

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD  
DE CAJAMARCA Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA  
ZONA DEL FUNDO BETANIA”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO HIDRÁULICO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**EVER IVAN ALVITES RODRIGUEZ**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**- 2018 -**

## **AGRADECIMIENTO**

La realización de este trabajo fue posible debido a la contribución de muchas personas, quienes con sus valiosos aportes, sugerencias, estímulos y disposición lograron que el mismo llegara a un feliz término.

Primero y, antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por ser la fuente de conocimiento de mi formación profesional. También agradecer a mis catedráticos por formar parte de este camino compartiéndome la pasión por nuestra profesión.

Un agradecimiento especial al Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz por su asesoría, que con su paciencia, dedicación y apoyo en todo momento el desarrollo de este trabajo.

También agradezco de una manera especial al MSc. Ing. Juan Carlos Flores Cerna, por aportar el material y equipo necesario para la primera etapa de campo de esta investigación.

Al Ing. Marco Tulio Narro Centurión, Jefe Control de Calidad en EPS SEDACAJ S.A. gracias por los análisis fisicoquímicos y biológicos que realizo, para la conclusión de este trabajo.

Al Ing. Cesar Mego Díaz, Gerente de ingeniería en EPS SEDACAJ S.A. por los datos proporcionados, para que este proyecto se llevara a cabo.

A mis jurados, por su apoyo para mejorar esta investigación, y así mismo indicarme el camino para su buena finalización.

A todas aquellas personas que contribuyeron a la realización del presente trabajo de investigación.

Gracias a todos por el apoyo brindado.

Ever Ivan.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme otorgado la fuerza, la luz y la voluntad  
necesaria para emprender mis estudios

A mis padres ALEJANDRO ALVITES, HILDA RODRIGUEZ  
quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado incondicionalmente  
los proyectos que he emprendido, a ustedes que confiaron y creen  
en mis capacidades y habilidades, motivándome y guiándome en  
cada etapa y paso que doy.

A mis hermanos EDGAR Y JHAMPOL, que forman parte  
fundamental en mi vida y siempre están a mi lado.

A ustedes dedico todos mis esfuerzos y logros, los amo.

Ever Ivan.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE GRAFICOS .....	IX
ÍNDICE DE ANEXOS.....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT .....	XII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PROBLEMA .....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL .....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS .....	5
2.2. BASES TEÓRICAS .....	6
AGUAS RESIDUALES.....	6
MUESTREO Y MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES .....	9
CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	13
CAUDALES.....	16

CALIDAD DE AGUA RESIDUAL: NORMATIVA AMBIENTAL EN EL PERÚ .....	21
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	24
SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
40	
BASES DE DISEÑO Y CRITERIOS DE DISEÑO .....	44
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	50
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	52
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO .....	52
3.2. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN .....	54
3.3. FASE INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	55
3.4. FASE DE CAMPO .....	55
3.5. FASE DE LABORATORIO.....	57
3.6. FASE DE GABINETE.....	58
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
4.1. FASE INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	65
4.2. FASE DE CAMPO .....	65
4.3. FASE DE LABORATORIO.....	69
4.4. FASE DE GABINETE.....	72
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
3.1. CONCLUSIONES .....	98
3.2. RECOMENDACIONES.....	100
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
VII. ANEXOS.....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contaminantes en el agua residual .....	6
Tabla 2: Clasificación de las aguas residuales.....	7
Tabla 3: Composición típica del agua residual domestica (ARD) .....	8
Tabla 4: Registro de datos de campo.....	11
Tabla 5: Anexo N° V de la RM N° 273-2013-VIVIENDA: Etiqueta para muestras de agua residual .....	12
Tabla 6: Dotación de agua según RNE (l/hab/d) (Habilitaciones Urbanas).....	20
Tabla 7: Límites Máximos Permisibles Para Los Efluentes de PTAR.....	22
Tabla 8: comparación de los LMP para efluentes de PTAR y ECA-agua .....	23
Tabla 9: Niveles de tratamiento de aguas residuales domesticas .....	24
Tabla 10: Características de los principales niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas. ....	25
Tabla 11: Objetivo de los procesos de Tratamiento preliminar o pretratamiento .....	27
Tabla 12: Eficiencia de tratamiento del proceso de lodos activados.....	29
Tabla 13: Descripción de los procesos de lodos activados con sus modificaciones .....	30
Tabla 14: Eficiencia de tratamiento del proceso de lagunas aireadas. ....	31
Tabla 15: Tipos y características técnicas de las lagunas aireadas.....	31
Tabla 16: Ventajas y Desventajas de los filtros percoladores .....	33
Tabla 17: Ventajas, desventajas y recomendaciones de las lagunas de estabilización.....	35
Tabla 18: Tratamiento aerobio vs tratamiento anaerobio.....	39
Tabla 19: Orden de elegibilidad .....	43
Tabla 20: Niveles de calificación .....	61
Tabla 21: Fechas de muestreo .....	66
Tabla 22: Caudal medido en el punto de descarga (Bz -N° 3515).....	67

Tabla 23: Resultado de los parámetros obtenidos en campo.....	68
Tabla 24: Parámetros obtenidos en laboratorio vs LMP .....	69
Tabla 25: Climograma de la estación Augusto Weberbauer Cajamarca periodo (1978 - 2016) .....	73
Tabla 26: Ubicación PTAR existente – Fundo Betania.....	75
Tabla 27: Factores demográficos y climáticos de la zona de estudio.....	79
Tabla 28: Primera etapa de evaluación: En función a la Población, requerimiento de área, temperatura y altitud de la zona de estudio. ....	80
Tabla 29: Resultado de Evaluación de Procesos de Tratamiento .....	81
Tabla 30: Orden de elegibilidad de la operación de la matriz de decisión.....	81
Tabla 31: Población dadas por el INEI Distrito de Cajamarca.....	82
Tabla 32: Áreas de Intervención del estudio. ....	83
Tabla 33: Población Urbana y rural, ámbito de Sedacaj. ....	83
Tabla 34: Población total, cobertura y población servida del área de estudio.....	84
Tabla 35: Caudales a ser drenados a la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta...	84
Tabla 36: Resumen de los parámetros de cargas contaminantes.....	85
Tabla 37: Criterios de diseño de las rejillas de desbaste .....	85
Tabla 38: Criterios de diseño para desarenadores - desengrasadores horizontales .....	86
Tabla 39: Valores recomendados para la carga orgánica por habitante .....	87
Tabla 40: Valores recomendados para el parámetro de la relación L/A .....	88
Tabla 41: Valores recomendados para la tasa de aplicación superficial en lagunas facultativas, de maduración y de macrófitas.....	88
Tabla 42: Valores recomendados para el tiempo de retención y la profundidad en lagunas facultativas, de maduración y de macrófitas .....	88
Tabla 43: Valores de k para una temperatura estándar del agua de 20°C .....	89
Tabla 44: Criterios de diseño para la desinfección por cloración.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición general de las aguas residuales domesticas (ARD). .....	8
Figura 2: Flujo en sección de la tubería parcialmente llena .....	18
Figura 3: Diagramas de flujo del proceso de lodos activados, Metcalf & Eddy, (1995) .....	29
Figura 4: Diagrama del proceso de las lagunas aireadas. ....	31
Figura 5: Diagrama del proceso de los filtros percoladores. ....	32
Figura 6: Diagramas del tratamiento mediante el sistema de lagunas de estabilización. ....	38
Figura 7: Ubicación política, geográfica y referencial de la zona en estudio.....	53
Figura 8: Punto de muestreo seleccionado .....	66
Figura 9: Rejas y rejillas de limpieza manual y su operación, respectivamente .....	93
Figura 10: Rejas y rejillas de limpieza automáticas .....	93
Figura 11: Esquema de tratamiento de desarenado - desgrasado .....	94



## ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico N° 1: Variación del pH Vs Límites máximos Permisibles.....	70
Gráfico N° 2: Variación de la Temperatura Vs Límites máximos Permisibles. ....	70
Gráfico N° 3: Variación de la conductividad eléctrica.....	71
Gráfico N° 4: Variación de los sólidos Totales Disueltos (STD).....	71
Gráfico N° 5: Variación del Caudal .....	72
Gráfico N° 6: Variación de la precipitación mensual con respecto al tiempo estación agosto Weberbauer (1978- 2016).....	73
Gráfico N° 7: Climograma de la estación Augusto Weberbauer Cajamarca periodo (1978 - 2016) .....	74
Gráfico N° 8: Variación de Aceites y Grasas del agua residual Vs LMP .....	75
Gráfico N° 9: Variación de los coliformes termotolerantes del agua residual Vs LMP .....	76
Gráfico N° 10: Variación de la DBO <sub>5</sub> del agua residual Vs LMP .....	77
Gráfico N° 11: Variación de la DQO del agua residual Vs LMP .....	78
Gráfico N° 12 : : Variación de los sólidos suspendidos totales del agua residual Vs LMP .....	79

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Panel fotográfico del muestreo de aguas residuales .....	104
ANEXO N° 2: Ejemplo de implantación de macrófitas en un sistema de lagunas (PTAR la Barquita - República dominicana).....	105
ANEXO N° 3: Ejemplo de tanque de contacto para desinfección de aguas residuales tratadas. ....	105
ANEXO N° 4: Parámetros medidos in situ de las aguas residuales.....	106
ANEXO N° 5: Cálculo de caudales instantáneos en la toma de muestras – método directo ..	107
ANEXO N° 6: Resultado de caudales medidos los días del muestreo.....	108

ANEXO N° 7: Resultados de los análisis Fisicoquímicos y microbiológicos proporcionados por la EPS Sedacaj S.A. ....	109
ANEXO N° 8: Temperaturas mínimas mensuales, Periodo (1978 – 2016) .....	110
ANEXO N° 9: Temperaturas máximas mensuales, Periodo (1978 – 2016) .....	111
ANEXO N° 10: Precipitaciones Mensuales, Periodo (1978 – 2016) .....	112
ANEXO N° 11: Aplicación de tecnologías por tamaño de población .....	113
ANEXO N° 12: Comparación de una PTAR convencional Vs Depuración con macrófitas en flotación en el tratamiento de agua residual doméstica. ....	114
ANEXO N° 13: Esquema y rubros de la Matriz de decisión .....	115
ANEXO N° 14: Flujograma de tecnologías empleadas en el tratamiento de Aguas Residuales .....	116
ANEXO N° 15: Ponderación de los factores a evaluar .....	117
ANEXO N° 16: Calificación de tres (03) procesos de tratamiento preseleccionados en la primera etapa de evaluación.....	119
ANEXO N° 17: Matriz de evaluación del sistema de Laguna facultativa con filtro de macrófitas (Totoras en flotación) .....	124
ANEXO N° 18: Matriz de evaluación del sistema de Laguna aireada.....	126
ANEXO N° 19: Matriz de evaluación del sistema de Lodos activados .....	128
ANEXO N° 20: Plano de Áreas de drenaje influencia de SEDACAJ, Cajamarca - 2017 .....	130
ANEXO N° 21: Plano de población de la ciudad de Cajamarca según data del INEI- 2007 .	131
ANEXO N° 22: Plano “Ubicación de Terreno para PTAR - zona fundo Betania. ....	132
ANEXO N° 23: Esquema de la planta de tratamiento - zona fundo Betania. ....	133
ANEXO N° 24: Diagrama de procesos de tratamiento considerados para la zona de estudio, en base a la alternativa seleccionada .....	134

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca en la zona del fundo Betania, para proponer posteriormente un tratamiento adecuado, sostenible y de bajo costo de operación y mantenimiento. Para ello, se analizó diversos factores tales como: la identificación de la zona de estudio, ubicación del punto de muestreo (colector el Inca- buzón existente N° 3515), la recopilación de la información referido a las aguas residuales en estudio, donde se realizó el monitoreo en ocho oportunidades durante los meses de julio a octubre del 2017, las características del agua residual, finalmente se seleccionó la mejor alternativa que se adapta a la zona. Se determinó que el área de contribución sanitaria descargadas a la zona de estudio – fundo Betania, representa el 60% del total del área de influencia de Sedacaj, además se obtuvo que los valores promedio de los parámetros evaluados son: T (22.63C°), pH (8.21), DBO5 (430.63 mg/l), DQO (920.11 mg/l), SST (430.63 mg/l), Aceites y Grasas (97.86 mg/l) y Coliformes Termotolerantes (1.54E+10 NMP/100ml). La temperatura oscila de 21.8°C a 7.8°C, con precipitación de 657.30 mm promedio anual. Los resultados obtenidos indican que un tratamiento compuesto por un sistema de lagunas con filtro de macrófitas es la mejor alternativa de propuesta para el tratamiento de dichas aguas, la cual estaría diseñada para un periodo de 20 años con una población de 232451 habitantes y un caudal de diseño de 550 l/s permitiendo de esta manera obtener agua que cumpla los estándares necesarios para ser reutilizada en la agricultura, riego, entre otros.

**Palabras clave:** Agua residual doméstica, caracterización, Macrófitas, Matriz de decisión, sistemas de tratamiento.

## ABSTRACT

The objective of this research was to characterize wastewater from the city of Cajamarca in the area of the Betania farm, to propose an adequate, sustainable and low-cost operation and maintenance treatment. For this, several factors were analyzed that explain how: the identification of the study area, location of the sampling point (collector the Inca, existing mailbox N ° 3515), the collection of the information referring to the wastewater under study, where Monitoring was carried out eight times during the months of July to October 2017, the characteristics of the wastewater, finally selected the best alternative that adapts to the area. It was determined that the area of the health collaboration is downloaded in the study area – Betania farm, represents 60% of the total area of influence of Sedacaj, in addition the evaluated values of the parameters evaluated were obtained: T (22.63C °), pH (8.21), BOD5 (430.63 mg/l), COD (920.11 mg/l), SST (430.63 mg/l), Oils and Fats (97.86 mg/l) and Thermotolerant Coliforms (1.54E + 10 NMP/100ml). The temperature ranges from 21.8 ° C to 7.8 ° C, with annual average precipitation of 657.30 mm. The results indicate that a treatment consisting of a lagoon system with macrophytes filter is the best alternative proposal for treatment of such water, which would be designed for a period of 20 years with a population of 232,451 people and a flow design of 550 l/s allowing in this way to obtain water that meets the necessary standards to be reused in agriculture, irrigation, among others.

**Key words:** Domestic residual water, characterization, macrophytes, decision matrix, treatment systems.

## I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales, es un proceso de tratamiento que incorpora transformaciones físicas, químicas y biológicas, con el objeto de tratar y remover los contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua, efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango que puede utilizarse para diversos y diferentes propósitos. La ciudad de Cajamarca, capital del departamento del mismo nombre, está ubicada en el norte del Perú a 2750 m.s.n.m.; en las coordenadas 7° 09' 26" Latitud Sur y 78° 31' 31" Longitud Oeste, de acuerdo a información proveniente del INEI - 2007 el total de la población del distrito de Cajamarca, asciende a 150,197 habitantes de la zona urbana a esto se agregan las zonas de expansión que ascienden a 11,093 habitantes, dando un total de 161,290 habitantes.

Los habitantes de la ciudad de Cajamarca descargan sus aguas residuales a la PTAR existente, la que actualmente se encuentra en estado no operativo desde el año 2008, el cual no cumple con un funcionamiento adecuado y descarga directamente a los Ríos San Lucas y luego al río Mashcón sin ningún tratamiento previo por lo que se está generando una contaminación severa en el ambiente de la zona. El agua residual al no recibir tratamiento alguno altera la calidad del agua y sus propiedades físico - químicas y microbiológicas de los mismos, además de afectar a la flora y fauna existente en la zona y genera un foco de infección que puede ocasionar enfermedades de origen hídrico. El tratamiento de aguas residuales es una operación que utiliza diferentes procesos de depuración: físicos, químicos y microbiológicos, por medio de unidades de tratamiento convencionales o naturales, permitiendo de esta manera que el agua que se desea tratar pueda eliminar la mayor parte de contaminantes presentes en la misma con la finalidad de que sus parámetros cumplan con los límites establecidos por las normas ambientales.

La Ciudad de Cajamarca es una zona eminentemente comercial y turística, esta situación hace que los cajamarquinos se generen una fuente de ingresos muy importante que les permite mejorar la calidad de vida; sin embargo, la ciudad aún no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, por lo cual se tiene por prioridad este trabajo del tratamiento de aguas residuales.

## **1.1. PROBLEMA**

### **CONTEXTUALIZACIÓN**

Las aguas residuales en nuestro país son un problema social, ambiental que no se ha podido controlar por la débil gestión por parte de las autoridades e instituciones involucradas en el campo ambiental ocasionando así una contaminación de manera irracional a los ecosistemas en donde son vertidas, lagos, lagunas, ríos, entre otros, los principales afectados son los animales y plantas que habitan en estos ecosistemas pero los humanos también resultamos seriamente afectados ya que muchos de estos lugares son una fuente de agua dulce o simplemente por estar ubicados cerca de poblaciones resultan una fuente de infección y contaminación para los habitantes aledaños, además de estar destruyendo nuestro patrimonio natural.

En la ciudad de Cajamarca las aguas residuales no reciben ningún tratamiento antes de ser descargadas directamente en las corrientes y cuerpos superficiales de agua; debido a la inoperatividad de la planta de tratamiento existente de la ciudad de Cajamarca desde el año 2008; es así que las aguas residuales son descargadas directamente al río San Lucas y consecuentemente al río Mashcón alterando su calidad y generando problemas ambientales. Por ello se deben buscar mecanismos, que ayuden a resolver esta problemática, construyendo sistemas de tratamiento de aguas que tengan una evaluación técnica, social, ambiental y económica que logren ayudar a resolver estos inconvenientes y de esta manera mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector.

### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Las aguas residuales de la zona del fundo Betania, no están caracterizadas para un sistema de tratamiento adecuado.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El agua de suministro doméstico, una vez utilizada contiene una gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, sólidos en suspensión, compuestos volátiles y otros elementos que al ser liberados sin un previo tratamiento conducen a un deterioro ambiental. Generalmente estas aguas residuales son descargadas directamente en las corrientes y cuerpos superficiales de agua alterando su calidad y generando problemas ambientales a tal grado que el agua queda inutilizable.

Una manera efectiva de evitar y solucionar la mayor parte de problemas generados por la mala disposición de las aguas residuales es mediante la aplicación de un tratamiento a la misma. La ejecución de un proceso de tratamiento del agua residual permite disminuir la contaminación al ecosistema y la mejora de la salud de los habitantes del sector. Existen tratamientos naturales que se caracterizan en general por su escasa necesidad de personal de mantenimiento y consumo energético.

Con estos argumentos se demuestra la importancia que existe en realizar un proyecto ambiental que permita mejorar la calidad de vida de la población de la ciudad de Cajamarca. El presente estudio pretende dar una propuesta de solución mediante la caracterización de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca y su propuesta de Tratamiento para las mismas. Esta propuesta, optará por la mejor tecnología de tratamiento que mejor se adapte a las condiciones de la zona.

Por otro lado, en la Constitución peruana de 1979, en su artículo 123 se reconoció expresamente como un derecho ciudadano, al derecho a habitar en un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado.

Además, Cajamarca presenta amplios espacios y extensiones que pueden ser adecuados y aprovechados para realizar sistemas de tratamientos donde no afecten a la población. Mediante este proyecto de investigación, se busca también evitar la contaminación de río San Lucas y consecuentemente el río Mashcón, al descargar efluentes tratados previamente.

### **1.3. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación del presente trabajo contribuye de alguna manera a reducir la contaminación por aguas residuales mal tratadas en la ciudad de Cajamarca, a través de la búsqueda de una tecnología que sea relativamente económica pero no menos eficiente que los sistemas convencionales, sin consumir las grandes cantidades de energía de los sistemas aeróbicos modernos y por ende colaborando con la preservación del medio ambiente. Para este fin se seleccionó la tecnología más adecuada, además de proponer bases y criterios de diseño con referencia al tratamiento de las mismas, con el fin de optimizar la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas en la zona de estudio de la ciudad de Cajamarca.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la caracterización de las aguas residuales en la zona del fundo Betania de la ciudad de Cajamarca y proponer el sistema de tratamiento más adecuado.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Delimitar la zona de estudio.
- Recopilar información referente a las aguas residuales de la zona del fundo Betania de la ciudad de Cajamarca.
- Realizar los análisis fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales generadas en la zona del fundo Betania de la ciudad de Cajamarca.
- Evaluar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y biológicos, según la disposición de los LMP (D.S. N° 003-2010-MINAM).
- Seleccionar la alternativa de tratamiento que mejor se adecúe a las condiciones que presenta la zona de estudio, a partir de la elaboración de una matriz de decisión.
- Establecer bases y criterios de diseño para la alternativa seleccionada a partir de los resultados obtenidos en la matriz de decisión.
- Describir el tren de procesos de tratamiento considerados para la zona de estudio, en base a la alternativa seleccionada.



## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Con el propósito de apoyar los basamentos teóricos de este estudio se hizo necesaria la revisión de diversos trabajos de investigación relacionados con la temática. A la luz de tal revisión se pueden citar los siguientes antecedentes:

(VÁSQUEZ, R. 2010) Realizó estudios en su Tesis de grado titulada: Caracterización de los parámetros físicos y químicos de los efluentes de agua al Río Cutuchi en el sector Lasso cantón Latacunga provincia Cotopaxi - Ecuador, periodo 2015. Esta investigación estuvo orientada a la caracterización de los parámetros físico químicos de los efluentes de agua al Rio Cutuchi en el Sector de Lasso, por lo que se detectó 3 puntos de muestreo Parmalat, Familia Sancela e Indulac. Demostrándonos así que estos parámetros se encuentran fuera del límite permisible establecido por la Normativa Ambiental vigente TULSMA- Ecuador;

(HERNÁNDEZ, J. 2010) Realizo estudios en su tesis de maestría titulada: Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico. Dentro de las conclusiones, según los resultados de los análisis de los muestreos realizados a los filtros en este estudio, se obtuvo para la DBO<sub>5</sub> una remoción con valores promedio de 18.50% y un máximo de 39.76%. En el caso de la DQO, se obtuvo una remoción con valores promedio de 31.45% y un máximo de 47.41%. La remoción de los parámetros principales de DBO<sub>5</sub> y DQO en los filtros quedó por debajo de lo esperado. Además, se concluyó que ambos filtros tienen un porcentaje de eficiencia similar en cuanto a la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO.

(ARCE, L. 2013) Realizó estudios en su Tesis de grado titulada: urbanizaciones sostenibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales, en esta investigación nos brinda un alcance de la situación real del Perú en el tema de saneamiento. En el cual se plantean vías para la reutilización del agua tratada, Además analiza diferentes alternativas, adecuando ciertas tecnologías a contexto peruano, esto siendo conscientes que al país le falta asumir conocimientos técnicos actuales, planes de inversión en el saneamiento nacional, implementación de mantenimiento y operación eficientes.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### AGUAS RESIDUALES

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014), son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. En la Tabla 1, se puede observar los contaminantes presentes en el agua residual y en la Tabla 2, se muestra la clasificación de las mismas.

Tabla 1: Contaminantes en el agua residual

Contaminante	Fuente	Efectos causados por la descarga del agua residual en aguas superficiales
Sustancias que consumen oxígeno (MO* biodegradable).	ARD* y ARI* (proteínas, carbohidratos, grasas, aceites).	Agotamiento del oxígeno, condiciones sépticas.
Sólidos suspendidos	ARD y ARI; erosión del suelo.	Depósito de lodo; desarrollo de condiciones anaeróbicas.
Nutrientes: Nitrógeno Fósforo	ARD, ARI y ARA* ARD y ARI; descarga natural.	Crecimiento indeseable de algas y plantas acuáticas.
Microorganismos patógenos	ARD	Comunicación de enfermedades.
Materia tóxica Metales pesados Compuestos orgánicos tóxicos	ARI ARA y ARI	Deterioro del ecosistema; envenenamiento de los alimentos en caso de acumulación.
MO refractario (Difícil de degradar biológicamente)	ARI (fenoles, surfactantes), ARD (surfactantes) y ARA (pesticidas, nutrientes); materia resultante del decaimiento de la MO.	Resisten el tratamiento convencional, pero pueden afectar el ecosistema.
Sólidos inorgánicos disueltos Cloruros Sulfuros pH	Abastecimiento agua, uso agua, infiltración ARD y ARI ARI	Incremento del contenido de sal.
Olores: H <sub>2</sub> S	Descomposición de ARD	Molestia pública
*MO; Materia orgánica *ARD: Aguas residuales domésticas *ARI: Aguas residuales industriales; *ARA: Aguas residuales agrícolas.		

Fuente: (ALAERTS, G. 1995).

Tabla 2: Clasificación de las aguas residuales

Tipo	Definición
Aguas residuales domesticas	Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos orgánicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.
Aguas residuales industriales	Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.
Aguas residuales municipales	Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Fuente: (OEFA, 2014).

### COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL

La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales (METCALF Y EDDY, 1995).

Los constituyentes más importantes de los residuos líquidos confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables. La composición y la concentración de estos constituyentes dependerá hasta cierto punto de las costumbres socio-económicas de la población contribuyente (VAN HAANDEL Y LETTINGA, 1994).

El agua residual domestica (ARD), está compuesta por un 99.9% de agua y un 0.1% de sólidos, de los cuales el 70% son orgánicos y el 30% son inorgánicos como arenas, sales y metales; siendo éste 0.1% el que debe ser sometido a tratamiento en las PTARs. La composición del agua residual está en función del uso, ésta depende tanto de las características sociales y económicas de la población, así como del clima, la cultura y del uso del suelo entre otras. La Figura 1 presenta la composición general de las ARD y la Tabla 3 presenta la composición típica y a la vez realiza una comparación de los aspectos más importantes en el proceso de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales (VON SPERLING Y CHERNICHARO, 2005).

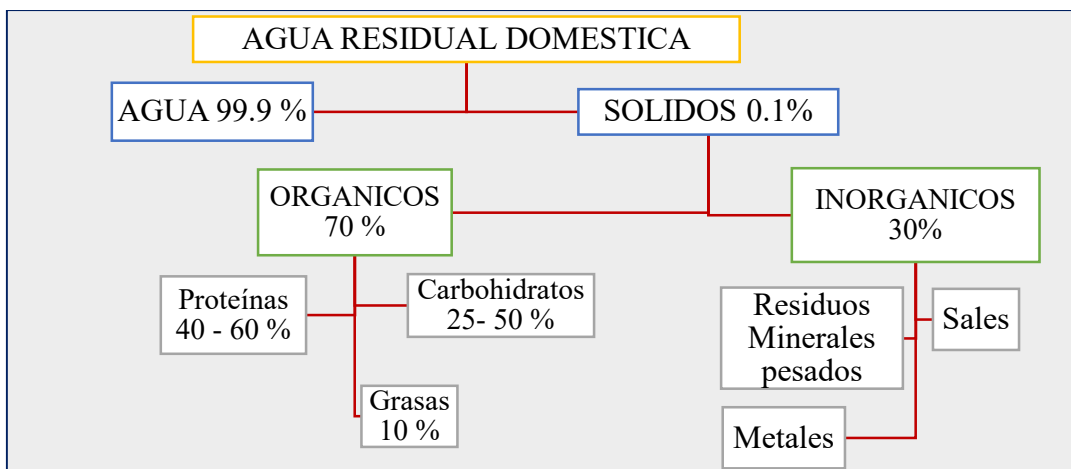


Figura 1: Composición general de las aguas residuales domésticas (ARD).

Fuente: (METCALF & EDDY, 1995)

Tabla 3: Composición típica del agua residual doméstica (ARD)

Constituyente	Concentración			
	Unidades	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	mg/l	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	850	500	250
Fijos	mg/l	525	300	145
Volátiles	mg/l	325	200	105
Sólidos Suspendidos	mg/l	350	220	105
Fijos	mg/l	75	55	20
Volátiles	mg/l	275	165	80
Sólidos Sedimentables	ml/l	20	10	5
Demanda Bioquímica de	mg/l	400	220	110
Carbono Orgánico Total	mg/l	290	160	80
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	1000	500	250
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	85	40	20
Orgánico	mg/l	35	15	8
Amoníaco libre	mg/l	50	25	12
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	15	8	4
Orgánico	mg/l	5	3	1
Inorgánico	mg/l	10	5	3
Cloruros	mg/l	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	200	100	50
Grasa	mg/l	150	100	50
Sulfato	mg/l	34	22	12
Coliformes totales	Nº/100 ml	10 <sup>7</sup> -	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>
Compuestos orgánicos	µg/l	>400	100 - 400	<100

(1) Estos valores dependen de la cantidad presente de agua en el suministro

Fuente: (METCALF & EDDY, 1995).

## **MUESTREO Y MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES**

Hay dos tipos de muestras que pueden tomarse: muestra simple, y muestra compuesta.

La muestra simple nos da características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada. Se usa generalmente cuando: (1) el caudal de agua residual y su composición es relativamente constante; (2) el flujo del agua residual es intermitente, y (3) cuando las muestras compuestas pueden ocultar condiciones extremas de las aguas residuales (pH y temperatura). El volumen mínimo de una muestra simple debe estar entre 1 y 2 litros.

Las muestras compuestas son aquellas formadas por mezcla de muestras individuales tomadas en diferentes momentos. La cantidad de cada muestra individual que se añade a la mezcla compuesta debe ser proporcional al flujo de caudal en el momento en que la muestra fue tomada. (RAMALHO, R. 1996)

### **a. Puntos de Monitoreo**

Se ubicará un punto de monitoreo en el ingreso del agua residual cruda a la PTAR, después de la combinación de los distintos colectores de agua residual que descargan a la obra de llegada a la PTAR o, en su defecto, al ingreso a cada módulo de tratamiento, según sea el diseño del ingreso a la PTAR. En todos los casos el punto de monitoreo debe ubicarse en un lugar que evite la interferencia de sólidos de gran tamaño en la toma de muestras, por lo que debe ubicarse preferentemente después del proceso de cribado de las aguas residuales. (MVCS, 2013)

### **Características del punto de monitoreo**

Los puntos de monitoreo deben tener las siguientes características:

- Permitir que la muestra sea representativa del flujo
- Estar localizados en un punto donde exista una mejor mezcla y estar preferentemente cerca al punto del aforo
- Para la medición del afluente, el punto de monitoreo debe estar antes del ingreso de agua de recirculación, si existiera.
- Ser de acceso fácil y seguro, evitando caminos empinados, rocosos, vegetación densa y fangos.
- Contar con una placa de identificación incluyendo la denominación del punto de monitoreo.

## **b. Parámetros de Calidad**

Los parámetros sujetos al monitoreo de los efluentes de las PTAR son los indicados en el D.S. N° 003- 2010-MINAM para los cuales se fija los Límites Máximos Permisibles. Estos son los siguientes:

- Aceites y Grasas
- Coliformes Termotolerantes
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Demanda Química de Oxígeno
- Ph
- Sólidos Totales Suspendidos
- Temperatura

Estos parámetros se monitorearán en el agua residual cruda (afuente) y en el agua residual tratada (efluente), tomando en todos los casos muestras simples. El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el D.S. N° 003-2010-MINAM, cuando existan indicios (MVCS, 2013)

## **c. Frecuencia de Monitoreo**

La frecuencia de monitoreo se establece para medir los cambios sustanciales que ocurren en determinados periodos de tiempo, a fin de realizar el seguimiento periódico respecto a las variaciones de los parámetros fisicoquímicos, orgánicos, microbiológicos ligados al agua residual cruda y tratada de la PTAR. (MVCS, 2013)

## **d. Desarrollo del Monitoreo**

El trabajo de campo se inicia con la preparación de materiales (incluido material de laboratorio), equipos e indumentaria de protección. Asimismo, se deberá contar con las facilidades de transporte y logística para el desarrollo del trabajo de campo.

### **Preparación de materiales y equipos**

Tiene como objetivo cubrir todos los elementos indispensables para llevar a cabo un monitoreo de forma efectiva, por lo que es importante preparar con anticipación los materiales de trabajo, solución amortiguadora de pH, formatos (registro de datos de campo, etiquetas para las muestras de agua residual y cadena de custodia).

**Precauciones durante el monitoreo:** En general se debe tener conocimiento de lo siguiente:

- El peligro de explosión causado por la mezcla de gases explosivos en el sistema de alcantarillado.
- El riesgo de envenenamiento por gases tóxicos, por ejemplo, Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S) o Monóxido de Carbono (CO).
- El riesgo de sofocación por la falta de oxígeno.
- El riesgo de enfermedades causadas por organismos patógenos presentes en las aguas residuales.
- El riesgo de heridas físicas debidas a caídas y deslizamiento.
- El riesgo de ahogamiento.
- El riesgo de impacto causado por objetos que puedan caer.

**e. Muestreo**

El objetivo del muestreo es tomar una muestra representativa del afluente y efluente de la PTAR, para analizar los parámetros establecidos. En canales o albañales, se debe tomar la muestra a un tercio del tirante de la superficie, evitando tomar las muestras cerca de la superficie o del fondo. En la toma de muestras se debe evitar partículas grandes, sedimentos y/o material flotante que se haya acumulado en el punto de muestreo. En caso no sea posible tomar las muestras después del proceso de cribado, se debe tomar la muestra evitando recolectar los sólidos de gran tamaño. (MVCS, 2013)

**Medición de parámetros en campo y registro de información**

En la Tabla 4, se muestran los parámetros de campo según el Anexo N° IV de la RM N° 273-2013-VIVIENDA.

Tabla 4: Registro de datos de campo

<b>Nombre de la PTAR:</b>					
<b>AFLUENTE</b>					
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>					
Fecha	Hora	pH	STD	Temperatura	Caudal afluente (*)
Eventuales observaciones al punto de monitoreo					
Características del agua residual					
<b>EFLUENTE</b>					
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>					
Fecha	Hora	pH	STD	Temperatura	Caudal efluente (*)
Eventuales observaciones al punto de monitoreo					
Características del agua residual					

(\*) Caudal de afluente y efluente en el momento del monitoreo

### Toma de muestras de agua residual

Se recomienda utilizar frascos de plástico o vidrio de boca ancha con cierre hermético y limpio. El tipo de frasco dependerá del parámetro a analizar. Se debe preparar los frascos a utilizar en el muestreo, de acuerdo con la lista de parámetros a evaluar.

### Preservación de muestras

Una vez tomada la muestra, se deberá incorporar, en caso que el parámetro lo requiera, el reactivo de preservación que se agregaría preferentemente in-situ después de la toma de la muestra de agua.

### Etiquetado y rotulado de las muestras de agua

Los frascos deben ser etiquetados y rotulados, con letra clara y legible. De preferencia debe usarse plumón de tinta indeleble y cubrir la etiqueta con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información, Tabla 5.

- Nombre de PTAR y denominación del punto de monitoreo.
- Número de muestra (referido al orden de toma de muestra).
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Preservación realizada, tipo de reactivo de preservación utilizado.

Tabla 5: Anexo N° V de la RM N° 273-2013-VIVIENDA: Etiqueta para muestras de agua residual

<b>Nombre de la PTAR:</b>	
<b>Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente):</b>	
No. de muestra (orden de toma de muestra)	
Fecha y hora	
Ensayo físico químico	<input type="checkbox"/> DBO <input type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input type="checkbox"/> SST
Ensayo microbiológico	<input type="checkbox"/> CTT
Otros parámetros	
Preservación	
Operador del muestreo	

Fuente: RM N° 273-2013-vivienda



### **Llenado del formato de Cadena de Custodia**

Llenar el formato de cadena de custodia indicando los parámetros a evaluar, tipo de frasco, tipo de muestra de agua, volumen, número de muestras, reactivos de preservación, condiciones de conservación, operador del muestreo y otra relevante.

### **Conservación y Transporte de las Muestras**

Las muestras de agua residual recolectadas, preservadas y rotuladas, deben colocarse en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante (ice pack), para cumplir con la recomendación de temperatura indicada en la tabla adjunta. En el caso de utilizar hielo, colocar éste en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras de agua. Asimismo, se debe evitar roturas en el caso de frascos de vidrio durante el transporte de muestras, utilizando bolsas de poliburbujas, de embalaje o de cualquier otro material.

El envío de muestras perecibles (coliformes,  $DBO_5$  y otros) al laboratorio para su análisis, debe cumplir con el tiempo establecido en las recomendaciones para la preservación y conservación y éstas deben ir acompañadas de su respectiva cadena de custodia.

Transportar las muestras hasta el laboratorio, adjuntando el formato de cadena de custodia.

## **CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Los estudios de caracterización del agua residual están encaminados a determinar: las características físicas, químicas y biológicas del agua y las concentraciones de los constituyentes del agua residual. (METCALF, L. y EDDY, H. 1995).

A continuación, se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al tratamiento de las aguas, los métodos de análisis, y las unidades que se emplean para caracterizar la presencia de cada uno de los contaminantes en el agua residual (METCALF Y EDDY, H. 1995).

### **a) Características físicas**

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, el color y la turbiedad (METCALF Y EDDY, H. 1995).

**Sólidos Totales:** Analíticamente, se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre 103° y 105°C. No se define como sólido aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. (PEDRAZA, P. 2009).

**Olores:** Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El olor más característico del agua residual séptica se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno (Huevo podrido) que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de Microorganismos anaerobios. La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales (PEDRAZA, P. 2009).

**Temperatura:** La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, este hecho se debe principalmente a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática, como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la capacidad del agua para ciertos usos útiles (PEDRAZA, P. 2009).

**Color:** El agua residual suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Cuando llega a este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica (PEDRAZA, P. 2009).

**Turbiedad:** Como medida de las propiedades de transmisión de la luz del agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión (PEDRAZA, P. 2009).

#### **b) Características químicas.**

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas (PEDRAZA, P. 2009).

**Materia Orgánica:** Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos de origen animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%) y grasas y aceites (10%) (PEDRAZA, P. 2009).

**Medida del Contenido Orgánico:** Los diferentes métodos para medir el contenido orgánico pueden clasificarse en:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO<sub>5</sub>):** Es la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante cinco días y a 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica.

La determinación de este, está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:

- Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
- Dimensionar las instalaciones de tratamiento del agua residual.
- Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de la concentración de materia orgánica en el agua residual (ROJAS, R. 2002).

La relación DQO/DBO<sub>5</sub> proporciona una indicación de la biodegradabilidad de las aguas residuales, el mismo que nos indica que si esta relación es mayor a 0.5 se puede utilizar un tratamiento del tipo biológico (ROJAS, R. 2002).

**Materia Inorgánica:** Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por el agua residual, tratada o sin tratar, que a ella se descargan.

Las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, como por ejemplo los cloruros, la alcalinidad, el nitrógeno, el azufre, algunos otros compuestos tóxicos inorgánicos y algunos metales pesados como el níquel, el manganeso, el plomo, el cromo, el cadmio, el cinc, el cobre, el hierro y el mercurio (PEDRAZA, P. 2009).

Dentro de la materia inorgánica es de suma importancia también hablar de la concentración de ion hidrógeno (pH), ya que es un parámetro de calidad, de gran importancia tanto para el caso de agua natural como residual. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuado presenta dificultades en el tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en el agua natural si ésta no se modifica antes de la evacuación del agua (ROJAS, R. 2002).

### **c) Características biológicas.**

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano (ROJAS, R., 2002).

Uno de los parámetros más usados para evaluar las características bacteriológicas de un agua residual son los Coliformes Totales que incluyen: Coliformes Fecales + Coliformes de Origen No-fecal. Los coliformes son especies de organismos que indican contaminación por desechos humanos y animales (METCALF Y EDDY, H. 1995).

#### **Coliformes Fecales:**

Los microorganismos patógenos que existen en las aguas residuales son pocos y difíciles de aislar e identificar, por esta razón se utiliza a los microorganismos coliformes como un organismo indicador de contaminación o presencia de organismos productores de alguna enfermedad (ROJAS, R. 2002).

### **CAUDALES**

La cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana está en proporción directa con el consumo de agua de abastecimiento, y este consumo viene relacionado con el grado de desarrollo económico y social, puesto que un mayor desarrollo trae consigo un mayor y más diverso uso del agua en las actividades humanas.

## Medición de caudales

Las mediciones de caudales en las corrientes de aguas residuales pueden llevarse a cabo por una gran variedad de métodos que se resumen continuación (RAMALHO, R. 1996):

1. Instalación de vertederos ( triangulares o rectangulares) o canales Parshall para medición de caudales en canales abiertos o alcantarillados parcialmente llenos.
2. Métodos de llenado de recipientes o llamado metodo volumetrico, adecuados para caudales pequeños o descargas intermitentes. En el segundo de los casos no solamente hay que hacer la medición de caudal sino también el tiempo en que dicho caudal se mantiene.
3. Cronometrando el desplazamiento de un objeto flotante entre dos puntos fijos a lo largo de su recorrido o conocido como el metodo del flotador. Este método se aplica para alcantarillados parcialmente llenos. Junto con lo anterior hay que medir la profundidad de la vena líquida. La velocidad media se estima a partir de la velocidad superficial, que es la medida directamente. Para flujos laminares la velocidad media es aproximadamente 0,8 veces la velocidad superficial. El caudal se evalúa a partir del conocimiento de esta velocidad media y de la sección húmeda de la vena líquida, mediante la ecuacion de continuidad.
4. Examen de los registros de uso de agua de la planta. Este metodo se utiliza, en aquellos casos en los que no es posible medir directamente los caudales de aguas residuales y no se dispone de series históricas de los mismos, los datos sobre el abastecimiento de agua a la comunidad pueden resultar de gran ayuda para estimar los caudales de aguas residuales.Teniendo en cuenta las pérdidas de agua en el producto o debidas a la evaporación, este método es suficiente para evaluaciones aproximadas.
5. **Mediante el metodo directo que consiste en la medicion de tirantes y posteriormente se calcula utilizando la ecuacion de Mannig, siguiendo el siguiente procedimiento y la utilizacion de formulas para el calculo de caudales en tuberias parcialmente llenas.**
  - Seleccionar un tramo del colector entre dos buzones continuos, que no reciban descargas de otros colectores, que no tengan cambios de pendiente pronunciadas ni buzones que tengan diferencia de cota entre la tubería de ingreso y salida. La finalidad es que la vena del flujo sea lo más uniforme posible.
  - Determinar el diámetro y material de la tubería en el punto dónde se realizará el aforo.

- Determinar la pendiente topográfica del tramo escogido, en función a la cota de fondo de los buzones existente y la distancia entre los mismos.
- Medir y anotar los tirantes de agua en la tubería, con la ayuda de una cinta métrica durante un periodo de tiempo.
- Anotar en una hoja para su registro y procesamiento en gabinete.
- Finalmente, para la obtención del caudal en tuberías con sección parcialmente llena, utilizar la fórmula empírica de Manning y la ecuación de la continuidad es la más práctica para la determinación del caudal mediante aforo.

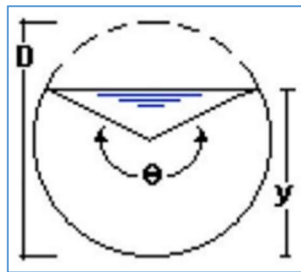


Figura 2: Flujo en sección de la tubería parcialmente llena

**El grado central  $\theta$  en radianes**

$$\theta = 2\arccos\left(1 - \frac{2y}{D}\right) \quad (1)$$

**Dónde:**

y: tirante del flujo de red alcantarilla (cm) y D: diámetro de la tubería (m),  $\theta$  : en radianes

**Área mojada ( $m^2$ )**

$$A_m = \frac{D^2}{8}(\theta - \sin \theta) \quad (2)$$

Dónde:  $A_m$ : área mojada ( $m^2$ ) y D: diámetro de la tubería (m)

**Perímetro mojado P (m)**

$$P_m = \theta \times \frac{D}{2} \quad (3)$$

D: diámetro de la tubería (m)

### Radio hidráulico

$$R_H = \frac{A_m}{P_m} \quad (4)$$

**Dónde:** Am: área mojada (m<sup>2</sup>) y Pm: perímetro mojada (m)

**Entonces el caudal de la ecuación de continuidad es:**

$$Q = A_m \times V \quad (5)$$

**Dónde:** Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s), V: Velocidad (m/s) y A: Área (m<sup>2</sup>)

### Velocidad

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (6)$$

**Dónde:** V: Velocidad (m/s), n: Coeficiente de rugosidad (adimensional), R: Radio hidráulico (m) y S: Pendiente (m/m).

### Cálculo Teórico del Caudal de Aguas Residuales

Para iniciar el diseño de la infraestructura de tratamiento de agua residual, es necesario conocer los diferentes parámetros que intervienen en ello, así tenemos los siguientes:

- **Población Actual:** definido por el número viviendas y la densidad en (hab./vivienda).
- **Periodo de Diseño:** De acuerdo al tratamiento elegido (15-30 años), este horizonte de diseño (período de diseño) es el tiempo de vida útil promedio, según lo establecido por el Sector Saneamiento.
- **Población de diseño:**

Método Geométrico, el mismo que se describe a partir de la siguiente ecuación:

$$P_f = P_i(1 + r)^t \quad (7)$$

Donde:

Pi y Pf = Población al inicio y al final del período.

t = Tiempo en años.

r = Tasa de crecimiento observado en el período.

Esta, puede determinarse a partir de una tasa promedio anual de crecimiento constante del período; y cuya aproximación sería la siguiente:

$$r = \left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{1/t} - 1 \quad (8)$$

**Dotación Per-Cápita:** En caso no se tenga registro de los consumos, considerar la Tabla 6.

**Tabla 6: Dotación de agua según RNE (l/hab/d) (Habilitaciones Urbanas)**

Ítem	Criterio	Clima Templado	Clima Frio	Clima Cálido
1	Sistemas con conexiones	220	180	220
2	Lotes de área menor o igual a 90m <sup>2</sup>	150	120	150
3	Sistemas de abastecimiento por surtidores, camión cisterna o piletas publicas	30-50	30-50	30-50

Fuente: (RNE, 2009)

**Coefficientes de variación:** Según el RNE en la Norma OS.100 establece en la sección variaciones de consumo que, en los abastecimientos por conexiones domiciliarias, los coeficientes de las variaciones de consumo, referidos al promedio diario anual de la demanda, deberán ser fijados en base al análisis de información estadística comprobada, de lo contrario se podrán considerar los siguientes coeficientes:

Máximo diario ( $K_1$ ): 1.2 a 1.5

Máximo horario ( $K_2$ ): 1.8 a 2.5

- Caudal medio ( $Q_m$ ): Se establece en función de la dotación de agua potable, población total, el mismo que se expresa en la formula siguiente:

$$Q_m = \frac{Dotacion * P_f}{86400} \quad (9)$$

- Caudal máximo diario ( $Q_{md}$ ): Se expresa en la formula siguiente:

$$Q_{maxd} = K_1 \times Q_m \quad (10)$$



- Caudal Máximo Horario (Qmh): Se expresa en la formula siguiente:

$$Q_{maxh} = K_2 \times Q_m \quad (11)$$

**Caudal de Contribución de Alcantarillado:** Según el RNE en la Norma OS.100, establece que el 80% del caudal de agua potable consumida ingresa al sistema de alcantarillado.

$$Q_{diseño} = 0.8 \times Q_{maxh} \quad (12)$$

### **CALIDAD DE AGUA RESIDUAL: NORMATIVA AMBIENTAL EN EL PERÚ**

Las normas que establecen la calidad del cuerpo receptor, de los vertidos a masas de aguas superficiales, así como para el aprovechamiento en el riego de vegetales, se encuentran enmarcadas en la Ley 29338 de Recursos Hídricos y los siguientes dispositivos:

- Resolución Jefatural N° 351-2009-ANA, del 01.07.2009, a través del cual la Autoridad Nacional del Agua (ANA) establece que a partir del 01.04.2010, las autorizaciones de vertimiento y renovaciones se otorgarán tomándose en cuenta los ECA.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, Título II Obras de Saneamiento. Norma OS-090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- La Ley 29338 en su Artículo 79.- Vertimiento de agua residual, establece que “La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización”.

Esta normatividad exige lo siguiente:

#### **Para el vertido a masas de agua superficiales**

- Cumplimiento del DS N° 003-2010-MINAM.
- Límite máx. permisibles principales parámetros

Tabla 7: Límites Máximos Permisibles Para Los Efluentes de PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDO A CUERPOS DE AGUA
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10,000
DBO <sub>5</sub>	mg/L	< 100
DQO	mg/L	< 200
PH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	° C	< 35

Fuente: DS N° 003-2010-MINAM.

### **Estándares de calidad del agua (ECA-AGUA) D.S. N° 002-2008-MINAM**

Los ECA-Agua establecen el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente.

Cuando se vierte el efluente de la PTAR al cuerpo receptor de agua, se origina una zona de mezcla, luego de la cual, el cuerpo receptor de agua debe cumplir los valores del ECA-Agua, que dependen de la categoría de uso del cuerpo receptor. La Tabla 8, muestra los ECA-Agua de algunas categorías establecidas en el Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM.

Tabla 8: comparación de los LMP para efluentes de PTAR y ECA-agua

PARÁMETROS		LMP	ECA Y FACTOR DE DILUCIÓN (FD) DEL LMP NECESARIO EN UN CUERPO NATURAL LIBRE DE CONTAMINACIÓN PARA EL CUMPLIMIENTO DEL ECA									
			CATEGORÍA 1A2**		CATEGORÍA 1A3**		CATEGORÍA 1B1**		CATEGORÍA 2C3**		CATEGORÍA 3**	
			ECA	FD*	ECA	FD*	ECA	FD*	ECA	FD*	ECA	FD*
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	5	20	10	10	5	20	10	10	15	7
DQO	mg/L	200	20	10	30	7	30	7	-	-	40	5
SST	mg/L	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10	2000	5	20	1	200	50	1000	10	2000	5
Aceites y grasas	mg/L	1	20	20	1	20	-	4	2	10	2	12
Nitrógeno amoniacal	mg/L	45**	2,0	23	3,7	12	-	-	0,21	-	-	-
Fósforo (fosfato total)	mg/L	0,15	14***	93	0,15	93	-	-	0,1	-	1	-

(\*) FD = Factor de dilución calculado para que el efluente de la PTAR que cumple los 1LMP pueda cumplir también los ECA-Agua. Ejemplo: para poder verter el efluente de una PTAR con DBO<sub>5</sub> = 100 mg/L (cumple el LMP) en un río de categoría 1, subcategoría A2, con concentración inicial de DBO<sub>5</sub> = 0 mg/L se necesita que el caudal del río sea por lo menos 20 veces el caudal del efluente de la PTAR.

(\*\*) Categoría 1 = Poblacional y recreacional:

- Subcategoría A2 = aguas superficiales que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
- Subcategoría A3 = aguas superficiales que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.
- Subcategoría B1 = aguas superficiales destinadas para recreación por contacto primario.
- Categoría 2 = Actividades marino-costeras; subcategoría C3 = otras actividades
- Categoría 3 = Riego de vegetales y bebida de animales; riego de vegetales de tallo alto.

(\*\*\*) Calidad del efluente de una PTAR de lagunas facultativas considerando una concentración en el afluente según la norma OS.090 y una remoción de nitrógeno total de 40% y del fósforo de 30%.

Fuente: DS N° 002-2008-MINAM.

## TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales (o agua servida, doméstica, etc.) incorpora procesos físicos químicos y biológicos, que tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos introducidos por el uso humano cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable al ambiente, y un residuo sólido o lodo que con un proceso adecuado sirve como fertilizante orgánico para la agricultura o jardinería (CARRIÓN, G. 2008).

### a) Objetivos del tratamiento de aguas residuales

El objetivo principal del tratamiento de las aguas residuales es corregir sus características indeseables, de tal manera que su uso o disposición final pueda ocurrir de acuerdo a las reglas y criterios definidos por las autoridades legislativas. Diversos autores argumentan que el objetivo básico del tratamiento de aguas residuales es proteger la salud, promover el bienestar de las personas y proteger el ambiente. Para otros autores, el objetivo es modificar las características del agua de tal forma que el efluente tratado cumpla con los requisitos especificados en la legislación, para ser vertido en un cuerpo receptor sin causar impactos adversos en el ecosistema o pueda ser reutilizado en otras actividades (BERNAL, D.; CARDONA, D. ; GAVIS, A. Y PEÑA, M., 2002).

### b) Niveles de tratamiento de aguas residuales

El nivel de tratamiento para un agua residual depende del uso o disposición final que se decide dar al agua tratada, cuya calidad está determinada por las normativas vigentes. La Tabla 9 nos muestra los niveles de tratamiento de aguas residuales domesticas

Tabla 9: Niveles de tratamiento de aguas residuales domesticas

Nivel	Descripción	Tipo de unidad
Preliminar	Remueve material causante de problemas operacionales como trapos, ramas, arenisca, material	Rejas, tamices, desarenador, tanques de homogenización, trampas de grasa
Primario	Remueve una porción de sólidos suspendidos y de materia orgánica	Sedimentador, unidades con inyección de aire, tanque séptico, Imhoff

Nivel	Descripción	Tipo de unidad
Secundario	Remueve materia orgánica biodegradable disuelta o suspendida. Puede ir acompañado de procesos	Lodos activados, biodiscos, filtros percoladores, humedales, lagunas, reactor UASB
Terciario	Remueve sólidos suspendidos a través de microfiltración, además en este nivel se remueven	Microfiltración, la coagulación y precipitación, la adsorción por carbón activado, cloración
Avanzado	Remueve material remanente suspendido o disuelto, después de tratamiento biológico	Destilación, osmosis, cloración, ozonización, intercambio iónico, nanofiltración, adsorción por carbón activado, electrodiálisis

Fuente: (METCALF & EDDY, 1995).

A continuación, en la Tabla 10, se resume las características de los principales niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD).

Tabla 10: Características de los principales niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Nivel de tratamiento	ÍTEM		
	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasa Acondicionamiento químico (pH)	SS: <10 % DBO: <10 % Coliformes:» 0 % Nutrientes:» 0 %
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)	SS: 40-50 % DBO: 25-35 % Coliformes: 30-40 % Nutrientes: < 20 %
Primario avanzado	Físico y químico	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fósforo	SS: 70-85 % DBO: 45-55 % Coliformes: 60-90 % Nutrientes: 20 %N; 50-95 % P
Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	SS: 60-99 % DBO: 60-99 % Coliformes: 60-99 % Nutrientes: 10-50 %
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)	SS: >99 % DBO: >99 % Coliformes: >99.9 % Nutrientes: >90 %

Fuente: (METCALF & EDDY, 1995).

### c) Tecnologías existentes y comunes para el tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consta de etapas o procesos con diferentes características que contribuyen a un nivel de purificación. Dentro de los procesos del tratamiento se encuentra la autodepuración. En esta etapa, los microorganismos y algas comparten la función de descomponer los desechos, gracias a la metabolización de las sustancias. Es aquí cuando se transforma todas las sustancias simples en dióxido de carbono, nitrógeno, entre otras. También cabe señalar que, dentro del proceso de autodepuración, se encuentra la acción de microorganismos para absorber sustancias orgánicas (METCALF Y EDDY, 1995).

A continuación, se describirán los procesos que ocurren dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, desde el pre-tratamiento, tratamiento primario y secundario, finalmente describir el tratamiento terciario, el cual no siempre es utilizado.

#### **Pretratamiento o tratamiento Preliminar**

Está destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la apariencia estética de las plantas de tratamiento. Los objetivos de tratamiento de las unidades preliminares se muestran en la Tabla 11 (ROJAS, R. 2002).

El tratamiento preliminar o pre-tratamiento es un proceso mediante el cual se busca reducir y quitar las partículas sólidas que podrían causar problemas en los procesos físicos o biológicos. Es decir, se trata de descomponer el material en una cantidad y tamaño razonable, esto también involucra la separación de elementos que no son orgánicos. Dentro del pre-tratamiento se encuentran procedimientos que minimizan la carga sólida antes que entre al tratamiento primario para su mayor eficiencia, (ROMERO, A. 2008) es así que se tiene:

**Desbaste o Cribado:** Es la operación utilizada para separar el material grueso del agua, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. De acuerdo con el método de limpieza, las rejillas son de limpieza manual o mecánica. Según el tamaño de las aberturas se clasifican como rejillas gruesas o finas. En el tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas, principalmente de

barras de acero, para proteger bombas, válvulas, tuberías y equipos, etc., del taponamiento o interferencia causado por trapos, tarros y objetos grandes (ROMERO, A. 2008).

**Desarenadores:** Los desarenadores, en tratamiento de aguas residuales, se usan para remover arena, grava, partículas u otro material solido pesado. Estos pueden localizarse antes de todas las demás unidades de tratamiento, si con ello facilita la operación de las demás etapas (ROMERO, A. 2008).

Los desarenadores deberan de proteger las aprtes moviles de los equipos mecanicos de la abrasion y desgaste excesivo; reduciendo con ellos la formacion de depositos en las tuberias, canales y conductos y la frecuencia de limpieza a digestores (HERNANDEZ, J. 1993).

Tabla 11: Objetivo de los procesos de Tratamiento preliminar o pretratamiento

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Preaeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

Fuente: (ROJAS, R. 2002)

### Tratamiento Primario

Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos (ROJAS, R. 2002).

Después de haber retirado elementos sólidos de tamaños mayores, el tratamiento primario tiene como objetivo remover los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga que se tratará biológicamente en el proceso posterior (ARCE, J. 2013).

**Sedimentación:** Este proceso depende de los pesos específicos de los sólidos, debido a que determinará su comportamiento. Algunos sólidos que tienen el peso específico mayor que el agua sedimentada pasarán a sedimentarse y las partículas que tienen peso específico menor flotarán.

Cabe señalar que, en el tratamiento primario se pueden encontrar tanques de sedimentación y tanques de flotación, ambos por separado. En el caso del tanque de sedimentación, genera la acumulación de material mediante gravedad, esperando recolectar la mayor cantidad de material sólido residual en el fondo, esta remueve de un 30 a un 40% de DBO<sub>5</sub> y de un 50 a 75% de sólidos suspendidos (METCALF Y EDDY, 1995).

### **Tratamiento secundario**

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2009), un tratamiento secundario incluye procesos biológicos con una eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) mayor a 80% e incluye los siguientes sistemas de tratamiento: lagunas de estabilización, lodos activados (incluidas las zanjas de oxidación y otras variantes), filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto biodiscos. (METCALF Y EDDY, H. 1995), menciona como procesos biológicos más comunes a los procesos de lodos activados, laguna aireadas, filtros percoladores, biodiscos, y lagunas de estabilización, los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub> entre el 85% al 95% los cuales son descritos a continuación:

#### **- Proceso de lodos activados**

Esta tecnología fue desarrollada en Inglaterra en 1914 por Arden y Lockett, quienes realizaron experimentos con un cultivo biológico en suspensión en un tanque aireado e introdujeron la idea de recircular la biomasa suspendida formada durante la aireación (ROMERO, A. 2008).

El proceso de lodos activados es un método muy empleado en distintas partes del mundo, debido a su buen funcionamiento y reuso del lodo. Uno de sus puntos más desfavorables es la gran cantidad de energía necesaria para su operatividad. En algunos países no ha generado prácticas exitosas debido al mal mantenimiento que se le brinda (ARCE, J. 2013). Su principal es que produce un efluente de la más alta calidad, además tiene un mayor porcentaje de remoción.



En la Figura 3 y en la Tabla 12 se ilustra el diagrama del proceso de lodos activados y la eficiencia de tratamiento de los mismos.

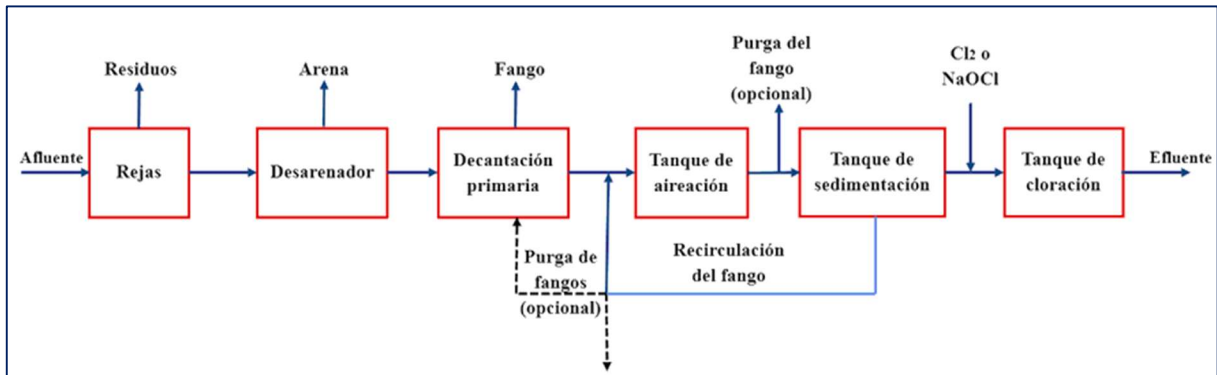


Figura 3: Diagramas de flujo del proceso de lodos activados  
Fuente: (METCALF & EDDY, 1995)

Tabla 12: Eficiencia de tratamiento del proceso de lodos activados

PARÁMETRO	EFICIENCIA
DBO <sub>5</sub>	90 – 95%
SST	85 – 95%
Nitrógeno total	10 – 30% Tratamiento Secundario
	70 - 90% Incluyendo Desnitrificación
Fósforo	10 – 25% Tratamiento Secundario
	70 - 90% Incluyendo Remoción adicional de N y P
Coliformes Fecales	60 – 90%

Fuente: (CONAGUA, 2007).

### Modificaciones del proceso básico de Lodos Activados

Algunos procesos de fangos activados se diferencian en cómo operan, estas diferencias tienen por objeto mejorar la eficiencia, aceptar shocks de cargas y tratar desechos específicos inusuales (SRINIVIAS, 2006).

**Tabla 13: Descripción de los procesos de lodos activados con sus modificaciones**

<b>Proceso</b>	<b>Descripción</b>
<b>Procesos de lodos activados para comunidades grandes</b>	
Flujo de pistón (convencional)	El agua residual y el lodo activado reciclado entran al inicio del tanque de aireación y se mezclan mediante difusores o aireación mecánica. La aplicación de aire es uniforme a lo largo del tanque.
Flujo de pistón con alimentación escalonada	El agua residual se introduce en determinados puntos del tanque de aireación para homogenizar la relación F/M, disminuyendo así la demanda de oxígeno. La flexibilidad de la operación es una característica importante del proceso.
Aireación decreciente	Es una modificación del flujo de pistón. Se aplican tasas variables de aireación a lo largo del tanque, dependiendo de la DO. Se suministran mayores cantidades de aire al inicio del tanque de aireación y las cantidades a medida que el licor mezclado se acerca al final del tanque.
Aireación modificada	Es similar al proceso de flujo de pistón, excepto por que se utilizan tiempos más cortos de aireación y relaciones más altas de F/M. La eficiencia de remoción de DBO es menor que la de otros procesos de lodos activados.
Oxígeno de alta pureza	Se utiliza oxígeno de alta pureza en lugar de aire. El oxígeno se difunde hacia tanques de aireación cubiertos en donde se recircula.
<b>Procesos de lodos activados para comunidades pequeñas</b>	
Estabilización por contacto	Este proceso utiliza dos tanques separados. El lodo activado estabilizado se mezcla con el agua residual afluyente en un tanque de contacto. El licor mezclado sedimentado en un tanque de decantación secundario y el lodo de retorno se airean por separado en un tanque de reaireación para estabilizar la materia orgánica. Las necesidades del volumen de aireación son en general 50% menos que con el flujo de pistón convencional
Zanjón de oxidación	Es en un canal de forma redonda u oval con equipos mecánicos de aireación. Al zanjón entra el agua residual filtrada, se airea y circula. Este tipo de proceso opera en general a modo de aireación extendida con tiempos largos de retención para los sólidos. Para la mayoría de las aplicaciones se usan tanques de sedimentación secundarios.
Aireación extendida y sedimentación intermitente	Es un reactor sencillo en el cual ocurren todos los pasos del proceso de lodos activados. El flujo hacia el reactor es continuo comparado con el reactor de flujo intermitente en secuencia. Dado que el licor mezclado permanece en el reactor durante todos los pasos del tratamiento, no se necesitan instalaciones secundarias de sedimentación separadas.

Fuente: (CRITES, R. 2000)

#### - **Lagunas Aireadas**

EL proceso de lagunas aireadas es una variante del proceso de lodos activados, con la diferencia significativa de que normalmente no se emplea recirculación de lodos. En la Tabla 14, se muestra la eficiencia de tratamiento de lagunas aireadas.

Ademas en Reglamento Nacional de Edificaciones (2009) nos dice que, las lagunas aireadas se emplean generalmente como primera unidad de un sistema de tratamiento en donde la disponibilidad del terreno es limitada o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones o desechos industriales cuyas aguas residuales sean predominantemente orgánicas. El uso de las lagunas aireadas en serie no es recomendable.

Tabla 14: Eficiencia de tratamiento del proceso de lagunas aireadas.

PARÁMETRO	EFICIENCIA
DBO	60 – 90%
DQO	70 – 90%
SST	70 – 90%

Fuente: (CONAGUA, 2007)

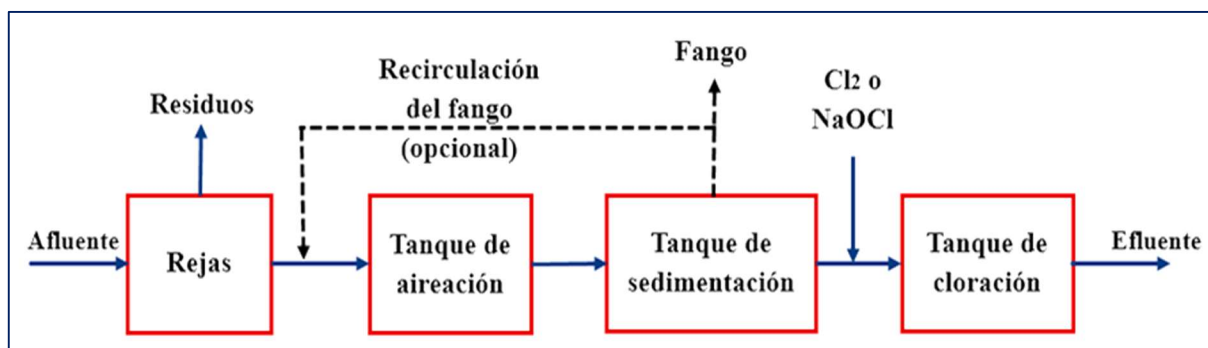


Figura 4: Diagrama del proceso de las lagunas aireadas.

Fuente: (METCALF & EDDY,1995)

Tabla 15: Tipos y características técnicas de las lagunas aireadas

Tipo	Características	Profundidad (m)	Retención (días)
Lagunas aireadas de mezcla completa	Biomasa en suspensión, proceso incipiente de lodos activados, ausencia aparente de algas.	3 a 5	2 a 7
Lagunas aireadas facultativas	Biomasa en suspensión parcial, acumulación de lodos, aparición de burbujas de gas. En climas cálidos, apreciable crecimiento de algas.	Menor a 1.5	7 a 20
Lagunas facultativas con agitación mecánica	Se aplica exclusivamente a unidades sobrecargadas del tipo facultativo en climas cálidos. Puede usarse aireadores en forma intermitente. Su diseño es el mismo que para lagunas facultativas.	Mayor a 1.5	-

Fuente: (SINIA, 2008).

## - Filtros percoladores

El primer filtro percolador se puso en operación en Inglaterra en 1893. La idea nació del uso de estanques impermeables, donde se adicionaba una capa de piedra machacada. Después de esto, se vertían las aguas residuales por la parte superior, generando que se tenga contacto con el ambiente por cierto tiempo. Luego se dejaba drenar y se dejaba en reposo antes de empezar nuevamente con el proceso. La duración de los ciclos se estimaba en 12 horas, de las cuales 6 horas se empleaba para poner el material en contacto con la atmósfera (METCALF Y EDDY, H. 1995).

El principal objetivo de los procesos de filtros percoladores es reducir la carga orgánica presente en las aguas residuales. El filtro percolador consiste en un soporte fijo permeable no sumergido (cama) de material, que puede ser natural, como material granular, o sintético, como el plástico. El agua residual fluye a través de esta cama, adhiriendo su biomasa sobre el lecho del sistema.

Los microorganismos se reproducen a partir de la materia orgánica y son retenidos en el lecho, creando películas de mayor tamaño que pueden ser removidas posteriormente con procesos de lavados (CONIL, P., JIMENEZ, M., & DEL VALLE, V., 1996). En la Figura 6 y la Tabla 16 se ilustra el diagrama del proceso de los filtros percoladores y las Ventajas y Desventajas de los mismos.

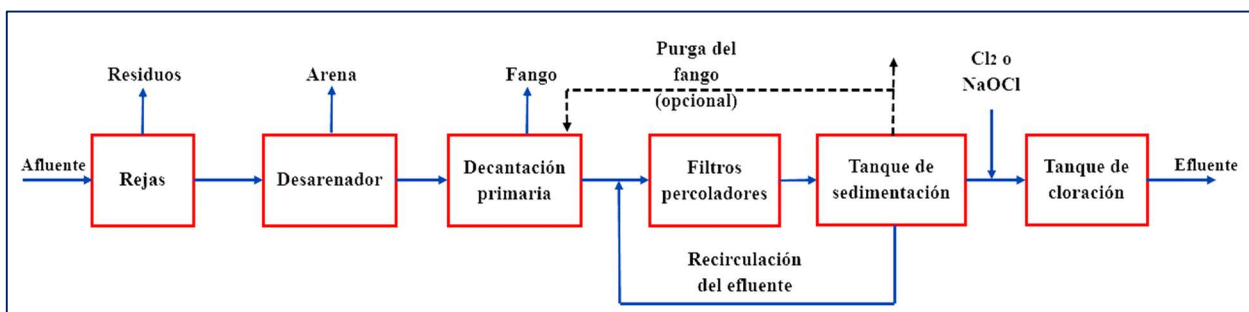


Figura 5: Diagrama del proceso de los filtros percoladores.

Fuente: (METCALF Y EDDY, .H. 1995)

Tabla 16: Ventajas y Desventajas de los filtros percoladores

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Requiere área o espacio físico moderado, mucho menor al del sistema de lagunas, por lo que puede implementarse en áreas intraurbanas.</p> <p>Su operación es sencilla, y en zonas con pendientes accidentadas puede ser implementado.</p> <p>No requiere de energía eléctrica y el costo de inversión es el más bajo de los sistemas aireados.</p>	<p>Esta alternativa puede tener una aplicación limitada en aguas residuales con altas cargas orgánicas contenidas en los efluentes.</p> <p>El nivel de remoción patógena es bajo, por ello en nuestro país se usa sólo para el riego de áreas verdes sin acceso al público, como en la cobertura vegetal del acantilado de la Costa Verde, en la ciudad de Lima.</p>
RECOMENDACIONES	
<p>Se debe garantizar una adecuada retención de sólidos gruesos y sedimentables en el pretratamiento (cámara de rejas) y tratamiento primario, para evitar problemas de olores desagradables y la presencia de vectores.</p>	

Fuente: (SINIA, 2008).

#### - **Lagunas de estabilización**

La tecnología de lagunas de estabilización es uno de los métodos naturales más importantes para el tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración (PEREZ, A. Y CAMACHO, L. 2011). Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2009), las lagunas de estabilización se clasifican en: Lagunas anaerobias (sin oxígeno), Lagunas facultativas (aerobia en las partes altas y anaerobia en las partes bajas) y las lagunas de maduración.

- **Lagunas anaerobias:** Son empleadas como unidad principal de las plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo la razón principal el bajo costo de construcción y mantenimiento (PEREZ, A. Y CAMACHO, L. 2011). Estas son las unidades más pequeñas de la serie, las lagunas anaerobias suelen tener profundidad entre 2 y 5 m, el parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica que por su alto valor lleva a que sean habituales tiempos de retención con valores comprendidos entre 2-5 días ( ROMERO, J. 2000).

Se deberá diseñar un número mínimo de dos unidades en paralelo, para permitir la operación en una de las unidades, mientras se remueve el lodo de la otra. En ningún caso se deberá permitir que el volumen de lodo acumulado supere el 50% del tirante de la laguna (SINIA, 2008).

- **Lagunas facultativas:** Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes. El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes. (ROLIM, S. 2000).

Su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser como laguna única (caso de climas fríos) o seguida de una laguna secundaria o terciaria. También se utiliza como una unidad secundaria, después de lagunas anaerobias o aireadas, para procesar y lograr un mayor grado de remoción de organismos patógenos. El límite de carga orgánica para las lagunas facultativas aumenta con la temperatura (SINIA, 2008).

- **Lagunas de maduración:** Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales (ROLIM, S. 2000).

En la Tabla 17, podemos describir algunas Ventajas, desventajas y recomendaciones para el uso de las lagunas de estabilización en el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 17: Ventajas, desventajas y recomendaciones de las lagunas de estabilización

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada.</p> <p>La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.</p> <p>Presentan una gran flexibilidad en el tratamiento de puntas de carga y caudal.</p> <p>Desde el punto de vista económico, es mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costos de instalación y mantenimiento.</p> <p>El consumo energético es nulo.</p> <p>En el proceso de lagunaje se generan biomásas potencialmente valorizables una vez separada del efluente.</p>	<p>La presencia de materia en suspensión en el efluente, debido a las altas concentraciones de fitoplancton.</p> <p>Ocupación de terreno, que es superior a la de otros métodos de tratamiento.</p> <p>Las pérdidas considerables de agua por evaporación en verano.</p>
RECOMENDACIONES	
<p>Se debe construir por lo menos dos lagunas primarias (en paralelo), con el objeto de que una se mantenga en operación, mientras se hace la limpieza de los lodos de la otra.</p> <p>Para el caso de que los efluentes sean descargados a un cuerpo de agua receptor, deberá evaluarse la posibilidad de un post tratamiento, para evitar una eutrofización.</p>	

Fuente: (SINIA, 2008).

Por otro lado, cuando se proponen combinaciones de lagunas que se inician con una anaeróbica, a las siguientes lagunas (a partir de la secundaria) se les puede llamar también lagunas de acabado, maduración o pulimento, tal como se aprecia la Figura 6.

### **Control biológico: Macrófitas flotantes en el Sistema Lagunar**

El uso de macrófitas flotantes es común para el tratamiento de efluentes de lagunas facultativas, ya que permiten reducir de manera eficaz la concentración de nutrientes Fósforo (P), Nitrógeno (N) y otros, y por ende las microalgas.

A lo largo de los años, las macrófitas flotantes comprenden una familia amplia de plantas, sin embargo, algunas de las principales macrófitas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas y remoción de nutrientes son: la totora (Typhaceae), el lirio acuático (también llamado jacinto de agua, *Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp*) (Martelo & Lara, 2012).

**Utilización de macrófitas:** La técnica de sembrado de plantas vasculares acuáticas en lagunas, se empezó a utilizar como técnica de depuración cuando, buscando métodos alternativos de tratamiento terciario, se comprobó que éstas daban un buen rendimiento en la eliminación de nutrientes tales como el fósforo y el nitrógeno. Además, los gastos de instalación y mantenimiento no eran elevados, pudiéndose obtener beneficios por recolección de la biomasa producida. Por su propiedad de eliminar nutrientes, se pueden utilizar, además, para controlar la población de algas de la laguna. Por un lado, compiten con el fitoplancton por los nutrientes, mientras que, por otro limitan la luz que llega a las algas produciendo la muerte y desaparición de un buen número de éstas. Como resultado, disminuyen los sólidos en suspensión del efluente y por tanto su turbidez.

Se ha comprobado que las macrófitas son además muy eficaces en la coagulación de coloides que producen color en el agua, lo cual también contribuye a la clarificación del efluente. Por último, se ha observado la efectividad de estas plantas en la eliminación de los metales pesados (SIMMONDS, M.A., 1979).

**Descripción del sistema:** El corazón del sistema está constituido por un tapiz flotante de vegetación, formado sobre la superficie del agua, cuyos elementos básicos son plantas emergentes (adaptadas a la climatología del lugar) que tienen sumergido en el agua su sistema radicular y una parte de la base del tallo. Estas plantas tienen también rizomas (estructuras de reproducción vegetativa de las que salen nuevos brotes) que se encuentran sumergidos en el agua junto a las raíces y unidos a la base del tallo.

Toda la zona sumergida de la planta tiene una gran superficie, debido principalmente al gran número de raíces y raicillas, que actúan de soporte para la fijación de los microorganismos que degradan la materia orgánica, cuyo crecimiento se ve favorecido por el oxígeno que suministran las raíces bombeado desde las hojas de las plantas (FERNÁNDEZ, G. 2005).

Las especies que se han adaptado a este tipo de sistemas de tratamiento, son las espadañas (*Typha* sp.), también conocidas como eneas o aneas según la región, las totoras (*Typha domingensis* pers), los carrizos (*Phragmites* sp.), los esparganios (*Sparganium* sp.), los juncos (*Scirpus*, *Schoenus*) y el lirio de agua (*Iris pseudocorus*) (Torres Junco, s/f). jacinto de agua, *Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna* sp) (MARTELO & LARA, 2012).



**Las eneas (Typha sp.):** El género Typha, único género de la familia de las Typhaceae, es una planta emergente de características morfológicas bastante homogéneas. Son plantas herbáceas perennes, erectas, de gran desarrollo, que pueden alcanzar más de 3 m de altura (FERNÁNDEZ GONZÁLEZ ET, A.L., 2005).

**La totora (Typhaceae).** Vive hasta 4000 msnm. Hierba erecta de hasta 3.5 m de altura. Tallo verde claro a blanquecino. Hojas muy largas, verdes, ligeramente azuladas. Flores pequeñas, muy adheridas; la masculinas (parte de arriba) son de color amarillo, y las femeninas (parte de abajo) amarillo-verdoso según (JUANAS, S. 2016).

### **Ventajas y desventajas de la aplicación de macrófitas.**

Las ventajas y desventajas principales del filtro con macrófitas en flotación según (TORRES JUNCO & RODRÍGUEZ MARTÍNEZ):

#### **Ventajas:**

- Garantiza una eficaz depuración independientemente de la estación del año.
- Bajísimo coste constructivo por la técnica empleada en el tratamiento primario (separación de sólidos en decantador digestor) y tratamiento secundario y terciario
- por sistema FMF sin consumo de energía convencional (sólo consume energía solar) y de bajo coste constructivo a causa de su sencillez.
- El mantenimiento de bajo costo sin consumo de energía y de personal técnicamente no especializado en mantenimiento electromecánico. Un jardinero tiene los suficientes conocimientos para la gestión del proceso biológico.
- Depuración más allá de los parámetros permitidos de vertidos, pudiendo dejar las
- aguas con calidad de manantiales.
- Desaparición de malos olores y fangos.
- Integración total en el paisaje del humedal, uniéndose de esta forma al concepto de Parque Público, con los beneficios de poder utilizar el espacio asociado a un área de recreo, ocio, y naturaleza como área de depuración.
- Posibilidad de depuración directa en aguas libre, (sobre lagos o estanques) o como tratamiento primario, secundario o terciario de aguas residuales.
- Si bien el sistema depende de la superficie, no hay límite en la depuración de aguas para grandes poblaciones si integramos conceptos y generamos espacios libres asociados como Parques públicos a otros usos capaces en su espacio de depurar las aguas.

## Desventajas:

- Limitación de poder utilizar el sistema solo en los climas en que estas plantas se desarrollen con normalidad, aunque exceptuando los climas extremadamente fríos, estas plantas se han distribuido por todo el planeta.

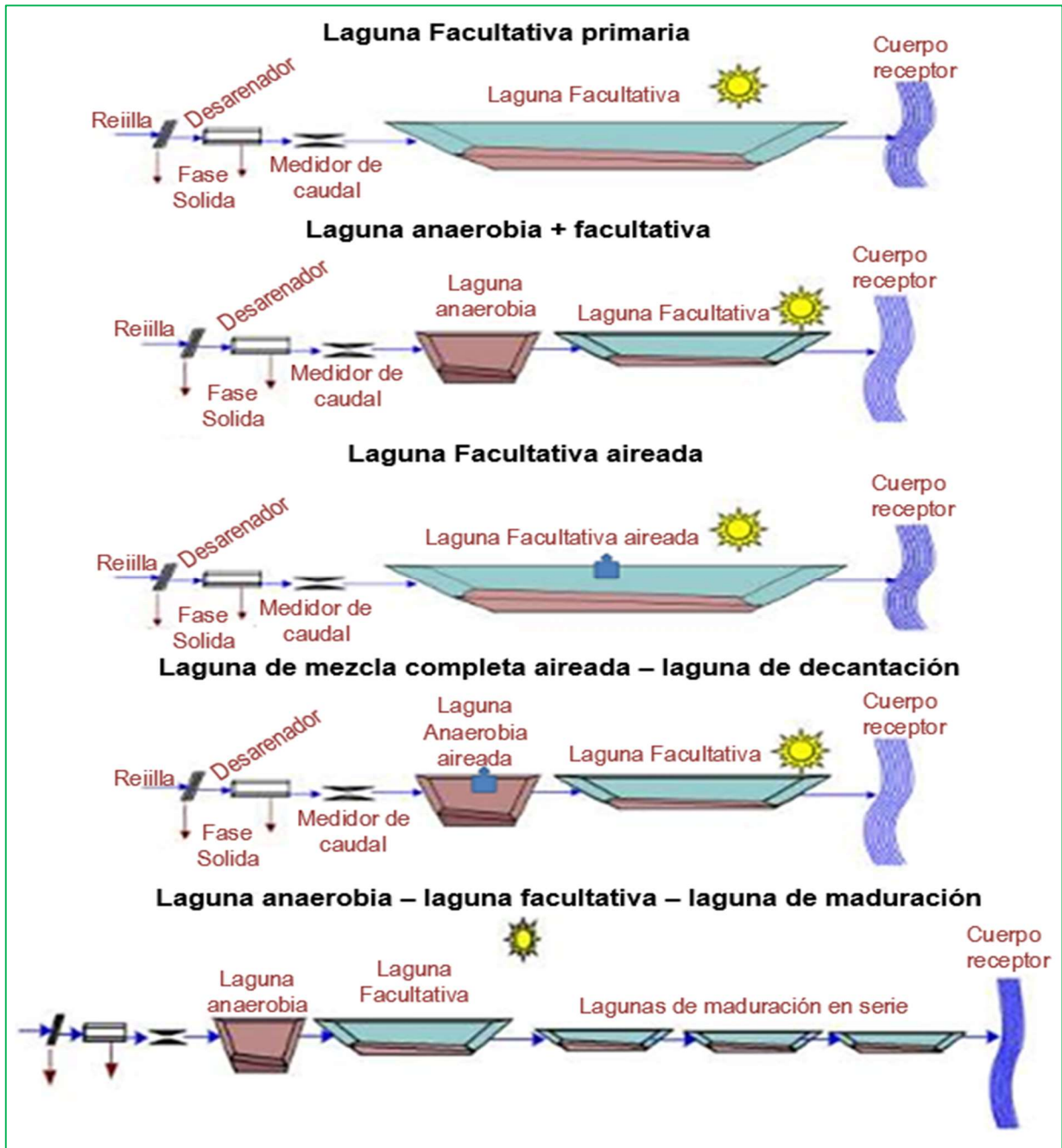


Figura 6: Diagramas del tratamiento mediante el sistema de lagunas de estabilización.

Fuente: (METCALF & EDDY, H. 1995)

Antes de continuar con los tratamientos terciarios, se presentarán las ventajas y desventajas de los tratamientos aerobios y anaerobios. Una de las principales diferencias es el tema de la rentabilidad económica, este punto es importante ya que determina lo real que puede ser construir una planta de tratamiento en alguna comunidad (ARCE, J. 2013). En la Tabla 12, se pueden observar más características que diferencian los tratamientos aerobios y anaerobios, desde su eficiencia, operatividad y rentabilidad.

Tabla 18: Tratamiento aerobio vs tratamiento anaerobio

<b>ANAEROBIO</b>	<b>AEROBIO</b>
Mayor producción de lodos	Menor producción de lodos
Operatividad comprobada	Menores costos de operación
50% de C es convertido en CO <sub>2</sub> , 40-50% es incorporado dentro de la masa microbiana	95% de C es convertido en biogás; 5% es transformado en biomasa microbiana
60% de la energía es almacenada en la nueva biomasa, 40% es perdido como calor	90% de la energía es retenida como CH <sub>4</sub> , 3-5% es perdido como calor, 5- 7% es almacenada en la biomasa
Ingreso de elevada energía para aireación	No requiere de energía
Limitación de cargas orgánicas	Acepta altas cargas orgánicas
Se requiere adición de nutrientes	Requerimiento bajo de nutrientes
Requerimiento de grandes áreas	Se requiere pequeña área superficial
Periodos de arranque cortos	Largos periodos de arranque
Baja generación de olores	Generación de olores molestos

Fuente: (ARCE, J. 2013).

### **Tratamiento terciario**

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, además de llegar a cumplir el estándar de calidad de agua efluente de la planta de tratamiento para no generar contaminación al receptor o ser adecuada para su reutilización, según sea el caso, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. (ROJAS, R. 2002).

- **Desinfección:** Se emplea para reducir principalmente el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final, la desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. La desinfección suele realizarse mediante agentes químicos, físicos, mecánicos y radiación. De ellos el más utilizado es la desinfección química con cloro (ROJAS, R. 2002).

## **SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

La selección la tecnología más apropiada para tratar un vertido residual, el primer paso es realizar algunos estudios preliminares que implican un análisis completo del afluente que va a ser depurado con el fin de determinar el grado de contaminación existente y, el nivel de calidad que se desea en el agua tratada de acuerdo al objetivo del tratamiento. Otro aspecto importante es el nivel económico de la población en donde se desarrollará el proyecto, manteniendo el equilibrio coste-rendimiento, para que el tratamiento aplicado sea sostenible y eficiente (BERNAL, D.; CARDONA, D. ; GAVIS, A. Y PEÑA, M., 2002).

Por lo anterior, la sostenibilidad de una tecnología depende en gran parte del éxito obtenido en esta etapa, la cual debe basarse en el criterio básico de que la comunidad sea la protagonista desde el inicio del proceso, participando desde el diagnóstico de la situación actual, la identificación de las prioridades, la formulación de alternativas de solución y la selección de la mejor opción que permita responder a la demanda de saneamiento de la población; planteando soluciones que consideren de manera integral los aspectos socioeconómicos, culturales, ambientales, institucionales de los usuarios potenciales.

Del mismo modo, la tecnología debe estar en armonía con la cultura local y en concordancia con la capacidad financiera y técnica de la comunidad. En lo posible el uso debe conducir a una autonomía de la comunidad con respecto a recursos externos, sobre todo en los aspectos de operación y mantenimiento (ARAGÓN, F. 1999).

Para disminuir los inconvenientes causados por las desventajas propias de cada tecnología, resulta oportuno conocer las características del sitio donde se instalará el sistema, ya que se simplifica aún más el trabajo de selección, al brindar información como datos generales, morfológicos y analíticos (SOBALVARRO, A. 1997).

Debe entenderse como datos generales la información de relieve, señales de erosión, litología, el material de origen, pedregosidad, etc. La descripción morfológica encierra datos de espesor, color, textura, estructura, plasticidad, consistencia y transición entre capas. Los datos analíticos presentan valores de granulometría (arcilla, sílice, arena fina, arena gruesa, etc.).

De no contar con este tipo de información, será necesario realizar sondajes en el terreno, para obtener muestras representativas y luego realizar los ensayos pertinentes para obtener las propiedades mecánicas donde se pretenda instalar el sistema de tratamiento.

Los datos de temperatura se consideran de vital importancia, ya que interfiere directamente en todos los procesos, pudiendo afectar las reacciones bioquímicas, conviene por tanto realizar cualquier selección con la temperatura media más baja del mes más frío. Esta información puede ser obtenida a través de estaciones meteorológicas (SOBALVARRO, A. 1997).

#### **a) Confiabilidad y eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales**

La confiabilidad en el desempeño de una PTAR es un concepto plasmado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) a principios de la década de los años 70, cuando existió un fuerte crecimiento en el número de PTARs municipales. La confiabilidad tiene como objetivo asegurar la operación en un alto grado de eficiencia y a su vez, la eficiencia de una PTAR está en función directa con el desempeño típico o promedio que han mostrado otras plantas del mismo tipo y depende entre otras causas de las condiciones de diseño, de la implementación en el uso de equipos, de factores ambientales, de las prácticas de operación y mantenimiento y de la confiabilidad para resistir las variaciones (CASTRO, A., 2003) .

Por otro lado, la probabilidad de que dicho componente no falle durante el intervalo de tiempo previsto o a la probabilidad de que falle en un tiempo mayor que lo previsto como periodo de diseño(LUNA, 2005).

No obstante, el concepto de confiabilidad reúne el proceso de selección de la tecnología y diseño, ya que el efluente debe tener las características necesarias para ser vertido en un cuerpo receptor sin que éste se altere (METCALF Y EDDY, H.1995).

## **b) Matriz de evaluación para la selección de tecnología relacionada con el tratamiento de aguas residuales**

Esta matriz correlaciona los distintos aspectos que pueden ser evaluados a un proceso de tratamiento de agua bajo una determinada circunstancia de aplicación mediante la asignación de calificaciones en diversos rubros según los criterios del o los evaluadores. (NOYOLA, MORGAN, & GÜERECA, 2013).

Los rubros reciben una ponderación según su importancia, en función de cada caso de evaluación. Esta técnica permite que una evaluación de tipo cualitativa tienda a ser más objetiva para todos los involucrados, además de que asegura que mientras más capacitados y expertos sean los participantes en fijar los valores de ponderación y de las calificaciones de los procesos, más confiable será la decisión tomada a través de la matriz (NOYOLA, MORGAN, & GÜERECA, 2013).

La matriz de evaluación propuesta considera y pondera en la toma de la decisión los siguientes rubros: aplicabilidad del proceso, costo de inversión inicial, costo de operación y mantenimiento, la generación de residuos, el requerimiento de reactivos, los requerimientos energéticos, la aceptación por parte de la comunidad, la generación de subproductos con valor económico o de reúso, la vida útil, el requerimiento de área, aspectos de diseño, construcción y operación así como la influencia sobre el entorno e impacto al medio ambiente (NOYOLA, MORGAN, & GÜERECA, 2013). En el ANEXO N° 13 , se muestra el esquema y los rubros de la matriz de decisión.

## **c) Operación de la matriz de decisión**

Como es posible observar en la presentación de los rubros considerados, hay conceptos agrupados bajo un rubro y conceptos independientes. El hecho de designar un concepto como independiente o incorporarlo dentro de un rubro depende de la importancia que se le dé a cada concepto bajo el marco de un proyecto determinado. La presente estructuración de los conceptos en la matriz es una propuesta que se piensa puede abarcar un mayor número de proyectos (BERNAL, D.; CARDONA, D. ; GAVIS, A. Y PEÑA, M., 2002).

La matriz consta de 5 columnas (A, B, C, D, E) y 35 renglones.

En la columna B se listan los aspectos que serán ponderados según los requerimientos del cliente (columna A) y evaluados según la propuesta técnica que efectúe el contratista (columna C).

La suma de los valores ponderados en la columna A debe sumar 100. Los valores de la columna A deben ser fijados considerando la importancia que tiene cada rubro dentro de las condiciones específicas de cada proyecto y deberán permanecer constantes independientemente de que sistema de tratamiento de aguas se esté evaluando.

En la columna C se evalúa cada rubro de la columna B al otorgar un valor de cero para cuando el aspecto evaluado sea deficiente o no aplique, 1 cuando el proceso cumpla con el aspecto en forma deficiente, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma adecuada y 5 cuando el proceso cumpla con el aspecto evaluado en forma muy buena o excelentemente.

En la columna D se divide la calificación asignada a cada rubro en C entre la calificación máxima que pueden obtener (es decir 5) excepto para los resultados en las casillas 7.3 D, 8.3 D, 9.5 D, 10.6 D y 11.6 D, pues esto ya se hizo.

En la columna E se multiplica el valor de cada renglón de la columna D por el valor ponderado de la columna A y finalmente se suman todos los renglones de la columna E para obtener la calificación global (ponerla en la casilla 12 E) del proceso aplicado bajo las condiciones ponderadas en la columna A. El proceso que obtenga la mayor calificación será el seleccionado.

Finalmente, con los puntos establecidos en la Matriz de Decisión del ANEXO N° 15, se establece el orden de elegibilidad.

Tabla 19: Orden de elegibilidad

<b>PUESTO</b>	<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>PUNTOS</b>
<b>1</b>		
<b>2</b>		
<b>3</b>		

## **BASES DE DISEÑO Y CRITERIOS DE DISEÑO**

Las bases de diseño, son un conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales. Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coliformes fecales y nutrientes (NTP OS-090, 2009)

Los criterios de diseño ,están basados en las referencias que rige el diseño de los procesos de tratamiento de aguas residuales y que básicamente están indicados en guías de ingeniería sanitaria que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema, por considerarse los más importantes a nivel nacional e internacional en la materia y que básicamente están indicados en los textos siguientes:

- NTP OS.090: Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización (Metcalf & Eddy).
- Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios (Jairo Alberto Romero Rojas).
- Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos (Comisión Nacional del Agua).
- Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales (Antonio lozano Rivas)

### **Establecimiento de las bases de diseño**

En general, se deben identificar claramente los datos que llevaron al diseño técnico de la propuesta, lo que contempla la caracterización del agua residual bruta, del agua tratada y de las condiciones ambientales imperantes en el sitio que influyen en el diseño de la planta. Al respecto, la información de base debe ser proporcionada por el usuario o dueño a todos los licitantes, dando libertad a éstos para que la complementen. (NOYOLA, A. et al. 2013)



### **Criterios de diseño para el tratamiento secundario o biológico.**

- **Lagunas facultativas con filtro verde de macrófitas:** Para realizar la evaluación de una laguna facultativa, deben calcularse ciertos parámetros de diseño que, según su cumplimiento a lo mencionado en la literatura, favorezcan su adecuada operación y tratamiento del agua residual.

Estos parámetros de diseño se basan en un caudal promedio diario y una carga orgánica determinada. Posterior a ello, se calculan los parámetros de: área, volumen, relación L/A, tiempo de retención, tasa de aplicación superficial, número de dispersión, coeficiente de remoción de DBO y DBO total efluente. Para su diseño se tendrán en cuenta los siguientes criterios o parámetros:

**Formula de partida:** Para calcular la superficie necesaria de las lagunas con filtro de macrófitas flotantes (FMF), se emplea la siguiente fórmula:

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \frac{\text{DBO (g/día)}/R \text{ (g/m}^2\text{.día)}}{\text{Promedio (M, F, S, P, V)}} \quad (13)$$

Donde:

S: Superficie necesaria lagunas con Filtros Verdes Flotantes (FMF), DBO: Valor absoluto DBO influente agua residual, R: Rendimiento unitario de depuración Lagunas con Filtros Verdes Flotantes, M: Factor condiciones medioambientales depuradora, F: Factor fidelidad datos de diseño, S: Factor margen de seguridad de diseño y P: Factor masa vegetal Filtros Verde Flotante.

**Cálculo de factor R (Rendimiento unitario de depuración Lagunas con Filtros Verdes Flotantes)**

$$R = \frac{I \text{ (O}_2\text{/m}^2\text{.día)}}{O \text{ (g)}} = \text{g/m}^2 \text{ .día} \quad (14)$$

Donde:

I: Capacidad de inyección de oxígeno Filtros Verdes Flotantes y O: Oxígeno necesario para depurar 1 g de DBO.

Basándose en los estudios realizados por Armstrong 1967, Lawson 1985, Lann y Coll 1989, Caffrey y Kemp 1991, Brix, Schierup. Gries y Col 1990, Sorrel y Armstrong 1994, Perdomo y

col 1996, y la Universidad Politécnica de Madrid 1994, así como la experiencia acumulada por el Grupo AGUA INC desde el año 2005 en más de 200 instalaciones y teniendo en cuenta que el factor más limitante para el cumplimiento de los parámetros de vertido es la DBO<sub>5</sub>:

- Para una depuradora con > 7 días de tiempo de retención el Oxígeno necesario para degradar y depurar 1 g DBO<sub>5</sub> asciende a 0.6 g O<sub>2</sub> disuelto en el agua.
- Para una depuradora con > 10 días de tiempo de retención el Oxígeno necesario para degradar y depurar 1 g DBO<sub>5</sub> asciende a 0.5 g O<sub>2</sub> disuelto en el agua. Este es el caso más habitual de diseño y el que escogeremos como óptimo si no existen condicionante previos de superficie ni problemas de excavación.
- Para una depuradora con > 15 días de tiempo de retención el Oxígeno necesario para degradar y depurar 1 g DBO<sub>5</sub> asciende a 0.4 g O<sub>2</sub> disuelto en el agua.
- Para una depuradora con > 20 días de tiempo de retención el Oxígeno necesario para degradar y depurar 1 g DBO<sub>5</sub> asciende a 0.3 g O<sub>2</sub> disuelto en el agua.
- Capacidad inyección oxígeno filtros verde flotantes: 22,5 g O/m<sup>2</sup>. Día

#### **Cálculo de factor M (condiciones medioambientales)**

- Para una depuradora con condiciones medioambientales desfavorable fijar factor 1.5. Se consideran condiciones desfavorables cuando la depuradora cumpla al menos 2 de los siguientes factores:
  - Altitud > 3,000 m
  - Temperatura media < 5 °C
- Para una depuradora con condiciones medioambientales favorables fijar factor 0.5. Se consideran condiciones favorables cuando la depuradora cumpla al menos 2 de los siguientes factores:
  - Altitud < 500 m
  - Temperatura media > 15 °C
- Para una depuradora con condiciones medioambientales medias fijar factor 1.0. Se consideran condiciones medias cuando en la depuradora no se cumplan las 2 condiciones anteriores.

### **Cálculo de factor F (Fidelidad datos de diseño)**

- Para una depuradora con fidelidad de datos de diseño baja fijar factor 1.5. Se consideran fidelidad baja cuando no se disponen datos de caracterización del vertido y se fijan de forma estimada según normas estándares medidas de generación de caudal y cargas contaminantes.
- Para una depuradora con fidelidad de datos de diseño alta fijar factor 0.5. Se consideran fidelidad alta cuando se disponen datos de caracterización del vertido de caudales y todas las cargas contaminantes de exigencia legal de vertido.
- Para una depuradora con fidelidad de datos de diseño media fijar factor 1.0. Se consideran fidelidad media cuando no se cumplan las 2 condiciones anteriores.

### **Cálculo de factor S (Margen de seguridad)**

- Para una depuradora que se requiera diseñar con un elevado margen de seguridad fijar factor 1.5.
- Para una depuradora que se requiera diseñar con un bajo margen de seguridad fijar factor 0.5.
- Para una depuradora que se requiera diseñar con un margen de seguridad medio fijar factor 1.0

### **Cálculo de factor P (Masa vegetal del Filtro Verde Flotante)**

- Para un sistema de implantación de filtros verdes flotantes que consiga a los 6 meses de su crecimiento  $< 20 \text{ kg/m}^2$  que fijar factor 1.5.
- Para un sistema de implantación de filtros verdes flotantes que consiga a los 6 meses de su crecimiento  $20 - 40 \text{ kg/m}^2$  que fijar factor 1.0.
- Para un sistema de implantación de filtros verdes flotantes que consiga a los 6 meses de su crecimiento  $> 40 \text{ kg/m}^2$  que fijar factor 0.5.

### **Cálculo de factor V (% de depuración necesario para cumplimiento de vertido)**

- Para una depuradora que exija un % de depuración de DBO5 de  $> 90 \%$ , fijar factor 1.25.
- Para una depuradora que exija un % de depuración de DBO5 de  $75 - 90 \%$ , fijar factor 0.75.
- Para una depuradora que exija un % de depuración de DBO5 de  $< 75 \%$ , fijar factor 0.5.

**Cálculo de factor K (Constante depuración para filtros verdes flotantes):** Es el promedio de los factores calculados:

$$K = \frac{M + F + S + P + V}{5} \quad (15)$$

**Superficie total (S):** La superficie total, como definimos en la fórmula de partida, es la siguiente:

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \frac{\text{DBO (g/día)}}{R \text{ (g/m}^2\text{.día)} \times K} \quad (16)$$

Donde, la DBO se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{DBO (g/día)} = \text{Cantidad DBO (mg/l)} \times Q_{\text{depurar}} \text{ (m}^3\text{/día)} \quad (17)$$

**Volumen de la laguna:** Para determinar el volumen de la laguna, se puede realizar un cálculo teórico, basado en el caudal entrante, la DBO entrante y la temperatura del agua en el mes más frío, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = 7 * Q \left( \frac{\text{DBO}}{200} \right) * 1085^{(35-T)} \quad (18)$$

Donde:

V: volumen de la laguna en m<sup>3</sup>, Q: aporte de aguas residuales en m<sup>3</sup>/d, DBO: carga presente en las aguas residuales, mg/l

T: temperatura media del agua en el mes más frío del año. A partir de este valor, puede determinarse el área, al dividir el volumen entre la profundidad (CUBILLOS, 2001).

### **Determinación de la carga orgánica**

La carga orgánica, se toma como los Kg de DBO que entran a la laguna por día. Este valor es de suma importancia también, ya que éste nos deja ver el nivel de contaminación que trae el agua residual, y de esto dependerán muchos parámetros de diseño. Los valores recomendados para la carga por habitante, se indican en el capítulo de resultados.

$$\text{Carga orgánica}_{\text{diseño}} = \frac{\text{Población (hab)} * \text{Carga por habitante} \left( \frac{\text{g DBO}}{\text{hab}} \cdot \text{día} \right)}{1000} \quad (19)$$

**Relación Largo/Ancho:** Para calcular la relación L/A se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Relación (L/A)} = \frac{\text{Largo Promedio (m)}}{\text{Ancho Promedio (m)}} \quad (20)$$

**Tasa de aplicación superficial:** Para lagunas primarias (que recibe el efluente crudo), la tasa de aplicación superficial se calcula a partir de la DBO afluente, el caudal y el área; mediante la siguiente expresión:

$$\text{Tasa de aplicación superficial} \left( \text{Kg} \frac{\text{DBO}}{\text{hab. dia}} \right) = \frac{\text{DBO(mg/l)} * \text{Q(l/s)}}{\text{Area (m}^2\text{)}} \quad (21)$$

Y para lagunas secundarias se calcula a partir de la tasa de aplicación superficial de la laguna primaria

$$\text{Tasa de aplicación superficial} \left( \text{Kg} \frac{\text{DBO}}{\text{hab. dia}} \right) = 0.765 (\text{TASi}) - 0.8 \quad (22)$$

Los valores recomendados de TAS para lagunas facultativas, de maduración y de macrófitas se indican en el capítulo de resultados.

**Tiempo de retención:** El tiempo de retención se calcula a partir del área de la laguna, la profundidad útil y el caudal entrante, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Tr (dias)} = \frac{\text{Area(m}^2\text{)} * \text{Profundidad util(m)}}{\text{Caudal (m}^3\text{/d)}} \quad (23)$$

Valores recomendados para el tiempo de retención y la profundidad en lagunas facultativas, de maduración y de macrófitas, se indican en el capítulo de resultados.

**Coefficiente de remoción de DBO (k):** Para poder conocer el valor de la DBO que saldrá por el efluente, es necesario conocer el coeficiente de remoción de DBO (k). Este coeficiente se da en términos de la temperatura del agua. Una vez que se tiene este valor, se hace la corrección a la temperatura real del agua en estudio, para ello se utiliza la fórmula de Arrhenius, que es la siguiente:

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (24)$$

Donde,

$k_{20}$  = Coeficiente de remoción a 20°C,  $\theta$  = Coeficiente de temperatura (para un  $k_{20}$  = 0,35;  $\theta$  = 1,085; para  $k_{20}$  = 0,30,  $\theta$  = 1,05) y T = Temperatura del agua (°C)

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Bases de diseño:** Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales. Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coliformes fecales y nutrientes (RNE, 2009).

**By-pass:** Conjunto de elementos utilizados para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia, de mantenimiento o de operación.

**Carga superficial:** Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento (RNE, 2009).

**Criterios de diseño:** Guías de ingeniería que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema.

**Depuración de aguas residuales:** Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos (RNE, 2009).

**Disposición final:** Disposición del efluente o del lodo tratado de una planta de tratamiento.

**Efluente:** Es el flujo de agua residual después de ser sometidas a un proceso de tratamiento (CINTRÓN, 2007).

**Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje (RNE, 2009).

Entidad prestadora de servicios de saneamiento (EPS) Es quien produce, distribuye y comercializa el agua potable, y quien se encarga de la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas servidas, la recolección de las aguas provenientes de las lluvias y la disposición sanitaria de excretas. (OEFA, 2014)

**Lodo crudo:** Lodo retirado de los tanques de sedimentación primaria o secundaria, que requiere tratamiento posterior (espesamiento o digestión) (RNE, 2009).

**Manejo de aguas residuales:** Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

**Materia orgánica:** Sustancias de material de plantas y animales muertos, con estructura de carbono e hidrógeno (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 2006).

**Muestreo:** Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar. (Norma OS-090, 2015)

**Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.

**Población equivalente:** La población estimada al relacionar la carga de un parámetro (generalmente DBO, sólidos en suspensión) con el correspondiente aporte per cápita (g DBO/(hab.d) o g SS/ (hab.d)).

**Requisito de oxígeno:** Cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización aerobia de la materia orgánica y usada en la reproducción o síntesis celular y en el metabolismo endógeno.

**Reuso de aguas residuales:** Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico.

**Tratamiento anaerobio:** Estabilización de un desecho orgánico por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

**Tiempo de retención hidráulica (T):** tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento de aguas residuales. Usualmente se expresa como la razón entre el volumen y el caudal útil.

**Tratamiento biológico:** Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO**

##### **Lugar de ejecución**

La investigación se realizó la zona del fundo Betania en la ciudad de Cajamarca, la cual está ubicada en la sierra norte del Perú y es la capital del Distrito, Provincia y Departamento del mismo nombre. Donde las aguas residuales se recolecta mediante los cuatro colectores principales existentes (colector Norte, colector el Ingenio, colector el Inca y colector Capañac) a una altura promedio de 2,680 m.s.n.m. ANEXO N° 22.

##### **Limites Distritales:**

- Por el norte: Distrito de Encañada.
- Por el sur: Distritos de Magdalena y San Juan.
- Por el este: Distrito de Baños del Inca.
- Por el oeste: Distritos de Chetilla y Magdalena.

En la Figura 7, se muestra la ubicación política, geográfica y referencial de la zona en estudio.

##### **Características ambientales del área de estudio**

El clima en la ciudad de Cajamarca se puede clasificar durante el día, como seco, templado - soleado y frío durante las noches. Durante los meses de abril a noviembre la temperatura varía entre los 3.8 y 23. 3° C.

Además, presenta un régimen pluviométrico variable durante todo el año, las precipitaciones mínimas se presentan entre los meses de mayo a Setiembre y las máximas precipitaciones entre los meses de noviembre a marzo. Con una precipitación pluvial promedio anual que varía entre los 350 mm y 960 mm.

La Humedad Relativa promedio anual en la ciudad de Cajamarca varía entre 58% y 78% aproximadamente, con un promedio anual de 68.5%. Los meses de menor humedad son Julio, agosto y setiembre, incrementándose en el resto del año.



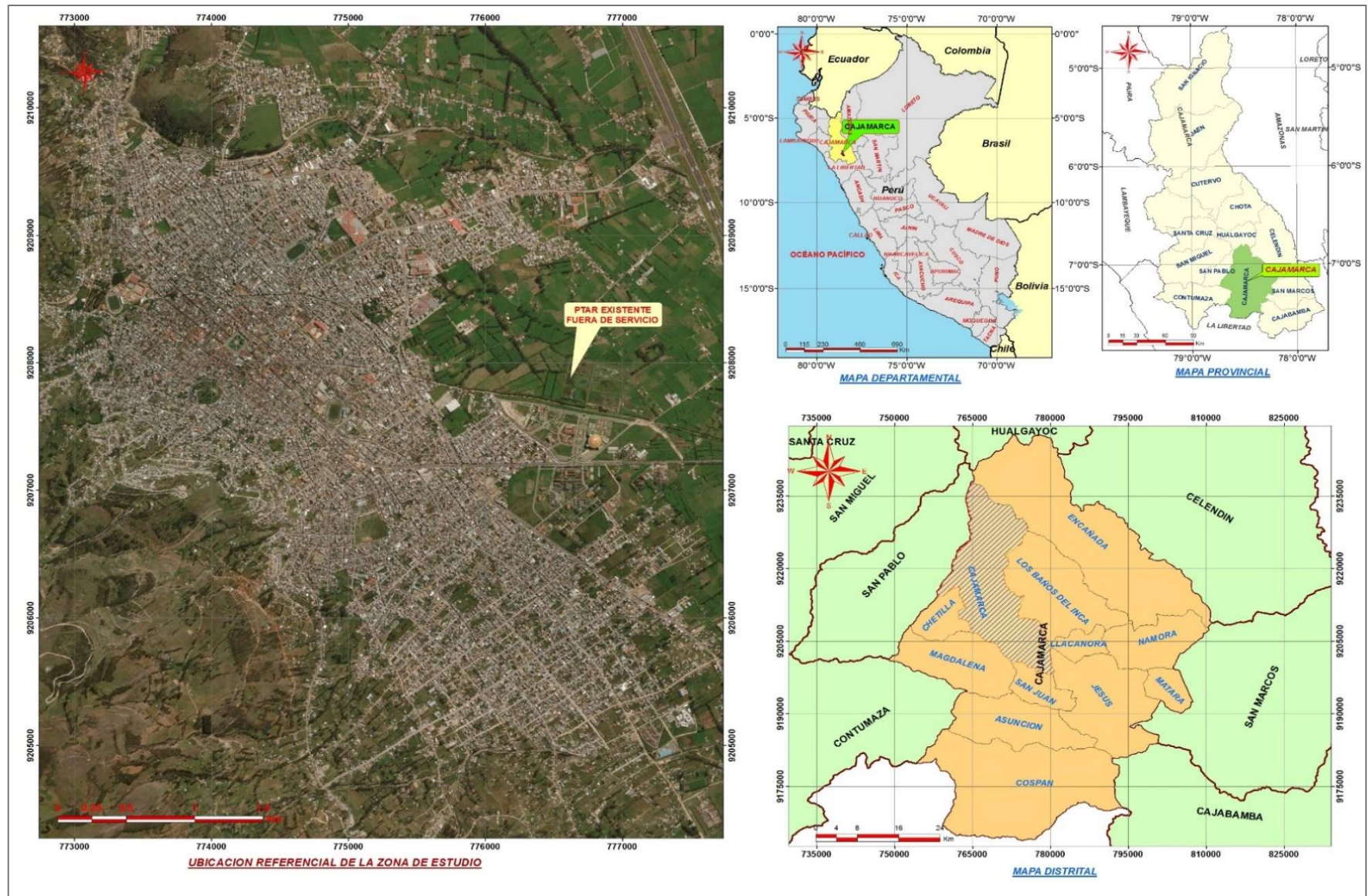


Figura 7: Ubicación política, geográfica y referencial de la zona en estudio

### 3.2. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Los materiales utilizados en la investigación de campo y oficina, así como los equipos, software se detallan a continuación:



GPS



MULTI-PARAMETER TESTER



GUANTES QUIRURGICOS



FRASCOS DE PLASTICO (1L)



MASCARILLA DESECHABLE



FRASCO LAVADOR+AGUA DESTILADA



BALDE



ENVUDO



TABLERO



CAJA TCNOPORT



LAPICERO TINTA INDELEBLE



CHALECO

### **3.3. FASE INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a. Recopilación de la información**

Consistió en la recopilación de información para el fundamento del trabajo y que además permitiera elaborar el plan de investigación. Para el marco teórico se hizo necesaria la revisión de bibliografía de autores nacionales e internacionales, investigaciones realizadas anteriormente, normas ambientales peruanas y parámetros mínimos que se deben incluir en laboratorio, en los monitoreos, y en la toma de decisiones para la elección de la alternativa.

#### **b. Identificación de la zona de estudio**

Se utilizó información proporcionada por la EPS SEDACAJ SA, tales como planos de las redes colectoras de la ciudad de Cajamarca los cual fueron indispensables para la delimitación exacta de la zona de estudio, y del área de contribución de aguas residuales a la zona del fundo Betania. En esta fase se identificó también las coordenadas de terreno para la construcción de la PTAR.

### **3.4. FASE DE CAMPO**

#### **a. Identificación del punto de monitoreo**

Se realizó el reconocimiento de la zona y la identificación del último buzón de la red de alcantarillado del área de estudio (Fundo Betania). Para la selección del punto de monitoreo, se tuvo en consideración lo mencionado en el ítem 2.2. de las bases teóricas – apartado: Muestreo y Monitoreo de aguas residuales, inciso a. Punto de monitoreo. el punto de monitoreo, fue identificado y reconocido claramente, de manera que se permitió su ubicación exacta en los muestreos. En la determinación de la ubicación se utilizó el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), el mismo que se registró en coordenadas UTM. (Ver Figura 8)

#### **b. Medición de caudales**

Los caudales se obtuvieron los mismos días de muestreo de las aguas residuales, en el punto de muestreo identificado; antes de que el agua residual sea evacuada al río por seguridad y facilidad para el muestreador, se realizó mediante el método directo que consiste en la medición de tirantes y posteriormente se calculó con la ecuación de Manning, la medición se realizó en el tramo de los buzones existentes (Bz N° 3514 y Bz N° 3515) en el colector existente denominado “Colector El Inca”.

### **c. Muestreo de las aguas residuales**

Consistió en tomar una porción de agua del punto determinado para el muestreo “Buzón existente N° 3515”, teniendo los debidos cuidados y criterios de acuerdo con los parámetros a ser analizados, la muestra se tomó en un periodo de tiempo muy corto en segundos, así esta muestra representa un aislamiento tanto en tiempo y espacio para que los contaminantes no sufran alteraciones por la posible contaminación de la muestra, asegurando de esta manera la calidad de los resultados.

Al llegar al punto de muestreo seleccionado previamente para la realización de la toma de muestra de agua residual con los implementos y materiales indispensables. Y con la ayuda del Ing. Químico Juan Carlos Flores Cerna, docente del departamento académico de ciencias químicas y dinámicas de la Universidad Nacional de Cajamarca, se realizó las acciones que se describen a continuación.

#### **Llenado de los recipientes.**

- Se enjuagaron los frascos y el balde muestreador 3 veces con el agua residual, los mismo que fueron proporcionados por el laboratorio de calidad de agua de la EPS SEDACAJ S.A.
- La muestra para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se tomó por debajo de la superficie como lo establece la norma, introduciendo el recipiente y tapándolo una vez lleno, con la finalidad de tener una buena muestra homogénea del agua residual. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte evitando la modificación del contenido y la variación del pH.
- En el restante del volumen de agua residual procedemos a remover en círculo y destapando en una forma rápida para llenarlo con una cantidad adecuada, hasta las  $\frac{3}{4}$  partes del recipiente lo que permite la agitación de la muestra. Muestra que se envía para el análisis microbiológico.
- Se midieron los parámetros de campo como: pH, Temperatura, conductividad y STD, los cuales fueron registrados en la ficha de campo de acuerdo a la Tabla 4.

### **Identificación y registro de las muestras**

- Las muestras se registraron de acuerdo a lo establecido en el anexo N° V de la RM N° 273-2013-VIVIENDA Tabla 5.
- Se rotularon cada una de las muestras puntuales utilizando una etiqueta que contenía la siguiente información: Nombre de la PTAR, Denominación del punto de monitoreo, número de la muestra, fecha y hora, tipo de ensayo a realizar y nombre de la persona encargada de tomar la muestra.

### **Conservación de las Muestras**

- Una vez etiquetada la muestra se procede al resguardo de las muestras en un recipiente óptimo que consiste en brindarle sombra y temperatura baja para evitar la alteración en los resultados (caja tecnoport).
- Inmediatamente después, se procede a trasladarlas hacia el laboratorio, para su respectivo análisis con las respectivas medidas y precauciones de conservación, las mismas que se trasladaron al laboratorio de calidad de agua de la EPS SEDACAJ S.A tomando todas las precauciones que estipula la RM N° 273-2013-VIVIENDA. El traslado de las muestras se realizó en una caja tecnoport, conservando la temperatura, el viaje duro aproximadamente 30 minutos de tiempo de transporte desde el punto de muestreo hasta el laboratorio ubicado en las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable Santa Apolonia de la ciudad de Cajamarca.

Las muestras fueron tomadas durante 4 meses desde el 17 de julio del 2017 al 23 de octubre del 2017. Las fechas de muestreo fueron programadas en meses del año en el cual se pueda identificar el comportamiento del clima tanto de estiaje como de lluvia, (Ver Tabla 21).

### **3.5. FASE DE LABORATORIO**

La etapa de laboratorio consistió en efectuar los ensayos correspondientes a cada uno de los parámetros fisicoquímicos y biológicos representativos que nos permitieron caracterizar las aguas residuales, realizados en el laboratorio de Calidad de Agua de la EPS SEDACAJ S.A, dichos análisis fueron realizados por el personal que labora en dicha institución.

#### **a. Caracterización del agua residual**

Este proceso consistió en conocer la composición fisicoquímica y biológica del agua residual a través de los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio y parámetros medidos in situ.

Según lo especificado en el ítem 2.2. bases teóricas apartado de Muestreo y Monitoreo de Aguas residuales, inciso b. parámetros de calidad; los parámetros seleccionados para la caracterización de las aguas son los siguientes:

- Aceites y grasas
- Sólidos en suspensión
- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO<sub>5</sub>):
- Demanda Química de Oxígeno (DQO):
- La relación DQO/DBO<sub>5</sub> indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas

### **3.6. FASE DE GABINETE**

Es el trabajo de gabinete en el cual se hizo el procesamiento de los datos obtenidos en las fases anteriores.

#### **a) Estudio climatológico de la ciudad de Cajamarca**

El estudio climatológico de la ciudad de Cajamarca consistió en la determinación de los factores como: precipitación media mensual, temperaturas medias mensuales. Estos parámetros están representados mediante gráficas y cuadros expuestos más adelante.

**Precipitación:** El método utilizado para los cálculos de precipitación media mensual es el de la Media Aritmética, que consistió en calcular el promedio aritmético de las precipitaciones mensuales de todos los años de registro disponibles de la estación climatológica Augusto Weverbauer (1978- 2016). Tabla 25 y ANEXO N° 10.

**Temperatura:** El método utilizado para los cálculos de la temperatura media mensual de la ciudad de Cajamarca, es el método de la media aritmética, que consistió en calcular el promedio aritmético de las temperaturas mensuales de todos los años de registro disponibles de la estación climatológica Augusto Weverbauer (1978- 2016). Este factor fue necesario en la toma de decisión del tipo de tratamiento a implantar. Tabla 25, ANEXO N° 8 y ANEXO N° 9.

## **b) Disponibilidad de terreno**

La disponibilidad de terreno será el área que se tiene designada por la EPS SEDACAJ S.a. para la construcción del sistema de tratamiento de las aguas en la zona de del fundo Betania al margen izquierdo del río San Lucas. De acuerdo al área con la que se disponga es que se tomará la decisión de que tecnología se adecua mejor.

## **c) Evaluación de los resultados obtenidos en laboratorio, según la disposición de los LMP (D.S. N°003-2010-MINAN).**

Para la evaluación de los resultados obtenidos, los valores encontrados han sido comparados con los Límites máximos permisibles para el vertido a cuerpo de agua. Según lo establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAN. Una vez comparados los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos, se determinó que parámetros cumplen o no, con lo establecido con la norma vigente, Tabla 7.

## **d) Análisis y Selección de la alternativa de tratamiento que mejor se adecúe a las condiciones que presenta la zona de estudio, a partir de la elaboración de una matriz de decisión.**

El presente tiene como alcance la selección de la tecnología para la planta de tratamiento de aguas residuales a partir de la evaluación opciones o procesos de tratamiento que más se adapten a las necesidades que se presentan en la ciudad de Cajamarca, a partir de la elaboración de una matriz de decisión.

### **- Comparación de alternativas**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales, son: Lagunas con filtro de macrófitas, lagunas aireadas, lodos activados, Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) y filtro percolador. Todos estos sistemas de tratamiento son utilizan el proceso biológico para la disminución y degradación de materia orgánica y otros contaminantes presentes en el agua residual. Las mismas que se describen a continuación:

- Laguna con filtro de macrófitas: presenta una de las mejores opciones para ser seleccionada desde que se disponga de suficiente área, tanto actual como en el futuro, así como suelos que posean características que faciliten el movimiento de tierra y su impermeabilización. Este proceso elimina la materia orgánica digiriéndola y sin provocar olores ni fangos en el fondo de las lagunas.
- Lagunas aireadas: presenta el hecho de requerir menos espacios que los otros sistemas, pero tomando en cuenta que el uso de energía eléctrica será un elemento que precisará analizarse.
- Lodos activados: los aspectos fundamentales a ser analizados son relacionados con las cimentaciones, estructuras, mano de obra, consumo de energía, así como la complejidad de la operación, además de ser una de las tecnologías de amplia aplicación a nivel mundial.
- Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA): es un proceso de tratamiento continuo, con cortos periodos de retención que puede sustituir a la unidad de sedimentación primaria, además permite el tratamiento de aguas con alta concentración de materia orgánica.
- Filtro percolador: es una de las opciones que requiere un área moderada, además presenta bajos costos de operación, debiendo analizarse los aspectos relacionados con las cimentaciones, estructuras y equipamiento.

- **Evaluación de alternativas**

**Primera etapa de evaluación: En función a la Población, requerimiento de área, temperatura y altitud de la zona de estudio.**

Se evaluaron las tecnologías mencionadas, en función a la población, requerimiento de área, la temperatura y la altitud media, teniendo en cuenta si la tecnología propuesta es apta para las características que presenta la ciudad de Cajamarca. De esta manera seleccionar las 3 tecnologías que cumplen con estas condiciones y pasar a la segunda etapa de evaluación. Así de esta manera poder aplicar la matriz de selección final y obtener la mejor alternativa para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la zona de estudio.

**Segunda etapa de evaluación: Matriz de selección**

La selección de los procesos de tratamiento con posibilidades de ser empleados para el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Cajamarca, con las tecnologías que cumplan la primera etapa de evaluación, con ayuda de un procedimiento de selección denominado Matriz



de decisión, el cual, mediante una matriz de selección en la que se conjuga una serie de parámetros de evaluación, define la mejor opción a emplear en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca. Para la evaluación, se consideró los siguientes once (11) factores básicos, descritos en el ANEXO N° 15.

#### - Selección de alternativas

Para el procedimiento de selección de la alternativa óptima se utiliza la metodología de matriz de selección con la ponderación de valores para los parámetros de evaluación escogidos, según la importancia relativa de los mismos, importancia determinada por el asesor del proyecto, además de un grupo de profesionales participantes en el proyecto para evitar la subjetividad de la selección.

Para la ponderación de los factores a evaluar se tuvo en cuenta todos los factores recopilados durante el levantamiento de la información y un análisis exhaustivo realizado durante la investigación.

Esta matriz correlaciona los distintos aspectos que pueden ser evaluados a un proceso de tratamiento de agua bajo una circunstancia de aplicación con calificaciones que se le asigna a cada rubro según los criterios del evaluador y en función de la importancia que posee cada uno de ellos y de cómo son resueltos por los procesos de tratamiento evaluados. Finalmente, las alternativas seleccionadas se clasificaron del 0 al 5, siendo 0 el valor más deficiente y 5 el valor más alto, como se indica a continuación en la Tabla 20.

Tabla 20: Niveles de calificación

<b>NIVEL</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
No aplica	0
Suficiente	1
Adecuado	3
Muy bueno	5

**e) Establecer bases y criterios de diseño para la alternativa seleccionada a partir de los resultados obtenidos en la matriz de decisión.**

Teniendo ya el nivel de contaminación presente en las aguas residuales y la variación respecto a los LMP, el sistema de tratamiento de aguas residuales a proponer, se obtuvo mediante la comparación de diferentes tecnologías, las mismas que fueron evaluados con diferentes criterios a través de una matriz de decisión, ANEXO N° 16 al ANEXO N° 19. Para el sistema que obtuvo la mayor calificación, se estableció las bases y criterios básicos que ayudaran al proyectista a realizar el diseño final.

**1. Bases de Diseño:** Se tuvo las siguientes consideraciones:

- **Periodo de diseño:** Considerando la naturaleza del proyecto, Un tiempo de vida de la planta de tratamiento estimado, este horizonte de diseño es el tiempo de vida útil promedio, según lo establecido por el Sector Saneamiento y a criterio del ingeniero proyectista.
- **Área de influencia:** Se determinó el área de intervención para el presente estudio, el mismo que representa un porcentaje del total del área de influencia correspondiente a la EPS SEDACAJ S.A. Para ello nos apoyaremos de los planos denominados “áreas de drenaje influencia de Sedacaj, Cajamarca - 2017), ANEXO N° 20.
- **Calculo de la Población:** El análisis de la proyección poblacional se basa en información oficial publicada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Y el área de influencia del presente estudio, para ello se procedió de la siguiente manera:
  - En Primer lugar, se determinó la tasa de crecimiento distrital utilizando los datos correspondientes a los censos de los años 1981, 1993 y 2007 del distrito de Cajamarca, para ello, se consideró que el crecimiento de la población es proporcional al tamaño de ésta con el fin de calcular la población futura, se ha recurrido al Método Geométrico según la ecuación (8).
  - En segunda instancia, realizamos la proyección de la población en el ámbito de estudio, para ello se considerará el porcentaje del total de la población de la zona urbana más la población rural la misma que es considerada como zonas de expansión, en función al porcentaje del área de influencia de SEDACAJ y el área de influencia del presente estudio. según la ecuación (7) Tomando como referencia el plano denominado: “población de la ciudad de Cajamarca según data del INEI año 2007”, ANEXO N° 21.

- **Determinación de los caudales de diseño:** La proyección del caudal de aguas residuales para el periodo de diseño que se proyecta y con estos caudales serán con los que se opere y se tratarán en las unidades del sistema. Este es un parámetro clave para la implementación de esta tecnología ya que se manejará acorde a los niveles de caudal, que se alcancen en el tiempo estipulado.
  - **Dotación de Agua:** Debido a que se no cuenta con registros históricos de consumo en la ciudad de Cajamarca, la dotación promedio diaria anual por habitante, para el presente estudio se consideró que, para climas como la ciudad de Cajamarca, con referencia a la Tabla 6, se considerara una dotación de 120 l/hab/d.
  - **Coefficientes de variación:** Para el presente estudio se considerará, un valor de 1.8.
  - **Caudal de Contribución de Alcantarillado:** Según el RNE en la Norma OS.100, establece que el 80% del caudal de agua potable consumida ingresa al sistema de alcantarillado.
  - **Caudales de Diseño:** Acorde con la población de diseño, consumo promedio y contribución al sistema de alcantarillado seleccionado, se procederá a determinar los caudales de diseño. El mismo que se estima mediante la ecuación (12), teniendo en cuenta que, en este estudio no consideró a los caudales de infiltración y aportes industriales.
  - **Calidad de agua residual cruda:** La calidad del agua residual a tratar se determinó en las primeras etapas de este trabajo, las mismas que nos ayudaran a determinar la contribución de carga orgánica de las aguas residuales a tratar.
  - **Calidad del agua residual tratada:** La calidad del agua residual a ser obtenido en el sistema de tratamiento debiera cumplir con los valores que se establecen para el vertido a masas de agua superficiales según el Cumplimiento del DS N° 003-2010-MINAM, Tabla 7.
2. **Criterios de diseño del proceso seleccionado:** Los criterios de diseño empleados en el presente trabajo, están basados en las referencias de la disciplina de Ingeniería Sanitaria que rige el diseño de los procesos de tratamiento de aguas residuales en sus últimas ediciones. Mencionadas en el ítem 2.2 Bases teóricas apartado bases de diseño y criterios de diseño.
- **Criterios y parámetros de diseño de las unidades de pretratamiento.**
    - **Cribado:** Los sistemas de cribado son diseñados en función de los gastos picos de la planta. El número de barras en el canal se define en función del espaciamiento entre barras, el espesor de las barras, la inclinación vertical y velocidad de aproximación. Los mismos que se presentaran en el capítulo de resultados en la Tabla 37.

- **Desarenador - desengrasador:** Los criterios básicos de diseño son: Caudal de diseño, la velocidad de sedimentación, diámetro y densidad de partícula, tiempo de retención, remoción de arena y la carga superficial. Los mismos que se presentaran en el capítulo de resultados en la Tabla 38.
- **Criterios de selección de macrófitas:** A la hora de seleccionar las especies que se emplearán para la depuración de las aguas residuales, es preciso tener en cuenta una serie de criterios que, según (SIMMONDS,1979), los mismos que se presenta en el capítulo de resultados.
- **Desinfección por cloración:** Para el diseño de instalaciones de cloración el proyectista deberá sustentar los diferentes aspectos: la dosis de cloro; el tiempo de contacto y el diseño de la correspondiente cámara, punto de inyección.
- **Descarga al cuerpo receptor:** en este caso, se debe de cumplir con los límites máximos permisibles para descargas de efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales. Y los límites máximos permisibles establecidos.

**f) Descripción del tren de procesos de tratamiento considerados para la zona de estudio, en base a la alternativa seleccionada.**

Inicialmente se analizó cinco (05) tecnologías de tratamiento: lagunas facultativas con filtro de macrófitas, lagunas aireadas, sistema de lodos activados, Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) y los filtros percoladores.

Luego de las consultas pertinentes y realizar la evaluación correspondiente mediante las características demográficas, características climatológicas y la matriz de decisión, se consideró que la alternativa más conveniente y adaptable a la zona de estudio, fue el sistema de lagunas con filtro de macrófitas, el tren de procesos tratamiento considerados para la zona de estudio, se integró con las unidades siguientes:

- Pretratamiento (Cribado, Desarenador - desengrasador).
- Tratamiento Secundario, conformado por (03 Lagunas primarias con filtro de macrófitas y 03 Lagunas secundarias con filtro de macrófitas).
- Desinfección por cloración.
- Descarga al río.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. FASE INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) Identificación de la zona de estudio**

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Cajamarca está constituido por 06 áreas de drenaje existente y 06 áreas de drenaje proyectadas, ANEXO N° 20.

De las cuales, 04 áreas de drenaje existentes denominadas AD-1, AD-2, AD-3 y AD-4 que descargan sus efluentes en los colectores principales, denominados Colector norte, colector el ingenio, colector el inca y colector Capañac. de los cuales podemos mencionar que el colector norte atraviesa propiedades privadas donde los propietarios en épocas de estiaje, utilizan las aguas residuales para el riego de cultivos, pastizales entre otros.

También se pudo constatar que actualmente la planta de tratamiento existente, se encuentra en estado inoperativo, la misma que está conformada por tres lagunas facultativas primarias y tres secundarias, esta se encuentra situada al Este de la Ciudad, en la margen izquierda del río San Lucas, adyacente al antiguo camino hacia el distrito de Baños del Inca, ubicado en la zona del fundo Betania, frente al actual Complejo Capañac - Sede de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

### **4.2. FASE DE CAMPO**

#### **a) Programación del muestreo de agua residual**

Con la información recabada en la primera fase del monitoreo, se identificó el punto de muestreo y posteriormente se decidió realizar ocho (08) muestreos de agua residual en diferentes días y fechas durante los meses de Julio a octubre del 2017, de esta manera poder conocer la variación de la carga contaminante de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca.

En la Figura 8, se muestra la ubicación del punto seleccionado donde se realizaron los muestreos correspondientes durante las fechas y días programados. Y en la Tabla 21 se muestra los días y fechas programados para la toma de muestras.

Tabla 21: Fechas de muestreo

N° de muestreo	Día / Fecha de muestreo
1ro	Lunes, 17 de Julio de 2017
2do	Martes, 1 de agosto de 2017
3ro	Jueves, 17 de agosto de 2017
4to	Miércoles, 30 de agosto de 2017
5to	Lunes, 18 de Setiembre de 2017
6to	Viernes, 29 de Setiembre de 2017
7mo	Sábado, 7 de octubre de 2017
8vo	Lunes, 23 de octubre de 2017

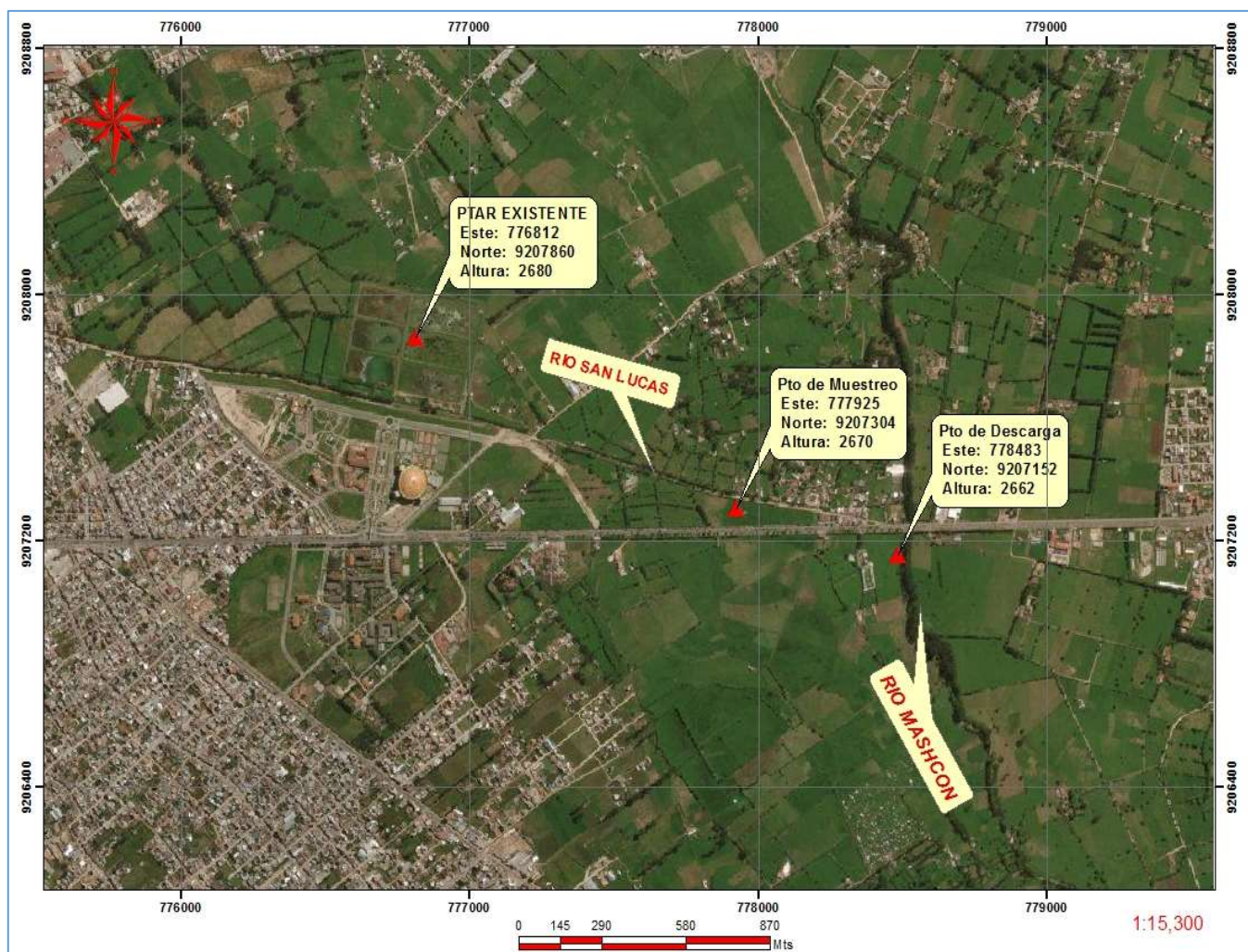


Figura 8: Punto de muestreo seleccionado

## b) Medición de caudales

Para la obtención de los caudales, conociendo los datos del diámetro de la tubería y el tirante medido, tipo de material de la tubería y la pendiente se remplazó los datos en las formulas (1) al (6), obteniendo un caudal promedio de 89.84 l/s. Las mediciones realizadas en campo se muestran en el ANEXO N° 6. Y los cálculos correspondientes en el ANEXO N° 5.

Tabla 22: Caudal medido en el punto de descarga (Bz -N° 3515)

N° de Muestreo	Día, fecha de muestreo	Caudal
		L/s
1ro	Lunes, 17 de julio de 2017	73.63
2do	Martes, 1 de agosto de 2017	84.53
3ro	Jueves, 17 de agosto de 2017	86.58
4to	Miércoles, 30 de agosto de 2017	106.50
5to	Lunes, 18 de setiembre de 2017	91.23
6to	Viernes, 29 de setiembre de 2017	91.23
7mo	Sábado, 7 de octubre de 2017	100.63
8vo	Lunes, 23 de octubre de 2017	80.83

Fuente: Elaboracion Propia, con base en los datos obtenidos en campo.

## c) Muestreo de las aguas residuales

### • Características generales

**Apariencia y color.** - Se puede apreciar un color marrón oscuro en el efluente, el cual indica principalmente el alto contenido de materiales coloidales o en suspensión.

**Olor.** - Se pudo percibir un olor desagradable provienen de la materia orgánica y vegetación putrefacta a los alrededores del lugar debido a la cercanía del punto de descarga.

- **parámetros medidos en campo:** A continuación, en la Tabla 23, ANEXO N° 2 y el ANEXO N° 3, se detallan los resultados de los parámetros obtenidos en campo en las fechas programadas para el muestreo de las aguas residuales, con ayuda del MULTI-PARAMETER TESTER los cuales fueron los siguientes: pH, Temperatura, conductividad, Solidos totales disueltos (STD).

**Tabla 23: Resultado de los parámetros obtenidos en campo**

Nº de Muestreo	Día, fecha de muestreo	Hora	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS)	STD (mg/l)
1ro	<b>lunes, 17 de Julio de 2017</b>	10:30	8.36	21.4	1193	895
2do	<b>martes, 1 de agosto de 2017</b>	15:10	7.72	26.5	1510	1070
3ro	<b>jueves, 17 de agosto de 2017</b>	09:30	8.31	19.8	1288	917
4to	<b>miércoles, 30 de agosto de 2017</b>	09:00	8.49	21.6	1224	877
5to	<b>lunes, 18 de Setiembre de 2017</b>	10:20	8.34	22.3	1224	870
6to	<b>viernes, 29 de Setiembre de 2017</b>	08:20	8.40	22.4	1143	814
7mo	<b>sábado, 7 de octubre de 2017</b>	08:50	8.10	21.4	1420	855
8vo	<b>lunes, 23 de octubre de 2017</b>	14:30	7.92	25.6	1480	1065

Fuente: Elaboracion Propia, con base en los datos obtenidos en campo.

- Los valores de pH están dentro del intervalo adecuado para la existencia de la mayor parte de la vida biológica (5 a 9) pH.
- La temperatura del agua residual está dentro del rango óptimo para el desarrollo de la actividad bacteriana (20 a 35) °C. Siendo estos valores adecuados para un proceso de tratamiento aerobio, pero inadecuados para un proceso anaerobio pues los intervalos óptimos para la DA son el mesofílico (30 a 38) °C y el termofílico (49 a 57) °C.
- La conductividad registrada en las muestras de agua realizadas durante la duración del monitoreo, alcanzó un valor máximo de 1510 µS, un valor mínimo de 1143 µS, y un valor medio de 1310.25 µS. según el DS N° 002-2008-MINAM, en el anexo I: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, Categoría 1: Poblacional y recreacional, nos dice que este parámetro no es relevante, el valor permisible de este parámetro no consta en el DS N° 003-2010-MINAM, por cuanto no se pudo realizar su respectiva comparación. En el Gráfico N° 3, se puede observar una mayor conductividad eléctrica en las muestras tomadas en horas de la tarde nuestros M-02 y M-08, Esto nos indica que, en ambos muestreos, principalmente el M-02 presenta una mayor cantidad de sales disueltas a comparación del resto, indicando la elevada cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio).



### 4.3.FASE DE LABORATORIO

#### a. Caracterización del agua residual

Según el informe de los resultados de los análisis de agua residual otorgadas por el laboratorio de calidad de agua de la EPS Sedacaj S.A., y tal como se muestran en el ANEXO N° 7, así como las tablas comparativas de los ocho muestreos realizados, se obtiene los siguientes valores promedios para cada parámetro los cuales se muestran en la Tabla 24. Los mismos que se representan mediante gráficos en comparación a los límites máximos permisibles que nos indica la normativa que aplican son: D.S. 003-2010-MINAM, Tabla 7.

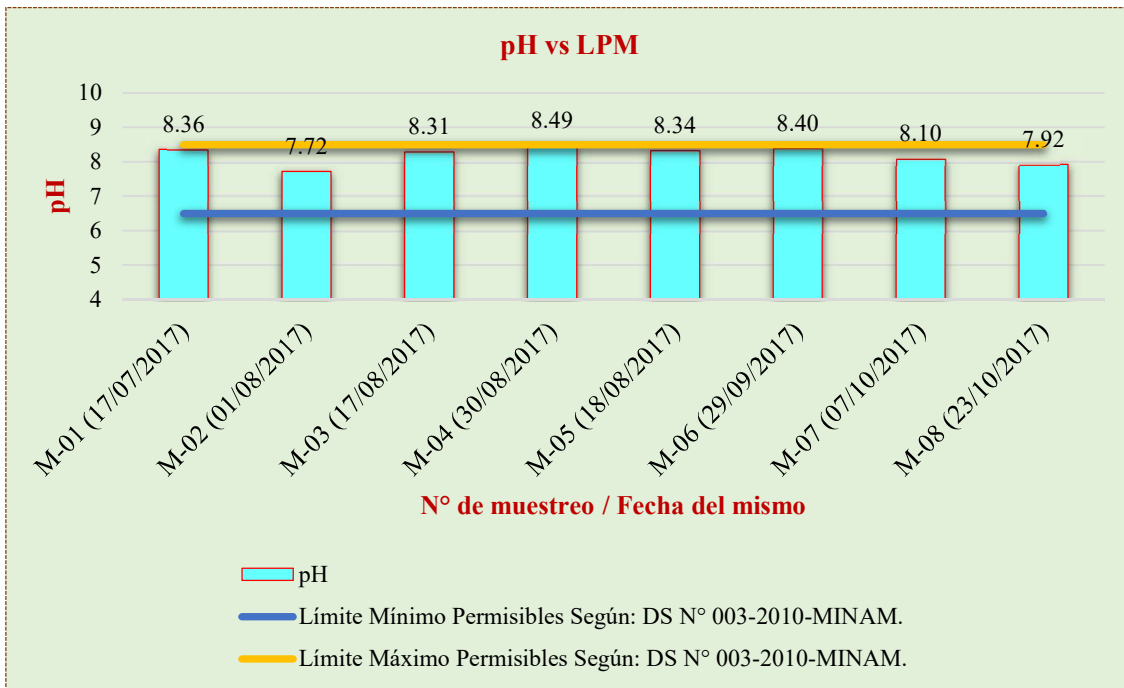
Tabla 24: Parámetros obtenidos en laboratorio vs LMP

PARÁMETRO	UNIDAD	Promedio	LMP	Condición
Aceites y Grasas	mg /L	97.8625	20	NO CUMPLE
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	15391125000	10000	NO CUMPLE
DBO <sub>5</sub>	mg /L	454.16	< 100	NO CUMPLE
DQO	mg /L	920.11	< 200	NO CUMPLE
pH (*)	unidad	8.21	6.5 - 8.5	CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales	mL/L	403.63	150	NO CUMPLE
Temperatura (*)	° C	22.63	< 35	CUMPLE
DQO/DBO <sub>5</sub>	Adim.	2.03	-	Biodegradable

**Potencial de hidrogeno (pH):** Los valores de pH medidos en campo se encuentran dentro del rango del LMP, según lo establecido en el DS N° 003-2010-MINAM Tabla 7, donde el mínimo fue de 7.72 unidades y un máximo de 8.49 unidades con un valor medio de 8.19 unidades, considerado un pH ligeramente alcalino, En el Gráfico N° 1, muestra que el rango de variación del pH ha sido mínimo, no excediendo de la unidad durante el tiempo que se realizó el monitoreo el cual se mantuvo entre el rango permisible.

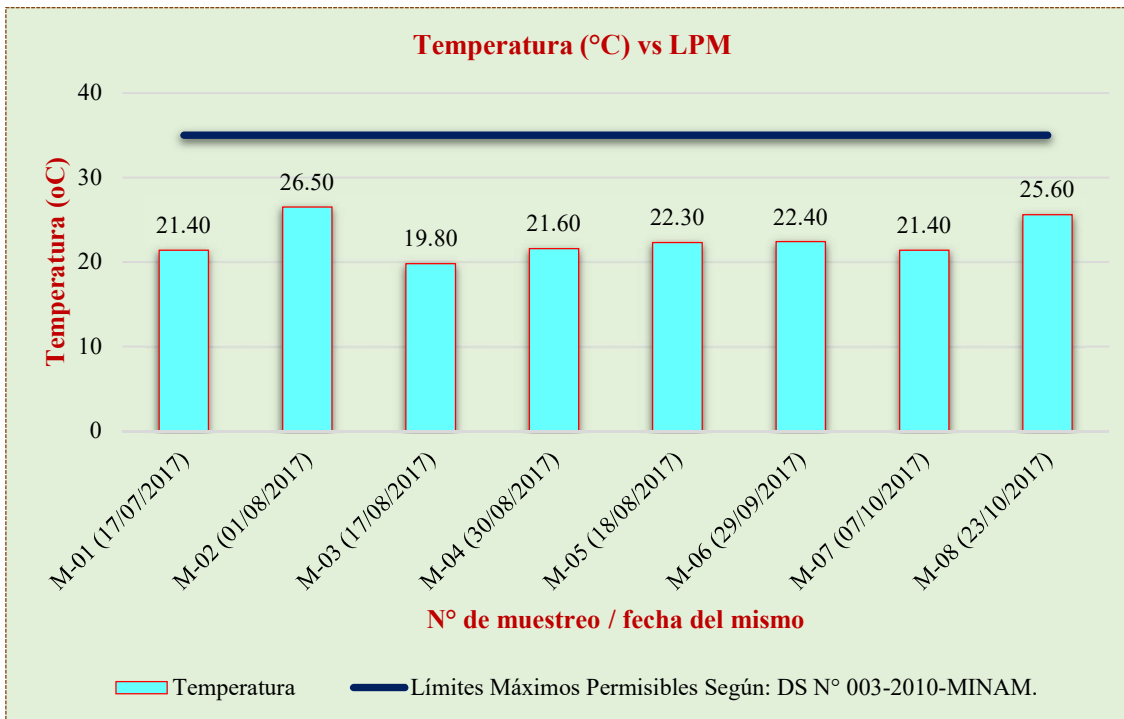
**Temperatura:** Los valores de temperatura determinados se encuentran en el rango de 19.80°C a 26.50°C encontrándose por debajo de 35°C, valor establecido como máximo permisible por el Decreto en mención. El comportamiento de la temperatura se puede observar en el Gráfico N° 2, Donde nos muestra que el rango de variación de los muestreos 2 y 8, donde se registra las mayores temperaturas, es debido a que las horas de monitoreo se realizaron pasando el medio día. El resto de muestreos, mantiene temperaturas más bajas, debido a que, regularmente se realizaron los muestreos durante las primeras horas de la mañana.

Gráfico N° 1: Variación del pH Vs Límites máximos Permisibles.



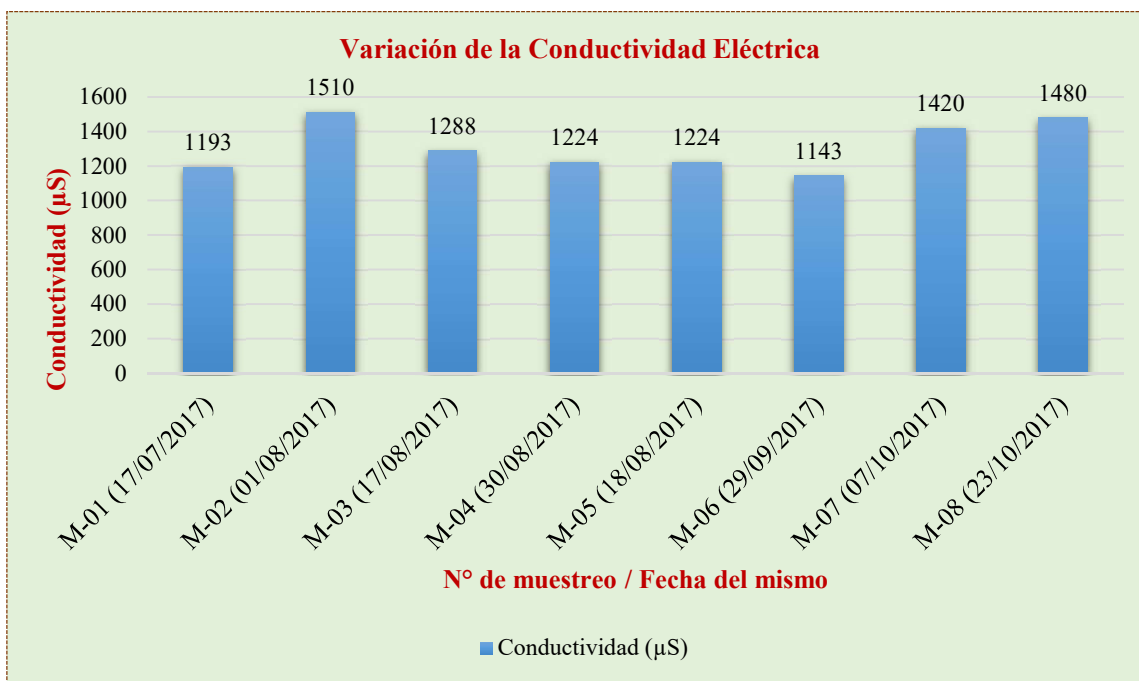
Fuente: Elaboración propia, con base en resultados obtenidos en campo.

Gráfico N° 2: Variación de la Temperatura Vs Límites máximos Permisibles.



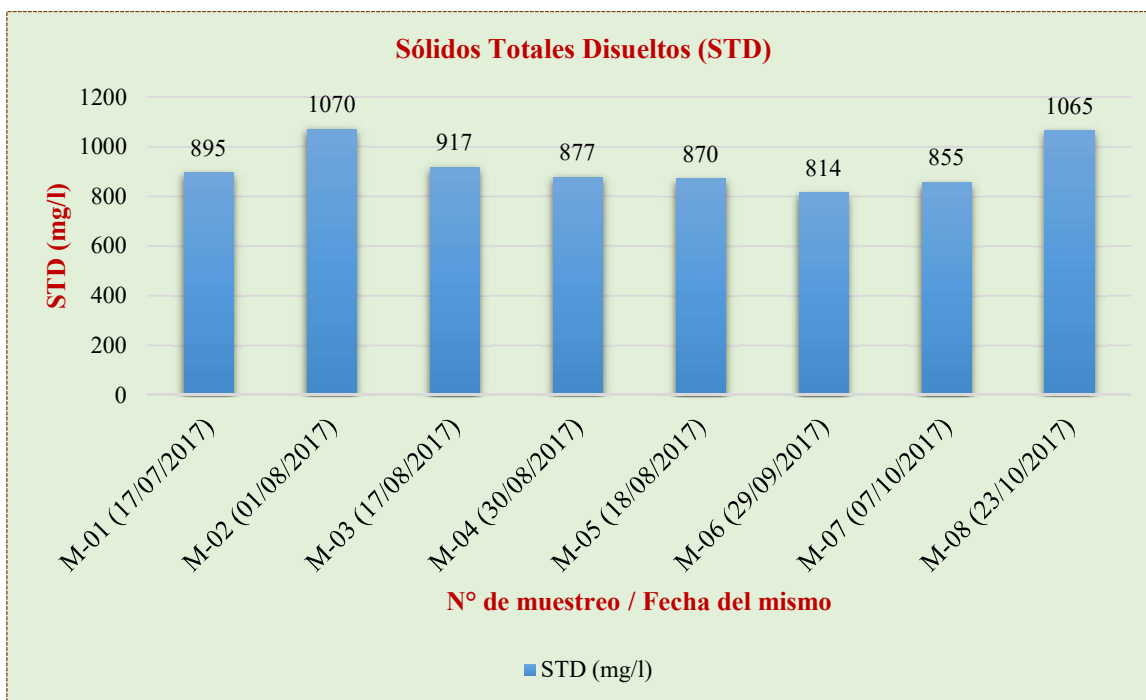
Fuente: Elaboración propia, con base en resultados obtenidos en campo.

Gráfico N° 3: Variación de la conductividad eléctrica



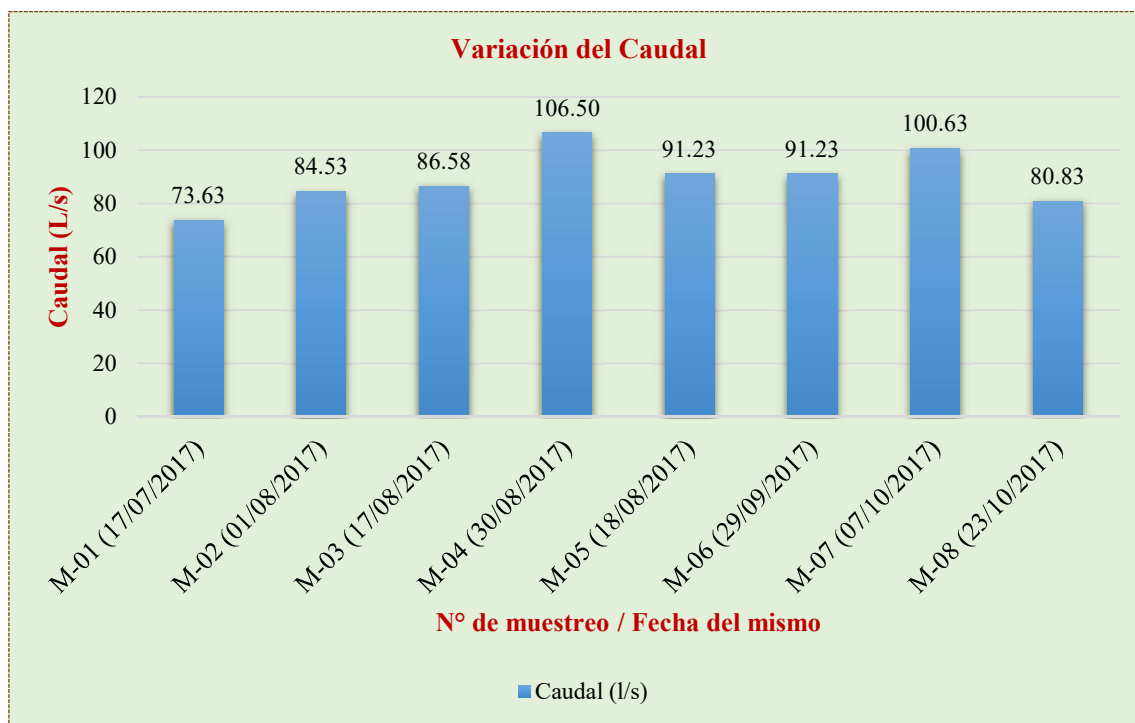
Fuente: Elaboración propia, con base en resultados obtenidos en campo.

Gráfico N° 4: Variación de los sólidos Totales Disueltos (STD)



Fuente: Elaboración propia, con base en resultados obtenidos en campo.

Gráfico N° 5: Variación del Caudal



Fuente: Elaboración propia, con base en resultados obtenidos en campo.

Según los datos obtenidos en la medición se puede observar que la variación del caudal a lo largo de la duración del monitoreo, dando como resultado un caudal mínimo de 73.63 l/seg. y un máximo de 106.50 l/seg. con un valor medio de 89.40 l/seg. En el Gráfico N° 5, se aprecia la variación del caudal, para los muestreos 4 y 7 se obtuvo los caudales máximos notándose una gran diferencia a comparación del resto, esto debido a que el día anterior al muestreo se registraron lluvias en la zona de estudio.

#### 4.4.FASE DE GABINETE

##### a. Estudio climatológico de la ciudad de Cajamarca

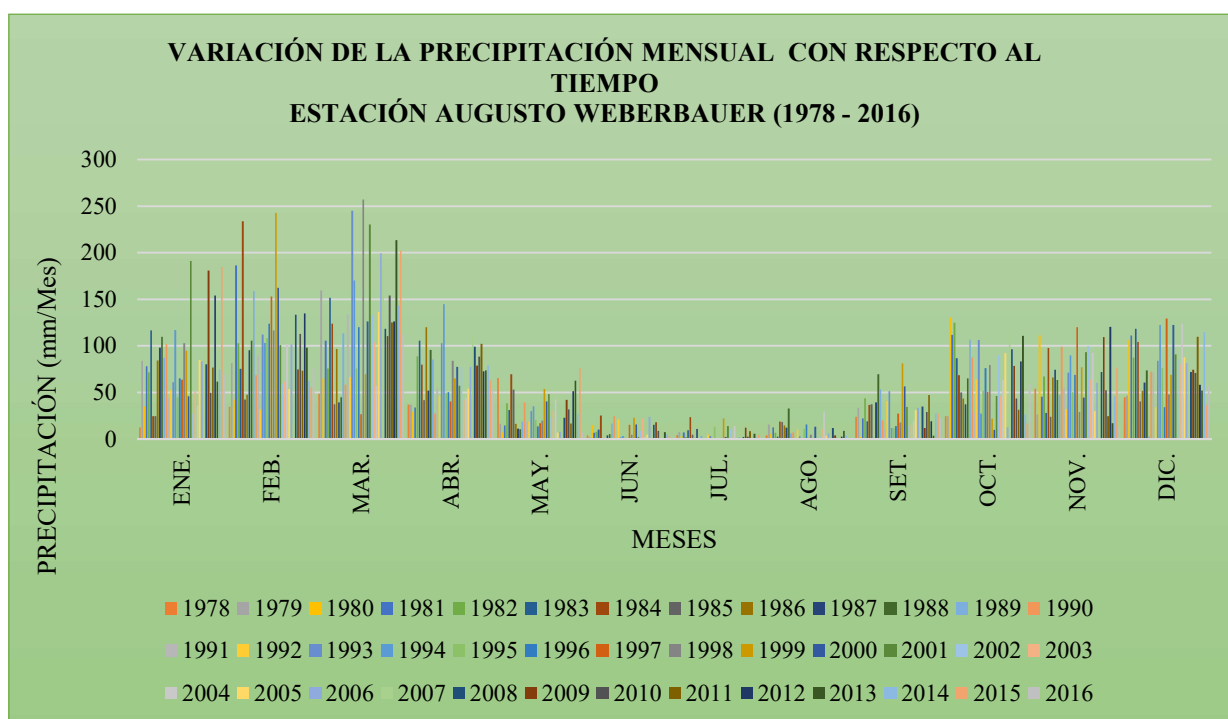
En la Tabla 25 y Gráfico N° 7, se presenta los resultados promedios a nivel mensual y anual de temperatura máxima, mínima y precipitación, para el Periodo (1978 – 2016) de la estación meteorológica indicada.

Tabla 25: Climograma de la estación Augusto Weberbauer Cajamarca periodo (1978 - 2016)

Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Temperatura Mínima Promedio Mensual</b>	9.58	10.01	10.22	9.06	7.46	5.87	5.35	5.80	7.09	8.63	8.45	9.45
<b>Temperatura Máxima Promedio Mensual</b>	23.67	22.49	22.53	22.84	23.25	22.47	22.84	22.97	23.09	23.13	23.84	22.93
<b>Precipitación Promedio Mensual</b>	90.94	87.04	145.54	73.63	33.29	8.27	5.95	6.26	25.82	60.36	65.49	82.20

Fuente: Elaboración propia, con base a la data proporcionada por el Senamhi Cajamarca ANEXO N° 8, ANEXO N° 9 y ANEXO N° 10.

Gráfico N° 6: Variación de la precipitación mensual con respecto al tiempo estación agosto Weberbauer (1978- 2016)

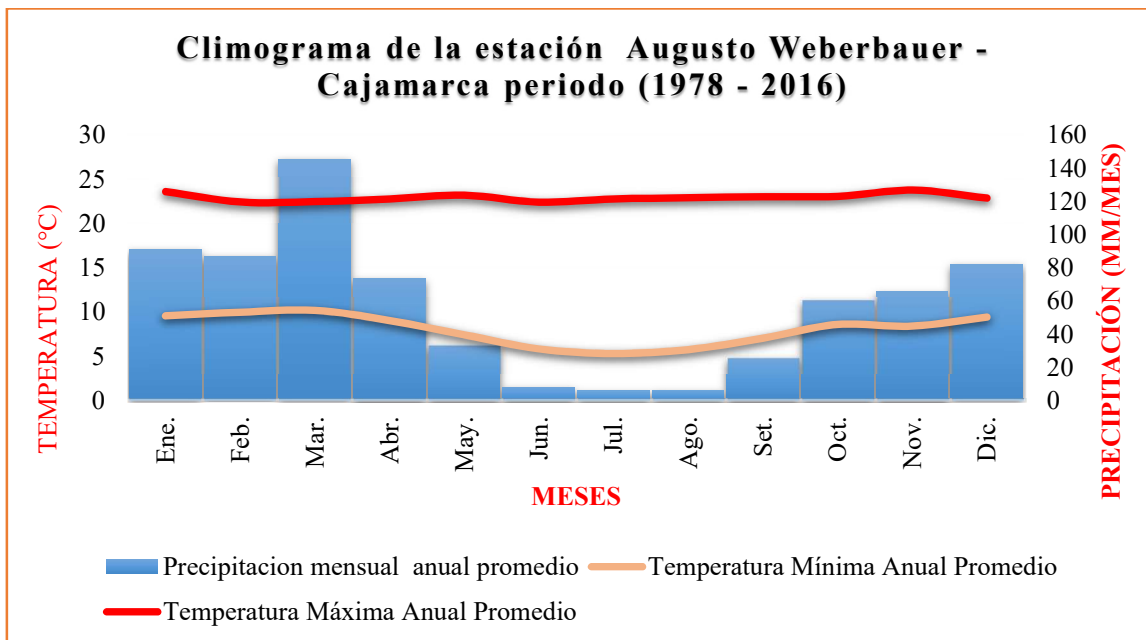


Fuente: Elaboración propia, con base en los datos de SENAMHI

En la Tabla 25, para la ciudad de Cajamarca, el mes con temperatura más alta es setiembre (23.84°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (5.35°C); y llueve con mayor intensidad en el mes de marzo (145.54 mm/mes). El Gráfico N° 6, muestra que la época lluviosa está comprendida entre los meses de diciembre a abril, registrándose una precipitación

promedio de 57.1 mm/mes. La época seca se encuentra comprendida entre los meses de mayo a septiembre, donde se registra muy poca incidencia de lluvia. El Gráfico N° 7, muestra el periodo de aridez en los meses de junio, julio y agosto. En esta temporada seca es importante proveer a la población de agua para riego de productos y pastizales, que es a lo que más se dedica la población aledaña a la zona de estudio de la ciudad de Cajamarca.

Gráfico N° 7: Climograma de la estación Augusto Weberbauer Cajamarca periodo (1978 - 2016)



Fuente: Elaboración propia, con base en los datos de SENAMHI

## b. Disponibilidad de terreno

El terreno destinado para la planta de tratamiento para la zona de estudio del fundo Betania, tiene un área de 14 has. La misma que se encuentra situada al Este de la Ciudad, en la margen izquierda del río San Lucas, adyacente al antiguo camino hacia el distrito de Baños del Inca, frente al actual Complejo Capañac, ANEXO N° 22.

La cota promedio del terreno es de 2680.00 m.s.n.m, la misma que no puede cubrir en su totalidad del agua residual generada en la ciudad de Cajamarca, se estima que solo podría atender al 60% por gravedad, y para el resto (40%) se tendría que plantear una nueva infraestructura en la parte sur de la ciudad, de esta manera poder cubrir el 100% del tratamiento de las aguas generadas.

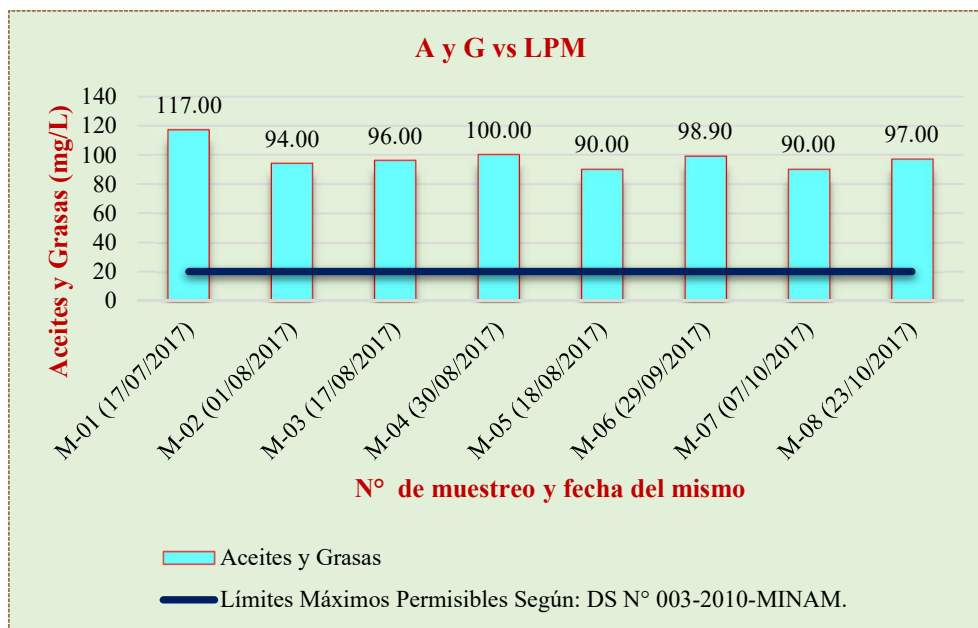
**Tabla 26: Ubicación PTAR existente – Fundo Betania**

Descripción	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	COTA
PTAR existente – Fundo Betania	9207860	776812	2680

c. **Evaluar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y biológicos, según la disposición de los LMP (D.S. N°003-2010-MINAM).**

**Aceites y Grasas:** En el resultado de los análisis de las aguas residuales se encuentra con una concentración que oscila de 90 mg/l a 117 mg/l con un valor medio de 97.86 mg/l, en el Gráfico N° 8, se puede apreciar que se encuentra fuera de los límites permisibles según el DS N° 003-2010-MINAM, Tabla 7. Que establece un valor de 20mg/l. Por tal motivo, **NO CUMPLE** con la normativa ambiental vigente.

Gráfico N° 8: Variación de Aceites y Grasas del agua residual Vs LMP

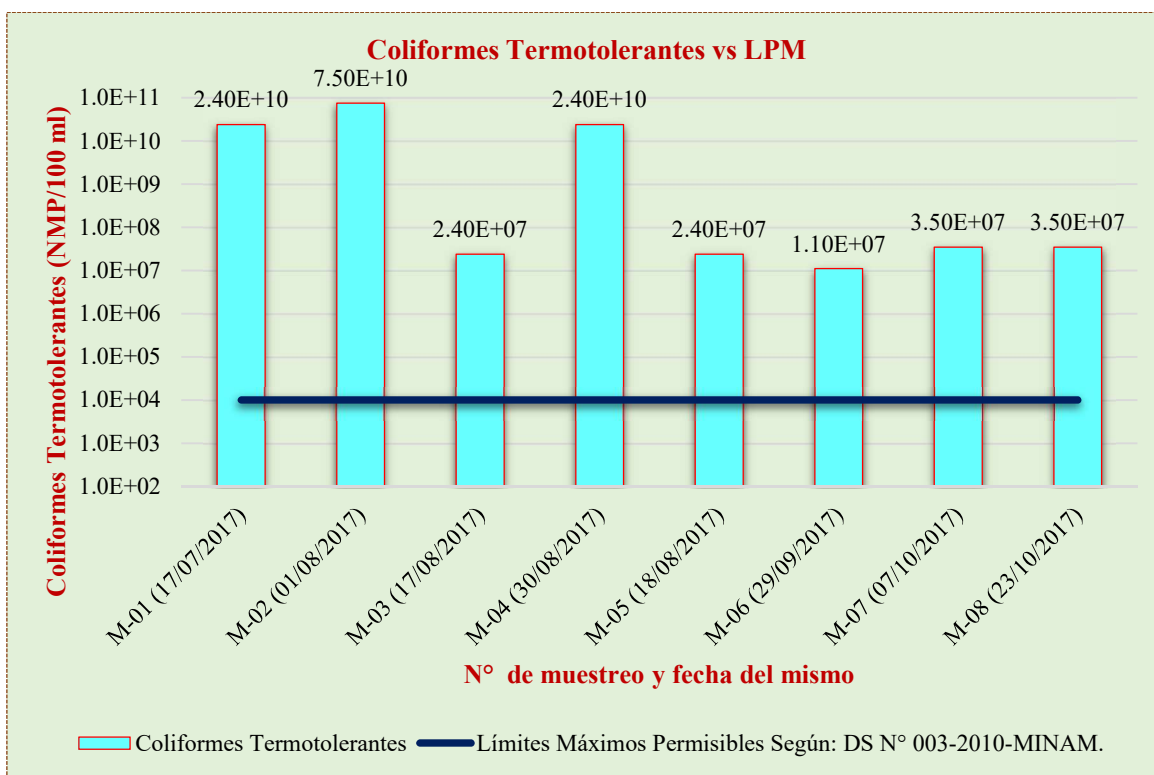


Fuente: Elaboración propia, con base en los resultados de laboratorio

**Coliformes Termotolerantes:** La concentración de coliformes termotolerantes registrada durante el monitoreo realizado en el estudio, osciló entre  $1.1 \times 10^7$  NMP/100ml a  $7.5 \times 10^{10}$  NMP/100ml con un valor medio de  $1.5 \times 10^{10}$  NMP/100ml. En el Gráfico N° 9, se observa que

los valores de Coliformes Termotolerantes obtenidos en todos los monitoreos realizados en el periodo de julio a octubre del 2017, sobrepasan los LMP de 10000NMP/100ml que establece el DS N° 003-2010-MINAM, Tabla 7, pudiendo ocasionar enfermedades gastrointestinales al contacto con la población. Por tal motivo, NO CUMPLE con la normativa ambiental vigente.

Gráfico N° 9: Variación de los coliformes termotolerantes del agua residual Vs LMP



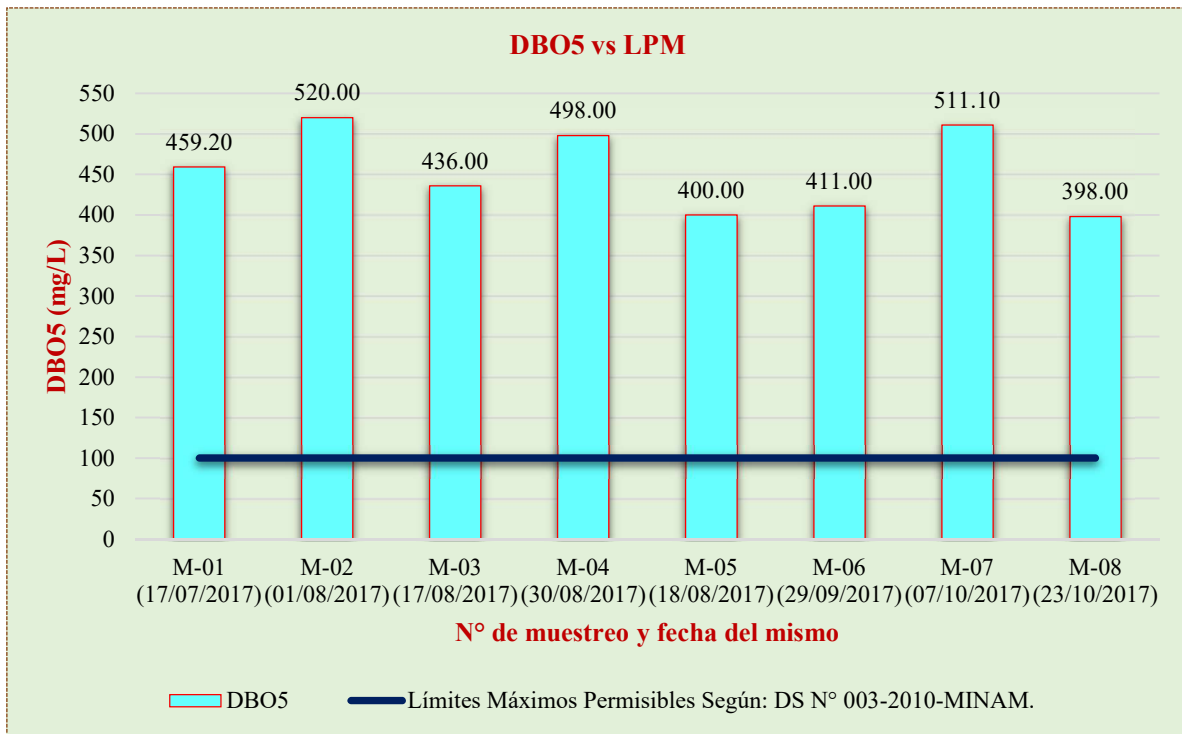
Fuente: Elaboración propia, con base en los resultados de laboratorio

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Según los datos obtenidos en el monitoreo, este osciló entre 398 mg/l a 520 mg/l, con una media de 454.16 mg/l. El valor de DBO sobrepasa el límite máximo permisible para descarga a cuerpos de agua dulce que es de 100 mg/l, típico de un agua residual urbana como medida indirecta de la cantidad de materia orgánica que posee.

En el Gráfico N° 10, podemos ver que los resultados de la demanda química de oxígeno están fuera de valores máximos permisibles establecidos, esto demuestra el alto contenido de materia orgánica presente en el agua debido a la alta concentración y fase de oxidación de materia, desechos fecales contenidos en la misma. por tal motivo NO CUMPLE con la normativa ambiental vigente.



Gráfico N° 10: Variación de la DBO<sub>5</sub> del agua residual Vs LMP

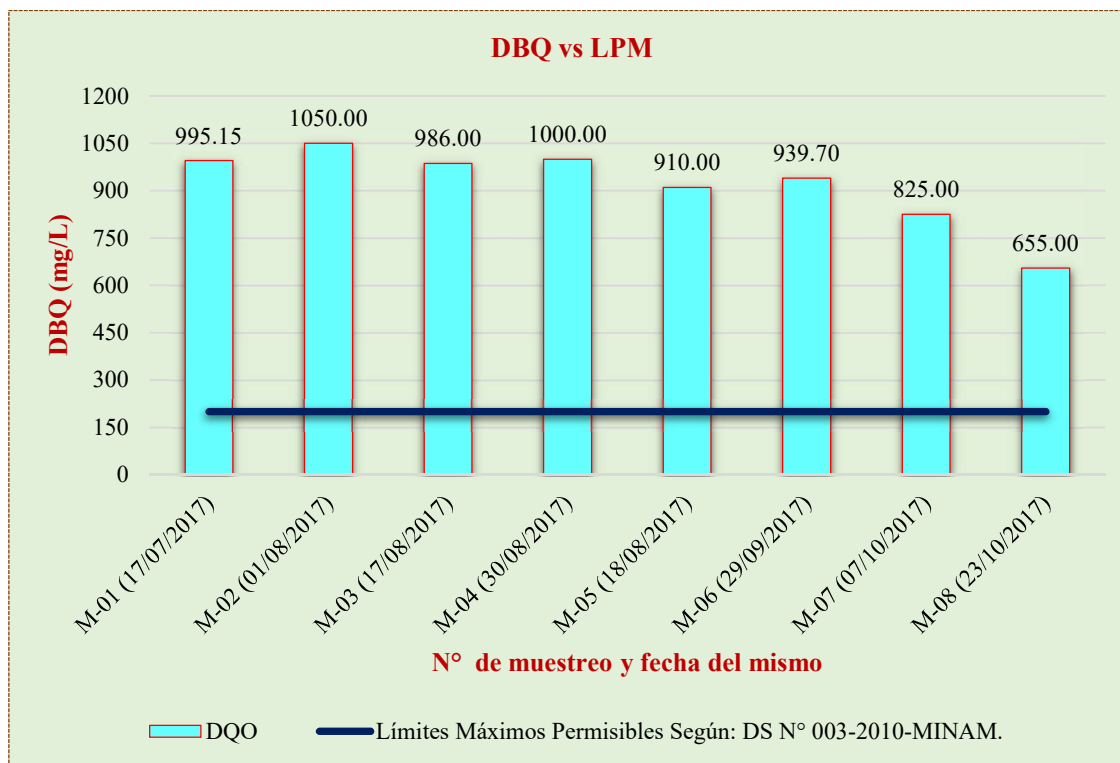


Fuente: Elaboración propia, con base en los resultados de laboratorio

**Demanda química de oxígeno (DQO):** Según los datos obtenidos en durante la duración del monitoreo, se puede observar que la variación de la DQO se encuentra en el rango de 650 mg/l a 1050 mg/l, con un valor medio de 920.11 mg/l. En el Gráfico N° 11, podemos observar que el valor de DBO sobrepasa el límite máximo permisible para descarga a cuerpos de agua dulce que es de 200 mg/l. según el DS N° 003-2010-MINAM, Tabla 7. Por tal motivo, NO CUMPLE con la normativa ambiental vigente.

**Medida de la biodegradabilidad:** La materia orgánica biodegradable se mide en términos de la DBO y la materia orgánica total por la DQO. Si  $DBO_5/DQO$ , es mayor que 0.5, los residuos se consideran tratables mediante procesos biológicos. Por lo tanto, de la caracterización de aguas residuales para la zona en estudio, oscila entre 1.61 y 2.29 con una media de 2.03, se puede determinar que la relación  $DBO_5/DQO$  del agua residual doméstica es biodegradable.

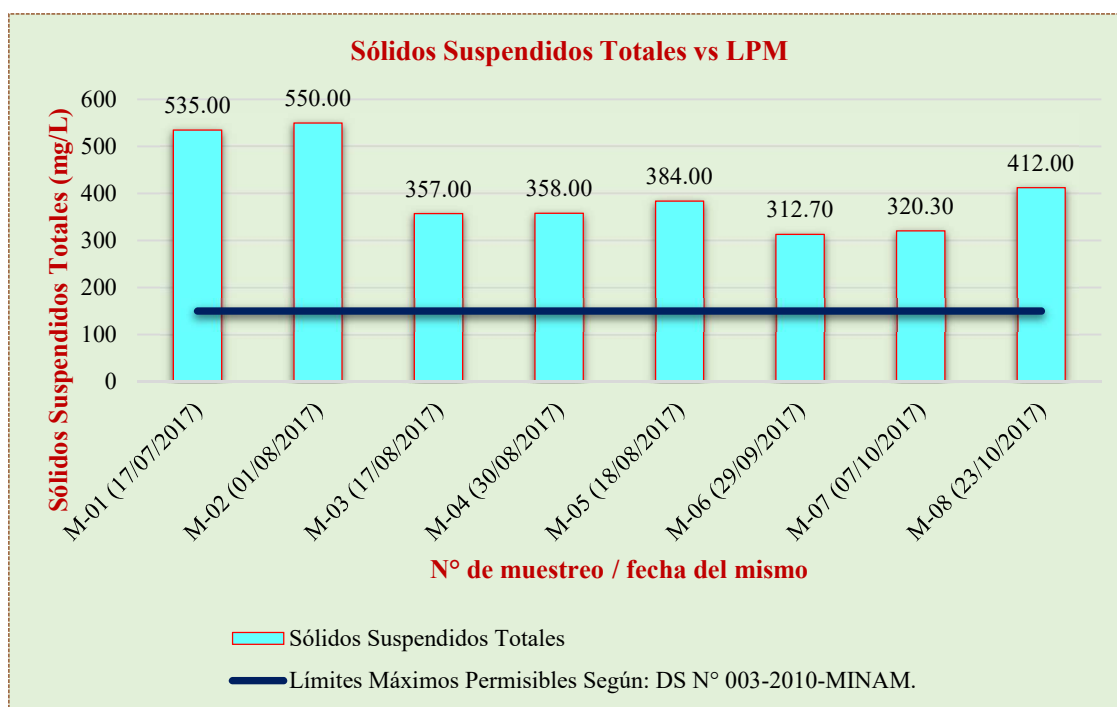
Gráfico N° 11: Variación de la DQO del agua residual Vs LMP



Fuente: Elaboración propia, con base en los resultados de laboratorio

**Sólidos Suspendidos Totales:** La concentración de sólidos en suspensión registrada durante el monitoreo realizado en el estudio, osciló entre 312.70 mg/l a 550 mg/l con un valor medio de 403.60 mg/L. Indicando una gran turbidez en el agua, por lo que no hay sobrevivencia de microorganismos. Encontrándose por encima de 150 mg/L, valor establecido como máximo permisible por el Decreto en mención. En el Gráfico N° 12, se observa la variación de los mismos en comparación con el valor máximo permisible según el DS N° 003-2010-MINAM, Tabla 7. Por tal motivo, NO CUMPLE con la normativa ambiental vigente.

Gráfico N° 12 : : Variación de los sólidos suspendidos totales del agua residual Vs LMP



Fuente: Elaboración propia, con base en los resultados de laboratorio

**d. Análisis y selección de la alternativa de tratamiento que mejor se adecúe a las condiciones que presenta la zona de estudio, a partir de la elaboración de una matriz de decisión.**

- **Primera etapa de evaluación: En función a la Población, requerimiento de área, temperatura y altitud de la zona de estudio.**

Las tecnologías mostradas en el ANEXO N° 11 y ANEXO N° 14, sobre el tratamiento de aguas residuales, resume las condiciones técnicas de cada una, especificando sus alcances y limitaciones en función a las características demográficas y climáticas de la zona de estudio. En la Tabla 27, se presenta los factores demográficos y climáticos de la zona de estudio.

Tabla 27: Factores demográficos y climáticos de la zona de estudio.

Población de estudio	135560 habitantes Proyectados al 2017
Altitud Promedio	2680 msnm
Temperatura	Según los datos de la estación Meteorológica Weberbauer la temperatura máxima media anual es de 22° C y la temperatura mínima anual es de 3° C.
Área disponible	14 hectáreas

Con base, en la Tabla 27 y el ANEXO N° 11, se evaluó las tecnologías antes mencionadas obteniendo los resultados siguientes los mismos que se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28: Primera etapa de evaluación: En función a la Población, requerimiento de área, temperatura y altitud de la zona de estudio.

Tecnología	Población	Requerimiento de Área	Altitud (msnm)	Temperatura	Puesto	Condición
<b>Laguna facultativa con filtro de macrófitas</b>	Mediana / Grande	Alto	Sin Limite	Sin Limite	3	<b>Aplicable</b>
<b>Laguna aireada</b>	Mediana / Grande	Medio	Sin Limite	Sin Limite	2	<b>Aplicable</b>
<b>Lodos activados</b>	Mediana / Grande	Bajo	Sin Limite	Sin Limite	1	<b>Aplicable</b>
<b>Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)</b>	Mediana / Grande	Medio	1500	> 10° C	5	<b>No Aplica</b>
<b>Filtros percoladores</b>	Pequeña	Bajo	1500	> 10° C	4	<b>No Aplica</b>

Después del análisis y comparación de las tecnologías seleccionadas en función a las características demográficas y climáticas de la zona de estudio, se llegará a concluir que los tratamientos que más se adaptan a las condiciones de que presenta la ciudad de Cajamarca son: con base a la Tabla 28, Los tratamientos escogidos por ser los más adecuados en función de los condicionantes antes mencionados y con los realizaremos nuestro estudio de alternativas, son los siguientes:

El sistema de lagunas facultativas con filtro de macrófitas, lagunas aireadas y lodos activados, cumplen con todas las características necesarias para seleccionarlos como una alternativa adecuada para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca, las mismas que fueron la base para la segunda etapa de evaluación y elegir el que más convenga a nuestras necesidades. A diferencia de los sistemas del Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) y los filtros percoladores que no cumplen con las condiciones necesaria, debido a que estas tecnologías son aplicables a poblaciones pequeñas y medianas ciudades, además de ser sensibles a los cambios de temperaturas que se presenta en la zona de estudio. Y por lo tanto no son adecuados para la gran cantidad de habitantes que tiene la ciudad de Cajamarca.

**- Segunda etapa de evaluación: Matriz de selección**

Con el resultado obtenido en la primera etapa de evaluación, se procedió a evaluar las tecnologías que cumplen con las condiciones de la zona de estudio, para ello nos apoyamos en la matriz de evaluación.

Para la evaluación de los procesos de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Cajamarca se consideró once (11) factores básicos, con sus correspondientes valores de ponderación, que suman 100 puntos los mismos que se representa en el ANEXO N° 15.

En la Tabla 29, se presenta la clasificación por rubros evaluados empleando los factores considerados en los criterios de evaluación generales y específicos, los mismos que se ven reflejados en el ANEXO N° 16. De la calificación de los procesos se tiene que, por orden de mérito los resultados son los siguientes:

Tabla 29: Resultado de Evaluación de Procesos de Tratamiento

Orden de merito	Alternativas Evaluadas	Calificación
<b>1ro</b>	Laguna facultativa con filtro de macrófitas	99.00
<b>2do</b>	Lodos activados	73.00
<b>3ro</b>	Lagunas aireadas	65.00

Finalmente, en la Tabla 30, se establece el orden de elegibilidad en función a la a los resultados de la operación de la matriz de decisión los cuales se representan en el ANEXO N° 17, ANEXO N° 18 y ANEXO N° 19.

Tabla 30: Orden de elegibilidad de la operación de la matriz de decisión

Orden de elegibilidad	Alternativas	Calificación
<b>1ro</b>	PROCESO EVALUADO: Laguna facultativa con filtro de macrófitas	86.10
<b>2do</b>	PROCESO EVALUADO: Lodos activados	55.70
<b>3ro</b>	PROCESO EVALUADO: Laguna aireadas	50.10

A continuación, haremos una breve descripción de los resultados obtenidos de acuerdo con los factores de decisión tomados en cuenta en la evaluación tanto generales y específicos: El método de tratamiento de aguas residuales más conveniente según la evaluación compuesta de los datos presentados, con base en la Tabla 29 y Tabla 30, fue el de Laguna facultativa con filtro de macrófitas, obtuvo una puntuación en cada uno de los aspectos evaluados de 99 y 86.10 puntos respectivamente. Como segunda opción tenemos el método de tratamiento utilizando un sistema de lodos activados, con una puntuación de 73 y 55.70 puntos respectivamente. Y como tercera alternativa el sistema de lagunas aireadas con una puntuación de 65 y 50.10 puntos respectivamente. Consideramos que el método de tratamiento de lagunas facultativas con filtro de macrófitas, fue el que obtuvo el mayor puntaje en todos los aspectos evaluados. Además, para la construcción del tratamiento se cuenta con un área de aproximadamente 14 ha, no siendo una limitante al escoger un sistema de lagunas facultativas con filtro de macrófitas.

**e. Establecer bases y criterios de diseño para la alternativa seleccionada a partir de los resultados obtenidos en la matriz de decisión.**

**1. Bases de diseño.**

- **Periodo de diseño:** Considerando la naturaleza del proyecto, se aplicará un horizonte de evaluación de 20 años.
- **Calculo de la Tasa de Crecimiento:** La población de Cajamarca creció desde 80,931 habitantes en el año 1981 hasta 188,363 habitantes en el año 2007. Para efectos del estudio poblacional se ha utilizado los datos correspondientes a las proyecciones censales publicadas por el INEI según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 31: Población dadas por el INEI Distrito de Cajamarca.

Proyección	Población
1981	80,931
1993	117,509
2007	188,363

Fuente: INEI

Determinamos la tasa de crecimiento distrital, con base a la Tabla 31 y la formula (8), se obtuvo el siguiente resultado: **r = 3.43%**

- **Área de Influencia de EPS SEDACAJ S.A.:** Está conformada por seis (06) áreas de drenaje existentes y seis (06) áreas de drenaje proyectadas, ANEXO N° 20 de las cuales son áreas de intervención un total del 60% del área total, las mismas se muestran en el Tabla 32.

Tabla 32: Áreas de Intervención del estudio.

<b>Áreas de Intervención</b>		
<b>Sector</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje del total</b>
AD-01	197.86	8.13%
AD-02	88.57	3.64%
AD-03	433.93	17.83%
AD-04	274.01	11.26%
ADP-01	151.83	6.24%
ADP-04	54.78	2.25%
ADP-05	239.69	9.85%
<b>Total:</b>	<b>1440.68</b>	<b>60.00%</b>

- **Proyección de la población en el ámbito de estudio:** Para la proyección de la población para fines del estudio se consideró el 60% del total de la población del ámbito de influencia de SEDACAJ correspondiente a la población urbana más la población rural, Tabla 33.

Tabla 33: Población Urbana y rural, ámbito de Sedacaj.

<b>DISTRITO DE CAJAMARCA</b>	<b>POBLACIÓN (2007)</b>	
AREA URBANA	150,197	Hab
AREA RURAL	11,093	Hab
<b>TOTAL</b>	<b>161290</b>	<b>Hab</b>

Fuente: INEI 2007.

Determinamos la población de estudio, con base en la Tabla 32, Tabla 33, tasa de crecimiento y la fórmula (7), La población para diferentes períodos del proyecto se presenta en la Tabla 34.

**En cuanto a la población de diseño:** Se determinó mediante el método geométrico, con una tasa de crecimiento de 3.43% anual, con una proyección a 20 años; tomando como base el año 2017 con 135,560 habitantes y la población futura al año 2038 será de 275,118 habitantes según las proyecciones realizadas.

Tabla 34: Población total, cobertura y población servida del área de estudio.

AÑO		Población de estudio (Hab)	Cobertura (%)	Población servida (Hab)
	2,007	96774	-	-
Base	2,017	135560	78.39%	106272
0	2,018	140207	80.00%	112166
5	2,023	165942	95.00%	157645
10	2,028	196401	100.00%	196401
15	2,033	232451	100.00%	232451
20	2,038	275118	100.00%	275118

- **Caudal de diseño:** La cantidad de aguas residuales depende de la población servida o grado de cobertura del sistema de alcantarillado, de la cantidad de agua consumida y el porcentaje de aporte de la misma, con base a la Tabla 34, y las formulas (9), (10), (11) y (12). Los caudales, para diferentes períodos del proyecto se presenta en la Tabla 35.

Tabla 35: Caudales a ser drenados a la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta.

AÑO	Población De Estudio (Hab)	Cobertura (%)	Qmedio		Qmax.horario		Qdiseño	
			lps	m <sup>3</sup> /d	lps	m <sup>3</sup> /d	lps	m <sup>3</sup> /d
	2,007	96774	-	-	-	-	-	-
Base	2,017	135560	148	12487	266	22478	213	17986
0	2,018	140207	156	13181	280	23722	224	18976
5	2,023	165942	219	18527	394	33349	315	26683
10	2,028	196401	273	23079	491	41539	393	33231
15	2,033	232451	323	27309	581	49153	465	39322
20	2,038	275118	382	32326	688	58188	550	46547

En cuanto al caudal de diseño: teniendo como base la población proyectada para el área de estudio y la demanda neta de agua, se calculó un caudal de diseño de 550 l/s para el año 2038, donde el suministro para la planta de tratamiento provendrá de los colectores principales de las aguas residuales generadas en la zona de estudio del proyecto (Fundo Betania).

- **Calidad de las aguas residuales crudas:** En los meses de julio a octubre del 2017, en el marco del presente estudio se realizó el estudio de caracterización de las aguas residuales crudas generadas por la población de la ciudad de Cajamarca, cuyos resultados se presentan en el ANEXO N° 7.



De este modo, para el horizonte del proyecto (2038), la planta de tratamiento propuesta deberá estar en capacidad de tratar las aguas residuales provenientes de 275,118 personas con un caudal de 32,326 m<sup>3</sup>/d, De esta manera, las características del agua residual entre los años 1 al 20 del proyecto podrían tener los valores indicados en la Tabla 36.

Tabla 36: Resumen de los parámetros de cargas contaminantes

Año	Población de estudio(hab)	Qmedio		Qdiseño (lps)		DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	Aceites y Grasas
		Lps	m <sup>3</sup> /d	Lps	m <sup>3</sup> /d	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)	(kg/día)
2,018	135560	156	13461	224	19380	6125	12384	5452	1319
2,023	140207	219	18922	315	27251	8609	17408	7663	1854
2,028	165942	273	23570	393	33938	10724	21684	9546	2310
2,033	196401	323	27890	465	40159	12690	25659	11295	2733
2,038	232451	382	33013	550	47537	15021	30372	13370	3235

En cuanto a la calidad de las aguas residuales crudas, En la Tabla 36, se indica la carga orgánica total de las aguas residuales en el área del proyecto para diferentes años teniendo como referencia el estudio realizado de caracterización de las aguas residuales ANEXO N° 7.

## 2. Criterios y parámetros de diseño de las unidades de tratamiento

- **Pretratamiento:** Teniendo en cuenta la bibliografía citada previamente, se obtuvo los siguientes criterios de diseño,

**Cribado:** los parámetros básicos a tener en consideración por el proyectista para el diseño, se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37: Criterios de diseño de las rejillas de desbaste

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Caudal de diseño	Caudal máximo horario	
Espesor de barras	0.5 - 1.5 cm	0.5 - 1.5 cm
Separación de barras	2.5 - 5.0 cm	1.5 - 7.5 cm
Inclinación a la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de aproximación	0.3 - 0.6 m/s	0.6 - 1.2 m/s
Material retenido	(25)*L/1000m <sup>3</sup>	

\* Para separación de barras = 15 mm.

**Desarenador - desengrasadores:** los parámetros básicos a tener en consideración por el proyectista para el diseño, se muestran en la Tabla 38.

Tabla 38: Criterios de diseño para desarenadores - desengrasadores horizontales

Parámetro	Valor o Rango
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	12 a 16 min (a caudal medio)
Carga superficial	<40 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h (a caudal punta)
Caudal tratado por unidad	0.2 a 0.4 m <sup>3</sup> /seg. (a caudal medio)
Velocidad horizontal	0,02 a 0,07 m/s (a caudal punta)
Relación Longitud/ Ancho	3/1 a 10/1
Profundidad	2 a 5m
Relación Profundidad/ Ancho	1/1 a 3/1
Longitud	7.5 a 25m
Ancho	3 a 8m
Suministro de aire	0.5 a 2.0 m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup> de tanque
Profundidad de los difusores	0.5 a 0.9 m respecto del fondo del tanque
Caudal de diseño	Caudal máximo horario
Densidad de partícula	2.65 gr/cm <sup>3</sup>
Diámetro de partícula	0.20 mm (malla 65)

- **Tratamiento secundario: lagunas facultativas con filtro de macrófitas.**

Con la finalidad de determinar la superficie necesaria para el sistema de tratamiento propuesto, se determinó algunos valores en función a los criterios establecidos para el diseño de un sistema de lagunas con filtro de macrófitas, los mismos que se detallan a continuación:

- **R: Rendimiento unitario de depuración Lagunas con Filtros Verdes Flotantes:** con base en lo mencionado anteriormente, considerando para una depuradora con un tiempo de retención mayor a 20 días, el Oxígeno necesario para degradar y depurar 1 g DBO<sub>5</sub> asciende a 0.3 g O<sub>2</sub> disuelto en el agua. Y la capacidad inyección oxígeno filtros verde flotantes: 22,5 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/día, Por lo tanto, el rendimiento unitario remplazando en la formula (14) es de:

$$R = 75 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$$

- **M: Factor condiciones medioambientales depuradora.** En nuestro caso, se consideró como una depuradora con condiciones medioambientales medias, con base a lo establecido previamente, el valor del factor M sería igual a 1.

- **F: Factor fidelidad datos de diseño.** En nuestro caso, se consideró como una depuradora con fidelidad de datos de diseño alta, el valor del factor F es igual a 0.5.
- **S: Factor margen de seguridad de diseño.** Para el presente estudio, se consideró que el sistema de tratamiento propuesto se diseñara con un margen de seguridad medio, por lo tanto, el valor de factor S es igual a 1.
- **P: Factor masa vegetal Filtros Verde Flotante.** Se consideró, un sistema de implantación de filtros verdes flotantes que consiga a los 6 meses de su crecimiento  $> 40 \text{ kg/m}^2$  por lo tanto el factor P es igual 0.5.
- **Cálculo de factor V (% de depuración necesario para cumplimiento de vertido).** Se consideró que el porcentaje de depuración de DBO5 varia de 75 a 90%, por lo tanto, el valor del factor V es igual a 0.75.
- **Cálculo de factor K (Constante depuración para filtros verdes flotantes).** Para determinar este factor utilizamos la formula (15), la misma que representa el promedio de los factores calculados.: **K = 0.75**

Finalmente, determinamos la superficie total para ello determinamos la DBO, reemplazando los datos en la formula (17), se obtiene lo siguiente: **DBO = 6909084.0 gr/día**

Por lo tanto, según la fórmula (16), se obtiene una superficie necesaria de: **S = 122828.16 m<sup>2</sup> ≈ 12.28 ha**

- **Volumen de la laguna:** Para determinar el volumen de la laguna, se utilizará la ecuación (18), teniendo en cuenta el caudal de diseño para el año 20 del proyecto, Tabla 35. Y la DBO entrante.
- **Determinación de la carga orgánica:** Para determinar la carga orgánica, se utilizará la ecuación (19); teniendo en cuenta los rangos recomendados para la carga por habitante, según la organización mundial de la salud y la norma técnica peruana OS-090, Tabla 39:

Tabla 39: Valores recomendados para la carga orgánica por habitante

Parámetro	Según: OMS (2005)	Según: NTP.OS-090	Unidad
Carga orgánica por habitante	43	50	gDBO/hab.dia

- **Relación Largo/Ancho:** Para determinar la relación L/A de la laguna, se utilizará la ecuación (20), teniendo en cuenta los rangos recomendados, Tabla 40:

Tabla 40: Valores recomendados para el parámetro de la relación L/A

Parámetro	Lagunas facultativas	Lagunas de maduración	Unidad
Carga orgánica por habitante	2 a 4	1 a 3	Adim.

- **Tasa de aplicación superficial:** Para lagunas primarias (que recibe el efluente crudo), la tasa de aplicación superficial se calcula a partir de la DBO afluente, el caudal y el área (Ecuación 21); y para lagunas secundarias se calcula a partir de la tasa de aplicación superficial de la laguna primaria (Ecuación 22). Los valores recomendados de TAS para lagunas facultativas, de maduración y de macrófitas se indican en la Tabla 41.

Tabla 41: Valores recomendados para la tasa de aplicación superficial en lagunas facultativas, de maduración y de macrófitas.

Parámetro	Lagunas facultativas	Lagunas de maduración	Lagunas de macrófitas	Unidad
Tasa de aplicación superficial	100 a 350	150 a 250	< 100	Kg DBO/hab.día

- **Tiempo de retención:** se calcula a partir del área de la laguna, la profundidad útil y el caudal entrante (Ecuación 23). En la Tabla 42, se muestran los valores recomendados de tiempo de retención y profundidad para lagunas facultativas, de maduración y de macrófitas.

Tabla 42: Valores recomendados para el tiempo de retención y la profundidad en lagunas facultativas, de maduración y de macrófitas

Parámetro	Lagunas facultativas	Lagunas de maduración	Lagunas de macrófitas	Unidad
Tiempo de retención	15 a 45	3 a 20	10 a 25	días
Profundidad	1.2 a 2.4	0.8 a 1.2	1.2 a 1.8	metros

- **Coefficiente de remoción de DBO (k):** Los valores recomendados para el coeficiente k se muestran en la Tabla 43, Una vez que se tiene este valor, se hace la corrección a la temperatura real del agua en estudio, para ello se utiliza la fórmula (24).

Tabla 43: Valores de k para una temperatura estándar del agua de 20°C

Tipo de laguna	Unidad	Rango de K	Valor Recomendado	$\theta^*$
Laguna Primaria	d <sup>-1</sup>	0.3 a 0.4	0.35	1.085
Laguna secundaria	d <sup>-1</sup>	0.25 a 0.32	0.30	1.05

(\*) en función al valor recomendado

- **Criterios de selección del tipo de macrófitas:** los criterios más importantes a tener en cuenta son:
  - Que sean de crecimiento rápido. En este punto influyen factores ambientales como la luz, temperatura, etc. Hay que tener en cuenta que el crecimiento disminuye durante la época invernal.
  - Que las raíces se desarrollen y crezcan rápidamente. Normalmente se extienden en relación con la presencia de nutrientes, profundizando más conforme éstos disminuyen.
  - Efecto de la salinidad. Interesa que sean resistentes. La salinidad del agua que se trata en las lagunas varía a lo largo del proceso de tratamiento debido a las reacciones. Por lo general, y debido también a que los largos períodos de retención originan pérdidas por evaporación, la salinidad del efluente suele ser mayor que la del influente.
  - Que tengan un alto rendimiento en la clarificación y eliminación de nutrientes.
  - Que sean fáciles de recolectar. Normalmente, son más fáciles de recolectar las plantas flotantes que las enraizadas emergentes.
  - Que tengan una utilidad posterior (como forraje, producción de biogás, etc.).
  - Que sean de fácil control.
  - Y la más importantes, que se encuentre perfectamente adaptada en la región y que sea de fácil obtención.

La selección de la especie de macrófitas a utilizar, el ingeniero proyectista deberá de tener en cuenta, los criterios de selección mencionados previamente. Mediante el análisis de las diferentes typhas existentes, se recomienda que la macrófita a utilizar sea de la familia typha dominguensis (Nombre común: la totora), la misma que se puede encontrar actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales existentes de la ciudad de Cajamarca y también en la Laguna San Nicolas a 3300 msnm.

**Impermeabilización: Criterios de selección para revestimientos sintéticos (geomembranas):** Existen, una gran variedad de membranas sintéticas, las que se pueden dividir en los siguientes grandes grupos por su fabricación:

- De plásticos (PVC, HDPE y LLPE)
- De bentonita y geotextil

El primer requisito para la selección de una geomembrana es su resistencia química. Se debe considerar para el tratamiento de aguas residuales, una vida útil de 20 años. Así, por su resistencia las membranas de HDPE (polietileno de alta densidad) son las preferidas. La selección del tipo de membrana para una obra particular debe tomar en cuenta múltiples factores. Los principales criterios de selección en orden decreciente de importancia son:

- Alta resistencia a la tensión, flexibilidad y elongación sin falla
- Resistencia a la abrasión, al punzonamiento y a los efectos de agua de desecho.
- Buena resistencia al intemperismo
- Inmunidad al ataque de bacterias y hongos
- Color: Negro (para resistir la acción de los rayos ultravioletas)
- Espesor mínimo: 0.4 mm
- Composición uniforme y ausencia de defectos físicos
- Resistencia variaciones de temperatura y a condiciones ambientales
- Reparación fácil
- Económica

- **Desinfección por cloración:** Luego de concluido el tratamiento biológico del agua residual y como medida de control de los microorganismos patógenos, se ha proyectado la desinfección del agua residual tratada mediante la desinfección por cloración, los criterios de diseño de muestran en la Tabla 44.

**Tabla 44: Criterios de diseño para la desinfección por cloración**

<b>Características</b>	<b>Valor o Rango</b>
Caudal de diseño	Caudal máximo horario
Tipo de desinfectante	Cloro gas
Tiempo de retención hidráulico	15min (para Qmaxh)
Dosificación de cloro	6 a 8ppm
Punto de dosificación	Ingreso a cámara de contacto

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia. En la bibliografía citada, los criterios de diseño que el ingeniero proyectista debe de tener en cuenta se muestran en la Tabla 44.

- **Descarga al rio (Calidad del agua residual tratada):** El efluente tratado será descargado al Rio San Lucas y consecuentemente al Rio Mashcón, por esta razón se ha considerado que el tratamiento que se dará a las aguas residuales domésticas de la zona en estudio, debe garantizar que los contaminantes bacterianos y la materia orgánica contenidos en el efluente de las aguas residuales tratadas, se reduzcan a niveles mínimos. De acuerdo con lo expuesto anteriormente la calidad del agua residual a ser obtenido en el sistema de tratamiento debiera cumplir con los valores que estable el DS N° 003-2010-MINAM, Tabla 7.
- f. Descripción del tren de procesos de tratamiento considerados para la zona de estudio, en base a la alternativa seleccionada.**

Después de la evaluación de las alternativas de tratamiento y seleccionar la más idónea para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la zona de estudio, pasamos a describir el tren de procesos de tratamiento considerados en el estudio, el sistema de tratamiento seleccionado se integró en lo fundamental con procesos unitarios del tipo biológico (sistema de lagunas con filtro de macrófitas), con el fin remover materia orgánica, sólidos suspendidos, y eliminar microorganismos patógenos y parásitos.

Con base en lo descrito, la planta estará integrada por las siguientes unidades de tratamiento:

- Pretratamiento (Cribado, Desarenador - desengrasador).
- Tratamiento Secundario, conformado por (03 Lagunas primarias con filtro de macrófitas y 03 Lagunas secundarias con filtro de macrófitas).
- Desinfección por cloración.
- Descarga al río.

## 1. Descripción del pretratamiento

Las aguas residuales antes de su tratamiento propiamente dicho, se someten a un pretratamiento, que comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objetivo separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias, que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores del tratamiento.

El correcto diseño y posterior mantenimiento de la etapa de pretratamiento son aspectos de gran importancia, pues cualquier deficiencia en los mismos repercutirá negativamente en el resto de las instalaciones, originando obstrucciones de tuberías, válvulas y bombas, desgaste de equipos, formación de costras, etc.

Dentro del pretratamiento se incluyen las operaciones de separación de grandes sólidos, rejas, tamizado y desarenado-desengrasado. Se ha considerado la medición de caudal en este rubro, con la finalidad de establecer la necesidad de la construcción de las cámaras de equalización de caudales.

**Rejas:** El objetivo de las rejas es la eliminación de los sólidos de pequeño y mediano tamaño (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) que de otro modo podrían deteriorar o bloquear los equipos mecánicos y obstruir el paso de la corriente de agua. El procedimiento más usual consiste en hacer pasar las aguas a través de rejas que, de acuerdo con la separación entre los barrotes, pueden clasificarse en:

Rejas de gruesos: el paso libre entre los barrotes es de 50 a 100 mm.

Rejas de finos: el paso libre entre los barrotes es de 10 a 25 mm.



En función de su geometría, las rejas pueden ser rectas o curvas y, según como se ejecute la extracción de los residuos retenidos en los barrotes, se distingue entre rejas de limpieza manual, Figura 9 y rejas de limpieza automática, Figura 10.



Figura 9: Rejas y rejillas de limpieza manual y su operación, respectivamente



Figura 10: Rejas y rejillas de limpieza automáticas

En la Tabla 37, se indican los criterios de diseño que el proyectista deberá tener en cuenta para emplearlo en este proyecto para el dimensionamiento del sistema de rejillas.

**Desarenado-Desengrasado:** La operación de desarenado tiene por objetivo la eliminación de materias pesadas de tamaño superior a 0.2 mm, para evitar que sedimenten en canales y conducciones y para proteger a las bombas y otros elementos de la abrasión. Aparte de las arenas propiamente dichas, en esta operación se eliminan también gravas y partículas minerales, así como elementos de origen orgánico, no putrescibles (granos de café, semillas, huesos, cáscaras de frutas y huevos, etc.). El desengrasado tiene como objetivo alcanzar la emulsión de las grasas para su retirada en superficie.

La etapa de desarenado - desengrasado se desarrollarán en una arqueta conjunta en la cual las arenas decantan por la acción de la gravedad, y las grasas son recogidas en superficie con la aireación artificial que se lleva a cabo para conseguir su desemulsión y lograr una mejor flotación de las mismas.

La arqueta estará dotada de puente móvil que se desplaza longitudinalmente a lo largo de la misma. La mezcla arena-agua es impulsada a un canal lateral que la transporta a un contenedor. Los flotantes se envían, generalmente por gravedad a contenedor.

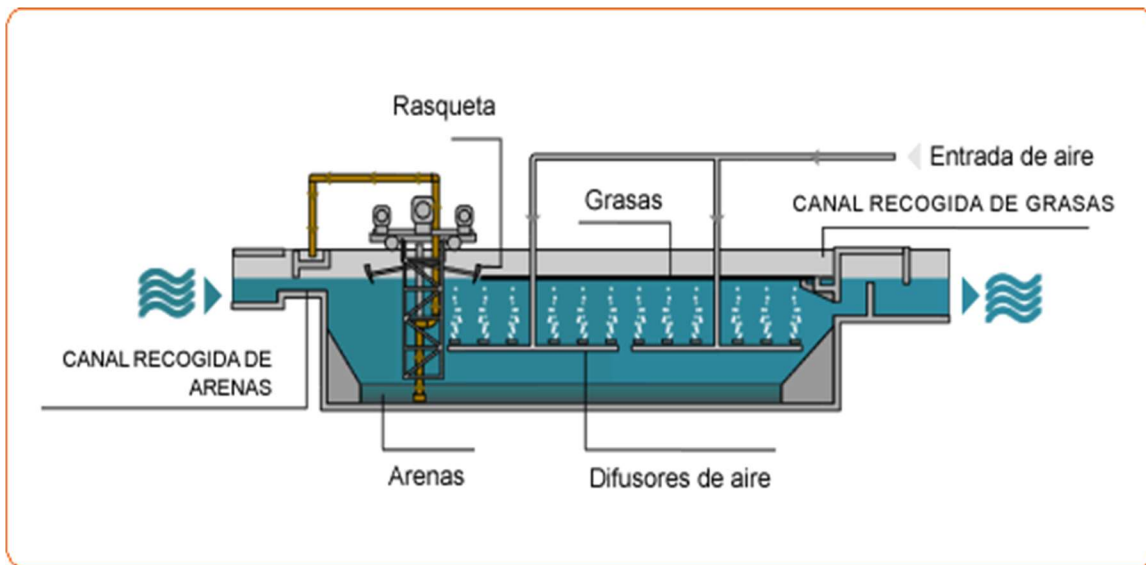


Figura 11: Esquema de tratamiento de desarenado - desengrasado

En la Tabla 38, se indican los criterios de diseño que el proyectista deberá tener en cuenta para emplearlo en este proyecto, para el dimensionamiento del sistema de Desarenado-Desengrasado.

### Rendimiento del pretratamiento

Lo establecido en bibliografía especializada y la experiencia en plantas de tratamiento similares arroja los siguientes resultados:

- Eliminación DBO5 : 10 - 15 %
- Eliminación de SS : 15 - 25 %
- Retención arenas : 90 %
- Rendimiento de grasas : 90 %

Sin embargo, en el diseño de las alternativas, se considera que en el pretratamiento no se va a alcanzar rendimiento indicado de eliminación de materia orgánica ni sólidos en suspensión, se asumirá un 5 %, con el fin de estar del lado de la seguridad en el diseño de todo el proceso. En cuanto a eliminación de arenas y grasas, se ha considerado para ambos el 90 % gracias a los elevados rendimientos de reducción que se alcanzan en los sistemas conjuntos dotados de aireación.

## **2. Descripción del tratamiento secundario: lagunas con filtro flotante de Macrófitas**

Las plantas acuáticas macrófitas han sido utilizadas para la depuración de aguas residuales de una manera muy eficiente. El mecanismo que emplean las plantas para sacar del agua residual el contaminante es el siguiente: las plantas acuáticas tienen la propiedad de inyectar grandes cantidades de oxígeno hacia sus raíces. El aire que no es aprovechado por la especie y que ésta expele es absorbido por microorganismos como bacterias y hongos que se asocian a la raíz y se encargan de metabolizar los contaminantes que entran en el sistema. Se ha comprobado que estas plantas acuáticas son capaces de asimilar y descomponer nutrientes, materia orgánica e inorgánica.

El sistema de lagunas, será distribuido en 3 series en total, con la misma capacidad para cada una (185 l/s/serie).

Los criterios y parámetros de diseño a tener en cuenta para el diseño de un sistema de lagunas con filtro verde de macrófitas se encuentra en el ítem 3.4.4

### **Laguna facultativa primaria+ filtro verde flotante (macrófitas)**

El agua procedente del pretratamiento entrará a esta laguna, distribuida de forma uniforme para un correcto reparto del caudal. La laguna facultativa primaria, tendrá una profundidad adecuada y se implantará sobre la superficie de la lámina de agua un filtro verde flotante (macrófitas).

### **Laguna facultativa secundaria+ filtro verde flotante (macrófitas)**

El agua procedente de la laguna de la laguna facultativa primaria, entrará a esta laguna por rebose distribuida de forma uniforme para un correcto reparto del caudal. La laguna facultativa tendrá una profundidad media de 2,0 m y se implantará sobre la superficie de la lámina de agua un filtro verde flotante (macrófitas).

### **3. Tratamiento terciario: desinfección**

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente.

La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua turbia será tratada con menor éxito especialmente con luz ultravioleta si la materia sólida presente blindada los organismos, o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz.

Para el presente estudio, se seleccionó el método de desinfección con cloro, debido a las siguientes razones:

- Costo requerido más bajo.
- Su obtención es fácil.
- Es posible un período largo de almacenamiento, por lo tanto, es apropiado para un sistema de respaldo.
- El hipoclorito de sodio es caro. El período efectivo de almacenamiento es alrededor de 10 días debido a su descomposición a  $Cl_2$  gas. No es apropiado para un sistema de respaldo.
- Los costos de construcción y de O&M son mayores que para el caso del cloro. Las lámparas deben ser limpiadas y cambiadas regularmente. No se considera apropiado para el Proyecto

Los criterios de diseño para el sistema de desinfección por cloración que el ingeniero proyectista debe tener en cuenta, se muestran en la Tabla 44.

#### **Rendimientos de diseño**

- Eliminación DBO<sub>5</sub> y DQO : 30 %
- Eliminación de SS : 30 %
- Eliminación Coliformes : 99.9 %

#### **4. Disposición del efluente: descarga al río**

La Autoridad Nacional del Agua autoriza el vertimiento de agua residual tratada en cuerpos naturales de agua continental o marina si es que estas cumplen los estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA) y de los límites máximos permisibles (LMP) indicado en el DECRETO SUPREMO N° 002 -2008 – MINAM, Tabla 8.

Para autorizar el vertimiento de agua residual se debe cumplir las siguientes condiciones:

- El agua residual debe estar sometida a un tratamiento previo, el cual logre que esta cumpla con los LMP aplicables y no se infrinja los ECA.
- Las condiciones del cuerpo receptor (continental o marino) permitan los procesos naturales de purificación, esto deberá ser demostrado por estudios.
- No cause perjuicio a otro uso en cantidad ni en calidad de agua.
- No se afecte la conservación del ambiente acuático, presentándose mediante estudios.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las principales conclusiones de la investigación que constituyen una visión global en torno a los principales resultados del trabajo, así como de los objetivos que fueron planteados.

- El área estudio corresponde a las áreas de Drenaje AD -1, AD-2, AD-3, AD-4, ADP-1, ADP-4 y ADP-5 con una superficie total de 1440.68 ha. según la división de áreas de drenaje por la EPS Sedacaj S.A, cuyas aguas residuales son descargadas a través de los Colectores existentes “Norte, Ingenio, Inca y Capañac” a la zona del fundo Betania.
- Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico detallados en la Tabla 24 y ANEXO N° 7, dan como resultado que ciertos parámetros están fuera del límite máximo permisible, tales como: Los coliformes termotolerantes ( $1.54 \times 10^{10}$  NMP/100ml), Sólidos Suspendedos (403.63 mg/L), Aceites y Grasas (97.86 mg/L), DQO (920.11 mg/L), DBO<sub>5</sub> (454.16 mg/L), los únicos resultados que están dentro del rango de los límites máximos permisibles son pH (8.21 unidades) y la Temperatura (22.63° C), siendo la tabla comparativa el DS N° 003-2010-MINAM, Tabla 7. Con base a lo mencionado previamente, se aprecia que la calidad de las aguas de los ríos San Lucas y Mashcón son seriamente afectados por los vertimientos de las aguas residuales crudas de la ciudad de Cajamarca.
- En cuanto al clima, la ciudad de Cajamarca en general presenta temperaturas y humedades muy variables, por su parte la media anual de temperatura máxima y mínima es 21.8°C y 7.8°C, respectivamente, con precipitación de 54.9 mm promedio mensual y de 657.30 mm promedio anual; el área destinada para la construcción de la PTAR presenta un área de 16 ha. ubicado en una cota promedio de 2680.00 m.s.n.m lo cual permite atender el tratamiento de las aguas residuales de la zona en estudio en un 60% por gravedad del área de influencia de Sedacaj.

- En cuanto, a seleccionar la alternativa de tratamiento que mejor se adapte a las condiciones que presenta la zona de estudio; fue escogida en función de las características del agua residual, parámetros ambientales, características de la zona por ello se evaluó a través de una matriz de decisión la alternativa más adecuada en cuanto al tratamiento secundario de las aguas residuales obteniendo los siguientes resultados: el sistema de Laguna facultativa con filtro de macrófitas, la misma que obtuvo una puntuación en cada uno de los aspectos evaluados de 99.00 y 86.10 puntos respectivamente. Como segunda opción tenemos el método de tratamiento utilizando un sistema de lodos activados, con una puntuación de 73 y 55.70 puntos respectivamente. Considerando, que el método de tratamiento de lagunas facultativas con filtro de macrófitas, fue el que obtuvo el mayor puntaje en todos los aspectos evaluados, cumpliendo con todas las características necesarias para ser seleccionada como una alternativa adecuada y eficiente para el tratamiento de las aguas residuales de la zona de estudio en la ciudad de Cajamarca.
  
- Con la información recolectada se determinaron las bases y criterios de diseño para una planta capaz de dar tratamiento a los efluentes domésticos vertidos en la zona del fundo Betania de la ciudad de Cajamarca; se determinó los siguientes parámetros:
  - Tasa de crecimiento poblacional: 3.43 %.
  - Tiempo de vida de la planta de tratamiento: 20 años
  - Población del área de estudio al año 2038 será de 275,118 habitantes.
  - Caudal medio de contribución sanitaria (año 2038):  $Q_{\text{medio}} = 382$  lps.
  - Caudal de diseño (año 2038):  $Q_{\text{diseño}} = 550$  lps.
  - Aporte per cápita de aguas residuales domésticas al año 2017 es: 120 lpd
  - Aporte per cápita de DQO al año 2017 es de 921 mg/l
  - Aporte per cápita de DBO<sub>5</sub> al año 2017 es de 455 mg/l,
  - Relación de biodegradabilidad, DQO/DBO = 2.02
  - Masa de descarga de contaminantes, tales como DBO, DQO y sólidos totales suspendidos (kg/día): DBO<sub>2018</sub>=6125, DBO<sub>2028</sub>=10724, DBO<sub>2038</sub>=15021, DQO<sub>2018</sub>=12384, DQO<sub>2028</sub>=17408, DQO<sub>2038</sub>=30372 y SST<sub>2018</sub>=5452, SST<sub>2028</sub>=9546, SST<sub>2038</sub>=13370.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que EPS SEDACAJ, ubique y fiscalice las industrias lácteas y se establezca los Valores Máximos Admisibles para las descargas a colectores públicos, caso contrario se estaría asumiendo tratar un desagüe de alta concentración implicando mayores costos de operación, mantenimiento y de inversión en infraestructura de tratamiento, con pago de todos los usuarios, especialmente de la población.
- Es fundamental realizar la construcción de una planta de tratamiento que permita tratar las aguas residuales descargadas en la zona del fundo Betania de la ciudad de Cajamarca y así evitar los vertimientos directos e indirectos a los ríos San Lucas y Rio Mashcón, y en consecuencia problemas de olores, enfermedades y otros.
- La Universidad Nacional de Cajamarca debe impulsar la investigación en estos temas a fin de contar con soluciones óptimas al tratamiento de las aguas, líquido elemento que ha sido tema de conflictos sociales en el departamento de Cajamarca. Ya que la calidad de vida de la población depende directamente de la salud y la salud depende de la calidad del agua y alimentos que consumimos.
- Es importante que los parámetros de diseño con los que se diseñe una planta de tratamiento de aguas residuales sean idóneos, porque errores en los cálculos de diseño pueden ser causantes de fallas cuando entre en operación la PTAR.
- Por otra parte, se debe de considerar proyectos de mejora del sistema de alcantarillado de la ciudad de Cajamarca, el cual sea de tipo separativo con las aguas pluviales ya que estas pueden causar el colapso de tuberías y de la planta de tratamiento.



## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### - BIBLIOGRAFIA

1. ALAERTS, G. J., (1995) Wastewater treatment. Tratamiento de aguas residuales, presentado en “Curso-Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”. Universidad del Valle. Santiago de Cali: s.n., pág. 96.
2. ALMEIDA DE SOUZA, Marco Antonio., (1997). Metodología de análisis de decisiones para seleccionar alternativas e tratamiento y uso de aguas residuales. Dpto. de Ingeniería civil, Universidad de Brasilia.
3. ARCE JÁUREGUI, Luis Francisco.,(2013). Urbanizaciones Sostenibles: Descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales. Lima: s.n., pág. 120.
4. ARAGÓN CAICEDO, Ferney., (1999). Selección de tecnología sostenible para la disposición de aguas residuales. Santiago de Cali.
5. CASTRO ARROYO, Paola Isabel., (2003). Selección de alternativas sostenibles para el tratamiento de aguas residuales municipales en Colombia. Cali: s.n.
6. CINTRÓN MARTINEZ, José miguel., (2007). TRATAMIENTO DE AGUAS RESUDIALES DOMESTICAS. UNIVERSIDD RAFAEL URDANETA. Maracaibo, Venezuela: s.n., pág. 116, Tesis de grado.
7. CONIL, Philippe y JIMENEZ, Mario., (1996). Tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales domésticas con reactores. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
8. Guevara A., (1996). Métodos de Análisis para la Evaluación de la Calidad del Agua CEPIS/OPS/OMS. Lima – Perú.
9. GONZÁLEZ SOBALVARRO, José Adolfo., (1997). Contribución para el análisis de alternativas de tratamiento de aguas residuales para ciudades de pequeño o mediano tamaño. Universidad federal de Sao Carlos - Brasil.
10. HERNÁNDEZ IBARS, Josefa Esmeralda., (1993). Diseño de las unidades de tratamiento de aguas residuales. Veracruz: s.n., pág. 206.

11. MARÍN GALVÍN, Rafael., (2005). Procesos fisicoquímicos en depuración de aguas. Teoría, práctica y problemas resueltos. Madrid: Editorial: Díaz de Santos.
12. MONREAL, ARRIAGADA ALONSO., (2008). Tecnologías para el tratamiento de olores en aguas servidas. Santiago: s.n., pág. 126.
13. METCALF y EDDY., (1995). Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. 3ra. Madrid: s.n., pág. 1505. Vol. I.
14. MVCS, Oficina de Medio Ambiente., (2013). Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales. Lima.
15. NOYOLA, Adalberto y MORGAN SAGASTUME, Juan Manuel y GÜERECA, Leonor Patricia., (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. 1ra. Cartagena: s.n., pág. 140.
16. VAN HAANDEL, Adrianus C. y LETTINGA, Gatzke., (1994). Tratamiento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente. Campiña Grande.
17. ROLIM MENDOZA, Sergio., (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. s.l.: Editorial: Mc. Graw Hill.
18. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto., (2008). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3ra. Bogotá: s.n., pág. 1247.
19. RIVAS LOZANO, William Antonio., (2012). Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales. Bogotá.
20. ROJAS VARGAS, Ricardo., (2002). GETIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. CEPIS/OPS-OMS., pág. 190.
21. QUIROZ PEDRAZA, Pedro Alexis., (2009). Planta de tratamiento de aguas residuales. Departamento de química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima: Perú, pág. 178, Tesis de Grado.
22. PEREZ ALARCON, Fausto Emir y CAMACHO ALCALA, Kathya Lizeth., (2011). Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas. Tuxpan.

23. SÁNCHEZ, Rebeca M. y LÓPEZ EUDORO, Blanco Henry., (2006). ANALISIS PROBABILISTICO EN LA EVALUACION DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES (STLRs). Planta Experimental del Tratamiento de Aguas, Universidad Central de Venezuela (UCV). Caracas: s.n., pág. 120.
24. VON SPERLING, Marcos y CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos., (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions., pág. 856. Vol. I.
25. YÁNEZ COSSIO, Fabián., (1992). Criterios para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales. Lima: s.n., pág. 30.

**- LINGÜÍSTICA**

1. CONAGUA., (2007). Manual De Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento: Sistemas Alternativos De Tratamiento De Aguas Residuales. pág. 277. Disponible en: <http://www.cecodes.net/manuales/MANUAL%20DE%20AGUA%20POTABLE,%20ALCANTARILLADO%20Y%20SANEAMIENTO.pdf>
2. LUNA, Ana Eugenia., (2005). Teoría de la confiabilidad. Departamento de Física, Universidad de Buenos Aires., pág. 30. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/268411762\\_TEORIA\\_DE\\_LA\\_CONFIABILIDAD](https://www.researchgate.net/publication/268411762_TEORIA_DE_LA_CONFIABILIDAD)
3. RAMALHO SETTE, Rubens., (1996). Tratamiento de aguas residuales. 2da. Barcelona: Reverte, pág. 716. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/65356088/R-S-Ramallo-Tratamiento-de-Aguas-Residuales>

**- OTROS**

1. DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK., (2006). Manual de Tratamiento de Aguas Negras. [ed.] Limusa (Noriega Editores). pág. 303.
2. OEFA., (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Lima: s.n., pág. 42.
3. RNE, Reglamento Nacional de Edificaciones., (2009). NORMA OS 090: PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
4. SINIA., (2008). Tratamiento y reusó de aguas residuales - Parte 2. Lima: s.n., pág. 57.

## VII. ANEXOS

### ANEXO N° 1: Panel fotográfico del muestreo de aguas residuales



**ANEXO N° 2: Ejemplo de implantación de macrófitas en un sistema de lagunas (PTAR la Barquita - República dominicana)**



**ANEXO N° 3: Ejemplo de tanque de contacto para desinfección de aguas residuales tratadas.**



ANEXO N° 4: Parámetros medidos in situ de las aguas residuales.



**CONSTANCIA**

La EPS SEDACAJ S.A. – Cajamarca, a través de la División de Calidad de Agua da constancia a los resultados de análisis de muestras de aguas residuales tomadas en el lugar denominado fundo Betania – colector el inca, en la ciudad de Cajamarca, que se realizaron en nuestro laboratorio, las cuales fueron extraídas del Bz-3514 por el Sr. Ever Ivan Alvites Rodriguez, identificado con DNI N°47165656, bachiller de la E.A.P. de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Nacional de Cajamarca, en coordinación con el docente de la universidad nacional de Cajamarca MSc. Ing. Juan Carlos Flores Cerna (ingeniero químico) obteniendo los siguientes datos medidos en campo. Los cuales se presentan en la tabla adjunta.

Tabla 1: Resultados obtenidos en campo

N° de Muestreo	Día fecha de muestreo	Hora	pH	Temperatura	Conductividad	STD	Caudal
				(°C)	µS	mg/L	L/s
1ro	Lunes, 17 de Julio de 2017	10:30	8.36	21.4	1193	895	73.63
2do	Martes, 1 de Agosto de 2017	15:10	7.72	26.5	1510	1070	84.53
3ro	Jueves, 17 de Agosto de 2017	09:30	8.31	19.8	1288	917	86.58
4to	Miércoles, 30 de Agosto de 2017	09:00	8.49	21.6	1224	877	106.50
5to	Lunes, 18 de Setiembre de 2017	10:20	8.34	22.3	1224	870	91.23
6to	Viernes, 29 de Setiembre de 2017	08:20	8.40	22.4	1143	814	91.23
7mo	Sábado, 7 de Octubre de 2017	08:50	8.10	21.4	1420	855	100.63
8vo	Lunes, 23 de Octubre de 2017	14:30	7.92	25.6	1480	1065	80.83

A continuación, se procede a dar fe de lo antes mencionado por las partes que en ella intervinieron.

Responsables:

Cajamarca, 20 de noviembre del 2017

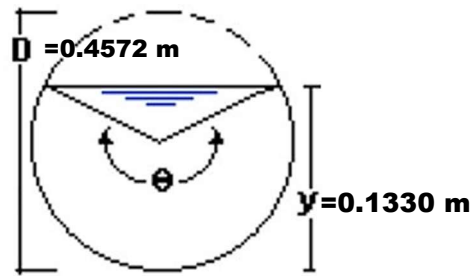


.....  
 Ing. Marco Narro Centurion  
 CONTROL DE CALIDAD  
 EPS SEDACAJ S.A.

.....  
 MSc. Ing. Juan Carlos Flores Cerna  
 DOCENTE – UNC

.....  
 Ever Ivan Alvites Rodriguez  
 TESISISTA

ANEXO N° 5: Cálculo de caudales instantáneos en la toma de muestras – método directo



Calculamos el grado central  $\theta$  en radianes: Reemplazamos datos de diámetro y tirante en la Ecuación (1)

$$\theta = 2\arcsin\left(1 - \frac{2 * 0.133}{0.4572}\right) = 2.2787 \text{ rad}$$

Calculamos el área mojada: Reemplazamos el Angulo  $\theta$  y el diámetro de la tubería en la Ecuación (2)

$$A_m = \frac{0.4572^2}{8} (2.2787 - \sin 2.2787) = 0.0397 \text{ m}^2$$

Calculamos el perímetro mojado: Reemplazamos el Angulo  $\theta$  y el diámetro de la tubería en la Ecuación

(3)

$$P_m = 2.2787 \times \frac{0.4572}{2} = 0.5209 \text{ m}$$

Calculamos el radio Hidráulico: Reemplazamos los resultados del  $A_m$  y  $P_m$  en la ecuación (4)

$$R_H = \frac{0.0397}{0.5209} = 0.0762 \text{ m}$$

Calculamos la velocidad: Reemplazamos los resultados del  $R_h$ , pendiente y  $n$  de Manning en la ecuación

(6)

$$V = \frac{1}{0.013} 0.0762^{2/3} 0.01850^{1/2} = 1.8804 \text{ m/s}$$

Finalmente, tenemos el caudal: reemplazando el valor de la velocidad en la ecuación (6)

$$Q = 0.0397 \times 1.8804 = 0.0746 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

ANEXO N° 6: Resultado de caudales medidos los días del muestreo

N° de Muestreo	Día , fecha de muestreo	Tiempo	Tirante	Tirante	Caudal	Caudal
		Hora	(cm)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(L/s)
1ro	lunes, 17 de Julio de 2017	10:30	13.30	0.133	0.0747	74.70
		10:45	13.10	0.131	0.0725	72.50
		11:00	13.60	0.136	0.078	78.00
		11:15	12.80	0.128	0.0693	69.30
<b>Qpromedio:</b>					<b>0.0736</b>	<b>73.63</b>
2do	martes, 1 de Agosto de 2017	15:10	14.40	0.144	0.0871	87.10
		15:25	13.90	0.139	0.0814	81.40
		15:40	13.80	0.138	0.0802	80.20
		15:55	14.60	0.146	0.0894	89.40
<b>Qpromedio:</b>					<b>0.0845</b>	<b>84.53</b>
3ro	jueves, 17 de Agosto de 2017	09:30	14.80	0.148	0.0918	91.80
		09:45	13.70	0.137	0.0791	79.10
		10:00	14.40	0.144	0.0871	87.10
		10:15	14.50	0.145	0.0883	88.30
<b>Qpromedio:</b>					<b>0.0866</b>	<b>86.58</b>
4to	miércoles, 30 de Agosto de 2017	09:00	16.30	0.163	0.1102	110.20
		09:15	15.60	0.156	0.1015	101.50
		09:30	15.50	0.155	0.1002	100.20
		09:45	16.60	0.166	0.1141	114.10
<b>Qpromedio:</b>					<b>0.1065</b>	<b>106.50</b>
5to	lunes, 18 de Setiembre de 2017	10:20	15.20	0.152	0.0966	96.60
		10:35	14.90	0.149	0.093	93.00
		10:50	15.40	0.154	0.099	99.00
		11:05	14.70	0.147	0.0906	90.60
<b>Qpromedio:</b>					<b>0.0948</b>	<b>94.80</b>
6to	viernes, 29 de Setiembre de 2017	08:20	15.10	0.151	0.0954	95.40
		08:35	14.30	0.143	0.0859	85.90
		08:50	14.70	0.147	0.0906	90.60
		09:05	14.90	0.149	0.093	93.00
<b>Qpromedio:</b>					<b>0.0912</b>	<b>91.23</b>
7mo	sábado, 7 de Octubre de 2017	08:50	15.80	0.158	0.1039	103.90
		09:05	16.30	0.163	0.1102	110.20
		09:20	14.60	0.146	0.0894	89.40
		09:35	15.40	0.154	0.099	99.00
<b>Qpromedio:</b>					<b>0.1006</b>	<b>100.63</b>
8vo	lunes, 23 de Octubre de 2017	14:30	14.30	0.143	0.0859	85.90
		14:45	13.70	0.137	0.0791	79.10
		15:00	13.50	0.135	0.0769	76.90
		15:15	13.90	0.139	0.0814	81.40
<b>Qpromedio:</b>					<b>0.0808</b>	<b>80.83</b>



ANEXO N° 7: Resultados de los análisis Fisicoquímicos y microbiológicos proporcionados por la EPS Sedacaj S.A.



INFORME DE ANÁLISIS FISIQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

SOLICITANTE : EVER IVAN ALVITES RODRIGUEZ  
 TIPO DE MUESTRA : Agua residual domestica  
 PROCEDENCIA : Buzón existente N° 3514 – colector el inca – Fundo Betania – Ciudad de Cajamarca.  
 PERIODO DE MUESTREO : Julio – Agosto 2017

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FISIQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

CÓDIGO DE MUESTRA	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	M-06	M-07	M-08	Límites Máximos Permisibles Según: DS N° 003-2010-MINAM.	
FECHA DE MUESTREO	17/07/2017	01/08/2017	17/08/2017	30/08/2017	18/09/2017	29/09/2017	07/10/2017	23/10/2017		
HORA DE MUESTREO	10:30	15:10	09:30	09:00	10:20	08:20	08:50	14:30		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS								
Aceites y Grasas	mg/L	117.00	94.00	96.00	100.00	90.00	98.90	90.00	97.00	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	24x10 <sup>0</sup>	75 x 10 <sup>0</sup>	24x10 <sup>0</sup>	24x10 <sup>0</sup>	24x10 <sup>0</sup>	11x10 <sup>0</sup>	35x10 <sup>0</sup>	35x10 <sup>0</sup>	10000
DBO5	mg/L	459.20	520.00	436.00	498.00	400.00	411.00	511.10	398.00	< 100
DQO	mg/L	995.15	1050.00	986.00	1000.00	910.00	939.70	825.00	655.00	< 200
pH (*)	unidad	8.36	7.72	8.31	8.49	8.34	8.40	8.10	7.92	6.5 - 8.5
Sólidos Suspendedos Totales	mL/L	535.00	550.00	357.00	358.00	384.00	312.70	320.30	412.00	150
Temperatura (*)	° C	21.40	26.50	19.80	21.60	22.30	22.40	21.40	25.60	< 35

(\*) Datos tomados in situ

- Los análisis se han efectuado tomando en cuenta los MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL APHA-AWWA-WPCF 19 edición.
- Muestras tomadas por el solicitante.

Cajamarca, 20 de noviembre del 2017



EVER IVAN ALVITES RODRIGUEZ  
 CONTROL DE CALIDAD  
 EPS SEDACAJ S.A.

ANEXO N° 8: Temperaturas mínimas mensuales, Periodo (1978 – 2016)

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1978	8.0	8.5	7.0	8.4	6.6	3.4	4.6	3.9	7.0	5.5	8.4	8.3
1979	7.9	10.3	10.3	8.0	6.2	3.8	5.2	6.2	7.6	6.5	7.4	6.1
1980	9.1	7.8	9.5	8.2	6.3	5.7	5.3	5.2	7.3	9.8	9.1	7.8
1981	7.7	10.8	8.5	9.2	7.1	5.5	3.8	5.1	5.7	8.3	8.3	8.8
1982	8.0	7.7	8.7	7.7	6.7	5.3	4.6	4.8	6.8	8.6	7.9	9.8
1983	10.5	8.6	10.0	9.4	8.4	5.6	4.7	4.8	7.3	8.3	7.9	8.9
1984	6.6	10.2	10.0	8.9	7.0	6.1	4.2	5.3	6.3	7.6	5.5	8.4
1985	8.2	8.5	7.9	7.5	6.4	5.7	4.0	5.8	7.3	6.2	5.4	8.5
1986	9.6	8.3	8.1	9.8	6.8	3.9	4.3	7.8	6.6	7.1	7.9	9.0
1987	11.3	10.2	8.1	8.4	6.0	5.5	6.3	5.7	8.0	7.6	9.3	9.6
1988	10.5	10.5	9.1	9.1	6.8	4.3	3.2	4.2	7.0	7.8	8.7	8.0
1989	9.2	9.8	8.7	9.0	4.9	5.5	3.3	5.3	7.6	8.6	6.4	5.3
1990	9.6	8.3	9.2	9.0	6.9	7.4	5.0	5.3	7.2	9.3	9.6	7.3
1991	8.2	9.2	10.2	8.1	6.6	5.0	2.7	5.6	6.2	7.5	6.7	7.6
1992	9.7	9.2	9.4	9.3	6.4	6.2	4.3	5.3	7.4	8.0	8.2	7.5
1993	9.1	9.1	9.9	10.2	7.9	5.2	4.7	5.7	7.3	8.8	7.9	10.9
1994	10.3	10.5	9.5	9.4	7.9	5.8	5.4	5.2	6.9	7.3	8.0	9.1
1995	8.8	9.5	9.8	8.1	6.8	5.4	6.1	6.0	6.9	8.2	9.0	8.6
1996	9.0	9.3	10.3	8.9	6.9	5.5	5.0	5.7	7.4	9.0	5.9	8.5
1997	7.9	10.4	7.1	8.3	7.3	5.0	6.4	7.2	8.2	9.5	10.1	11.7
1998	11.6	11.4	12.2	11.3	7.2	5.7	4.7	5.8	6.9	9.2	6.9	6.8
1999	8.8	10.2	9.1	9.2	7.3	6.6	4.9	4.6	7.7	6.8	7.7	9.4
2000	7.7	9.2	9.4	9.0	7.6	6.3	4.9	5.3	7.8	6.3	4.6	8.7
2001	10.2	10.4	10.5	8.4	7.5	5.3	5.5	5.0	7.0	9.1	9.5	8.9
2002	8.3	10.6	10.6	8.9	7.2	5.4	6.2	5.9	6.8	9.2	10.0	10.8
2003	10.0	9.6	9.1	8.9	7.5	5.8	4.6	5.4	6.7	8.1	9.1	9.3
2004	7.0	10.2	9.6	8.0	7.1	5.7	6.3	5.8	7.0	9.1	9.3	9.7
2005	8.5	10.5	10.7	9.3	5.2	5.2	3.8	5.1	7.1	9.3	6.2	8.8
2006	9.3	11.1	10.8	8.1	5.7	6.8	4.7	6.5	7.2	7.9	8.8	10.4
2007	11.0	8.6	10.5	9.0	7.7	4.8	5.3	5.8	5.8	8.0	9.9	7.6
2008	10.1	9.8	9.4	9.1	7.2	5.3	4.9	6.2	7.7	9.2	8.9	7.9
2009	10.3	10.1	10.5	10.0	7.6	5.9	6.5	6.6	7.4	9.3	8.9	10.4
2010	10.1	10.5	11.1	9.4	8.0	6.5	5.7	5.3	7.6	7.3	7.5	9.5
2011	9.1	8.5	8.5	9.4	6.6	6.1	5.9	6.0	7.0	7.8	9.2	9.8
2012	10.7	9.3	9.9	9.3	7.2	5.0	4.8	5.4	6.6	9.5	10.2	9.0

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2013	9.8	9.8	10.9	9.1	8.7	6.4	5.3	6.1	6.1	9.8	7.5	9.2
2014	9.6	10.5	10.6	8.5	9.2	5.8	5.8	5.9	7.6	8.7	8.8	10.4
2015	10.6	9.6	11.1	9.9	9.3	7.4	5.8	5.9	7.6	9.5	9.1	10.4
2016	10.5	11.8	10.6	9.8	7.7	6.2	5.0	6.3	7.6	8.4	6.1	9.8

Fuente: Senamhi – Cajamarca, 2017

#### ANEXO N° 9: Temperaturas máximas mensuales, Periodo (1978 – 2016)

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1978	22.0	23.0	22.1	21.6	21.3	21.3	21.1	21.1	21.7	22.5	22.3	22.3
1979	22.1	20.6	20.1	21.2	21.9	22.1	21.6	22.6	22.2	23.2	23.2	22.6
1980	22.4	22.5	21.5	22.0	23.0	22.5	22.0	22.2	23.2	20.9	20.8	21.0
1981	21.0	20.4	20.6	21.8	22.3	22.6	21.7	22.2	22.4	21.7	21.9	22.1
1982	21.7	22.2	21.5	21.5	22.2	22.2	22.0	22.0	22.1	21.1	21.5	21.6
1983	22.5	22.4	21.8	21.7	22.4	22.7	22.9	22.7	22.3	21.8	23.1	21.0
1984	20.9	19.8	20.7	21.0	20.6	20.5	20.4	21.6	21.9	21.6	21.3	21.4
1985	20.8	20.9	22.6	21.7	21.8	22.1	21.2	21.8	22.3	22.6	22.9	22.6
1986	22.1	21.6	21.8	21.5	22.1	22.1	21.6	22.0	22.8	22.9	22.6	22.5
1987	21.9	21.9	22.7	22.2	22.7	23.7	23.0	23.0	23.2	23.3	22.4	22.8
1988	21.7	22.1	21.6	21.5	22.1	22.7	22.4	22.9	22.2	22.1	21.8	21.4
1989	21.0	20.2	20.5	21.0	21.7	21.2	21.8	22.1	21.6	21.3	23.1	23.8
1990	21.9	22.0	22.1	22.3	22.4	21.4	22.1	22.8	23.3	21.9	21.8	22.3
1991	21.9	22.0	21.7	22.0	22.5	23.8	23.3	22.6	23.2	22.2	22.9	23.2
1992	22.7	23.0	22.9	22.4	23.4	22.4	21.6	22.6	21.9	21.7	22.9	23.5
1993	22.0	21.1	20.1	20.9	21.9	22.0	22.2	22.0	21.7	21.1	21.3	21.2
1994	20.8	20.8	20.8	20.8	21.2	20.7	21.2	21.3	22.3	22.4	21.7	21.4
1995	22.2	21.1	20.9	21.9	21.9	22.4	21.7	22.8	21.9	22.1	21.8	21.8
1996	20.4	20.5	20.6	20.7	21.5	22.1	21.8	21.3	22.1	21.8	22.5	22.2
1997	21.6	20.3	22.2	21.9	22.4	22.7	22.3	22.0	23.0	23.2	21.7	21.7
1998	22.0	22.3	21.7	22.6	22.9	21.8	21.9	22.0	22.8	22.0	22.3	22.6
1999	21.2	19.6	20.7	20.6	20.5	20.8	20.3	21.8	21.3	21.4	21.9	20.8
2000	21.2	19.7	20.2	20.6	21.0	21.2	21.1	21.5	21.7	22.4	22.7	20.8
2001	19.7	20.4	20.1	20.9	21.5	21.2	21.5	22.2	22.1	22.7	21.4	22.1
2002	21.9	21.1	21.3	21.0	21.5	21.4	21.2	22.2	22.9	21.3	21.2	21.9
2003	21.6	21.7	20.9	21.9	21.8	21.9	21.5	22.4	22.9	23.1	22.6	21.4
2004	22.5	21.1	21.7	22.1	22.8	21.3	20.9	21.8	21.6	21.9	21.8	21.3
2005	21.7	22.1	21.3	21.8	22.1	22.5	22.3	22.3	22.4	21.1	22.2	21.3

<b>AÑO</b>	<b>ENE.</b>	<b>FEB.</b>	<b>MAR.</b>	<b>ABR.</b>	<b>MAY.</b>	<b>JUN.</b>	<b>JUL.</b>	<b>AGO.</b>	<b>SET.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>
2006	21.4	21.1	20.8	21.2	21.9	20.8	21.7	21.8	21.7	22.1	21.9	21.7
2007	22.1	21.1	20.8	21.0	21.6	21.3	21.6	21.4	20.9	21.2	20.7	20.9
2008	20.4	20.3	19.9	20.6	21.2	21.3	20.9	21.6	21.7	21.0	21.7	20.9
2009	20.6	20.7	20.7	21.0	21.6	21.7	20.9	22.1	22.3	22.2	21.8	21.8
2010	21.9	22.4	22.4	22.8	22.1	21.5	22.8	22.7	22.3	22.0	21.9	20.7
2011	21.0	20.8	20.2	20.9	21.7	21.7	21.2	22.2	21.2	21.4	22.4	21.0
2012	20.9	20.6	21.3	21.3	21.3	21.6	22.0	22.2	22.0	21.2	21.6	22.1
2013	22.1	21.8	21.1	22.2	21.8	21.1	21.4	22.0	23.1	21.8	22.8	22.0
2014	22.1	22.5	20.8	21.8	21.6	22.3	22.3	21.5	21.9	22.4	22.4	21.8
2015	20.8	21.7	21.2	21.2	21.3	21.6	22.2	23.0	23.1	22.8	22.7	22.9
2016	23.7	22.4	22.5	22.2	23.3	22.0	22.3	22.7	22.8	22.9	23.8	21.8

Fuente: Senamhi – Cajamarca, 2017

**ANEXO N° 10: Precipitaciones Mensuales, Periodo (1978 – 2016)**

<b>AÑO</b>	<b>ENE.</b>	<b>FEB.</b>	<b>MAR.</b>	<b>ABR.</b>	<b>MAY.</b>	<b>JUN.</b>	<b>JUL.</b>	<b>AGO.</b>	<b>SET.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>Total, Anual</b>
1978	12.7	34.4	48.5	37	65.6	3.9	4.4	3.8	23.8	24.4	54	44.8	357.3
1979	84.1	81.6	159.7	37.1	16.3	1.8	7.5	15.7	33.6	24.4	26.3	46.6	534.7
1980	34.9	42.4	65	29.3	6.9	15.1	3.2	5.6	2.3	130.4	111	106.7	552.8
1981	78.2	186.5	105.7	33.7	14.7	6.6	7.2	12.7	22	111.9	45.6	111.3	736.1
1982	71.7	102.9	75.7	88.7	38.2	7.8	2.1	6.6	43.9	124.8	67.3	87.4	717.1
1983	116.6	75.4	151.6	105.7	31.1	10.1	9.6	2.7	19.2	86.9	28.1	118.4	755.4
1984	24.7	233.6	123.8	80	69.5	25.1	23.4	18.7	36.7	68.6	97.6	104.1	905.8
1985	24.6	42.4	37.2	41.9	53	0.4	4.8	18.3	37.3	50	23.9	40.3	374.1
1986	84.4	47.7	96.8	120.2	16.2	0.6	1.2	14.6	1.2	43.6	66.2	51.8	544.5
1987	98.2	95.2	39.2	52.2	11.1	4	10.8	12.3	39.5	37.2	74.3	60.5	534.5
1988	109.7	105.5	44.8	95.6	10.6	5.4	0	32.9	69.4	65.2	63.4	73.6	676.1
1989	87	158.8	113.5	85.4	18.8	16.7	3.2	5.9	53.5	106.6	47.1	2.7	699.2
1990	101.8	68.5	58.3	27.4	39.5	24.6	0.8	7.1	20.1	87.6	99.1	72.3	607.1
1991	43.8	90	133.7	55.2	17.9	0.7	0.4	0.3	10.2	28.2	55.1	71.9	507.4
1992	52.6	31.8	66.6	46.5	18.9	21.2	4.6	10	40.8	64	32	34.1	423.1
1993	61	112.2	245	102.9	30.2	1.9	3.3	2.9	51.4	106.3	71.4	84.1	872.6
1994	116.9	103.1	170.2	144.9	35.3	3.3	0	0.2	11.9	27.2	89.8	122.6	825.4
1995	44.7	108.3	75.7	49.7	20.6	1.7	13.2	10.8	11.5	51.8	50.5	76.4	514.9
1996	65.2	124	120.1	50.4	13.7	0.8	0.5	15.8	13.9	76.2	68.8	34.1	583.5
1997	63.8	152.9	26.5	40.4	17	15.4	0.2	0	27.4	50.8	119.9	129.4	643.7
1998	103	116.5	257	83.9	19.6	4.8	1.3	4.7	17.8	79.6	29.1	47.9	765.2

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Total, Anual
1999	94.8	242.7	69.5	65	53.7	22.8	22.1	1.2	81.4	21.7	77	68.8	820.7
2000	46	162.3	126.3	77.3	40.5	15.6	2.1	13.4	56.6	9.9	44.5	122.3	716.8
2000	46	162.3	126.3	77.3	40.51	15.61	2.11	13.4	56.61	9.92	44.5	122.3	716.86
2001	191.21	100.8	230.2	57.2	48.14	2.35	13.91	0.02	34.43	46.23	93.41	90.91	908.81
2002	27.02	60	133.12	77.21	23.04	8.81	10.72	3.4	14.62	90.3	99.91	86.1	634.25
2003	51.13	61.43	103.62	42.1	30.71	22.32	1.81	10.6	14.84	46.03	63.81	80.72	529.12
2004	36.1	102	56.9	44.52	42.4	2.11	13.8	29.4	19.01	63.41	92.6	123.71	625.96
2005	84.92	53.7	136.6	54.01	7.21	4.5	0.6	3.5	31.21	92.3	30	87.8	586.35
2006	83.2	101.6	199.3	77.61	7.7	23.92	1.82	6.11	33.61	12.71	60.4	81.7	689.68
2007	95.4	17.51	182.4	111.51	29	1.42	10.74	6.41	11.62	118.9	97.61	68.8	751.32
2008	80.24	133.3	118.4	99.12	22.72	15.45	2.31	11.71	34.72	96.51	72.02	72.12	758.62
2009	180.71	74.61	110.52	78.81	42.2	17.91	12.32	3.92	11.8	78.53	109.41	74.22	794.96
2010	49.52	112.91	154.02	88.41	31.64	8.62	2.6	1.33	28.95	43.41	52.51	70.86	644.78
2011	76.61	73.31	125.22	102.03	16.7	0.41	8.32	0.03	47.12	31.5	24.41	109.71	615.37
2012	154.22	134.7	126.4	72.82	51.51	0.21	0	2.54	19.12	83.22	120.31	58.3	823.35
2013	61.52	98.01	213.6	73.81	62.63	7.5	5.7	8.93	3.7	110.7	17	51.91	715.01
2014	74.7	62.41	143.2	78.82	26.92	5	2	3.91	27.71	26.32	45.7	114.9	611.59
2015	184.71	55.4	202.2	63	75.82	3	4.4	0.1	27.8	16.81	76.9	36.6	746.74
2016	68.8	75.7	112.1	53.4	7	1.5	2	1.1	22	59.3	12.9	56.7	472.5
<b>Prom:</b>	<b>79.2</b>	<b>100.0</b>	<b>122.1</b>	<b>70.1</b>	<b>30.6</b>	<b>8.8</b>	<b>5.5</b>	<b>8.1</b>	<b>29.1</b>	<b>62.6</b>	<b>63.9</b>	<b>77.5</b>	<b>657.3</b>

Fuente: Senamhi – Cajamarca, 2017

#### ANEXO N° 11: Aplicación de tecnologías por tamaño de población

POBLACIÓN	TECNOLOGÍAS
50 y 300 h-e	Fosa séptica
	Tanque Imhoff
entre 300 y 1.000 h-e	Filtros percoladores
	Contactores Biológicos Rotativos (biodiscos)
	Lagunajes naturales
entre 1.000 y 2.000 h-e	Filtros percoladores
	Contactores Biológicos Rotativos (biodiscos)
entre 2.000 y 5.000 h-e	Lodos activados en aireación prologada
entre 5.000 y 50.000 h-e	Lodos activados en aireación prologada
mayor de 50.000 h-e	Lodos activados
	Lagunas de estabilización

ANEXO N° 12: Comparación de una PTAR convencional Vs Depuración con macrófitas en flotación en el tratamiento de agua residual doméstica.

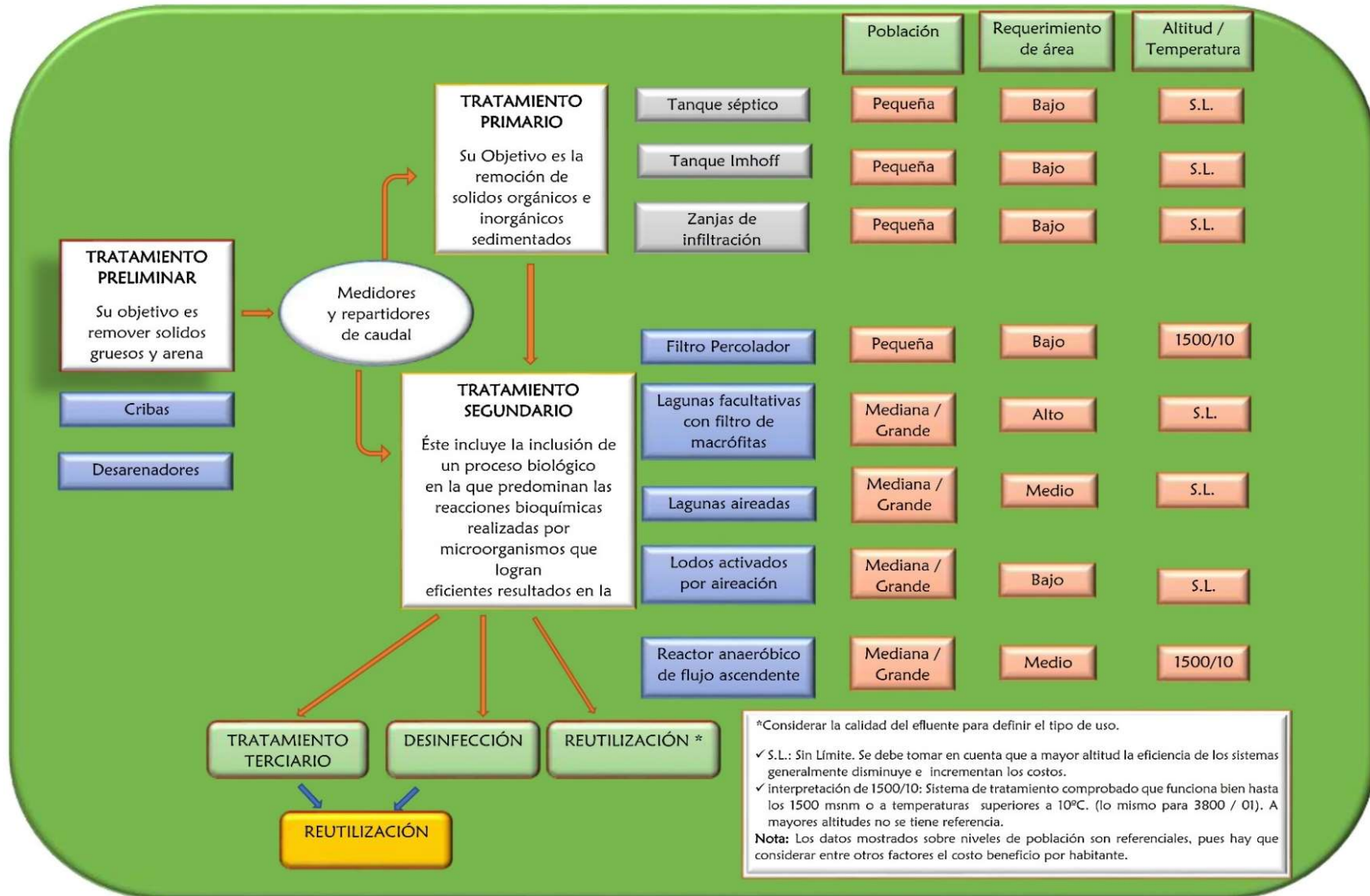
Parámetros	PTAR Convencional	Depuración con macrófitas en flotación
<b>Consumo Energético</b>	Gran consumo energético continuado en todos los procesos de depuración, con grandes costos en energía eléctrica asociado.	Consumo casi nulo (energía solar). Para conseguir el humedal natural en todo el filtro de macrófitas, solo necesitamos una pequeña recirculación del afluente de salida a la entrada del agua residual, autoalimentable con placa solar o sistema eólico.
<b>Recursos Humanos</b>	Gran número de personal especializado y (cualificado técnicamente) y no cualificado en la construcción y sobre todo en el mantenimiento.	Por ser tecnología de bajo coste constructivo (importes inferiores, llegando hasta 10 veces menos que una PTAR convencional). Mantenimiento realizado por un; jardinero, agricultor, con conocimientos básicos de agronomía.
<b>Instalaciones</b>	Necesidad de suelo industrial y servicios. - Conjuntos, equipos y edificios con estructuras complejas y de gran coste arquitectónico y económico. - Sistemas de reducida vida útil.	Reducidas la excavación e impermeabilización de canales o lagos. - Sistema de re-bombeo básico, apoyado por la energía solar o eólica. - Muchos años de funcionamiento sin colmatación.
<b>Tecnológicos</b>	Procesos físicos, químicos y biológicos.	-Proceso natural. - Mejor sistema en la remoción de materia sólida extraíble que no pueden conseguir con los procesos físicos y biológicos actuales de la PTAR (lo hacen las plantas)
<b>Medio Ambientales</b>	Aguas sin tratamientos terciarios. Niveles de vertido aproximándose a la legislación, en los mejores casos. Malos olores. Generación de fangos. Necesidad de desinfección de aguas, cloración.	Tratamiento en aguas libres (lagos), primario, secundario y terciario. -No lo pueden realizar las depuradoras actuales que no utilicen macrófitas. - Aguas sin organismos patógenos con posibilidad de alcanzar aguas potables. - Acorde con la norma. - Integración total en el paisaje. - No se producen olores, ni fangos. - Sistema vivo y natural que se autodepura. - Generatriz de ecosistema acuático
<b>Capacidad</b>	Capaces de depurar medianos a grandes poblaciones	Depuración desde medianas a grandes poblaciones.
<b>Costes Totales</b>	Elevados en: construcción, mantenimiento (energéticos y mano de obra).	Entre 10 y 6 veces menores en construcción frente a PTAR convencional. - Unas 100 veces menores en mantenimiento frente a EDAR convencional.

**ANEXO N° 13: Esquema y rubros de la Matriz de decisión**

	A	B	C	D	E
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= suficiente 3= adecuado 5= muy bueno	C/5 (excepto en renglones 7.3,8.3, 9.5, 10.6 y 11.6)	D x A
1		<b>APLICABILIDAD DEL PROCESO</b>			
2		<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS</b>			
3		<b>ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD</b>			
4		<b>GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONÓMICO O DE REUSÓ</b>			
5		<b>VIDA ÚTIL</b>			
6		<b>REQUERIMIENTO DE ÁREA</b>			
7		<b>COSTO</b>			
7.1	↑	Inversión			
7.2	↑	Operación y mantenimiento			
7.3	↑	Sumar las casillas 7.1 y 7.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 7.3D			
8		<b>INSUMOS</b>			
8.1	↑	Requerimiento de reactivos			
8.2	↑	Requerimientos energéticos			
8.3	↑	Sumar las casillas 8.1 y 8.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 8.3D			
9		<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b>			
9.1	↑	Criterios de diseño			
9.2	↑	Experiencia del contratista			
9.3	↑	Tecnología ampliamente probada			
9.4	↑	Complejidad en la construcción y equipamiento			
9.5	↑	Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C y 9.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotararlo en la casilla 9.5D			
10		<b>OPERACIÓN</b>			
10.1	↑	Flexibilidad de operación			
10.2	↑	Confiabilidad del proceso			
10.3	↑	Complejidad de operación del proceso			
10.4	↑	Requerimiento de personal			
10.5	↑	Disponibilidad de repuestos y centros de servicio			
10.6	↑	Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotararlo en la casilla 10.6D			
11		<b>ENTORNO</b>			
11.1	↑	Influencia de la temperatura			
11.2	↑	Producción de ruido			
11.3	↑	Contaminación visual			
11.4	↑	Producción de malos olores			
11.5	↑	Condiciones para la reproducción de animales dañinos			
11.6	↑	Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotararlo en la casilla 10.6D			
12	100	<b>SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 12E</b>		→	

Fuente: Bernal D, Cardona D, Galvis A & Peña M., (2002).

## ANEXO N° 14: Flujoograma de tecnologías empleadas en el tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: (SINIA, 2008)



ANEXO N° 15: Ponderación de los factores a evaluar

Ítem	Factor Evaluado	Consideraciones de evaluación	Ponderación
1	<b>Aplicabilidad del proceso</b>	Por las características del estudio, se desea que el proceso seleccionado pueda operar en el intervalo de flujo dado, que sea tolerante a variaciones de flujo y que pueda tratar con eficacia el agua residual generada en la zona de intervención de la ciudad de Cajamarca.	5 Puntos
2	<b>Generación de residuos</b>	En la ciudad de Cajamarca, no se cuenta con un relleno sanitario en condiciones aceptables y el traslado de lodos a otro resultaría muy costoso. Por ello se ha decidido favorecer aquel proceso que genere la menor cantidad de residuos y el que genere una mejor calidad de lodo para su disposición como mejorador de suelos.	10 Puntos
3	<b>Aceptación por parte de la comunidad</b>	Con la tecnología que se implementará se intentará controlar los olores, contribuir al paisaje de la ciudad como se realiza en las ciudades más avanzadas del mundo.	5 Puntos
4	<b>Generación de subproductos con valor económico o de reúso</b>	La planta de tratamiento, además de generar agua apta para riego, podría generar lodos con características fertilizantes lo cual podría ser un aspecto importante en el ahorro de recursos para la compra de fertilizantes químicos. Puesto que así se manejó la información, el cumplir con ello es de suma importancia por lo cual se le asignó una ponderación relativamente alta.	10 Puntos
5	<b>Vida útil</b>	Se desea que la planta de tratamiento posea una vida útil lo más larga posible pues será difícil contar con recursos para renovar la planta de tratamiento en mediano plazo.	10 Puntos
6	<b>Requerimiento de área</b>	Según información redactada de la empresa SEDACAJ, se dispone de un terreno seguro que se cuenta en la zona de estudio con una extensión de 14 hectáreas. Con esta restricción, este rubro carece ya de importancia, pues no hace diferencia	0 Puntos
7	<b>Costo</b>	<b><u>Inversión inicial.</u></b> Es importante considerar aquella tecnología que sea eficaz y eficiente en el tratamiento del agua residual, que sea necesaria para resolver la problemática de la población, es decir que haga lo que tenga que hacer al menor costo posible para obtener un ahorro de recursos que podrían ser destinados a otras acciones. <b><u>Operación y mantenimiento.</u></b> Este es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta para seleccionar adecuadamente una tecnología. En los países en vías de desarrollo, el costo de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento ha sido un factor limitante para su funcionamiento, ya que esto incidirá en la tarifa que deberán cubrir por el servicio.	20 Puntos

Ítem	Factor Evaluado	Consideraciones de evaluación	Ponderación
8	<b>Insumos</b>	<p><b>Requerimiento de reactivos.</b> Esto representa un gasto elevado al considerar que algunos reactivos son importados, generalmente son caros y que hay que trasladarlos a la zona de estudio recorriendo una distancia importante. Por tal motivo, se ha considerado dar una relativa importancia a este rubro y se favorecerán aquellos procesos cuyo requerimiento de reactivos sea el mínimo.</p> <p><b>Requerimiento energético.</b> Este aspecto se considera de gran importancia porque incide directamente en el costo fijo de operación del sistema. Cualquier ahorro en este sentido viabilizará la operación de la planta y liberará recursos para otros fines importantes. Existe la posibilidad que la nueva PTAR sea abandonada por no poder cubrir el costo de energía que demanda su operación, tal como ocurrió con la PTAR existente.</p>	10 Puntos
9	<b>Diseño y construcción</b>	Se desea que existan criterios de diseño adecuados a las condiciones de las necesidades de la población, es este caso de la zona de estudio, además que la tecnología se haya probado en otros lugares y que la construcción y equipamiento no sean complejos.	10 Puntos
10	<b>Operación y mantenimiento</b>	Se desea que la operación sea simple, flexible y confiable, además de que una persona con poca capacitación pueda hacer la función de operador. Se deben encontrar centros de repuestos y servicios cerca de la población por cualquier descompostura del equipo que pudiera ocurrir. Debido a que todos estos factores condicionan la buena operación de la planta se ponderó este rubro con un alto valor pues es a fin de cuentas el objeto de todo el proyecto, es decir, que la planta opere.	15 Puntos
11	<b>Entorno e impacto ambiental</b>	La población fue concientizada de la necesidad de una planta de tratamiento con lo cual estuvo de acuerdo, sin embargo, la población, al estar conscientes de lo que aprobaban, solicitaron al proyectista que se cuidaran los aspectos de generación de ruido, malos olores y animales dañinos, para que la planta fuera atractiva a la vista y se integrara al entorno del sitio.	5 Puntos
<b>TOTAL:</b>			<b>100 Puntos</b>

ANEXO N° 16: Calificación de tres (03) procesos de tratamiento preseleccionados en la primera etapa de evaluación

Factor evaluado	Comentarios de evaluación	Calificación		
		Laguna facultativa con filtro de macrófitas	Laguna aireada	Lodos activados
<b>Aplicabilidad del proceso</b>	El sistema de lodos activado, es uno de los más utilizados en el mundo para el tratamiento de aguas residuales. Ocupa el primer lugar en caudal tratado y el segundo lugar como número de sistemas usados en américa latina. Seguido del sistema de lagunas sistema más utilizado en américa latina y el caribe, pero el más utilizado en el Perú. Estos procesos son aplicados con éxito en el tratamiento de aguas residuales municipales en general. Sin embargo, con el proceso de lagunas con filtro de macrófitas y el proceso de lodos activados correctamente operado se obtiene una mayor calidad de agua tratada con posibilidades de reusó, por lo cual se le asignaran a los mismos una mayor calificación.	5	3	5
<b>Generación de residuos</b>	El sistema de lagunas con filtro de macrófitas no generan residuos (lodos) por lo que es más eficiente, en comparación con el sistema de lagunas aireadas y lodos activados que generan gran cantidad de lodo y, por consiguiente, aumentan los costos de operación y mantenimiento del mismo.	5	3	3
<b>Aceptación por parte de la comunidad</b>	Los procesos de tratamiento seleccionados manejan los olores que en buena cuenta es el factor más negativo para aceptar una PTAR, además de seleccionar tratamientos con menor impacto en las tarifas que es otro tema de vital importancia para la aceptación de la comunidad. Aunque se realice tratamiento de olores en todos los procesos, pero el sistema que menos olores produce es el sistema de lagunas con filtro de macrófitas.	5	3	5
<b>Generación de subproductos con valor económico o de reúso</b>	El sistema de lagunas con filtro de macrófitas, no generan lodos en comparación con el sistema de lagunas aireadas: y lodos activados, los lodos de ambos procesos de tratamiento podrían ser utilizados como mejoradores de suelos siempre y cuando cumplan con la normatividad vigente a este respecto. El lodo aerobio será producido en mayor cantidad, por lo que se da mayor puntuación a los lodos activados.	1	3	5

Factor evaluado	Comentarios de evaluación	Calificación		
		Laguna facultativa con filtro de macrófitas	Laguna aireada	Lodos activados
<b>Vida útil</b>	El sistema de lodos activados y el sistema de lagunas aireadas tiene una vida útil menor debido básicamente al equipamiento que presenta, la vida útil estimada para este sistema de 15 a 20 años. En cambio, en el sistema de lagunas con filtro de macrófitas su vida útil es mayor de 25 años. Por lo que se da mayor puntuación al sistema de lagunas con filtro de macrófitas.	5	3	3
<b>Requerimiento de área</b>	El sistema de plantas con macrófitas (totoras en flotación) requieren mayor cantidad de área de 1 a 1.5 m <sup>2</sup> /habitante en comparación con el sistema de lodos activados requieren de 3 a 5 veces menos que un sistema de lagunas. Además, los lodos activados pueden aumentar su área con el sistema Hy-Bass o similar sin necesidad de realizar Obra Civil. por lo que se da mayor puntuación a los lodos activados.	1	1	5
<b>Costo de inversión inicial</b>	El costo de inversión inicial en un sistema de lagunas con filtro de macrófitas es mucho menor a comparación de un sistema de lagunas aireadas e incluso que el sistema de lodos activados, principalmente por la utilización de equipos mecánicos para su funcionamiento.	5	1	1
<b>Costo de operación y mantenimiento</b>	El costo de O&M del sistema de plantas con macrófitas (totoras en flotación) es de 4 a 5 veces menor que una PTAR de lodos activados debido que necesita un personal más especializado de igual manera en comparación del sistema de lagunas aireadas. Por lo que se da mayor puntuación al sistema de lagunas con filtro verde en flotación.	5	1	1
<b>Requerimiento de reactivos</b>	En el caso de lodos activados y lagunas aireadas, el requerimiento de reactivos es mucho mayor en comparación al sistema de lagunas con filtro verde, los más utilizados pueden ser los polímeros, coagulantes, floculantes para el tratamiento de lodos y desinfectantes (cloro o dióxido de cloro), antiespumantes debido al equipo mecánico que utilizan para su funcionamiento. Por lo que se da mayor puntuación al sistema de lagunas con filtro verde en flotación.	5	3	3
<b>Requerimientos energéticos</b>	La potencia instalada para el sistema de lodos activados es 5 a 6 veces mayor a la requerida por una laguna aireada, estos sistemas demandan un mayor consumo de energía en comparación de un sistema de lagunas con filtro de macrófitas que no	5	3	1

Factor evaluado	Comentarios de evaluación	Calificación		
		Laguna facultativa con filtro de macrófitas	Laguna aireada	Lodos activados
	requiere de energía para su funcionamiento. Por lo que se da mayor puntuación al sistema de lagunas con filtro verde en flotación.			
<b>Criterios de diseño</b>	Existe una gran cantidad de libros, investigaciones que describen el funcionamiento y criterios de diseño del sistema de lodos activados, lagunas aireadas y en menor medida del sistema de lagunas con macrófitas. Los criterios de diseño son confiables, aunque por experiencia acumulada en su aplicación, se le asignará un valor más alto al lodo activado.	3	3	5
<b>Experiencia del contratista</b>	En este caso este rubro no aplica, pues se desconoce quién será el contratista que desarrolle el proyecto, en el presente estudio solo se está planteando cual sería la tecnología de tratamiento más eficiente y que mejor se adapte a las condiciones demográficas y climatológicas de la zona de estudio.	0	0	0
<b>Tecnología ampliamente probada</b>	La tecnología de lodos activados ha sido utilizada ampliamente en el mundo, pero en el Perú, se han registrado 143 plantas de tratamiento, de las cuales, existen solo 3 plantas de tratamiento con tecnología de lodos activados, existente 09 lagunas aireadas y 111 sistema de lagunas facultativas, según los datos presentados por SUNASS en la Conferencia Peruana de Saneamiento-PERUSAN 2008.	1	3	5
<b>Complejidad de construcción y equipamiento</b>	La construcción y equipamiento del sistema de lodos activados y del sistema de lagunas aireadas, es más complejo que el debido sobre todo al equipamiento mecánico que presentan para su funcionamiento, a diferencia del sistema de lagunas con filtro de macrófitas que es más práctico y fácil de instalar, por consiguiente, se le asignará un valor más alto a este sistema de tratamiento.	5	3	3
<b>Flexibilidad de la operación.</b>	La tecnología en el tratamiento de aguas residuales debe producir agua residual tratada óptima en forma continua, con un mínimo de operación y de fácil mantenimiento tal como nos proporciona el sistema de lagunas con filtro verde flotante. En cambio, en el sistema de lodos activados y el sistema de lagunas aireadas, requiere una alimentación continua y en cierto grado constante en calidad del agua residual además del suministro constante de oxígeno. Por estas razones, el sistema	5	3	3

Factor evaluado	Comentarios de evaluación	Calificación		
		Laguna facultativa con filtro de macrófitas	Laguna aireada	Lodos activados
	de lagunas con filtro verde se considera como un sistema más flexible en operación que el sistema de lodos activados y un sistema de lagunas aireadas.			
<b>Confiabilidad del proceso</b>	Se considera que el sistema de lodos activados y lagunas aireadas, proporciona una mejor calidad de agua además en forma constante. En cuanto al sistema de lagunas con filtro de macrófitas generan un efluente de alta calidad, con baja inversión y bajos costos operativos y con posibilidades de reusó en la agricultura.	5	3	3
<b>Complejidad de operación del proceso</b>	El proceso de lodos activados y sus variantes es más complejo de operar debido a que presentan distintos equipos mecánicos, por consiguiente, necesita de un personal capacitado para su operación, en comparación el sistema de lagunas con macrófitas (totoras en flotación).	5	3	1
<b>Requerimiento de personal</b>	El sistema de plantas con macrófitas (totoras en flotación) no requiere de personal capacitado, solo necesita una persona que puede ser un jardinero, con el cual puede perfectamente trabajar la planta depuradora, en comparación con el sistema de lagunas aireadas, que requiere de un operador por día y un vigilante, mientras que para operar el sistema de lodos activados se necesita un operador por turno de 12 horas con una mayor capacitación y además de un vigilante.	5	3	1
<b>Disponibilidad de repuestos y centros de servicio</b>	El hecho de que la PTAR, se encuentren en la ciudad de Cajamarca, dificulta la disponibilidad de repuestos para los equipos rotatorios. En general el sistema de lodos activados y el sistema de lagunas aireadas posee mayor equipamiento, por lo que la atención de estos es más difícil en caso de fallar algún equipo mecánico de estos. Además, los centros de servicio también se encuentran alejados. En comparación con el sistema de lagunas con filtro de macrófitas que no necesita de equipamiento alguno.	5	1	1
<b>Influencia de la temperatura</b>	No hay problema con este rubro pues las variaciones de temperatura en la ciudad de Cajamarca permanecen en un intervalo adecuado para el funcionamiento de procesos biológicos. Tanto, en el sistema de lagunas como en el sistema de lodos activados,	5	5	5

Factor evaluado	Comentarios de evaluación	Calificación		
		Laguna facultativa con filtro de macrófitas	Laguna aireada	Lodos activados
	teniendo en cuenta que, el filtro de macrófitas a utilizar (Totoras) existe en la zona de estudio.			
<b>Producción de ruido</b>	Tanto en las Lagunas aireadas como en sistema de lodos activados, Por los equipos rotatorios involucrados hay mayor producción de ruido en comparación con el sistema de Lagunas con filtro de macrófitas, debido a que este sistema no necesita de ningún equipo mecánico para su funcionamiento.	5	3	1
<b>Contaminación visual</b>	El sistema de lodos activados y lagunas aireadas, puede contar con un diseño arquitectónico agradable a comparación del sistema de lagunas con filtros verdes flotantes permite su completa integración en parques, jardines o zonas verdes urbanas, consiguiendo de este modo un impacto ambiental y paisajístico positivo, por consiguiente, se asignará un valor igual a todos los sistemas.	5	5	5
<b>Producción de malos olores</b>	El sistema de Lagunas con filtro de macrófitas, no generan olores significativos, todos los gases sulfúricos van hace las raíces donde las bacterias empiezan a descomponer las moléculas y al final salen gases libres a la atmosfera en formas químicas inodoras, a comparación Lagunas aireadas y el proceso de lodos activados	5	3	5
<b>Animales dañinos</b>	Estos procesos no favorecen la formación de animales dañinos. De una u otra manera se van a generar la proliferación de insectos tales como mosquitos, por lo que se da una puntuación similar a todos los sistemas.	3	3	3

ANEXO N° 17: Matriz de evaluación del sistema de Laguna facultativa con filtro de macrófitas (Totoras en flotación)

Ítem	A	B	C	D	E
	%	RUBRO EVALUADO	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3= adecuado 5= muy bueno	C/5 (Excepto en renglones 7.3, 8.3, 9.5, 10.6 y 11.6)	DxA
1	5	<b>APLICABILIDAD DEL PROCESO</b>	5	1	5
2	10	<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS</b>	5	1	10
3	5	<b>ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD</b>	5	1	5
4	10	<b>GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON ECONÓMICO O DE REUSÓ</b>	1	0.2	2
5	10	<b>VIDA ÚTIL</b>	5	1	10
6	0	<b>REQUERIMIENTO DE ÁREA</b>	1	0.2	0
7	20	<b>COSTO</b>			
7.1		Inversión inicial	5		
7.2		Operación y mantenimiento	5		
7.3		Sumar las casillas 7.1C y 7.2C y dividir el total entre 10. El resultado anotarlo en la casilla 7.3 D		1	20
8	10	<b>INSUMOS</b>			
8.1		Requerimiento de reactivos	5		
8.2		Requerimientos energéticos	5		
8.3		Sumar las casillas 8.1C y 8.2C y dividir el total entre 10. El resultado anotarlo en la casilla 8.3 D		1	10
9	10	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b>			
9.1		Criterios de diseño	3		
9.2		Experiencia del contratista	0		
9.3		Tecnología ampliamente probada	1		
9.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	5		
9.5		Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C y 9.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotarlo en la casilla 9.5D		0.45	4.5



Ítem	A	B	C	D	E
	%	RUBRO EVALUADO	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3= adecuado 5= muy bueno	C/5 (Excepto en renglones 7.3, 8.3, 9.5, 10.6 y 11.6)	DxA
<b>10</b>	<b>15</b>	<b>OPERACIÓN</b>			
10.1		Flexibilidad de operación	5		
10.2		Confiabilidad del proceso	5		
10.3		Complejidad de operación del proceso	5		
10.4		Requerimiento de personal	5		
10.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5		
10.6		Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 10.6D		1	15
<b>11</b>	<b>5</b>	<b>ENTORNO</b>			
11.1		Influencia de la temperatura	5		
11.2		Producción de ruido	5		
11.3		Contaminación visual	5		
11.4		Producción de malos olores	5		
11.5		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	3		
11.6		Sumar las casillas 11.1C, 11.2C, 11.3C, 11.4C y 11.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 11.6D		0.92	4.6
<b>12</b>	<b>100</b>	<b>SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 12E</b>			<b>86.1</b>

ANEXO N° 18: Matriz de evaluación del sistema de Laguna aireada

Ítem	A	B	C	D	E
	%	RUBRO EVALUADO	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3= adecuado 5= muy bueno	C/5 (Excepto en renglones 7.3, 8.3, 9.5, 10.6 y 11.6)	DxA
1	5	<b>APLICABILIDAD DEL PROCESO</b>	3	0.6	3
2	10	<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS</b>	3	0.6	6
3	5	<b>ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD</b>	3	0.6	3
4	10	<b>GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON ECONÓMICO O DE REUSÓ</b>	3	0.6	6
5	10	<b>VIDA ÚTIL</b>	3	0.6	6
6	0	<b>REQUERIMIENTO DE ÁREA</b>	1	0.2	0
7	20	<b>COSTO</b>			
7.1		Inversión	1		
7.2		Operación y mantenimiento	1		
7.3		Sumar las casillas 7.1C y 7.2C y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 7.3 D		0.2	4
8	10	<b>INSUMOS</b>			
8.1		Requerimiento de reactivos	3		
8.2		Requerimientos energéticos	3		
8.3		Sumar las casillas 8.1C y 8.2C y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 8.3 D		0.6	6
9	10	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b>			
9.1		Criterios de diseño	3		
9.2		Experiencia del contratista	0		
9.3		Tecnología ampliamente probada	3		
9.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	3		
9.5		Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C y 9.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotararlo en la casilla 9.5D		0.45	4.5

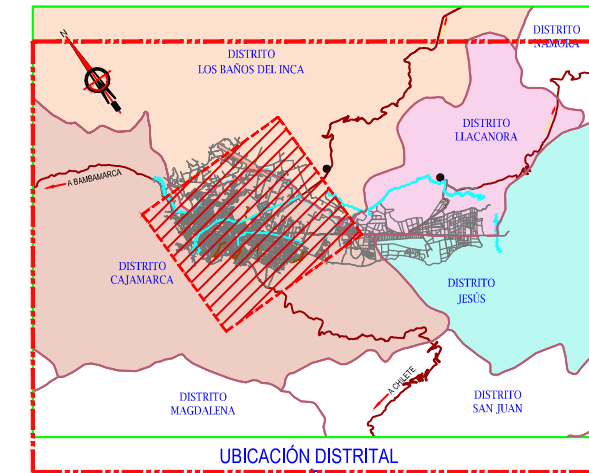
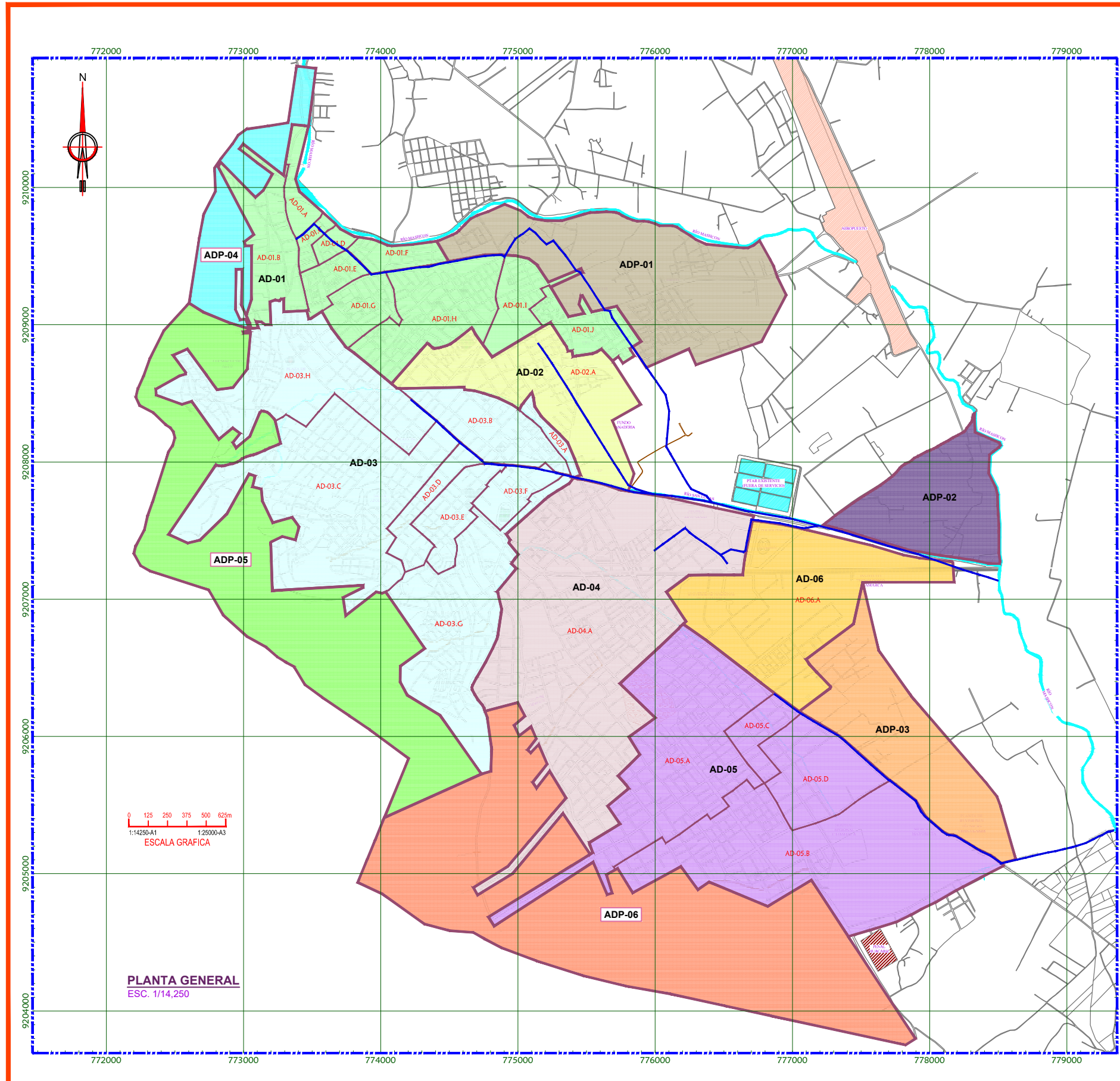
Ítem	A	B	C	D	E
	%	RUBRO EVALUADO	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3= adecuado 5= muy bueno	C/5 (Excepto en renglones 7.3, 8.3, 9.5, 10.6 y 11.6)	DxA
<b>10</b>	<b>15</b>	<b>OPERACIÓN</b>			
10.1		Flexibilidad de operación	3		
10.2		Confiabilidad del proceso	3		
10.3		Complejidad de operación del proceso	3		
10.4		Requerimiento de personal	3		
10.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	1		
10.6		Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 10.6D		0.52	7.8
<b>11</b>	<b>5</b>	<b>ENTORNO</b>			
11.1		Influencia de la temperatura	5		
11.2		Producción de ruido	3		
11.3		Contaminación visual	5		
11.4		Producción de malos olores	3		
11.5		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	3		
11.6		Sumar las casillas 11.1C, 11.2C, 11.3C, 11.4C y 11.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 11.6D		0.76	3.8
<b>12</b>	<b>100</b>	<b>SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 12E</b>			<b>50.1</b>

ANEXO N° 19: Matriz de evaluación del sistema de Lodos activados

Ítem	A	B	C	D	E
	%	RUBRO EVALUADO	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3= adecuado 5= muy bueno	C/5 (Excepto en renglones 7.3, 8.3, 9.5, 10.6 y 11.6)	DxA
1	5	<b>APLICABILIDAD DEL PROCESO</b>	5	1	5
2	10	<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS</b>	3	0.6	6
3	5	<b>ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD</b>	5	1	5
4	10	<b>GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON ECONÓMICO O DE REUSÓ</b>	5	1	10
5	10	<b>VIDA ÚTIL</b>	3	0.6	6
6	0	<b>REQUERIMIENTO DE ÁREA</b>	5	1	0
7	20	<b>COSTO</b>			
7.1		Inversión	1		
7.2		Operación y mantenimiento	1		
7.3		Sumar las casillas 7.1C y 7.2C y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 7.3 D		0.2	4
8	10	<b>INSUMOS</b>			
8.1		Requerimiento de reactivos	3		
8.2		Requerimientos energéticos	1		
8.3		Sumar las casillas 8.1C y 8.2C y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 8.3 D		0.4	4
9	10	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b>			
9.1		Criterios de diseño	5		
9.2		Experiencia del contratista	0		
9.3		Tecnología ampliamente probada	5		
9.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	3		
9.5		Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C y 9.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotararlo en la casilla 9.5D		0.65	6.5

Ítem	A	B	C	D	E
	%	RUBRO EVALUADO	CALIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3= adecuado 5= muy bueno	C/5 (Excepto en renglones 7.3, 8.3, 9.5, 10.6 y 11.6)	DxA
<b>10</b>	<b>15</b>	<b>OPERACIÓN</b>			
10.1		Flexibilidad de operación	3		
10.2		Confiabilidad del proceso	3		
10.3		Complejidad de operación del proceso	1		
10.4		Requerimiento de personal	1		
10.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	1		
10.6		Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 10.6D		0.36	5.4
<b>11</b>	<b>5</b>	<b>ENTORNO</b>			
11.1		Influencia de la temperatura	5		
11.2		Producción de ruido	1		
11.3		Contaminación visual	5		
11.4		Producción de malos olores	5		
11.5		Condiciones para la reproducción de animales dañinos	3		
11.6		Sumar las casillas 11.1C, 11.2C, 11.3C, 11.4C y 11.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 11.6D		0.76	3.8
<b>12</b>	<b>100</b>	<b>SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 12E</b>			<b>55.7</b>

ANEXO N° 20: Plano de Áreas de drenaje influencia de EPS SEDACAJ S.R., Cajamarca - 2017



Área de Drenaje	Sub Áreas de Drenaje	Área (m²)	Área (Ha)
AD-01	AD-01.A	105979.52	10.60
	AD-01.B	367138.75	36.71
	AD-01.C	52106.70	5.21
	AD-01.D	49592.59	4.96
	AD-01.E	118610.14	11.86
	AD-01.F	121359.85	12.14
	AD-01.G	187515.92	18.75
	AD-01.H	551296.41	55.13
	AD-01.I	212693.21	21.27
	AD-01.J	212324.25	21.23
AD-02	AD-02.A	885686.14	88.57
	AD-02.B	54755.80	5.48
AD-03	AD-03.B	371832.50	37.18
	AD-03.C	1481598.10	148.16
	AD-03.D	175875.30	17.59
	AD-03.E	218085.60	21.81
AD-04	AD-04.A	2740120.60	274.01
	AD-04.B	1253497.10	125.35
AD-05	AD-05.B	1579665.00	157.97
	AD-05.C	153378.70	15.34
AD-06	AD-06.A	452749.34	45.27
	AD-06.B	1254579.50	125.46
ADP-01	ADP-01	1518306.70	151.83
ADP-02	ADP-02	731621.90	73.16
ADP-03	ADP-03	1019118.68	101.91
ADP-04	ADP-04	547794.54	54.78
ADP-05	ADP-05	2396994.12	239.69
ADP-06	ADP-06	3488304.40	348.83
Área Total Ciudad Cajamarca		24339677.66	2433.97

Áreas de Intervención		
Sector	Área (Ha)	Porcentaje del total
AD-01	197.86	8.13%
AD-02	88.57	3.64%
AD-03	433.93	17.83%
AD-04	274.01	11.26%
ADP-01	151.83	6.24%
ADP-04	54.78	2.25%
ADP-05	239.69	9.85%
<b>Total:</b>	<b>1440.68</b>	<b>60.00%</b>

SIMBOLOGIA ÁREAS DE DRENAJE	
ÁREA DE DRENAJE	SUB ÁREA DE DRENAJE
AD-01	AD-01.A, B, C, D, E, F, G, H, I, J
AD-02	AD-02.A
AD-03	AD-03.A, B, C, D, E, F, G, H
AD-04	AD-04.A
AD-05	AD-05.A, B, C, D
AD-06	AD-06.A

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CURVA TOPOGRÁFICA MAESTRA
	CURVA TOPOGRÁFICA SECUNDARIA
	COTA
	RIO
	QUEBRADA
	MANZANO
	COLECTORES EXISTENTES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**TESIS PROFESIONAL**  
"CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA ZONA DEL FUNDO BETANIA"

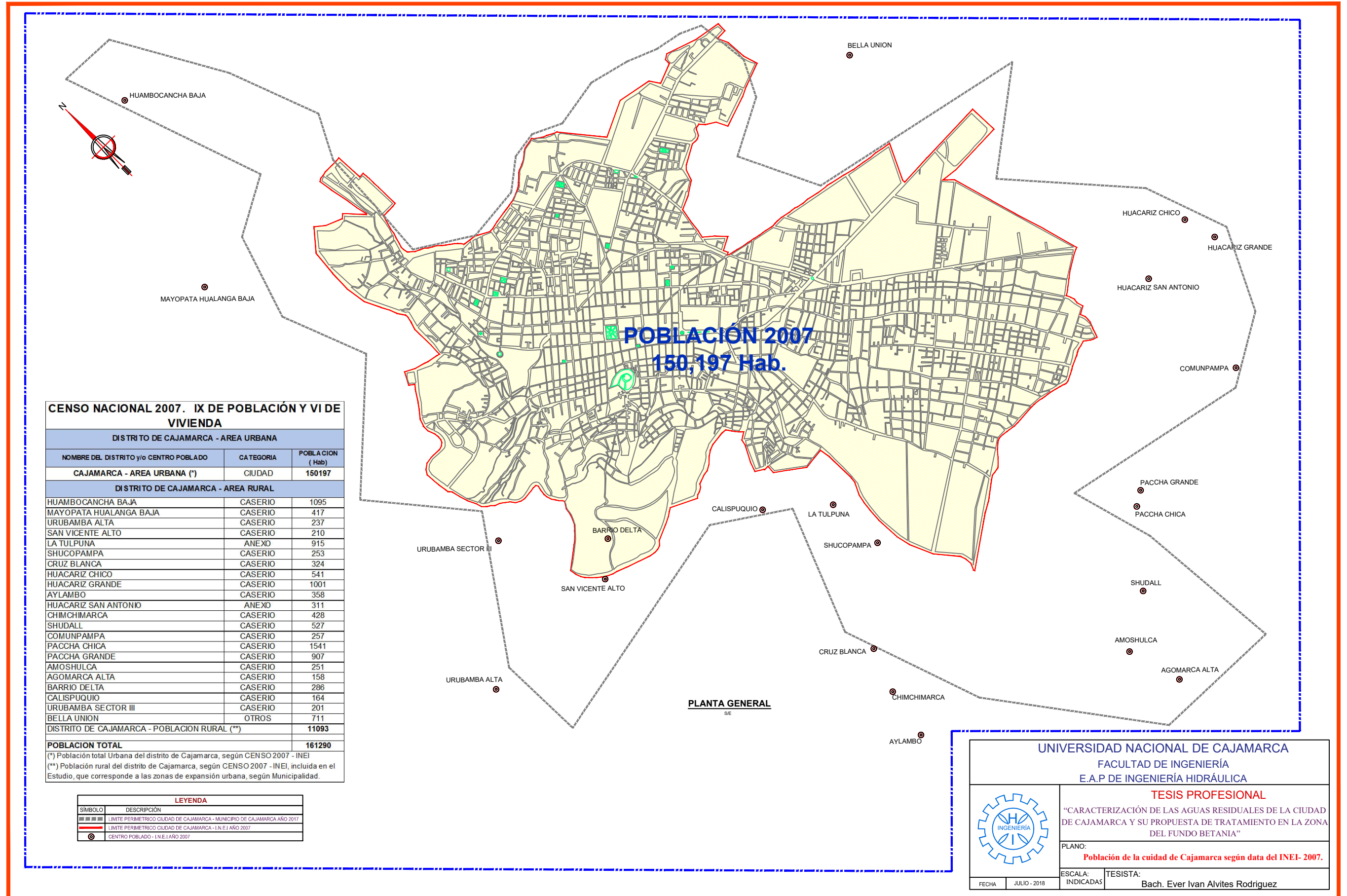
PLANO: Áreas de drenaje influencia de EPS SEDACAJ S.A. Cajamarca - 2017

ESCALA: INDICADAS

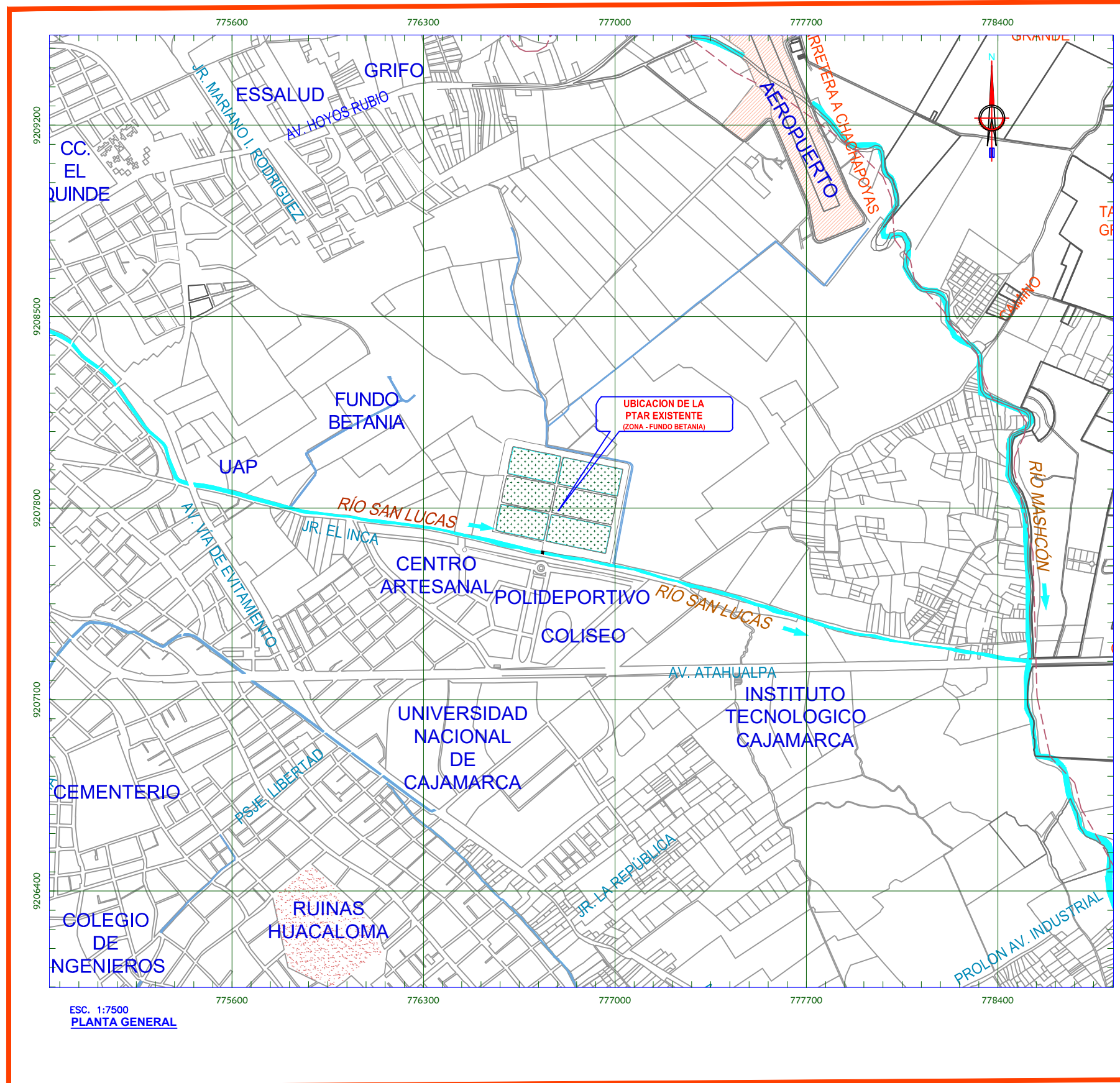
TESISTA: **Bach. Ever Ivan Alvites Rodriguez**

FECHA: JULIO - 2018

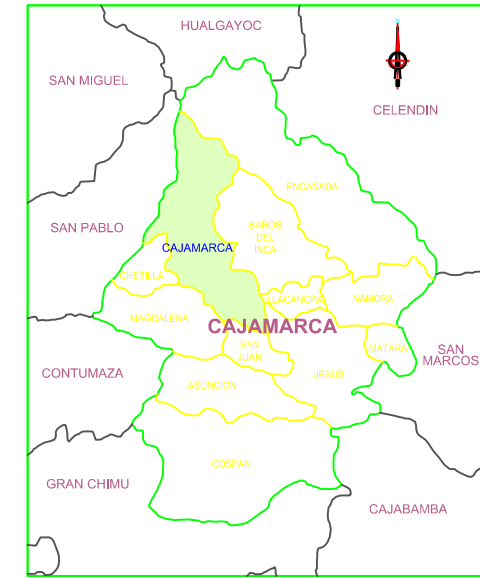
ANEXO N° 21: Plano de población de la ciudad de Cajamarca según data del INEI- 2007.



ANEXO N° 22: Ubicación de Terreno PTAR Existente - Zona fundo Betania



ESC. 1:7500  
PLANTA GENERAL



UBICACIÓN DISTRITAL  
S/E

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	RÍO
	QUEBRADA
	MANZANEO
	LÍMITE DE DISTRITO

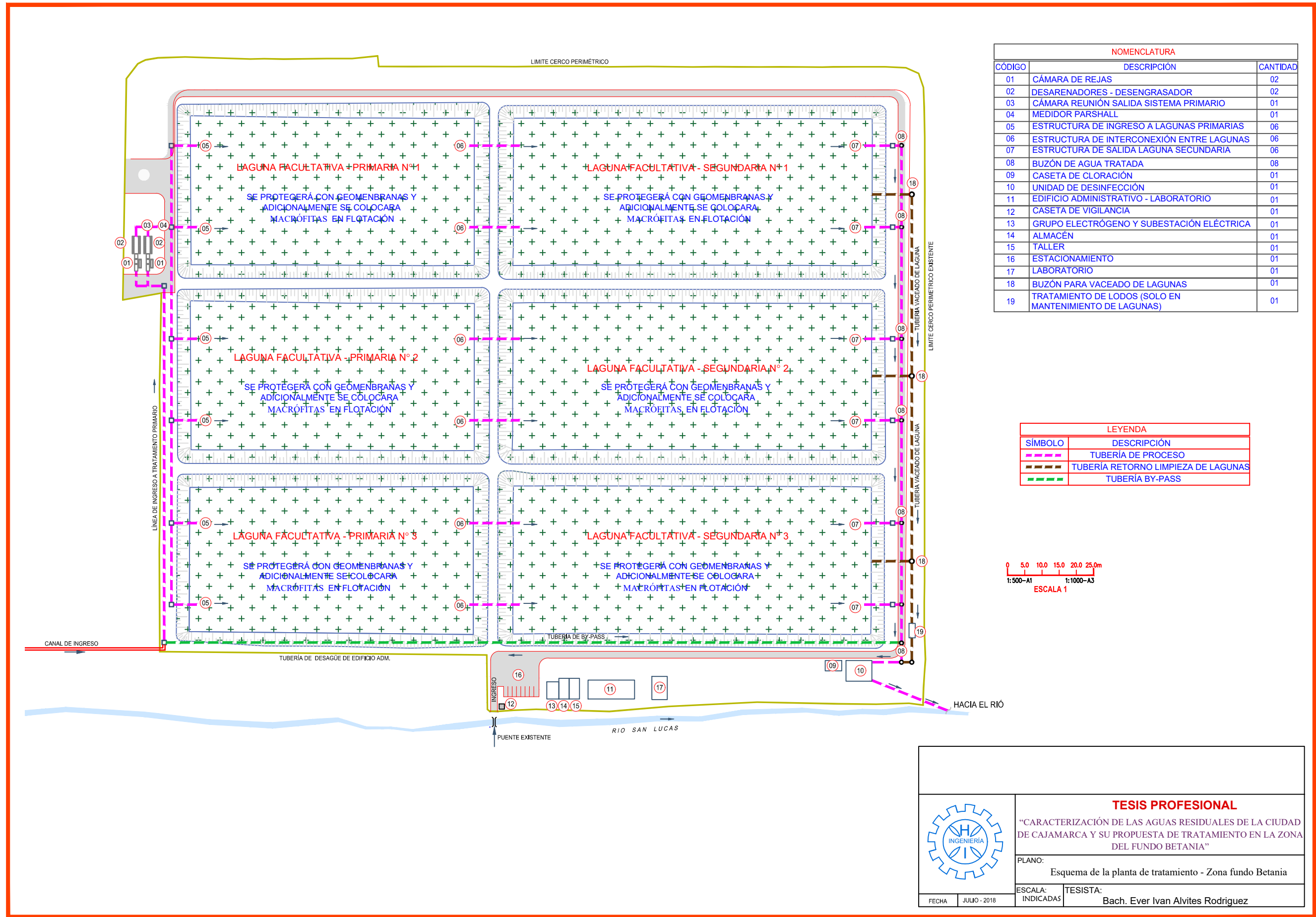


Descripción	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	COTA (ms.n.m.)
PTAR existente Fundo Betania	9207860	776812	2680

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA E.A.P DE INGENIERÍA HIDRÁULICA	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b> "CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA ZONA DEL FUNDO BETANIA"
	PLANO: Ubicación de Terreno PTAR Existente - Zona fundo Betania
ESCALA: INDICADAS	TESISISTA: Bach. Ever Ivan Alvites Rodriguez
FECHA: JULIO - 2018	

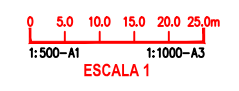


ANEXO N° 23: Esquema de la planta de tratamiento - Zona fundo Betania



NOMENCLATURA		
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
01	CÁMARA DE REJAS	02
02	DESARENADORES - DESENGRASADOR	02
03	CÁMARA REUNIÓN SALIDA SISTEMA PRIMARIO	01
04	MEDIDOR PARSHALL	01
05	ESTRUCTURA DE INGRESO A LAGUNAS PRIMARIAS	06
06	ESTRUCTURA DE INTERCONEXIÓN ENTRE LAGUNAS	06
07	ESTRUCTURA DE SALIDA LAGUNA SECUNDARIA	06
08	BUZÓN DE AGUA TRATADA	08
09	CASETA DE CLORACIÓN	01
10	UNIDAD DE DESINFECCIÓN	01
11	EDIFICIO ADMINISTRATIVO - LABORATORIO	01
12	CASETA DE VIGILANCIA	01
13	GRUPO ELECTRÓGENO Y SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	01
14	ALMACÉN	01
15	TALLER	01
16	ESTACIONAMIENTO	01
17	LABORATORIO	01
18	BUZÓN PARA VACEADO DE LAGUNAS	01
19	TRATAMIENTO DE LODOS (SOLO EN MANTENIMIENTO DE LAGUNAS)	01

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TUBERÍA DE PROCESO
	TUBERÍA RETORNO LIMPIEZA DE LAGUNAS
	TUBERÍA BY-PASS



	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	"CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA ZONA DEL FUNDO BETANIA"	
	PLANO: Esquema de la planta de tratamiento - Zona fundo Betania	
	ESCALA: INDICADAS	TESISTA: Bach. Ever Ivan Alvites Rodriguez
FECHA	JULIO - 2018	

