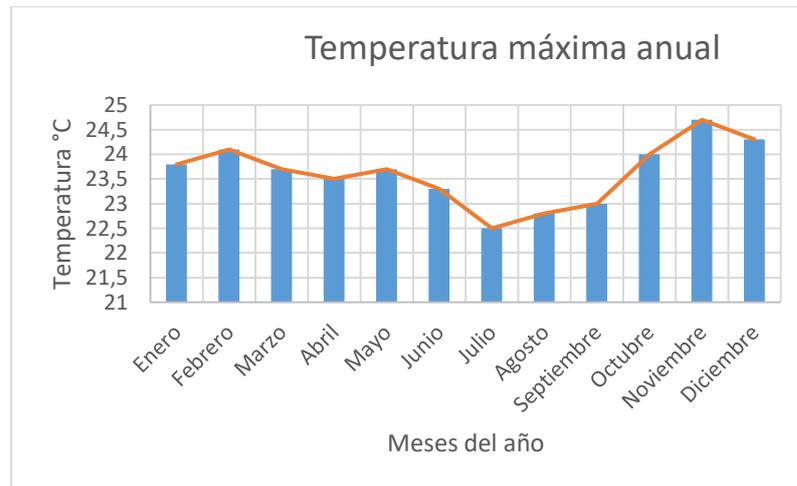
Temperatura mínima del cantón Paute



Nota: Se puede observar la temperatura promedio de cada mes al año. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

Figura 3

Temperatura máxima del cantón Paute

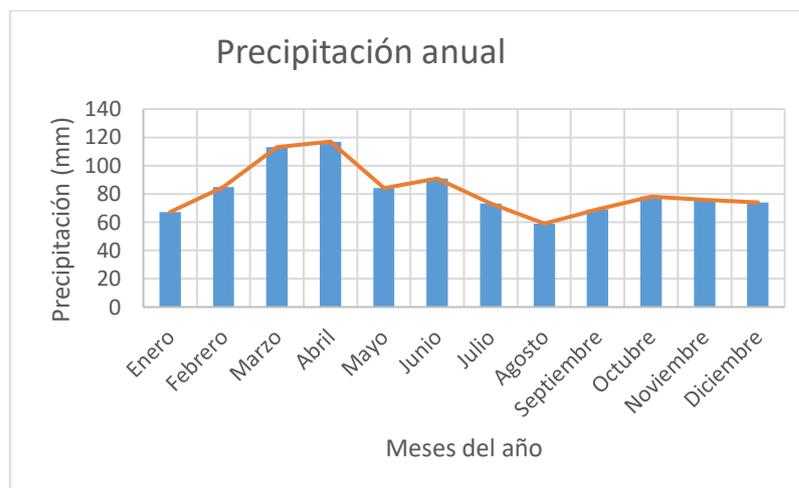


Nota: En las temperaturas máximas se visualiza que llegan hasta los 24,5° C, siendo una buena condición óptima para el desarrollo de bacterias. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

3.2.1.6 Precipitación. El cantón Paute presenta una precipitación que oscila entre los 790 mm anuales con una humedad relativa de 83%. Esto se debe a la presencia de la Cordillera de los Andes, donde los microclimas benefician la diversidad de los cultivos. En la Figura 4 se puede observar la precipitación, resaltando que los meses secos son julio y agosto. En el Anexo 5, se puede visualizar la distribución de las lluvias que va entre los 500 y 1250 mm en los valles y en la cordillera en un rango de 2000 y 2.500 mm (INAMHI, 2014).

Figura 4

Precipitación anual del cantón Paute



Nota: En la gráfica se detalla la precipitación anual del cantón Paute. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

3.2.1.7 Agua. El cantón Paute está dentro de la red del sistema hídrico del río Santiago, este sistema se encuentra distribuido en 6 subcuencas: Paute, Cuenca, Jadán, Magdalena, Santa Bárbara y Pindilig. Siendo Paute la de mayor extensión, con una superficie de 6439 Km² que limita con las provincias de Azuay y Cañar, descendiendo a la Amazonía Ecuatoriana en la provincia de Morona Santiago (GADM de Paute, 2014).

Paute no posee registros de la calidad del agua a nivel cantonal, existen estudios realizados en los que se indica diversas fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua, una de ellas es el vertido de aguas residuales directamente a la subcuenca, como también actividades agropecuarias, pastoreo de animales, entre otras actividades que se realizan en zonas cercanas a la subcuenca.

3.2.1.8 Aire. No existe dato alguno para evaluar la calidad de aire a nivel cantonal, sin embargo se puede percibir que no existe contaminación en las áreas pobladas, excepto fuentes de contaminación puntuales, como: ruido, vibraciones, emisión de gases y contaminación por

material particulado. Toda esta contaminación mencionada es realizada por actividades antrópicas y presentan un nivel de afectación media (GADM de Paute, 2014).

3.2.2 Componentes del Medio Biótico

3.2.2.1 Flora. En el cantón Paute uno de los recursos más degradados es el área de los bosques y vegetación, existe mucha intervención del hombre, actividades agrícolas y pecuarias las mismas que no son manejadas adecuadamente y generan impactos negativos al ambiente (GADM de Paute, 2014). A pesar que existen reglamentos que protegen estos recursos como el (RCOA, 2019) , poco es el interés por contribuir o mejorar su manejo. Entre su flora se puede encontrar: la flor roja, manzanilla, tetona pecosa, flor de noviembre, nogal, canelo de monte, et. También hay frutales como: albaricoque, durazno, manzano, reina claudia, limón, higo, entre otras (UEC de Paute, 2019).

3.2.2.2 Fauna. La Cordillera Andina es el hogar de distintas especies que son un atractivo del cantón, aves como: el cóndor andino, quilico, pava andina, pacharaco, patos silbadores, loro gorriblanco, pericos, chirotes. También están los mamíferos que por el clima de la zona acogen a muchas especies que migran de sus alrededores como el venado de páramo, conejos, llamas, oso de anteojos, lobo de páramo. Además de coloridas mariposas, reptiles, et. (UEC de Paute, 2019).

3.2.3 Componente Sociocultural

La población es fundamental en este componente, porque es la responsable de llevar a cabo las actividades de producción que relaciona los componentes naturales con los sociales, la población es considerada la fuerza de trabajo, que se encarga de explotar los recursos disponibles con el fin de producir bienes y servicios que ayudarán al desarrollo del cantón y ofrecer una mejor estilo de vida a toda la población (GADM de Paute, 2014).

3.2.3.1 Desarrollo de la Población Del Cantón Paute. De acuerdo al censo de población y vivienda realizado en el año de 1982, se determinó que el cantón Paute incluyendo

sus ocho parroquias que lo conforman, contaba con una población de 21.429 habitantes. En el año 1990, se pudo observar un incremento de 181 personas; para el año 2001 el aumento poblacional fue de 1496 y finalmente en el año 2010 luego de realizado el censo se tuvo como resultado un incremento de 2.338 individuos, dando como resultado una población total de 25.494 habitantes; lo que indica que un periodo de 28 años el crecimiento poblacional absoluto fue de 4.055 habitantes (GADM de Paute, 2014).

Con respecto a los datos del censo realizado en el año 2010 se puede observar en la Tabla 5, que en la parroquia de Paute está concentrada la mayor parte de la población con 9.850 habitantes que serían el 38,64% (GADM de Paute, 2014).

Tabla 5

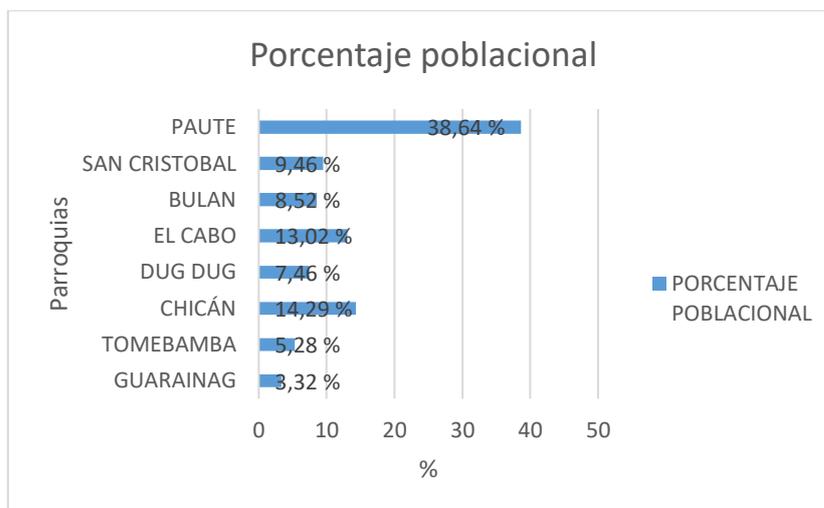
Porcentaje poblacional por parroquias al año 2010

Parroquia	Porcentaje poblacional
Guarainag	3,32 %
Tomebamba	5,28 %
Chicán	14,29 %
Dug Dug	7,46 %
El Cabo	13,02 %
Bulán	8,52 %
San Cristóbal	9,46 %
Paute	38,64 %

Nota: En la tabla se encuentra los porcentajes poblacionales de acuerdo a las parroquias. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: Censo de Población y Vivienda INEC (2001-2010).

Figura 5

Porcentaje poblacional por parroquias al año 2010



Nota: En la gráfica se indica el porcentaje poblacional en cada parroquia. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: Censo de Población y Vivienda INEC (2001-2010).

3.2.4 Componente Económico

3.2.4.1 Distribución de la Población. El censo de población y vivienda realizado en el año 1982, se puede apreciar que la mayor parte de la población estaba concentrada en el área rural que representa el 88,48%, mientras que en el área urbana se tenía sólo el 11,16% de la población, para el censo de 1990 los porcentajes mantuvieron valores similares de distribución porcentual, en el área rural se tenía el 85,40% y en el área urbana 14,61% de la población, esto se debía a que la mayor parte de la población dedicaba su vida a las actividades agrícolas y ganaderas; para el año 2001 se puede observar que el área urbana crece con un porcentaje poblacional de 21,70% y el área rural con un porcentaje de 78,30%, finalmente para el año 2010 el censo de población y vivienda realizado demostró un área urbana más consolidada con un porcentaje de 28,34%, mientras que en el área rural se encontraba el 71,67% de la población total del cantón (GADM de Paute, 2014).

Tabla 6*Censos de población*

Censos de población y vivienda					
Años/parroquias	Urbano		Rural		Total
1982	2398	11,16%	19091	88,84%	21489
1990	3156	14,60%	18454	85,40%	21610
2001	5014	21,70%	18092	78,30%	23106
2010	7226	28,34%	18268	71,66%	25494

Nota: En la tabla se encuentra los porcentajes de la población de acuerdo a los años censados. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: Censo de Población y Vivienda INEC (2001-2010)

3.2.4.2 Distribución Poblacional por Sexo. Los resultados del censo de población y vivienda en el año de 1982, indicaron que las mujeres eran un total de 11.041 lo cual representa el 51,52% de la población total, mientras que el total de hombres fue de 10.388 lo cual representa el 47,44%. En el año 2001 se puede observar un descenso con respecto a la población masculina y para el año 2010 se tuvo un porcentaje de hombres de 46,60% y el porcentaje de mujeres fue de 53,40% muy similar a los porcentajes del anterior censo (GADM de Paute, 2014).

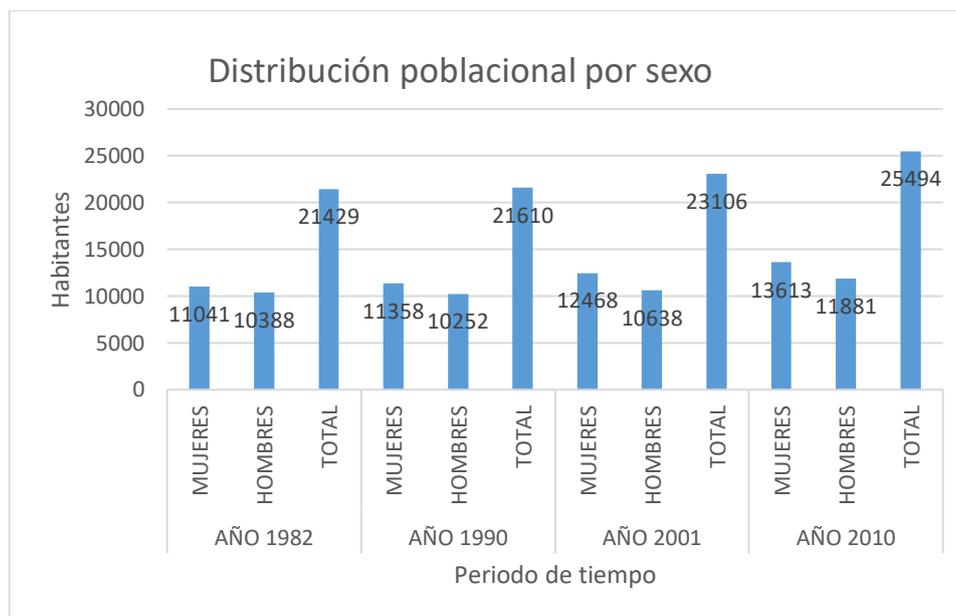
Tabla 7*Distribución poblacional por sexo*

AÑO 1982			AÑO 1990			AÑO 2001			AÑO 2010		
MUJERES	HOMBRES	TOTAL									
11041	10388	21429	11358	10252	21610	12468	10638	23106	13613	11881	25494

Nota: La tabla indica la distribución de la población por año y sexo. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: Censo de Población y Vivienda INEC (2001-2010).

Figura 6

Distribución poblacional por sexo



Nota: En la gráfica se detalla el número de habitantes por sexo en cada año censado. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: INEC (2001-2010).

3.2.4.3 Densidad Poblacional. Establecer la densidad poblacional en un territorio es fundamental, puesto que permite ver la relación directa entre el número de habitantes con la superficie de suelo. La unidad que representa la densidad poblacional es Habitante/Hectárea (hab/ha). En el cantón Paute luego de los censos de población y vivienda desarrollados en los años de 1982, 1990, 2001 y 2010 se puede observar que la densidad poblacional dentro del cantón no ha sufrido mayores cambios durante los últimos 28 años, se obtuvieron valores de densidad de 0,92 hab/ha, 0,83 hab/ha, 0,91 hab/ha y 1,02 hab/ha respectivamente con los años del censo mencionados anteriormente (GADM de Paute, 2014).

Tabla 8

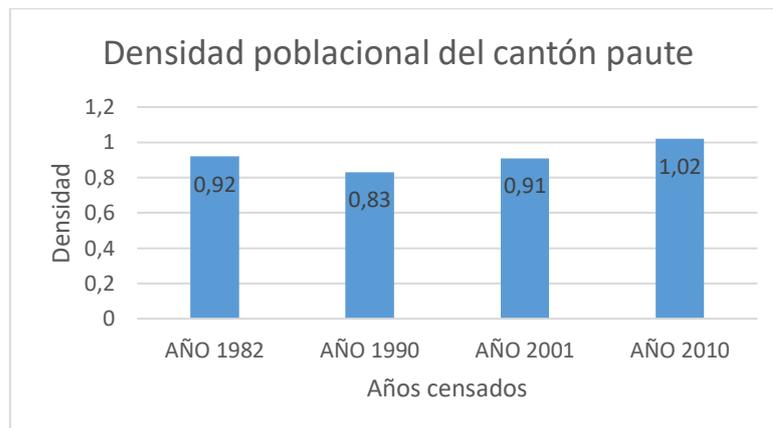
Densidad poblacional del cantón Paute

Densidad poblacional del cantón paute			
Año 1982	Año 1990	Año 2001	Año 2010
0,92	0,83	0,91	1,02

Nota: La tabla muestra la densidad poblacional de acuerdo a los años de censo. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: Censo de Población y Vivienda INEC (2001-2010).

Figura 7

Densidad poblacional del cantón Paute



Nota: En la gráfica se detalla la densidad poblacional para cada año censado. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: INEC (2001-2010).

3.2.4.4 Educación

3.2.4.4.1 Acceso a la Educación en el Cantón de Paute. Durante los años 2001 al 2010, el acceso que tenía la población a educación básica creció de 17,3% a 31,6% en todo el cantón. Con respecto al bachillerato entre los años 2001 a 2010 el acceso se ha ido incrementando favorablemente. En el año 2001, la asistencia al bachillerato fue de 10,5%, mientras que en el año 2010, el porcentaje de asistencia fue de 21,5%; creciendo 11 puntos en ambas áreas (urbana y rural). El porcentaje de hombres era superior al de mujeres a nivel cantonal; de acuerdo al censo entre los años 2001 al 2010, el porcentaje que representa a la población mayor de 24 años que han accedido a la educación superior, con respecto al año 2001 es 4,45%, mientras que para el año 2010 este porcentaje pasa a 7,6%. (GADM de Paute, 2014).

Tabla 9

Acceso a educación por sexo en la parroquia de Paute

Educación básica completa por sexo – 2010 - parroquia de paute			
Nivel educativo	Hombres	Mujeres	Total
Educación básica	50,1	43,3	46,3
Bachillerato	39,4	31,9	35,2
Educación superior	16	11,9	13,7

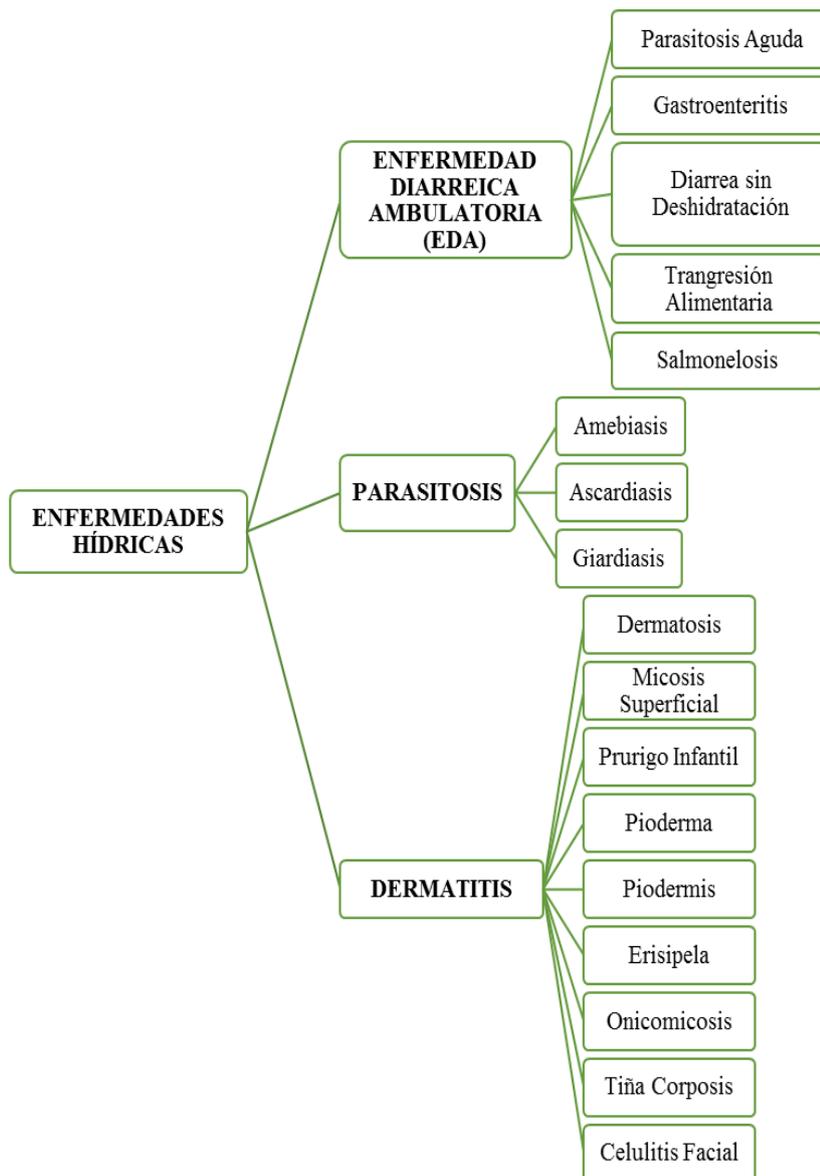
Nota: La tabla detalla el porcentaje de Pauteños que accedieron a la educación. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: Censo de Población y Vivienda INEC (2001-2010).

3.2.4.5 Salud

3.2.4.5.1 Morbilidad. La morbilidad hace referencia al número de personas que enferman en un determinado tiempo y lugar con respecto a la totalidad de la población, el Área de Salud N° 6 realizó un análisis de datos de morbilidad para las 7 parroquias del cantón Paute con el fin de identificar la incidencia de enfermedades hídricas, las cuales se resumen en la Figura 8, (GADM de Paute, 2014).

Figura 8

Morbilidad en el cantón Paute



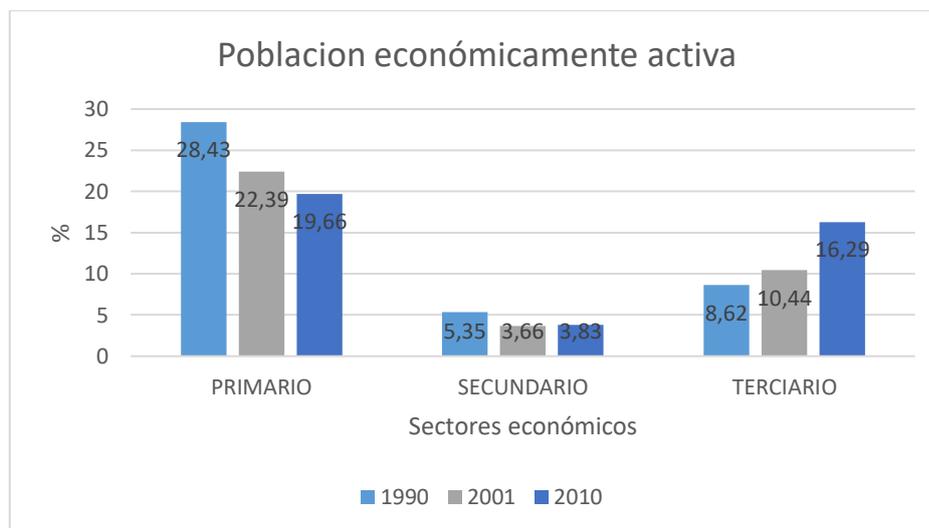
Nota: En la gráfica se indica los tipos de enfermedades hídricas presentadas en el cantón Paute. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

3.2.4.6 Población Económicamente Activa. La Población Económicamente Activa (PEA) del cantón Paute durante los periodos censales 2001 y 2010, ha tenido un incremento de 23,16% lo que representa el doble del aumento de la población cuyo porcentaje fue de 10,33%, y la parroquia urbana de Paute tiene un crecimiento de 49,26% en el PEA en relación con la población que fue de 25,78% (GADM de Paute, 2014).

3.2.4.6.1 Variación de la Población Económicamente Activa por Sectores Económicos. Los diferentes sectores económicos que componen el cantón Paute han ayudado a que la economía del sector prospere y fomente el desarrollo humano, para lo cual se han analizado datos desde 1990 y se plantea que para ese año en el sector primario dedicado principalmente a la agricultura y ganadería la PEA representaba el 28,43% de la población total, mientras que en el año 2001, este valor se reduce a 22,39% y en el año 2010, se reduce aún más a 19,66%. En el año 1990, la PEA representaba el 8,62%, aunque en los años siguientes este valor disminuyó, teniendo así para el año 2001 un valor de 3,66%, en el año 2010, de 3,83%. Finalmente para el sector terciario o de servicios la PEA representaba con respecto al año 1990 el 8,62%, En el 2001, este valor se incrementó notablemente a 10,44% y el año 2010, el valor fue de 16,29% (GADM de Paute, 2014).

Figura 9

Evolución por sectores económicos de la PEA



Nota: En la gráfica se muestra la evolución de la población económicamente activa por sectores. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: (INEC, 2001-2010).

3.2.4.6.2 Población Económicamente Activa Según Principales Ramas de Actividad.

Las principales actividades que desempeña la población económicamente activa son la agricultura y ganadería con un valor de 45,47%, le sigue el comercio con un porcentaje de 9,99%, sobretodo en el área urbana de Paute, y en las parroquias de Cabo y San Cristóbal, la actividad más desarrollada es la construcción con un porcentaje de 8,75% de la población económicamente activa total (GADM de Paute, 2014).

Tabla 10

Población económicamente activa según principales ramas de actividad

Actividades económicas	Pea hombres	Pea mujeres	Pea total	%
Agricultura, ganadería	2,641	2,249	4,890	45,47%
Comercio al por mayor y menor	501	573	1,074	9,99%
Industrias manufactureras	513	462	975	9,07%
Construcción	917	24	941	8,75%
Transporte y almacenamiento	391	25	416	3,87%
Administración pública y defensa	230	93	323	3,00%

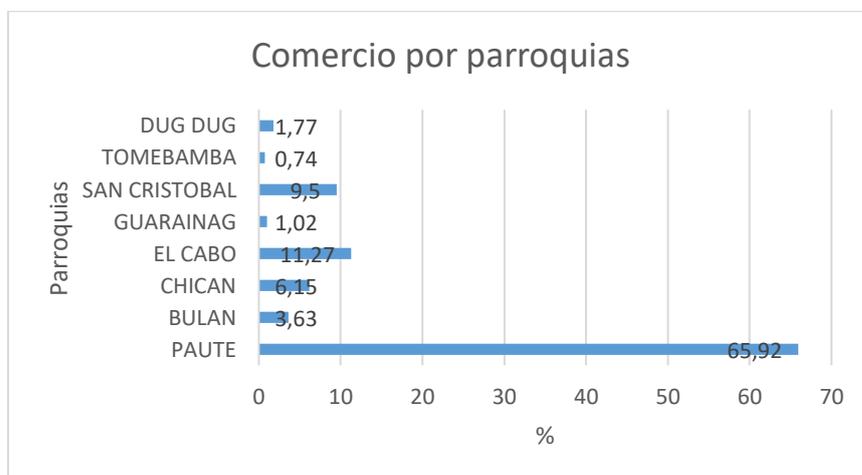
Actividades económicas	Pea hombres 56%	Pea mujeres 44%	Pea total 100%	%
Actividades de los hogares como empleadores	10	300	310	2,88%
Actividades de alojamiento y servicio de comida	84	198	282	2,62%
Enseñanzas	87	158	245	2,28%
Otras actividades de servicios	72	68	140	1,30%
Explotación de minas y canteras	103	6	109	1,01%
Otras actividades	525	524	1,049	9,76%
Total PEA cantonal	6,074	4,680	10,754	100%

Nota: La tabla presenta las actividades económicas y los porcentajes de aportación de mujeres y hombres del cantón Paute. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: Censo de Población y Vivienda INEC (2001-2010).

3.2.4.7 Comercio. Con respecto al comercio al por mayor y menor la población económicamente activa que se enfoca en este sector es de 1074 personas del cantón Paute, en la parroquia de Paute está el 65,92%, en la parroquia el Cabo está el 11,27%, en la parroquia de San Cristóbal está el 9,50% y en Tomebamba está el 0,74% de la PEA. Como base para que se de este intercambio comercial dentro de la parroquia es importante conocer que los mercados representan la principal actividad dentro de este sistema (GADM de Paute, 2014).

Figura 10

Comercio al por mayor y menor



Nota: En la gráfica se detalla el porcentaje de comercio existente por parroquias del cantón Paute. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Fuente: Censo de Población y Vivienda INEC (2001-2010).

3.2.4.7.1 Infraestructura de Soporte para el Desarrollo del Comercio en la Parroquia.

El cantón Paute cuenta con varios centros de intercambio económico, uno de ellos es el Mercado 26 de Febrero (Anexo 6), cuenta con una capacidad de 215 puestos de venta en los cuales se vende diversidad de productos como: ropa, accesorios y comida; parte de este mercado se encuentra anexado una edificación cubierta donde se encuentran 277 puestos que se dedican a la venta de diversos productos agrícolas, el mencionado mercado funciona principalmente los días domingo (GADM de Paute, 2014).

El mercado San José (Anexo 7), oferta servicios de comercio como: la venta de frutas, legumbres y carne de diferentes tipos de animales, además posee un patio de comidas. A diferencia del mercado 26 de Febrero, este abre a diario debido al funcionamiento de su patio de comidas y existe poca actividad de comercio o abasto (GADM de Paute, 2014).

Además la parroquia cuenta con el Mercado del Centavo (Anexo 8) en el cual de desarrolla un intercambio comercial y está dirigido por las socias productoras de la Red de Mujeres de Paute; el mercado cuenta con dos plantas; en la primer planta se puede encontrar variedad de carnes, hortalizas y legumbres, frutas, quesillo y en la segunda planta se encuentra ubicado un patio de comidas típicas.

3.2.4.8 Turismo. El turismo es una actividad importante en este cantón, por lo cual se fomenta mediante programas y estrategias la actividad turística, dando a conocer sus atractivos naturales, sus principales manifestaciones culturales, promocionando su deliciosa gastronomía típica, sus creencias populares, música y danza folclórica. Todo este conjunto de elementos hacen de Paute un cantón con gran riqueza turística (GADM de Paute, 2014).

3.3 Origen y Clasificación de Aguas Residuales

3.3.1 Residuos

Los residuos son cualquier objeto material o sustancia resultante del consumo o uso del mismo, estos son llamados residuos sólidos urbanos que se generan en sus zonas de influencia: domicilios, comercios, oficinas, industrias y otros servicios (AmBientech, 2016). Los residuos son conocidos comúnmente como basura o desecho, estos pueden ser orgánicos e inorgánicos; los mismos que pueden ser aprovechados dependiendo sus características.

Existen efectos ambientales que son muy evidentes y estos se han ido dando por un manejo incorrecto de residuos, trayendo como consecuencia el deterioro estético de las ciudades, tanto urbano como rural. Además se genera un impacto visual que es fácilmente observado por la población, entre los efectos ambientales más importantes son la contaminación de suelos, cuerpos de agua y aire (Rondón et al., 2016).

Los residuos que se clasifican como líquidos, son conocidos como aguas residuales y se desprenden de las comunidades luego de haber sido contaminada en distintas actividades. A estas aguas se suman aguas subterráneas, aguas superficiales y aguas pluviales, mismas que tienen que ser tratadas para evitar la generación de malos olores y prevenir enfermedades puesto que posee un sinnúmero de agentes patógenos (Metcalf y Eddy, 1995).

3.3.2 Aguas Residuales

Las aguas residuales se obtienen como resultado de algunas actividades en domicilios, fábricas, municipios entre otras, estas aguas deben ser desechadas porque contienen un elevado número de organismos peligrosos, así como sustancias, los mismos que pueden generar daños al ambiente a la salud y al entorno. Estas aguas residuales son la composición de residuos sólidos y líquidos que son vertidas a fuentes de agua lo que genera una contaminación hídrica que perjudica a la flora y fauna de la zona, además no permite la utilización de este recurso para fines recreativos o de otro uso. La eliminación del agua residual es un problema muy

grave, porque la contaminación del cuerpo de agua receptora no permite reutilizar este recurso para satisfacer las necesidades humanas perjudicando así a generaciones futuras (García et al., 1985).

3.3.3 Clasificación de las Aguas Residuales

Las aguas residuales están clasifican de acuerdo a su origen según lo establece Metcalf y Eddy, (1995) y estas pueden ser:

3.3.3.1 Aguas Residuales Domésticas (o Sanitaria). Este tipo de aguas son procedentes de los baños, la cocina y áreas de limpieza. Contienen alta cantidad de materia orgánica, también un número elevado de microorganismos, además estas aguas contienen restos de jabón, detergente, lejía y grasas.

3.3.3.2 Aguas Residuales Industriales. Es agua residual en la cual predominan vertidos industriales. En estas aguas se eliminan detergentes, aceites, antibióticos, ácidos y grasas. La composición de agua residual depende del tipo de industria.

3.3.3.3 Aguas Residuales Agrícolas. Son aguas procedentes de labores de riego, lavado de granjas que contienen excremento de animales, lavado de maquinaria usada en el terreno, entre otras. Estas aguas suelen ser arrastradas por canales de evacuación, afectando de cierto modo a la zona urbana.

3.3.3.4 Aguas de Infiltración. Son aguas que se infiltran en el sistema de alcantarillado, debido a la existencia de tuberías defectuosas, tubería de control y lavado.

3.3.3.5 Aguas Pluviales. Estas aguas provienen de la lluvia que es descargada contra el suelo, la cantidad varía de la estación del año y las condiciones climáticas. Estas aguas son drenadas y otra parte se transporta por la superficie junto con arena, tierra, hojas, desechos, et.

3.4 Características del Agua Residual

La formación de las aguas residuales es un producto inevitable, debido a que todos los humanos usan el agua para diferentes actividades y ninguno le da un tratamiento para su disposición final, estas aguas residuales provenientes de diferentes actividades (domésticas, industriales, municipales, entre otras), son transportadas a través del alcantarillado público las mismas que son llevadas a cuerpos de agua como los ríos, que son capaces de asimilar, depurar y transformar cierta cantidad de agua contaminada, especialmente de origen orgánico. Sin embargo al exceder la cantidad de agua residual que es descargada a un cuerpo de agua, la capacidad de asimilación disminuye y la calidad de la misma ya no tiene usos benéficos para el ser humano, por lo que se requiere un tratamiento de estas aguas (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Las aguas residuales presentan variedad de componentes que son clasificadas como: físicas, químicas y biológicas; es primordial observar estos parámetros que están relacionados, la identificación de los mismos permiten establecer métodos adecuados para su tratamiento a un menor costo y con mayor eficacia.

3.4.1 Características Físicas

Las aguas residuales tienen una caracterización física relevante, que considera el contenido de sólidos totales, que incluye la materia coloidal, en suspensión, sedimentable y disuelta. Además, también presenta otras características físicas como: la densidad, los olores, el color, la temperatura y turbiedad. Que son una fuente para determinar la calidad de agua (Metcalf y Eddy, 2003).

3.4.1.1 Sólidos totales. Son materiales suspendidos y disueltos que permiten establecer una revisión de procesos de tratamiento de aguas, estos pueden ser biológicos y físicos. Luego de que el agua sea sometida al proceso de evaporación y secado a una temperatura de 103 - 105 °C se obtiene la cantidad de sólidos totales. No siendo considera como sólida la materia que se

disipa durante el proceso, esto es por su elevada presión de vapor (Crites y Tchobanoglous, 2000).

3.4.1.2 Densidad. Está expresada en unidades de masa sobre volumen, la densidad de las aguas residuales domésticas que no contienen residuos industriales, es semejante a la densidad del agua a una misma temperatura. La densidad del agua y el peso específico varían de acuerdo a la temperatura al igual que la concentración de sólidos totales (Metcalf y Eddy, 1996, p. 96).

3.4.1.3 Olores. Los olores son provocados por la presencia de gases liberados cuando se descompone la materia orgánica. El agua residual que tiene poco tiempo, presenta un olor algo repulsivo poco tolerante, mientras que en las aguas residuales sépticas presentan un olor fuerte que no se puede tolerar, estos olores son producidos por el ácido sulfhídrico que son provenientes de descomposiciones anaerobias de los sulfuros y sulfatos (Romero, 2004, p. 63).

3.4.1.4 Temperatura. La temperatura en el agua residual tiene un valor más alto que la temperatura del agua usada como suministro, esto se debe a que al agua residual incorpora agua caliente procedente de los domicilios y las diferentes industrias. Existen rangos de temperatura en los cuales se realiza ciertos procesos como son: la actividad bacteriana que va en un rango de 25 a 35 °C, procesos de nitrificación en los que se requiere una temperatura de 50° C, bacterias productoras de metano que suspenden su actividad cuando la temperatura se acerca a los 16° C, bacterias autótrofas nitrificantes detienen su actividad a los 5° C. Existen otras actividades que dependen de la temperatura (Crites y Tchobanoglous, 2000).

3.4.1.5 Turbiedad. Mide la transmisión de luz de un cuerpo de agua natural o residual, también se ocupa para medir la calidad de agua debido a que tiene una relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Este análisis se realiza para comparar la intensidad de la luz dispersada en la muestra con la registrada en una suspensión de referencia en iguales condiciones (Metcalf y Eddy, 1995).

3.4.2 Características Químicas

Las aguas residuales presentan compuestos químicos que suelen ser clasificados en orgánicos e inorgánicos, estos compuestos le dan características adicionales a las aguas residuales para poder realizar tratamientos específicos dependiendo de su necesidad.

3.4.2.1 Características Químicas Orgánicas. Los compuestos de fácil biodegradación provienen del reino animal y vegetal, además son provenientes de ciertas actividades humanas relacionadas a la integración de compuestos orgánicos. La composición en su mayoría es de uniones entre carbono, hidrógeno y oxígeno; en algunos casos también está presente el nitrógeno, azufre, hierro o fósforo. Alrededor del 75% son sólidos en suspensión y el 25% son sólidos que se filtran a las aguas residuales, en concentraciones medias siendo de origen orgánico.

3.4.2.1.1 Proteínas. Son componentes importantes del organismo animal, siendo poco relevantes para los organismos vegetales. Las proteínas se encuentran en las aguas residuales entre un 40-60%. Su composición química es inestable y muy compleja, por lo que es difícil detectar su mecanismo de descomposición. Su presencia en altas concentraciones en aguas residuales puede causar olores muy fétidos; en su composición también tiene otros elementos que hacen más compleja su desintegración (Metcalf y Eddy, 1995).

3.4.2.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno. Se define como la cantidad de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica de forma bioquímica. La DBO es uno de los parámetros de contaminación orgánica más usado, tanto para las aguas residuales como para las aguas superficiales, la DBO5 es el valor de la DBO a los cinco días, el mismo que representa entre 65 a 80%, este valor puede variar dependiendo del tipo materia orgánica que esté presente en el cuerpo de agua. Existen algunas limitaciones para realizar estas pruebas, por ejemplo, que no se puede trabajar con sustancias tóxicas porque se está usando bacterias, debe existir suficiente disponibilidad de nutrientes para la

transformación de la materia orgánica, buena población de microorganismos y oxígeno suficiente (Metcalf y Eddy, 1995).

3.4.2.1.3 Demanda Química de Oxígeno. Se refiere a la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de la materia orgánica. Las pruebas de la DQO se utilizan para calcular el contenido orgánico presente en aguas residuales y naturales, capaz de ser oxidado por una solución química de dicromato en un medio ácido. La ventaja de esta prueba es su corto tiempo para su determinación, en la que solo se obtiene una evaluación en un tiempo aproximado 3 horas.

Existen dos metodologías para la determinación de la DQO. El primer método corresponde al reflujo abierto o macro DQO, que ya no es muy usado, debido a que se emplea una gran cantidad de muestra y reactivos para realizar el análisis. El segundo método es de reflujo cerrado o micro DQO, en este método se ocupan pequeñas cantidades de muestra y reactivos, lo cual lleva a reducir costos, tiempo e impacto al ambiente (Metcalf y Eddy, 1996, p. 93).

3.4.2.1.4 Carbono Orgánico Total. Es una prueba instrumental que se usa para determinar la cantidad de carbono total en las aguas servidas, este valor puede relacionarse con la DBO y DQO, también sirve como una medida de contaminación. Una prueba de COT tiene una duración de 5 a 10 minutos, en la actualidad existen dispositivos que se entrelazan con programas para el monitoreo constante de este parámetro dentro de la PTAR (Crites y Tchobanoglous, 2000).

3.4.2.1.5 Grasas y Aceites. La presencia de estas sustancias traen problemas a la PTAR, como son: el arrastre de sólidos, obstrucción y colmatación prematura; por lo que es necesario que sean removidas en tratamientos preliminares, de no ser así podrían afectar la vida biológica de los cuerpos de agua receptores creando material flotante desagradable (Metcalf y Eddy, 1996, p. 74).

3.4.2.1.6 Tensoactivos. También conocidos como agentes de actividad superficial, son moléculas orgánicas de gran tamaño que se componen de dos grupos, el uno es altamente hidrofóbico (insoluble en agua) y otro es hidrófilo (soluble en agua), la fuente de estos tensoactivos son los detergentes que suelen mezclarse con sales sódicas. Están presentes en las aguas superficiales formando capas de espuma, aunque se encuentren en concentraciones muy bajas, su presencia inhibe la actividad biológica y disminuye la solubilidad del oxígeno (Metcalf y Eddy, 1996, p. 75).

3.4.2.2 Características Químicas Inorgánicas

3.4.2.2.1 pH. Parámetro principal para conocer la calidad del agua natural y residual, existe un rango de concentración (6 - 9) el cual es idóneo para la proliferación y un alto porcentaje de desarrollo para la vida biológica. El agua residual con concentraciones fuera del rango requiere un tratamiento antes de ser desfogado en cuerpos de agua y de no ser así modifica la vida acuática (Metcalf y Eddy, 1996, p. 95).

3.4.2.2.2 Nitrógeno. El nitrógeno o también conocido como bioestimuladores es un nutriente necesario para el desarrollo de algas y las reacciones que ocurren en la presencia de este compuesto. Las formas en las que se puede encontrar este compuesto en las aguas residuales son: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos. Estos datos del nitrógeno son necesarios para evaluar el tratamiento más adecuado de las aguas residuales (Romero, 2004, p. 65)

Es necesario saber el contenido de nitrógeno al momento de diseñar una PTAR, para cumplir con la relación DBO y fósforo para obtener una depuración óptima (Menéndez y Pérez, 2007). Los impactos que pueden llegar a ocasionar son la disminución de oxígeno disuelto, toxicidad en varios organismos acuáticos y metahomoglobinemia en niños pequeños al consumir agua, estos efectos dependerán de la forma de nitrógeno que se encuentre en el agua.

3.4.2.2.3 Fósforo: El fósforo junto con el nitrógeno son necesarios para el crecimiento de protistas y plantas, la presencia de compuestos de fósforo como son los ortofosfatos, polifosfato y los fosfatos orgánicos son las formas más usuales; en aguas residuales domésticas el contenido de fósforo está en un rango de 6,20 mg/L (Menéndez y Pérez, 2007). Además, la presencia de compuestos de fósforo en cursos de agua receptores provocan la aparición de algas y otros organismos biológicos que suelen afectar a la calidad de agua, cuando las algas mueren provocan la aparición de color y olor desagradable, ocasionando un problema de contaminación orgánico (Russell, 2006).

3.4.2.2.4 Alcalinidad. Es un parámetro que tiene la capacidad de neutralizar ácidos en agua. La alcalinidad puede generarse por algunos compuestos químicos como son los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, así también elementos como el amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio. Es necesario un tratamiento químico de aguas residuales para prevenir cambios bruscos de pH especialmente en los procesos de eliminación biológica de nutrientes, amoníaco y tratamientos anaerobios (Romero, 2004, p. 29).

3.4.2.2.5 Cloruros. Son los más comunes en el agua residual, estos compuestos no causan ningún efecto severo a la salud del hombre, pero en concentraciones altas pueden ocasionar un sabor salado y desagradable. Los cloruros que se encuentran en aguas naturales son procedentes de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con las fuentes de agua, además están presentes en las aguas residuales. La generación diaria de cloruros es de 6 a 9 gramos por persona, los métodos convencionales de tratamientos de aguas residuales no remueven cloruros en cantidades significativas pero la presencia de los mismos en altas concentraciones puede construir indicadores para saber cómo se utiliza el agua residual (Romero, 2016).

3.4.2.2.6 Azufre: El ion sulfato se encuentra en la mayoría de aguas tanto naturales como residuales y de abastecimiento. Los sulfatos son reducidos mediante reacciones químicas

por la acción bacteriana en condiciones anaerobias a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno. El sulfuro de hidrógeno puede presentar una oxidación biológica lo que dará como producto ácido sulfúrico el cual es corrosivo en las tuberías (EPA, 2009).

3.4.2.2.7 Metales. Existen dos clasificaciones para los metales; la primera son los que se encuentran en cantidades muy pequeñas y suelen ser tóxicos, la segunda clasificación son los metales que son indispensables para el desarrollo de organismos y se los conoce como no tóxicos. Estos metales suelen presentarse como materia suspendida y disuelta (Drinan, 2001).

3.4.3 Características Biológicas

Los microorganismos tienen una alta capacidad metabólica que son capaces de descomponer, transformar y fermentar la materia orgánica utiliza o no la ayuda de oxígeno disuelto por medio de sistemas aerobios o anaerobios.

El componente orgánico que está presente en aguas residuales es un medio lleno de nutrientes para que a través de los microorganismos puedan desarrollarse cierres de ciclos biogeoquímicos. Esto ocurre en ciertos elementos: azufre, fósforo, nitrógeno y carbono. Existe un gran número de organismos principales que están en aguas residuales como las algas, bacterias, mohos, virus, anélidos, ciliados, flagelados, nematodos, rotíferos, larvas, et.; La identificación de estos microorganismos permite establecer la calidad de agua usándolos a los microorganismos como indicadores (Metcalf y Eddy, 1995).

3.4.3.1 Organismos Patógenos. Los organismos patógenos que están presentes en aguas servidas provienen de desechos del hombre que puedan ser portadores de infecciones o enfermedades. Existen organismos que son considerados importantes en aguas residuales y estos son: bacterias, huevos de helmintos, protozoos y virus. Los organismos patógenos que son excretados por los seres humanos pueden causar un sin número de enfermedades que están asociados con síntomas como: fiebre tifoidea, diarrea, disentería y cólera. Estos organismos

presentan un alto grado de infecciosidad siendo así, los responsables de muchas enfermedades crónicas y muertes en países con escasos recursos sanitarios (Metcalf y Eddy, 1995).

Tabla 11

Agentes infecciosos presentes en el agua residual

Organismo	Enfermedad	Síntomas
		Diarrea Dolor abdominal Vómitos
	<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis Dolor de cabeza Fiebre Escalofríos
Bacteria	<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea Fiebre hasta(40.5°C) Dolor de cabeza Debilidad y cansancio Sudoración Tos seca Pérdida de apetito y peso Dolor abdominal
	<i>Yerseinia enterotica</i>	Yersinosis Fiebre Diarrea Vómitos Dolor de garganta Salpullido Dolor de cabeza Dolor de las articulaciones y músculos
Virus	<i>Hepatitis A</i>	Hepatitis Infecciosa Fiebre Dolor de estomago Coloración amarilla de la piel Orina oscura
	<i>Agente norwalk</i>	Gastroenteritis Vómitos

Organismo	Enfermedad	Síntomas
		Diarrea
	<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
		Disentería
Protozoos		Fiebre
		Diarrea
		Deshidratación
	<i>Cryptosporidium</i>	Falta de apetito
	Criptosporidiosis	Dolor estomacal
		Vómitos
		Tos con sangre
		Fiebre baja
	<i>Ascaris Lumbricoides</i>	Expulsión de lombrices en las heces
Helminetos	Ascariasis	Vomitarse o toser expulsando lombrices
		Diarrea
	<i>Hymenolepis nana</i>	Molestia gastrointestinal
	Heymenlepiasis	Debilidad
		Prurito anal

Nota: La tabla indica las enfermedades que pueden darse al consumir agua que este con estos microorganismos. Adaptado de Metcalf y Eddy, (1996).

3.4.3.2 Organismos Indicadores. Los organismos patógenos son muy difíciles de identificar y aislar, además se encuentran en cantidades muy pequeñas en las aguas residuales, por ello se emplea organismos coliformes, su presencia es muy fácil de comprobar y están en grandes cantidades en relación a los otros organismos. El tracto intestinal de los seres humanos contiene un sin número de bacterias de bastoncillo, más conocidas como organismos coliformes. El ser humano puede evacuar de 100.000 a 400.000 millones de organismos coliformes cada día, por esta razón se considera como un posible indicador de organismos patógenos, cuando estos están en grandes cantidades la calidad del agua puede llegar a ser mala y la ausencia de los mismos indica que en el agua ya no existe presencia de organismos que causan enfermedades (Metcalf y Eddy, 1996).

Tabla 12*Organismos indicadores empleados para diferentes tipos de agua*

Tipo de agua	Organismo Indicador
Agua potable	<i>Coliformes totales</i>
Actividades lúdicas en agua dulce	<i>Coliformes fecales</i> <i>E. coli</i>
Actividades lúdicas en agua salada	<i>Coliformes fecales</i> <i>Coliformes totales</i> <i>Enterococos</i>
Zonas de crecimiento de moluscos	<i>Coliformes totales</i> <i>Coliformes fecales</i>
Irrigación agrícola	<i>Coliformes totales</i> (agua reutilizada)
Desinfección de efluentes de aguas residuales	<i>Coliformes totales</i> <i>Coliformes fecales</i>

Nota: La tabla indica los organismos que están presentes en las aguas para determinar la calidad de las mismas. Adaptado de Metcalf y Eddy, (1996).

3.5 Niveles de Tratamiento Dentro de un Sistema Integral de Tratamiento de Aguas

Residuales

Para definir el nivel de depuración que el agua residual es necesario conocer el fin que se le quiera dar a dicha agua residual o que la descarga de agua tratada vaya de acuerdo a la normativa ambiental vigente. El sistema integral de saneamiento de aguas cuenta con varios niveles como son: un tratamiento preliminar, primario, secundario, terciario, y disposición de lodos, son importantes porque cada uno cumple con una función específica para que de esta manera se logre una remoción más eficaz de agentes contaminantes (Noyola et al, 2013).

3.5.1 Tratamiento Preliminar

Es la primera etapa que se lleva a cabo con el fin de determinar y controlar el caudal que debe ingresar a la planta de tratamiento, además de remover arenas, grasas, aceites y sólidos flotantes de gran tamaño, es necesario el uso de desarenadores, cribas o rejillas, trampa de grasas y trituradores que se usan para reducir el tamaño de los desechos. Esta etapa es muy

importante para evitar problemas operacionales y de mantenimiento a futuro en todos los equipos que son necesarios a lo largo del tratamiento. También en esta etapa se puede realizar un pre aireación para eliminar compuestos volátiles los cuales son causantes de malos olores (Noyola et al., 2013, p. 12).

3.5.2 Tratamiento Primario

En esta etapa se remueve la materia orgánica suspendida y los sólidos en suspensión con ayuda de tanques decantadores que por medio de la fuerza de gravedad precipitarán las partículas, con el fin de lograr un proceso de sedimentación natural, aunque también se lo puede hacer con la ayuda de compuestos químicos como sulfato de aluminio, sales de hierro y polielectrolitos floculantes (Noyola et al., 2013, p. 12)

3.5.3 Tratamiento Secundario

Noyola et al., (2013), describió que durante esta etapa se logra remover la materia orgánica biodegradable por medio de un proceso de oxidación biológico, los microorganismos van a transformar los contaminantes que se encuentren existentes en el agua residual en material celular y en otros compuestos de origen orgánico e inorgánico (p. 13).

En esta etapa se puede encontrar procesos biológicos que pueden ser aerobios o anaerobios; con respecto a los aerobios se obtiene una gran cantidad de energía del sustrato con el fin de lograr la síntesis celular, por lo tanto se va a tener una mayor generación de biomasa como lodos no estabilizados que deberán ser adecuadamente tratados; mientras que en los anaerobios la síntesis celular es menor, por lo que no hay una gran producción de lodos (Noyola et al., 2013, p. 13).

3.5.4 Tratamiento Terciario

Es la última etapa en el tratamiento de aguas residuales, que por medio de varios procesos unitarios como filtración, desinfección con cloro o con luz ultravioleta, entre otros.

Se remueve la materia orgánica remanente no biodegradable, sólidos suspendidos, agentes patógenos y nutrientes (Noyola et al., 2013, p. 13).

El tratamiento terciario es necesario cuando se requiere cumplir con los límites máximos permisibles que se establecen en la normativa para descargas de efluentes (Noyola et al., 2013, p. 13).

3.5.5 Tratamiento y Disposición de Lodos

Los lodos sin importar cuál sea el tipo de tratamiento siempre se van a generar, es por ello que se debe conocer la forma más adecuada de tratarlos, existen diversos procesos que son altamente efectivos como el compostaje, estabilización con cal, incineración, pasteurización, digestión aerobia y anaerobia. Una vez que el lodo es tratado y su composición está acorde a la normativa establecida se lo puede confinar en un lugar que esté acondicionado para disponer de forma final a los lodos, actualmente existe una manera de darles uso a los lodos como fertilizantes o mejoradores de suelos siempre y cuando cumplan con los requerimientos para poder usarlos sin arriesgar la salud de la población y evitar el deterioro ambiente (Noyola et al., 2013, p. 14).

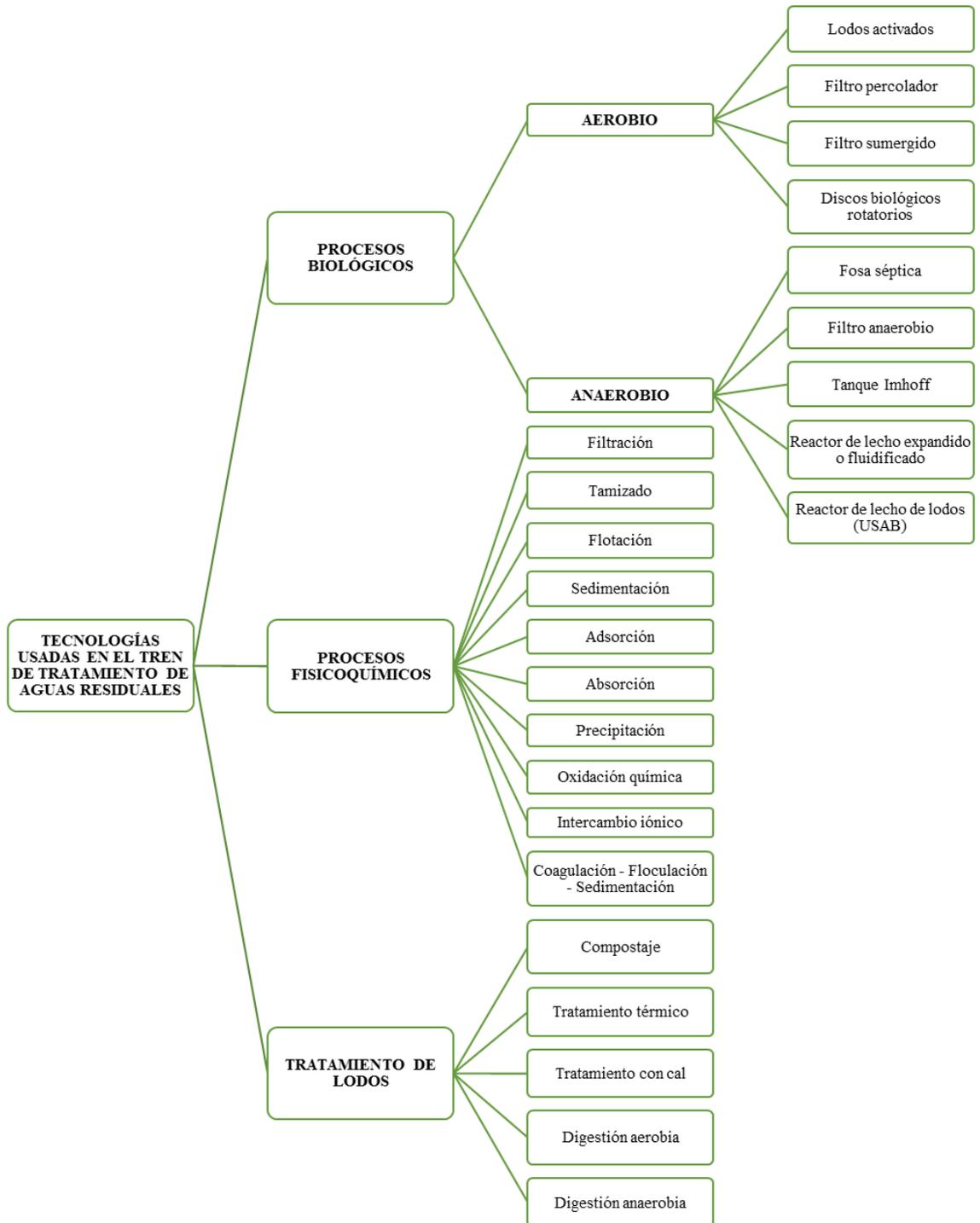
3.6 Tecnologías que Componen el Tren de Tratamiento de Aguas Residuales

Actualmente existen varias tecnologías que son de mucha utilidad al momento de tratar aguas residuales de modo que intervienen durante todo el tren de tratamiento; el cual consiste en tratar las aguas en todos sus niveles y los lodos que se generan, dichas tecnologías se van a clasificar de acuerdo al proceso unitario que les corresponda, existen procesos biológicos que pueden ser aerobios o anaerobios, también se tienen procesos físico-químicos en los cuales pueden existir procesos de filtración, sedimentación, tamizado, coagulación, floculación, adsorción, precipitación, entre muchos otros. Además es muy importante, como proceso final realizar el tratamiento de los lodos con el fin de disponer de ellos de una forma adecuada y de esta manera llevar a cabo un tren de tratamiento integral de las aguas que se requieren tratar.

En la Figura 11 se describen las tecnologías usadas durante el tren de tratamiento de cada proceso de una forma más detallada (Noyola et al., 2013).

Figura 11

Tecnologías usadas para tratar agua residual



Nota: En la gráfica se muestra los tipos de tecnologías usadas para el tratamiento de aguas residuales. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

3.6.1 Sistemas Naturales de Depuración

La depuración por lagunaje tiene como objetivo al almacenamiento de agua residual durante un tiempo determinado, el mismo que debe estar relacionado con la carga orgánica y el clima, de tal forma que se degrade la materia orgánica a través de reacciones biológicas, químicas y físicas. Las lagunas también llamadas estanques de estabilización suelen aplicarse en poblaciones mayores a los 200 habitantes, siempre y cuando se disponga de un terreno extenso para su construcción (Moreno, 2003, p. 19).

Estos sistemas tienen un alto porcentaje de rendimiento en la disminución de la DBO₅, sólidos en suspensión, nutrientes y agentes patógenos. Son de construcción simple y económica, los trabajos de mantenimiento son mínimos y no se requiere un personal calificado para estas labores; la evacuación de lodos se hace de 5 a 10 años (Crites y Tchobanoglous, 2000).

3.6.2 Lagunaje

Las lagunas de estabilización son consideradas como el método más sencillo para tratar aguas residuales (Mihelcic y Zimmerman, 2012), estas remueven principalmente la materia orgánica y las coliformes fecales. Son lagunas poco profundas que favorecen al desarrollo de la población microbiana que tiene una relación entre bacterias, algas y protozoos que buscan la eliminación en forma natural los patógenos relacionados con aguas residuales (Crites y Tchobanoglous, 2000).

3.6.3 Tipos de Lagunas

3.6.3.1 Lagunas Anaerobias. Las lagunas anaerobias requieren pequeñas áreas, no existe un proceso fotosintético y no generan algas, por lo general tienen una profundidad de 3 a 5 m en donde se depositan las bacterias (huevos de helminto y protozoarios) posteriormente son degradados por microorganismos anaerobio, su eficiencia depende del tiempo de retención hidráulico (Rolim, 2000). El tratamiento del agua residual en la laguna depende de la

temperatura la misma que debe ser mayor a 15 °C y no debe contener oxígeno disuelto. Cuando estas condiciones estén establecidas la materia orgánica pasa por 2 etapas:

Licuefacción.- en esta etapa no existe remoción de materia orgánica, debido a que esta es modificada por hidrólisis, es decir los compuestos orgánicos complejos (las bacterias) se transforman en moléculas más sencillas y solubles en agua (carbohidratos y gases) (Rolim, 2000).

Gasificación.- en esta fase existe la degradación de la materia orgánica debido a que mediante reacciones las bacterias anaerobias se encargan de generar gas metano, dióxido de carbono el cual es transformado a una molécula más sencilla de carbono (Rolim, 2000).

3.6.3.2 Lagunas Facultativas. Son diseñadas para remover la DBO, la presencia de nitrógeno, fósforo y carbono en estas aguas forman algas las mismas que producen oxígeno debido a la fotosíntesis mediante una relación entre algas y bacterias. Estas lagunas poco profundas dependiendo el proyecto si es una laguna facultativa primaria que reciben aguas residuales crudas son de 1,5 m y si laguna facultativa es secundarias que reciben aguas sedimentadas de la etapa primaria suelen ser de 1,5 a 2,5 m.

Las lagunas facultativas trabajan de acuerdo a su zona en la primera se establece condiciones aerobias, la otra zona es intermedia es decir existen bacterias aerobias y anaerobias las cuales están encargadas de la degradación de la materia orgánica y finalmente la última zona que es anaerobia en donde los sólidos que sedimentan se descomponen en materia fermentativa. Existe factores que benefician al correcto funcionamiento de la laguna estos factores son: la radiación solar, la sedimentación, potencial de hidrógeno, tiempo de retención hidráulica y altas concentraciones de oxígeno disuelto (EPA, 2009).

3.6.3.3 Lagunas de Maduración. Estas lagunas reciben el efluente de una laguna facultativa las condiciones de su tratamiento son aerobias. La profundidad puede ser de 0,6 a

1,5 m; el número de laguna de maduración depende del tiempo de retención necesario para reducir coliformes fecales hasta llegar a la norma establecida (Rolim, 2000).

3.7 Impacto Ambiental

El impacto ambiental es la modificación del entorno natural a causa de las actividades que el ser humano lleva a cabo. Algunas de las causas de este cambio en el ambiente se deben al uso excesivo de materias primas, implantación de nuevas industrias, construcción o expansión de ciudades, generación de desechos, descarga de efluentes sin tratamiento destruyendo de esta manera los ecosistemas (Gómez, 2003).

3.7.1 Tipología de Impactos Ambientales.

Según Encinas y Gómez (2011), se pueden clasificar en base a diversas características o elementos como puede ser según el signo, intensidad, extensión, momento, capacidad de recuperación, persistencia, efecto, interrelación de impactos y periodicidad, los cuales se describen con mayor detalle en la Tabla 13 (p. 32).

Tabla 13

Tipología de impactos ambientales

Tipología de impactos ambientales	
	<p>Positivo o Beneficioso</p> <p>Al momento de valorar un impacto se debe verificar que se aumente la calidad ambiental como antes de que se hubiese llevado a cabo la medida, con el fin de considerarse positivo (+).</p>
<p>SIGNO: hace referencia al impacto ocasionado ya sea beneficioso o perjudicial que tiene efectos sobre el componente ambiental.</p>	<p>Negativo o Perjudicial</p> <p>Si al valorar un impacto se demuestra que la calidad del componente ha disminuido a comparación de cuando se llevaba a cabo el proyecto, se considera que el impacto producido es negativo (-).</p>
	<p>Indeterminado</p> <p>Si se desconoce o no es posible definir el impacto que se ha generado en el componente de estudio se lo considera indeterminado.</p>

Tipología de impactos ambientales

<p>INTENSIDAD (IN): Se refiere al grado de ocurrencia de un impacto y su nivel de mejora o destrucción del factor o componente.</p>	Bajo	Este impacto se produce cuando la alteración o destrucción del componente ambiental es mínima.
	Medio	Se produce cuando la alteración o destrucción del factor o componente ambiental es media.
	Alto	Este impacto se produce cuando la alteración o destrucción del componente ambiental es alta o elevada.
	Muy Alto o Notable	Se produce cuando la alteración o destrucción del factor o componente ambiental es notable o muy elevada.
	Total	Este impacto es producido cuando la destrucción del factor ambiental es de manera total.
<p>EXTENSIÓN (EX): Esta característica hace referencia al área de influencia del impacto que se produce o se va a producir con respecto al total del entorno que se considera, es decir el porcentaje de área en base al entorno en el que se hace notorio el impacto.</p>	Puntual	<p>Cuando el efecto está claramente localizado en el componente ambiental.</p> <p>Se produce cuando el efecto sobre el componente ambiental está localizado en una zona apreciable.</p>
	Parcial	
	Extremo	Cuando el efecto afecta a gran parte del entorno o componente ambiental.
	Total	Se produce la afectación de forma general en todo el entorno.
<p>MOMENTO (MO): Esta característica hace referencia al tiempo que transcurre desde que inicia la operación (t_0) hasta que aparecen los efectos como consecuencia del desarrollo de un proyecto en cualquiera de sus fases (t_j).</p>	Inmediato	Ocurre cuando el efecto aparece en el mismo momento en el que se inicia las actividades, es decir que el $t_0 = t_j$
	Latente	<p>El efecto aparece después de cierto tiempo desde que se dio inicio a las actividades, y van a depender del tiempo como pueden ser:</p> <p>Corto plazo: $t_j - t_0 < 1$ año.</p> <p>Mediano plazo: $1 < t_j - t_0 < 5$</p> <p>Largo plazo: $t_j - t_0 > 5$</p>

Tipología de impactos ambientales

	Reversible	Se produce cuando el efecto es asimilado por parte del entorno de forma natural, debido a que el factor se recupera por sí mismo.
<p>CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN (CR): Hace referencia a la capacidad de regeneración del componente afectado, es decir que tan posible es retornar a las condiciones iniciales en las que se encontraba el entorno antes de que ocurra la alteración natural o antrópica.</p>	Irreversible	<p>Ocurre cuando el efecto no puede ser asimilado por el entorno de forma natural, esto quiere decir que el factor no puede retornar a la situación inicial de forma natural.</p> <p>Por ellos se deben aplicar medidas correctoras que ayudarán a que el entorno se recupere, es por ello que tenemos en base a las medidas correctoras que un impacto puede ser:</p> <p>Recuperable: si el efecto puede eliminarse en su totalidad.</p> <p>Mitigable: cuando el efecto puede mitigarse de manera importante.</p> <p>Irrecuperable: cuando el efecto no se puede mitigar ni eliminar.</p>
	Temporal	<p>Se produce cuando el efecto no permanece en el tiempo, aunque se puede clasificar de la siguiente manera:</p> <p>Fugaz: dura menos de 1 año.</p> <p>Temporal: dura entre 1 a 3 años.</p> <p>Pertinaz: dura entre 4 a 10 años.</p>
<p>PERSISTENCIA (PE): Esta característica se refiere al tiempo que permanece el efecto desde que apareció, es decir su durabilidad.</p>	Permanente	<p>Ocurre cuando el efecto permanece en el tiempo y cuando el impacto producido sobrepasa los 10 años.</p>
	Directo o Primario	<p>Cuando el efecto es consecuencia directa de la acción.</p>
<p>EFECTO (EF): Hace referencia a la forma en que se manifiesta el efecto sobre un factor o componente ambiental.</p>	Indirecto o Secundario	<p>Cuando el efecto no es consecuencia directa de la acción, puede ser consecuencia de un impacto primario.</p>

Tipología de impactos ambientales		
INTERRELACIÓN DE IMPACTOS (II): Hace referencia a la forma en que se suman los impactos como consecuencia de diversas acciones. Esta interrelación ocurre entre acciones y efectos.	Simple	Cuando no es posible sumar los impactos, la acción afecta a sólo un factor ambiental.
	Acumulativo	Ocurre cuando el efecto aumenta debido a la realización de varias acciones similares.
	Sinérgico	Se produce cuando el efecto acumulativo de varias acciones genera una mayor alteración que al sumar las alteraciones producidas por las acciones de forma individual.
	Continuo	Aunque puede ser temporal, la acción tiene un efecto prologado mientras ocurre su desarrollo.
PERIODICIDAD (PR): Hace referencia a la regularidad de manifestación del efecto sobre el componente ambiental.	Discontinuo	Ocurre mientras dura la acción, aunque tiene un efecto que aparece y desaparece de forma intermitente a lo largo del tiempo.
	Irregular o Aperiódico	No es posible preverlo en el tiempo.

Nota: La tabla indica la clasificación de los tipos de impacto. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

3.7.2 Plan de Manejo Ambiental

Un plan de manejo ambiental es un documento importante dentro de la gestión ambiental de todo proyecto u obra, que describe a detalle las acciones a realizarse con el fin de identificar, prevenir, mitigar y eliminar posibles impactos ambientales negativos que sean producto de las actividades desarrolladas de un proyecto u obra (Secretaría de Ambiente del DMQ, 2020).

El Plan de Manejo Ambiental que se podría aplicar para el Diseño de la Planta de Tratamiento de aguas en el mercado central de Paute va a contar con los siguientes programas:

3.7.2.1 Programa de Prevención y Mitigación de Impactos Ambientales. El objetivo de este programa es prevenir, controlar, mitigar o eliminar los posibles efectos ambientales

adversos que se presenten durante la ejecución del proyecto, afectando principalmente el componente ambiental aunque muchas veces también se ve afectado el entorno humano, este programa no está enfocado necesariamente en reponer a sólo uno de los componentes que pueden verse afectados, es posible mitigar uno o varios componentes o elementos devolviéndolos a una calidad similar a la que tenían antes del impacto ambiental causado (Tunjuelito, 2009).

3.7.2.2 Programa de Contingencia. Este programa tiene como objetivo principal establecer las medidas de respuesta inmediata ante alguna emergencia que pueda presentarse durante cualquier etapa del proyecto y pueda poner en peligro al personal y al componente ambiental. En este programa se encuentran compiladas todas las acciones y procedimientos de respuesta que deben aplicarse para combatir cualquier emergencia que pueda presentarse (Tunjuelito, 2009).

3.7.2.3 Programa de Seguridad y Salud Ocupacional. Este plan está enfocado en evitar y reducir en la medida de lo posible accidentes y enfermedades ocupacionales, con el fin de garantizar el bienestar de todo el personal manteniendo o mejorando su salud; esto ayudará a incrementar el rendimiento y productividad en el trabajo. Para lo cual es necesario definir actividades que mejoren las condiciones de trabajo e identificar el origen de accidentes o posibles factores de riesgo (Tunjuelito, 2009).

3.7.2.4 Programa de Comunicación, Capacitación y Educación Ambiental. Para llevar a cabo este plan es necesario realizar capacitaciones continuas a todo el personal que trabaje en la obra o proyecto en temas de importancia como son primeros auxilios en caso de presentarse alguna emergencia, además del manejo de extintores y conocimiento de la señalética ubicada en los alrededores, también es importante educar al personal sobre temas ambientales con el fin de crear una conciencia colectiva (Tunjuelito, 2009).

3.7.2.5 Programa de Relaciones Comunitarias. Es importante mantener una buena relación con la comunidad aledaña a la obra o proyecto que se está llevando a cabo, para lo cual este plan establece los principios y mecanismos sociales que permitan una eficiente y cordial comunicación con los habitantes que se vean beneficiados o perjudicados con el desarrollo del proyecto (Tunjuelito, 2009).

3.7.2.6 Programa de Monitoreo y Seguimiento. Este plan establece los puntos para llevar a cabo el monitoreo en cuanto a suelo, agua, aire, ruido, entre otros, además de realizar el seguimiento de todas las medidas establecidas en el Plan de Manejo Ambiental, con la finalidad de verificar todos los impactos generados durante el desarrollo del proyecto, es importante realizar un control para comprobar la correcta aplicación de todas las medidas que cumplan con los objetivos ambientales establecidos (Tunjuelito, 2009).

3.7.2.7 Programa de Cierre y Abandono. El objetivo de este plan consiste en establecer las medidas y lineamientos ambientales para dar por finalizado el proyecto u obra, así mismo en caso de que existieran daños ambientales en el lugar o en zonas aledañas se deben llevar a cabo las medidas pertinentes para solucionarlo (Tunjuelito, 2009).

3.8 Normativa Legal

3.8.1 Constitución

Acorde a lo establecido en la Constitución de la República del Ecuador [CRE] (2008), publicada en el Registro Oficial No. 449 el 20 de octubre del 2008.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales y jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que

tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

3.8.2 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua

La Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes (2015), está dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

En el apartado 5.2.4 se establecen las normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce, Toda descarga de agua deberá cumplir con parámetros establecidos a continuación en la Tabla 14.

Tabla 14

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Expresada como	Unidad	Límite Máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	30
aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN	mg/L	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto de carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes fecales	NMP	Nmp/100mL	2000
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20

Parámetro	Expresada como	Unidad	Límite Máximo permisible
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno(5días)	D.B.O ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/L	200
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Magnesio total	Mn	mg/L	2,0
materia flotante	Visibles	mg/L	Ausencia
mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno total Kjeldahi	N	mg/L	50,0
Compuestos Organofosforados totales	Organofosforados totales	mg/L	0,1
plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de Hidrógeno	pH	mg/L	6 – 9
Solidos suspendidos totales	SST	mg/L	130
Solidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/L	1000
Sulfuro	S	mg/L	0,5
temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5

Nota: La tabla muestra los límites máximos permisibles de ciertos compuestos. Fuente: Adaptado de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes (2015).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción General de la Zona

El cantón Paute está localizado en el Noreste de la provincia del Azuay, en las coordenadas; 749954,6 m E y 9692271 m N, limita al norte con el cantón Azogues de la provincia del Cañar, al este con los cantones Sevilla de Oro y Guachapala, al sur con el cantón Gualaceo y con el cantón Cuenca al oeste.

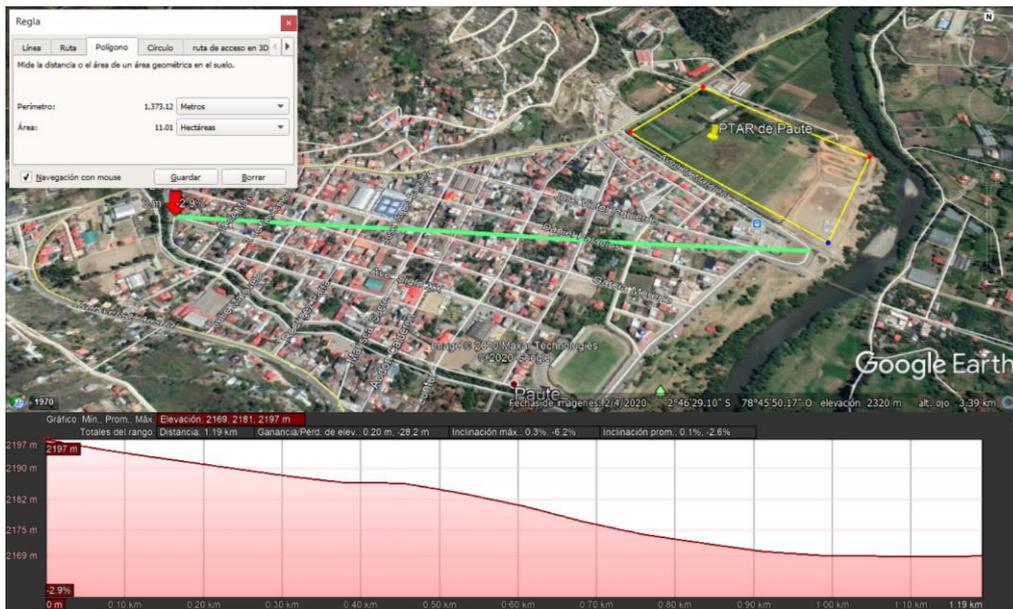
Este cantón se encuentra dividido en varias parroquias, las cuales están administradas jerárquicamente por las autoridades competentes, y los dirigentes de cada parroquia se encargan de realizar las gestiones pertinentes para el desarrollo y manejo exitoso de cada una de las parroquias a las cuales representan. En el año 1992, el cantón Paute fue dividido territorialmente en nuevos cantones como se menciona a continuación; Guachapala, El Pan y Sevilla de Oro jurisdicciones que junto a Palmas y Amaluza, pertenecieron por muchos años al cantón Paute (GADM de Paute, 2014).

4.1.1 Ubicación

La ubicación de la PTAR será en la zona 17 M que tiene como coordenadas: 749518.71 m E y 9692871.14 m S, el motivo de esta ubicación es por la facilidad de recolección de aguas residuales que son conducidas a este punto por gravedad, además el terreno tiene suficiente espacio para la construcción de la planta y presenta una pendiente suave la misma que facilitará el movimiento de masa y reducirá los costos.

Figura 12

Análisis de la zona



Nota: En la imagen se puede observar donde estará colocada la PTAR y la pendiente de las zonas de estudio.
Fuente: Google Earth. Editado por: Berrones G., Tapia E., 2020

4.1.2 Delimitación de las Zonas de Estudio

Para el desarrollo del proyecto fue necesario establecer dos alternativas para llevar a cabo el diseño, con respecto a la Zona 1 como se puede observar en la Figura 13 abarca el Mercado Central 26 de Febrero (área morada) que incluye un área de influencia (área verde), debido a que dicho mercado esta subdivido en varios puestos alrededor del mismo, y la Zona 2 a más de incluir las zonas antes mencionadas se incluyó todo el casco colonial de la Parroquia de Paute (área anaranjada) cuyas actividades están indirectamente relacionadas con el mercado.

Figura 13

Distribución de zonas de estudio



Nota: Las zonas de estudio están relacionadas directa o indirectamente con la actividad principal del mercado.
Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

4.2 Plan de Muestreo

Es importante determinar la calidad del agua mediante muestreos, debido a que pueden existir varias alternativas de depuración como puede ser la realización de un diseño, para lo cual es importante conocer la composición de dicha muestra de agua con el fin de saber qué tipo de tratamiento requiere, también es necesario para conocer si una Planta de Tratamiento ya existente está funcionando correctamente.

Al momento de realizar un muestreo se deben tener en cuenta varios parámetros como son: el lugar de donde se va a tomar las muestras, el tiempo en el que se las tomará, la frecuencia, y la técnica que va a ser usada la cual debe ser llevada a cabo por un profesional o una persona calificada para hacerlo (Reutelshöfer y Guzmán, 2015).

4.2.1 Técnicas de Toma de Muestras

Con el fin de que las muestras que se van a tomar y previamente a analizar den resultados correctos es fundamental elegir la técnica adecuada para la toma de muestras, existen

varias técnicas de muestreo con sus respectivas ventajas y desventajas. Cada una tiene un objetivo en concreto por lo cual a continuación se detallan las técnicas de muestreo más comunes.

4.2.1.1 Muestra Simple. Según APHA et al., (1992), este tipo de muestra es la más fácil y simple de hacer, sólo se toma una muestra en un sólo lugar e instante con ayuda de un recipiente, aunque es muy rápida y práctica de hacer esta técnica tiene como desventaja que sólo permite conocer la composición del agua en ese instante, por lo cual se pueden presentar errores. Se debe tener en cuenta que este muestreo se lo realiza cuando presenta un flujo de agua residual no es continuo (p. 1-36).

4.2.1.2 Muestra Compuesta. De acuerdo con APHA et al., (1992), una muestra compuesta consiste en tomar y mezclar varias muestras simples las cuales deben ser tomadas en intervalos constantes de tiempo. Se usa comúnmente para determinar la eficiencia del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas, mediante los resultados obtenidos se conocerán las condiciones promedio del agua. Este tipo de muestreo es más complicado de realizar, por lo tanto, se necesita más tiempo y equipos (p. 1-37).

4.2.1.3 Muestra Integrada. APHA et al., (1992), menciona que este tipo de muestra se obtiene al mezclar algunas muestras simples tomadas en distintos lugares al mismo tiempo o con un intervalo corto de tiempo. Para este tipo de muestras se requiere más equipo y tiempo que permiten conocer en promedio la contaminación de agua existente en un determinado periodo de tiempo, además se debe realizar la toma de la muestra a una profundidad conocida evitando de esta manera tomar la muestra de una capa superficial (p. 1-37).

4.2.1.4 Muestra para Análisis Microbiológico. Para este tipo de muestras lo primero que se debe tener en cuenta es que el recipiente donde se la va almacenar debe ser estéril, se realiza un muestreo simple y se la debe tomar directamente con el recipiente donde se la va a almacenar, una vez que se tenga el lugar donde muestrear se destapa el frasco, se lo lleva al

flujo de agua, colocar el agua en el recipiente sin llenarlo por completo para que los microorganismos no mueran e inmediatamente se tapa para evitar que la muestra se contamine (Reutelshöfer y Guzmán, 2015).

4.2.2 Procedimientos para la Toma de Muestras

Se realizó una visita técnica al lugar del proyecto con la finalidad de identificar su situación actual, además de poder tomar datos necesarios para la investigación y tomar muestras para análisis con la finalidad de usar un tratamiento idóneo para la remoción de dichos contaminantes presentes en el agua del mercado.

El procedimiento de muestreo se realizó de acuerdo a lo que (Reutelshöfer y Guzmán, 2015) establece:

1. Se preparan todos los materiales necesarios para el muestreo: como guantes, desinfectante, muestreador, balde limpio, hoja de documentación que evidencie la toma de muestra.
2. En caso de requerir muestra de afluente y de efluente, se debe iniciar con el efluente para evitar la contaminación de la muestra.
3. Elección de un lugar apropiado.
4. En caso de taponamiento, la tubería debería ser abierta.
5. Realizar el etiquetado de la muestra antes de iniciar el muestreo.
6. El recipiente del muestreador y el balde deben ser enjugados con agua.
7. Tomar la muestra en base a la técnica establecida de acuerdo a los parámetros a analizar.
8. Para muestras de análisis microbiológicos no se debe llenar por completo el recipiente.

9. Tapar el frasco inmediatamente y colocarlo en un conservador a temperaturas frías. Con el fin de evitar exposición al calor de las muestras ya que se podrían presentar alteraciones en los resultados.

Según APHA et al., (1992), al momento de realizar una muestra se debe tener en cuenta la cadena de custodia esto garantizará la calidad de la muestra para un valor más preciso en los resultados que se obtendrán. Por lo cual es importante tomar a consideración los siguientes aspectos:

- a. **Etiquetado de las Muestras:** según es necesario utilizar etiquetas para evitar la falsificación de las muestras, en el etiquetado debe constar: número de muestra, fecha y hora de la toma, sitio de muestreo, tipo de muestra, nombre de la persona que realizó el muestreo. Las etiquetas se deben colocar antes o después en los frascos que van a contener las muestras y se deben escribir con tinta indeleble. (p. 1-38)
- b. **Sellado de la Muestra:** los sellos en una muestra son usados para detectar cualquier intento de falsificación que pueda darse antes de la realización del análisis. El sellado de la muestra debe hacerse en presencia del personal de vigilancia asignado o del personal que realiza la toma de las muestras, en el sello debe constar el número de la muestra, el responsable de la realización del muestreo, fecha, hora y lugar de la toma. (p. 1-39)
- c. **Conservantes:** depende del tipo de agua residual que se tenga y del tipo de parámetro que sea necesario analizar se pueden agregar conservantes a los recipientes de muestreo, ya sea antes de tomar la muestra o inmediatamente luego de tomarla. En la Tabla 15 se especifican algunos de los conservantes que pueden ser usados, la cantidad de muestra necesaria y el tiempo de acuerdo al parámetro que se analizará (Romero, 2016, p. 125).

Tabla 15*Requerimiento para la toma de muestras*

Parámetros	Cantidad mínima de muestra (mL)	Tiempo máximo de almacenamiento recomendado / regulatorio	Formas de conservación
Aceite y grasas	1000	28 días / 28 días	Agregar ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) hasta pH < 2 y refrigeración
Alcalinidad	200	24 horas / 14 días	Refrigeración
DBO	1000	6 horas / 48 horas	Refrigeración
Cianuro total	500	24 horas / 14 días; 24 horas si hay sulfuro	Agregar Hidróxido de Sodio (NaOH) hasta pH > 12, refrigeración en oscuridad
DQO	100	7 días / 28 días	Análisis inmediato o agregar ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) hasta pH < 2 y refrigeración
Color	500	48 horas / 48 horas	Refrigeración
Pesticidas	-	7 días / 7 días hasta extracción, 40 días tras extracción	Refrigeración, si hay presencia de cloro residual agregar ácido ascórbico 1000 mg/L
Fenoles	500	Si es posible refrigerar durante el almacenamiento y realizar su análisis lo más pronto posible/ 28 días	Refrigeración y agregar ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) hasta pH < 2
Conductividad	500	28 días / 28 días	Refrigeración
Dureza	100	6 meses / 6 meses	Agregar ácido nítrico (HNO ₃) hasta pH < 2
Fosfato	100	48 horas / -	Para fosfato disuelto filtración inmediata y refrigeración
Nitrato	100	48 horas / 48 horas (28 días)	Análisis inmediato o refrigeración
Nitrato + nitrito	200	Ninguno / 28 días	Agregar ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) hasta pH < 2 y refrigeración
Nitrito	100	Ninguno / 28 días	Análisis inmediato o refrigeración
Olor	500	6 horas / -	Análisis inmediato, refrigeración

Parámetros	Cantidad mínima de muestra (mL)	Tiempo máximo de almacenamiento recomendado / regulatorio	Formas de conservación
Oxígeno disuelto (Electrodo)	300	0,5 horas / inmediato	Análisis inmediato
pH	-	2 horas / inmediato	Análisis inmediato
Sólidos	-	7 días / 2-7 días	Refrigeración
Sulfato	-	28 días / 28 días	Refrigeración
Sulfuro	100	28 días / 7 días	Refrigeración, agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/ 100 mL; Agregar Hidróxido de sodio (NaOH) hasta pH > 9
Temperatura	-	Inmediato / Inmediato	Análisis inmediato
Turbidez	-	24 horas /48 horas	Análisis inmediato, guardar en oscuridad hasta 24 horas y refrigeración

Nota: La tabla detalla una metodología para realizar muestreos. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.
Fuente: APHA et al., 1992, p. 1-42 – 1-44.

4.2.3 Establecimiento de los Puntos de Muestreo

Fue necesario establecer puntos de muestreo en base a la localización de los mercados y su área de influencia, teniendo así el punto 1 ubicado entre las calles Julio Matovelle e Ignacio Calderón, cuyas coordenadas son: 748586.7 m E y 9692544.4 m N; el punto 2 situado entre las calles Abdón Calderón y García Moreno, 748914.8 m E y 9692615.8 m N, finalmente el punto 3 se encuentra localizado en la coordenada 749650.3 m E y 9692880 m N, es un punto ya establecido para realizar un monitoreo y control de las aguas residuales generadas.

Figura 14

Puntos de muestreo



Nota: Los puntos seleccionados para la toma de muestra fueron cerca de la actividad principal de la zona.
Fuente: Google Earth. Editado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

4.3 Parámetros Analizados y Selección del Método

4.3.1 Medición de Parámetros In Situ en los Puntos de Muestreo

Las mediciones de parámetros in situ se realizó en 3 puntos específicos que formaban parte de las zonas de estudio del trabajo experimental, los resultados se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16

Resultados in situ

Punto	Parámetro	Valor	Unidades	Fecha / hora
1	pH	8,88		
	Temperatura	22,7	°C	13/03/2020
	Turbidez	844,1	NTU	10:38 AM
	Oxígeno disuelto	0,73	mg/L	
2	pH	7,47		
	Temperatura	20,6	°C	13/03/2020
	Turbidez	174,3	NTU	11:21 AM
	Oxígeno disuelto	3,43	mg/L	
3	pH	6,92		
	Temperatura	22,5	°C	13/03/2020
	Turbidez	497,7	NTU	11:35 AM
	Oxígeno disuelto	4,88	mg/L	

Nota: La tabla detalla los parámetros medidos in situ con instrumentaría portátil para obtener valores al momento. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

4.3.2 Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos

La toma de muestra se realizó el día viernes 13 de marzo de 2020 a las 11:50 am, en el punto cuyas coordenadas son: 749650.3 m E y 9692880 m N, se tomó una muestra compuesta y se mandó a analizar en el Laboratorio de Saneamiento de Etapa cuya dirección es Panamericana Norte Km. 5 1/2, Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, sector Ucubamba – Cuenca. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 17, y los respaldos de los resultados se encuentran en el Anexo 11.

Tabla 17

Resultados

Parámetro	Método	Fecha de realización	Unidad	Muestra
Demanda bioquímica de oxígeno	PEE/LS/FQ/01	13/03/2020 – 18/03/2020	mg/L	275
Demanda química de oxígeno	PEE/LS/FQ/06	13/03/2020	mg/L	721
Nitratos	SM 4500 NO3 - E	30/03/2020	mgN/L	0,075
Nitritos	SM 4500 NO2	13/03/2020	mgN/L	<0,002
Coliformes totales	SM 9221 E	13/03/2020 – 15/03/2020	NMP/100 mL	3,3E+07
Coliformes termotolerantes	SM 9221 E	14/03/2020 – 16/03/2020	NMP/100 mL	3,4E+06
Fósforo total	PEE/LS/FQ/03	13/03/2020	mg/L	2,96

Nota: La tabla presenta datos de los parámetros analizados en el laboratorio ubicado en Ucubamba, Cuenca Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

4.3.2.1 Sólidos Totales. Para determinar sólidos totales se realizó la toma de la muestra el día 18 de junio de 2020 a las 8:30 am, en el punto cuyas coordenadas son: 749650.3 m E y 9692880 m N, se tomó una muestra de 1 litro y se mandó a analizar en el Laboratorio LASA ubicado en la ciudad de Quito. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 18 y los respaldos de los resultados se encuentran en el Anexo 12.

Tabla 18*Resultados sólidos totales*

Parámetro	Unidades	Resultado	Incertidumbre u (k=2)	Método de ensayo
Sólidos totales	mg/L	640	-	APHA 2540 b

Nota: La tabla indica el resultado de sólidos totales del agua residual de Paute. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

4.3.2.2 Sólidos Sedimentables. La determinación de sólidos sedimentables se realizó en base al método normalizado 2540 F. Sólidos sedimentables el cual se encuentra descrito en el Anexo 13, para lo cual fue necesario un cono de Imhoff y el procedimiento que se realizó fue de tipo volumétrico, como se puede visualizar en la Tabla 19.

Tabla 19*Resultados sólidos sedimentables*

Sólidos sedimentables		
Tiempo	Muestra 1	Muestra 2
45 minutos	1,5 mL	0,9 mL
60 minutos	2 mL	1,8 mL

Nota: La tabla indica los resultados de sólidos sedimentables en los tiempos detallados en la tabla. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

En base a la Tabla 20, se reportan los resultados con respecto a los sólidos sedimentables obtenidos en el laboratorio, para elegir la escala de división que ayudará a elegir el criterio adecuado para reportar los resultados.

Tabla 20*Tabla de referencia para reportar resultados*

Intervalo de volumen (mL)	División de la escala (mL)	Criterio para repostar resultados (mL/L)
0 - 2	0,1	0,1
2 - 6	0,5	0,3
6 - 10	0,5	0,5
10 - 20	1	0,5
20 - 40	1	1

Nota: La tabla detallada señala cuales son los criterios para reportar resultados para sólidos sedimentables. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

Con respecto a los resultados obtenidos la muestra 1 presenta una sedimentación de 0,3 ml/L de material sedimentable, mientras que la muestra 2 presenta una sedimentación de 0,1 ml/L en base a los criterios establecidos para reportar resultados de sólidos sedimentables.

4.3.2.3 Prueba de Jarras. Antes de llevar a cabo el método de pruebas de jarras se realizó la medición de pH y turbidez inicial de la muestra para hacer una comparación y verificar el efecto del coagulante en el agua residual, cuyos resultados se encuentran en la siguiente Tabla 21.

Tabla 21

Parámetros de la muestra de agua residual

	pH	Turbidez (NTU)
Agua residual	6,86	232,5

Nota: La tabla señala el valor del pH y Turbidez en el agua que se tomó para analizar el agua residual de Paute. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

El índice de Willcomb describe la formación de flóculos luego de añadir la dosis química de coagulante para que el tratamiento sea efectivo debe existir un equilibrio en la distribución de los mismos (Lorenzo, 2006). Como se puede ver en la Tabla 22.

Tabla 22

Índice de Willcomb

Índice	Descripción de Flóculos	
0	Coloidal	Ningún signo de aglutinación.
2	Visible	Casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso	Flóculo bien formado pero distribuido uniformemente es muy disperso y no sedimenta.
6	Claro	Tamaño relativamente grande que precipita con lentitud.
8	Bueno	Flóculo, se deposita fácilmente (no completamente).
10	Excelente	Flóculo que se deposita totalmente, dejando el agua cristalina.

Nota: La tabla detalla la descripción de los flóculos de acuerdo con el índice para hacer una selección de acuerdo al tipo de agua que se obtuvo. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020. Tomado de: Lorenzo, (2006).

En la Tabla 23, se describe el volumen y la dosis de coagulante utilizado para cada una de las jarras, además de los resultados de medición de turbidez y pH, y la descripción del índice de Willcom luego del tratamiento realizado.

Tabla 23

Determinación de la dosis óptima de coagulante

No. de jarra	Volumen de coagulante [mL]	Dosis de coagulante [mg/L]	Turbiedad residual	pH final	Índice de Willcomb	Observaciones
1	0,1	33,31	114,5	6,82	2	Flóculo visible muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
2	0,125	41,63	98,7	6,98	2	Flóculo visible muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
3	0,5	166,54	108,2	6,82	2	Flóculo visible muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
4	0,75	249,80	59	6,87	2	Flóculo visible muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
5	1	333,07	138,0	6,91	4	Flóculo bien formado pero distribuido uniformemente es muy disperso y no sedimenta
6	1,5	499,61	128,1	6,84	6	Flóculo claro de tamaño relativamente grande que precipita con lentitud

Notas: La tabla detalla los parámetros analizados mismos que están relacionados con el índice de willcomb. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

La Tabla 24, describe los valores de pH antes y después de aplicado el tratamiento y mediante esto se determinó el pH óptimo que la muestra alcanzó.

Tabla 24

Determinación de pH óptimo

No. de jarra	pH inicial	Turbiedad residual	pH final	Índice de Willcomb	Observaciones
1	8,81	114,5	6,82	2	Flóculo visible muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
2	7,93	98,7	6,98	2	Flóculo visible muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
3	6,86	108,2	6,82	2	Flóculo visible muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
4	7,81	59	6,87	2	Flóculo visible muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
5	9,89	138,0	6,91	4	Flóculo bien formado pero distribuido uniformemente es muy disperso y no sedimenta
6	8,85	128,1	6,84	6	Flóculo claro de tamaño relativamente grande que precipita con lentitud

Nota: La tabla presenta una evaluación de acuerdo al índice de willcomb de acuerdo a parámetros analizados para determinar el pH óptimo. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

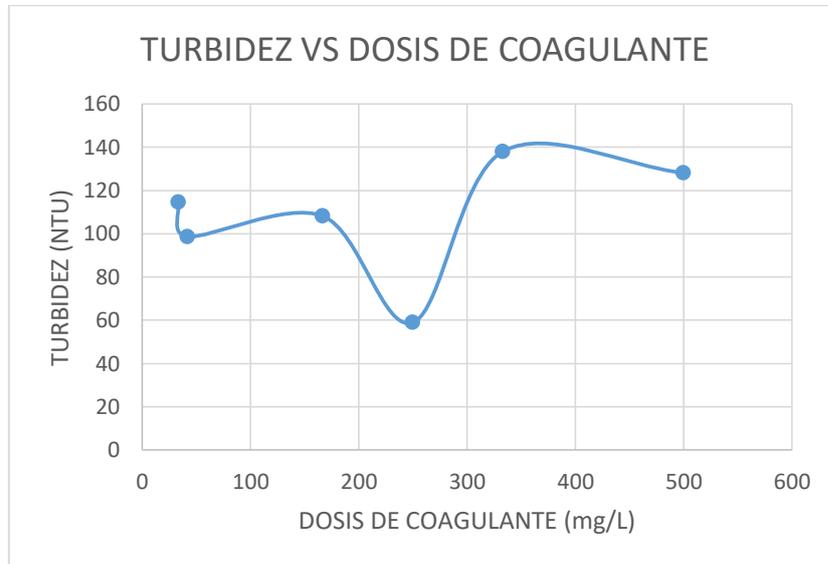
Como resultados de la dosis óptima de coagulante la Jarra N° 4 presentó el mejor valor de coagulación con una dosis de 0,75 mg/L de sulfato de aluminio, y el mejor resultado de pH óptimo lo presentó la Jarra N° 2 con valor de 6,98.

En la Figura 15, se muestra de forma gráfica los valores de dosis de coagulante que corresponden al eje x y la turbidez que corresponde al eje y, en el gráfico se puede identificar

que la dosis que obtuvo un mejor resultado disminuyendo la turbidez fue la dosis de 0,75 ml por cada litro de agua.

Figura 15

Relación de la turbidez y dosis coagulante



Nota: En la figura se muestra la relación que existe entre la turbidez y la dosis de coagulante. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

La jarra que presenta una mejor eficiencia de remoción es la es la jarra N° 4 que tiene una dosis de coagulante de 0,75 mg/L y el porcentaje de remoción fue de 74,62 %, es la más cerca al 100 %, como se puede observar en la Tabla 25.

Tabla 25

Porcentaje de remoción

N° DE JARRA	TURBIDEZ INICIAL	TURBIDEZ FINAL	% DE REMOCIÓN
1	232,5	114,5	50,75 %
2	232,5	98,7	57,55 %
3	232,5	108,2	53,46 %
4	232,5	59	74,62 %
5	232,5	138,0	40,65 %
6	232,5	128,1	44,90 %

Nota: La tabla describe los porcentajes de remoción de acuerdo a los análisis de la turbidez. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

Estos parámetros fueron analizados para determinar la dosis adecuada del coagulante en el caso de ser necesario aplicar un tratamiento químico para remover la materia orgánica en suspensión o disuelta, turbidez y microorganismos; esta metodología se hizo a escala de laboratorio para comprobar la efectividad del método, también fue necesario para el desarrollo de los cálculos del costos de agua tratada por metro cúbico como parte del análisis económico.

4.3.3 Selección del Método

Para la determinación del tratamiento adecuado de aguas residuales fue necesario establecer una relación DBO/DQO, si es inferior a 0,2 es agua residual de tipo inorgánico con poca biodegradabilidad, si está en un rango de 0,2 a 0,4 es de tipo orgánico biodegradable y si el valor es mayor a 0,4 es muy biodegradable (Martínez, 2010), de acuerdo al resultado obtenido luego de analizar dichos parámetros el valor fue 0,4 lo que indica seleccionar un tratamiento secundario convencional mediante sistemas biológicos que para este proyecto fue de lagunas de estabilización como lo establece (Metcalf y Eddy, 1995, p. 146).

La selección del sistema de lagunas de estabilización se basó en los rendimientos medios de remoción (Lozano, 2012) como se puede ver en la Tabla 26, como también se consideró la implantación de las instalaciones y estimaciones de costos. El tratamiento biológico seleccionado no requiere recursos energéticos, la condiciones ambientales son favorables y no requieren de personal altamente calificado, haciéndolo de fácil aplicación y eficiente en este tipo de agua residual.

Tabla 26

Porcentajes de remoción en lagunas de estabilización

Porcentajes medios de remoción			
Parámetros	Lagunas		
	anaerobia	facultativa	maduración
SST	40 a 60 %	40 a 70 %	40 a 80 %

Parámetros	Lagunas		
	anaerobia	facultativa	maduración
DQO	40 a 50 %	50 a 70 %	70 a 80 %
Nitrógeno	0 a 15 %	30 a 60 %	30 a 80 %
Fósforo	0 a 15 %	0 a 30 %	10 a 60 %

Nota: La tabla detalla los porcentajes de remoción que deben presentar cada una de las lagunas de estabilización. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

4.4 Parámetros de Construcción

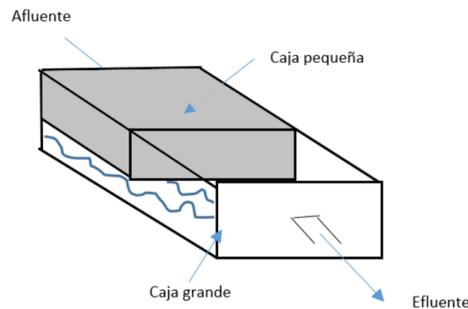
4.4.1 Tratamiento Preliminar

4.4.1.1 Cribado. El cribado se efectúa mediante el paso del agua residual por unas rejas las cuales están formadas por barras metálicas separadas usualmente 2,5 cm y colocadas en ángulo de 45° respecto a la horizontal. Estos sólidos son retirados manualmente con rastrillos para que finalmente sean enterrados o incinerados.

4.4.1.2 Trampa de Grasa. El desengrasado consiste en la separación, en forma de espumas flotantes, de las grasas y aceites que son arrastradas por las aguas residuales, estas grasas son retenidas en las trampas por su densidad que es menor a la del agua y se queda como material flotante, el agua sin grasas y aceites pasa a la siguiente etapa. Este sistema es conectado al final del pretratamiento que se les da a las aguas residuales y que interfieren en los procesos biológicos.

Figura 16

Diseño de una trampa de grasa



Nota: La trampa de grasa está compuesta por dos cajas las cuales están colocadas para que en la pequeña se queden atrapados todas estas sustancias y la segunda retenga otro porcentaje menor. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

4.4.2 Lagunas de Estabilización

4.4.2.1 Laguna Anaerobia. Para que este tipo de lagunas funcione de manera óptima se requiere temperaturas próximas a los 30 °C, el agua debe tener un color grisáceo, el potencial de óxido reducción (POR) debe estar entre valores de -0,42 a +0,82 voltios, el tiempo de retención por lo general puede ser entre 2 y 5 días, el pH debe mantenerse y no bajar de 7, además se considera como buen funcionamiento de la laguna la presencia de espuma o costras en la superficie, esto ayudará a evitar la pérdida de calor y evitará la generación de malos olores (Lozano, 2012).

4.4.2.2 Laguna Facultativa. En estas lagunas la temperatura óptima para su funcionamiento debe estar próxima a los 28 °C, el agua debe tener un color verde brillante lo cual indica que las algas están en actividad fotosintética, los valores de pH deben estar entre los 7,5 y 8,5, es importante tener en cuenta que para que se desarrolle de manera óptima la actividad fotosintética se necesita de radiación solar para lo cual la profundidad en estas lagunas debe ser pequeña con el fin de que toda la columna de agua tenga cierto grado de iluminación (Lozano, 2012).

4.4.2.3 Laguna de Maduración. El diseño para este tipo de lagunas va a depender del lugar donde se las quiera ubicar, como parámetros se debe considerar la temperatura, velocidad

del viento, condiciones de precipitación, insolación y evaporación, debido a estas condiciones existen varios modelos que son aplicables dependiendo de la región o clima, el tiempo de retención para este tipo de lagunas debe ser de mínimo 5 días (Lozano, 2012).

4.5 Cálculos y Diseño

4.5.1 Determinación de Dosis Óptima y pH Óptimo

Este método es muy importante para realizar el control del proceso de coagulación química del agua, en este tipo de prueba se utiliza distintas dosis de coagulante para cada jarra, por lo general son seis jarras. Se busca encontrar la dosis exacta para obtener una mejor calidad de agua a un bajo costo (Fúquene y Yate, 2018).

Para determinar la dosis óptima de coagulante y el pH óptimo, se siguió el procedimiento descrito en el Anexo 9 y Anexo 10 respectivamente. Para llevar a cabo esta prueba se utilizó materiales, reactivos y equipos los cuales se encuentran descritos en la Tabla 27.

Tabla 27

Materiales, reactivos y equipos usados prueba de jarras

Materiales		Reactivos		Equipos	
Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad
Probeta 1 L	1	Sulfato de aluminio		Equipo de prueba de jarras	1
Vasos de precipitación de 400 mL	6	Agua destilada		Turbidímetro	1
Jeringas hipodérmicas de plástico de 5 y 10 mL	6			pH metro	1
Balones aforados de 100 mL	6				
Piseta	1				
Espátula	1				

Material	Reactivos	Equipos
Pipetas volumétricas de 5 mL	2	

Nota: La tabla describe los materiales usados en el laboratorio para la determinar la dosis y pH óptimo en el agua de estudio. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

4.5.1.1 Dosis Óptima. Para determinar la dosis óptima de coagulante se aplicó la ecuación (1), cuyo objetivo es realizar una dilución de una solución, manteniendo la cantidad de soluto, aumentando el volumen de la solución y de esta manera la concentración de soluto disminuye (Ciro y Herrera, 2019).

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (1)$$

Donde se establece:

C_1 = Concentración de la solución más concentrada

V_1 = Volumen de la solución más concentrada

C_2 = Concentración de la solución más diluida

V_2 = Volumen de la solución más concentrada

4.5.1.2 Porcentaje de Remoción. Sirve para evaluar la eficiencia de remoción de la turbidez luego de añadido el coagulante o floculante, que se encuentra expresado en porcentaje. Se aplicó la ecuación (2) para cada jarra de la prueba (Barajas y León, 2015).

$$\% \text{ remoción} = \frac{T_o - T_f}{T_o} * 100 \quad (2)$$

Donde se establece:

T_o = Turbidez inicial

T_f = Turbidez final

4.5.2 Cálculo de la Población Futura

Para el cálculo de la población dentro de las 2 zonas de estudio se usó datos del INEC (2001-2010), adicional a esto para determinar el índice de crecimiento poblacional se usaron las siguientes ecuaciones las cuales fueron verificadas en Excel, también se calcularon los caudales de acuerdo con el crecimiento poblacional.

$$i = \sqrt[n]{\frac{Pf}{Po}} - 1 \quad (3)$$

$$Pf = Po(1 + i)^n \quad (4)$$

Donde se establece:

Pf = Población final

Po = Población inicial

i = Tasa de crecimiento

n = Número de años

Tabla 28

Crecimiento poblacional del cantón Paute

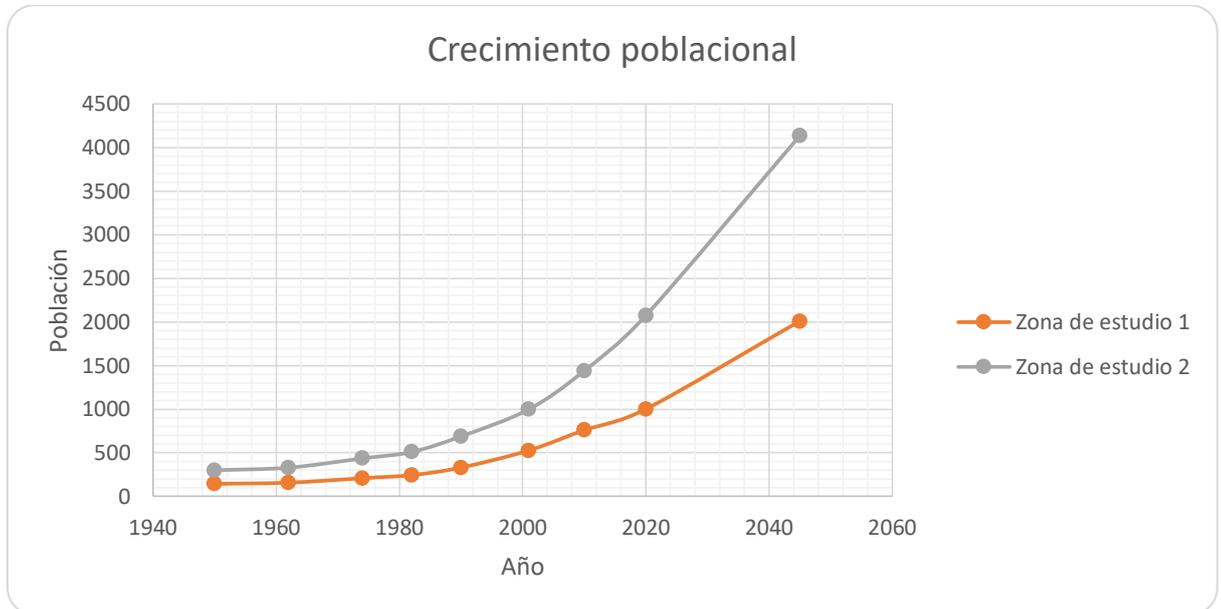
Año	Zona de estudio 1 (hab)	Caudal(m ³ /día)	Zona de estudio 2 (hab)	Caudal(m ³ /día)
1950	144	20,74	300	43,2
1962	158	22,464	330	47,52
1974	209	30,24	436	63,07
1982	245	35,42	510	73,44
1990	331	47,52	688	99,36
2001	527	76,03	998	143,42
2010	760	109,73	1439	207,36
2020	1001	144,29	2073	298,94
2045	2010	289,44	4134	595,30

Nota: La tabla muestra la relación de crecimiento poblacional con el caudal de cada una de las zonas. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

En la siguiente gráfica se puede observar como es el crecimiento poblacional relacionado con el caudal; a mayor población mayor caudal.

Figura 17

Relación del crecimiento poblacional de las zonas de estudio



Nota: Se indica una relación entre las dos zonas; respecto a la población y su tasa de crecimiento. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

4.5.3 Cálculos de Caudales

En el cálculo de los caudales se usaron los siguientes gastos; mínimo, medio diario, máximo instantáneo y máximo extraordinario. Los mismos que se calcularon con las siguientes ecuaciones:

Este caudal es la aportación de un día en relación a un año

$$Q_{med} = pf_{2045} * D * 0,8 \quad (5)$$

Para el gasto de caudal mínimo se toma en cuenta solo el 50%

$$Q_{min} = \frac{Q_{med}}{2} \quad (6)$$

En el gasto máximo instantáneo hay que aplicar el coeficiente de Harmon el cual se calcula a través de la siguiente expresión:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf_{2045}}{1000}}} \quad (7)$$

Una vez calculado el coeficiente de Harmon se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$Q_{m\acute{a}x\ inst} = (M)(Q_{med}) \quad (8)$$

En el gasto máximo extraordinario se tiene que multiplicar el gasto máximo instantáneo con el coeficiente de seguridad

$$Q_{m\acute{a}x\ ext} = 1,5 * (Q_{m\acute{a}x\ inst}) \quad (9)$$

Donde se establece:

Q_{med} = Gasto medio (m³/día)

Q_{min} = Gasto mínimo (m³/día)

$Q_{m\acute{a}x\ inst}$ = Gato máximo instantáneo (m³/día)

$Q_{m\acute{a}x\ ext}$ = Gato máximo extraordinario (m³/día)

D = Dotación (m³/hab*día)

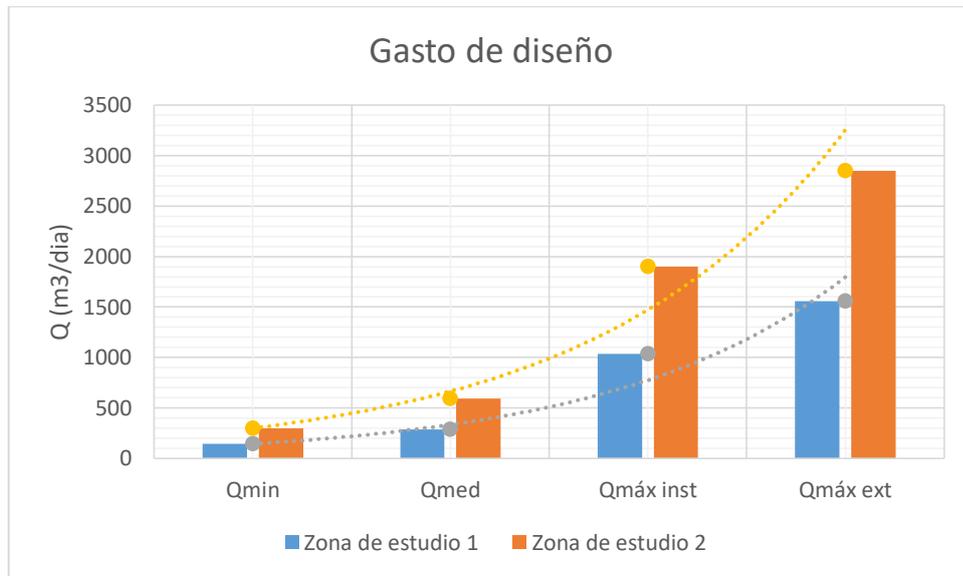
Pf_{2045} =Población final (hab)

M = Coeficiente de Harmon

Para el diseño de la PTAR se usaron los datos de caudal medio

Figura 18

Diferente gasto de diseño para las zonas de estudio



Nota: Se puede observar cuáles serán los valores de caudal que ingresarán a la planta respecto de las dos zonas de estudio. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

El valor que se ocupa para diseñar toda la PTAR es el gasto medio, este es un caudal promedio en un día de aportación medido anualmente, se encuentra en función del número de habitantes al horizonte del proyecto de la aportación de agua negras determinada para cada habitante y la dotación diaria. A diferencia de los otros gastos medios calculados se refiere al valor mínimo o máximo que puede darse en un determinado instante.

4.5.4 Pretratamiento

4.5.4.1 Diseño de Criba. El diseño de la criba se calculó usando la ecuación que se establece en el libro de Metcalf y Eddy, (2003), para pérdida en rejilla, para este dimensionamiento se usó el área del triángulo rectángulo de 45° detallado a continuación (p. 326).

$$h = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{c * Ae} \right)^2 \quad (10)$$

Donde se establece:

Q = Caudal (m³/s)

c = Coeficiente de descarga (Adimensional)

g = Gravedad (m/s²)

Ae = Área específica (m²)

Por conocimiento se sabe que el área específica es la siguiente:

$$Ae = L * A \quad (11)$$

Donde se establece:

Ae = Área específica (m²)

L = Longitud (m)

A = Ancho (m)

Aplicando teorema de Pitágoras se llega a la siguiente ecuación:

$$\frac{L}{1,4142} = h \quad (12)$$

Entonces se realizó un reemplazo y se utilizó la siguiente expresión:

$$L = \sqrt[3]{\frac{1,4142}{2g} \left(\frac{Q}{c * Ae}\right)^2} \quad (13)$$

Para el diseño de la rejilla se utilizó la siguiente referencia tomada del libro de Romero, (2004), en donde están los parámetros del diseño de la rejilla, además se utilizó la ecuación

para determinar el número de barrotos tomadas del mismo libro (p. 288). La Tabla 29, se presenta a continuación con los parámetros de diseño:

Tabla 29

Características de rejillas de barras

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0,5 - 1,5 cm	0,5 - 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 - 7,5 cm	2,5 - 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 - 5,0 cm	1,5 - 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 - 06 m/s	0,6 - 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Nota: En la tabla se detallan las características de las rejillas de acuerdo al mecanismo seleccionado. Tomado del libro de (Romero, 2004).

$$n = \frac{a - t}{t + b} \quad (14)$$

Donde se establece:

n = Número de barrotos (adimensional)

a = Ancho del canal (m)

t = Separación entre barras (cm)

b = Ancho de las barras (cm)

4.5.4.2 Diseño de la Trampa de Grasas. Se consideró los datos de la densidad, grasas y aceites tomados de acuerdo a la composición típica del agua residual con una concentración fuerte como lo establece (Metcalf y Eddy, 2003) en el que se determinó la cantidad de estas sustancias presentes en el agua y cuál es el tiempo de vaciado en una caja provisional; dando como resultado un tiempo de 2 días de su operación.

Para calcular el volumen se utilizó la ecuación tomada de Metcalf y Eddy, (2003):

$$V = \frac{Q * Tv * GyA}{\rho} \quad (15)$$

Donde se establece:

Q = Caudal (m³/día)

Tv =Tiempo de vaciado (días)

GyA = Concentración de grasas y aceites (g/ m³)

ρ = Densidad (g/m³)

Para dimensionar el tanque que trata estas aguas se hizo una relación, según Romero, (2004). Se utilizó el volumen calculado con anterioridad

Longitud de la caja

$$L = \sqrt[3]{\frac{27 * V}{2}} \quad (16)$$

Ancho caja grande

$$a = \frac{L}{2} \quad (17)$$

Ancho caja pequeña

$$a_{cp} = \frac{2}{3} * h \quad (18)$$

Largo caja pequeña

$$L_{cp} = \frac{2}{3} * L \quad (19)$$

Donde se establece:

L = Longitud (m)

a = Ancho (m)

h = Altura (m)

a_p = Ancho caja pequeña (m)

L_p = Largo caja pequeña (m)

4.5.5 Diseño del Sistema de Lagunas

4.5.5.1 Anaerobia. Para determinar las dimensiones de esta laguna anaerobia es necesario determinar varios parámetros que indiquen la eficiencia de esta unidad, así como también el porcentaje de remoción, el cálculo de estos parámetros se describen a continuación.

Las siguientes ecuaciones fueron tomadas del libro Crites y Tchobanoglous (2000).

Carga Orgánica

$$C.O. = \frac{Q_i DBO_j}{1000} \quad (20)$$

Donde se establece:

Q_i = Gasto en el influente (m³/día)

DBO_j = Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en la entrada de los tanques (mg/L)

1000 = Factor de conversión

Carga volumétrica de diseño

$$\lambda_v = 20(T) - 100 \quad (21)$$

Donde se establece:

λ_v = Carga orgánica Volumétrica (gDBO_i/m³-día)

T = Temperatura mínima mensual del mes más frío (°C)

Según (Metcalf y Eddy, 2003), para aguas residuales domésticas el rango de estos valores debe estar entre 100 y 300 gDBO_i/m³-día.

Remoción de la DBO₅

$$\%DBO_{removido} = 2T + 20 \quad (22)$$

Volumen de la laguna

$$V_a = \frac{L_i Q_i}{\lambda_v} \quad (23)$$

Donde se establece:

V_a = Volumen (m³)

L_i = Concentración de la materia orgánica en la entrada del estanque (m³/día)

Q_i = Gasto en el influente (m³/día)

Área de la laguna

Se consideró una laguna con profundidad de 4 metros, también se ocupa el volumen antes calculado para esta ecuación.

$$A_a = \frac{V_a}{Z} \quad (24)$$

Donde se establece:

A_a = Área de la laguna (m²)

Tiempo de retención hidráulica

Con el volumen de la laguna y el gasto en el influente se calcula el TRH mediante la siguiente ecuación

$$O_a = \frac{V_a}{Q_i} \quad (25)$$

Donde se establece:

O_a = Tiempo de detención hidráulico (días)

Concentración de la DBO₅ en el efluente de la laguna

De acuerdo con Rolim (2000) se muestran los datos para la remoción de la DBO₅ en lagunas anaerobias, el mismo que al obtener el valor del tiempo hidráulico y no estar en la Tabla 30, fue encontrado mediante interpolación. El valor de la DBO₅ en la salida de la laguna permitirá conocer la eficiencia del tratamiento.

Tabla 30*Remoción de DBO5 en lagunas anaerobias*

Tiempo de Retención(d)	DBO ₅ Remanente (%)	DBO ₅ Removida (%)
0.12	80	20
0.40	70	30
0.71	65	35
1.30	60	40
2.40	55	45
4.70	50	50
9.40	45	55

Nota: La tabla muestra los porcentajes de remoción respecto al tiempo de retención hidráulico. Fuente: Rolim (2000). Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

$$DBO_e = ((100 - \%DBO_{removido})/100) * DBO_i \quad (26)$$

Donde se establece:

DBO_e = Concentración de la materia orgánica (mg/L)

Gasto en el efluente corregido por evaporación

Para poder obtener el valor de gasto en la salida de la laguna anaerobia se necesitó el valor estadístico de evaporación, el mismo que fue obtenido en base de datos del INAMHI (2014).

$$Q_e = Q_i - 0.01A_a ev \quad (27)$$

Donde se establece:

Q_e = Gasto en la salida del estanque (m³/día)

ev = Evaporación en (mm/día)

Remoción de coliformes fecales.

(28)

$$Kt(d^{-1}) = 2,6(1,19)^{T-20}$$

Donde se establece:

$Kt(d^{-1})$ = Constante global de decaimiento en (d^{-1})

Coliformes fecales en el afluente de la laguna

$$N_e = \frac{N_i}{1 + KtO_a} \quad (29)$$

Donde se establece:

N_e = Coliformes fecales en la salida del estanque en (NMP/100mL)

N_i = Coliformes fecales en la entrada del estanque en (NMP/100mL)

DBO₅ corregida por evaporación

Para este cálculo se usa la concentración de la materia orgánica en el efluente, gasto en el influente y gasto en la salida del estanque ya antes calculados, mismos que serán reemplazados en la siguiente ecuación:

$$DBO_{corr} = \frac{DBO_e Q_i}{Q_e} \quad (30)$$

Coliformes fecales corregidos por evaporación

Para este cálculo se usa las coliformes fecales que ingresan a la laguna, gasto en el influente y gasto en la salida del estanque ya antes calculados, los cuales serán reemplazados en la siguiente ecuación:

$$N_{ecorr} = \frac{N_e Q_i}{Q_e} \quad (31)$$

4.5.5.2 Facultativa. Para el diseño y análisis de parámetros que requiere esta laguna se consideraron los resultados calculados de la laguna anaerobia: evaporación, DBO5 en la salida del estanque, Coliformes fecales, temperatura y gasto en el efluente, además ecuaciones ya trabajadas en el sistema anterior que son las lagunas anaerobias.

Carga orgánica se usó la ecuación (20)

Carga superficial de diseño

$$\lambda_s = 250(1,085)^{T-20} \quad (32)$$

Donde se establece:

λ_s = Carga orgánica superficial (KgDBO₅/ha*día)

T = Temperatura media mensual mínima del aire (°C)

Área de la laguna facultativa (área promedio)

$$A_f = \frac{10l_i Q_{med}}{\lambda_s} \quad (33)$$

Donde se establece:

l_i = DBO₅ corregida por evaporación de laguna anaerobia (mg/L)

A_f = Área del estanque facultativo en (m²)

Q_{med} = En este caso consideramos $Q_{med} = Q_i$ ($m^3/día$)

λ_s = Carga orgánica superficial ($KgDBO_5/ha*día$)

Volumen de la laguna

Se utilizó una profundidad de $Z = 1,5$ metros

(34)

$$V = A_f Z$$

Donde se establece:

V = Volumen en (m^3)

Z = Profundidad del estanque (m)

Tiempo de retención hidráulico: se usó la ecuación (25)

Gasto en el efluente: se usó la ecuación (27)

La ecuación incluye la relación largo ancho (x), mismas que son realizados con el largo promedio y ancho promedio una vez dimensionada la laguna.

$$x = L_{prom}/B_{prom} \quad (35)$$

Coefficiente de dispersión

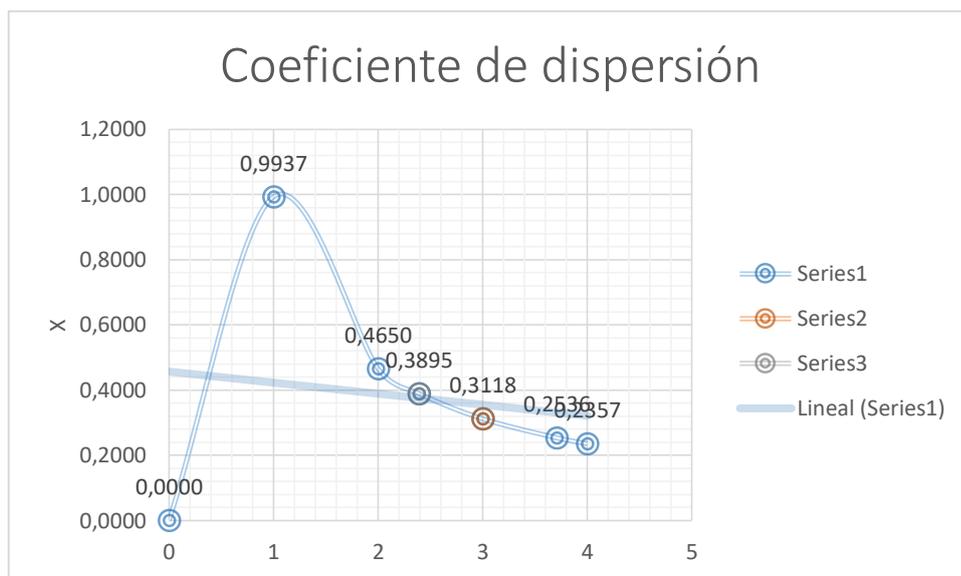
Para obtener el valor del coeficiente de dispersión se utilizó el programa de Excel el mismo que arroja los resultados respecto a x como se puede ver en la Figura 17, también se puede calcular mediante la ecuación descrita a continuación:

$$d = \frac{x}{-0,26118 + 0,25392x + 1.0136x^2} \quad (36)$$

Este coeficiente de dispersión se calculó para obtener la forma de las lagunas, estos valores establecen el largo-ancho, cabe mencionar que se localizan dentro del área para flujo disperso por el método de Yáñez (Rolim, 2000).

Figura 19

Coeficiente de dispersión para valores x



Nota: Se puede observar los valores que tiene este coeficiente en las tres lagunas que están construidas con un flujo disperso. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

Donde se establece:

d = Factor de dispersión adimensional

x = Relación largo ancho

Coeficiente de reducción bacteriana

$$K_b = 0.841(1,075)^{T-20} \quad (37)$$

Constante a

$$a = \sqrt{1 + (4K_b O_f d)} \quad (38)$$

Donde se establece:

K_b = Coeficiente de decaimiento bacteriano (día⁻¹)

a = Constante sin dimensiones

O_f = Tiempo de retención hidráulico (días)

Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4ae^{(1-\frac{a}{2d})}}{(1+a)^2} \quad (39)$$

Al multiplicar por los coliformes fecales en el influente

$$Ne = \frac{N_f}{N_o} * N_i \quad (40)$$

Donde se establece:

$\frac{N_f}{N_o}$ = Coeficiente de Coliformes fecales remanente en el efluente

Coliformes fecales corregidos por evaporación: Se usó la ecuación (31)

Concentración de la DBO₅

Este parámetro es en el efluente de la laguna y es una constante analizada en el laboratorio a 35° C

$$K_f = \frac{K_{f35}}{(1,085)^{35-T}} \quad (41)$$

Donde se establece:

K_{f35} = Constante de la concentración de la DBO₅ (1,2 día⁻¹)

K_f = Constante de decaimiento a una temperatura en cualquiera (día⁻¹)

Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la laguna

$$DBO_e = \frac{DBO_i}{K_f O_f + 1} \quad (42)$$

Eficiencia de remoción de la DBO₅

$$\% = (DBO_i - DBO_e / DBO_i) * 100 \quad (43)$$

DBO₅ corregida por evaporación: Se usó la ecuación (30)

4.5.5.3 Maduración

Volumen de la laguna

$$V = Q_i * O_{m1} \quad (44)$$

Donde se establece:

V = Volumen de la laguna (m³)

Q_e = Gasto en el efluente corregido por evaporación (m³/día)

O_{m1} = Tiempo de retención hidráulico (día)

Área de la laguna con Z = 1.0 metros

$$Am_1 = \frac{V}{Z} \quad (45)$$

Donde se establece:

A_{m1} = Área de la laguna (m^2)

V = Volumen de la laguna (m^3)

Z = Profundidad de la laguna (m)

Dimensionamiento.

Para dimensionar se usó para la laguna anaerobia una profundidad de 4 m y una relación largo ancho de 2, también un talud 0:1. Para la laguna facultativa se usó una relación largo ancho de 3 con un talud de: 2:1. En las lagunas de maduración (primera y segunda) se ocupó el mismo valor del ancho promedio de la laguna facultativa y un talud de 2:1.

Ancho y longitud promedio

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_{prom}}{x}} \quad (46)$$

$$L_{prom} = A_{prom}/B_{prom} \quad (47)$$

Ancho y largo superior

$$B_{sup} = B_{prom} + Z(talud) \quad (48)$$

$$L_{sup} = L_{prom} + Z(talud) \quad (49)$$

Ancho y largo inferior se tiene

$$B_{inf} = B_{prom} - Z(talud) \quad (50)$$

$$L_{inf} = L_{prom} - Z(\text{talud}) \quad (51)$$

Donde se establece:

B_{prom} = Ancho promedio de la laguna (m)

L_{prom} = Longitud promedio del estanque anaerobio (m)

B_{sup} = Ancho superior del estanque anaerobio (m)

L_{sup} = Largo superior del estanque en (m)

A_{sup} = Área superficial en (m²)

Z = Profundidad (m)

4.6 Análisis Económico y Técnico

El análisis económico de este proyecto está enfocado en costos estimados para la construcción y operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales, considerando costos de: inversión, operación y mantenimiento. Los costos de inversión están vinculados con el material y la mano de obra requerida, mientras que los costos operación y mantenimiento están asociados al funcionamiento post construcción de la PTAR. El estudio realizado está dividido en dos partes; la primera realiza un costo de la estructura del pretratamiento y la segunda se hace una comparación de alternativas con el material para la construcción del sistema de lagunaje, tomando en cuenta la zona 1 y zona 2.

4.6.1 Costos de Inversión

4.6.1.1 Tratamiento Preliminar. Toda la estructura que compone el tratamiento preliminar para la Zona 1 tiene un volumen aproximado de 3 m³, mientras que en la Zona 2 será de 6,88 m³; lo cual se ha tenido en cuenta el material para cada una de las estructuras, la cantidad y costo necesario de cada material. Los resultados de esta estimación presupuestal

fueron calculados en base a los costos unitarios tomados de (CYPE Ingenieros, S.A., 2020) y (SERCOP, 2020) por área de unidad de tratamiento con la final de obtener costos totales de inversión, estos valores se pueden ver en la Tabla 31.

Tabla 31

Costos de inversión del tratamiento preliminar dividido por zonas

Costo de inversión para las unidades del pretratamiento				
Metros de construcción	Material	Costo unitario(\$)	Zona 1 Costo (\$)	Zona 2 Costo (\$)
3 m ³ (Zona 1)	Excavación	2,69	8,07	18,83
	Varilla de 1/2	49	147	343
6,88 m ³ (Zona 2)	Hormigón	184,56	553,68	1291,92
	Encofrados	15,15	45,45	106,05
	Rejas	668,36	668,36	668,36
	Mano de Obra	69,45	208,35	486,15
	TOTAL		1630,91	2914,31

Nota: La tabla detalla los costos de inversión que se requieren para las zonas de estudio. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

4.6.1.2 Sistema de Lagunaje. El sistema de lagunaje está compuesto por: lagunas anaerobias, facultativas, maduración 1, maduración 2. En la Zona 1 se tiene un volumen de 9125,4 m³ con una área de 7655,1 m² y para la Zona 2 el volumen es de 16535,4 m³ con una área de 14870,55 m² se han tomado en cuenta dos alternativas para comparar costos, la primera corresponde a la compactación con arcilla; mientras que la segunda usa como revestimiento de las lagunas geomembrana de polietileno de alta densidad; para el cálculo de estos costos se hizo referencia (CYPE Ingenieros, S.A., 2020) los valores se pueden apreciar en la Tabla 32.

Tabla 32*Costos de inversión para las lagunas*

Costos del sistema de lagunaje				
Actividad	Unidad	Costo unitario	Zona 1	Zona 2
			Área de construcción	
Excavación	m3	2,69	9125,4	16535,4
Retiro y disposición de material, impermeabilización de suelo	m3	8,52	9125,4	16535,4
Compactación con arcilla	m3	10,43	9125,4	16535,4
Geomembrana de polietileno de alta densidad	m2	2,17	7655,1	14870,55
Talud de concreto	m3	7,10	7655,1	14870,6

Nota: La tabla indica las alternativas de construcción, además de precios unitarios de cada uno de ellos y las zonas con sus respectivas áreas. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

Cabe mencionar que a partir de la Tabla 32 se realizó un cálculo de costos por área, obteniendo el valor para las dos alternativas para la zona 1 y zona 2, como se visualiza en la Tabla 33.

Tabla 33*Resultados del análisis de costos de inversión en el sistema de lagunas*

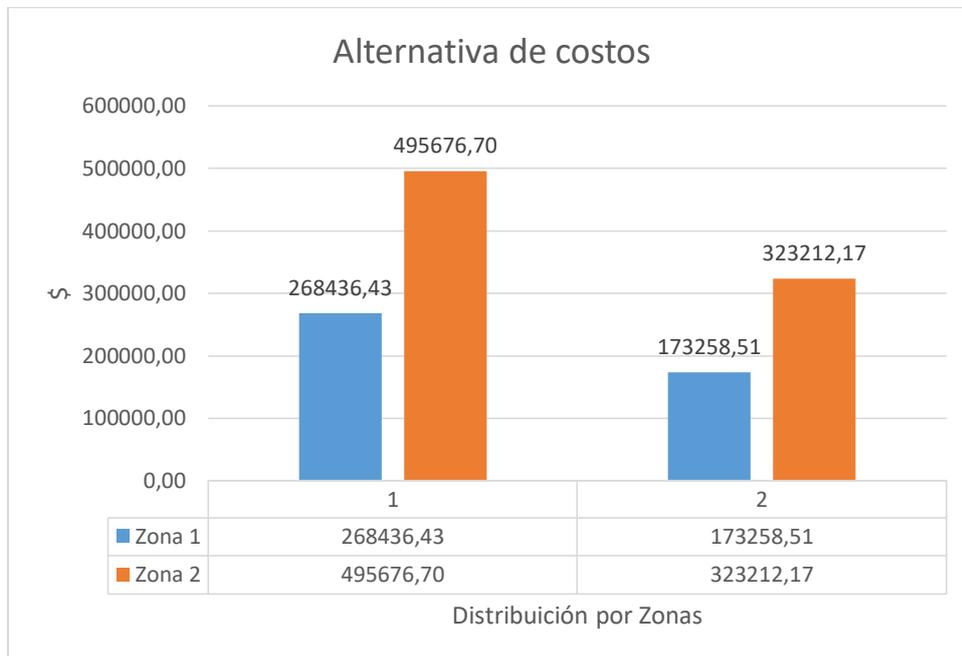
Zona 1		Zona 2	
Costo alternativa 1 (\$)	Costo alternativa 2 (\$)	Costo alternativa 1 (\$)	Costo alternativa 2 (\$)
24547,33	24547,33	44480,31	44480,31
77748,41	77748,41	140881,86	140881,86
95177,92	-----	172464,53	-----
16611,57	16611,57	32269,09	32269,09
54351,21	54351,21	105580,91	105580,91
	Total		
268436,43	173258,51	495676,70	323212,17

Nota: La tabla establece el detalle de costos de inversión en cada una de las zonas de estudio. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

En la Figura 20 se evidencia que en ambas zonas al no ocupar compactación de arcilla se reducen costos de inversión.

Figura 20

Alternativa de costos de inversión para lagunas de estabilización



Nota: Se visualiza el valor monetario de inversión en las lagunas. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

4.6.1.3 Costo por Metro Cúbico de Agua Tratada. Según establece (Andía, 2000), para el cálculo del costo de agua tratada para las dos zonas del proyecto se usó la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Costo}}{\text{Día}} = \text{Dosis de coagulante} * \text{Caudal de diseño} * \frac{\text{Costo de coagulante}}{\text{Kg}} \quad (52)$$

La dosis de coagulante necesaria para la tratabilidad de un metro cúbico de agua residual se establece luego de realizada la prueba de jarras, se debe efectuar los cálculos para ambos caudales que corresponden a cada zona de estudio, el costo comercial del sulfato de aluminio de 25 Kg es de \$17,50, costando cada kilogramo 0,70 ctvs. Luego de realizado el cálculo se puede ver que estas dos zonas poseen áreas diferentes pero el costo de agua tratada es semejante en las dos zonas, existe una variación de \$0,01 que no influye mayormente.

Tabla 34*Datos costo metro cúbico zona 1 y zona 2*

Descripción	Valor		Unidades
Dosis de coagulante	0,2498		Kg/m ³
Caudal de diseño	289,44	594,43	m ³ /día
Costo de coagulante	0,7	0,7	\$/Kg
Costo de agua tratada	0,17	0,18	\$/m ³

Nota: La tabla indica los valores de las características tomadas en cuenta para el cálculo del costo de agua tratada. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

4.6.2 Costos de Operación y Mantenimiento

Esta estimación de costos va a depender de la cantidad de materiales de aseo que se necesite, además herramientas, servicios básicos como: agua, luz, entre otros. También va a depender de la cantidad de personal dedicado al mantenimiento dentro de la planta y demás personal administrativo y técnico que se encargará de evaluar el estado y correcto funcionamiento de toda la planta de tratamiento de aguas. En la Tabla 35 se detallan los costos que corresponden a pago de salarios cuyos valores fueron obtenidos de acuerdo al salario mínimo por comisión sectorial de nuestro país (Tusalario, 2020), que pertenecen al pago de dos operarios para realizar el mantenimiento dentro de la planta, se incluye el pago a un ingeniero que evalúe los procesos, 2 laboratoristas, 1 contador y una secretaria. También se incluye los costos por adquisición de herramientas y gastos varios (Patiño, 2012).

Tabla 35*Costos operación y mantenimiento*

Descripción	Costo mensual (\$)
Pago a personal de mantenimiento o	1200
Pagos a personal administrativo y técnico	3750
Material de aseo	130
Herramientas	400
Servicios Básicos	800
TOTAL	6280

Nota: La tabla indica los costos considerados dentro del cálculo de costo de operación y manteniendo. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

4.7 Análisis Social

Con el fin de dar a conocer el proyecto a desarrollarse fue fundamental realizar una visita a la parroquia de Paute, para conocer la ubicación de los mercados y las condiciones en las que se encontraban los sistemas de alcantarillado que recogen el agua que se genera por las diferentes actividades en los mismos; además de dar a conocer esta alternativa al ingeniero encargado de Obras Públicas de la parroquia y conversar con la gente con el fin de saber su opinión sobre el tratamiento de aguas residuales cuya respuesta fue positiva.

Lo que se quiere obtener con la propuesta planteada para tratar las aguas residuales generadas en el mercado central de Paute es evitar la propagación de enfermedades que afecten la salud humana que pueden ser causadas por el agua contaminada, en esta parroquia las aguas servidas son descargadas directamente al Río Paute, además de alterar la composición natural de este cuerpo de agua, causan la generación de malos olores que son desprendidos al parque lineal ubicado junto al río, lo que supondría un aspecto negativo para el turismo, y se disminuirían los ingresos dentro de la parroquia.

Finalizado el proyecto se realizó la socialización para dar a conocer la alternativa elegida y su nivel de factibilidad en cuanto a lo técnico y económico, a través de la entrevista realizada al representante del Departamento de Obras Públicas se logró conocer su opinión y nivel de aceptación de la propuesta planteada, además se nos manifestó que en su plan maestro cuentan con una propuesta para el tratamiento de aguas con una tecnología no tan conocida aquí en el país que requiere grandes costos de inversión y un conocimiento avanzado para su funcionamiento y control, por lo que el sistema de lagunaje propuesto tuvo acogida por parte del representante de obras públicas ya que no requiere de grandes costos, son de fácil operación y mantenimiento, siendo esta una propuesta innovadora y factible.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Dimensionamiento

5.1.1 Pretratamiento

5.1.1.1 Dimensionamiento de la Criba. La siguiente Tabla 36 muestra las dimensiones de la criba que se obtuvieron de acuerdo al caudal de diseño, coeficiente de descarga, se asumió el ancho de la criba de 1 metro.

Tabla 36

Dimensiones de la criba

Criba				
Característica	Resultados zona 1	Resultados zona 2	Unidades	Simbología
Longitud	1	1	m	L
Altura	1	1	m	h
Ancho	1	1	m	a
Número de barrotes	24	24	unidades	n

Nota: Dimensionamiento de la criba para las dos zonas de estudio. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

5.1.1.2 Dimensionamiento de la Trampa de Grasas. La Tabla 37, se evidencia las dimensiones que se obtuvieron de acuerdo al caudal calculado, tiempo de vaciado y la cantidad de grasas y aceites presentes en esta agua.

Tabla 37

Dimensiones de la trampa de grasas

Trampa de grasas				
Característica	Resultados zona 1	Resultados zona 2	Unidades	Simbología
Longitud de la caja grande	1,43	1,82	m	L
Ancho de la caja grande	0,72	1	m	a
Altura de la caja grande	0,5	0,6	m	h
Ancho de la caja pequeña	0,32	0,4	m	a _p
Largo de la caja pequeña	1	1,21	m	L _p

Nota: las dimensiones son para las dos cajas de la trampa de grasa y se puede aproximar los valores para la variación del caudal. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

5.1.2 Sistema de Lagunaje

5.1.2.1 Dimensionamiento de la Laguna Anaerobia. En la Tabla 38, se puede observar las dimensiones que se obtuvieron en base al caudal a ser tratado, concentración inicial de DBO, temperatura media en Paute, evaporación y coliformes.

Tabla 38

Dimensiones de la laguna anaerobia

Laguna anaerobia				
Característica	Resultados zona 1	Resultados zona 2	Unidades	Simbología
Ancho promedio	6	9	m	B _{prom}
Largo promedio	12	17	m	L _{prom}
Profundidad	4	4	m	h

Nota: Para las dimensiones de esta laguna se ocupó un talud 0:1 y una profundidad de 4m. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020

5.1.2.2 Dimensionamiento de la Laguna Facultativa. La Tabla 39, se aprecia las dimensiones que se obtuvieron de acuerdo al gasto en el efluente, DBO₅ en el efluente, coliformes fecales, evaporación y temperatura.

Tabla 39

Dimensiones de la laguna facultativa

Laguna facultativa				
Característica	Resultados zona 1	Resultados zona 2	Unidades	Simbología
Ancho promedio	27	39	m	B _{prom}
Largo promedio	81	116	m	L _{prom}
Ancho superior	30	41	m	B _{sup}
Largo superior	83,62	118,53	m	L _{sup}
Área superficial	2497,73	4920,11	m ²	A _{sup}
Ancho inferior	24	37	m	B _{inf}
Largo inferior	77,62	112,53	m	L _{inf}

Nota: En esta laguna se consideró un talud 2:1, fue realizado por el método de flujo disperso con una profundidad de 1,5m. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

5.1.2.3 Dimensionamiento de la Primera Laguna de Maduración. En la Tabla 40, se indica las dimensiones de la primera laguna de maduración que se obtuvieron en base al gasto en el efluente corregido por evaporación, coliformes fecales corregidos por evaporación, DBO₅ corregida por evaporación y tiempo de retención hidráulico.

Tabla 40

Dimensiones de la primera laguna de maduración

Primera laguna de maduración				
Característica	Resultados zona 1	Resultados zona 2	Unidades	Simbología
Ancho promedio	27	39	m	B _{prom}
Largo promedio	101	142,68	m	L _{prom}
Ancho superior	30	41	m	B _{sup}
Largo superior	102,55	144	m	L _{sup}
Área superficial	2960,62	5931,72	m ²	A _{sup}
Ancho inferior	24	37	m	B _{inf}
Largo inferior	98,55	140	m	L _{inf}

Nota: Para esta laguna se consideró un talud 2:1, realizado bajo el método de flujo disperso con una profundidad de 1m. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

5.1.2.4 Dimensionamiento de la Segunda Laguna de Maduración. Las dimensiones de la segunda laguna de maduración que se obtuvieron de acuerdo a gasto en el efluente corregido por evaporación, coliformes fecales corregidos por evaporación, DBO₅ corregida por evaporación y tiempo de retención hidráulico, se presenta en la Tabla 41.

Tabla 41

Dimensiones de la segunda laguna de maduración

Segunda laguna de maduración				
Característica	Resultados zona 1	Resultados zona 2	Unidades	Simbología
Ancho promedio	27	39	m	B _{prom}
Largo promedio	101	91,89	m	L _{prom}
Ancho superior	30	41	m	B _{sup}
Largo superior	102,55	94	m	L _{sup}
Área superficial	2960,62	3849,42	m ²	A _{sup}
Ancho inferior	24	37	m	B _{inf}
Largo inferior	98,55	91,89	m	L _{inf}

Nota: En este dimensionamiento se usó un talud de 2: 1, está realizado por el método de flujo disperso con una profundidad de 1m. Elaborado por: Berrones G., Tapia E., 2020.

5.2 Discusión

A partir de los resultados obtenidos de las muestras de agua tomadas en el mercado central de Paute, se determinó que existe gran presencia de agentes contaminantes como coliformes fecales, sólidos, nitritos, nitratos, fosfatos y valores altos de DBO₅ y de DQO, lo que causa cambios en la composición del agua lo que provoca la dispersión de malos olores, presencia de turbidez; lo que puede afectar la salud humana, y alterará el medio ambiente; al comparar los resultados obtenidos en este proyecto con los que determinó (Berrones, 2013), luego de aplicar el método experimental de análisis, coincide que los resultados no se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de las normas del Texto Unificado de Legislación Ambiental; es por ello que (Macas, 2017) plantea que la implementación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residual, es muy importante pues ayudan en la regulación de la concentración de contaminantes en los efluentes, con el fin de promover la conservación de cuerpos de agua.

Los resultados fueron parte fundamental en este proyecto, mediante ellos se logró conocer la composición del agua residual a tratar, y así establecer el tratamiento más adecuado y eficiente; por lo cual la alternativa elegida fue el diseño de un sistema compuesto por lagunas de estabilización ya que cuentan con un fácil desarrollo de cálculos de dimensionamiento, no requiere complejos análisis de muestras de agua para obtener datos de diseño, su construcción y mantenimiento no representan grandes inversiones de dinero, son muy eficientes en cuanto a la remoción de agentes contaminantes (Lozano, 2012, p. 181-182); esto guarda relación con lo que sostiene (García, 2008) debido a que plantea que el uso de lagunas de estabilización es factible por su simplicidad, operación y mantenimiento económico, y cuyas tareas pueden ejecutarlas cualquier persona que se encuentre debidamente capacitada. Luego de la realización de los cálculos de diseño en base a los resultados del laboratorio se pudo comprobar la eficacia del tratamiento, teniendo como valor inicial $3,3E+07$ de NMP/100 mL de coliformes, y

previamente lograr una remoción mayor al 2000 NMP/100mL para ambas zonas de estudio; con respecto a la DBO₅ su valor inicial fue de 275 mg/L, pero luego de pasar por todo el sistema de pretratamiento y el sistema de lagunaje este valor pasó a ser de 3,29 mg/L para la primera zona y de 3,27 mg/L para la segunda cumpliendo así con el valor de 100 mg/L que establece la normativa vigente (TULSMA, 2015), lo cual también indica que el diseño teóricamente funciona, y hace que la descarga de esta agua tratada no represente ningún peligro ni para la salud humana, ni para la del medio ambiente.

Además con el diseño desarrollado se ha logrado una disminución de coliformes fecales sin presencia de mamparas, pero difiere del estudio realizado por Cortés et al., (2012), el cual asegura que la presencia de mamparas aumenta la remoción de coliformes, pues al existir zonas curvas dentro de la laguna se aumenta la dispersión; aunque para determinar a ciencia cierta de qué va a depender para que ocurra lo mismo que en este caso y si exista una alta tasa de remoción de coliformes sin necesidad de la presencia de la tecnología antes mencionada se deben realizar más estudios y comparaciones, ya que puede deberse a que la carga contaminante no era tan alta y se pudo lograr un adecuado tratamiento del agua residual.

De acuerdo al estudio económico, técnico y social, la construcción de un sistema de lagunaje no representa un gran impacto de carácter económico en la población, sus costos de operación y mantenimiento son fáciles de solventar, se tienen como costos de inversión en base a alternativas que usan compactación con arcilla un valor de aproximado para la zona 1 de 268436,43 dólares y para la zona 2 de 495676,70 dólares; mientras que para el uso de geomembrana de polietileno de alta densidad es costo para la zona 1 será de 173258,51 dólares y para la zona 2 un valor de 323212,17 dólares; siendo así el uso de geomembrana la alternativa más viable, ya que de acuerdo a (Chancasanampa, 2013), que establece que el uso de geomembranas es un adecuado y eficaz proceso constructivo en plantas de tratamiento de

aguas. Además el costo de tratamiento por cada metro cúbico de agua es de 0,17 centavos; lo que comprueba que los costos son aceptables.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusión

El estudio de aguas residuales permitió evidenciar que no se cumple con la norma de límite máximo permisible, por lo que fue necesario realizar varios análisis de diferentes parámetros para establecer el tratamiento óptimo que se le dará a esta agua residual, misma que una vez tratada será eliminada en la Subcuenca del río Paute.

Se realizó el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el mercado central de Paute, debido a que esta es una de las actividades principales de la parroquia, se consideró una zona de influencia abarcando a todo el sector que está relacionado directamente con el mercado, adicional a esta propuesta se realizó un segundo diseño que engloba a todo el casco colonial de Paute que está relacionado indirectamente con el mercado central por actividades de expendio de productos.

Se determinó que la mejor opción para tratar este tipo de aguas es el sistema de lagunas. Mediante este proceso se logró determinar su eficiencia al reducir los parámetros que excedían el límite máximo permisible establecido. Los análisis de la DBO5 antes de ser tratada está sobre el límite de la norma con 275 mg/L, posterior al tratamiento del sistema de lagunas se bajó a 3,29 mg/L, las coliformes fecales antes del tratamiento tenían $3,3E+07$ de NMP/100 mL reduciendo a 134,2 NMP/100mL lo que indica una remoción de coliformes fecales cumpliendo así la normativa ambiental vigente.

6.2 Recomendación

De aplicarse alguna de las alternativas mencionadas en este proyecto, se sugiere realizar un estudio de factibilidad de obra, además es necesario realizar un estudio topográfico y un análisis profundo de la taxonomía del suelo.

La acumulación de lodos que se genera en la laguna anaerobia y facultativa es por sólidos en suspensión que al no ser retirados ocasiona que las lagunas no funcionen de manera óptima reduciendo su eficiencia y su tiempo de retención hidráulico. Por esta razón, se recomienda retirar los lodos en un periodo mínimo de 2 años y máximo de 5 años en las lagunas anaerobias y en las lagunas facultativas de 5 a 10 años, respectivamente. (Rolim, 2000)

7. BIBLIOGRAFÍA

- AmBientech. (2016). *Powerwd by ambiente.org*. Obtenido de Portal de ciencias, tecnología, salud y medio ambiente para Educación Secundaria y ciclos formativos:
<https://ambientech.org/itinerariosad/convierte-residuos-en-recursos/biodegradacion-residuos.html>
- Andía, Y. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN FLOCULACIÓN*. Obtenido de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- APHA, AWWA, y WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el analisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Aristizábal Ciro, C., y Doria Herrera, G. (2019). *Calculos básicos para química instrumental*. Obtenido de <file:///D:/Downloads/3529-Texto%20del%20art%C3%ADculo-12033-1-10-20200416.pdf>
- Barajas Garzón, C., y León Luque, A. (2015). *Determinación de la dosis optima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación -Floculación para el tratamientode agua potable por medio del uso de una red neurunal articial*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Berrones Zúñiga, D. (2013). *Diseño de un sistema de tratamientode aguas residuales para la parroquia de Sibambe*. Obtenido de <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/3200/1/96T00234.pdf>

- Carrión, D. (2014). *El tratamiento de aguas residuales y su influencia en el derecho a un ambiente sano de los ciudadanos que habitan en el entorno del río machancgara del DMQ*. Obtenido de file:///D:/Downloads/T-UCE-0013-Ab-029.pdf
- CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Chancasanampa Pacheco, P. (2013). *Diseño y aplicación de geotextiles y geomembrana en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de file:///D:/Downloads/TCIV_49.pdf
- Conesa Ripoll, V., Conesa Ripoll, L. A., y Estevan Bolea, M. T. (2011). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Constitución de la República del Ecuador [CRE]. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro oficial 449. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Cortés Martínez, F., Luévanos Rojas, R., Uranga Sifuentes, A., Martínez Espinoza, F., y Ávila Garza, C. (2012). *Diseño de lagunas de estabilización con diferente número de mamparas (Caso de estudio)*. Obtenido de <http://www.revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/incien/v3n1-2/art02.pdf>
- Crites, y Tchobanoglous. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Santafé de Bogota: McGraw-Hill.
- CYPE Ingenieros, S. (Julio de 2020). *Generador de precios de la construcción en Ecuador*. Obtenido de Sofwar para Arquitectura, Ingeniería y Construcción: <http://www.ecuador.generadordeprecios.info/>
- Drinan, J. E. (2001). *Water & Waste Water Treatment*. Boca Raton: CRC Press.

- Encinas Malagón, M. D., y Gómez de Balugera López de Alda, Z. (2011). *Evaluación de impacto ambiental, aspectos teóricos*. Obtenido de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16783/Evaluaci%C3%B3n%20de%20impacto%20ambiental.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- EPA, US. (2009). *Biological Nutrient Removal Processes and Costs*. Obtenido de Environmental Protection Agency, Washington, DC.: <https://www.epa.gov/environmental-topics/water-topics>
- Fúquene, D., y Yate, A. (2018). *Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Obtenido de [file:///D:/Downloads/2771-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8143-1-10-20181017%20\(1\).pdf](file:///D:/Downloads/2771-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8143-1-10-20181017%20(1).pdf)
- GADM de Paute. (Noviembre de 2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Paute*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0160000510001_DIAGN%C3%93STICO_GADM_PAUTE%20FINAL_12-03-2015_09-21-02.pdf
- García, E., Pérez, y López. (1985). *Aspecto Sanitario de las aguas*. Granada: Universidad de granada, servicio de publicaciones.
- García-Ruesta, C. (2008). *Evaluación, optimización y rediseño de las lagunas de estabilización de cucho, sullana*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2795/ICI_179.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez Orea, D. (2003). Evaluación de impacto ambiental. En *Evaluación de Impacto Ambiental un Instrumento Preventivo para la Gestión Ambiental* (ps. 169-182). Madrid: Mundi Prensa S.A.

- INAMHI. (2014). Obtenido de Datos Meteorológicos e Hidrológicos:
<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- INEC. (2001-2010). *Instituto nacional de estadística y censos*. Obtenido de Base de Datos-
Censo de Población y vivienda: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INEC. (2020). *Proyecciones Poblacionales*. Obtenido de
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- Ingeniería y Construcción*. (2017). Obtenido de Guis de opciones tecnologicas para sistemas
de abastecimiento: <https://civilgeeks.com/>
- Lenntech. (1998). *Historia del tratamiento de agua potable*. (Copyright, Editor) Obtenido de
Water tratment solutions:
<https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>
- Lorenzo-Acosta, Y. (mayo-agosto de 2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por
coagulación-floculación. *ICIDCA. sobre los derivados de la caña de azúcar*, 10-17.
- Lozano-Rivas, W. A. (Octubre de 2012). *Fundamento de diseño de plantas depuradores de
aguas residuales*. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenio_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales
- Macas Jiménez, J. U. (2017). *Estudio de aplicación de la normativa*. Obtenido de
http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/13967/1/68895_1.pdf
- Martínez Soza, L. (17 de Junio de 2010). *Estudio de la evolución de una ETAP para la
adecuación legislativa*. Obtenido de Mesura del contenido orgánico :
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10383/Annex.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Menéndez, C., y Pérez, J. (2007). *Procesos para el Tratamiento Biológico de aguas residuales industriales*. La Habana: Editorial Félix Varera - Editorial Universitaria.
- Metcalf y Eddy, I. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Metcalf y Eddy, I. (1996). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. México: McGraw-Hill.
- Metcalf y Eddy, I. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. USA: McGraw-Hill companies, Inc.
- Mihelcic, J., y Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. New Jersey, U.S.A.: Alfaomega.
- Moreno Merino, L. (2003). *Depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno*. Madrid: Inforama S.A. .
Obtenido de Insitute geológico y minero de España.
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). *Descripción del tratamiento de aguas residuales y sus tecnologías*. México D. F.: Instituto de Ingeniería de la universidad nacional autónoma de México.
- ONU. (2017). *Noticias ONU*. Obtenido de Atlas sobre salud infantil y medio ambiente:
https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_content&view=article&id=1878:1-7-millones-de-ninos-menores-de-cinco-anos-fallecen-anualmente-por-contaminacion-ambiental-segun-la-oms&Itemid=360
- Patiño, J. (30 de Enero de 2012). *Costos de inversión, operación y mantenimiento de tratamiento naturales de aguas residuales para pequeñas comunidades en Colombia*.
Obtenido de

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7547/tesis606.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RCOA. (12 de Junio de 2019). *Suplemento Registro Oficial N°.507*. Obtenido de Decreto Ejecutivo 752:

<https://www.asobanca.org.ec/sites/default/files/REGLAMENTO%20AL%20C%3%93DIGO%20ORG%20C%81NICO%20DEL%20AMBIENTE.pdf>

Reutelshöfer, T., y Guzmán Bejarano, L. F. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual*. Obtenido de https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf

Roca. (Marzo de 2017). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia*. Obtenido de We are water, foundation: https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141

Rolim, S. (2000). *Sistemas de Lagunas de Estabilización*.

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc13030/doc13030-1.pdf.%20Consultado%20el%2012/06/2009>.

Romero Rojas, J. (2004). *Tratamientos de aguas residuales. Teorías y principios de diseño*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.: C. Salazar Perdomo & J. Cañas Sepúlveda, Eds.

Romero Rojas, J. A. (2016). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá-Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rondón, E., Szantó, M., Contreras, E., y Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Naciones Unidas, Santiago: NACIONES UNIDAS, CEPAL.

Russell, D. L. (2006). *Practical Wastewater Treatment*. New Jersey.: John Wiley y Sons, Inc., Publication.

Sánchez, I. A. (21 de Octubre de 2014). *Gestión de aguas residuales en ecuador - SENAGUA*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/CCIFEC/20-gestin-de-aguas-residuales-en-ecuador-senagua>

Secretaria de Ambiente del DMQ. (Julio de 2020). *Planes de Manejo Ambiental (PMA) GUIA*. Obtenido de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/calidad-y-gestion-ambiental/estudios-de-impacto>

SERCOP. (2020). *Compras públicas*. Obtenido de Información Proceso Contración: <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=GWa0mQw7T8oc99IP6CVthVPEEYRiDzPNY0Jq3ENN9Mc>

TULSMA. (4 de Noviembre de 2015). *Norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes: Recurso Agua*. Obtenido de Libro VI Anexo 1: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>

Tunjuelito, O. d. (2009). *Guia técnica para la elaboración de planes de manejo ambiental (PMA)*. Obtenido de [http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1380/GUIA%20TECNICA%20PARA%20LA%20ELABORACION%20DE%20PMA%20\(1\)%20\(1\).pdf](http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1380/GUIA%20TECNICA%20PARA%20LA%20ELABORACION%20DE%20PMA%20(1)%20(1).pdf)

Tusalario.org. (2020). *Salario mínimo-Ecuador*. Obtenido de <https://tusalario.org/ecuador/salario/salario-minimo>

UEC de Paute. (2019). *Paute hermoso*. Obtenido de Turismo del cantón Paute: <https://pautehermoso.wordpress.com/quienes-somos-2/>

We are water Foundation. (2017). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia*. Obtenido de https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141

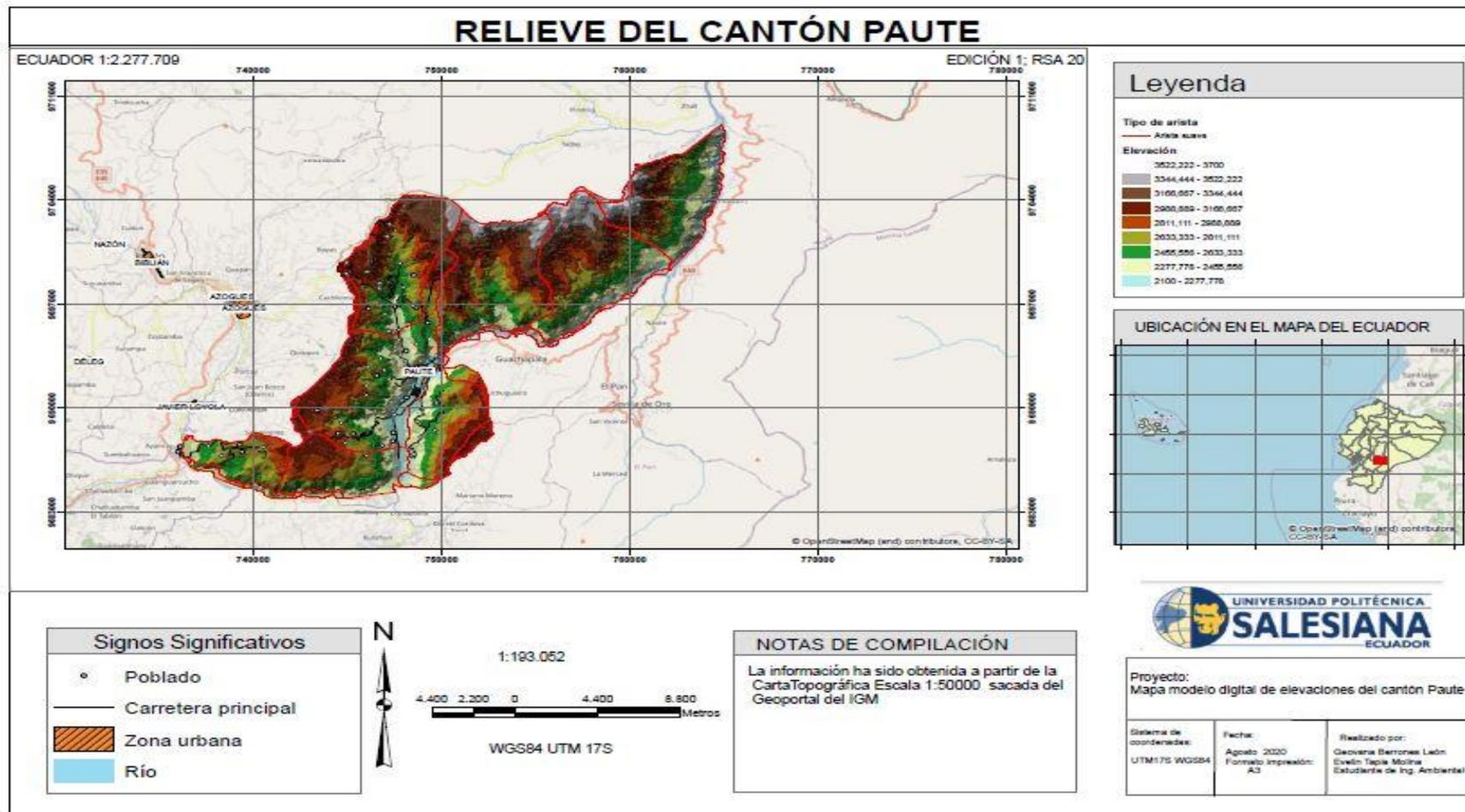
Yakunina. (2019). *Realidad de las aguas servidas en Ecuador*. Obtenido de

<http://www.yakunina.com/la-realidad-de-las-aguas-servidas-en-ecuador/>

8. ANEXOS

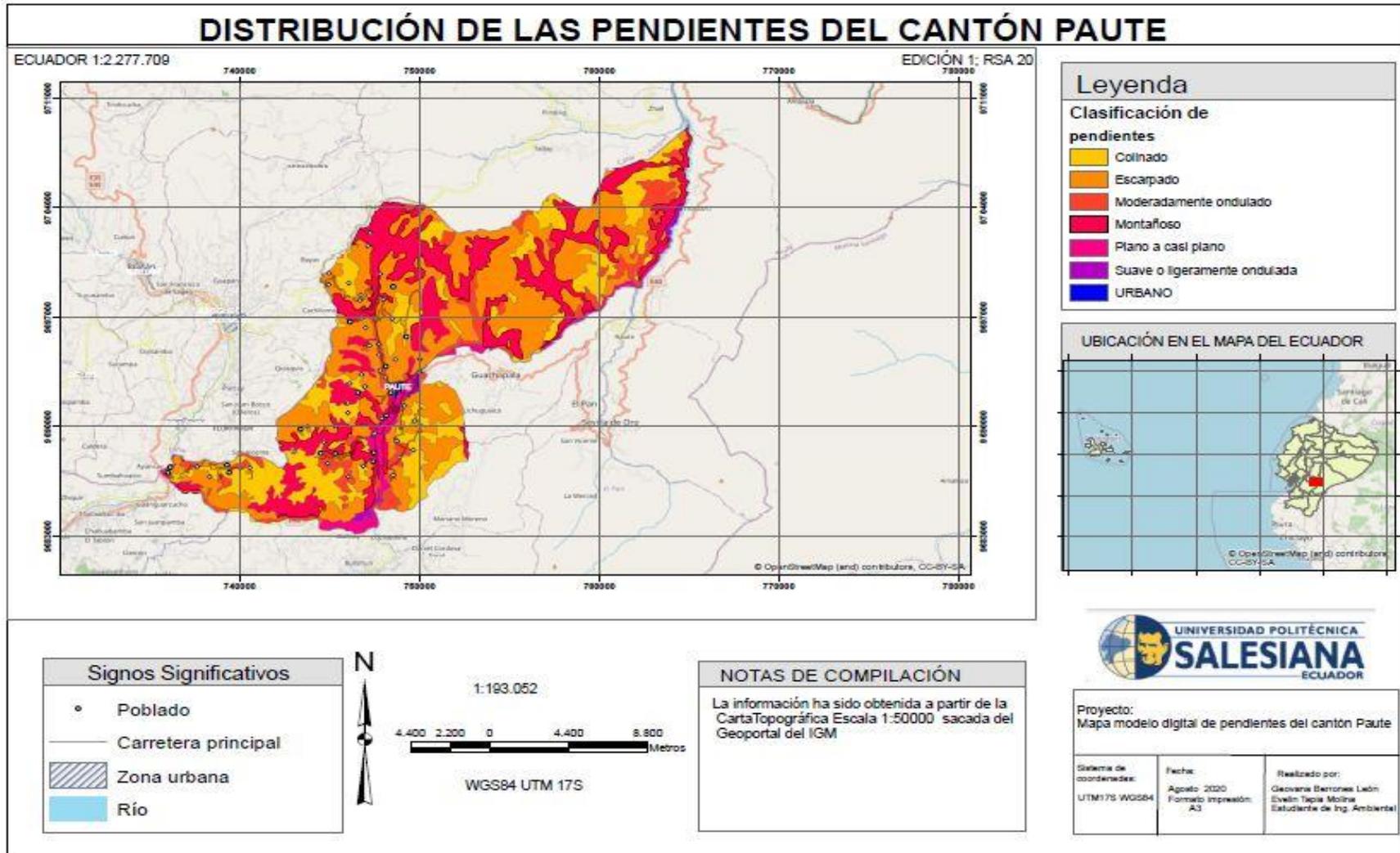
Anexo 1

Mapa de relieve del cantón Paute



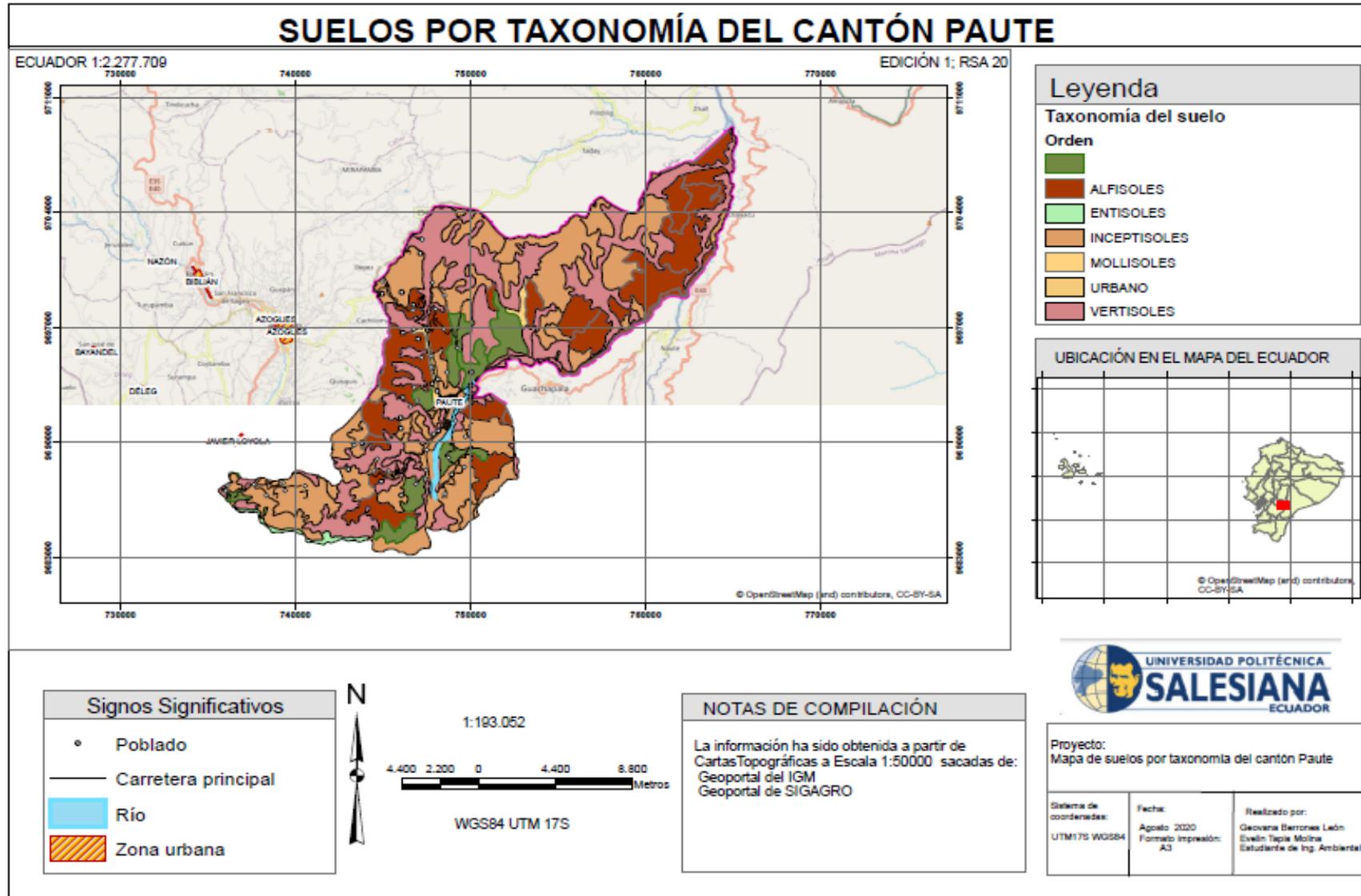
Anexo 2

Mapa de pendientes del cantón Paute



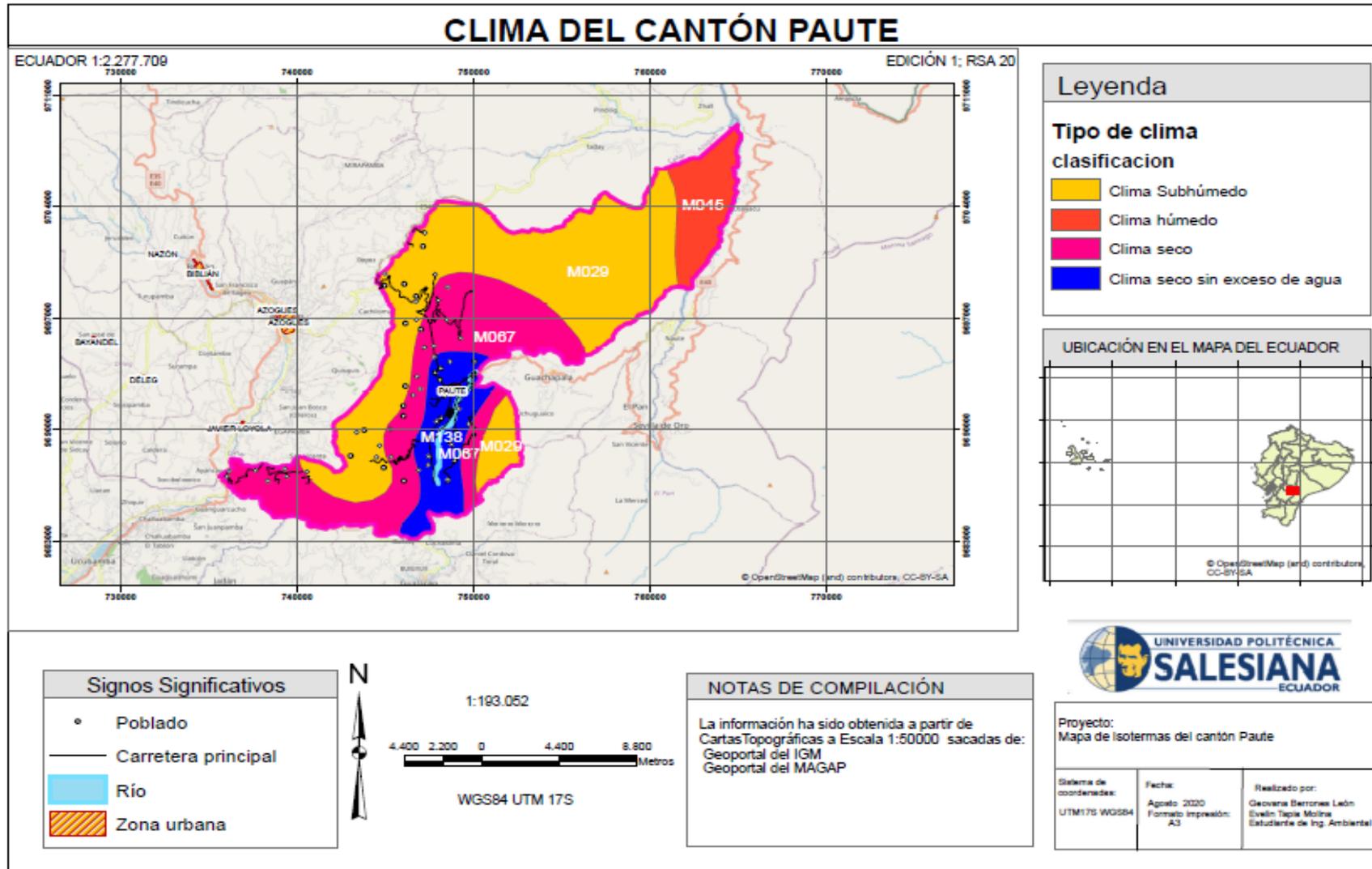
Anexo 3

Mapa de suelos por taxonomía del cantón Paute



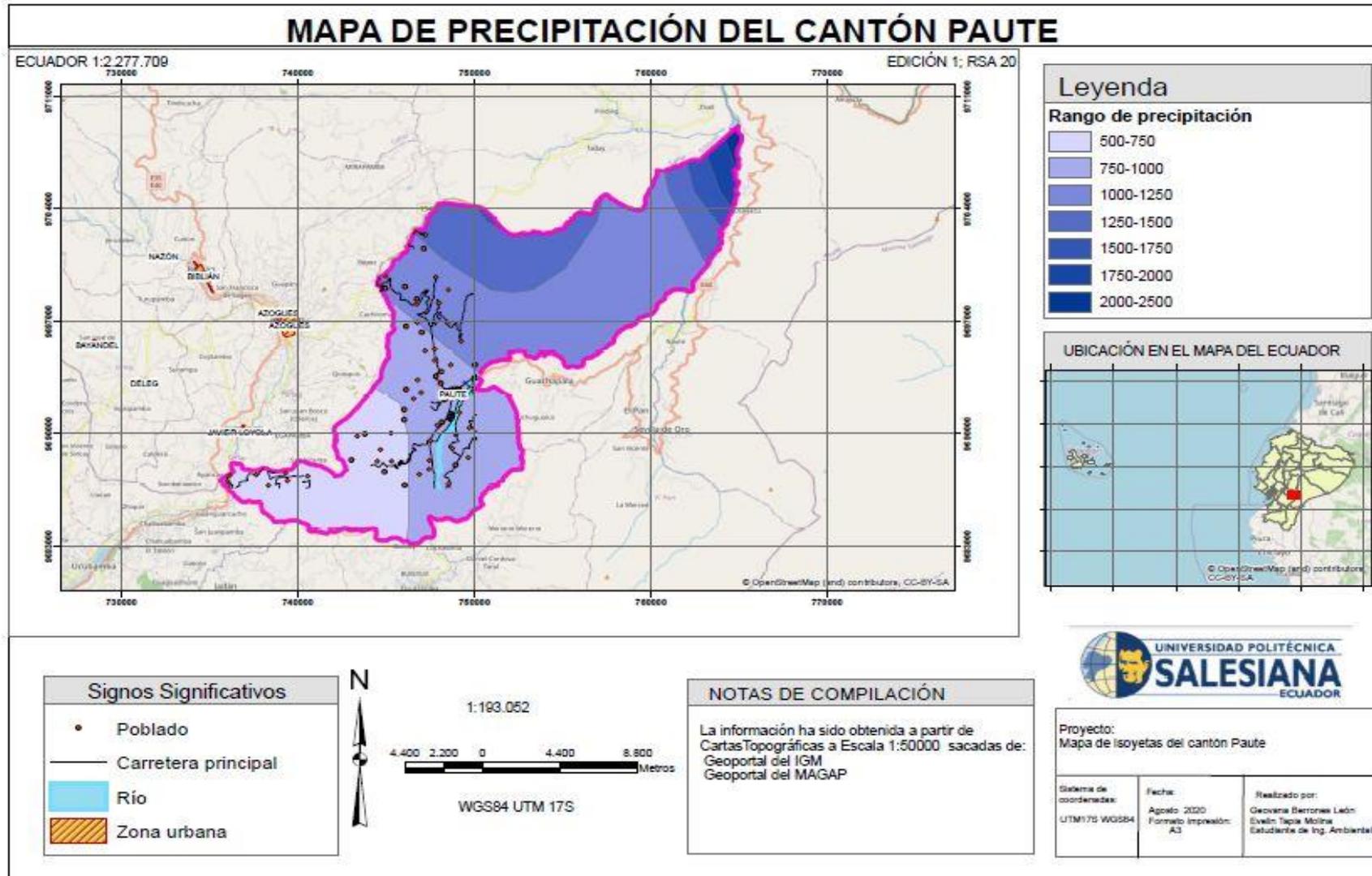
Anexo 4

Mapa del clima del cantón Paute



Anexo 5

Mapa de precipitación del cantón Paute



Anexo 6

Instalaciones “Mercado 26 de Febrero”



Nota: En las imágenes se muestra el interior y exterior del “Mercado 26 de Febrero” donde se puede apreciar el estado de sus rejillas de alcantarillado.

Anexo 7

Instalaciones “Mercado San José”



Nota: Las imágenes muestran el interior y exterior del “Mercado San José” incluyendo el patio de comidas, puestos de expendio de productos cárnicos y hortalizas.

Anexo 8

Instalaciones "Mercado del centavo"



Nota: Las imágenes muestran el “Mercado del centavo” con sus respectivas instalaciones en el interior, mismas que expenden productos cárnicos y en la segunda planta se encuentra ubicado el patio de comidas.

Anexo 9

Procedimiento para la determinación de la dosis óptima del coagulante

- a) Medir un litro de agua residual y luego verter en el vaso de precipitación plástico del equipo de jarras, repetir esto para los 6 vasos.
- b) Subir las paletas de agitación del equipo, colocar los vasos y bajarlas.
- c) Llenar cada jeringa con el volumen necesario de solución de coagulante según la dosis que se utilizará en cada jarra.
- d) Digitar en los paneles: velocidad 300 rpm y tiempo 20 segundos y dosificar al mismo tiempo el coagulante en cada jarra, introduciendo la aguja de la jeringa cerca del eje de agitación.
- e) Disminuir la velocidad de mezcla entre 10 y 40 rpm y programar un periodo de 20 minutos. Al final de este tiempo calificar los flóculos formados según el índice de Willcom (Tabla 33) por observación de los mismos, anotar la evaluación en la Tabla 34.
- f) Suspender la agitación y dejar que sedimente el contenido de las jarras durante 30 minutos, después de este tiempo tomar una muestra de sobrenadante con una pipeta volumétrica de 5 mL, evitar turbulencias en el medio durante la toma de sobrenadante.
- g) Medir el valor de NTU en cada sobrenadante y anotarlos en la Tabla 34
- h) Realizar mediciones de pH en el agua sobrenadante de las jarras y registrar los valores en la Tabla 34.
- i) Construir una gráfica de dosis de coagulante frente al valor de turbidez y en base a esta determinar el mejor resultado, considerar también la calidad del floc para establecer la dosis óptima de coagulante.

Anexo 10

Procedimiento para la determinación del pH óptimo

- a) Medir 1 litro de agua residual en cada uno de los 6 vasos del equipo de jarras, ajustar en estos el pH con incrementos de una unidad de pH en un intervalo de 4 a 9. Los valores de pH se alcanzan con HCl o NaOH.
- b) Cargar las jeringas con la dosis óptima de coagulante determinada en el Anexo 9 y continuar con el procedimiento descrito en los literales b, d, e, f, g y h del punto Anexo 9 solo considerar que las anotaciones se deben registrar en la Tabla 35 de los anexos.
- c) El pH óptimo se determina en una gráfica de pH inicial (ajustado) frente al valor de turbidez del sobrenadante de cada jarra. Para establecer el mejor valor también considere la calidad del floc.

Anexo 11

Resultados realizados en el Laboratorio de Saneamiento de Cuenca

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 12 - Cuenca Telf: 4175568		INFORME DE RESULTADOS		Página 1 de 1	
---	--	-----------------------	--	---------------	--

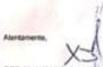
FECHA: 20/03/2020 INFORME N°: 115-01-20

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE
 NOMBRE: TAPIA BASTIDAS NESTOR EFRAIN
 SOLICITADO POR: SRTA. EVELIN TAPIA
 DIRECCIÓN: TEMPLO NUEVO SIN CALLE

MUESTRA
 CÓDIGO: 115-01-20
 DESCRIPCIÓN (Puede): AGUA RESIDUAL
 PROCEDENCIA (Usar): PAISÉ
 FECHA DE RECEPCIÓN: 13/03/2020
 ENTREGADA EN EL LABORATORIO POR: SRTA. EVELIN TAPIA

PARAMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1 115-01-20
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	FEELSP001	13/03/2020	mg/l	276
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	FEELSP008	13/03/2020	mg/l	721
NITRITOS	SM-000-N02-E	30/03/2020	mg/l	0.076
NITRÓGENO	SM-000-N02	13/03/2020	mg/l	0.002
COLIFORMES TOTALES	SM-021-E	13/03/2020	NMP/100ml	3.2E+07
COLIFORMES TERMO-TOLERANTES	SM-021-E	13/03/2020	NMP/100ml	3.4E+06

Parámetros **Unidad** **Normativa** **Normativa**
 Bacterias 10⁶ UFC/ml 1000 UFC/ml 1000 UFC/ml
 Escherichia coli 10⁶ UFC/ml 1000 UFC/ml 1000 UFC/ml

Alcantarado: 
 Bof. Mario José Chávez T.
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

ETAPA EP
 Laboratorio de Saneamiento
 Panamericana Norte Km 5.5 Cuenca
 Teléfono: 4175568

* Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
 * Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 12 - Cuenca Telf: 4175568		Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE con Acreditación N° OAE LC 20-06-004		INFORME DE RESULTADOS	
---	--	--	--	--------------------------	--

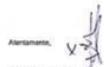
FECHA: 20/03/2020 INFORME N°: 115-01-20

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE
 NOMBRE: TAPIA BASTIDAS NESTOR EFRAIN
 SOLICITADO POR: EVELIN TAPIA
 DIRECCIÓN: TEMPLO NUEVO SIN CALLE

MUESTRA
 CÓDIGO: 115-01-20
 DESCRIPCIÓN (Puede): AGUA RESIDUAL
 PROCEDENCIA (Usar): PAISÉ
 FECHA DE RECEPCIÓN: 13/03/2020
 ENTREGADA EN EL LABORATORIO POR: EVELIN TAPIA

PARAMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	115-01-20
PODFORO TOTAL	FEELSP003	13/03/2020	mg/l	2.91

Substrato **Concentración**
 Inoculante 0.01% 90% 4+1.96

Alcantarado: 
 Bof. Mario José Chávez T.
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

ETAPA EP
 Laboratorio de Saneamiento
 Panamericana Norte Km 5.5 Cuenca
 Teléfono: 4175568

* Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
 * Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

MCO406-15

Anexo 12

Resultados de sólidos totales análisis en el laboratorio LASA de Quito



INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-26-06-20-1481
ORDEN DE TRABAJO No. 20-1846

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
SOLICITADO POR: EVELIN TAPIA		DIRECCIÓN: TUMBACO	
TELÉFONO/FAX: 0999228963	TIPO DE MUESTRA: AGUA	PROCEDENCIA: PAUTE	
IDENTIFICACIÓN: AGUA RESIDUAL 8:30		CODIGO INICIAL: M1 - LAT:2777510 - LOG:78754803 - ELEV:21702	

Información suministrada por el cliente

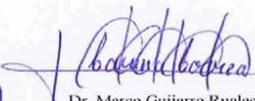
INFORMACIÓN DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: -	INGRESO AL LABORATORIO: 20/06/2020
FECHA DE ANÁLISIS: 20-26/06/2020	FECHA DE ENTREGA: 26/06/2020	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 20-5584	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	SÓLIDOS TOTALES	mg/l	640	-	^b ALPHA 2540 B *

Los ensayos marcados con * NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Los ensayos marcados con (b) NO están incluidos en el alcance de acreditación de A21A.

(P) 
Dr. Marco Guijarro Ruales.
GERENTE DE LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio.

Los criterios de conformidad serán emitidos solamente si el cliente lo solicita por escrito.

El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasa.com)

Pág. 1 de 1

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815 • Celular: 099 9236 287
e-mail: info@laboratoriolasa.com • web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador

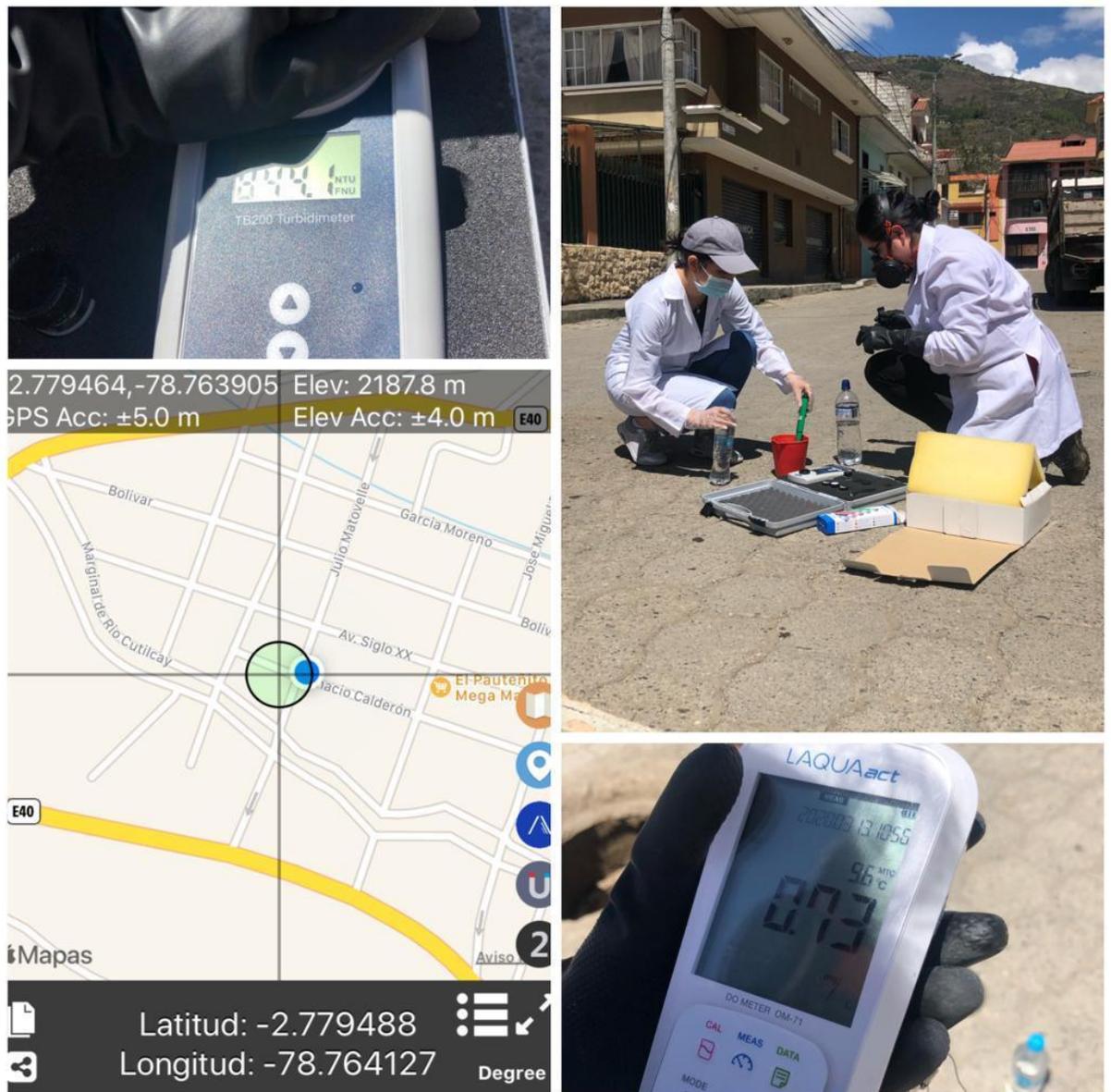
Anexo 13

Procedimiento 2540F.-sólidos sedimentables- método volumétrico

1. Llénese un cono de Imhoff hasta la marca 1-1 con una muestra bien mezclada.
2. Déjese sedimentar durante 45 minutos, removiendo a continuación suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación.
3. Manténgase en reposo 15 minutos más y regístrese e volumen de sólidos sedimentables del cono como milímetros por litro. Si la materia sedimentada contiene bolsas de líquido entre partículas gruesas, evalúese el volumen de sólidos sedimentados. El límite inferior práctico de la medición depende de la composición de la muestra y, en general, es del orden de 0,1 a 1,0 mL/l. En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

Anexo 14

Medición de parámetros "Punto 1"



Nota: En las imágenes se muestra la medición de parámetros in situ: pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto. Tomados en las calles Ignacio Calderón y Julio Matovelle.

Anexo 15

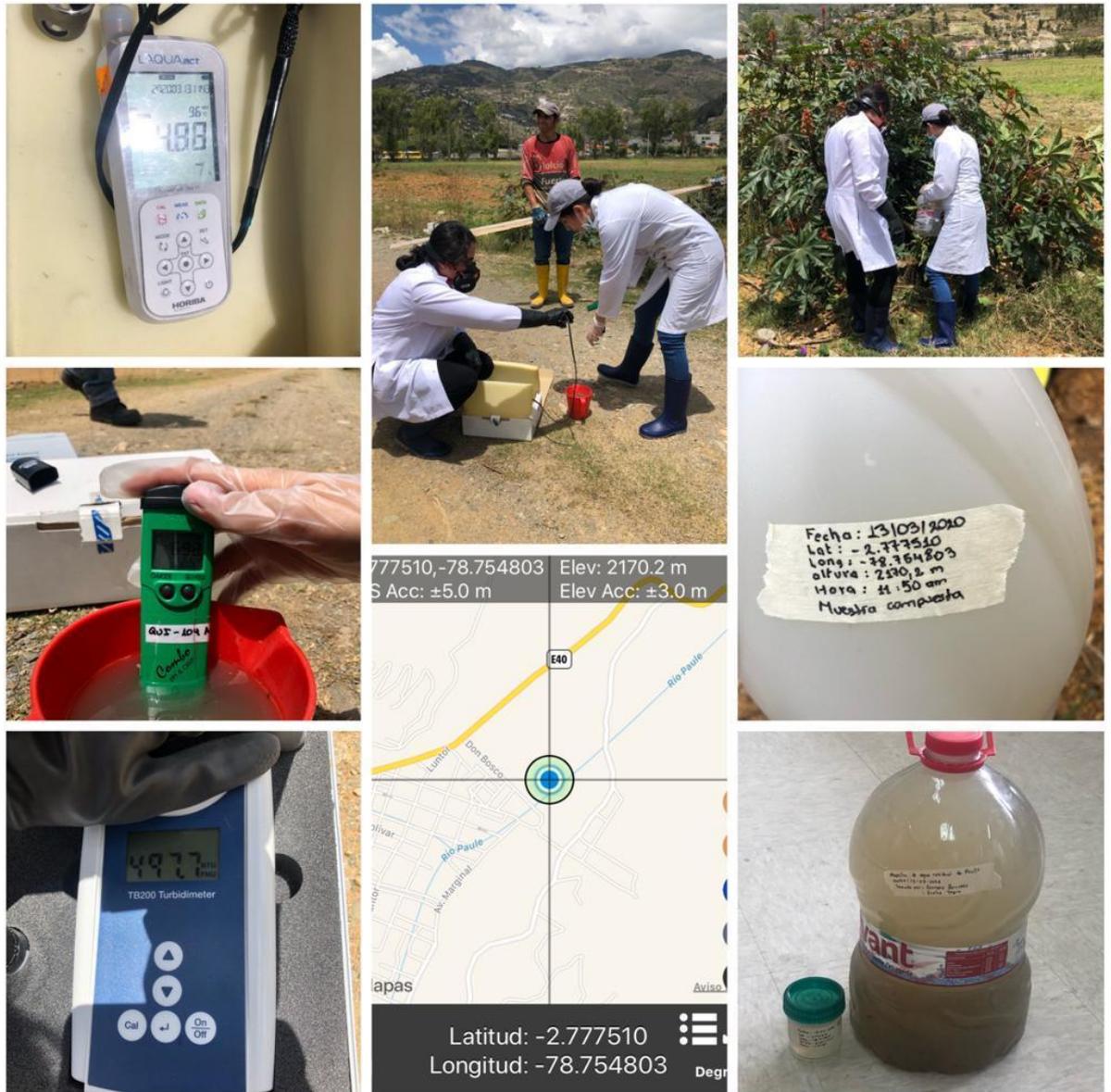
Medición de parámetros "Punto 2"



Nota: En las imágenes se presenta la medición de parámetros in situ: pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto. Tomados en las calles García Moreno y Abdón Calderón.

Anexo 16

Medición de parámetros "Punto 3"



Nota: En las imágenes se muestra la medición de parámetros in situ: pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto. Tomados en el punto de monitoreo, establecido por el GADM de Paute. Aquí se realizó la toma de una muestra compuesta para análisis en el laboratorio.

Anexo 17

Análisis de sólidos sedimentables



Nota: En las imágenes se puede apreciar el procedimiento para la determinación de sólidos sedimentables, los análisis se realizaron en el laboratorio de aguas de la UPS.

Anexo 18

Realización de prueba de jarras



Nota: En las imágenes se indica el procedimiento para determinar el pH y la dosis óptima de coagulante mediante la prueba de jarras estos análisis se realizó en el laboratorio de aguas de la UPS.

Anexo 19

Socialización del proyecto



Nota: En las imágenes se puede apreciar la socialización que se llevó a cabo con moradores de la parroquia y el representante del Departamento de agua potable del GADM de Paute.

Anexo 20

Solicitud al GADM de Paute

QS-DCIA-004-2020-J1225-OF
Quito, 14 de enero de 2020

Asunto: Solicitud de aprobación para ejecución de charlas/encuestas en Organizaciones Externas

Ingeniero
Raúl Delgado
Alcalde
PAUTE
En su Despacho. –

De mi consideración:

Recibe un cordial saludo. El motivo de la presente es para solicitar de la manera más comedida autorice a las señoritas: Evelin Sofia Tapia Molina con C.I. 1724638448 y Geovana Andrea Berrones León con C.I. 1724290315; estudiantes de noveno nivel de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, realizar la socialización de su Trabajo Experimental titulado: "Diseño de una planta de tratamiento de aguas y análisis de las aguas servidas del Mercado Central de Paute"; a las personas que laboran en el mercado además, se les permita realizar la toma de muestras de agua para su posterior análisis.

Segura de contar con su ayuda y por su amable atención, le anticipo mis sinceros agradecimientos.

Atentamente,


Dra. Karina Pazmiño
DIRECTORA DE CARRERA
INGENIERÍA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

NUY: 004-QS-DCIA-UPS-2020.

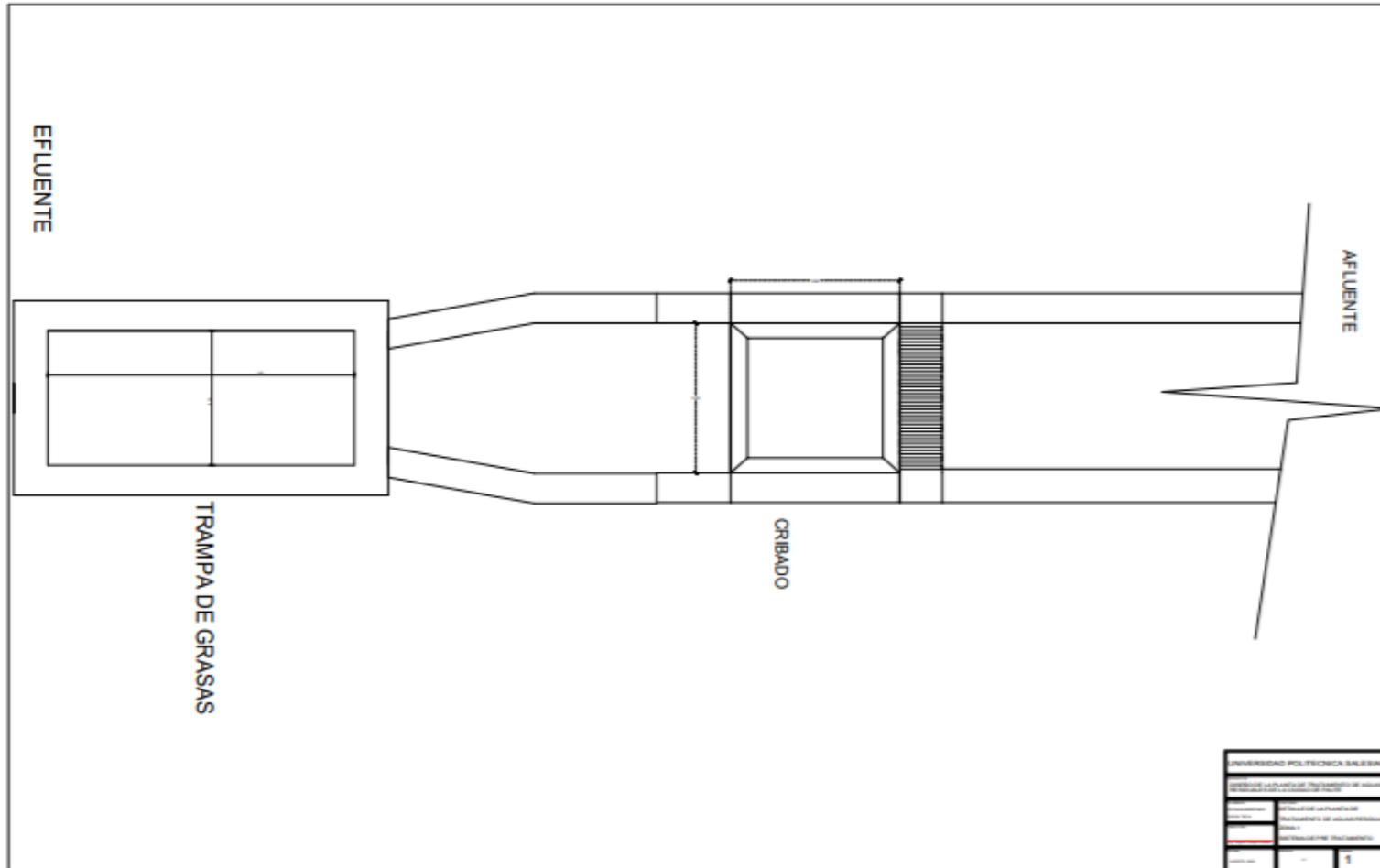
T.G



Nota: La imagen muestra la solicitud para la aprobación de charlas, encuestas y otras actividades que se realizaron para el desarrollo del proyecto.

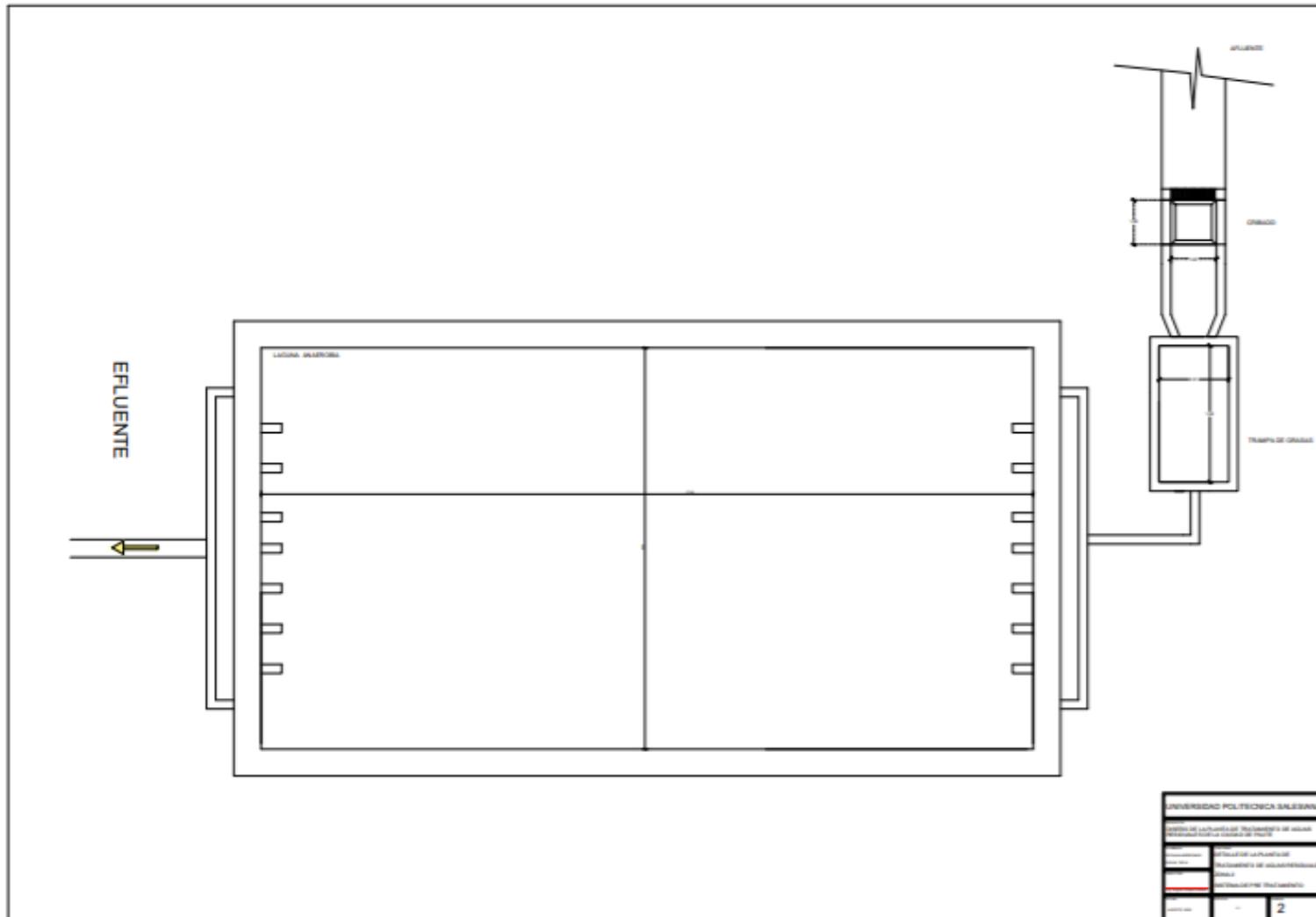
Anexo 21

Planos del pretratamiento zona 1



Anexo 22

Planos del pretratamiento zona 2



Anexo 24

Planos del sistema de lagunas zona 2

