

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE
CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE
LAMBAYEQUE 2020**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

ASESOR

CARMEN CHILON MUÑOZ

<https://orcid.org/0000-0002-7644-4201>

Chiclayo, 2022

**EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE
CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE
LAMBAYEQUE 2020**

PRESENTADA POR:

GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR:

Ángel Lorren Palomino
PRESIDENTE

Justo Pedraza Franco
SECRETARIO

Carmen Chilon Muñoz
VOCAL

DEDICATORIA

A todas nosotras.

AGRADECIMIENTOS

A mamá, porque cuando me creí perdida, verla feliz
me permitía seguir.

A papá, por no dejar de creer en mí.

A mi hermano, por ser feliz.

ÍNDICE

RESUMEN	15
ABSTRACT	16
I. INTRODUCCIÓN.....	17
II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	19
2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS	21
2.2.1. AGUA RESIDUAL.....	21
2.2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	22
2.2.1.1.1. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	22
2.2.1.1.2. AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.....	22
2.2.1.1.3. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	22
2.2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	22
2.2.1.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS	23
2.2.1.2.2. PARÁMETROS QUÍMICOS.....	25
2.2.1.2.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS	28
2.2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
2.2.2.1. ETAPAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
2.2.2.1.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	30
2.2.2.1.2. TRATAMIENTO PRIMARIO	34
2.2.2.1.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO	34
2.2.2.1.4. TRATAMIENTO TERCIARIO.....	34
2.2.2.1.5. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS.....	35
2.2.3. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	35
2.2.3.1. MECANISMOS DE FUNCIONAMIENTO.....	36

2.2.3.1.1.	PROCESO AEROBIO	36
2.2.3.1.2.	PROCESO ANAEROBIO	37
2.2.3.1.3.	PROCESO FACULTATIVO.....	37
2.2.3.2.	TIPOS DE LAGUNAS	37
2.2.3.2.1.	LAGUNAS AEROBIAS.....	37
2.2.3.2.2.	LAGUNAS ANAEROBIAS.....	38
2.2.3.2.3.	LAGUNAS FACULTATIVAS.....	38
2.2.3.2.4.	LAGUNAS DE MADURACIÓN.....	39
2.2.3.3.	DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LAS LAGUNAS	40
2.2.3.3.1.	DISTRIBUCIÓN EN SERIE	40
2.2.3.3.2.	DISTRIBUCIÓN EN PARALELO	40
2.2.3.4.	FACTORES QUE MODIFICAN SU FUNCIONAMIENTO	41
2.2.3.4.1.	CALIDAD DEL AGUA A TRATAR.....	41
2.2.3.4.2.	ASPECTOS FÍSICOS.....	41
2.2.3.4.3.	ASPECTOS QUÍMICOS	43
2.2.4.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LOS SISTEMAS LAGUNARES	44
2.2.4.1.	GEOMETRÍA DE LAS UNIDADES	44
2.2.4.2.	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA	45
2.2.4.3.	PATRONES DE FLUJO HIDRÁULICO	45
2.2.4.3.1.	FLUJO COMPLETAMENTE MEZCLADO	46
2.2.4.3.2.	FLUJO A PISTÓN.....	46
2.2.4.3.3.	FLUJO DISPERSO.....	47
2.2.5.	DISEÑO DE UNA PTAR MEDIANTE EL SISTEMA DE LAGUNAJE.....	48
2.2.5.1.	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	48
2.2.5.1.1.	PERIODO DE DISEÑO	48
2.2.5.1.2.	POBLACIÓN DE DISEÑO.....	48
2.2.5.1.3.	DOTACIÓN.....	52
2.2.5.1.4.	CAUDAL DE DISEÑO	53
2.2.5.1.5.	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A TRATAR	54
2.2.5.1.6.	ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO	55
2.2.5.1.7.	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	56
2.2.5.1.8.	ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....	63

2.2.5.2.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	64
2.2.5.3.	DISEÑO ESTRUCTURAL E HIDRÁULICO	64
2.2.5.3.1.	DISEÑO DE SISTEMA DE PRETRATAMIENTO Y MEDICIÓN DE CAUDALES.....	64
2.2.5.3.2.	DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	78
2.2.5.4.	CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS DE DISEÑO.....	94
2.2.5.4.1.	SELECCIÓN DE UBICACIÓN	95
2.2.5.4.2.	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	96
2.2.5.4.3.	REVESTIMIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN.....	96
2.2.5.4.4.	ESTRUCTURAS DE INGRESO Y SALIDA	96
2.2.5.4.5.	ESTRUCTURAS DE INTERCONEXIÓN	98
2.2.5.4.6.	DISPOSITIVO DE REUNIÓN Y DESCARGA FINAL.....	99
2.2.5.4.7.	DIQUES	100
2.2.6.	OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y MONITOREO.....	100
2.2.6.1.	OPERACIÓN.....	101
2.2.6.2.	MANTENIMIENTO.....	102
2.2.6.2.1.	LIMPIEZA DE SEDIMENTOS Y LODOS ACUMULADOS	102
2.2.6.3.	MONITOREO.....	103
2.3.	MARCO LEGAL	104
2.3.1.	PLAN NACIONAL DE ACCIÓN AMBIENTAL / PERÚ 2011 – 2021.....	104
2.3.2.	NORMA OS 090. PTAR 2016. PERÚ: RNE.....	105
2.3.3.	DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA Y DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS.	105
2.3.4.	DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. LMP PARA LOS AFLUENTES DE PTAR DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.	106
2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	106
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	107
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	107

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	107
3.3. OBJETIVOS.....	108
3.3.1. Objetivo General.....	108
3.3.2. Objetivos específicos	108
3.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN	108
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	110
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	111
3.6.1. TÉCNICAS	111
3.6.2. INSTRUMENTOS	111
3.7. PROCEDIMIENTOS	111
3.8. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	112
3.9. MATRIZ DE CONSISTENCIA	116
3.10. CONSIDERACIONES ÉTICAS	117
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	118
4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PTAR.....	118
4.1.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA	118
4.1.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN GEOMÉTRICA	119
4.1.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA OPERATIVIDAD Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR.....	119
4.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	120
4.3. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE CAUDALES.....	122
4.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE BATIMETRÍA.....	123
4.5. ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA.....	124
4.6. ESTUDIO DE SUELOS	124

4.7. ESTUDIO HIDROMETEREOLÓGICO	125
4.8. PROPUESTA DE TRATAMIENTO	125
4.8.1. SISTEMA DE PRETRATAMIENTO	125
4.8.2. TREN DE TRATAMIENTO N° 01	126
4.8.3. TREN DE TRATAMIENTO N° 02	126
4.8.4. TREN DE TRATAMIENTO N° 03	127
4.8.5. ELECCIÓN DE TREN DE TRATAMIENTO	127
4.9. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	128
V. CONCLUSIONES	128
VI. RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA.....	133
ANEXOS	137

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Parámetros de control estándar en las lagunas de estabilización.</i>	23
Tabla 2. <i>Tipos de sólidos presentes en las aguas residuales.</i>	23
Tabla 3. <i>Características de los principales niveles de tratamiento para las aguas residuales.</i>	30
Tabla 4. <i>Tipos de vertederos y fórmulas para determinar el caudal.</i>	32
Tabla 5. <i>Área requerida para varios procesos de tratamiento de aguas residuales según el tipo de tratamiento.</i>	45
Tabla 6. <i>Valores referenciales para determinar el factor de dispersión según la relación largo/ancho.</i>	47
Tabla 7. <i>Dotación según el número de habitantes y el clima de la localidad.</i>	52
Tabla 8. <i>Composición típica del agua residual doméstica bruta.</i>	55
Tabla 9. <i>Valores de la radiación solar en unidades $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{día}$.</i>	61
Tabla 10. <i>Valores del coeficiente de Manning.</i>	68
Tabla 11. <i>Relación entre el diámetro de las partículas y la velocidad de sedimentación.</i>	71
Tabla 12. <i>Valores de la viscosidad cinemática del agua, en función de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$).</i>	71
Tabla 13. <i>Fórmulas para canales Parshall.</i>	75
Tabla 14. <i>Dimensiones del canal de Parshall, de acuerdo con la configuración de la ilustración 19.</i>	76
Tabla 15. <i>Factor para corrección de caudal para un $W > 1\text{pie}$.</i>	77
Tabla 16. <i>Recomendaciones de diseño para lagunas aeradas con oxigenación natural.</i>	80
Tabla 17. <i>Métodos y disposiciones para el diseño de lagunas aireadas de forma mecánica.</i>	82
Tabla 18. <i>Valores de diseño para cargas volumétricas en función de la temperatura.</i>	83
Tabla 19. <i>Métodos y disposiciones de diseño para lagunas anaerobias.</i>	84
Tabla 20. <i>Métodos y disposiciones de diseño para lagunas facultativas.</i>	88
Tabla 21. <i>Métodos y disposiciones de diseño para lagunas facultativas.</i>	89
Tabla 22. <i>Valores referenciales del factor de dispersión según la relación largo - ancho.</i>	93
Tabla 23. <i>Métodos y disposiciones de diseño para lagunas de maduración.</i>	94
Tabla 24. <i>Operacionalización de las variables de la investigación.</i>	110
Tabla 25. <i>Matriz de consistencia de la investigación.</i>	116
Tabla 26. <i>Parámetros que dependen de la geometría de la laguna.</i>	119
Tabla 27. <i>Cumplimiento de los parámetros del agua residual con el DS 003-2010-MINAM.</i>	121
Tabla 28. <i>Cumplimiento de los parámetros del agua residual con el DS 004-2017-MINAM.</i>	121
Tabla 29. <i>Cumplimiento de los parámetros del agua residual con el DS 0203-2020-MINAGRI.</i>	121
Tabla 30. <i>Registro de caudales.</i>	122
Tabla 31. <i>Resumen de resultados de datos batimétricos.</i>	123
Tabla 32. <i>Resultados de dimensionamiento de sistema de pretratamiento.</i>	125
Tabla 33. <i>Resultados de dimensionamiento de tren de tratamiento N° 01.</i>	126
Tabla 34. <i>Resultados de dimensionamiento de tren de tratamiento N° 02.</i>	126
Tabla 35. <i>Resultados de dimensionamiento de tren de tratamiento N° 03.</i>	127

Tabla 36. Evaluación geométrica de las rejillas.	138
Tabla 37. Evaluación geométrica del desarenador.	138
Tabla 38. Evaluación geométrica de las lagunas de estabilización.....	138
Tabla 39. Tipo de flujo según la relación L/A de la laguna.....	138
Tabla 40. Tabla N° 01: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Buzones.	138
Tabla 41. Tabla N° 02: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Cámara de rejillas.	138
Tabla 42. Tabla N° 03: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Desarenador.	138
Tabla 43. Tabla N° 04: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Canal de Parshall.	138
Tabla 44. Tabla N° 05: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Cajas de repartición de caudal.....	138
Tabla 45. Tabla N° 06: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Cajas de entrada e interconexión con vertedero.	138
Tabla 46. Tabla N° 07: Registro de evaluación organoléptica/Sistema de lagunaje /Laguna facultativa LP 1.....	138
Tabla 47. Tabla N° 08: Registro de evaluación organoléptica/Sistema de lagunaje /Laguna facultativa LP 2.....	138
Tabla 48. Tabla N° 09: Registro de evaluación organoléptica/Sistema de lagunaje /Laguna facultativa LS 1.....	138
Tabla 49. Tabla N° 10: Registro de evaluación organoléptica/Sistema de lagunaje /Laguna facultativa LS 2.....	138
Tabla 50. Tabla N° 11: Registro de evaluación organoléptica/Efluente /Canal y punto de descarga.....	138
Tabla 51. Coordenadas de puntos de monitoreo.	138
Tabla 52. Resultados de caracterización de muestras de agua residual.	138
Tabla 53. Estándares de calidad ambiental y niveles de calidad de AR para reúso.	138
Tabla 54. Contraste de resultados con DS 003-2010-MINAM.....	138
Tabla 55. Eficiencia entre muestra N°1 y N°2.....	138
Tabla 56. Eficiencia entre muestra N°1 y N°3.....	138
Tabla 57. Eficiencia entre muestra N°2 y N°4.....	138
Tabla 58. Eficiencia entre muestra N°3 y N°4.....	138
Tabla 59. Eficiencia del sistema de lagunaje.....	138
Tabla 60. Clasificación de AR, según su DBO.....	138
Tabla 61. Volumen de lodos sedimentado en lagunas primarias.	138
Tabla 62. Volumen de lodos sedimentado en lagunas secundarias.	138
Tabla 63. Volumen de lodos sedimentados, por batería.	138
Tabla 64. Características batimétricas de cada laguna de estabilización.	138
Tabla 65. Dirección y velocidad media del viento (2015 - 2020).	138

Tabla 66. <i>Temperatura media mensual, °C (2015 - 2020).</i>	138
Tabla 67. <i>Humedad relativa media mensual (2015 - 2020).</i>	138
Tabla 68. <i>Precipitación total mensual (2015 - 2020).</i>	138
Tabla 69. <i>Población censal.</i>	138
Tabla 70. <i>Razón de crecimiento, según método poblacional.</i>	138
Tabla 71. <i>Proyección poblacional.</i>	138
Tabla 72. <i>Distritos que conforman la cuenca hidrográfica del río Zaña.</i>	138
Tabla 73. <i>Centros poblados del distrito de Cayaltí.</i>	138
Tabla 74. <i>Matriz de identificación de factores ambientales potencialmente afectados.</i>	138
Tabla 75. <i>Matriz de identificación de impactos.</i>	138
Tabla 76. <i>Matriz de Leopold correspondiente a la fase de planificación.</i>	138
Tabla 77. <i>Matriz de Leopold correspondiente a la fase de construcción.</i>	138
Tabla 78. <i>Matriz de Leopold de la fase de operación y mantenimiento.</i>	138
Tabla 79. <i>Ubicación de puntos de monitoreo.</i>	138
Tabla 80. <i>Acciones identificadas y evaluadas.</i>	138
Tabla 81. <i>Factores identificados y evaluados.</i>	138

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno en el tiempo (Fuente: [11]).	26
Ilustración 2. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales (Fuente: [17]).	29
Ilustración 3. Configuración y características constructivas de un canal de Parshall (Fuente: [16]).	33
Ilustración 4. Sistema de tratamiento en lagunas de estabilización (Fuente: [22]).	36
Ilustración 5. Esquema de una laguna anaerobia (Fuente: [38]).	38
Ilustración 6. Esquema de una laguna facultativa (Fuente: [38]).	39
Ilustración 7. Esquema de una laguna de maduración (Fuente: [29]).	39
Ilustración 8. Lagunas de estabilización dispuestas en serie (Fuente: [25]).	40
Ilustración 9. Lagunas de estabilización dispuestas en paralelo (Fuente: [25]).	41
Ilustración 10. Flujo pistón ideal (Fuente: [22]).	46
Ilustración 11. Flujo disperso (Fuente: [22]).	47
Ilustración 12. Descripción gráfica del método aritmético (Fuente [29]).	49
Ilustración 13. Configuración del cilindro para la evaluación de la evaporación (Fuente: [10]).	62
Ilustración 14. Profundidad de la laguna y distancia al nivel freático (Fuente: [39]).	63
Ilustración 15. Esquema de tren de sistema de pretratamiento (Fuente: [46]).	64
Ilustración 16. Sección transversal del canal de aproximación (Fuente: [36]).	67
Ilustración 17. Sección transversal de las rejillas y canal de aproximación (Fuente: [36]).	69
Ilustración 18. Desarenador de dos unidades en paralelo (Fuente: [47]).	70
Ilustración 19. Sección del desarenador con canal Parshall (Fuente: [47]).	73
Ilustración 20. Esquema de la zona de transición del desarenador (Fuente: [36]).	74
Ilustración 21. Configuración del canal de Parshall (Fuente: [46]).	75
Ilustración 22. Medidor Parshall en descarga libre y sumergida. Planta y corte (Fuente: [37]).	76
Ilustración 23. Reducción del caudal para medidores sumergidos (Fuente: [37]).	77
Ilustración 24. Esquema de una laguna aireada de forma mecánica (Fuente: [22]).	80
Ilustración 25. Sección transversal típica de una laguna construida en relación al nivel de terreno natural (Fuente: [21]).	95
Ilustración 26. Disposición de entradas y salidas del efluente en una laguna facultativa (Fuente: [31]).	97
Ilustración 27. Disposición de entradas y salidas del efluente en una laguna facultativa (Fuente: [22]).	98
Ilustración 28. Estructuras de interconexión típica entre lagunas (Fuente: [21]).	99
Ilustración 29. Disposición de dispositivos de descarga final del efluente (Fuente: [35]).	99
Ilustración 30. Configuración de un dique para una laguna de estabilización (Fuente: [26]).	100
Ilustración 31. Observaciones típicas respecto a la operación y mantenimiento de los componentes de una PTAR (Fuente: [2]).	101
Ilustración 32. Metas propuestas en el PLANAA (Fuente: [20]).	104
Ilustración 33. Límites máximos permisibles aprobados en el DS N°0.10-2010-MINAM (Fuente: [48]).	106

Ilustración 34. Factor de dispersión en función a la relación largo/ancho de la laguna (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 35. Puntos de monitoreo, en planta general (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 36. Resultado de caracterización de agua residual (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 37. Resultados de parámetros microbiológicos (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 38. Resultados de parámetros físicos - químicos (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 39. Sección hidráulica modelo (Fuente: [26]).	138
Ilustración 40. Porcentajes de volúmenes sedimentados y volumen libre, por laguna.	138
Ilustración 41. Porcentaje de volumen a descolmar y volumen libre, del sistema de lagunaje (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 42. Carta nacional (Fuente: [3]).	138
Ilustración 43. Ubicación de la PTAR, respecto a las poblaciones más cercanas (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 44. Ubicación de estación meteorológica Cayaltí (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 45. Velocidades medias mensuales, periodo de 2015 a 2020 (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 46. Temperatura media mensual °C, periodo 2015 a 2020 (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 47. Mapa de clasificación climática (Fuente: [53]).	138
Ilustración 48. Humedad relativa media mensual, periodo 2015 a 2020 (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 49. Precipitación total mensual, periodo 2015 a 2020 (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 50. Sección transversal del canal de aproximación.	138
Ilustración 51. Sección transversal de las rejillas (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 52. Perfil hidráulico en el cribado (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 53. Diagrama de flujo de tren de tratamiento N° 01 (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 54. Diagrama de flujo de tren de tratamiento N° 02 (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 55. Diagrama de flujo de tren de tratamiento N° 03 (Fuente: Elaboración propia).	138
Ilustración 56. Ubicación política de la PTAR.	138
Ilustración 57. Vías de acceso al distrito de Cayaltí.	138
Ilustración 58. Componentes de la PTAR de Cayaltí.	138
Ilustración 59. Temperatura durante el periodo marzo - abril del 2021.	138
Ilustración 60. Principales zonas de vida en el Perú.	138
Ilustración 61. Áreas naturales protegidas en el departamento de Lambayeque (Fuente: [44]).	138

RESUMEN

Uno de los principales problemas medioambientales en nuestro país, es la contaminación del agua, y quizá la fuente principal de la existencia de dicho problema sea el vertimiento sin control de aguas residuales sin tratamiento o con un tratamiento deficiente. Esto evoca una realidad latente, que no solo ocasiona la pérdida de flora y fauna, sino, la proliferación de enfermedades que cuestan anualmente miles de millones al producto bruto interno (PBI) del país.

El objetivo de este proyecto se concentra en la ejecución de una evaluación y estudio que nos permita determinar el estado de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí (Chiclayo, Lambayeque). Esto se logrará a través de una inspección a la planta y sus componentes, así como mediante la práctica ensayos físicos, químicos y biológicos para constatar si la calidad del efluente es la adecuada para irrigar campos de cultivo de tallo bajo, como se viene haciendo en dicha localidad. También se realizará un levantamiento topográfico, del tipo batimétrico, que nos permitirá evaluar el volumen útil actual del sistema respecto al inicial. Todos estos resultados serán contrastados con la normativa peruana, para realizar un análisis en torno a la problemática y desarrollar una posible alternativa de solución.

Palabras clave: Aguas residuales, lagunas de estabilización, batimetría, eficiencia, vertimiento.

ABSTRACT

One of the main environmental problems in our country is the contamination of water, and perhaps the main source of the existence of this problem is the discharge without control of wastewater without treatment or with poor treatment. This evokes a latent reality, which not only causes the loss of flora and fauna, but also the proliferation of diseases that cost the country's gross domestic product (GDP) annually.

The objective of this project is focused on the execution of an evaluation and study that allows us to determine the operating status of the wastewater treatment plant of the Cayaltí district (Chiclayo, Lambayeque). This will be achieved through an inspection of the plant and its components, as well as through physical, chemical and biological tests to verify whether the effluent quality is adequate to irrigate low-stemmed crop fields, as has been done in that locality. There will also be a topographic survey, of the bathymetric type, will also be carried out, which will allow us to evaluate the current useful volume of the system with respect to the initial one. All these results will be contrasted with Peruvian regulations, to carry out an analysis around the problem and develop a possible solution alternative.

Keywords: Wastewater, stabilization lagoons, bathymetry, efficiency, dumping.

I. INTRODUCCIÓN

A la actualidad, debido al contante crecimiento sociodemográfico y acción del hombre, en nuestro planeta se producen grandes cantidades de aguas residuales, es por ello que surge la necesidad de una visión sostenible que contribuya al tratamiento eficiente de estas para que su disposición final no modifique altamente los ecosistemas.

Existen diferentes tecnologías para este fin, pero los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización son los más ampliamente usados alrededor del mundo debido a su bajo costo en operación y mantenimiento [1]. Sin embargo, debe resaltarse que un mal manejo y gestión de la planta, dará como resultado un efluente que no contará con la calidad mínima requerida para su vertido, lo que deja sin efecto la solución del reúso o disposición final en un cuerpo de agua sin consecuencias como la contaminación del medio en cuestión. En Latinoamérica, el avance tecnológico de lagunas de estabilización es la más utilizada, con 866 componentes de tratamiento de las 2242 existentes [1]. Y en nuestro país, el sistema de lagunaje forma parte del 75% del total de las PTAR existentes [2]. Perú tiene una población en crecimiento de más de 31 millones de habitantes, y es considerado el cuarto país más poblado de América del Sur, lo que significa que la brecha a cubrir en cuanto al saneamiento y alcantarillado es mayor, y las cifras así lo confirman: 3.4 millones (11%) de peruanos no cuentan con acceso a agua potable y 8.3 millones no cuentan con alcantarillado. Además, solo el 62% de los desagües captados por las empresas prestadoras de servicio de saneamiento (EPS) ingresan a una planta de tratamiento de aguas residuales y aun así no tienen un tratamiento adecuado, pues sus servicios no son certificados o sostenibles [3]. Cabe resaltar que la baja eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales principalmente en países del tercer mundo, como el nuestro, se fundamenta en los siguientes factores: El diseño de los componentes de las PTAR, la sobrecarga hidráulica, la negligente gestión y mantenimiento, y el inexistente monitoreo de las condiciones de operatividad de estas.

En las diferentes visitas a campo se pudo observar que, en su mayoría, por no decir que todas las localidades las lagunas de estabilización es el sistema genérico de las plantas de tratamiento y tienen un diseño tradicional, que solo se trabajan en torno a una eficiencia mediocre. Ello se constata en la poca importancia dada a la hidrodinámica como parte de la concepción y diseño de los sistemas de lagunas de lagunaje, la que implica

modificaciones en la configuración de la geometría de las lagunas, entradas, salidas y agentes externos que dependen del factor climatológico, entre otros [4], factores que se pretenden tener en cuenta en la presente evaluación y estudio.

El distrito de Cayaltí, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual presenta deficiencia en cuanto a su funcionamiento que se resume en la falta de mantenimiento desde su puesta en operación y el pobre tratamiento de las aguas residuales, lo que implica el incumplimiento con los límites máximos permisibles (LMP), y los estándares de calidad ambiental (ECA), esto fundamentado en la última inspección a la planta realizada por el Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA). Quizá la más resaltante justificación para el objeto de este estudio es el hecho de que el efluente descarga en el canal de riego “San Nicolás”, que cuenta con una extensión de 6 400 metros, y beneficia alrededor de 616 hectáreas de cultivo de arroz (Ver Anexo N°4), materia prima que es comercializada en la zona y anexos. Entonces podemos afirmar que el ineficiente tratamiento de las aguas residuales repercute directamente en la salud pública, ya que implica un riesgo potencial de exposición de la población frente a organismos patógenos que generan enfermedades, debido a la posibilidad de incorporación o adsorción de estos a los productos agropecuarios de consumo humano, en este caso, el arroz, producto que es comercializado en la zona y anexos, principalmente por el molino que tiene el mismo nombre del canal en el que se realiza la disposición.

Ante esta realidad, una solución para mejorar la eficiencia de la PTAR es la reconfiguración hidráulica del sistema, como por ejemplo mediante una optimización del diseño actual, modificando la configuración de las entradas y salidas del flujo o la implementación de aireadores mecánicos [4], entre otras tantas alternativas.

Entonces, el presente trabajo de grado tiene como objetivo principal evaluar y realizar un estudio de la eficiencia, batimetría y geometría de la planta de tratamiento, mediante el logro de los siguientes objetivos específicos: Diagnosticar el estado actual de los componentes de la planta, determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente y contrastar los resultados con la normativa peruana, realizar una evaluación geométrica de los componentes de la PTAR, estimar la cantidad de lodos acumulados en las lagunas y el volumen útil disponible en cada unidad y realizar una evaluación ambiental. Esto permitiría mostrar el diagnostico actual de operatividad y la

confiabilidad en el tratamiento de remoción de contaminantes, así como la funcionalidad de la infraestructura que la compone, para mediante esto determinar una posible solución al actual problema.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En los antecedentes, se describen las diferentes investigaciones existentes, actualizadas y de importancia para el desarrollo de la evaluación y estudio de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí.

A continuación, se exponen las seis y de mayor relevancia:

- ✓ **J. A. Silva Burga, «Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura,» Piura, 2004.**

En la presente tesis exponen los lineamientos precisos que refieren al origen del agua de desecho doméstica y a su posterior tratamiento, además de la supervisión del sistema de lagunaje actual de la universidad de Piura y la estimación de los diferentes parámetros a ser utilizados en el rediseño de la infraestructura. Se realiza el diseño del sistema actual existente, y una estimación aproximada del costo del proyecto en general. Al terminar, se brindan algunas referencias de técnicas para la operatividad competente y mantenimiento para el correcto funcionamiento del sistema.

- ✓ **Y. Mamani Yapurasi, «Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave, provincia de El Collao,» Puno, 2017.**

En la presente tesis exponen una evaluación realizada a la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ilave, por medio de la determinación de su eficiencia, verificando que el efluente cumpla con los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental. Además, a partir de los datos e información obtenida mediante la evaluación, plantea como alternativa de solución un rediseño, que consiste en un tren de tratamiento que consta de: cámara de rejillas, desarenador, medidor de caudal, canal repartidor, estructuras de entrada y salida de las lagunas, lagunas del tipo facultativo en paralelo con una de maduración, funcionando en serie.

Al finalizar, se plantean opciones para la operación y mantenimiento de las lagunas, y se anexa un manual con mayor detalle de ello.

- ✓ **E. López Mestanza, «Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El Alto, Talara Piura.,» Chiclayo, 2018.**

En la presente tesis se presenta una investigación sobre el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de El Alto, con el objeto de exponer nuevas tecnologías modernas para el mejoramiento de esta. Además, con esto se busca disminuir el riesgo de los pobladores del lugar a contraer posibles enfermedades infecciosas debido al posible deficiente tratamiento, y así también se contribuye a la reducción del grado de contaminación del medio ambiente. El mejoramiento involucra, el rediseño de la estructura considerando nuevos elementos que contribuyan a este, y a su rendimiento.

- ✓ **F. Cortés Martínez, A. Treviño Cansino y A. C. Tomasini Ortiz, *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*, Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017, p. 128.**

Este libro, tiene como fin primordial guiar al estudiante o profesional con interés en el cálculo del dimensionamiento de lagunas de estabilización para pequeñas comunidades. La investigación señala que las razones principales por las cuales los sistemas de tratamiento por medio de lagunas de estabilización no cumplen con su función principal se debe a una construcción inadecuada, deficiente diseño, mala operación y precario de mantenimiento, por esto establece lineamientos a tomar en cuenta para un funcionamiento óptimo, exponiendo un correcto diseño de un sistema de lagunaje.

- ✓ **L. Salguero y S. Oakley, *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica. Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad.*, EE.UU: Universsidad Estatal de California, 2010.**

El presente manual de trabajo nos expone las experiencias de diferentes expertos en la gestión de las aguas residuales en Centroamérica, las consecuencias que su inexistente o deficiente tratamiento genera en la salud y nuestro medio natural.

Además, rescata y puntualiza, los puntos clave de sostenibilidad como el reúso del efluente de aguas residuales tratadas destinadas al riego agrícola. Específicamente en su segundo capítulo expone los resultados del monitoreo a diferentes lagunas de estabilización localizadas en Honduras, de modo que deja en evidencia las falencias de estas a modo de proporcionar una base informativa como un instrumento que resalta diferentes variables a tener en cuenta en el diseño, construcción, operación, mantenimiento, manejo de lodos, reúso y sostenibilidad a fin de alcanzar el éxito a largo plazo en el tratamiento eficiente de las aguas residuales.

2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.2.1. AGUA RESIDUAL

Las Aguas Residuales son el producto del uso del recurso hídrico mezclado con cualquier sustancia que ingresa a la red de alcantarillado [5]. El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [6], define a las aguas residuales como aquellas que sufren modificaciones en sus características iniciales debido a la intervención del hombre, por lo cual necesitan un tratamiento de descontaminación previo a su vertido a un cuerpo de agua o reúso.

Aparte de su denominación más conocida como “agua residual”, recibe otros nombres como aguas de desecho, aguas cloacales o fecales y aguas negras, entre otras.

Las aguas residuales sin un tratamiento de descontaminación constituyen un importante riesgo tanto para el suelo como los cuerpos de agua donde son dispuestos, y como daño colateral surgen diferentes tipos de enfermedades debido al uso irresponsable de estas. Se debe tener en consideración el origen de donde provienen las aguas residuales, pues en base a ello, se destina el tipo de tratamiento y la tecnología más idónea a utilizar para cada caso particular.

De acuerdo con ello, Romero [5, p. 23], presenta de la siguiente forma la caracterización de las aguas residuales:

2.2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

La clasificación puede darse de diferentes formas, sin embargo, es más comúnmente clasificar a las aguas residuales según su origen, es decir de cómo son originadas, de la actividad que las genera, por lo que el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [6], en el reporte de Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales, las describe como:

2.2.1.1.1. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales domesticas como su mismo nombre lo sugiere responden a todas aquellas que provienen netamente de la actividad humana diaria realizadas dentro de la familia, en labores del día a día comunes entre las personas que la constituyen. Tienen como origen principalmente los hogares, residenciales y los comercios básicos.

2.2.1.1.2. AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Estas están constituidas por las anteriores de origen doméstico que por algún motivo se encuentran mezcladas con las aguas provenientes del drenaje pluvial, o aquellas generadas por las diferentes industrias que han recibido un tratamiento previo para disponerse en el alcantarillado.

2.2.1.1.3. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Estas tienen origen en aquellas actividades que permiten el desarrollo de un proceso productivo, con esto nos referimos a grandes industrias que realizan actividades como la minería, la agricultura, entre otras.

2.2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

El agua residual presenta particularidades en sus características, por lo que es necesario conocerlas y comprender lo que estas implican para así optimizar su manejo que involucra, su recolección, transporte, tratamiento y disposición final, con el fin de que el efluente presente características amigables con el medio ambientes, es decir los efectos adversos que esta puedan generar sean mínimos.

Tabla 1. *Parámetros de control estándar en las lagunas de estabilización.*

Parámetro	Anaerobia	Facultativa	Maduración
Color	Café	Verde oscuro	Verde claro
Olor	Sí	No	No
pH	6.5-7.5	8-9	8-9
Temperatura del agua	20-25° C	20-25° C	20-25° C
Temperatura ambiente	18-35° C	18-35° C	18-35° C
Oxígeno disuelto	0	> 6 mg/L	6-35 mg/L

(Fuente: [38]).

2.2.1.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS

La característica física principal y que más destaca en el agua residual es el contenido de sólidos totales, sin embargo, entre otras encontramos, el olor, el color, la temperatura y la turbiedad.

A continuación, estos son descritos:

- Sólidos

El contenido de sólidos totales se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación con una temperatura entre 103 a 105 ° [7].

Estos pueden clasificarse según su estado y tamaño en sólidos sedimentables, suspendidos, coloidales y disueltos. Y según sus características químicas en sólidos no volátiles y volátiles, los últimos se volatilizan a una temperatura de 550 °C [8].

Tabla 2. *Tipos de sólidos presentes en las aguas residuales.*

Sólidos	Fracción total	Fracción volátil	Fracción fija (Material inorgánico)
Totales	ST	STV	STF
Suspendidos	SST	SSV	SSF
Disueltos	SDT	SDV	SDF

(Fuente: [8])

- **Olores**

La presencia de olores es debido a los gases que son liberados durante los procesos biológicos, y con esto nos referimos a la descomposición de la materia orgánica.

El agua residual séptica, tiene un olor particularmente desagradable, lo que es debido a la presencia de sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios [7].

- **Temperatura**

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua potable de suministro, puesto que en las diferentes actividades que realiza el hombre con este generalmente se incorpora agua caliente, lo cual modifica la temperatura inicial.

La temperatura en estado óptimo para que se lleve a cabo el desarrollo de la actividad bacteriana se establece entre los 25 °C y los 35 °C. Los procesos que involucran la digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se llegan a los 50 °C. Alrededor de temperaturas de 15 °C, las bacterias generadoras de metano finalizan su trabajo, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de trabajar cuando se dan valores cercanos a los 5 °C, en cuanto a la temperatura. Si se alcanzan temperaturas del orden de 2°C incluso las bacterias quimio heterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar [9]. Es por ello que, esta característica física resulta de gran importancia, pues como ya se mencionó condiciona la vida bacteriana, por ende, condiciona la eficiencia de los tratamientos para la remoción de contaminantes.

- **Color**

El agua residual reciente, suele tener un color característico grisáceo, y con relación a esto podemos permitirnos determinar cualitativamente la edad del agua del residual, en función del color y el olor.

El color del agua residual cambia regularmente al ser mayor el tiempo que estas se encuentran en las redes del alcantarillado y a generarse en condiciones más próximas a las anaerobias, de gris a gris oscuro, hasta el color negro, cuando presentan dicho color, éstas son denominadas como sépticas [9].

- **Turbiedad**

La turbiedad es otro parámetro más que sirve para indicar tanto la calidad del agua residual, como la del agua natural en relación con la materia coloidal y en suspensión en la composición de estas. Hace referencia a la transmisión de luz en el agua.

2.2.1.2.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

Las características químicas de las aguas residuales pueden ser clasificadas, según su naturaleza en tres grupos: materia orgánica (grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno), compuestos inorgánicos (potencial de hidrógeno) y los compuestos gaseosos.

Materia Orgánica

La materia orgánica, es considerada como toda aquella que tiene origen en el reino animal y vegetal, y en las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Las aguas residuales principalmente están constituidas por materia orgánica formada por combinaciones de carbono, oxígeno e hidrógeno, sin embargo, también están presentes otros elementos como el fósforo, hierro, azufre y la urea. Este último, debido a que es el principal constituyente de la orina, sin embargo, rara vez es detectada ya que su velocidad de descomposición es alta [7].

Este tipo de contaminantes, son biodegradables, lo que significa que pueden ser transformados en compuestos más simples gracias a la intervención de microorganismo y por la acción de la temperatura.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es el parámetro más utilizado para medir la concentración de contaminantes orgánicos existentes en las aguas residuales principalmente de origen doméstico.

Silva [10] resalta que, es la medida del oxígeno en el agua utilizado para la degradación de la materia orgánica mediante los microorganismos. El conocimiento de la medida de este parámetro es fundamental, para el diseño y gestión técnica de la calidad del efluente, ya que indica la cantidad de oxígeno que es necesario para mantener estable la materia organica en la laguna de estabilización dispuesta.

En laboratorio la DBO se determina en cinco días (DBO_5), que vendría a ser la cantidad total de oxígeno consumida por los microorganismos (bacterias aerobias) durante los primeros cinco días de descomposición. Dicha concentración de se expresa miligramos por litro (mg/l) [11].

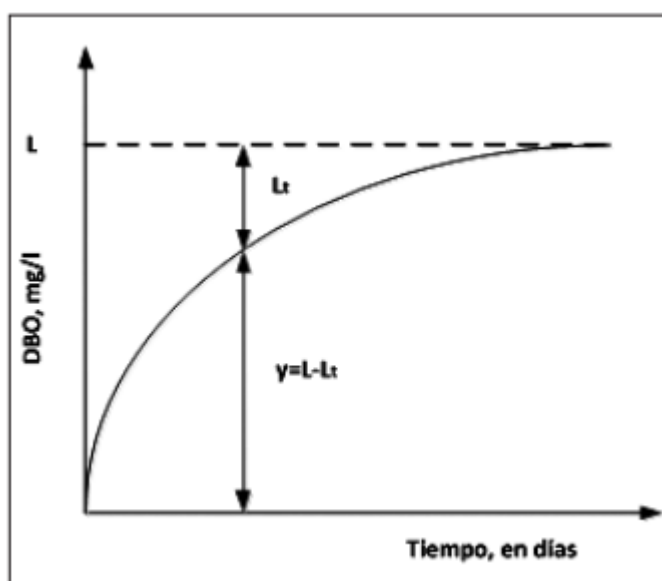


Ilustración 1. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno en el tiempo (Fuente: [11]).

- Demanda Química de Oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), hace referencia a la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente los materiales orgánicos

presentes en una muestra de agua. Mediante el mencionado proceso de oxidación degrada el material orgánico biodegradable y no biodegradable.

La DQO siempre es más mayor que la DBO₅, ya que la DQO contiene la DBO₅.

Materia Inorgánica

Se considera como materia orgánica, a todos los sólidos de origen mineral, es decir a las arcillas, lodos, sales minerales, arenas y gravas. Este tipo de contaminantes, no son biodegradables.

- Potencial de Hidrógeno

El potencial de hidrógeno, o más conocido por su abreviatura, pH, es el indicador que nos permite determinar la acidez o alcalinidad de una sustancia y es importante en el agua residual ya que influye en la vida bacteriana y por ende en el proceso de eliminación de contaminantes realizado por estas.

Compuestos Gaseosos

Las aguas residuales contienen distintos gases con diferente concentración, a continuación se describen aquellos presentes con mayor frecuencia.

- Oxígeno disuelto

Es un gas que se consume debido a la actividad química y biológica. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual evita la formación de olores desagradables. Es considerado el más importante [10].

- Ácido sulfhídrico

Este gas se forma debido a la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Se evidencia dado los malos que su presencia en el proceso dado en las lagunas genera [10].

- **Anhídrido carbónico**

Este gas se genera debido a la fermentación de los contribuyentes biodegradables de las aguas residuales negras (sépticas) [10].

- **Metano**

Este gas se forma debido a la descomposición anaerobia de la materia orgánica por la reducción bacteriana del dióxido de carbono (CO_2) [10].

2.2.1.2.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Este tipo de características están definidas por la clase de microorganismos presentes en el agua, entre los cuales tenemos:

- **Bacterias**

Los microorganismos que las conforman son de vital importancia para la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Las bacterias pueden clasificarse según su metabolismo, y según lo indicado por García [13], pueden ser aerobias (requieren aire para vivir), anaerobias (viven sin aire) o facultativas (pueden vivir con aire o sin él). Estas son útiles para estabilizar las aguas residuales, y cabe indicar que el proceso anaerobio conlleva mucho más tiempo que el aerobio, pues es más sensible a las condiciones ambientales por lo que produce olores más desagradables.

Silva [10], también considera como otro grupo individual a las bacterias coliformes, que son aquellas que se encuentran localizadas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente, por lo que sirven como indicadores de los contaminantes y patógenos.

- **Algas**

Estos microorganismos, requieren de compuestos inorgánicos como el anhídrido carbónico, el nitrógeno, el fósforo y otros elementos (oligoelementos) en menor medida, para reproducirse [10].

Se debe tener en cuenta que si bien las algas pueden representar un inconveniente en cuanto a su rápida proliferación debido al proceso de eutrofización (enriquecimiento del agua) y generar problemas en las instalaciones y equilibrio del sistema, también son necesarias pues son productoras de oxígeno por medio de la fotosíntesis.

2.2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales es posible mediante la realización de una serie de procedimientos físicos, químicos y biológicos, para remover los diferentes contaminantes en la materia líquida. Este proceso es típicamente realizado en una planta de tratamiento de aguas residuales, en la cual se desarrollan diferentes tecnologías, como el sistema de lagunaje, con el fin de que el efluente sea apto para su disposición final o reúso según lo establecido en las normativas ambientales.

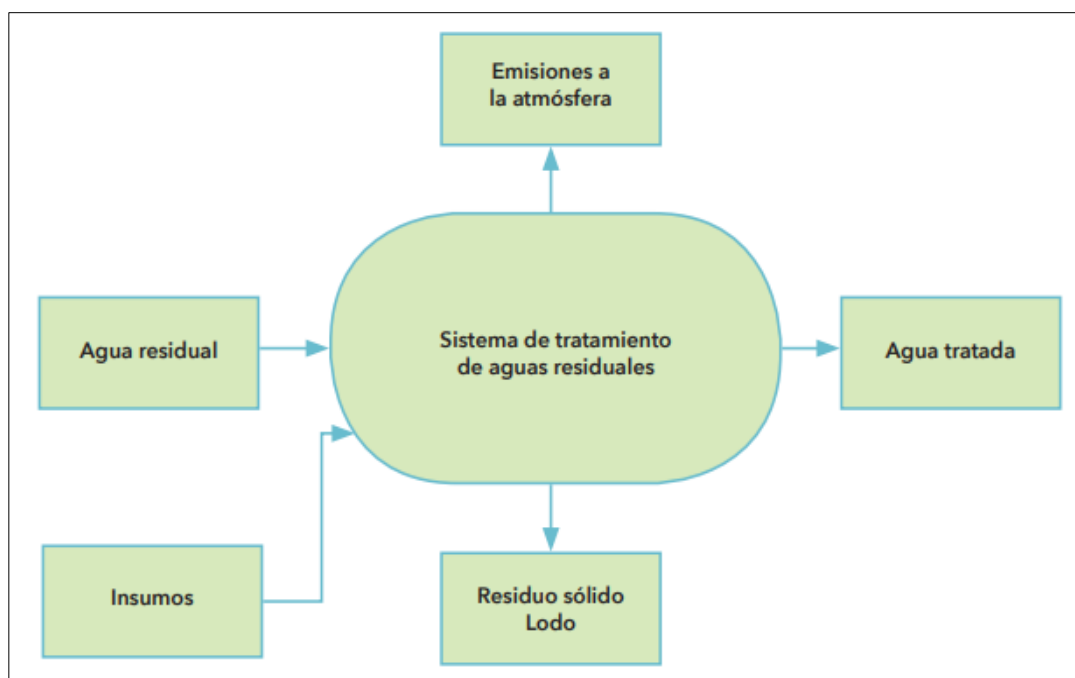


*Ilustración 2. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales
(Fuente: [17])*

2.2.2.1. ETAPAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El proceso de tratamiento de las aguas residuales puede clasificarse teniendo en cuenta sus diferentes características (procesos, complejidad, niveles, etc.), sin embargo, la forma más típica de hacerlo es por medio de niveles. A continuación,

se expone en la siguiente tabla la clasificación del tratamiento por medio de niveles y las principales características que cada uno de estos implica.

Tabla 3. Características de los principales niveles de tratamiento para las aguas residuales.

Nivel de tratamiento	ÍTEM		
	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas 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: [45])

2.2.2.1.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

La finalidad de esta etapa es eliminar los sólidos gruesos, finos, aceites y grasas. En esta etapa se busca eliminar todos aquellos materiales y cuerpos gruesos y de constitución arenosa, pues la presencia de estos en los diferentes componentes de la planta de tratamiento perjudicaría el funcionamiento eficiente de la maquinaria y equipos que la conforman, lo cual no permitiría que se lograra la eficiente descontaminación del afluente [14]. Entonces, destacamos que los procesos que involucran esta etapa básicamente buscan acondicionar a las aguas residuales con el fin de proteger las instalaciones de la planta.

Muy a menudo la etapa de pretratamiento es desestimada en los proyectos de saneamiento, sin embargo, constituye una de las más importantes pues, por ejemplo, en el caso de las lagunas de estabilización, la consideración de esta, impide la formación de capas de sólidos flotantes que dificultan el proceso biológico.

Toda planta de aguas residuales, al inicio de las instalaciones de la infraestructura para el tratamiento propiamente dicho requiere rejillas, un desarenador y una canaleta de Parshall, a continuación, se describen los siguientes:

2.2.2.1.1.1. REJILLAS O CRIBAS

Las rejillas son dispositivos usualmente formados por barras metálicas de acero, paralelas, del mismo diámetro y espaciadas de forma regular, describiendo un emparrillado. En el sistema de lagunaje, se utilizan ubican al inicio de la infraestructura, perpendicularmente al flujo, de forma vertical o con una pendiente de entre 30° y 45° [15]. En esta fase, se busca la remoción de los sólidos gruesos, y al proceso se le denomina comúnmente desbaste.

2.2.2.1.1.2. DESARENADOR

Mediante la operación que implica el uso de un desarenador se eliminan las arenas y todas aquellas partículas de una granulometría mayor a doscientas micras, para evitar se produzcan sedimentaciones en los canales de conducción y así proteger los aparatos contra la abrasión. En esta fase, se busca la remoción de sólidos arenosos.

2.2.2.1.1.3. MEDIDOR DE CAUDAL

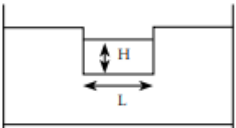
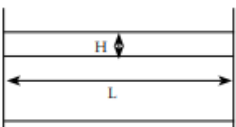
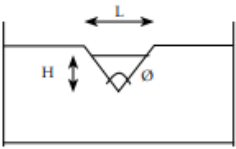
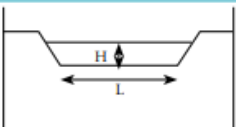
La medición del caudal es una acción importante para operar un sistema de tratamiento de aguas residuales pues a partir de este se controla la cantidad de afluente que puede ingresar al sistema.

Existen varios métodos para determinar el caudal de ingreso, entre estos el que más destaca es el canal de Parshall. A continuación, se describen algunos:

Vertederos

Estos son dispositivos hidráulicos que tienen una escotadura rectangular, trapezoidal o triangular. El agua pasa por esta escotadura, y el tirante que tiene el agua, medido desde el punto más profundo, indica el caudal [16].

Tabla 4. Tipos de vertederos y fórmulas para determinar el caudal.

TIPO DE VERTEDERO	DIAGRAMA	ECUACIÓN
Rectangular con contracción		$Q = 1,83 * L * H^{1,5}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $L = \text{longitud de cresta, m}$ $H = \text{cabeza en m}$
Rectangular sin contracción (cuando cae por una pared)		$Q = 3,3 * L * H^{1,5}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $L = \text{longitud de cresta, m}$ $H = \text{cabeza en m}$
Triangular		$\theta = 90^\circ$ $Q = 1,4 * H^{5/2}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $H = \text{cabeza en m}$ $\theta = 60^\circ$ $Q = 0,775 * H^{2,47}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $H = \text{cabeza en m}$
Trapezoidal		Si la pendiente de los lados tiene una relación 4 (vertical) / 1 (horizontal), se aplica: $Q = 1,859 * L * H^{1,5}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $L = \text{longitud de cresta, m}$ $H = \text{cabeza en m}$

(Fuente: [16])

Canal de Parshall

Este sistema fue introducido en 1920 por R. L. Parshall. Paricahua [7], menciona que la canaleta de Parshall es el aforador de flujo crítico más conocido, y usado para la medición del caudal.

Esta estructura de aforo está constituida por tres partes fundamentales que son:

- **La sección convergente o, de entrada:** Está formada por dos paredes verticales simétricas y convergentes, y de un fondo, plantilla que es horizontal.

- **La garganta:** Está formada por dos paredes también verticales pero paralelas, y el fondo es inclinado hacia abajo con una pendiente de 2.67:1.
- **La sección divergente o de salida:** Está formada por dos paredes verticales divergentes y el fondo es ligeramente inclinado hacia arriba.

Lo interesante de la forma de esta estructura es que la altura del tirante de agua que fluye por el canal es proporcional al caudal, es decir, podemos determinar el caudal (lts/s) mediante la altura del agua.

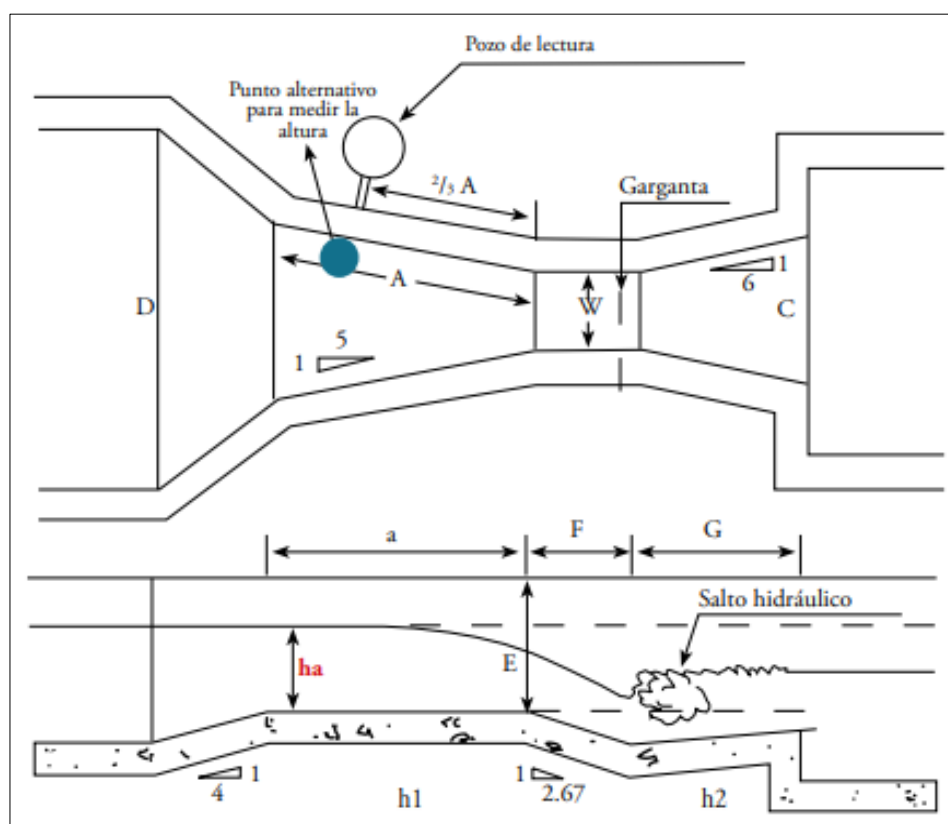


Ilustración 3. Configuración y características constructivas de un canal de Parshall (Fuente: [16]).

Otra forma para determinar el caudal es mediante el método volumétrico, que, si bien no es exacto, nos brinda una idea general del volumen que ingresa al sistema. Este método se realiza haciendo uso de un y un cronometro, con el fin de determinar el tiempo en el que se alcanza el volumen de dicho recipiente. Con estos datos se determina el caudal, pues como se sabe este es igual a volumen entre tiempo ($Q = v/t$), se recomienda realizar varias veces la acción para un resultado más aproximado.

2.2.2.1.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio [17]. El objetivo principal de esta etapa es reducir por completo mediante procesos como el de la sedimentación, coagulación o flotación los sólidos suspendidos presentes en el agua residual.

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], sugiere y recomienda para el tratamiento primario de las aguas residuales tres tecnologías por medio de las cuales llevarse a cabo: Los tanques Imhoff, los tanques de sedimentación y los de flotación.

2.2.2.1.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

En esta etapa se lleva a cabo el proceso de degradación biológica del contenido de las aguas residuales, estamos refiriéndonos al tratamiento de sólidos flotantes y sedimentados [19]. Es decir, se elimina la materia orgánica biodegradable por medios biológicos, básicamente los contaminantes son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas forman flóculos, los cuales son separados de la corriente de agua tratada, normalmente por sedimentación. De esta forma, una sustancia orgánica soluble se transforma en flóculos que son fácilmente retirados del agua [17].

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], sugiere y recomienda para el tratamiento secundario de las aguas residuales las siguientes tecnologías: Las lagunas de estabilización, lodos activados, filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto

2.2.2.1.4. TRATAMIENTO TERCIARIO

Es la etapa final del tratamiento de las aguas residuales, y representa pasos adicionales al tratamiento en sí. En el tratamiento terciario se realizan procesos de desinfección y microfiltración para mejorar y asegurar la calidad del

efluente frente al estándar indicado según la normativa antes de ser descargado [19]. Este tipo de tratamiento tiene como fin eliminar los restos existentes de sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica. Generalmente, el tratamiento terciario es requerido cuando se deben cumplir con condiciones de descarga específicas, o cuando el efluente tiene como fin su reúso.

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], menciona los siguientes métodos para el tratamiento terciario: Osmosis inversa, electrodiálisis, destilación, coagulación, adsorción, remoción por espuma, filtración, extracción por solvente, intercambio iónico, oxidación química, precipitación y la nitrificación – denitrificación.

2.2.2.1.5. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

Del tratamiento de las aguas residuales se generan dos subproductos: El agua tratada y los lodos generados tras la clarificación del afluente. El tipo de lodo que se genera depende del proceso del cuál proviene, tanto como de su grado de tratabilidad [20].

Los lodos como ya se mencionó inicialmente son en parte el resultado de la transformación de los contaminantes y su generación en el tratamiento del agua residual es inevitable, por tanto, es un factor a tener en cuenta para lograr un proceso de tratamiento sostenible ya que este es el objetivo que involucra todo esto como fin principal general.

Debido a ello, una opción atractiva y solidaria con el medio ambiente, es su reaprovechamiento en el área agrícola, como mejoradores de suelo o fertilizantes, eso sí, teniendo en cuenta siempre el cumplimiento de la normativa asociada a la producción de biosólidos para esta alternativa planteada.

2.2.3. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

La Comisión Nacional del Agua [21], define a una laguna de estabilización como una zanja producto de una excavación que se le realiza al suelo para disponer y tratar ahí por medio de una actividad bacteriana las aguas provenientes del alcantarillado de

una ciudad, a fin de disminuir o eliminar el nivel de contaminantes que contienen, antes de ser devueltas al medio ambiente.

Cabe destacar que la tecnología que constituyen las lagunas de estabilización son un componente que forma parte de una planta de tratamiento de aguas residuales.

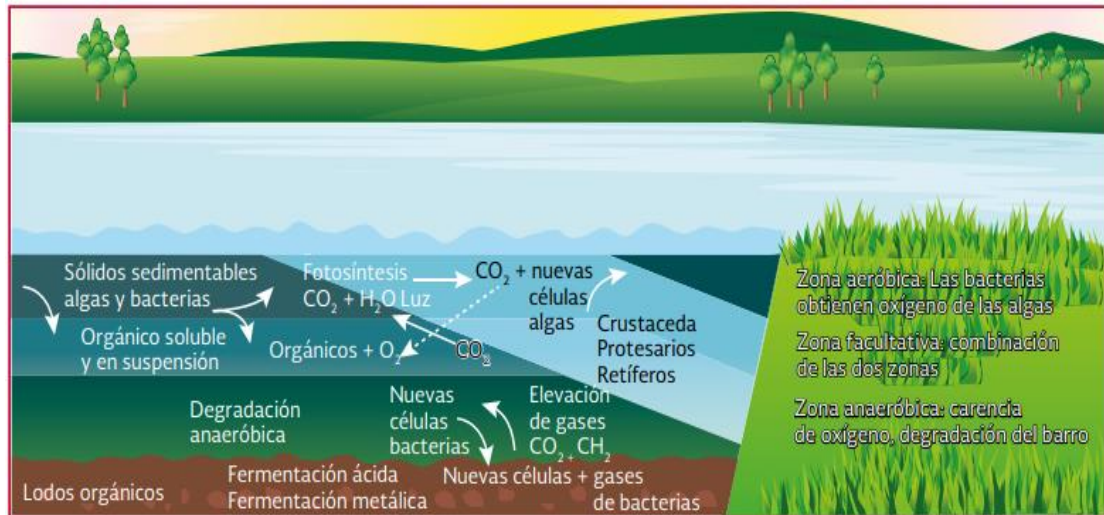


Ilustración 4. Sistema de tratamiento en lagunas de estabilización (Fuente: [22]).

2.2.3.1. MECANISMOS DE FUNCIONAMIENTO

En 1993, Yáñez, esquematiza el funcionamiento de las lagunas de estabilización en dos principales procesos: El aerobio y el anaerobio. Sin embargo, también debemos considerar el proceso facultativo, que surge de la simbiosis de los dos antes mencionados.

2.2.3.1.1. PROCESO AEROBIO

La principal característica del proceso aerobio es que la descomposición de la materia orgánica se realiza en presencia de oxígeno (oxígeno disuelto en el cuerpo de agua), originándose compuestos orgánicos producidos por las bacterias aerobias y facultativas que participan en el proceso de degradación. A su vez, mediante el proceso de fotosíntesis las algas, también contribuyen a sintetizar la materia orgánica y también son productoras de oxígeno, el cual facilita la actividad bacteriana para satisfacer la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

2.2.3.1.2. PROCESO ANAEROBIO

El proceso anaerobio, es el más lento de los 3 principales, y el con mayor posibilidad de generar malos olores. Este proceso se establece cuando el oxígeno disuelto es mayor que el que ingresa o se proporciona al sistema por la fotosíntesis de las algas y el oxígeno disuelto, por ello la algas suele tornarse gris.

2.2.3.1.3. PROCESO FACULTATIVO

Este proceso responde a la simbiosis del proceso aerobio y anaerobio, es decir estos se desarrollan para dar origen a este. Se caracteriza por ser mediante el cual se lleva a cabo la degradación tanto de la materia orgánica disuelta y como de la coloidal.

Los procesos de oxidación bacteriana convierten el material orgánico a dióxido de carbono, amoníaco y fosfatos. Y la presencia de nutrientes proporcionan un ambiente ideal para el desarrollo de las algas y estas a través de su actividad fotosintética producen más oxígeno. El cual está disponible para que las bacterias continúen la oxidación aerobia de la materia orgánica [22].

2.2.3.2. TIPOS DE LAGUNAS

El sistema de lagunaje puede clasificarse en función al proceso biológico que desarrollan. De acuerdo con esto, se diferencian los siguientes tipos:

2.2.3.2.1. LAGUNAS AEROBIAS

Las lagunas aerobias son aquellas en las que se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno generado por algas. Estas se caracterizan por ser muy poco profundas, de entre 0.5 a 1 metro, lo cual interviene en su funcionamiento pues su configuración responde al hecho de que se busca que el oxígeno penetre de forma natural desde la superficie hasta el fondo, o también por la fotosíntesis de las algas presentes en la laguna [23].

Cabe indicar que las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación, y este puede ser natural o mecánico

2.2.3.2.2. LAGUNAS ANAEROBIAS

Las lagunas anaeróbicas se caracterizan por contar con mucha profundidad respecto a las otras, nos referimos a de entre 4 a 5 metros, sin embargo, la superficie de esta es pequeña, y lo que se busca con esta configuración es concentrar una baja cantidad de oxígeno para que cumpla con su cometido.

El Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico [24], señala que, si existiese una laguna anaerobia, su posición en una batería sería la primera de esta, ya que la carga gruesa que se encuentra en el agua residual se sedimenta al fondo.

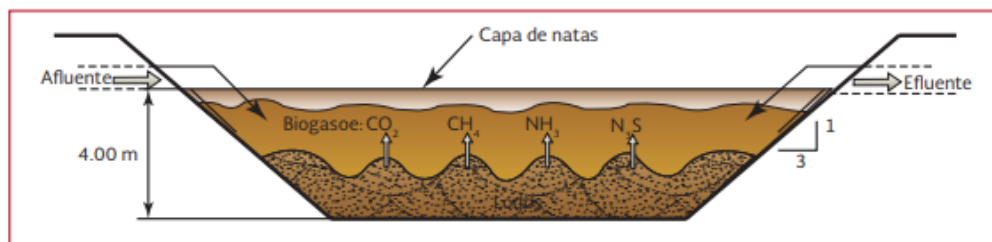


Ilustración 5. Esquema de una laguna anaerobia (Fuente: [38]).

2.2.3.2.3. LAGUNAS FACULTATIVAS

Son aquellas que realizan tanto el proceso anaerobio como el aerobio, mediante el desarrollo de tres zonas de trabajo dentro de la laguna. Tenemos la zona donde tanto bacterias como algas coexisten, como en las lagunas aerobias, por tanto, a un nivel no muy significativo, por eso se la denomina zona superficial. A la vez, está la zona de carácter aerobio o de fondo donde se acumulan todos los sólidos que en el tiempo son descompuestos, y por último encontramos la zona donde se realiza tanto un proceso parcial aerobio y anaerobio, la zona intermedia [23].

La profundidad de este tipo de lagunas es menor que la de una anaerobia, pero mayor que la de una aerobia, generalmente varía entre 1 y 2 m y se caracterizan por alcanzar un valor máximo de entre 85% a 99.99% con

respecto a la remoción de bacterias coliformes en lo que se refiere a la materia orgánica.

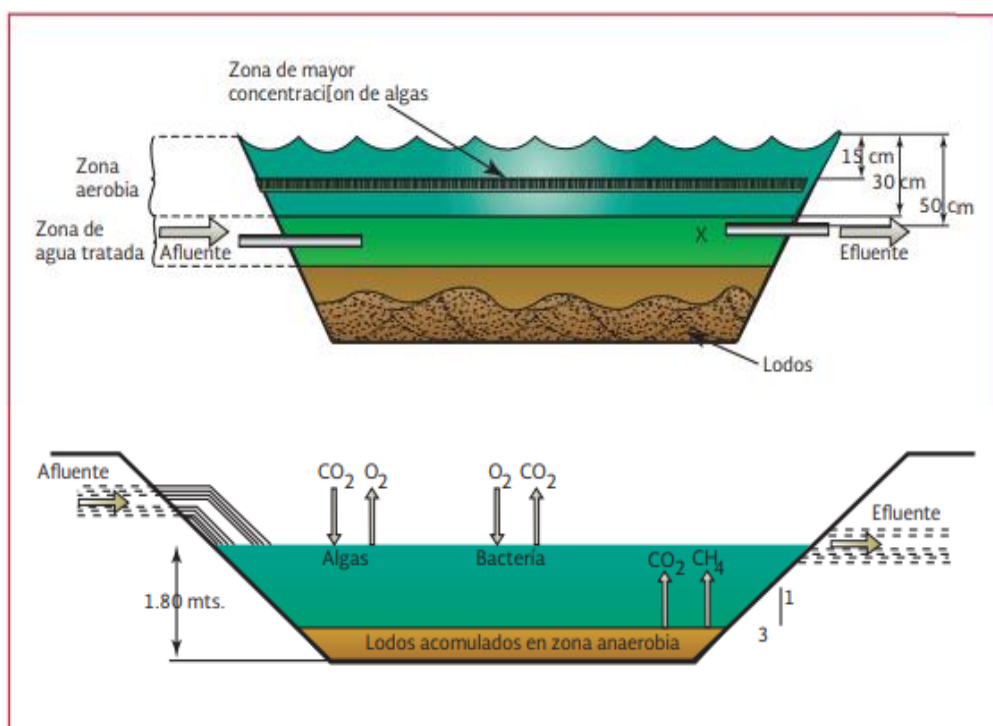


Ilustración 6. Esquema de una laguna facultativa (Fuente: [38]).

2.2.3.2.4. LAGUNAS DE MADURACIÓN

La configuración de este tipo de lagunas se caracteriza por siempre ser la última en una batería, pues su función es lograr un nivel de purificación superior al de las antes descritas. Cuentan con una profundidad de entre 1 a 1.5 metros, para que la acción del sol sea mucho más eficiente, y a la vez la radiación ultravioleta contribuya con la eliminación de los contaminantes restantes [24], a fin de maximizar la calidad del efluente.

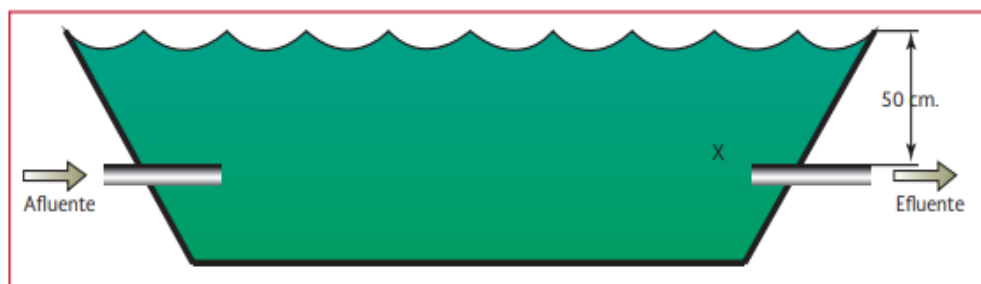


Ilustración 7. Esquema de una laguna de maduración (Fuente: [29]).

2.2.3.3. DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LAS LAGUNAS

Otra forma de clasificar a las lagunas de estabilización es mediante la disposición de secuencia de las unidades de tratamiento:

2.2.3.3.1. DISTRIBUCIÓN EN SERIE

Este tipo de distribución hace referencia a que la disposición de las lagunas es seguida, es decir las lagunas se suceden unas a otras, y están relacionadas entre sí. La primera laguna recibe el agua cruda, la segunda recibe el efluente tratado por la primera y así sucesivamente.

Mediante este sistema, se tiende a reducir las cantidades de contaminantes y algas, en la última unidad del sistema, de tal manera que se obtiene un efluente de mejor calidad.

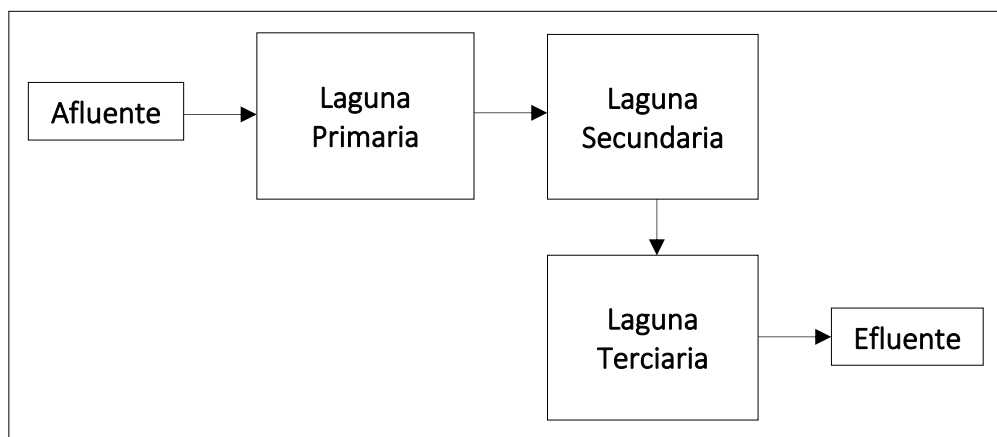


Ilustración 8. Lagunas de estabilización dispuestas en serie (Fuente: [25]).

2.2.3.3.2. DISTRIBUCIÓN EN PARALELO

Este tipo de distribución hace referencia a dos o más lagunas que reciben de manera simultánea el afluente, por lo que se conectan independientemente a este punto. Generalmente se disponen de esta manera, cuando se desea reducir la carga orgánica en las primeras unidades.

El uso de esta disposición si bien no aumenta considerablemente la calidad del efluente, en su lugar, ofrece muchas ventajas respecto a la construcción y operación del sistema, ya que las lagunas primarias acumulan una gran cantidad de lodos, y requieren ser limpiadas periódicamente [25]. Además, al

contar por lo menos con dos unidades disponibles, facilita su limpieza ya que es posible cargar una mientras se lleva a cabo la limpieza de la otra.

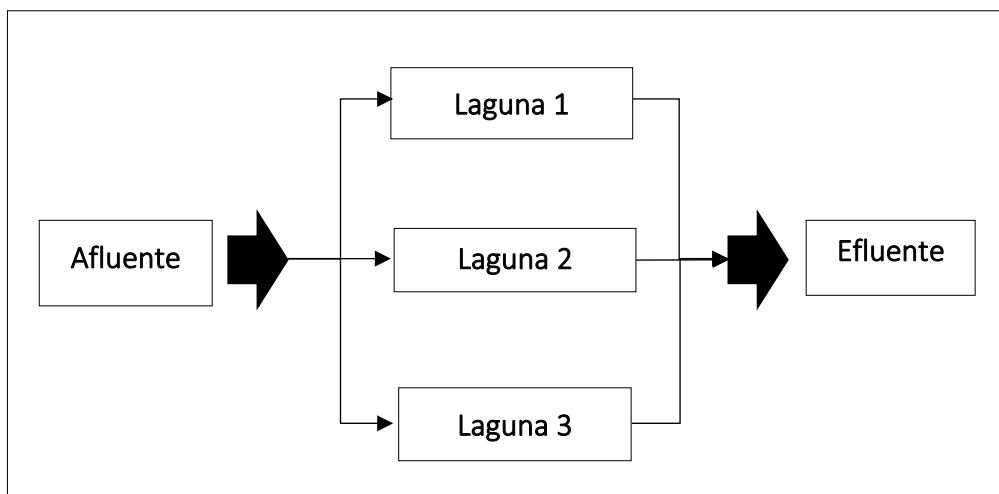


Ilustración 9. Lagunas de estabilización dispuestas en paralelo (Fuente: [25]).

2.2.3.4. FACTORES QUE MODIFICAN SU FUNCIONAMIENTO

El comportamiento de las lagunas de estabilización y, por lo mismo, la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales, según lo expuesto por la Comisión Nacional del Agua de México [22], en sus manuales de aguas potable, alcantarillado y saneamiento, señala que depende de diferentes factores como:

2.2.3.4.1. CALIDAD DEL AGUA A TRATAR

Generalmente el sistema de lagunas de estabilización se utiliza para tratar aguas residuales de origen doméstico, sin embargo, en el caso de presencia de efluentes industriales pueden surgir problemas, que involucran mayores procesos para la remoción de los contaminantes que estas traen consigo.

2.2.3.4.2. ASPECTOS FÍSICOS

Las diferentes condiciones ambientales influyen de forma considerable en la producción de microorganismos y algas necesarias para los procesos de remoción de contaminantes del agua residual.

Entre los aspectos físicos de las condiciones ambientales, destacan:

- **Intensidad de la luz solar**

La luz solar es una fuente que brinda energía en cuanto a los procesos biológicos que se realizan en las lagunas de estabilización, y por medio de esta, se determina la estratificación térmica. Sin embargo, se debe tener en cuenta que un cuerpo de agua no debe estar completamente lleno de luz, ya que una alta eficiencia fotosintética sólo ocurre con movimiento del agua y alternando las condiciones de luz y oscuridad, pues si se excede genera un crecimiento y envejecimiento rápido de las algas, disminuyendo la depuración esperada del agua residual.

- **Viento**

El viento interviene en cuanto a la mezcla y la generación de corrientes que promueven esto, dentro de las lagunas. Por otro lado, se ha de tener en cuenta para la ubicación de la planta, ya que dependiente de la dirección de este, de distribuirán los posibles olores generados, pudiendo provocar incomodidad en la comunidad.

- **Precipitación pluvial**

Las precipitaciones pluviales provocan efectos considerables en los estanques, ya que pueden ocasionar que el tiempo de retención hidráulico disminuya, dado las constantes lluvias, al aumentar el volumen de agua.

- **Temperatura**

La temperatura del líquido es un parámetro importante en la operación de la laguna, ya que, dependiendo de esta, la población de algas y su metabolismo mismo, se ve condicionado, lo que implica una contaminación en la laguna.

2.2.3.4.3. ASPECTOS QUÍMICOS

Las diferentes reacciones químicas que se dan durante el tratamiento de las aguas residuales influyen en el proceso de remoción de contaminantes. Los responsables de las reacciones que ocurren son:

- **Material disuelto y suspendido**

El material suspendido con presencia de movimientos del agua puede resuspenderse y descomponerse biológicamente al mezclarse, ya que el material suspendido tiende a sedimentar fácilmente.

- **Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto, fundamental para la realización del proceso aerobio varía en función del día y la profundidad. La evolución diurna de una laguna muestra que el contenido de oxígeno es más elevado en el centro y en la superficie. Durante la noche, las corrientes térmicas mezclan las capas estratificadas lo que garantiza una producción constante de oxígeno durante las mañanas [22].

- **Dióxido de carbono y PH**

El dióxido de carbono y el potencial de hidrógeno (pH) están relacionados, pues, donde existe abundancia de carbonatos, el pH es constante y cuando hay deficiencia de estos, la actividad biológica genera cambios en el potencial de hidrogeno.

- **Fósforo**

El fósforo, está presente como ion fosfato o en complejos orgánicos. Es un nutriente limitante y su adición ayuda a mejorar los problemas ocasionados por una baja biodegradación.

2.2.4. PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LOS SISTEMAS LAGUNARES

Las características hidráulicas de los componentes del sistema, en especial, de la geometría (forma, tamaño y profundidad), el tiempo de retención hidráulica (t) y el patrón de flujo, influyen en la eficiencia en torno a los procesos que se desarrollan.

2.2.4.1. GEOMETRÍA DE LAS UNIDADES

El Reglamento Nacional de Edificaciones OS. 0.90 [18], recomienda lo siguiente para la geometría de las lagunas, señalando que esto depende del tipo de cada unidad:

- Para las lagunas anaerobias y aeradas se recomiendan formas cuadradas o ligeramente rectangulares.
- Para las lagunas facultativas se recomienda formas alargadas; se sugiere que la relación largo-ancho mínima sea de 2.

Además, se recomienda también que el eje longitudinal de las lagunas sea paralelo al viento, con el objetivo de maximizar la mezcla.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que, al ubicar la entrada y salida del flujo a extremos del eje longitudinal, se maximiza la distancia.

Oakley [26], señala que Carranza (1997); y Mara y Pearson (1998), expusieron unos parámetros promedio sugiriendo el área requerida para varios procesos de tratamiento de aguas residuales, según la tecnología a usar (Ver tabla).

Sin embargo, para determinar el área necesaria para la disposición del sistema, es necesario considerar otros factores influyentes también como:

El nivel de tratamiento que se requiere para un proceso de remoción de contaminantes eficiente, la disposición final del efluente, la ubicación del sistema, el clima y por supuesto, el diseño.

Tabla 5. Área requerida para varios procesos de tratamiento de aguas residuales según el tipo de tratamiento.

PROCESOS DE TRATAMIENTO	ÁREA REQUERIDA (m ² /persona)
Lodos Activados	0.30 – 1.00
Filtro Percolador	0.40 – 1.00
Laguna Aireada	4.00 – 10.00
Sistema de Lagunas de Estabilización	4.00 – 20.00 ¹
1. El área requerida depende del clima, el diseño y el nivel de tratamiento .	

(Fuente: [26]).

2.2.4.2. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

El tiempo de retención hidráulica (τ), es el tiempo que teóricamente permanece el agua residual dentro del sistema para la remoción de contaminantes y que se utiliza en el diseño.

Este parámetro se estima dividiendo el volumen líquido dispuesto en la laguna entre el caudal del agua residual. Se expresa de la siguiente forma:

$$\tau = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)}$$

2.2.4.3. PATRONES DE FLUJO HIDRÁULICO

El patrón de flujo que prevalece en una laguna de estabilización representa uno de los aspectos más controversiales. Se reconocen tres tipos que pueden clasificarse según su condición:

- Condiciones ideales (Flujo completamente mezclado y flujo a pistón).
- Condición real (Flujo disperso)

De estos tres tipos de flujo, el pistón es el que conduce a mejores resultados en las lagunas.

2.2.4.3.1. FLUJO COMPLETAMENTE MEZCLADO

El flujo completamente mezclado se desarrolla cuando las partículas que entran a la laguna son dispersadas al momento por todo el volumen de esta. Para esto el contenido del estanque debe ser igual y estar distribuido.

Se obtiene cuando la relación largo - ancho de la laguna es menor que 1 (se considera el largo de la laguna a la longitud del sentido del flujo). La concentración de contaminantes en este tipo de lagunas es homogénea en todo el estanque, y generalmente en este tipo de lagunas se presentan cortos circuitos [27].

2.2.4.3.2. FLUJO A PISTÓN

El tipo de flujo pistón o tubular, es aquel en el que no hay mezclado en la dirección del flujo, pero sí existe un mezclado completo en la dirección perpendicular al mismo [22].

Es decir, las concentraciones varían de forma longitudinal a la laguna, las que operan este tipo de flujo lo hacen de modo estable, por lo que no sugiere mayores problemas, es más es recomendado.

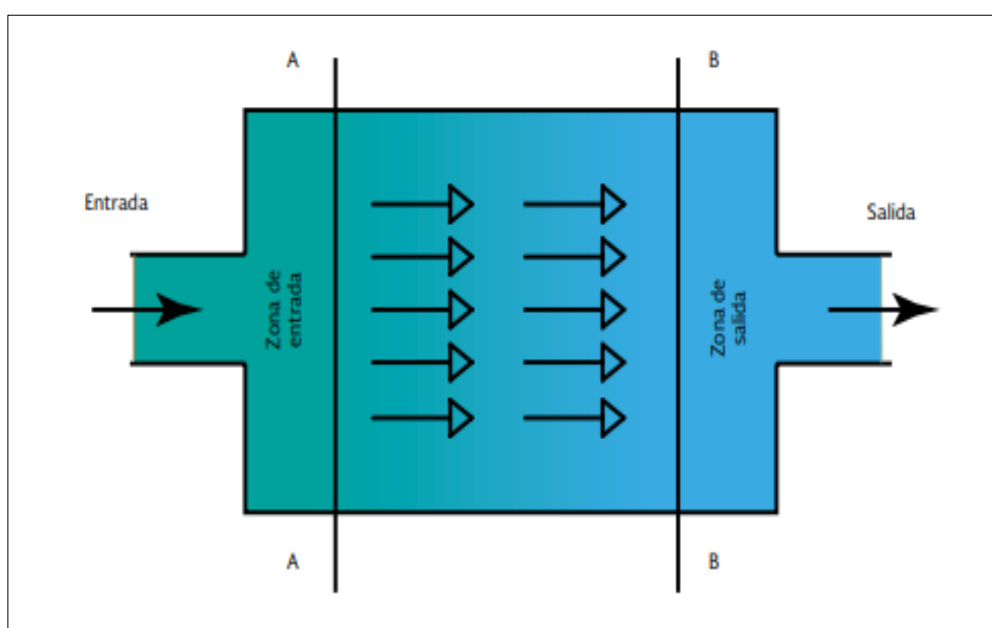


Ilustración 10. Flujo pistón ideal (Fuente: [22]).

2.2.4.3.3. FLUJO DISPERSO

Este tipo de flujo se ajusta a las condiciones de flujo que realmente prevalecen en las lagunas al ingresar el afluente, es decir es el que mejor describe lo que sucede al ingreso del agua residual en el sistema de tratamiento.

Callata [27], señala que Gaitán y Áreas, indican que se da cuando se presenta una mezcla parcial entre el flujo en pistón y el de mezcla completa o se presentan simultáneamente.

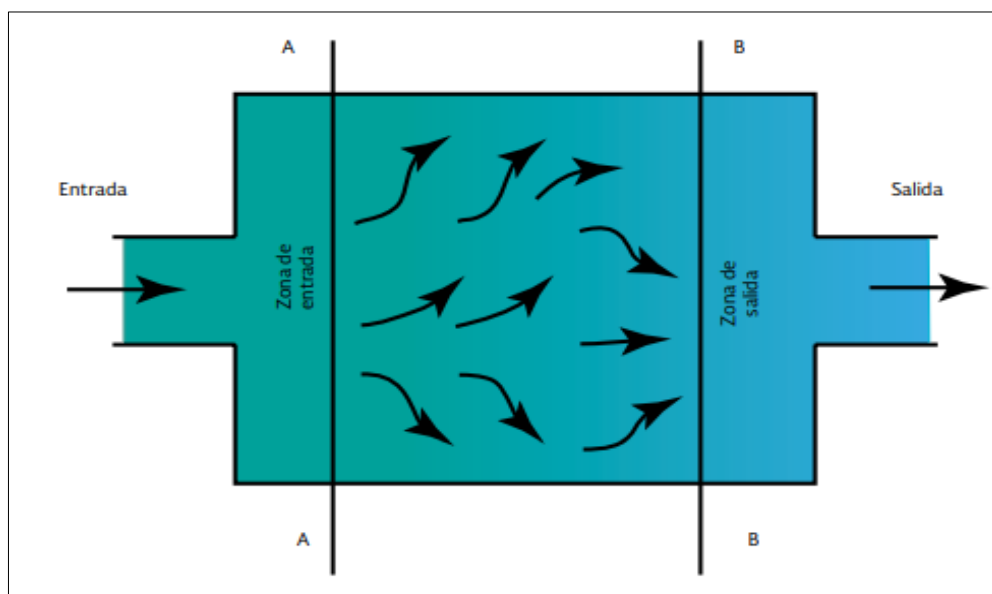


Ilustración 11. Flujo disperso (Fuente: [22]).

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], en la norma OS. 0.90, señala que, para la reducción de bacterias en cualquier tipo de lagunas, se debe usar el modelo de flujo disperso, el cual puede determinarse según la geometría de la laguna y la temperatura.

Tabla 6. Valores referenciales para determinar el factor de dispersión según la relación largo/ancho.

Relación largo – ancho	Factor de dispersión
1	1
2	0.50
4	0.25
8	0.12

(Fuente: [18]).

2.2.5. DISEÑO DE UNA PTAR MEDIANTE EL SISTEMA DE LAGUNAJE

2.2.5.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

2.2.5.1.1. PERIODO DE DISEÑO

Para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, en Perú, en el Reglamento Nacional de Edificaciones [18], se dispone a considerar un periodo de diseño de entre 20 y 30 años.

En los primeros años la capacidad del sistema de tratamiento estará excedida, por tanto, es recomendable considerar en el proyecto la modulación de unidades; es decir, incluir la incorporación de unidades cada cinco años [28].

2.2.5.1.2. POBLACIÓN DE DISEÑO

Con el objetivo de que la planta de tratamiento cumpla con la vida útil se calcula la población de diseño, es decir la población futura en relación con el periodo de diseño determinado.

La población futura es la cantidad de personas que se espera tener en una localidad al final del período de diseño del sistema de agua potable y alcantarillado. Y esta se determina a partir de la poblacional actual, cuyos valores se obtienen de la base a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

A continuación, se describen los métodos analíticos que Vierendel [29] sugiere para estimar la población futura:

2.2.5.1.2.1. MÉTODO ARITMÉTICO

Este es una forma de proyección poblacional completamente teórico y muy pocas veces se da el caso de que una población presente el tipo de crecimiento que este describe. Para la estimación de la población de diseño, a través de este método, sólo se necesita conocer el tamaño de la población, es decir el número de habitantes del distrito en dos años diferentes para el cálculo de la población se encuentra en franco crecimiento.

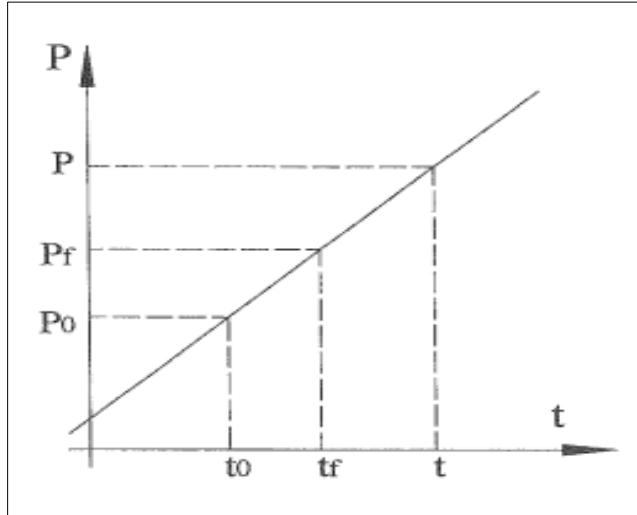


Ilustración 12. Descripción gráfica del método aritmético (Fuente [29]).

La población futura a través de este método se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$P_d = P_a + (r * t)$$

Donde:

- P_d , es la población de diseño (habitantes).
- P_a , es la población actual (habitantes).
- r , es la tasa de crecimiento poblacional (habitantes/año).
- t , periodo de diseño del sistema (años).

La tasa de crecimiento poblacional, para este método se determina mediante la siguiente formula:

$$r = \frac{\sum \frac{P_{i+1} - P_i}{t_{i+1} - t_i}}{n - 1}$$

Donde:

- P_i , es la población en el año “i”.
- P_{i+1} , es la población del año siguiente al año “i”.
- t_i , es el año “i”.
- t_{i+1} , es el año siguiente al año “i”.
- n , es el número de datos de la información censal.

2.2.5.1.2.2. MÉTODO DE INTERÉS SIMPLE

Según este método la población crece en forma similar a un capital puesto a interés simple, por lo que generalmente el crecimiento es relativamente bajo. Este método es aplicable para poblaciones que se encuentran en proceso de franco crecimiento.

La población futura a través de este método se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$P_d = P_a * (1 + (r * t))$$

Donde:

- P_d , es la población de diseño (habitantes).
- P_a , es la población actual (habitantes).
- r , es la tasa de crecimiento poblacional (habitantes/año).
- t , periodo de diseño del sistema (años).

La tasa de crecimiento poblacional, para este método se determina mediante la siguiente formula:

$$r = \frac{\sum \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i * (t_{i+1} - t_i)}}{n - 1}$$

Donde:

- P_i , es la población en el año “i”.
- P_{i+1} , es la población del año siguiente al año “i”.
- t_i , es el año “i”.
- t_{i+1} , es el año siguiente al año “i”.
- n , es el número de datos de la información censal.

2.2.5.1.2.3. MÉTODO GEOMÉTRICO

Según este método la población crece en forma similar a un capital puesto a interés compuesto, y se emplea cuando la población está en su iniciación o periodo de saturación [29].

La población futura a través de este método se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$P_d = P_a * (r)^t$$

Donde:

- P_d , es la población de diseño (habitantes)
- P_a , es la población actual (habitantes)
- k , es una constante promedio.
- t , periodo de diseño del sistema (años)

La tasa de crecimiento poblacional, para este método se determina mediante la siguiente formula:

$$r = \frac{\sum^{t_{i+1}-t_i} \sqrt{\frac{P_{i+1}}{P_i}}}{n - 1}$$

Donde:

- P_i , es la población en el año “i”.
- P_{i+1} , es la población del año siguiente al año “i”.
- t_i , es el año “i”.
- t_{i+1} , es el año siguiente al año “i”.
- n , es el número de datos de la información censal.

2.2.5.1.2.4. MÉTODO CUADRÁTICO

Este es un método de proyección poblacional, en el que la tendencia de crecimiento no corresponde ni a una línea recta, ni a una curva geométrica o exponencial, por lo que se usa una función polinómica para describir el crecimiento.

Una parábola de segundo grado puede calcularse a partir de los resultados de tres censos o estimaciones. Este tipo de curva no sólo es sensible al ritmo medio de crecimiento, sino también al aumento o disminución de la velocidad de ese ritmo [10].

La población futura a través de este método se calcula a partir de la fórmula general de una función parabólica de segundo grado ($y = ax^2 + bx + c$), la cual puede expresarse de siguiente manera:

$$P_d = at^2 + bt + c$$

Donde:

- P_d , es la población de diseño (habitantes)
- t , es el tiempo desde la fecha de la primera estimación (años).
- a , b y c , son constantes que se calculan resolviendo la ecuación cuadrática para cada grupo de 3 fechas censales pasadas.

2.2.5.1.3. DOTACIÓN

La dotación es la cantidad de agua para consumo diaria establecida para cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las posibles pérdidas físicas del sistema, en un día medio anual. Se expresa en las siguientes unidades l/hab al día.

La Comisión Nacional del Agua de México [30], indica que la dotación, como ya se menciono es la cantidad media que una localidad obtiene en base a los consumen registrados por el operador de demanda, entre el total.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, da los valores de la dotación con relación al clima y el número de habitantes de la localidad (Ver tabla 6). A sí mismo el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma OS. 0.10, detalla la dotación para las diferentes actividades que requieren el uso de agua.

Tabla 7. Dotación según el número de habitantes y el clima de la localidad.

Habitantes	CLIMA	
	Frío	Templado
2 000 hab - 10 000 hab	120 lts/per/día	150 lts/per/día
10 000 hab - 50 000 hab	150 lts/per/día	200 lts/per/día
> 50 000 hab	200 lts/per/día	250 lts/per/día

(Fuente: Elaboración propia).

2.2.5.1.4. CAUDAL DE DISEÑO

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], indica para determinar el caudal de diseño, este se calcula mediante la suma del caudal promedio calculado, más el caudal de efluentes que ingresan a la red de desagüe y el caudal de infiltración media.

Mediante el análisis de los datos de caudales deben obtenerse importantes parámetros, entre los cuales podemos destacar los siguientes:

2.2.5.1.4.1. CAUDAL PROMEDIO (Q_p)

El caudal promedio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo normal, es el caudal que se debe obtener anualmente de las fuentes de abastecimiento y se determina con base en la dotación [30]. De acuerdo con Metcalf & Eddy [9], es el caudal promedio obtenido a partir de los datos de todo el año y estos se utilizan para determinar la capacidad de una planta de tratamiento y para conocer los caudales de diseño.

Se determina mediante la siguiente fórmula:

$$Q_p = \frac{P_d \times D}{86400}$$

Donde:

- P_d , es la población de diseño (habitantes)
- D , es la dotación de agua potable (l/hab/d).

El caudal de contribución al desagüe corresponde al 80% del caudal promedio.

2.2.5.1.4.2. CAUDAL MÁXIMO DIARIO (Q_{md})

Es el caudal máximo en 24 horas, que se obtiene a partir de los datos anuales registrados. Medina [31], señala que conocer este caudal es de especial interés en el proyecto de elementos que contemplen un cierto

tiempo de retención como puede ser el caso de tanques de homogeneización o de cloración.

Se determina mediante la siguiente formula:

$$Q_{md} = Q_p * k_1$$

Donde:

- Q_p , caudal promedio (l/s)
- k_1 , coeficiente máximo anual de la demanda diaria ($k_1 = 1.3$)

2.2.5.1.4.3. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (Qmh)

Es el caudal horario máximo que se da en un periodo de 24 horas, se obtiene a partir de los datos anuales registrados. Medina [31], señala que conocer este caudal es de especial interés para el diseño de colectores, estaciones de bombeo de aguas residuales, medidores de caudal, desarenadores, tanques de sedimentación, tanques de cloración y conducciones y canales en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Se determina mediante la siguiente formula:

$$Q_{mh} = Q_p * k_2$$

Donde:

- Q_p , caudal promedio (l/s)
- k_2 , coeficiente máximo anual de la demanda diaria ($k_2 = 1.8$)

2.2.5.1.5. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A TRATAR

La caracterización del agua residual afluyente consiste en por medio de unos ensayos de laboratorio, se determine la concentración de ciertos parámetros en esta. [17]. Lo cual resulta de gran importancia para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, pues al conocer la composición de estas, se puede determinar la tecnología a usar, y el nivel de tratamiento que se requiere.

Cabe recalcar también que además se deben tener en consideración otros factores, como el área disponible, las condiciones sociales y económicas, entre otras, para la selección de la tecnología más adecuada según las condiciones y disponibilidades de la zona.

Tabla 8. Composición típica del agua residual doméstica bruta.

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/L	350	720	1200
Disueltos totales (SDT)	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105	200	325
Sólidos suspendidos (SS)	mg/L	100	202	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/L	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno cinco días (DBO ₅)	mg/L	110	220	400
Carbón orgánico total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno total (en la forma N) (NT)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoniaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo total (en la forma P) (PT)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros*	mg/L	30	50	100
Sulfatos*	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grasas y aceites (GyA)	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	NMP/100 mL	10 ⁴ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁸ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/L	<100	100-400	>400

(Fuente: [9]).

2.2.5.1.6. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

Los estudios geológicos y geotécnicos son requeridos en este tipo de proyectos, para los diseños de las cimentaciones de las diferentes unidades que componen la planta de tratamiento. Debemos resaltar la importancia de este tipo de estudios en el diseño de las lagunas de estabilización, específicamente para el diseño de los estanques y diques, la impermeabilización del fondo y en general, todo lo que involucre movimiento de tierras.

Oakley [26], menciona que, en una investigación geotécnica, se mide primero el nivel freático del agua subterránea y después se saca muestras del suelo (al menos 4 por hectárea), hasta una profundidad de un metro más que la

profundidad de la laguna para representar el perfil del suelo. Las muestras serán analizadas según los siguientes parámetros:

- La clasificación por tamaños de partículas.
- El ensayo de Proctor modificado (la densidad máxima seca y la humedad óptima).
- Los límites de Atterberg.
- El contenido de materia orgánica.
- El coeficiente de permeabilidad.

El estudio de suelos de la zona en que se construirá la laguna, y la permeabilidad de este, además de incidir en el diseño correcto de los diques, incluyendo su consideración en cuanto a taludes, nos permitirá determinar la permeabilidad del suelo para determinar la infiltración de agua subterránea a los estanques, lo que es necesario conocer para sugerir si son requeridos materiales de otras zonas o la impermeabilización. La impermeabilización se puede dar por medio de arcilla, que es lo más recomendable, suelo o membranas sintéticas.

2.2.5.1.7. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Uno de los aspectos que debe ser mejor investigado al proyectar la laguna es el del balance hídrico, lo cual es tan importante como el de lograr una carga orgánica adecuada.

El balance viene dado por la ecuación:

$$Q_s = Q_o + P_r + P_c - (E - P_e)$$

Donde:

- Q_s , caudal efluente ($m^3/día$).
- Q_o , caudal afluente ($m^3/día$).
- P_r , precipitación sobre la laguna (mm/día).
- P_c , infiltración de agua subterránea a la laguna (mm/día).
- P_e , pérdidas por percolación (mm/día).
- E , evaporación (mm/día).

Analizando el mes más crítico, es decir el mes de menor presencia de lluvias, con el nivel freático más bajo, etc.) el valor de Q_s tiene que ser positivo, de ahí que en ocasiones se haga necesario reducir el área de la laguna y la seguridad del diseño está en las lagunas más pequeñas (en área total) y no más grandes como supondría quien realizara un análisis superficial.

Si Q_s es negativo una alternativa frente a ello, sería el impermeabilizar la laguna. Lo que puede ser más económico si se usan lagunas anaerobias primarias que pueden tener hasta un 60 % del área de una facultativa equivalente, lo cual es muy importante desde el punto de vista hidráulico.

2.2.5.1.7.1. CÁLCULO DE EVAPORACIÓN

Para el cálculo de la evaporación que se produce en el sistema de lagunaje para el tratamiento, existen diferentes métodos, a continuación, se expondrán 3 de estos:

MÉTODO DE MEYER

La evaporación que ocurre en una laguna puede estimarse mediante la fórmula de Meyer:

$$E = 15 * [V_a - (V * H)] * (1 + \frac{v}{16})$$

Donde:

- E , evaporación (mm/día).
- V_a , presión de vapor de agua a la temperatura del agua (mmHg).
- V , presión de vapor de agua a la temperatura del aire (mmHg).
- H , es el porcentaje de humedad relativa.
- v , velocidad del viento (km/h).

Al multiplicar la lámina de evaporación (mm/día) ya determinada mediante la fórmula de Meyer, con el área de la laguna, obtendremos el caudal de evaporación (m^3 /día).

MÉTODO DE PENMAN

Mediante lo expuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [32] y Chereque [33], a continuación, se describe el proceso para el cálculo de la evaporación mediante el método de Penman.

La teoría de Penman, se basó en dos premisas:

(1) Balance de energía: En la que señala que la radiación es usada en 4 procesos.

$$H = E'_0 + K + \Delta S + A \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- E'_0 , calor disponible para la evaporación desde la superficie.
- K , flujo de calor desde la superficie de agua hacia el aire.
- ΔS , incremento de calor de la masa de agua.
- A , intercambio de calor con el ambiente.

Sin embargo, dado que ΔS y A , son calculados para un día, periodo para el que se calcula la evaporación, entonces la ecuación anterior se simplifica:

$$H = E'_0 + K \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para seguir el desarrollo de la teoría de Penman, para el cálculo de la evaporación es necesario recordar que se distinguen 2 casos:

Caso 1

La temperatura del aire y de la superficie de agua son iguales ($T = T_0$), entonces:

$$E = C * (e_s - e) * f(u) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- E , evaporación (mm/día).

- C , coeficiente empírico.
- e_s y e , presión de vapor (mmHg)
- u , velocidad del viento (m/s).

Cuando la evaporación (E), se expresa en unidades de calor o energía sobre un área ($\frac{cal}{cm^2.día}$), se representa con un apóstrofe (E').

Caso 2

La temperatura del aire y de la superficie de agua son diferentes ($T \neq T_0$), entonces:

$$E = 0.35 * (e_s - e) * [0.5 + (0.54 * u_2)] \quad (\text{Ecuación 4})$$

(2) Flujo de masa: Penman asumió, para el caso 2 ($T \neq T_0$), que tanto el flujo de calor como el flujo de vapor se originan por el mismo proceso de difusión turbulenta y que su cociente es constante, conocido como la “relación de Bowen”. Esta viene a ser la siguiente:

$$\frac{K}{E'_0} = \gamma * \left[\frac{(T_0 - T)}{(e_{s0} - e)} \right] \quad (\text{Ecuación 5})$$

Entonces, al simplificarla y reemplazarla en la (Ecuación 2), se obtiene finalmente:

$$E'_0 = \frac{\left(\frac{\Delta}{\gamma} * H \right) + E'}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1 \right)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- E'_0 , calor disponible para la evaporación desde la superficie, es decir la evaporación potencial ($\frac{cal}{cm^2.día}$).
- E' , evaporación ($\frac{cal}{cm^2.día}$).
- Δ , pendiente de la curva de presión de vapor a saturación de vapor ($mmHg/°C$).
- γ , constante psicométrica de valor $0.49 \frac{mmHg}{°C}$.

- H , energía de radiación ($\frac{cal}{cm^2.día}$).

La pendiente de la curva de presión de vapor a saturación de vapor se expresa y determina, según lo siguiente en $kPa/°C$:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6108 * \exp \left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2}$$

(Ecuación 7)

Ahora, la energía de radiación según el método de Penman, se estima de la siguiente forma:

$$H = R_I - R_B \quad (Ecuación 8)$$

Donde:

- R_I , radiación absorbida por la superficie ($\frac{cal}{cm^2.día}$).
- R_B , radiación reflejada por la superficie terrestre ($\frac{cal}{cm^2.día}$).

La radiación absorbida por la superficie depende del coeficiente de reflexión “r”, que para el caso de superficies libres de agua tiene el valor de 0.06. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_I = R_C * (1 - r) \quad (Ecuación 9)$$

La radiación que penetra a la atmosfera y alcanza la superficie terrestre (R_C), se determina según la siguiente formula:

$$R_C = R_A * \left[a + b \left(\frac{n}{D} \right) \right] \quad (Ecuación 10)$$

Donde:

- R_A , radiación entrante a la atmósfera ($\frac{cal}{cm^2.día}$) – Ver tabla 9.
- a y b , coeficientes que dependen de la región, en el caso de Perú, $a = 0.20$ y $b = 0.48$.
- $\frac{n}{D}$, duración relativa de insolación.

Tabla 9. Valores de la radiación solar en unidades $\frac{cal}{cm^2.día}$.

Latitud Sur	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	885	915	925	900	850	820	830	870	905	910	890	875
10°	965	960	915	840	755	710	730	795	875	935	955	960
20°	1020	975	885	765	650	590	615	705	820	930	1000	1025
30°	1050	965	830	665	525	460	480	595	750	900	1020	1065
40°	1055	925	740	545	390	315	345	465	650	840	995	1080
50°	1035	865	640	415	250	180	205	325	525	760	975	1075

(Fuente: [33]).

La radiación reflejada por la superficie terrestre se calcula mediante la [33]siguiente expresión:

$$R_B = \sigma * T^4 * [0.47 - (0.077\sqrt{e})] * [0.20 + (0.80 * \frac{n}{D})]$$

(Ecuación 11)

Donde:

- σ , es la constante de Stefan - Boltzmann equivalente al valor de $117.4 \times 10^{-9} \frac{cal}{cm^2.día}$.
- T , es la temperatura en unidades kelvin ($T = 273 + temperatura en ^\circ C$).
- e , es la presión de vapor (mmHg).

Para los 2 métodos, anteriormente descritos, la presión de vapor en función de la temperatura se calcula mediante la siguiente expresión:

$$e_s = 6.108 * \exp(\frac{17.27*T}{T+237.3}) \quad (Ecuación 12)$$

Donde:

- e_s , presión de vapor de saturación (hPa).
- T , temperatura ($^\circ C$).

MÉTODO VOLUMÉTRICO

Otro método de obtener el caudal de evaporación de forma menos técnica, es mediante la evaluación de la masa volumétrica, el proceso consiste en realizar la toma de medidas de la altura de evaporación en un recipiente, preferiblemente graduado, los cuales son puestos a los costados de las lagunas. De este modo, al relacionar la altura de evaporación y el espejo de agua del recipiente, se obtiene el volumen de evaporación. Conociendo que:

$$\Delta V = A * \Delta h \text{ y } Q = \Delta V / t$$

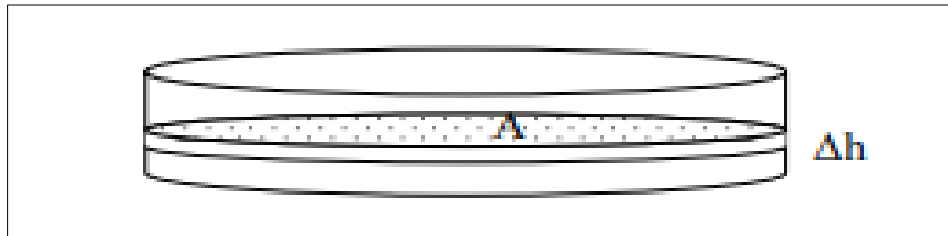


Ilustración 13. Configuración del cilindro para la evaluación de la evaporación (Fuente: [10]).

El caudal de evaporación se expresa de la siguiente forma:

$$Q_e = \frac{A * \Delta h}{\Delta t}$$

Donde:

- Q_e , caudal de evaporación (mm/día).
- A , área de la base del cilindro/recipiente (m^2).
- Δh , variación de nivel superficial del líquido (m).
- Δt , variación del tiempo que dura la prueba.

2.2.5.1.7.2. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR PERCOLACIÓN

Las pérdidas por percolación, para aquellos casos en los que no se disponga con estos datos, pueden ser estimadas usando la ley de Darcy, mediante la siguiente formula:

$$Q = P * I * A$$

Donde:

- Q , caudal de percolación (m^3/s).
- P , permeabilidad del suelo (m/s).
- I , gradiente hidráulico.
- A , área expuesta (m^2).

El gradiente hidráulico, se determina con la siguiente relación: $I = \frac{h}{L}$

Donde:

- h , distancia de la superficie del agua al nivel freático.
- L , distancia del fondo de la laguna al nivel freático.

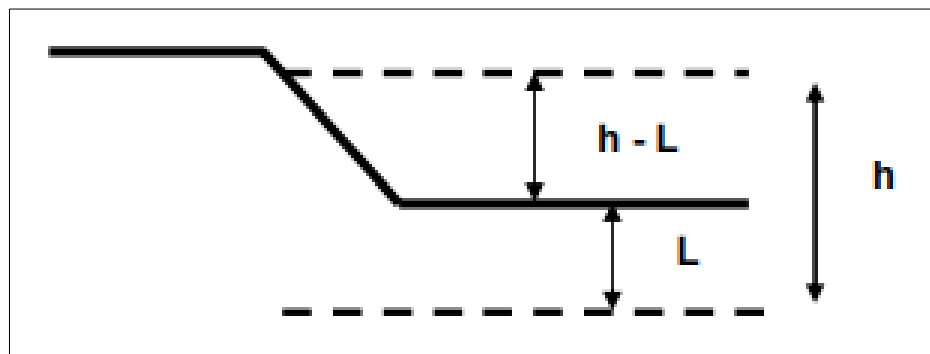


Ilustración 14. Profundidad de la laguna y distancia al nivel freático (Fuente: [39]).

2.2.5.1.8. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Un estudio topográfico de la zona en la que se establecerá la planta de tratamiento permitirá tener en cuenta detalles de la morfología del terreno a fin de optimizar la ubicación de esta. Además, es un estudio importante ya que, en función de este, se determina la conformación de unidades, geometría, forma y número de celdas.

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], sugiere que la topografía sea plana para minimizar el movimiento de tierra, es decir lograr que se dé adecuado balance entre el corte y relleno para los estanques, y debe estar arriba

del nivel de inundaciones. Por otro lado, siempre que sea posible, se debe de evitar el uso de bombas, es decir aprovechar el flujo de gravedad, ya que el sistema de bombeo requiere mantenimiento y consumo de energía eléctrica.

2.2.5.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

La configuración del sistema para el tratamiento de las aguas residuales se puede establecer mediante diferentes combinaciones de los tipos de lagunas teniendo en cuenta básicamente tres aspectos: las características del agua a tratar, las exigencias del efluente y la disponibilidad de terreno.

La Comisión Nacional del Agua [21], señala que, para el tratamiento del agua residual de origen doméstico, las configuraciones más adecuadas son:

- Facultativa + Aerobia
- Facultativa + Facultativa + Aerobia
- Anaerobia + Facultativa + Aerobia
- Anaerobia + Facultativa + Maduración
- Facultativa + Facultativa + Maduración

2.2.5.3. DISEÑO ESTRUCTURAL E HIDRÁULICO

2.2.5.3.1. DISEÑO DE SISTEMA DE PRETRATAMIENTO Y MEDICIÓN DE CAUDALES

El tren del sistema de pretratamiento está compuesto por las rejillas y el desarenador, además de incluir una tecnología para la medición del caudal. A continuación, se describe el proceso de diseño y las consideraciones reglamentarias a tener en cuenta para este.

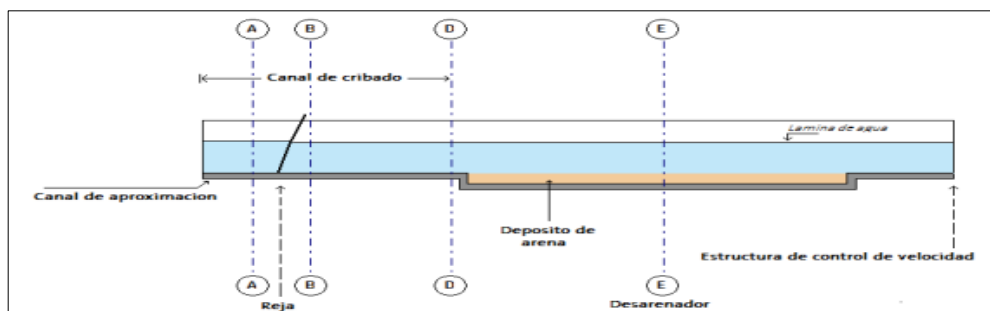


Ilustración 15. Esquema de tren de sistema de pretratamiento (Fuente: [46]).

2.2.5.3.1.1. REJILLAS Y CANAL DE APROXIMACIÓN

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], expone los detalles a tener en consideración para el diseño de las rejillas y el canal de aproximación (canal donde se ubican las rejillas) en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

A continuación, se expresan dichos detalles a considerar en el diseño:

- El diseño se realizará en base al caudal máximo horario.
- Emplear barras de sección rectangular.
- El espesor de las barras será de entre 5 a 15 mm.
- El ancho de las barras será de entre 30 a 75 mm.
- Entre barras, el espaciamiento será de 20 a 50 mm, y para las localidades con un sistema de inadecuado de recolección en cuanto a residuos sólidos, será no menor a 25 mm.
- La velocidad entre las barras deberá variar entre 0.60 a 0.75 m/s.
- La velocidad del canal antes de las barras debe mantenerse entre 0.30 y 0.60 m/s.
- Para condiciones de caudal máximo horario y 50% del área de cribas obstruida, se comprobará el borde libre.
- Para la de limpieza manual de las cribas, el ángulo de inclinación debe ser de 45 y 60 grados.

Área transversal del canal

Para conocer el área transversal total del canal (A_t), en donde irán ubicadas las rejillas, se aplica la ecuación de continuidad, entonces:

$$A_t = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{V}$$

Donde:

- Q_{max} , caudal máximo horario (m^3/s).
- V , velocidad del flujo en el canal (m/s).

Y la velocidad en el canal de aproximación (m/s), se calcula con la siguiente formula:

$$V = \frac{0.6}{\left[\frac{(a_b + e_b)}{e_b} \right]}$$

En dicha fórmula, se asume lo sugerido por el RNE, la velocidad máxima a través de la rejilla de 0.6 m/s, por tanto, la velocidad de aproximación, si se utilizan las dimensiones sugeridas en la normativa, será de aproximadamente, 0.45 m/s.

Tirante máximo de agua

Por consiguiente, ya conociendo el área transversal del canal, procedemos al cálculo del tirante máximo de agua (m).

$$h_a = \frac{A_t}{b_{canal}}$$

Mediante la ecuación adaptada de Mara (1976), se procede a dimensionar la rejilla y el canal de aproximación, determinando el ancho del canal según la siguiente formula:

$$b_{canal} = \frac{Q_{max}}{(0.6 * P_{max})} * \left[\frac{(a_b + e_b)}{e_b} \right]$$

Donde:

- Q_{max} , caudal máximo horario (m^3/s).
- P_{max} , profundidad máxima del canal ($Q = Q_{max}$), se determina durante el diseño del desarenador.
- a_b , ancho de barras (mm)
- e_b , espaciamiento entre barras (mm).

Altura total del canal de aproximación

Se tiene que considerar a la vez, el borde libre (h_o), entonces la altura total del canal de aproximación donde se ubican las rejas será:

$$h = h_a + h_o$$

En la ilustración 15, se puede apreciar la configuración del canal de aproximación, de acuerdo a los cálculos estimados, con las expresiones ya mencionadas anteriormente para su dimensionamiento.

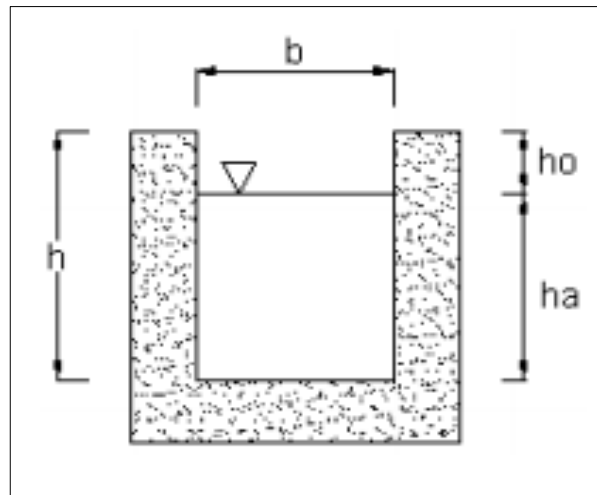


Ilustración 16. Sección transversal del canal de aproximación (Fuente: [36]).

Pendiente del canal de aproximación

Como se sabe, la pendiente de este canal debe ser descendiente en la dirección de circulación del flujo a través de las rejillas, se determina mediante la fórmula de Manning, según la siguiente expresión:

$$S = \left(\frac{V * n}{R_h^{2/3}} \right)^2$$

Donde:

- n , coeficiente de rugosidad de Manning.
- V , velocidad del flujo en el canal (m/s).
- R_h , radio hidráulico (m).

En la tabla 10, podemos apreciar los valores del coeficiente de Manning dados por Horton, según lo indica Villón [34], para superficies de cemento según la condición en que se encuentren estas.

Tabla 10. Valores del coeficiente de Manning.

Superficie	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malas
Superficies de cemento pulido	0.01	0.011	0.012	0.013
Superficies aplanadas con mortero de cemento	0.011	0.012	0.013*	0.015

*Valores de uso común en proyectos

(Fuente: [34]).

El radio hidráulico, se puede determinar según la relación entre el área transversal del canal (m^2) y el perímetro mojado (m) de este, la expresión sería la siguiente fórmula:

$$R_h = \frac{A_t}{P}$$

Longitud y número de barras

La longitud de las barras de las rejillas depende del tirante máximo de agua en el canal y del grado de inclinación que estas tienen con relación a la horizontal. Entonces puede determinarse de la siguiente manera:

$$L_b = \frac{h_a}{\text{seno}(\alpha)}$$

Donde:

- α , grado de inclinación de las barras con la horizontal ($^\circ$).

Mientras que el número de barras en la rejilla depende del ancho del canal y la separación adoptada entre barras. Entonces se determina mediante la siguiente expresión:

$$N_b = \frac{b_{canal} - s_i}{e + s_i}$$

Donde:

- s_i , separación entre barras (m).
- e , espesor de las barras (m).

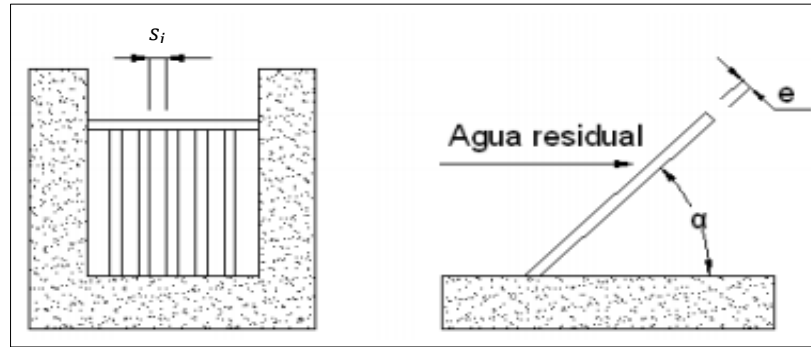


Ilustración 17. Sección transversal de las rejillas y canal de aproximación
(Fuente: [36]).

Pérdida de Carga

Las pérdidas de carga que se producen al circular el agua a través de las rejillas puede estimarse según Metcalf & Eddy [9], para el caso en que las rejillas estén limpias, empleando la siguiente expresión:

$$h_1 = \frac{1}{0.7} * \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

Donde:

- h_1 , pérdida de carga (m).
- V , velocidad de circulación entre las barras de la rejilla (m/s).
- v , velocidad de aproximación a la rejilla (m/s).
- g , aceleración de la gravedad (m/s²).

2.2.5.3.1.2. DISEÑO DE DESARENADOR

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], expone los detalles a considerar para el diseño del desarenador en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Estas son:

- El diseño se realizará en base al caudal máximo horario.
- Los desarenadores del tipo de flujo horizontal deben ser diseñados para la remoción de partículas de diámetro mínimo de 0.20 mm.
- La velocidad de flujo será de 0.3 m/s, con una tolerancia del 20%.

- Se considerará por lo menos una longitud adicional de 25% de la longitud teórica, tanto a la salida como a la entrada del desarenador.
- Tasa de sedimentación de la arena será estar entre 45 y 70 m³/m²/h.
- La relación entre el largo y la altura del agua será como mínimo de 25.
- Por medio de un vertedero a la salida del desarenador, se controlará la velocidad para diferentes tirantes de agua. Estos pueden ser un vertedero del tipo sutro, trapezoidal o en todo cas un canal Parshall o Palmer Bowls (medidores de régimen crítico).
- Se deben proveer dos unidades de operación alterna como mínimo.

Se debe tener en consideración que la normativa indica que, en sistemas de lagunaje, el uso desarenadores es opcional. Oakley y Salguero [35], sin embargo, recomiendan el uso de desarenadores rectangulares con canaletas Parshall para el control de la velocidad y la medición de los caudales en presencia de lagunas de estabilización.

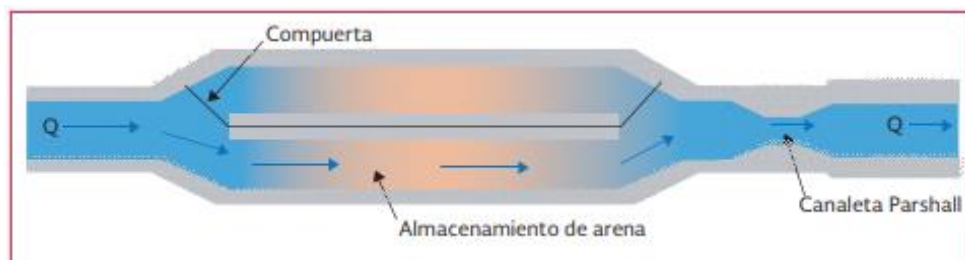


Ilustración 18. Desarenador de dos unidades en paralelo (Fuente: [47]).

Velocidad de Sedimentación

La sedimentación es la separación por acción de la gravedad de las partículas suspendidas, y esta operación por medio de los desarenadores permiten la eliminación de estas.

Entonces para el cálculo de la velocidad de sedimentación de las partículas, en una primera aproximación, adoptando un flujo laminar, esta se determina mediante la ley de Stokes:

$$V_s = \frac{1}{18} * \left[g * \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) * d^2 \right]$$

Donde:

- V_s , velocidad de sedimentación (cm/s).
- ρ_a , densidad de la partícula (g/cm³).
- ρ , densidad del agua a 20°C (g/cm³).
- μ , viscosidad cinemática del agua a 20°C (cm²/s).
- d , diámetro de la partícula (cm).

Tabla 11. Relación entre el diámetro de las partículas y la velocidad de sedimentación.

MATERIAL	Ø LIMITE DE PARTICULAS (cm)	# DE REYNOLDS		Vs	LEY APLICABLE
		Valor	Régimen		
Grava	> 1.00	> 10 000	Turbulento	100	Ley de Newton $V_s = 1.82 * \sqrt{d * g * \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$
Arena Gruesa	0.1000	1000.00	Transición	10.00	Ley de Allen $V_s = 0.22 * \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)^{2/3} * \left[\frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$
	0.0800	600.00		8.30	
	0.0500	180.00		6.40	
	0.0500	27.00		5.30	
	0.0400	17.00		4.20	
	0.0300	10.00		3.20	
	0.0200	4.00		2.10	
Arena Fina	0.0150	2.00	Laminar	1.50	Ley de Stokes $V_s = \frac{1}{18} * \left[g * \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) * d^2 \right]$
	0.0100	0.80		0.80	
	0.0080	0.50		0.60	
	0.0060	0.24		0.40	
	0.0050	1.00		0.30	
	0.0040	1.00		0.20	
	0.0030	1.00		0.13	
	0.0020	1.00		0.06	
	0.0010	1.00		0.02	

(Fuente: [43]).

Tabla 12. Valores de la viscosidad cinemática del agua, en función de la temperatura (°C).

temperatura °c	viscosidad cinemática (cm ² /s)	temperatura °c	viscosidad cinemática (cm ² /s)
0	0,01792	18	0,01059
2	0,01763	20	0,01007
4	0,01587	22	0,0096
6	0,01473	24	0,00917
8	0,01386	26	0,00876
10	0,01308	28	0,00839
12	0,01237	30	0,00804
14	0,01172	32	0,00772
15	0,01146	34	0,00741
16	0,01112	36	0,00713

(Fuente: [37]).

Entonces se procede a verificar el régimen del flujo, mediante el cálculo del número de Reynolds:

$$N_{RE} = \frac{V_s * d}{\mu}$$

En caso de que el número de Reynolds no cumpla para la aplicación de la ley de Stokes ($Re < 1$), se restablece un reajuste al valor de la velocidad de sedimentación (V_s). Para lo cual, se realiza el cálculo del coeficiente de arrastre de la partícula, que depende del número de Reynolds:

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{\sqrt{N_{RE}}} + 0.34$$

Conociendo el C_D , podemos determinar la velocidad de sedimentación real:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * (\rho_a - 1) * d}$$

Área del desarenador

$$A = \frac{Q}{V_1}$$

Tirante hidráulico del desarenador

Se procede a calcular la velocidad en el punto de medida de H_a (m/s), punto ubicado en el canal de Parshall (Ver ilustración 19), mediante la siguiente expresión:

$$V_a = \frac{Q}{A}$$

$$V_a = \frac{Q}{(W_a * H_a)}$$

Empleando el principio de Bernoulli entre el nivel de agua en el extremo aguas abajo del desarenador (1) y el punto de medida de H_a , se obtiene:

$$E_1 = E_a$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + H_a + h_L$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + h = \frac{V_a^2}{2g} + H_a + h_L$$

Donde:

- h , tirante hidráulico del canal desarenador (m).
- h_L , altura del agua sobre la canal de Parshall (m).
- V_1 , velocidad horizontal del flujo (m/s).
- V_a , velocidad en el punto de medida de H_a (m/s).

Longitud y ancho del desarenador

La longitud del desarenador se determina según la siguiente expresión:

$$L = \frac{h * V_1}{V_s}$$

Por otro lado, si la sección transversal del desarenador corresponde a una parábola, el ancho del techo se determina según la siguiente expresión:

$$T = \frac{(3 * A)}{(2 * h)}$$

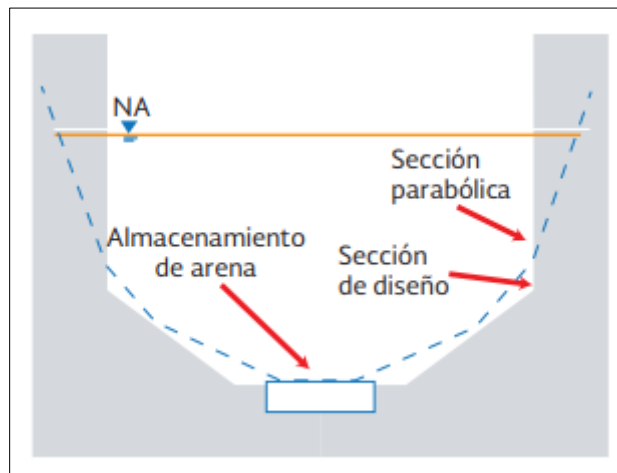


Ilustración 19. Sección del desarenador con canal Parshall (Fuente: [47]).

Mientras que, si la sección transversal fuese rectangular, el ancho se obtendría con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{Q}{(E * V_1)}$$

Longitud de zona de transición

Según Mamani [36], El Bureau of Reclamation, recomienda un ángulo de $12^{\circ}30'00''$ para la zona de transición, refiriéndose a aquellas estructuras en las que las pérdidas deben ser mínimas. Además, se sugiere que la longitud de esta zona sea menor que un tercio de la longitud del desarenador.

$$l = \frac{B - B'}{2 * \tan(\alpha)} < \frac{L}{3}$$

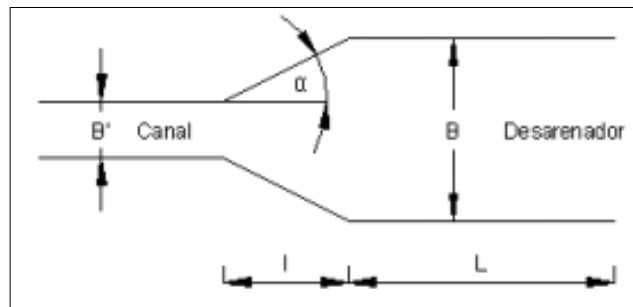


Ilustración 20. Esquema de la zona de transición del desarenador (Fuente: [36]).

Periodo de sedimentación y periodo de desplazamiento

En el diseño de desarenadores de flujo horizontal debe constatarse que, bajo las condiciones más difíciles, la partícula de arena más ligera alcance el fondo del canal, es decir de cumplirse que: $T_d > T_s$

$$T_s = \frac{h}{V_s} \quad y \quad T_d = \frac{h}{V_a}$$

Velocidad de arrastre

Es la velocidad a la que las partículas, se suspenden, impidiendo la sedimentación, es por ello que debe cumplirse que $V_a > V_s$.

Entonces:

$$V_A = 125 * \left[\frac{(\rho_a - \rho) * d}{2} \right]$$

2.2.5.3.1.3. DISEÑO DE CANAL DE PARSHALL

Las dimensiones de los canales de Parshall, son dadas en función del ancho de la garganta y se encuentran tabuladas ya en la mayoría de los libros y manuales de hidráulica. Esto puede observarse en las tablas 13 y 14, que describen los valores correspondientes a la nomenclatura expuesta en la ilustración 20.

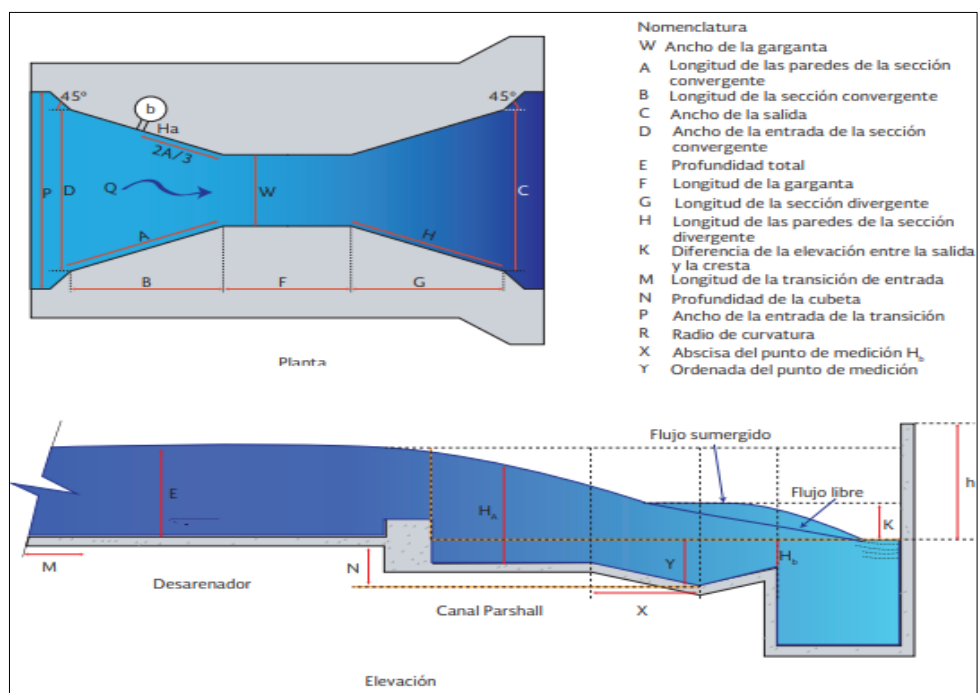


Ilustración 21. Configuración del canal de Parshall (Fuente: [46]).

Tabla 13. Fórmulas para canales Parshall.

Ancho de la garganta (W) (cm)		Ecuación*	Capacidad (L/s)
2.5	(1")	$Q = 0.055 H_a^{1.5}$	0.3-5
5	(2")	$Q = 0.110 H_a^{1.5}$	0.6-13
7.6	(3")	$Q = 0.176 H_a^{1.547}$	0.8-55
15.2	(6")	$Q = 0.381 H_a^{1.58}$	1.5-110
22.9	(9")	$Q = 0.535 H_a^{1.53}$	2.5-250
30.5	(12")	$Q = 0.690 H_a^{1.522}$	3.1-455
45.7	(18")	$Q = 1.054 H_a^{1.538}$	4.3-700
61.0	(24")	$Q = 1.426 H_a^{1.55}$	12-950
91.4	(36")	$Q = 2.182 H_a^{1.566}$	17-1 400
121.9	(48")	$Q = 2.935 H_a^{1.578}$	37-1 900
152.4	(60")	$Q = 3.728 H_a^{1.587}$	60-2 400
182.8	(72")	$Q = 4.515 H_a^{1.595}$	70-2 900
213.4	(84")	$Q = 5.306 H_a^{1.601}$	115-3 450
243.8	(96")	$Q = 6.101 H_a^{1.606}$	130-3 950
305.0	(120")	$Q = 7.463 H_a^{1.6}$	250-5 660

*Q en m³/s; H_a en m

(Fuente: [47]).

Según el ancho de la garganta, se establecen las demás dimensiones que se describen la ilustración 19, estas se encuentran expresadas en la tabla 14.

Tabla 14. Dimensiones del canal de Parshall, de acuerdo con la configuración de la ilustración 19.

W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9	-	-	50.0	0.8	1.3
5.1	41.4	40.6	13.5	21.4	35.6	11.4	25.4	2.2	4.3	-	-	70.0	1.6	2.5
7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7	40.6	30.5	76.8	2.5	3.8
15.2	62.1	61.0	39.4	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4	40.6	30.5	90.2	5.1	7.6
22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	30.5	45.7	7.6	11.4	40.6	30.5	108.0	5.1	7.6
30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	149.2	5.1	7.6
45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	167.6	5.1	7.6
61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	50.8	38.1	185.4	5.1	7.6
91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	38.1	222.3	5.1	7.6
122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	45.7	271.1	5.1	7.6
152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	45.7	308.0	5.1	7.6
182.8	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	45.7	344.2	5.1	7.6
213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	45.7	381.0	5.1	7.6
244.0	244.0	239.2	274.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9	61.0	45.7	417.2	5.1	7.6
305.0	274.5	427.0	366.0	475.9	122.0	91.5	183.0	15.3	34.3	-	-	-	30.5	22.9

(Fuente: [46]).

López [37], señala que es recomendable tomar el ancho de la garganta como de 1/3 a 1/2 del ancho del canal. Además, recalca que debemos tener en consideración que el flujo a través del medidor puede ser:

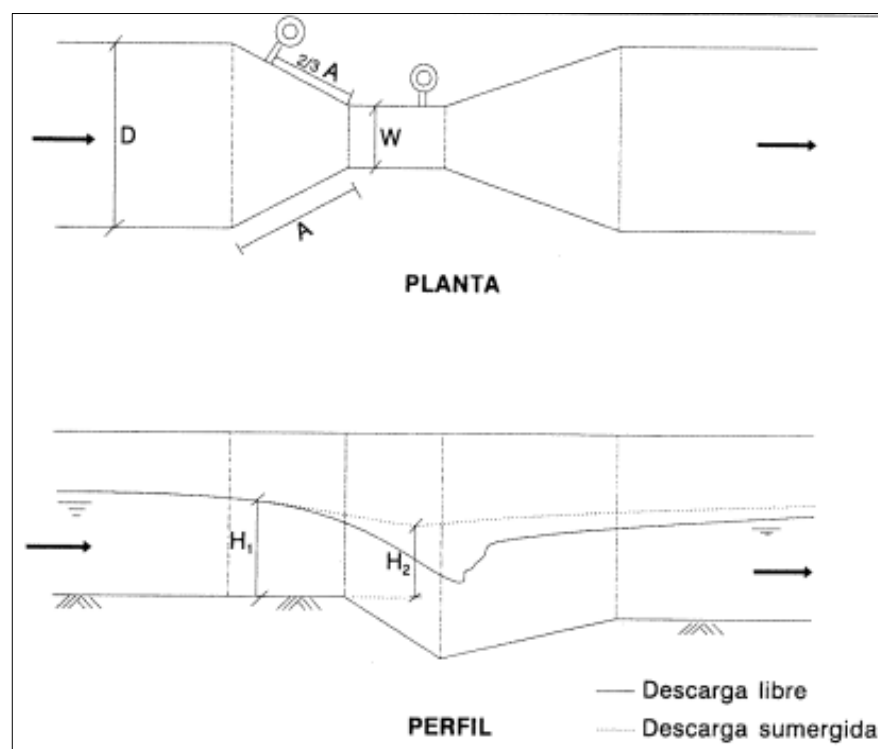


Ilustración 22. Medidor Parshall en descarga libre y sumergida. Planta y corte (Fuente: [37]).

- **En descarga libre**

Se presenta cuando la lámina vertiente es independiente de las condiciones aguas abajo del canal (H1).

- **En descarga sumergida**

Se presenta cuando el nivel aguas abajo del canal de Parshall (H2) afecta el flujo a través de éste. Es necesario entonces hacer una corrección así:

$$Q_{real} = Q - corrección$$

La sumergencia está dada por: $S = \frac{H_2}{H_1}$

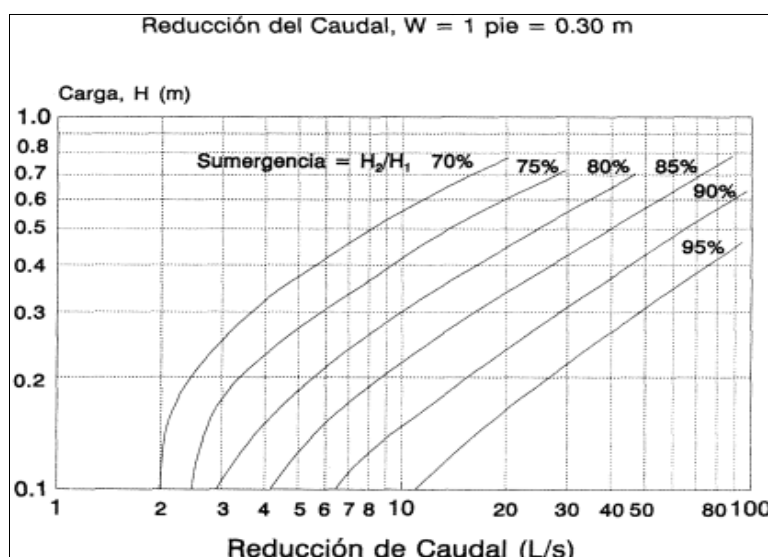


Ilustración 23. Reducción del caudal para medidores sumergidos (Fuente: [37]).

Para los medidores de garganta diferente a 1 pie, se debe multiplicar el caudal de corrección por un factor, indicado en la tabla 15 [37].

Tabla 15. Factor para corrección de caudal para un $W > 1$ pie.

ANCHO GARGANTA, W.		FACTOR
Pies	Centímetros	
1	30.5	1.0
1 1/2	45.7	1.4
2	61.0	1.8
3	91.4	2.4
4	122.0	3.1
5	152.4	3.7
6	183.0	4.3
7	213.4	4.9
8	244.0	5.4

(Fuente: [37]).

2.2.5.3.2. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

En este apartado se exponen algunas de las metodologías que han sido adoptadas para el diseño de los diferentes tipos de lagunas que existen. Debido a la complejidad de las reacciones biológicas y las interacciones presentes, es difícil establecer un solo modelo matemático universal para el diseño. Por esto existen, tanto métodos empíricos como los racionales, para el diseño de estas unidades. Estos principalmente se basan en los siguientes parámetros:

- **Carga orgánica (C_o)**

“Es la masa de sustrato que se aplica diariamente a la laguna y que será estabilizada en el tratamiento biológico. Se expresa en kg DBO” [22].

$$C_o = \frac{S_i}{Q}$$

Donde:

- S_i , DBO o DQO en el afluente (mg/L).
- Q , caudal del fluido ($m^3/día$).

- **Carga orgánica superficial (C_s)**

“Es la masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de área superficial. Se expresa en kg DBO₅/(m^2 día)” [21].

$$C_o = \frac{S_i * Q}{A}$$

Donde:

- A , área de la laguna (m^2).

- **Carga orgánica volumétrica (C_v)**

“Es la masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de volumen y tiempo. Se expresa en kg DBO₅/(m^3 día)” [21].

$$C_v = \frac{S_i * Q}{V}$$

Donde:

- V , volumen total del fluido en laguna (m^3).

- **Tiempo de retención hidráulica (τ)**

“Es el tiempo determinado teóricamente, en donde el agua permanece en el tratamiento biológico. Se expresa en días” [28].

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

Donde:

- V , volumen total del fluido contenido en la laguna (m^3).

A continuación, se describen los procedimientos más generalizados para el diseño de lagunas las lagunas de estabilización, en relación con lo establecido en la norma OS. 090, en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

2.2.5.3.2.1. LAGUNAS AEROBIAS OXIGENACIÓN NATURAL

Una laguna aerobia o aireada, es un depósito en el que el agua residual se trata en la tipo de flujo continuo sin o con recirculación de sólidos. La primordial función de este proceso es la conversión de la materia biodegradable [9].

Ahora las lagunas aerobias sin aireación superficial se pueden concebir por una máxima generación de oxígeno o algas, o manteniendo las condiciones aerobias a lo largo de toda la laguna. Para este tipo de lagunas de estabilización, por medio de la fotosíntesis y reaeración, se provee el oxígeno [22].

Este tipo de lagunas, se diseñan siguiendo el proceso empleado para el de las lagunas facultativas. La Comisión Nacional del Agua en México, en general, para el diseño recomienda tener en consideración lo siguiente:

- Tiempo de retención de 3 a 5 días.
- Profundidad de 0.3 a 0.45 metros.
- Remoción de DBO, entre 80% y 95%.

En la tabla 16, Metcalf & Eddy [9], exponen otras recomendaciones para el diseño de estas lagunas, señalando que son valores típicos, pues existen casos en los cuales se han empleado valores superiores.

Tabla 16. Recomendaciones de diseño para lagunas aeradas con oxigenación natural.

RECOMENDACIONES DE DISEÑO	LAGUNAS AEROBIAS DE BAJA TASA	LAGUNAS AEROBIAS DE ALTA TASA
Tiempo de retención (d)	10 a 40	4 a 6
Profundidad (m)	0.90 a 1.20	0.30 a 0.45
Carga Superficial (kg/ha.d)	67 a 135	90 a 180
Conversión de DBO (%)	80 a 95	80 a 95

(Fuente: [9]).

2.2.5.3.2.2. LAGUNAS AIREADAS DE FORMA MECÁNICA

En los sistemas de lagunaje aireados artificialmente, se distribuyen en las lagunas difusores u otros sistemas mecánicos con el fin de mediante estos introducir oxígeno de manera uniforme en toda la extensión de la laguna y conseguir así incrementar la capacidad de oxidación en el estanque y reducir el tiempo de retención [22].

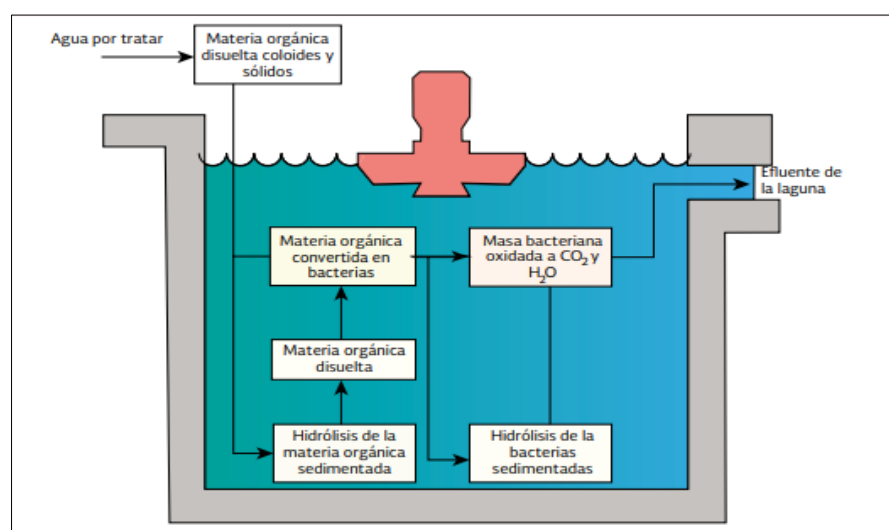


Ilustración 24. Esquema de una laguna aireada de forma mecánica (Fuente: [22]).

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], establece que se distinguen tres tipos de lagunas aeradas:

Lagunas Aeradas de Mezcla Completa

Estas se caracterizan por mantener la biomasa en suspensión, con una alta densidad de energía instalada, mayores a 15 W/m³. A continuación, se describen algunas características típicas de estas:

- Su profundidad varía entre 3 y 5 metros.
- El periodo de retención se estima entre 2 a 7 días.
- Se recomienda el uso de aeradores de baja velocidad de rotación.

Para el diseño y dimensionamiento de este tipo de lagunas, se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- El coeficiente cinético de degradación, la constante de auto oxidación y los requisitos de oxígeno para síntesis, los que se calculan por medio de la experimentación.
- La eficiencia de remoción será establecida en relación al mes más frío.
- A una temperatura de 20°C, la constante de degradación será 0,025 1 / (mg/l Xv.d).
- Los requisitos de oxígeno se determinarán para condiciones del mes más caliente.
- El coeficiente de mortalidad neto será el mismo que el indicado para lagunas facultativa para la remoción de coliformes.
- El factor de dispersión se obtendrá por medio de la siguiente relación:

$$d = \frac{2881 * PR}{L^2}$$

Donde: *PR*, periodo de retención nominal (horas) y *L*, longitud entre la entrada y salida del efluente (*m*).

Lagunas Aeradas Facultativa

Estas se caracterizan por mantener la biomasa en suspensión parcial, con una alta densidad de energía instalada, mayores a entre 1 y 4 W/m³. A continuación, se describen algunas características típicas de estas:

- Su profundidad es por lo menos de 1.50 metros.
- El periodo de retención se estima entre 7 a 20 días.

Lagunas Aeradas Facultativas con Agitación Mecánica

Estas se caracterizan por ser aplicadas a unidades sobrecargadas del tipo facultativo en climas cálidos, con una baja densidad de energía instalada, del orden de 0.1 W/m³. Las condiciones de diseño son las mismas que para lagunas facultativas y se recomienda el uso de aeradores intermitentes. En la siguiente tabla se exponen algunos métodos de diseño para este tipo de lagunas:

Tabla 17. Métodos y disposiciones para el diseño de lagunas aireadas de forma mecánica.

Método de diseño	Variables	Ecuación	Valores recomendados
Aireadas con mezcla completa	Concentración de sólidos suspendidos volátiles	SSV: $\tau = \frac{1}{b} \left[\frac{Y(S_i)}{X_e} - 1 \right]$ SSV no biodegradables: $\tau = \frac{1}{b} \left[\frac{Y(S_i)}{X_e - X_i} - 1 \right]$	b: 0.1 a 0.2 d ⁻¹ para 20 °C
	Tasa de remoción orgánica.	$\frac{S_o}{S_i} = \frac{1}{1 + k\tau}$	
	Requerimientos de O ₂	$O_r = a'Q(S_i - S_e) + b'X$	a': 0.5 y 1.5 kg O ₂ /kg DBO _{rem} b': 0.06 a 0.1 kg O ₂ L/kg SSV d
Aireadas con mezcla parcial	Cinética de 1 ^{er} orden, k, para flujo pistón o real en serie	$\frac{S_j}{S_i} = \frac{1}{1 + \left(\frac{k\tau}{j} \right)^j}$	Ten States Recommended Standards k = 0.138 - 0.276 para T entre 1 y 20 °C Bouliuer Atchinson k=0.2 - 0.3 para T = 20 °C k=0.1 - 0.15 para T=0.5 °C
	j: en serie	en serie $\frac{S_j}{S_i} = \left(\frac{1}{1 + k_1\tau_1} \right) \left(\frac{1}{1 + k_2\tau_2} \right) \dots \left(\frac{1}{1 + k_j\tau_j} \right)$	Reid (para lagunas parcialmente mezcladas en Canadá): k = 0.14 - 0.28 para T entre 0.5 y 20 °C Relación largo/ancho = 3 :1 o 4 :1 en cada Celda Yáñez : k = 2.5 d ⁻¹ para 20°C

(Fuente: [38]).

2.2.5.3.2.3. LAGUNAS ANAEROBIAS

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], establece ciertas consideraciones previas a tomar en cuenta para el diseño de este tipo de lagunas. A continuación, se describen las siguientes:

- Cuando la disponibilidad del terreno sea limitada o en caso de presencia de desechos industriales, son utilizadas como primera unidad en el sistema de lagunaje.
- Su uso no es recomendable para temperaturas menores de 15°C o en presencia de alto contenido de sulfatos (>250 mg/l).
- La acumulación de lodo se calculará con un aporte no menor de 40 l/hab/año y bajo ninguna circunstancia se deberá permitir que el volumen de lodos acumulado en el estanque sobrepase el 50% del tirante de agua.
- Se considerará una reducción bacteriana nula en este tipo de lagunas.

En el dimensionamiento de lagunas anaerobias, para temperaturas de 20°C, debe considerarse lo siguiente:

- De 100 a 300 g DBO/(m³ · día), de carga orgánica.
- De 1 a 5 días, de periodo de retención nominal.
- De entre 2.5 y 5 metros, de profundidad.
- 50% de eficiencia de remoción de DBO.
- De más de 1000 kg DBO/ (ha. Día), de carga superficial.

En la tabla 18, se indican valores de diseño según la temperatura del mes más frío.

Tabla 18. Valores de diseño para cargas volumétricas en función de la temperatura.

Temperatura, °C	Carga volumétrica (g.DBO ₅ /m ³ -día)	Remoción del DBO %
< 10	100	40
10 - 20	20T - 100	2T + 20
> 20	300	60*

(Fuente: [28]).

En la siguiente tabla se exponen algunos métodos de diseño para este tipo de lagunas:

Tabla 19. Métodos y disposiciones de diseño para lagunas anaerobias.

Método de diseño	Variables	Ecuación	Valores recomendados
Métodos empíricos			
Kawai	S_e, S_p, t, T	$S_e = -14.4555 + 0.6876 S_i$	
		$S_e = -86.0971 + 0.6543 S_i + 3.3985 T$	
		$S_e = -265.0576 + 0.7491 S_i + 23.5258 T$	
Yáñez	T, C_p, T	Lagunas primarias $S_e = -1326 + 7.4 T + 3.961 C_p - 98\tau$ Lagunas secundarias $S_e = -138 + 0.35 T + 3.494 C_p + 32\tau$	No disponible pero puede emplearse la ecuación de la carga volumétrica.
Carga volumétrica	S_p, T	$C_v = \frac{S_i Q}{A h} = \frac{S_i}{\tau}$	$C_v = 100 - 400 \text{ g/m}^3$ para agua residual doméstica Norte de Brasil : $C_v = 300 \text{ g/m}^3$ Sudáfrica : $C_v = 250 \text{ g/m}^3$ Mara y Pearson (ver Tabla 3.6)
Métodos semiempíricos			
Método Sud Africano	S_p, S_p, τ	$S_e = \frac{S_i}{\left[k \left(\frac{S_e}{S_i} \right)^n \tau \right] + 1}$ $\tau = \frac{1}{k \left(\frac{S_e}{S_i} \right)^n} \left[\frac{S_i}{S_e} - 1 \right]$	Arceivala, 1981 : $k = 2.5 \text{ a } 3.0 \text{ d}^{-1}$ a $20 - 25^\circ\text{C}$ Silva, 1982 : $k = 5 \text{ d}^{-1}$ a $25 - 27^\circ\text{C}$ con eficiencias del $70 - 80\% \text{ DBO}_{\text{removida}}$ Rolim, 1990: $k = 1 - 2 \text{ d}^{-1}$ con eficiencias de $60 - 70\% \text{ DBO}_{\text{removida}}$ USA: $C_o = 280 - 4.500 \text{ kg/(ha d)}$ Latinoamérica: $t = Id$

(Fuente: [38]).

EJEMPLO DE PROCESO DE DISEÑO - MÉTODO DE MARAIS

a) Carga orgánica:

$$CO = \frac{Q_i * (DBO_i)}{1000}$$

Donde:

- Q_i , caudal en el influente de la laguna ($\text{m}^3/\text{día}$).

- DQO_i , concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el influente de la laguna (mg/l).

b) Carga superficial de diseño:

$$\lambda_v = (20 * T) - 100$$

Donde:

- λ_v , Carga orgánica volumétrica (g DQO_i /m³ - día).
- T , temperatura mínima media mensual del mes más frío (°C).

c) Remoción de la DQO_5 :

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

d) Volumen de la laguna (m^3):

$$V_a = \frac{L_i * Q_i}{\lambda_v}$$

Donde:

- L_i , concentración de materia orgánica en la entrada de la laguna (mg/l).
- Q_i , caudal en el influente (m^3 /día).

e) Área de la laguna (m^2):

El RNE, recomienda para las lagunas anaeróbicas una profundidad de 2.0 a 4.0 metros.

$$A_a = V_a / Z$$

f) Tiempo medio de retención hidráulico (días):

$$O_a = V_a / Q_i$$

g) Concentración de la DQO₅ en el efluente de la laguna (mg/l):

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

h) Caudal en el efluente corregido por evaporación(m³/día):

$$Q_e = Q_i - (0.001 * A_a * e_v)$$

Donde:

- e_v , evaporación (mm/día).

i) Coliformes fecales en el efluente de la laguna:

$$N_e = \frac{N_i}{1 + (K_t * O_a)}$$

Donde:

- N_e , coliformes fecales en la salida (NMP/100 mL).
- N_i , coliformes fecales en la entrada (NMP/100 mL).

La constante global de decaimiento “ K_t ” (d^{-1}), se expresa mediante la siguiente formula:

$$K_t = 2.6 * (1.19)^{T-20}$$

j) Cálculo de la materia orgánica incluyendo la evaporación:

$$DBO_{corregido} = \frac{DBO_e * Q_i}{Q_e}$$

k) Coliformes fecales corregidos por evaporación:

$$N_{e_{corregido}} = \frac{N_e * Q_i}{Q_e}$$

l) Dimensionamiento de la laguna

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_f}{X}} \quad L_{prom} = \frac{A_f}{B_{prom}}$$

Donde:

- B_{prom} , ancho promedio (m).
- L_{prom} , longitud promedio (m).
- X , relación entre la longitud y el ancho.

m) Cálculo del área superficial:

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup}$$

2.2.5.3.2.4. LAGUNAS FACULTATIVAS

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], establece ciertas consideraciones previas a tomar en cuenta para el diseño de este tipo de lagunas. A continuación, se describen las siguientes:

- Su ubicación en el tren del sistema de lagunaje puede ser como laguna única (en climas fríos), seguida de una laguna de maduración, o en su defecto tras una laguna anaerobia o aerada.
- Se usara la temperatura promedio del aire del mes frío, en caso no existan datos de la temperatura del mes más frío, respecto a la temperatura del agua.
- Para una temperatura de 20°C, el coeficiente de mortalidad bacteriana estará entre 0.6 y 1.0 l/d.
- La profundidad de la laguna debe ser mayor de 1.5 metros.
- La carga de diseño (kg DBO/ (ha. día)), corresponde a la siguiente expresión:

$$C_d = 250 * 1.05^{T-20}$$

Donde: T, es la temperatura del agua promedio del mes más frío (°C).

- Como unidad primaria, se deberá considerar una altura adicional para la acumulación de lodos entre períodos de limpieza de 5 a 10 años.

Para el caso en que las lagunas facultativas, como unidades secundarias, reciban efluentes de lagunas aeradas, deben tenerse en cuenta:

- El balance de oxígeno de la laguna debe ser positivo.
- Se debe determinar el volumen de lodo acumulado en el efluente de la laguna aerada para calcular la frecuencia de remoción del lodo.

En la siguiente tabla se exponen algunos métodos de diseño para este tipo de lagunas:

Tabla 20. Métodos y disposiciones de diseño para lagunas facultativas.

Métodos	Variables	Ecuación	Valores recomendados
Métodos empíricos y semiempíricos			
Carga orgánica superficial			
McGarry y Pescod, 1970	T, Cs	$C_s = 60.26(1.099)^T$	Para estos modelos no se tienen Cs recomendadas pero se pueden emplear las siguientes:
Mara, 1976	T, Cs	$C_s = 40.35(1.099)^T$	Canter y Engle A 970
Pescod y McGarry	T, Cs	$C_{smax} = 20T - 20$	Cs (promedio), kgDBO/(ha d) 29 37 50
Arthur, 1983	T	$C_{smax} = 20T - 60$	t, d 117 82 31
Mard, 1987	T	Europa mediterránea $C_s = 10(T)$ Sudamérica $C_s = 350(1.107 - 0.002(T))^{T-25}$	USEPA, 1983 Si Taire > 15°C Cs = 45 - 90 kg DBO/(ha d) Si 0 <Taire< 15°C Cs = 22 - 45 kg DBO/(ha d) Si Taire< 0°C Cs = -11 - 22 kg DBO/(ha d)
Extrables, Brasil (1983)	T	$C_s = 250(1.085)^{T-20}$	
National Environmental Engineering Research Institute of Indian	Cv, LAT	$C_s = 375 - 6.15LAT$	India : 8 - 36°
Carga orgánica superficial removida			
Correlaciones empíricas	Cw, Cs	$C_w = A + B Cs$	ver Tabla 3.12 Coeficientes de correlaciones de carga de DBO
Área superficial			
Mara, 1976	Se / Sp, T, h	$A = \frac{Q(S_i - S_e)}{0.30 S_e h (1.05)^{T-20}}$	Se: 50 a 70 DBOmg/L, a una profundidad de 1.0 a 2.5
Aceivala, 1973	T, Q, h	$A = \frac{Q\tau}{h}$	T: 7 - 110 d a 5 - 25 °C
Silva, 1982			T: 6 d
Broome, 1986			T: 5 d
Volumen de la laguna			
Gloyna, 1976	Se, T	$V = (3.5 \text{ E}-05)QS_e\theta^{15-T}ff'$	h mes más frío : 1.5 a 2 m h mes más cálido : 1 m
Middlebrooks y Crites, 1988	Sp, T, Luz	$V = 0.035(Q)(S_i)1.099^{\frac{10(35-T)}{20}}$	
Constante de rapidez de 1º Orden			
Yáñez, 1980	T, k	$k = \frac{\tau}{-14.77 + 4.46 T}$	k = 0.38d-1 Para T de 8° C o más
Yáñez, 1984	t,k	$k = 0.796\tau^{-0.355}1.085^{T-26}$	No Disponible

(Fuente: [38]).

Tabla 21. Métodos y disposiciones de diseño para lagunas facultativas.

Métodos	Variables	Ecuación	Valores recomendados
Métodos cinéticos			
Modelo de Wehner-Wilhelm, 1956	k, t	$\frac{S_e}{S_i} = \frac{4ae^{(1/2d)}}{(1+a)^2 e^{(a/2d)} - (1-a)^2 e^{(a/2d)}}$	$d : 0.1 \text{ a } 2.0$
Modelo completamente mezclado, 1961	k, t	$\frac{S_e}{S_i} = \left[\frac{1}{1 + k\tau_j} \right]^j$ $h = 5.08 \left[\left(\frac{700}{(S_i)_{\max}} \right) + 8 \right]$	Se puede emplear la ecuación de Yáñez (1984) $(S_e) = 55 \text{ mg/L}$
Modelo de flujo pistón (Middlebrooks y Crites, 1988)	K_p, c	$\frac{S_e}{S_i} = e^{-K_p c}$	ver Tabla 3.11 para valores de K_p, t

(Fuente: [38]).

EJEMPLO DE PROCESO DE DISEÑO - MÉTODO DE YÁÑEZ

a) Carga orgánica:

$$CO = \frac{Q_i * (DBO_i)}{1000}$$

Donde:

- Q_i , caudal en el influente de la laguna ($m^3/\text{día}$).
- DBO_i , concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el influente de la laguna (mg/l).

b) Carga superficial de diseño:

$$\lambda_s = 250 * (1.085)^{T-20}$$

Donde:

- T , temperatura mínima media mensual del aire ($^{\circ}\text{C}$).

c) Área de la laguna facultativa:

$$A_f = \frac{10 * L_i * Q_{med}}{\lambda_s}$$

Donde:

- L_i , concentración de DBO_5 en el influente (mg/l).
- Q_{med} , caudal en el influente ($m^3/\text{día}$).

d) Volumen de la laguna:

$$V = A_f * Z$$

Donde:

- Z , profundidad (m).

e) Tiempo medio de retención hidráulico:

$$O_F = V/Q_i$$

f) Dimensionamiento:

Se considerará una relación largo – ancho de 3, con el fin de minimizar cortocircuitos en la laguna

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_f}{X}} \quad L_{prom} = \frac{A_f}{B_{prom}}$$

Donde:

- B_{prom} , ancho promedio (m).
- L_{prom} , longitud promedio (m).
- X , relación entre la longitud y el ancho.

Si el diseño de la laguna incluyera mamparas, la relación largo – ancho sería:

$$X = \frac{(L_{prom} * L_m * n_m)}{(n_m + 1)}$$

Donde:

- L_m , % de la longitud de la mampara del largo de la laguna.
- n_m , número de mamparas.

Para determinar el ancho y largo superior de la laguna facultativa, se tiene:

$$B_{sup} = B_{prom} + Z(Talud) \quad L_{sup} = L_{prom} + Z(Talud)$$

*El RNE sugiere un talud de 2:1.

g) Cálculo del área superficial:

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup}$$

h) Gasto en el efluente:

$$Q_e = Q_i - (0.001 * A_{sup} * e)$$

Donde:

- e , evaporación (mm/día).

i) Remoción de coliformes fecales:

El factor de dispersión adimensional “d”, es:

$$d = \frac{X}{-0.26118 + (0.25392 * X) + (1.0136 * X^2)}$$

j) Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa:

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 * a * \exp^{(1-a)/(2*d)}}{(1 + a)^2}$$

Donde:

- $\frac{N_f}{N_o}$, # de coliformes fecales en el efluente (NMP/100 ml).

La constante adimensional “a”, se determina mediante la siguiente expresión:

$$a = \sqrt{1 + (4 * K_b * O_F * d)}$$

Teniendo en cuenta el cálculo previo del coeficiente de reducción bacteriana “ K_b ” (d^{-1}), según la siguiente formula:

$$K_b = 0.841 * (1.075)^{T-20}$$

k) Coliformes fecales corregidos por evaporación:

$$N_e = \frac{\frac{N_f}{N_o} * Q_i}{Q_e}$$

Donde:

- N_e , coliformes fecales corregidos por evaporación en el efluente de la laguna facultativa (NMP/100 ml).

l) Concentración de DQO en el efluente de la laguna:

$$DBO_{ef} = \frac{DBO_i}{(K_f * O_F) + 1}$$

Donde:

- DBO_{ef} , concentración de la DBO_5 en el efluente de la laguna (mg/l).

La constante de decaimiento de la “ DBO_5 ” (d^{-1}), teniendo en cuenta que para lagunas facultativas fue determinada en el laboratorio a 35 °C, dando como resultado $1.2 d^{-1}$, para temperaturas diferentes se expresa según la siguiente formula:

$$K_f = \frac{K_{f35}}{(1.085)^{35-T}}$$

m) DBO corregida por evaporación:

$$DBO_e = \frac{(DBO_i * Q_i)}{Q_e}$$

Donde:

- DBO_e , concentración de la DBO_5 en el efluente de la laguna corregida por evaporación (mg/l).

n) Eficiencia de remoción de la DBO:

$$\% = \frac{(DBO_i - DBO_e)}{DBO_i} * 100$$

2.2.5.3.2.5. LAGUNAS DE MADURACIÓN

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], menciona que debido a que la mortalidad bacteriana y remoción de parásitos ocurre en todas las unidades y no solamente en las lagunas de maduración, las consideraciones que a continuación se describirán aplican para cualquier tipo de lagunas.

Estas son las siguientes:

- La remoción de los parásitos requiere un periodo de retención como mínimo de 10 días.
- La reducción de bacterias debe ser calculada en términos de coliformes fecales y para esto se debe establecer el modelo de flujo disperso con los coeficientes de mortalidad netos correspondientes a cada tipo de unidad lagunar.
- En relación a la forma y el valor de la temperatura, puede calcularse el factor dispersión respecto al modelo de flujo disperso.

Tabla 22. Valores referenciales del factor de dispersión según la relación largo - ancho.

Relación largo – ancho	Factor de dispersión
1	1
2	0.50
4	0.25
8	0.12

(Fuente: [18]).

- El coeficiente de mortalidad neto puede ser corregido con la siguiente relación:

$$K_T = K_{20} * 1.05^{(T-20)}$$

Donde: T, es la temperatura promedio del mes más frío (°C) y K_{20} , es el coeficiente de mortalidad neto a 20°C.

En la siguiente tabla se exponen algunos métodos de diseño:

Tabla 23. Métodos y disposiciones de diseño para lagunas de maduración.

Método de diseño	Variables	Ecuación	Valores recomendados
Métodos empíricos y semiempíricos			
Quin et al., 1991	k_{obs}, kl, D	$k_{CF} = k_{obs} + k\ell$ $k_d = k_T + k_{pH} + k_{DBO}$	No Disponible
	Ambiental : T, pH, Si	$k_T = 0.0279 + 0.00898T$ $k_{pH} = 0.02207(pH)^3 - 3.5797(pH) + 14.4$	No Disponible
		$k_{DBO} = 0.46 - 0.184 \log(S_i)$ $k\ell = k_h h + k_{CA} C_A + k_{turb} Turb$	
	Iluminación: I, kl	$I = I_0(1 - B) \frac{(1 - e^{-k\ell h})}{k\ell h}$	No Disponible
	Dimensiones físicas y configuración hidráulica	$D = \frac{E[D_i v_i (W + 2h)]^q W^{(2-q)}}{L h^{(1+q)}}$	No Disponible
Thirumurthi, 1969	d, a, X	$\frac{CF_e}{CF_i} = \frac{4 a e^{\left(\frac{1-a}{2d}\right)}}{(1+a)^2}$ $d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392X + 1.01360X^2}$ $a = \sqrt{1 + 4 k_{CF} \tau d}$	$k_{CF} = 0.84(1.07)^{T-20}$
Ayres et al., 1993 Yáñez	t y sedimentabilidad	$R_{HH} = 100[1 - 0.4^{0.38\tau}]$ Límite de confianza del 95% $R_{HH} = 100[1 - 0.41^{0.38\tau + 0.0085\tau^2}]$	
Métodos cinéticos			
Marais, 1974	Reactor de flujo		$k_{CF} = 2.6 d^{-1}$ para 20° C
	Completamente mezclado con cinética de 1er orden	$\tau = \frac{1}{k_{CF}} \left[\frac{CF_i}{CF_e} - 1 \right]$	Yáñez: $k_{CF} = 0.84(1.07)^{T-20}$
	j: reactores en serie		$k_{CF} = 2.6 d^{-1}$ para 20° C
Marais, 1974		$CF_e = \frac{CF_i}{(1 + k_{CF} \tau_1)(1 + k_{CF} \tau_2) \dots (1 + k_{CF} \tau_j)}$	Yáñez: $k_{CF} = 0.84(1.07)^{T-20}$
			250 m3/d < Qmax < 500
OPS, 1995	Ley de Chick modificada por el fenómeno de dispersión	$S_e = f(L, W, h, H, E, T, I, k, k_{CF}, O, W) S_i$ $\tau = \frac{\log \frac{CF_e}{CF_i}}{k_{CF}}$	FCH= 0.5 - 0.8 FCS = 0.3 - 0.8 lagunas primarias y 1.0 para lagunas secundarias y de pulimento FIA= 0 - 1.2

(Fuente: [38]).

2.2.5.4. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS DE DISEÑO

En este apartado se describen las consideraciones a tener en cuenta para la construcción de las lagunas de estabilización, y el sistema de pretratamiento que se empleará.

2.2.5.4.1. SELECCIÓN DE UBICACIÓN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser ubicadas en áreas lo suficientemente extensas para el desarrollo de las tecnologías a emplear. El sistema de lagunaje, particularmente en este sentido precisa su mayor desafío pues para desarrollarse necesita de un área mayor con comparación con las otras tecnologías.

Otros aspectos a tenerse en cuenta al seleccionar la ubicación de la planta son la información geotécnica, geológica y topográfica del lugar, además debe verificarse que este sea un lugar al que no le afecte la influencia de causas sujetos a torrentes y avenidas, pues de no ser posible esto, en el proyecto se deberán contemplar obras de protección.

En la Norma OS. 0.90, el Reglamento Nacional de Edificaciones [18], indica que el área de ubicación se establece que debe encontrarse lo más distante posible de las comunidades, teniendo en consideración lo siguiente:

- Para tratamientos anaerobios, como mínimo 500 metros.
- Para lagunas facultativas, como mínimo 200 metros.
- Para sistemas con lagunas aeradas, como mínimo 100 metros.
- Para lodos activados y filtros percoladores, como mínimo 100 metros.

Cabe señalar que se debe considerar un área de protección alrededor de la zona donde se desarrolla el sistema de tratamiento, todas estas distancias deben ser justificadas en el estudio de impacto ambiental del proyecto.

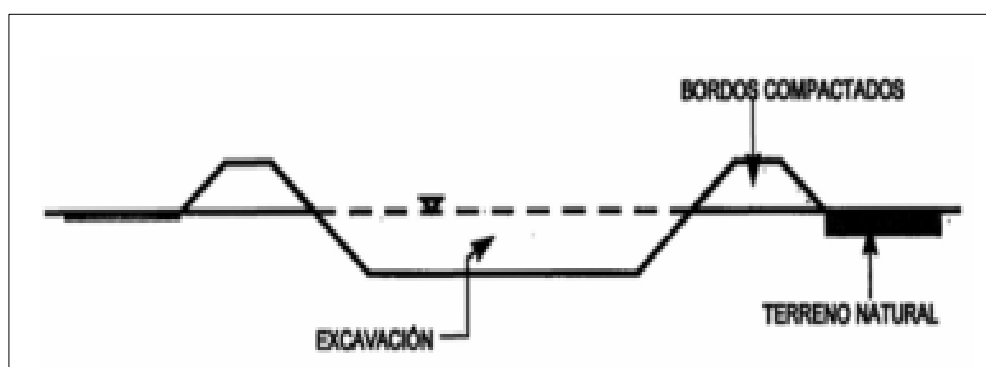


Ilustración 25. Sección transversal típica de una laguna construida en relación al nivel de terreno natural (Fuente: [21]).

2.2.5.4.2. MOVIMIENTO DE TIERRAS

El movimiento de tierras en el desarrollo del proyecto es una de las primeras acciones para el inicio de la obra. Para la construcción de las lagunas de estabilización, se procura que el movimiento de tierras sea óptimo, compensado, es decir procurando que exista un adecuado balance entre el corte y relleno para los diques. En otras palabras, que la excavación sea equivalente al material necesario para la construcción de los diques.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que el desplante, aquel material considerado inapropiado para la fundación de los diques o el fondo de la laguna, debe ser retirado y de ser necesario ser sustituido por material apropiado, y compactado.

2.2.5.4.3. REVESTIMIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN

La impermeabilización se realiza con el objetivo de evitar la contaminación de acuíferos, sin embargo, esto generalmente representa el costo máximo en el proceso de la construcción. Es por ello, que de preferencia al seleccionar el sitio en el que se ubicará la planta de tratamiento, debe considerarse que este tenga un suelo impermeable, de preferencia arcilloso, siempre evitando aquellas zonas con áreas con fallas geológicas y lechos de ríos debido al alto riesgo de infiltración que dichos emplazamientos presentan.

En cuanto al revestimiento de un talud suave, en términos generales, es innecesario, sin embargo, esto puede cambiar en caso las pendientes de los taludes resulten ser muy pronunciadas, ocasionando que las olas que resultan de la fricción del viento revienten en el talud ocasionando daños.

2.2.5.4.4. ESTRUCTURAS DE INGRESO Y SALIDA

La disposición y el tipo de estructuras de ingreso y salida son aspectos de diseño que deben tenerse en cuenta para contribuir con la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Entonces, las estructuras de entrada para las lagunas anaerobias, facultativas y maduración deben establecerse por debajo del nivel del agua,

generalmente a la mitad de la profundidad, lo que favorece a la adecuada operación de las lagunas, ya que esto reduce los posibles cortocircuitos que podrían suscitarse [38].

En cuanto a las estructuras de salida, existen diferentes tipos, pero se recomienda se usen estructuras con dispositivos que permitan un registro del agua residual, es decir que pueda establecerse la variación que se desee de flujo de ingreso y salida. Además, instalar trampas de grasas y natas en las salidas de todas las lagunas, es otro aspecto recomendable con el objetivo de mejorar la eficiencia del sistema con respecto a la calidad final del agua residual.

La consideración de colocar varias entradas y salidas en las lagunas se reduce al hecho de que esto permite la distribución uniforme del flujo, lo que impedirá que estas reciban toda la carga orgánica e hidráulica en su solo lado provocando deficiencias en su funcionamiento. Esto en lagunas primarias y secundarias, pero según Oakley [26], principalmente en lagunas del tipo facultativas, pues en estas se necesita distribuir el efluente para aprovechar la insolación solar para la producción de oxígeno mediante la fotosíntesis.

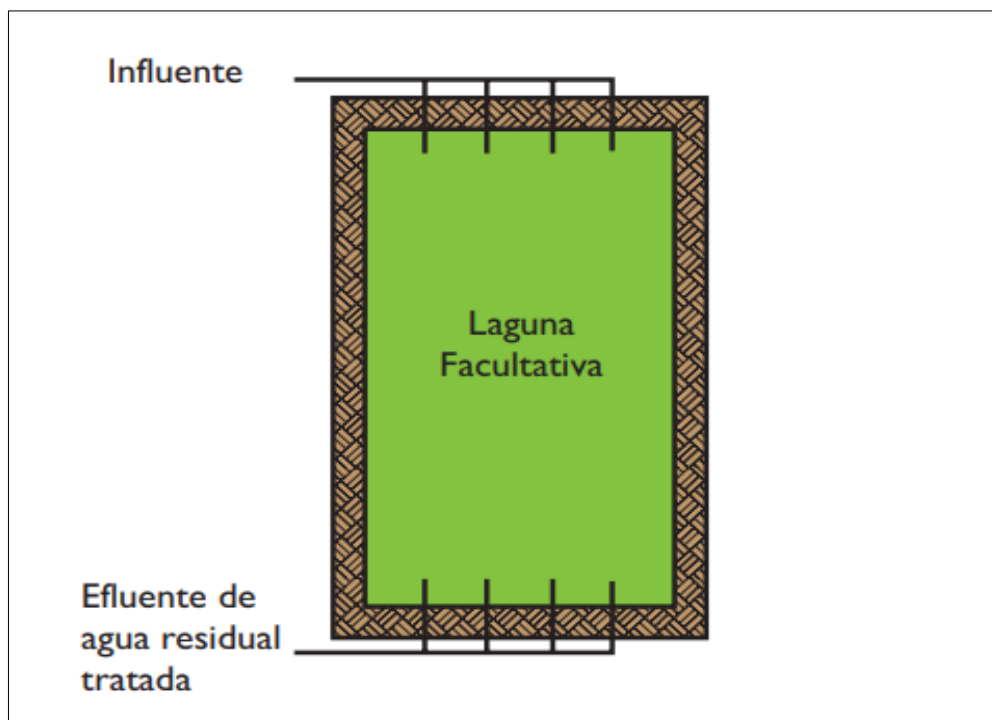


Ilustración 26. Disposición de entradas y salidas del efluente en una laguna facultativa (Fuente: [31]).

Por el contrario, para las lagunas terciarias, o de maduración, Oakley y Salguero [35], mencionan que es recomendable que presenten una sola entrada y salida con mamparas, ya que estas no presentan problemas con la producción de oxígeno para satisfacer la carga orgánica superficial o la alta acumulación de lodos en el fondo de esta.

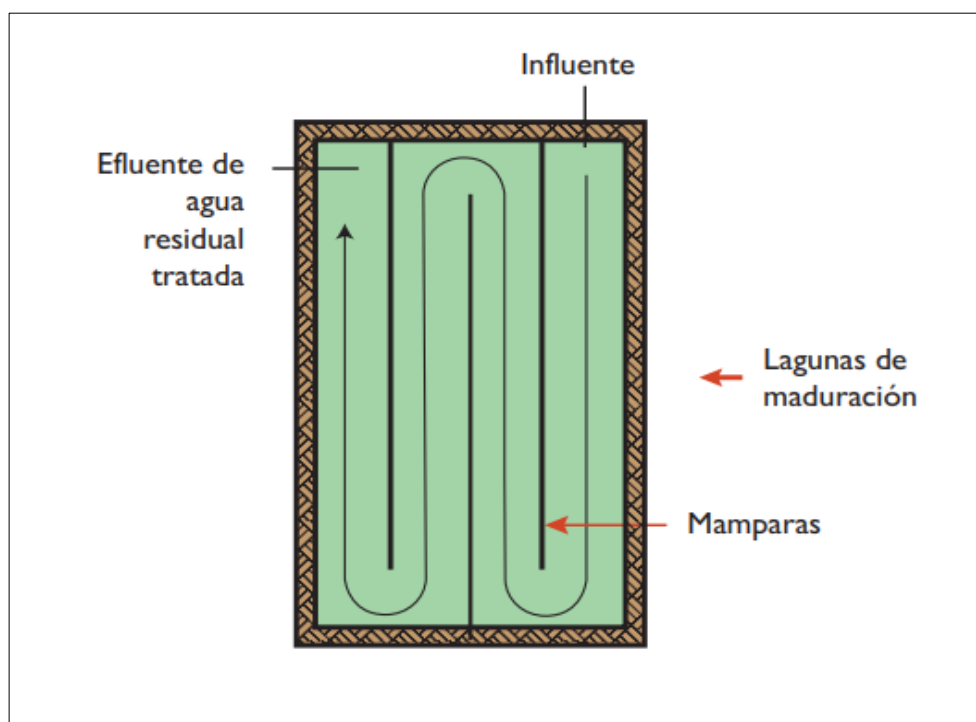


Ilustración 27. Disposición de entradas y salidas del efluente en una laguna facultativa (Fuente: [22]).

2.2.5.4.5. ESTRUCTURAS DE INTERCONEXIÓN

Este tipo de estructuras son utilizadas cuando el sistema de lagunaje está dispuesto en serie, para transferir el efluente de una laguna a otra. Estas estructuras deben ser concebidas de forma que el efluente al ingresar a la otra laguna no produzca una caída turbulenta, lo que genere espuma debido a los agentes no biodegradables presentes en las aguas residuales.

El Reglamento Nacional de Edificaciones [18], señala que la interconexión entre los estanques de las lagunas de estabilización, se pueden realizar mediante tuberías, siempre después de un vertedero o canales con un medidor de régimen crítico. Siendo que la segunda alternativa mencionada, es la que menor pérdida de carga presenta, y me mejor utilidad en terrenos planos.

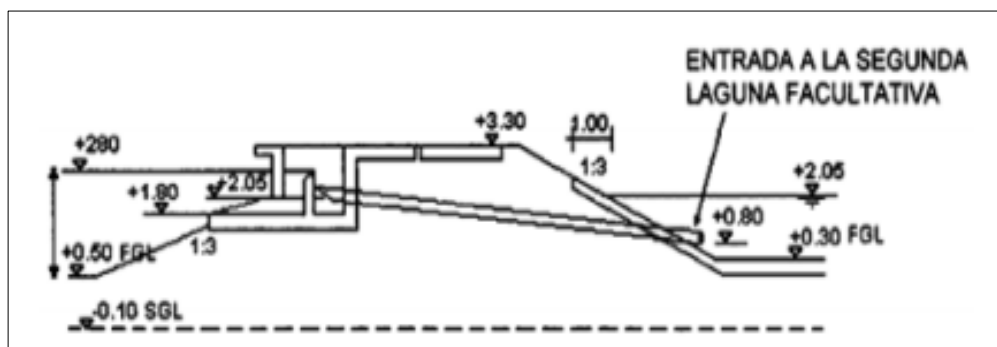


Ilustración 28. Estructuras de interconexión típica entre lagunas (Fuente: [21]).

2.2.5.4.6. DISPOSITIVO DE REUNIÓN Y DESCARGA FINAL

Generalmente la descarga final del efluente se realiza arriba del cuerpo receptor, acción que genera la producción de espuma por la turbulencia, esto debido a que los agentes tensoactivos presentes en las aguas residuales no son biodegradables, por lo que se mantienen presentes. Si bien, esto, la presencia de espuma no representa un problema en cuanto a contaminación, si una visual y estético, además si el efluente tiene como fin ser reusado para riego agrícola, la generación de espuma debe controlarse. Entonces, lo apropiado, para evitar ello, sería que la descarga final se realice abajo del nivel de agua en el cuerpo receptor.

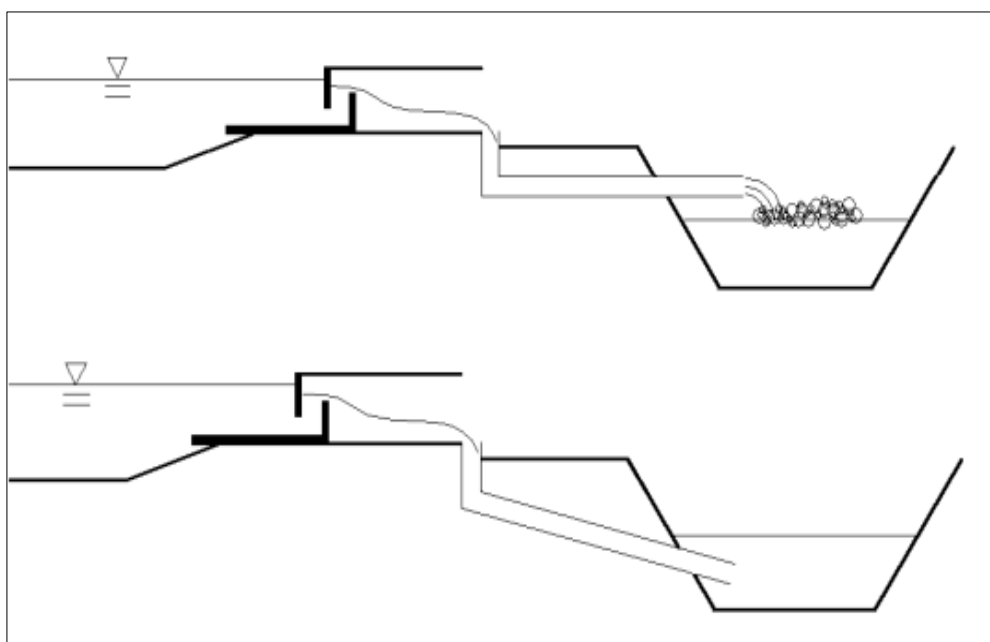


Ilustración 29. Disposición de dispositivos de descarga final del efluente (Fuente: [35]).

2.2.5.4.7. DIQUES

En cuanto a las consideraciones constructivas de los diques, el Reglamento Nacional de Edificaciones [18], establece lo siguiente:

- La forma de las esquinas de los diques/estanques se sugieren sean redondeadas, para evitar la acumulación de natas.
- Para los taludes interiores de los estanques se recomienda 1:1.5 y 1:2 (V:H).
- Para los taludes exteriores de los estanques se recomienda 1:2 y 1:3 (V:H).
- Para el borde libre en cuanto a lagunas de estabilización, se recomienda un mínimo de 0.50 m.
- Se establece un mínimo de 2.50 m, de ancho de borde, para así permitir la circulación de vehículos.

Además, en el caso de que el viento produzca oleaje, el borde libre deberá calcularse y considerar la protección de los diques para evitar su erosión.

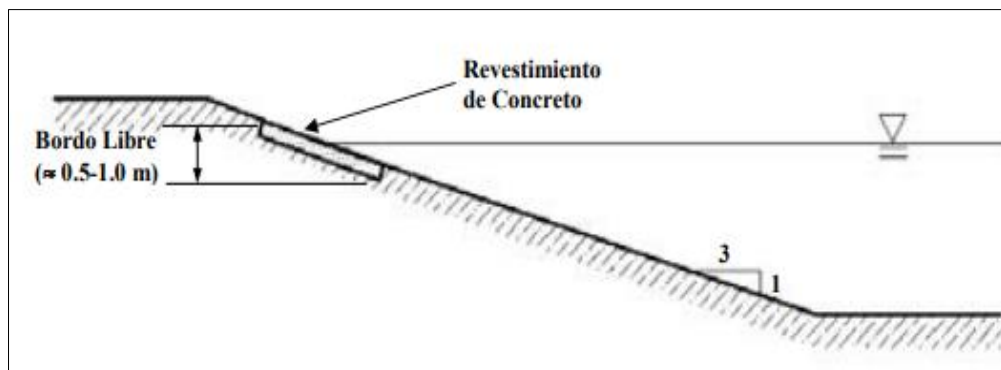


Ilustración 30. Configuración de un dique para una laguna de estabilización (Fuente: [26]).

2.2.6. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y MONITOREO

La operación, el mantenimiento y el monitoreo son acciones necesarias en cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales para asegurar su adecuado desempeño. La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [2] señala que estas acciones son necesarias por tres razones fundamentales:

- Conocer la eficiencia del tratamiento en distintas épocas del año.
- Detectar anomalías en el funcionamiento del sistema, para tomar las medidas de corrección necesarias.
- Contar con una data representativa del proceso de depuración, que puede ser de uso para mejorar los criterios de diseño y construcción de las futuras posibles instalaciones.



Ilustración 31. Observaciones típicas respecto a la operación y mantenimiento de los componentes de una PTAR (Fuente: [2]).

2.2.6.1. OPERACIÓN

La operación es una actividad necesaria en toda planta de tratamiento de aguas residuales, ya que esto nos garantiza que se mantenga la eficiencia de la planta desde su inicio, además de tener un registro de ello.

Por otro lado, que los lodos sedimentados sean observables desde la superficie del estanque, es un claro indicador de una posible colmatación de la alguna, y por defecto de un inadecuado manejo de estos lodos, lo que incide en la eficiencia de la planta. Ello indica un escenario contrario a la buena operación del sistema.

Algunos de los aspectos a considerar por el personal correspondiente para la operación eficiente del sistema de lagunaje, son:

- Medición de caudales.
- Control de los niveles del agua residuales en las lagunas.
- Medición de la profundidad de lodos.
- Control del nivel de descarga.
- Detecciones organolépticas: olores y colores.

2.2.6.2. MANTENIMIENTO

Menéndez y Díaz [39], mencionan que el mantenimiento de los estanques de las lagunas de estabilización contempla dos partes fundamentales:

- El cuidado de la infraestructura civil: Con ello nos referimos a la limpieza de la unidad de pretratamiento (si la hubiera), medidores de caudal, cercas perimetrales, caminos, jardinería, retirada del fango acumulado en las lagunas, etc.
- A la detección de problemas de funcionamiento y asertivo establecimiento de medidas correctoras.

Es necesario tener en cuenta también que la primera actividad de mantenimiento se da justo después de terminada su construcción. Esta consiste en proveer la laguna de agua inmediatamente para evitar agrietamientos en la zona del fondo y taludes debido a posibles lluvias o el crecimiento de malas hierbas en esa área.

2.2.6.2.1. LIMPIEZA DE SEDIMENTOS Y LODOS ACUMULADOS

La limpieza de sedimentos y lodos acumulados es una actividad necesaria y requerida en los trabajos de mantenimiento de las plantas que desarrollan la tecnología de lagunas de estabilización, pues es una actividad que demanda un

tiempo considerado y costos elevados de no realizarse periódicamente desde el inicio de su puesta en operación.

Lo primero que se realiza, es extraer el agua residual de la laguna, para secar y retirar el lodo acumulado. En ocasiones, esto se ejecuta con la ayuda de equipo de bombeo, mientras que en otras se dejan evaporar naturalmente, siendo esta ultima la forma más económica, sin embargo, implica períodos de paralización de la laguna por varios meses, más allá de lo necesario [39].

2.2.6.3. MONITOREO

El monitoreo, es la actividad mediante la cual podemos definir el grado del funcionamiento del sistema, además de permitir la identificación de problemas dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales. La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [2], señala que esta actividad se distingue entre:

- **Parámetros de Evaluación**

Estos parámetros hacen referencia a los indicados en la normativa para así, mediante un periódico monitoreo, conocer el estado de eficiencia de la planta respecto a la remoción de contaminantes que viene realizando. De esta forma, también nos permite estimar su eficiencia.

- **Parámetros de Operación**

Son aquellos que condicionan el estado de funcionamiento de las unidades que componen la planta, ya que estos miden y supervisan el proceso de tratamiento. Son de suma importancia, ya que de esta forma se permite que la planta sea eficiente en el tiempo, y se establezca un registro de operación que nos permita predecir su comportamiento y evaluarla periódicamente, como corresponde.

En el caso de las lagunas de estabilización, dentro de los parámetros de operación, podemos incluir también los resultados de los cálculos y planos de batimetría, aparte del monitoreo del estado físico visual de las lagunas.

2.3. MARCO LEGAL

La gestión de los recursos hídricos en el Perú actualmente cuenta con una arquitectura legal orientada hacia su uso y practica sostenida. Si nos enmarcamos en el tema de las aguas residuales, conectar la etapa de vertimiento y el reúso del efluente tratado, es un desafío, del cual depende el avance hacia una gestión eficiente del recurso hídrico en nuestro país, lo cual significaría una reducción del estrés hídrico, por la demanda hídrica existente y debido a la descarga de vertimientos.

2.3.1. PLAN NACIONAL DE ACCIÓN AMBIENTAL / PERÚ 2011 – 2021

El Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA), contiene las metas prioritarias en materia ambiental que el país debe lograr en los próximos diez años, en el periodo 2011 – 2021.

Para el culmen del plazo de 10 años de vigencia de dicho plan, en cuanto al tema de aguas residuales, entro de la meta 1, se establece lo siguiente:

- El 100% de las aguas residuales domesticas urbanas en el país serán tratadas y el 50% de estas serán reusadas.
- El 100% de los titulares que contarán con la autorización de vertimiento de las aguas residuales cumplirán con los límites máximos permisibles vigentes. Y los cuerpos receptores cumplirán con los estándares de calidad ambiental para el agua.

ACCION ESTRATÉGICA	META AL 2012	META AL 2017	META AL 2021
1.1 Asegurar la cobertura total del tratamiento y reuso de las aguas residuales en el ámbito urbano y ampliar su cobertura en el ámbito rural.	-El 30% de aguas residuales urbanas son tratadas y el 15% de éstas son reusadas.	-El 50% de aguas residuales urbanas son tratadas y el 30% de éstas, son reusadas. -El 10% de aguas residuales del ámbito rural ¹² son tratadas y reusadas.	-El 100% de aguas residuales urbanas son tratadas y el 50% de éstas, son reusadas. -El 30% de aguas residuales del ámbito rural son tratadas y reusadas.
	Indicadores: -Porcentaje de aguas residuales urbanas tratadas y reusadas. -Porcentaje de aguas residuales del ámbito rural tratadas y reusadas.		
	Responsables: MVCS, SUNASS. Co-Responsables: ANA, MINSA, EPS, Gobierno Regional, Gobierno Local.		

Ilustración 32. Metas propuestas en el PLANAA (Fuente: [20]).

2.3.2. NORMA OS 090. PTAR 2016. PERÚ: RNE

El Reglamento Nacional de Edificaciones, es el marco en el que se detallan todos los requisitos mínimos para el diseño y la ejecución de edificaciones y habilitaciones urbanas.

Por tanto, en el apartado OS 090 de este se establece la normativa necesaria para el desarrollo de proyectos del tipo para el tratamiento de aguas residuales en los diferentes niveles. Y además de ello nombra todas aquellas instalaciones requeridas por una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y todos los procesos a los que están sujetos previo a su descarga en el cuerpo receptor o a su reutilización.

Según la norma OS 090 [18], el objetivo del tratamiento de las aguas residuales: “es mejorar su calidad para cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor o las normas de reutilización”, según corresponda. De lo anterior se infiere que, si una planta de tratamiento de aguas residuales no logra reducir los parámetros eficientemente para cumplir con la normativa vigente, ésta no está cumpliendo con el objetivo para la cual fue diseñada.

2.3.3. DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA Y DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS.

En este decreto se exponen los estándares de calidad ambiental requeridos de acuerdo al destino del uso del recurso hídrico, establecidos por el Ministerio del Ambiente de nuestro país. En este documento se fijan los valores máximos de contaminantes permitidos en el agua para su reúso, con el objeto de garantizar la calidad ambiental.

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), son definidos como la cantidad respecto a los parámetros propios del agua residual (físicos, químicos y biológicos) que presenta un efluente tratado, y que no presenta riesgo importante para la salud de las personas ni del ambiente. La toma en cuenta de los estándares de calidad ambiental es obligatoria en el diseño de las normas legales, las políticas y los instrumentos de gestión ambiental. Debido a esto, el diseño de una planta de tratamiento, en cuanto al uso final del efluente, parte de la definición del ECA [40].

2.3.4. DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. LMP PARA LOS AFLUENTES DE PTAR DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.

En este decreto se establecen los límites máximos permisibles de los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan el agua residual para evaluar la calidad del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales y así garantizarla, evitando la contaminación de los cuerpos de aguas debido al vertimiento sin un tratamiento previo o en su defecto un tratamiento ineficiente.

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) se definen como la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan un efluente, que al ser excedido causa o puede causar daños para la salud, bienestar humano y al ambiente [40].

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES		
PARÁMETRO	UNIDAD	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
PH	unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Ilustración 33. Límites máximos permisibles aprobados en el DS N°0.10-2010-MINAM (Fuente: [48]).

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Límites máximos permisibles (LMP): Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión que, al ser excedido, causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente [41].

Levantamiento Batimétrico: Corresponde a un levantamiento topográfico sobre un cuerpo de agua. Orientado al estudio de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se define como el proceso mediante el cual se verifican los perfiles de acumulación de sólidos sedimentados en el fondo de las lagunas [42].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el grado de manipulación de las variables, la investigación, es del tipo no experimental, es decir se basa en la observación. Y según el periodo temporal en que se realiza la investigación, es del tipo transversal, ya que se centra en la comparación de diferentes características o sucesos en un momento concreto, como en este caso, ya que se evaluara el estado de funcionamiento de la planta de tratamiento en la actualidad, y a partir de ello, se planteara una optimización para mejorar el panorama.

En relación con el grado de profundidad con el que se aborda la presente investigación, es de nivel descriptivo, ya que en primera instancia se trata de obtener información acerca del problema, en este caso mediante la recopilación de información y detalles de las condiciones actuales en los que se encuentran los componentes pertenecientes al proyecto, para luego brindar una visión de cómo opera y cuáles son sus características. Con relación a las variables de la investigación, en el nivel descriptivo estas no se manipulan.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación sigue un enfoque mixto, ya que implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio.

Entonces de acuerdo con esto, la investigación presenta un diseño de investigación secuencial, ya que en primera instancia se recolectarán datos cualitativos de la zona de estudio, como su estado y funcionamiento actual mediante la observación, para posteriormente mediante estudios cuantitativos, como el de batimetría, ampliar el entendimiento del problema.

3.3. OBJETIVOS

3.3.1. Objetivo General

Evaluar y realizar un estudio de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí.

3.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de los componentes de la infraestructura que constituye la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito.
- Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente, para calcular la eficiencia de remoción de la DQO, DBO5 y coliformes totales.
- Evaluar la calidad el efluente, según la disposición de los LMP expuestos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.
- Realizar una evaluación geométrica de los componentes de la planta de tratamiento con el fin de optimizar el diseño actual para lograr su funcionamiento eficiente de acuerdo a su fin de reuso.
- Estimar la cantidad de lodos acumulados en las lagunas y su volumen útil disponible en cada unidad, a fin de verificar la capacidad de funcionamiento actual de las lagunas mediante su geometría.
- Realizar una evaluación ambiental (vectores, olores, afloramientos, etc.) mediante una evaluación organoléptica.
- Plantear alternativas de solución.

3.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios de selección que se contemplaron para la selección de la zona de estudio fueron los siguientes:

- Pertinencia

Se tomó en cuenta como primer criterio de selección, que el tema a abordar, debía ser un problema prioritario, importante y significativo en la zona de

estudio. Lo cual se determinó, mediante visitas y entrevistas a autoridades del lugar.

- **Viabilidad**

Se examinó y considero la complejidad del problema que el proyecto propuesto suponía y los recursos necesarios para llevar a cabo el estudio, para a partir de ello determinar la posibilidad de ejecución de este.

- **Estado de operación, mantenimiento y monitoreo**

Este criterio de selección se consideró ya que el correcto funcionamiento de una PTAR requiere que esos tres aspectos, se realicen de forma constante para seguir siendo eficiente en el tiempo. Por lo cual, debido a que la PTAR del distrito de Cayaltí, según un informe realizado por de la Dirección General de Asuntos Ambientales, desde su puesta en funcionamiento, en esta no se desarrollaron dichas actividades, la zona de estudio resultó con gran potencial para la ejecución del proyecto.

- **Punto de descarga**

Teniendo en cuenta que el fin de una planta de tratamiento de aguas residuales, es evitar la contaminación de cuerpos de agua, se tuvo en cuenta el punto de descarga de la planta, para verificar si este implicaba, o no un problema.

- **Certificación ambiental**

Se tuvo en cuenta si el proyecto para el estudio contaba o no con certificación ambiental según lo dispuesto en el aplicativo SIGA, pues es un aspecto de vital importancia que suele relevarse. La falta de este ya era un problema a considerar.

- **Ausencia de Duplicidad**

Otro criterio considerado fue el de la duplicidad, es decir la falta de esta. Antes de proponer el presente estudio, se indago si este ya ha sido objeto de investigación, en la zona de estudio.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 24. Operacionalización de las variables de la investigación

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES		INDICADORES	INSTRUMENTO
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)	Muestras del afluente y efluente de la PTAR	Características del agua residual	Parámetros Físicos	Sólidos Totales y en Suspensión	Examen de Laboratorio
				Sólidos Sedimentables	Examen de Laboratorio
				Características organolepticas	Panel fotográfico y registro
			Parámetros Químicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Examen de Laboratorio
				Demanda Química de Oxígeno	Examen de Laboratorio
				Nitrogeno Amoniacal y Organico	Examen de Laboratorio
				Aceites y Grasas	Examen de Laboratorio
			Parámetros Biológicos	Coliformes Termotolerantes	Examen de Laboratorio
				Coliformes Fecales y Totales	Examen de Laboratorio
				Parásitos	Examen de Laboratorio
	Geometría de la PTAR	PTAR	Diseño Estructural	Aspectos de diseño y normativa	RNE
					Normativa Vigente
			Diseño Hidráulico	Desbaste (Rejillas)	Rejillas
				Desarenador	Desarenador
				Aforo (Canal Parshall)	Canal Parshall
				Tratamiento primario y secundario	Estanques/Lagunas
			Estudio Batimétrico	Volumen útil de las lagunas	Batimetría
	Medio Ambiente	Estudios Complementarios	Impacto Ambiental	Problemas de vectores (Color, olor, afloramientos, etc)	Ficha de registro de campo
					Panel fotográfico
					Literatura

(Fuente: Elaboración Propia).

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. TÉCNICAS

- ✓ **La observación**, mediante visitas técnicas a la zona de estudio y de la mano de una guía fotográfica.
- ✓ **Revisión documental**, sistematizando e interpretando la información obtenida de las diferentes fuentes bibliográficas.
- ✓ **Levantamiento Topográfico**, haciendo uso de los modelos digitales de elevación, mediante la carta nacional.
- ✓ **Levantamiento Batimétrico**, representación gráfica de las características de la superficie del fondo de las lagunas.
- ✓ **Estudios Físicos, Químicos y Biológicos de laboratorio.**
- ✓ **Estudio Hidrológico**, haciendo uso de los datos presentados por el Senamhi.
- ✓ **Estudio de Suelos**, haciendo uso de los preexistentes de zonas aledañas.

3.6.2. INSTRUMENTOS

- ✓ **Programas de cómputo** (AutoCAD, Civil 3D, Microsoft Office (Word, Excel, Power Point))
- ✓ **Modelos Digitales de Elevación (MDE)**, archivos cartográficos que permiten identificar la morfología terrestre de determinado espacio.
- ✓ **Carta Nacional (MINAM).**
- ✓ **Datos del Senamhi.**
- ✓ **Estudios de suelos de la zona (ya existentes).**

3.7. PROCEDIMIENTOS

El presente proyecto tiene como punto de partida, un diagnóstico de la situación actual de la zona de estudio, mediante visitas técnicas, entrevistas con las autoridades

pertinentes e información documentaria existente del tema. Luego teniendo ya un alcance general del problema, valiéndose tanto de estudios como el de batimetría, topografía, de suelos y de laboratorio de muestras de agua residual, considerando también las evaluaciones físicas a la infraestructura de la planta de tratamiento, se determinará la eficiencia del funcionamiento de esta en contraste con lo establecido en la normativa existente.

Posteriormente, y para finalizar, a raíz del procesamiento de los resultados de los estudios, y conociendo ya las dificultades y carencias que presenta el sistema, se procederá a optimizar el estado actual de la PTAR, en pro de una mejora, teniendo en cuenta aspectos como la operación, mantenimiento y monitoreo que se registra, pues tanto el estado de estos como el diseño son vitales para el logro del objetivo de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Sintetizando, el presente proyecto, involucra un conjunto de diferentes estudios para su realización, los cuales implican los siguientes procedimientos:

- Vistas técnicas.
- Entrevistas personales.
- Estudio de Batimetría
- Estudio de Suelos y Topografía.
- Estudio Físico, Químico y Bacteriológico.
- Análisis documentario.
- Evaluación organoléptica.
- Estudio Hidrometeorológico.
- Evaluación de la Eficiencia.

3.8. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El plan de procesamiento de la presente investigación se desarrolló con relación a los procedimientos considerados para alcanzar los objetivos planteados que esta tiene como fin.

FASE I: DIAGNÓSTICO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

- Identificación de la zona de estudio, mediante visita técnica, que nos permitirá reconocer toda la infraestructura que conforma la PTAR, así como el sitio de descarga del efluente al canal San Nicolás. En general, se identificarán las estructuras ingenieriles pertenecientes al proyecto y las operaciones que cada unidad realiza.

- Entrevista con autoridades de la localidad a fin de obtener información sobre el manejo y funcionamiento de la PTAR desde el inicio de su operación hasta la actualidad.
- Análisis documentario referente a la operación, mantenimiento y control de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se investigará sobre la existencia o no de documentos, planos, memorias y manuales de operación de la PTAR, así como el expediente técnico del proyecto.
- Mediante el uso de modelos digitales de elevación se obtendrá la topografía del lugar, además se examinará la base de datos del Senamhi, con el fin de obtener los datos hidrológicos y climáticos de la zona. A la vez, como recolección documental se ubicarán estudios de suelos preexistentes de la zona o zonas aledañas a la de estudio.

FASE II: TRABAJO DE CAMPO Y ESTUDIOS BÁSICOS

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS COMPONENTES HIDRÁULICOS Y ESTRUCTURALES DE LA PTAR

- Evaluación del estado físico de la infraestructura de la planta de tratamiento.
- Evaluación de la geometría de los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad.
- Realización del levantamiento batimétrico de cada laguna de estabilización.

ESTUDIO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE

- Cálculo del caudal del afluente, la medición es necesaria ya que nos permitirá obtener la carga contaminante al contrastarlo con la concentración contaminante, parámetro vital pues si dicho valor se excede, las unidades reducen su eficiencia.
- Extracción de muestras para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se realizarán manualmente 7 muestreos: 1 muestra será extraída del colector final adyacente a la planta y los 6 restantes se realizarán a la entrada y salida de cada estanque.

ESTUDIO AMBIENTAL

- Evaluación Ambiental (problemas con vectores, problemas de olores, evaluación organoléptica de afloramientos y posible contaminación del agua subterránea).

FASE III: TRABAJO DE GABINETE

Con la información ya disponible de toda la investigación inicial y posteriores estudios realizados, se procederá a organizar y analizar la información y resultados obtenidos y expresados mediante tablas, gráficos, planos, y otros. Esto va a permitirnos tener una visión mucho más amplia, clara y menos generalizada del estado de funcionamiento y operación en cuanto a si existiesen problemas de eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales de la zona en estudio. Además, también podremos determinar cómo influyen actividades como el monitoreo y mantenimiento de la infraestructura en su funcionamiento, sin dejar de lado su influencia ambiental en el área de su emplazamiento, y en el área anexa, que supone ser el cuerpo receptor del efluente.

- Organizar los resultados obtenidos en campo (eficiencia y geometría) y el realizar el procesamiento de datos.
- Realizar el análisis de los resultados en gabinete para contrastar con lo establecido en la normativa peruana.
- Optimización de la geometría de la PTAR: Diseño Estructural e Hidráulico.
- Procesamiento de la información y datos obtenidos de la evaluación ambiental en contraste con de la normativa ambiental.

FASE IV: Conclusiones y Recomendaciones

- Propuesta de Alternativa de solución: Con base en los resultados obtenidos y el análisis de estos, se recomendarán posibles soluciones alternas que complementen el sistema de tratamiento existentes para su funcionamiento efectivo, y además se propondrán disposiciones en cuanto al monitoreo y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para optimizar la eficiencia del sistema en el tiempo, ya que como se ha visto, desarrollar dichas actividades contribuyen en

sobremanera al buen funcionamiento en general para la remoción de contaminantes del efluente que llega a la planta.

Es decir, en general, plantear alternativas de solución las cuales se encuentren no solo orientadas a la infraestructura de la PTAR como tal, sino que también se tenga en cuenta la gestión de esta, ya que una depende de la otra, para su eficiente funcionamiento y mantenimiento en el tiempo.

- Realización del informe final.
- Conclusiones.
- Recomendaciones.

3.9. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 25. Matriz de consistencia de la investigación.

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿La planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí cumple con la normatividad peruana en relación a la calidad del agua del efluente, eficiencia y disposición final?	2.1. Objetivo General	3.1. Variable Independiente	5.1. Tipo de Investigación
	Evaluar y realizar un estudio de la eficiencia, batimetría y geometría de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí.	Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	De acuerdo al grado de manipulación de las variables, la investigación, es del tipo no experimental, es decir se basa en la observación. Y según el periodo temporal en que se realiza la investigación, es del tipo transversal, ya que se centra en la comparación de diferentes características y sucesos.
	2.2. Objetivos Específicos	3.2. Variables Dependientes	
	Diagnosticar el estado actual de los componentes de la infraestructura que constituye la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito.	Muestras del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.	5.2. Nivel de Investigación
	Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente, para calcular la eficiencia de remoción de la DQO, DBO5 y coliformes totales.	Geometría de la planta de tratamiento de aguas residuales.	En relación al grado de profundidad con el que se aborda la presente investigación, es de nivel descriptivo, ya que en primera instancia se trata de obtener información acerca del problema, para luego brindar una visión de cómo opera y cuáles son sus características. Y las variables no se manipulan.
	Evaluar la calidad del efluente, según la disposición de los LPM del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.	Medio Ambiente	
	Realizar una evaluación geométrica de los componentes de la planta de tratamiento con el fin de optimizar el diseño actual para lograr su funcionamiento eficiente de acuerdo a su fin de reuso.	CRITERIOS DE SELECCIÓN	5.3. Diseño de Investigación
	Estimar la cantidad de lodos acumulados en las lagunas y su volumen útil disponible en cada unidad, a fin de verificar la capacidad de funcionamiento actual de las lagunas mediante su geometría.	- Pertinencia	La investigación sigue un enfoque mixto, ya que implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio. Entonces de acuerdo a esto, la investigación presenta un diseño de investigación secuencial.
	Realizar una evaluación ambiental (vectores, olores, afloramientos, etc.) mediante una evaluación organoléptica.	- Localización	
	Plantear alternativas de solución.	- Viabilidad	5.4. Técnicas de Investigación
		- Estado de operación, mantenimiento y monitoreo	Las técnicas que se emplearán son: la observación, revisión documental, levantamiento topográfico (DEM), batimetría, estudios físicos, químicos y biológicos, estudio hidrológico (SENAMHI) y estudio de suelos (existente).
		- Punto de descarga	
		- Certificación ambiental	5.5. Instrumentos de Investigación
		- Ausencia de duplicidad	Los instrumentos que se utilizarán son: programas de cómputo, MDE, datos del SENAMHI y reportes de estudios de suelos existentes de zonas aledañas.
		- Asentimiento político y moral	

(Fuente: Elaboración propia).

3.10. CONSIDERACIONES ÉTICAS

La investigación es un acto humano y, por tanto, está sujeta a los principios éticos. Entonces las consideraciones éticas contemplan los principios, valores y normas que orientan a la correcta ejecución de una investigación, para la presente se han tenido en cuenta las siguientes:

- **El valor de la investigación**, se busca brindar información verídica sobre la evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí, además de posibles alternativas de solución al problema en cuanto a la realidad existente en la zona de estudio.
- **Consentimiento informado**, se hizo de conocimiento a las autoridades pertinentes de la localidad de Cayaltí, acerca del planteamiento y desarrollo de esta investigación, además se les fue proporcionada una carta de presentación haciendo formal el conocimiento.
- **La validez científica**, pues la investigación es sensata y no presenta duplicidad.
- **Propiedad intelectual**, salvaguarda el reconocimiento de los autores respecto a las teorías y conocimientos empleados para el desarrollo de esta investigación, citándoles apropiadamente y precisando en las fuentes bibliográficas en donde se encuentra lo referenciado.
- **Propiedad favorable de riesgo/beneficio**, se asegura el beneficio intelectual acerca del problema en la zona en torno al tema de estudio, sin causar daño, efectos adversos o negativos.
- **Respeto a las personas**, pues esta es el fin, no el medio, por ello la o él encargado del proyecto será quien dirige la investigación, siempre brindando cierto grado de protección en cuanto al riesgo en que se incurra y a la probabilidad de beneficio, con el objeto de promover el desarrollo armonioso del proyecto.

He de recordar que los investigadores deben de tener conocimientos científicos y éticos para llevar a cabo sus investigaciones, pues solo de esta manera será ética la investigación que realicen.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PTAR

La evaluación preliminar realizada a la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó por medio de una evaluación física y documentaria, esta última por relacionada en cuanto a su estado operacional y de mantenimiento. Cabe indicar que la evaluación física consta de una inspección organoléptica y otra geométrica.

4.1.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA

La evaluación organoléptica, se realizó mediante diferentes visitas a la zona de estudio, y la toma de datos en base a lo observado para contrastar con las características típicas que presentan las diferentes estructuras que componen una planta de tratamiento que funciona eficientemente.

En el ANEXO N°1, se expone más a detalle lo que la presente evaluación involucro, y mediante 11 tablas se presentan las características observadas en cuanto a cada uno de los componentes de la PTAR. Destacándose las siguientes:

- Presencia de espumas sobrenadantes en los buzones de salida, y punto de descarga del efluente final, lo que evidencia la gran cantidad de detergente presente.
- Presencia de basura y sólidos retenidos en las rejillas, lo que evidencia el ineficiente mantenimiento a estas.
- Presencia de abundante cantidad de sólidos sedimentados en el desarenador, lo que es señal de que no recibe una limpieza periódica.
- Presencia de zonas muertas en las lagunas de estabilización, donde se estableces solidos flotantes y natas sobrenadantes, originando cortocircuitos, ello debido a la geometría del estanque y al tipo de entrada del afluente (entrada simple).
- La geomembrana, se encuentra deteriorada, y presenta elevaciones, ello debido a que, durante el proceso constructivo, no fue totalmente asegurada a la superficie de fondo del estanque.
- Olores desagradables, dadas las deficiencias en la operación de la planta, o un posible mal diseño hidráulico del sistema.

4.1.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN GEOMÉTRICA

La evaluación geométrica, se realizó mediante el contraste de las medidas físicas de los componentes de la PTAR, con las especificaciones técnicas de diseño, que han de tomarse en cuenta previo a su concepción.

En el ANEXO N°1, se detalla lo precisado anteriormente, además de la verificación de algunos parámetros ligados a la geometría de las lagunas de estabilización que conforman la planta.

Estos parámetros evaluados, son el cumplimiento de la relación largo – ancho, es decir la forma de la laguna, recomendada para su tipo, y el patrón de flujo, con relación al factor de dispersión.

Tabla 26. Parámetros que dependen de la geometría de la laguna.

PARÁMETRO	PTAR	OS 090	RESULTADO
Forma de laguna	1.717	2	No Cumple
Patrón de flujo	FLUJO DISPERSO		
Factor de dispersión	0.543	0.465	No Cumple

(Fuente: Elaboración propia).

4.1.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA OPERATIVIDAD Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR

El funcionamiento eficiente de una planta de tratamiento incluye trabajos inherentes correspondientes a una buena operación y mantenimiento, de forma constante, lo que implica el monitoreo de los diferentes parámetros que condicionan y generan la alteración de tal estado.

En cuanto a esta investigación, la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí, no cuenta con certificación ambiental, desde la concepción del proyecto, esto sustentado en los resultados de la supervisión al sistema de saneamiento de la Municipalidad Distrital de Cayaltí (Informe N° 015-2019-DGAA/DGA-Iculqui), realizada por la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA), en el año 2019.

La administración de la PTAR está bajo la responsabilidad de la Municipalidad Distrital de Cayaltí, específicamente por el Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento (ATMAS), a cargo del Ing. Martín Mego Penachí, quién corroboro que

la planta no cuenta con un manual de operación y mantenimiento, o que se realicen monitoreos para conocer su eficiencia en cuanto a la calidad del efluente. Situación que se evidencia, en el estado actual de la planta, y verifica por medio de la evaluación que esta investigación desarrolla.

En síntesis, con relación al:

- Mantenimiento de la infraestructura/unidades que componen la planta, el prestador de servicios de saneamiento (PSS), cuenta con un operador ocasional que realiza la limpieza exterior de la planta, es decir al desbroce de vegetación alrededor de las lagunas.

Sin embargo, se verifico que los espejos de agua tenían presencia de lodos sobrenadantes y crecimiento de vegetación en los diques que separan las lagunas.

- Con relación al manejo de los parámetros de operación, en la planta, se constató que no se realiza la medición de caudales y el monitoreo de la calidad de los efluentes.

La planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí, no cumple con las actividades de operación y mantenimiento requeridas para el funcionamiento óptimo de esta.

4.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Con el fin de conocer, si el trabajo de remoción de contaminantes realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales producidas en el distrito de Cayaltí, es eficiente, se realizó la extracción de muestras de agua residual, para realizar el análisis de calidad de estas.

En el ANEXO N°2, se detalla y expone el estudio microbiológico, físico y químico, realizado a diferentes muestras de agua residual de la planta, con el fin de evaluar como ya se mencionó la eficiencia en cuanto a la remoción de contaminantes y el cumplimiento con la normativa vigente.

A continuación, se sintetizan los resultados obtenidos a partir del ensayo de laboratorio, y su estado en relación valores límite establecidos en las diferentes normativas, según sea su fin.

Tabla 27. Cumplimiento de los parámetros del agua residual con el DS 003-2010-MINAM.

CONTRASTE DE RESULTADOS DE EFLUENTE CON DS 003-2010-MINAM					
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	LMP	EFLUENTE MUESTRA N°4	CONTRASTE
ANÁLISIS MICROBIOLOGÍCO					
1	Aceites y grasas	mg/L	20	47	No cumple
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000	4600000	No cumple
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	14000000	-
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO					
4	Temperatura	°C	<35	25	Cumple
5	Ph	und	6.5 - 8.5	8.19	Cumple
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150	200	No cumple
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	95	Cumple
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	142	Cumple

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 28. Cumplimiento de los parámetros del agua residual con el DS 004-2017-MINAM.

CONTRASTE DE RESULTADOS DE EFLUENTE CON DS 004-2017-MINAM					
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	ECA	EFLUENTE	CONTRASTE
ANÁLISIS MICROBIOLOGÍCO					
1	Aceites y grasas	mg/L	5	47	No cumple
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	4600000	No cumple
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	5000	14000000	No cumple
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO					
4	Temperatura	°C	-	25	-
5	Ph	und	6.5 - 8.5	8.19	Cumple
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	-	200	-
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15	95	No cumple
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	142	No cumple

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 29. Cumplimiento de los parámetros del agua residual con el DS 0203-2020-MINAGRI.

CONTRASTE DE RESULTADOS DE EFLUENTE CON DS 0203-2020-MINAGRI					
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	NCA	EFLUENTE	CONTRASTE
ANÁLISIS MICROBIOLOGÍCO					
1	Aceites y grasas	mg/L	<30	47	No cumple
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	<1000	4600000	No cumple
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	14000000	-
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO					
4	Temperatura	°C	<30	25	-
5	Ph	und	6.5 - 8.4	8.19	Cumple
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	30	200	No cumple
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	30	95	No cumple
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	60	142	No cumple

(Fuente: Elaboración propia).

4.3. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE CAUDALES

La medición y registro de los caudales, nos permite conocer el volumen de agua vertida a una determinada hora, y conocer los horarios pico, en que se alcance el caudal máximo, así como el mínimo.

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos en cuanto a la medición del caudal tanto, del afluente, como del efluente.

Tabla 30. Registro de caudales.

HORAS	AFLUENTE		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
07:00	0.008	0.009	0.008
08:00	0.009	0.009	0.009
09:00	0.011	0.011	0.011
10:00	0.011	0.012	0.012
11:00	0.015	0.013	0.014
12:00	0.016	0.015	0.015
13:00	0.014	0.015	0.016
14:00	0.013	0.015	0.016
15:00	0.009	0.014	0.014
16:00	0.008	0.008	0.010
17:00	0.006	0.007	0.008
CAUDAL PROMEDIO (m3/s)	0.011	0.012	0.012
CAUDAL MÍNIMO (m3/s)	0.006	0.007	0.008
CAUDAL MÁXIMO (m3/s)	0.016	0.015	0.016

(Fuente: Elaboración propia).

Esto se realizó, mediante el registro de la altura de la línea de agua, en el canal Parshall, en el punto a 2/3 de la longitud oblicua de entrada, y se aplicó la formula correspondiente para el cálculo de los caudales registrados. Se obtuvo, mediante el promedio aritmético, que:

- El caudal promedio es de 11.59 lts/s.
- El caudal mínimo es de 7.07 lts/s.
- El caudal máximo es de 15.98 lts/s.

Entonces, ya que se cuenta, con el caudal, podemos determinar a qué población le corresponde este, para así tener un alcance sobre los criterios de diseño adoptados para la planta existente.

$$Q_{med} = C \left(\frac{P \cdot q}{86\,400} \right)$$

$$11.59 = 80\% \left(\frac{P \cdot 250}{86\,400} \right)$$

$$P = 2\,781 \text{ hab.}$$

De acuerdo con el cálculo realizado, el caudal promedio registrado, corresponde a una población de 2 781 habitantes, sin embargo, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), solo ya para el año 2005, en el que se realizó la ampliación de la planta registra un total de 13 261 habitantes. De ello, podemos establecer que, evidentemente ha existido deficiencia en el diseño hidráulico de la planta actual.

4.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE BATIMETRÍA

El estudio de batimetría de los estanques, que conforman la planta de tratamiento, nos permitió, determinar principalmente el volumen útil con el que estas vienen trabajando, y determinar si son eficientes o no.

Entonces del sistema de lagunaje, se obtiene que:

Tabla 31. Resumen de resultados de datos batimétricos.

PARÁMETRO	UND.	BATERÍA I		BATERÍA II	
		LP 1	LS 1	LP 2	LS 2
Largo Superior	m	103.00	103.00	103.00	103.00
Ancho Superior	m	60.00	60.00	60.00	60.00
Área Superior	m ²	6180.00	6180.00	6180.00	6180.00
Largo Inferior	m	93.00	93.00	93.00	93.00
Ancho Inferior	m	50.00	50.00	50.00	50.00
Área Inferior	m ²	4650.00	4650.00	4650.00	4650.00
Profundidad de Lagunas	m	1.50	1.50	1.50	1.50
Borde libre	m	0.50	0.50	0.50	0.50
Volumen de cada laguna	m ³	8095.35	8095.35	8095.35	8095.35
Volumen de lodos	m ³	4089.56	4294.46	3975.58	4261.44
Porcentaje de volumen a descolmatar	%	50.52%	53.05%	49.11%	52.64%

(Fuente: Elaboración propia).

De ello, el 51.33% (16 621.04 m³), corresponde al volumen total sedimentado en todo el sistema de lagunaje, es decir entre las 4 lagunas, respecto el volumen total que es de 32 381.38 m³.

La laguna que presenta una ligera mayor cantidad de lodos sedimentados es la laguna secundaria N° 1, correspondiente a la batería 1. Y la que, presenta la menor cantidad de lodo acumulado es la laguna primaria N° 2.

4.5. ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA

Por medio del uso de modelos de elevación digital (DEM), se obtuvo información topográfica de la zona de estudio, en cuestión, de la que se obtuvieron los siguientes resultados:

- No hay presencia de depresiones significativas en el área de estudio, la topografía corresponde a una zona llana.
- La pendiente de la planta de tratamiento es de 2%, una pendiente suave.

De acuerdo con la ubicación de la planta, y la distancia a la que se ubican las poblaciones más cercanas, la distancia mínima establecida, no se cumple en relación con la normativa.

Cabe indicar el asentamiento de personas más cercano, encontrado a solo 90 metros de distancia, se ha establecido producto del crecimiento, luego de la construcción de la planta. Sin embargo, el grifo Repsol, ubicado a 110 metros, si ha estado desde el inicio, y han así la distancia mínima para la ubicación de la planta, no se respetó.

Esto incide, a razón de la no existencia de una certificación ambiental, desde la concepción del proyecto. Caso contrario, aspectos como este hubiesen sido tomados en cuenta.

4.6. ESTUDIO DE SUELOS

El estudio de suelos se realiza, con el fin de conocer las características del suelo, de la zona en la que se ubica la planta, a fin de establecer recomendaciones en base a estas, de modo que la construcción de las estructuras correspondientes, se realicen teniendo en consideración las consideraciones al respecto.

Entonces, del análisis de la información documentaria alcanzada por la Municipalidad Distrital de Cayaltí, de los proyectos que esta ha realizado, se obtienen los siguientes resultados:

- Predominan en el suelo, las arenas finas limosas de ligera plasticidad (SM) y las arenas finas arcillosas de mediana plasticidad (SC).
- Capacidad portante de 0.70 kg/cm².
- Cimentación a 1.50 metros como mínimo.
- El suelo no es salino, por lo que puede hacerse uso de Cemento Portland tipo I.

4.7. ESTUDIO HIDROMETEREOLÓGICO

Para el diseño o concepción de este, para una PTAR, es indispensable conocer las características hidrometeorológicas de la zona en la que esta se localiza. Por ello, mediante el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), se pudieron detallar los siguientes resultados de la zona:

- La dirección del viento es de sur a oeste. Y presenta una velocidad media anual de 2.94 m/s.
- La temperatura promedio es de 22 °C.
- La humedad relativa media anual es de 73.58%.
- La precipitación media anual es de 7.23 mm.

Estos datos han sido tomados en consideración, para los diseños hidráulicos, de las lagunas de estabilización, más adelante expuestos.

4.8. PROPUESTA DE TRATAMIENTO

En base a todo el análisis a las diferentes variables que influyen en la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante la presente se proponen 3 trenes de tratamiento diferentes, con el fin de que el efluente final cumpla con los límites establecido según normativa en relación con la disposición final, o reúso, de este.

4.8.1. SISTEMA DE PRETRATAMIENTO

El diseño del sistema de pretratamiento es el mismo para cada tren de tratamiento. A continuación, se detallan las medidas obtenidas de las estructuras según el dimensionamiento elaborado:

Tabla 32. Resultados de dimensionamiento de sistema de pretratamiento.

I.- CANAL DE APROXIMACIÓN				III.- DESARENADOR			
-	Base del canal	0.30	m	-	Base del canal	0.70	m
-	Altura del canal	1.15	m	-	Altura del canal	0.95	m
-	Longitud del canal	1.65	m	-	Longitud del canal	12.50	m
II.- REJILLAS/CRIBAS				IV.- CANAL DE PARSHALL			
-	Número de barras	7.00	und.	-	Ancho de garganta	0.15	m
-	Ángulo de inclinación	45.00	°	-	Altura del canal	1.10	m
-	Espesor de barras	0.015	m	-	Longitud del canal	1.35	m
-	Ancho de barras	0.030	m				

(Fuente: Elaboración propia).

El proceso paso a paso se encuentra explicado en el Anexo N°8.

4.8.2. TREN DE TRATAMIENTO N° 01

Este tren de tratamiento está conformado por:

- Tratamiento primario, mediante una laguna facultativa.
- Tratamiento secundario, mediante una laguna facultativa con 6 mamparas.
- Tratamiento terciario, mediante una laguna de maduración.

Del dimensionamiento de estas estructuras, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 33. Resultados de dimensionamiento de tren de tratamiento N° 01.

CARACTERISTICAS	LF	LF + 6M	LM
Ancho Promedio	86.00	49.00	49.00
Longitud Promedio	171.00	98.00	98.00
Altura de línea de agua	1.50	1.50	1.50

(Fuente: Elaboración propia)

El efluente final, tratado mediante este tren, cumple con los límites máximos requeridos en el DS 003-2010-MINAM, sin embargo, si el efluente fuese usado para reúso, no cumple con la remoción de coliformes fecales, ya que este valor, 2 115.038, excede al estándar de calidad ambiental.

4.8.3. TREN DE TRATAMIENTO N° 02

Este tren de tratamiento está conformado por:

- Tratamiento primario, mediante una laguna facultativa.
- Tratamiento secundario, mediante una laguna facultativa con 6 mamparas.
- Tratamiento terciario, mediante una laguna de maduración con 6 mamparas.

Del dimensionamiento de estas estructuras, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 34. Resultados de dimensionamiento de tren de tratamiento N° 02.

CARACTERISTICAS	LF	LF + 6M	LM
Ancho Promedio	86.00	49.00	49.00
Longitud Promedio	171.00	98.00	98.00
Altura de línea de agua	1.50	1.50	1.50

(Fuente: Elaboración propia).

El efluente final, tratado mediante este tren, cumple con los límites máximos requeridos en el DS 003-2010-MINAM, y a la vez, cumple con los estándares de

calidad ambiental, indicados en el DS 004-2017-MINAM, ello para el reúso del efluente.

4.8.4. TREN DE TRATAMIENTO N° 03

Este tren de tratamiento está conformado por:

- Tratamiento primario, mediante una laguna facultativa con 6 mamparas.
- Tratamiento secundario, mediante una laguna facultativa con 6 mamparas.
- Tratamiento terciario, mediante una laguna de maduración con 6 mamparas.

Del dimensionamiento de estas estructuras, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 35. Resultados de dimensionamiento de tren de tratamiento N° 03.

CARACTERISTICAS	LF	LF + 6M	LM
Ancho Promedio	86.00	49.00	49.00
Longitud Promedio	171.00	98.00	98.00
Altura de línea de agua	1.50	1.50	1.50

(Fuente: Elaboración propia).

Al igual que el tren de tratamiento anterior, el efluente final de este cumple con los límites máximos requeridos en el DS 003-2010-MINAM, y a la vez, cumple con los estándares de calidad ambiental, indicados en el DS 004-2017-MINAM, ello para el reúso del efluente. He de recalcar que ambos también cumplen con el DS 0203-2020-MINAGRI.

4.8.5. ELECCIÓN DE TREN DE TRATAMIENTO

En base a todo el análisis realizado a las características y factores que intervienen en los procesos que se realizan en una planta de tratamiento que utiliza la tecnología de lagunas de estabilización, el tren que se selecciona como el más idóneo, es el TREN DE TRATAMIENTO N° 03.

De las alternativas, dos, cumplen con los decretos supremos que indican los límites para cuando el efluente es reusado, que es lo que se hace en el distrito de Cayaltí, y ambos presentan a la vez las mismas dimensiones, por lo que en cuanto a disponibilidad de terreno van a requerir lo mismo.

Sin embargo, se escogió el tren de tratamiento N°3, dado que este presenta mamparas también en la laguna facultativa primaria, que, si nos vamos al panorama actual, son necesarias para así evitar los cortos circuitos en las lagunas, y promover esta sigan realizando un trabajo eficiente.

Además de ello, he de señalar que todas las estructuras de entrada a cada laguna serán con entradas múltiples para así mejorar la distribución del flujo evitando la creación de las zonas muertas.

Se sugiere a la entidad, responsable de la PTAR, en este caso, la municipalidad Distrital de Cayaltí, la implementación de un manual de operación y mantenimiento, diseñado de acuerdo con las características propias de la planta, a fin de mantener su eficiencia en el tiempo.

4.9. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El estudio ambiental, frente al proyecto, nos permite determinar cómo este afecta al medio ambiente, ya sea de forma positiva o negativa. De acuerdo con el estudio de impacto ambiental realizado, en torno a la alternativa de solución planteada, el proyecto es AMBIENTALMENTE VIABLE.

V. CONCLUSIONES

Del desarrollo, del presente proyecto, se llegan a las siguientes conclusiones:

1. Una planta de tratamiento de aguas residuales tiene por objetivo principal la depuración de agua residual, hasta unos niveles acordes a los establecidos en los lineamientos por la normativa peruana, para así proporcionar una correcta integración del efluente con el medio. El cumplimiento de esto, está condicionado por la correcta operación y mantenimiento de la planta, ya que ello determina la eficiencia del sistema, al igual que un diseño adecuado. En este caso, la PTAR del distrito de Cayaltí, no cuenta con las condiciones físicas, ni operacionales para poder tratar de forma eficiente el afluente, esto debido al parcial abandono de la planta, en cuanto a mantenimiento. Ello se evidencia en:
 - La presencia de natas sobrenadantes es un indicador de lo mencionado, estas impiden el paso de la luz solar, interrumpiendo el proceso de fotosíntesis, lo que

produce la merma en la producción de oxígeno por parte de las algas, lo que ocasiona que la laguna facultativa no trabaje de forma eficiente.

- La presencia de zonas muertas, producto de que cada laguna solo cuenta con una entrada simple, que no permite la distribución equitativa del afluente entrante.
- Estado deteriorado de la geomembrana en diferentes puntos, generando así la posibilidad de contaminación del suelo. Al igual que, con la aparición de globos de aire, ello debido a que durante el proceso constructivo no ha sido correctamente fijada.
- La presencia de espuma, en los buzones finales y el punto de descarga, esto debido a la gran cantidad de detergente proveniente de las actividades de origen domésticos, esto puede ocasionar que, al elevarse, esta espuma, y ser trasladada por acción del aire, sea agente de contaminación al medio.

2. La eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales involucra un manejo y control de diferentes parámetros (físicos, de diseño, operacional, de monitoreo, de mantenimiento, etc.), por lo que, de acuerdo a lo desarrollado y especificado a lo largo del desarrollo de este proyecto, se expresa que, la planta de tratamiento del distrito de Cayaltí, no es eficiente. Esto se sustenta, en lo siguiente:

- No se realiza monitoreos periódicos.
- No se cuenta con personal destinado al manejo y registro de la operación y mantenimiento de la planta.
- El efluente no cumple con los valores establecidos en la normativa peruana respecto al tema.
- Los estanques, no se encuentran trabajando con su capacidad total, modificando el tiempo de retención hidráulica.

3. Existen deficiencias en el sistema de lagunaje (2 baterías) actual de Cayaltí. Los resultados sobre la caracterización del agua residual, así lo demuestran, evidencian la baja remoción en:

- La cantidad de aceites y grasas ($47 \text{ mg/L} > 20 \text{ mg/L}$), indicador de presencia de sólidos suspendidos, ya que este actúa como impedimento para su sedimentación.

- La cantidad de coliformes ($4600000 \text{ NMP}/100\text{mL} > 1000 \text{ NMP}/100\text{mL}$), indicador de la presencia de agentes patógenos.
- Sólidos totales en suspensión ($200\text{Ml/L} > 150 \text{ Ml/L}$), indicador de dada la cantidad elevado a aceites y grasas, esto ocasionan que se impida la decantación de las partículas en sedimentación.

El efluente, en la zona, es reusado, para el regadío de cultivos de arroz, que viene a ser un sembrío de tallo bajo, por lo que se evaluaron los parámetros con lo indicado en el DS 004-2017-MINAM y el DS 0203-2020-MINAGRI, con los que ningún parámetro, exceptuando el pH, cumple con la cantidad normada.

4. Los parámetros geométricos, incluyen la evaluación de la forma de la laguna de estabilización, evaluada para una relación largo/ancho, establecida en la normativa, ya que este es uno de los factores que condicionan la generación de cortocircuitos. Para las lagunas facultativas, se establece una relación largo/ancho de 2, sin embargo, las que conformar el sistema de lagunaje de la PTAR de Cayaltí, no cumplen con ello, presentan una relación largo/ancho de 1.717, asimismo, ello influye en el valor del factor de dispersión, pues debería ser 0.465 ($X = 2$), sin embargo, les corresponde 0.543 ($X=1.717$), lo que altera el diseño, pues el factor de dispersión es un valor que se considera para el cálculo de los coliformes. Desarrolla un flujo disperso, según su relación largo/ancho.
5. El volumen útil con el que se encuentra trabajando cada una de las lagunas, representa los siguientes porcentajes:
 - Laguna primaria N° 01, 49.48%, que corresponde a un volumen útil de 4005.79 m³.
 - Laguna secundaria N° 01, 46.95%, que corresponde a un volumen útil de 3800.89 m³.
 - Laguna primaria N° 02, 50.89%, que corresponde a un volumen útil de 4119.77 m³.
 - Laguna secundaria N° 02, 47.36%, que corresponde a un volumen útil de 3833.91 m³.

Ello, evidencia que el sistema de lagunaje se encuentra trabajando aproximadamente al 50% de su capacidad total, a la vez, que rectifica lo expuesto respecto a que la planta no

cuenta con un mantenimiento periódico, causando deficiencias en cuanto a su función, la remoción de contaminantes.

6. El proyecto, de acuerdo con la evaluación ambiental realizada, es ambientalmente viable, dado que genera una gran incidencia en dotar de oportunidades de trabajo a la población local. De ello, se recalca la importancia, de que el proyecto cuente con una EIA, ya que el proyecto original no conto con una certificación ambiental, lo que pudo ser un factor, para la falta de
7. La alternativa de solución propuesta busca, que la planta de tratamiento opere de forma eficiente, para así evitar que los contaminantes se transfieren al suelo, y posteriormente a los sembríos, ya que este es reusado en la zona de estudio. Los efluentes finales obtenidos, con relación a la alternativa de solución planteada son:
 - DBO = 4.555 mg/L
 - Coliformes fecales = 32.027 NMP/100MI

Parámetros primordiales en el diseño, que cumplen con la normativa para el reúso del efluente final, para fines de riego, para plantas de tallo bajo. Para evitar, se presenten otros inconvenientes respecto a la geométrica, se adoptó, para el diseño la relación largo/ancho, indicada en la normativa ($X=2$). A la vez, se ha tomado en cuenta, el problema que sugiere, el contar solo con una entrada simple para la distribución del afluyente, por ello, se plantea entradas múltiples (4 por laguna), para evitar cortocircuitos y formación de zonas muertas.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda verificar de forma periódica, la calidad del efluente, a fin de mantener un control y registro del comportamiento de la planta de tratamiento, e ir midiendo su eficiencia de trabajo.
2. Se recomienda que, al momento de concebir el diseño de una planta de tratamiento, con un sistema de lagunaje, establecer dos lagunas facultativas en paralelo, seguidas de una laguna de maduración, ello con el objeto de mejorar la calidad del efluente y ampliar la remoción de patógenos.

3. Se recomienda de manera expresa, y con un alto grado de importancia, la implementación de un plan de operación y mantenimiento, para establecer en la planta, ya que, solucionados los problemas operacionales, la eficiencia de diseño de la planta, se alcanzará.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Padilla, J. Morgan - Sagastume, L. GÜereca, L. GÜereca, M. Cisneros - Ortiz, A. Musharrafie, F. Hernández y A. Noyola, *Wastewater technologies in Latin American and the Caribbean countries*, Ottawa: IDCR - UNAM, 2012.
- [2] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento y Cooperación Alemana, *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento*, SUNASS, 2015.
- [3] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento., «Iniciativas privadas del sector saneamiento,» Lima, 2019.
- [4] A. Shilton y J. Harrinson, «Development of guidelines for improved hydraulic design of waste stabilisation ponds,» *Water Science and Technology*, vol. 8, n° 2, pp. 173 - 180, Julio 2003.
- [5] J. A. Romero Rojas, *Calidad del agua*, Tercera ed., Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009.
- [6] OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, «Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales,» Lima, 2014.
- [7] E. R. Paricahua Huanca, «Evaluación de la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar - Puno,» Puno, 2018.
- [8] Comisión Nacional del Agua de México, *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos*, Coyoacán, 2019.
- [9] Metcalf & Eddy, *Ingeniería de aguas residuales*, vol. I, Madrid: McGraw - Hill, 1995.
- [10] J. A. Silva Burga, «Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura,» Piura, 2004.
- [11] E. Raffo Lecca y E. Ruiz Lizama, «Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno,» *Diseño y Tecnología*, vol. 1, n° 17, pp. : 71-80, 2014.

- [12] J. A. Silva Burga, «Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la universidad de Piura,» Piura, 2004.
- [13] C. García Ruesta, «Evaluación, optimización y rediseño de las lagunas de estabilización El Cucho, Sullana,» Piura, 2008.
- [14] Fondo Nacional del Ambiente, «Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú,» Lima, 2010.
- [15] W. F. Bravo Mendoza, «Estructuras complementarias de un sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales,» Sucre, 2007.
- [16] T. Reutelshöfer, *Guía de operación y mantenimiento de lagunas de oxidación en plantas de tratamiento de aguas residuales*, La Paz: PERIAGUA, 2015.
- [17] A. Noyola, J. M. Morgan - Sagastune y L. P. Güereca, «Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas,» Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [18] Estado Peruano, *Reglamenta Nacional de Edificaciones - RNE Norma OS. 090 - Planta de tratamiento de aguas residuales*, 2016.
- [19] Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres. CENEPRED., «Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado de Cayaltí, distrito de Cayaltí, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque,» Cayatí, 2017.
- [20] M. G. Medina Manchego, «Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las lagunas de estailización del sector 'Río Seco', distrito de la Joya, provincia de Arequipa,» Arequipa, 2018.
- [21] Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de lagunas de estabilización*, S. d. m. a. y. r. naturales, Ed., Coyoacán, 2007.
- [22] Comisión Nacional del Agua de México, *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Diseño de pantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Lagunas de estabilización*, Coyoacán, D.F., 2019.
- [23] Comisión Nacional del Agua, «Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización,» 2016.

- [24] Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico, «Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales,» La Paz, 2015.
- [25] Á. A. Martínez Guillén y N. d. J. Guzmán Sáenz, «Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez,» Guatemala, 2003.
- [26] S. Oakley, «Lagunas de estabilización en Honduras. Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad,» 2005.
- [27] J. C. Callata Barrantes, «Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani - Carabaya - Puno - 2013,» Puno, 2013.
- [28] F. Cortés Martínez, A. Treviño Cansino y A. C. Tomasini Ortiz, Dimensionamiento de lagunas de estabilización, Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017, p. 128.
- [29] Vierendel, Abastecimiento de agua y alcantarillado, 2009.
- [30] Comisión Nacional del Agua de México, *Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado.*, Coyoacán, D.F., 2019.
- [31] M. G. Medina Manchego, «Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las lagunas de estabilización del sector "Río Seco", distrito de la Joya, provincia de Arequipa,» Arequipa, 2018.
- [32] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith, «Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos,» Roma, 2006.
- [33] W. Chereque Morán, Hidrología para estudiantes de ingeniería civil, Lima, 1989.
- [34] M. G. Villón Béjar, Hidráulica de canales, vol. II, Lima: Editorial Villón, 2007.
- [35] L. Salguero y S. Oakley, *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica. Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad.*, EE.UU: Universsidad Estatal de California, 2010.
- [36] Y. Mamani Yapurasi, «Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave, provincia de El Collao,» Puno, 2017.

- [37] R. A. López Cualla, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá: Quebecor Impreandes, 2000.
- [38] Comisión Nacional del Agua de México, *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Lagunas de estabilización*, Coyoacán, D.F., 2019.
- [39] C. Menéndez Gutiérrez y M. Díaz Marrero, «Lagunas. Diseño, Operación y control.,» La Habana, 2006.
- [40] J. P. Méndez Vega y J. Marchán Peña, «Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución,» RyF Publicaciones y Servicios S.A.C., Lima, 2008.
- [41] Ministerio del Ambiente, «Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales,» *El Peruano*, 17 Marzo 2010.
- [42] . T. Matsumoto y I. Sánchez O., «Estudio de batimetría y eficiencia de un sistema de lagunas de estabilización,» *Revista de Ciencias Agrícolas*, pp. 65-78, 2013.
- [43] E. López Mestanza, «Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito El A lto, Talara Piura.,» Chiclayo, 2018.
- [44] P. Aquino Espinoza, «Calidad del agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales.,» DAR, Lima, 2017.
- [45] P. Torres, «Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domesticas en paises en desarrollo,» *Revists EIA*, nº 18, pp. 115-129, 18 Diciembre 2012.
- [46] B. B. Sepulveda Mancipe, «Guía y Herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (Cribado y desarenador) de aguas residuales,» Bogotá, 2017.
- [47] Comisión Nacional del Agua de México, «Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario,» Coyoacán, 2019.
- [48] Estado Peruano, «Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales,» *El Peruano*, p. 2, 17 Marzo 2010.

ANEXOS

ANEXO N°1

EVALUACIÓN FÍSICA DE LAS

UNIDADES DE LA PTAR:

GEOMÉTRICA Y ORGANOLÉPTICA

EVALUACIÓN FÍSICA DE LAS UNIDADES DE LA PTAR: ORGANOLÉPTICA Y GEOMÉTRICA

La evaluación física de cada una de las estructuras que conforman la planta de tratamiento nos permitirá conocer las características de estas y tener un alcance acerca de su funcionamiento, basado en la observación y toma de datos.

1. ALCANCE

El presente estudio está relacionado con las características físicas, obtenidas mediante una evaluación organoléptica y geométrica respecto a los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cayaltí.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Identificar las características físicas (organolépticas y geométricas) que presentan los componentes de la planta de tratamiento de Cayaltí, mediante la observación y toma de datos (medidas, distancias, fotografías, etc.) y relacionarla con bibliografía consultada.

3. METODOLOGÍA

3.1. EVALUACIÓN GEOMÉTRICA

Para la evaluación de la geometría de las estructuras de la planta se procedió a la toma de las respectivas medidas en campo, de cada una de las estructuras. También se obtuvieron estas, del trabajo topografía realizado mediante un levantamiento con GPS.

Por otro lado, la geometría obtenida de las estructuras que conforman la planta se contrastó con los diferentes indicadores de diseño en relación con la normativa vigente, determinante si estos cumplen o no con lo ahí dispuesto.

Además, ya conociendo las dimensiones de los componentes/unidades de la planta de tratamiento, esto nos permite evaluar ciertos parámetros que dependen de estas para su determinación. Estos son el patrón de flujo hidráulico y la forma de la laguna de estabilización, los que intervienen en la eficiencia del sistema.

3.2. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA

La evaluación organoléptica se realizó por medio de distintas visitas técnicas a campo, para así mediante la observación y la toma de fotografía poder describir su estado durante el periodo de ejecución de este proyecto. En gabinete se procedió a realizar el procesamiento de la información fotográfica recolectada, la que fue organizada en una tabla, donde se expone las características principales y lo observado en campo con relación al componente de análisis.

4. RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN GEOMÉTRICA

Los resultados se expresan por medio de tablas, en las que se detallan las medidas de cada componente según han sido registrados, respecto al parámetro evaluado según la disposición de diseño de la estructura en análisis, establecida en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en la norma OS. 090.

Tabla 36. Evaluación geométrica de las rejillas.

EVALUACIÓN GEOMETRICA DE LAS REJILLAS MANUALES		
NIVEL/TIPO	EVALUACIÓN :	
REJILLAS MANUALES/CRIBADO	RNE NORMA OS. 090	
PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
Forma de barras	Circulares	No cumple
Ancho de barras	30.00 mm	Cumple
Espesor de barras	-	No cumple
Espaciamiento entre barras	50.00 mm	Cumple
Inclinación de cribas	45°	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Evaluación geométrica del desarenador.

EVALUACIÓN GEOMETRICA DEL DESARENADOR		
NIVEL/TIPO	EVALUACIÓN :	
DESARENADOR	RNE NORMA OS. 090	
PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
Tipo	De flujo horizontal	Cumple
Forma	Alargada	Cumple
Sección transversal	Rectangular	Cumple
Unidades de operación	2 und	Cumple
Longitudes adicionales	1.50 m	Cumple
Relación largo - altura del agua (L/h)	37.50	Cumple
Control de velocidad	Canal de Parshall	Cumple
Tipo de limpieza	Manual	Cumple
Frecuencia de limpieza	Esporádica	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Evaluación geométrica de las lagunas de estabilización.

EVALUACIÓN GEOMETRICA DE DESARENADOR		
NIVEL/TIPO	EVALUACIÓN :	
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	RNE NORMA OS. 090	
PARÁMETRO	EVALUACIÓN	
Tipo de laguna	Facultativa	Cumple
Forma de laguna	Alargada	Cumple
Relación largo - ancho	1.72	No cumple
Borde libre	0.50 m	Cumple
Profundidad	1.50 m	Cumple
Dispositivos de salida	Vertedero triangular	Cumple
Períodos de limpieza de lodos	Nunca	No cumple
Forma de esquinas	Redondeadas	Cumple
<i>Para los diques que conforman las lagunas:</i>		
Ancho de berma	3.50 m	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros de diseño determinados por la geometría de los componentes:

En la eficiencia del tratamiento del agua residual en sistemas del tipo lagunas de estabilización, influyen algunos factores importantes, que pueden ser evaluado por medio del conocimiento de la geometría de los estanques. Estos son:

- *Forma de la laguna*

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [1], señala que la forma rectangular de una laguna beneficia la distribución uniforme de la carga orgánica, lo que se traduce en mejores resultados en cuanto a la eficiencia del tratamiento. En el caso de lagunas facultativas, el Reglamento Nacional de Edificaciones [2], señala que si estas tienen una forma alargada son sensibles a variaciones por lo que deben tener menores cargas de diseño que las calculadas con la formula indicada.

Entonces, la relación largo/ancho, para las lagunas de la PTAR de estudio es:

$$X = \frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}}$$

$$X = \frac{103.00 \text{ m}}{60.00 \text{ m}}$$

$$X = 1.717$$

Se debe tener en consideración, que la normativa peruana establece que para lagunas facultativas la relación largo/ancho debe ser de 2.

- *Patrón de Flujo Hidráulico*

Este nos permite verificar que la distribución del flujo del agua residual sea uniforme, es decir que en todo el volumen de la laguna exista un flujo de mezcla.

El tipo de patrón de flujo se determina por medio de la relación largo/ancho de las dimensiones de la laguna en cuestión. Entonces:

Tabla 39. Tipo de flujo según la relación L/A de la laguna.

CLASIFICACIÓN DEL PATRÓN DE FLUJO Y MEZCLA		
FLUJO PISTÓN	FLUJO DISPERSO	MEZCLA COMPLETA
$L/A > 3$	$1 \leq L/A \leq 3$	$L/A < 1$

Fuente: [1].

De acuerdo con el cálculo anterior, las lagunas de estabilización estudiadas desarrollan un patrón de flujo disperso, con relación a su geometría.

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, considera el modelo de flujo disperso como el mejor régimen hidráulico que se lleva a cabo en una laguna [1].

Además, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente (CEPIS), realizó estudios experimentales en lagunas de estabilización y concluyó que no existe la mezcla completa; más bien existe flujo disperso y la eficacia de la dispersión depende de la forma de las lagunas (Sáenz, 2000).

El factor de dispersión se puede determinar según la formula establecida por Yáñez:

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392X + 1.01360X^2} \text{ --- (E1)}$$

Siendo X el valor obtenido anteriormente, con base en la relación largo/ancho de la laguna de estabilización.

Entonces, reemplazando en la E1:

- Para $X = 1.717$, el factor de dispersión es:

$$d = \frac{1.717}{-0.26118 + 0.25392(1.717) + 1.01360(1.717)^2}$$

$$d = 0.543$$

- Para X = 2, el factor de dispersión es:

$$d = \frac{2.000}{-0.26118 + 0.25392(2.000) + 1.01360(2.000)^2}$$

$$d = 0.465$$

Como se observa, en el gráfico siguiente, de acuerdo con los cálculos realizados para cada una de las relaciones largo/ancho, se observa que el factor de dispersión actual de las lagunas facultativas pertenecientes al sistema de tratamiento de la PTAR de Cayaltí difiere en 0.078, al valor correspondiente para una laguna de su tipo según la relación largo/ancho indicada en la normativa.

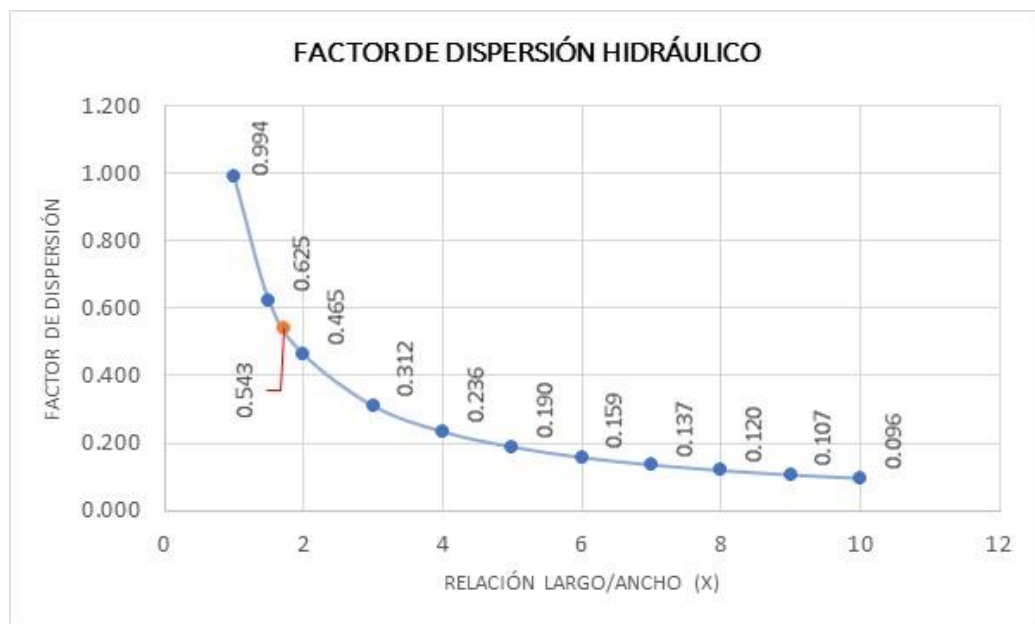


Ilustración 34. Factor de dispersión en función a la relación largo/ancho de la laguna (Fuente: Elaboración propia).

Evaluación Organoléptica

Como resultado se obtuvieron 11 tablas, en las que se detallan ls características observadas de cada uno de los componentes de la planta durante el trabajo, en conjunto con 4 fotografía de respaldo. A continuación, se presentan las tablas de análisis:

Tabla 40. Tabla N° 01: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Buzones.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ				
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		UBICACIÓN:
				CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS"
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR:
				ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento)
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		TIPO/NIVEL:
				UNIDAD DE PRETRATAMIENTO
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		COMPONENTE:
				BUZONES DE REUNIÓN DE AFLUENTE Y EFLUENTE
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		CANTIDAD:
				3
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		UBICACIÓN:
				Entrada de la planta y al final de cada batería.
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		DIMENSIONES:
				Diametro total de 1.50 m y el de la tapa es de 65 cm aproximadamente.
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		COLOR Y OLOR:
				El agua residual de entrada presenta un color grisáceo. Y un olor desagradable.
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		CARACTERÍSTICAS:
				- Los buzones no cuentan con sus tapas. - Se encuentra rodeado por abundante maleza y vegetación. - Presenta basura y humedad a su alrededor.
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		OBSERVACIONES:
				- En los buzones del efluente se apreció espuma, originada por el detergente presente en el agua residual doméstica/municipal. - Presencia de humedad alrededor del área en la que se ubican los buzones.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41.Tabla N° 02: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Cámara de rejillas.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ					
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Tabla N° 03: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Desarenador.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ					
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		
UBICACIÓN:					
CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS"					
VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR:					
ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento)					
TIPO/NIVEL:					
UNIDAD DE PRETRATAMIENTO					
COMPONENTE:					
DESARENADOR					
CANTIDAD:		UBICACIÓN:			
1		Despues del canal donde están las rejilla			
DIMENSIONES:					
Longitud total de 7.50 metros, con un ancho de 1.10 metros (más 10 cm de espesor).					
COLOR Y OLOR:					
El agua residual de entrada presenta un color grisaceo. Y un olor desagradable.					
CARACTERÍSTICAS:					
- Cuenta con 2 cámaras de sedimentación. - Tiene 2 compuertas. - Es un desarenador de flujo horizontal.					
OBSERVACIONES:					
- Las compuertas se muestran deterioradas, oxidadas lo que dificulta su uso. - Presencia de una cantidad apreciable de partículas sólidas sedimentadas en una de las cámaras. - Se observó piedras impidiendo el flujo.					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Tabla N° 04: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Canal de Parshall.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ					
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Tabla N° 05: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Cajas de repartición de caudal.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ					
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04	UBICACIÓN:	
				CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS"	
				VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR:	
				ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento)	
				TIPO/NIVEL:	
				UNIDAD DE PRETRATAMIENTO	
				COMPONENTE:	
				CAJAS DE REPARTICIÓN DE CAUDAL	
				CANTIDAD:	
				3	
UBICACIÓN:					
Luego del canal de Parshall y en la entrada acaba batería del sistema.					
DIMENSIONES:					
- La caja principal de repartición de caudal, tiene una forma cuadrada de 1.10 m x 1.10 m. - Las cajas de repartición de caudal de cada batería, tiene una forma rectangular de 1.10 m x 0.90 m.					
COLOR Y OLOR:					
El agua residual de entrada presenta un color grisáceo. Y un olor desagradable.					
CARACTERÍSTICAS:					
- La caja principal inicial cuenta con 2 compuertas manuales para cortar o desviar el flujo del agua.					
OBSERVACIONES:					
- Presencia de vegetación alrededor de algunas de estas. - Las compuertas se encuentran oxidadas y con deficiente movimiento.					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Tabla N° 06: Registro de evaluación organoléptica/Unidad de pretratamiento/Cajas de entrada e interconexión con vertedero.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ				
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		UBICACIÓN:
				CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS"
				VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR:
				ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento)
				TIPO/NIVEL:
				UNIDAD DE PRETRATAMIENTO
				COMPONENTE:
				CAJAS DE ENTRADA E INTERCONEXIÓN CON VERTEDERO
				CANTIDAD: UBICACIÓN:
				4 Ubicadas entre cada laguna, una por batería.
				DIMENSIONES:
				Largo de 1.35 m y ancho de 1.15 m.
				COLOR Y OLOR:
				El agua residual de entrada presenta un color grisáceo. Y un olor desagradable.
				CARACTERÍSTICAS:
				- Cuenta con un vertedero triangular, para medir el caudal afluente y efluente de cada laguna.
				- Presenta una forma rectangular.
				OBSERVACIONES:
				- Presencia de piedras y basura en el interior de las cajas.
				- Presencia de vegetación alrededor de las cajas.
				- Presencia de espuma debido al detergente proveniente de actividades domésticas, que al no ser biodegradables se presentan.
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Tabla N° 07: Registro de evaluación organoléptica/Sistema de lagunaje /Laguna facultativa LP 1.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ				
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		UBICACIÓN:
				CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS"
				VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR:
				ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento)
				TIPO/NIVEL:
				SISTEMA DE LAGUNAJE TRATAMIENTO PRIMARIO
				COMPONENTE:
				LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVAS (Batería 1 - LP 1)
				CANTIDAD:
				1
				UBICACIÓN:
				Luego de los componentes del pretratamiento.
				DIMENSIONES:
				103 metros de largo por 60 metros de ancho.
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		COLOR Y OLOR:
				Presencia de un color verde, marrón y rosa tenue en ciertas partes. Con un olor desagradable y fétido.
				OBSERVACIONES:
				- Presencia de zonas muertas en las esquinas de la laguna, lo que ocasiona cortos circuitos hidráulicos. - La geomembrana que reviste los taludes de la laguna presenta huecos que dejan al descubierto el suelo, ocasionando el crecimiento de vegetación en estas partes. - Presencia de sólidos flotantes acumulados y natas en los bordes de la laguna. Estos de no ser removidos causan malos olores debido a la descomposición y son un foco para la reproducción de insectos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Tabla N° 08: Registro de evaluación organoléptica/Sistema de lagunaje /Laguna facultativa LP 2.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ					
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		UBICACIÓN:	
				CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS"	
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR:	
				ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento)	
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		TIPO/NIVEL:	
				SISTEMA DE LAGUNAJE TRATAMIENTO SECUNDARIO	
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		COMPONENTE:	
				LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVAS (Batería 2 - LP 2)	
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		CANTIDAD:	UBICACIÓN:
				1	Luego de los componentes del pretratamiento.
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		DIMENSIONES:	
				103 metros de largo por 60 metros de ancho.	
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		COLOR Y OLOR:	
				Presencia de un color verde y marrón amarillento en partes. Con un olor desagradable y fétido.	
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		OBSERVACIONES:	
				- Presencia de zonas muertas en las esquinas de la laguna, lo que ocasiona cortos circuitos hidráulicos. - La geomembrana tiene huecos con vegetación. - Tiene dos puntos de ingreso de afluente. La entrada añadida proviene de un nuevo sector frente a la planta. - Presencia de sólidos flotantes acumulados y natas en los bordes de la laguna. Estos de no ser removidos causan malos olores debido a la descomposición y son un foco para la reproducción de insectos.	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Tabla N° 09: Registro de evaluación organoléptica/Sistema de lagunaje /Laguna facultativa LS 1.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ									
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02						
									
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04						
									
				UBICACIÓN: CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS" VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR: ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento) TIPO/NIVEL: SISTEMA DE LAGUNAJE TRATAMIENTO SECUNDARIO COMPONENTE: LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVAS (Batería 1 - LS 1) <table><tr><th>CANTIDAD:</th><th>UBICACIÓN:</th></tr><tr><td>1</td><td>Después de las lagunas facultativas el nivel primario.</td></tr></table> DIMENSIONES: 103 metros de largo por 60 metros de ancho. COLOR Y OLOR: Predomina el color verde, con un marrón claro y partes de un rosa tenue. El olor es casi nulo (aceptable) en comparación al del nivel primario. OBSERVACIONES: - Presencia de zonas muertas en las esquinas de la laguna, lo que ocasiona cortos circuitos hidráulicos. - La geomembrana que reviste los taludes de la laguna presenta huecos que dejan al descubierto el suelo, ocasionando el crecimiento de vegetación en estas partes. - Presencia de sólidos flotantes acumulados y natas en los bordes de la laguna. Estos de no ser removidos causan malos olores debido a la descomposición y son un foco para la reproducción de insectos.		CANTIDAD:	UBICACIÓN:	1	Después de las lagunas facultativas el nivel primario.
CANTIDAD:	UBICACIÓN:								
1	Después de las lagunas facultativas el nivel primario.								

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Tabla N° 10: Registro de evaluación organoléptica/Sistema de lagunaje /Laguna facultativa LS 2.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ							
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01			EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02				
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03	 		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04				
						UBICACIÓN: CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS"	
						VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR: ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento)	
						TIPO/NIVEL: SISTEMA DE LAGUNAJE TRATAMIENTO SECUNDARIO	
	COMPONENTE: LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVAS (Batería 2 - LS 2)						
	CANTIDAD:					UBICACIÓN:	
	1					Después de las lagunas facultativas el nivel primario.	
	DIMENSIONES: 103 metros de largo por 60 metros de ancho.						
	COLOR Y OLOR: Color verdoso, con marrón claro. El olor es casi nulo (aceptable) respecto al nivel primario.						
	OBSERVACIONES: - Presencia de zonas muertas en las esquinas de la laguna, lo que ocasiona cortos circuitos hidráulicos. - La geomembrana presenta huecos con vegetación creciendo en estos. - Globos de aire que inflan la geomembrana del fondo del dique, notándolos en la superficie. - Presencia de sólidos flotantes acumulados y natas en los bordes de la laguna. Estos de no ser removidos causan malos olores debido a la descomposición y son un foco para la reproducción de insectos.						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50. Tabla N° 11: Registro de evaluación organoléptica/Efluente /Canal y punto de descarga.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ								
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 01		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 02		UBICACIÓN: CAYALTÍ - Sector "LAS ADELINAS"				
			VISITA TÉCNICA DIRIGIDA POR: ING. MARTÍN MEGO PENACHÍ (Jefe del Área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento)					
EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 03		EVIDENCIA DE VISITA TÉCNICA N° 04		TIPO/NIVEL: DESCARGA DE EFLUENTE TRATADO				
				COMPONENTE: CANAL Y PUNTO DE DESCARGA				
				<table><tr><td>CANTIDAD:</td><td>UBICACIÓN:</td></tr><tr><td>1</td><td>Luego de los los 2 buzones de llegada de cada una de las baterías.</td></tr></table>	CANTIDAD:	UBICACIÓN:	1	Luego de los los 2 buzones de llegada de cada una de las baterías.
				CANTIDAD:	UBICACIÓN:			
				1	Luego de los los 2 buzones de llegada de cada una de las baterías.			
DIMENSIONES: Diametro de tubería de salida de 40 cm aproximadamente.								
COLOR Y OLOR: Se visualizo un color marrón claro, y no presenta olor notable.								
				OBSERVACIONES: - La zona del punto de descarga esta rodeada de vegetación y maleza. - Presencia de espuma formada por la turbulencia al estar el punto de descarga a un nivel ligeramente más lato que el del cuerpo receptor. - Los detergentes contenidos en las aguas residuales, al no ser biodegradables, permanecen y causan espuma. - El efluente final del punto de descarga se desvia al canal de regadio San Nicolás. - El parte del efluente final, al ser descargado es reúsado, combinanse con agua de otro origen.				

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

De la evaluación organoléptica de los componentes físicos de la planta de tratamiento, se concluyó que:

- Las lagunas de estabilización presentan una forma rectangular (103 m de largo y 60 metros de ancho) y cada una posee solo un punto de entrada y un punto de salida (entradas y salidas simples).
- Las lagunas del nivel de tratamiento primario generan olores nauseabundos/fétidos, que alteran la comodidad de la población próxima.
- Las lagunas de estabilización presentan natas, vegetación acuática, material flotante, zonas muertas y cortocircuitos hidráulicos en su funcionamiento.
- La geomembrana que recubre los taludes de los diques presentan en diferentes puntos deterioros, que dejan al descubierto el suelo, en el que se aprecia el crecimiento de vegetación.
- El efluente presenta un color gris amarillento, lo que indica un mal funcionamiento del sistema de lagunaje.
- En el punto de descarga se observa que el efluente contiene gran cantidad de espuma, generada por la cantidad de detergente proveniente de las actividades domésticas. Esto sucede también en los buzones finales, al terminar cada batería.
- El punto de descarga se realiza en un canal manual, sin revestimiento que desvíe su flujo al canal de regadío San Nicolas (destinado al riego de cultivos de arroz aledaños).
- La forma de las lagunas facultativas, no cumplen con la relación largo/ancho, establecida en la normativa peruana, dispuesta para este tipo de lagunas.
- En los estanques, se desarrolla el tipo de flujo disperso, de acuerdo con la relación largo/ancho que presentan las dimensiones de estos.
- El factor de dispersión actual de las lagunas facultativas pertenecientes al sistema de tratamiento de la PTAR de Cayaltí, no corresponde al valor correspondiente para una laguna de su tipo según la relación largo/ancho indicada en la normativa.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar la evaluación organoléptica, por medio de diferentes visitas técnicas a la zona de estudio, pues así se podrá observar las variaciones de las características visuales con el paso del tiempo.

ANEXO N°2

**ESTUDIO MICROBIOLÓGICO,
FÍSICO Y QUÍMICO**

ESTUDIO MICROBIOLÓGICO, FÍSICO Y QUÍMICO

El presente Estudio Microbiológico, Físico y Químico, ha sido elaborado con la finalidad de conocer la capacidad de remoción con la que se encuentran trabajando actualmente cada uno de los componentes que forman parte de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cayaltí, a fin de evaluar la eficiencia del sistema.

1. ALCANCE

El alcance para el desarrollo del estudio de los parámetros microbiológicos, físicos y químicos del agua residual tratada en la planta de tratamiento del distrito de Cayaltí, cubre el monitoreo de la calidad del agua tratada en cada fase del proceso.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros microbiológicos, físicos y químicos del agua residual en cada uno de los niveles de PTAR de Cayaltí, mediante un estudio de laboratorio, estableciendo estaciones de monitoreo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del presente estudio son los siguientes:

- × Determinar los parámetros microbiológicos de las muestras de aguas residual (coliformes totales y coliformes termotolerantes).
- × Determinar los parámetros físicos de las muestras de aguas residual (temperatura y sólidos totales en suspensión).
- × Determinar las características químicas (pH, grasas y aceites).
- × Determinar la eficiencia de remoción del sistema de lagunaje.

3. ANTECEDENTES

Con anterioridad, en las lagunas de estabilización que forman parte de la planta de tratamiento del distrito de Cayaltí, no se ha realizado el monitoreo de las aguas residuales.

4. METODOLOGÍA

4.1. TRABAJO DE CAMPO

El desarrollo del trabajo de campo se llevó a cabo de acuerdo con el PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES, propuesto por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).

Ubicación de puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo se ubicaron de la siguiente forma:

- En el ingreso del agua residual cruda a la PTAR.
- En el dispositivo de entrada de cada laguna.
- En el dispositivo de salida de cada laguna y del sistema.

A continuación, se detalla la ubicación de los puntos de monitoreo, en coordenadas UTM, en el sistema WGS84.

Tabla 51. Coordenadas de puntos de monitoreo.

CÓDIGO DE PUNTO	ESTE	NORTE	ZONA	HEMISFERIO
P1	658118.70	9236957.00	17	S
P2	658007.50	9237042.40	17	S
P3	657984.30	9236989.00	17	S
P4	657879.00	9237065.80	17	S

Fuente: Elaboración propia

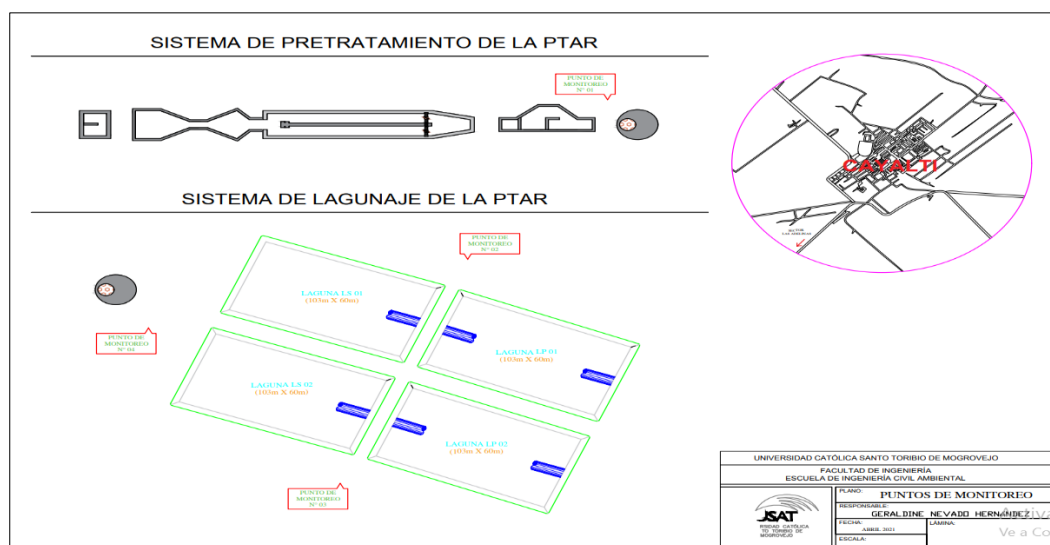


Ilustración 35. Puntos de monitoreo, en planta general (Fuente: Elaboración propia).

Extracción de muestras de agua residual

Para la extracción de las muestras representativas, se procedió a identificar los puntos de monitoreo establecidos, para luego proceder a su registro y posterior toma de muestra.

Se utilizaron para ello, frascos de vidrio y plástico con cierre hermético y limpios. Cada uno de estos con su respectivo rotulado. Y procurando la preservación de las muestras durante su transporte a laboratorio, esto se realizó mediante una caja térmica (caja de tecnopor) con refrigerantes (ice pack).

Parámetros de calidad monitoreados

Los parámetros sujetos al monitoreo de los afluentes y efluentes de la PTAR en estudio son los indicados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

Estos son los siguientes:

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

De estos, los parámetros de campo son: pH y temperatura, además de la medición y registro del caudal. Los restantes, son determinados en laboratorio.

Todos los parámetros antes indicados, se monitorearon en el agua residual mediante el análisis de muestras simples.

Parámetros de calidad monitoreados

La medición del caudal del afluente se realizó mediante el medidor de régimen crítico con el que cuenta la planta, un canal de Parshall, tomando medidas del nivel de la lámina superficial de agua a los 2/3 de la longitud diagonal de la zona convergente, como se observa en la siguiente imagen.

4.2. TRABAJO DE GABINETE

El trabajo en gabinete consistió en el procesamiento de los datos obtenidos de los parámetros de campo y los de laboratorio, además de realizar una comparativa con las diferentes normativas que rigen el tema de las aguas residuales, su tratamiento y posible reutilización.

Estas son:

- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- Decreto Supremo N° 0203-2020-MINAGRI. Niveles de Calidad del Agua Residual Tratada con Fines de Reúso Agrario.

La entidad en la que se llevaron a cabo los ensayos a las muestras de agua residual fue en el laboratorio de estudio denominado: Servicios de Investigación Biológica E. I. R. L – SINVBIOL.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Valores obtenidos de parámetros de estudio

Tabla 52. Resultados de caracterización de muestras de agua residual.

N°	PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
1	Aceites y grasas	mg/L	110	60	65	47
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	35000000	24000000	25000000	4600000
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	92000000	35000000	35000000	14000000
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO						
4	Temperatura	°C	25	25	25	25
5	Ph	und	7.74	7.62	7.67	8.19
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	575	240	255	200
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	159	111	124	95
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	238	167	172	142

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente gráfico podemos observar de mejor forma, las variaciones de entre los valores de cada parámetro según cada normativa. notándose que la mayor diferencia apreciable gira en torno al valor de los coliformes termotolerantes.

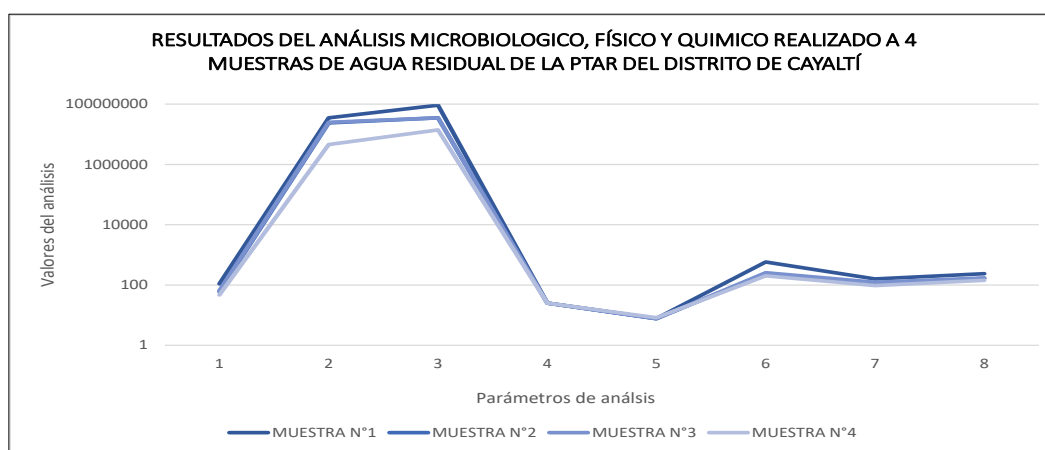


Ilustración 36. Resultado de caracterización de agua residual (Fuente: Elaboración propia).

Estándares según normativas de los parámetros de estudio

Tabla 53. Estándares de calidad ambiental y niveles de calidad de AR para reúso.

ESTÁNDARES DE PARÁMETROS SEGÚN NORMATIVA VIGENTE PARA EFLUENTE DE AGUA RESIDUAL							
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES	ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL		NIVELES DE CALIDAD DE AR TRATADA PARA REÚSO AGRARIO	
				TALLO BAJO	TALLO ALTO		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
1	Aceites y grasas	mg/L	20	5		<30	
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10 000	1 000	2 000	<1 000*	1 000**
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	5 000	5 000	-	
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO							
4	Temperatura	°C	<35	-		<30	
5	Ph	und	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5		6.5 - 8.4	
6	Sólidos Totales en Suspensión	ml/L	150	-		30*	50**
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	15		30*	50**
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	40		60*	100**

NOTA: (*) Reúso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta; (**) Reúso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta, como por ejemplo: Las conservas.

Fuente: Elaboración propia.

Contraste de parámetros con el DS. 003-2010-MINAM

En el DS 003-2010-MINAM, se establecen los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR domésticas o municipales. En el siguiente cuadro, se contrasta los resultados y los LMP de los parámetros evaluados.

Tabla 54. Contraste de resultados con DS 003-2010-MINAM.

CONTRASTE DE RESULTADOS DE EFLUENTE CON DS 003-2010-MINAM					
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES	EFLUENTE MUESTRA N°4	CONTRASTE
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO					
1	Aceites y grasas	mg/L	20	47	No cumple
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000	4600000	No cumple
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	14000000	-
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO					
4	Temperatura	°C	<35	25	Cumple
5	Ph	und	6.5 - 8.5	8.19	Cumple
6	Sólidos Totales en Suspensión	ml/L	150	200	No cumple
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	95	Cumple
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	142	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de remoción de contaminantes entre niveles de tratamiento

Se ha calculado el porcentaje de remoción que representan las diferentes interacciones entre los componentes del sistema, por niveles (afluente – efluente).

Tabla 55. Eficiencia entre muestra N°1 y N°2.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN ENTRE NIVELES DE TRATAMIENTO						
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES	AFLUENTE MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	% DE REMOCIÓN
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
1	Aceites y grasas	mg/L	20	110	60	45.45%
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000	35000000	24000000	31.43%
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	92000000	35000000	61.96%
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO						
4	Temperatura	°C	<35	25	25	-
5	Ph	und	6.5 - 8.5	7.74	7.62	-
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150	575	240	58.26%
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	159	111	30.19%
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	238	167	29.83%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Eficiencia entre muestra N°1 y N°3.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN ENTRE NIVELES DE TRATAMIENTO						
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES	AFLUENTE MUESTRA N°1	MUESTRA N°3	% DE REMOCIÓN
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
1	Aceites y grasas	mg/L	20	110	65	40.91%
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000	35000000	25000000	28.57%
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	92000000	35000000	61.96%
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO						
4	Temperatura	°C	<35	25	25	-
5	Ph	und	6.5 - 8.5	7.74	7.67	-
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150	575	255	55.65%
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	159	124	22.01%
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	238	172	27.73%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Eficiencia entre muestra N°2 y N°4.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN ENTRE NIVELES DE TRATAMIENTO						
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES	MUESTRA N°2	EFLUENTE MUESTRA N°4	% DE REMOCIÓN
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
1	Aceites y grasas	mg/L	20	60	47	21.67%
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000	24000000	4600000	80.83%
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	35000000	14000000	60.00%
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO						
4	Temperatura	°C	<35	25	25	-
5	Ph	und	6.5 - 8.5	7.62	8.19	-
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150	240	200	16.67%
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	111	95	14.41%
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	167	142	14.97%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Eficiencia entre muestra N°3 y N°4.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN ENTRE NIVELES DE TRATAMIENTO						
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES	MUESTRA N°3	EFLUENTE MUESTRA N°4	% DE REMOCIÓN
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
1	Aceites y grasas	mg/L	20	65	47	27.69%
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000	25000000	4600000	81.60%
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	35000000	14000000	60.00%
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO						
4	Temperatura	°C	<35	25	25	-
5	Ph	und	6.5 - 8.5	7.67	8.19	-
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150	255	200	21.57%
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	124	95	23.39%
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	172	142	17.44%

Fuente: Elaboración propia.

Eficiencia del sistema de lagunaje

El cálculo de la eficiencia del sistema de lagunaje se determinó mediante el cálculo de la diferencia entre los valores de los parámetros característicos evaluados del afluente y los del efluente.

Tabla 59. Eficiencia del sistema de lagunaje.

EFICIENCIA DEL SISTEMA DE LAGUNAJE						
N°	PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES	AFLUENTE MUESTRA N°1	EFLUENTE MUESTRA N°4	% DE REMOCIÓN
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
1	Aceites y grasas	mg/L	20	110	47	57.27%
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000	35000000	4600000	86.86%
3	Coliformes Totales	NMP/100mL	-	92000000	14000000	84.78%
ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO						
4	Temperatura	°C	<35	25	25	-
5	Ph	und	6.5 - 8.5	7.74	8.19	-
6	Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150	575	200	65.22%
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	159	95	40.25%
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	238	142	40.34%

Fuente: Elaboración propia.

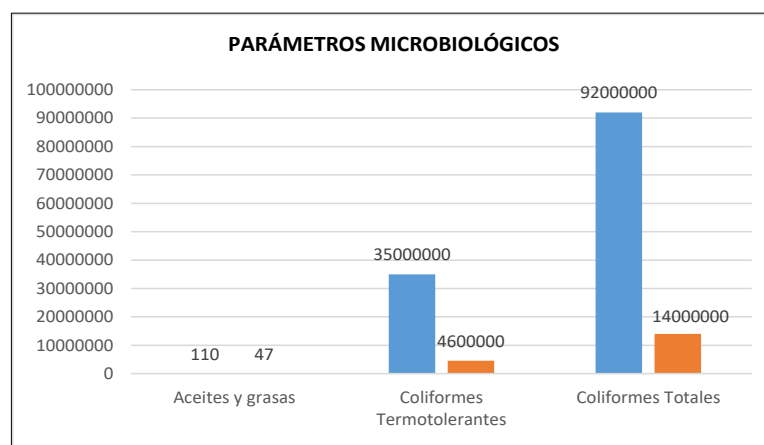


Ilustración 37. Resultados de parámetros microbiológicos (Fuente: Elaboración propia).

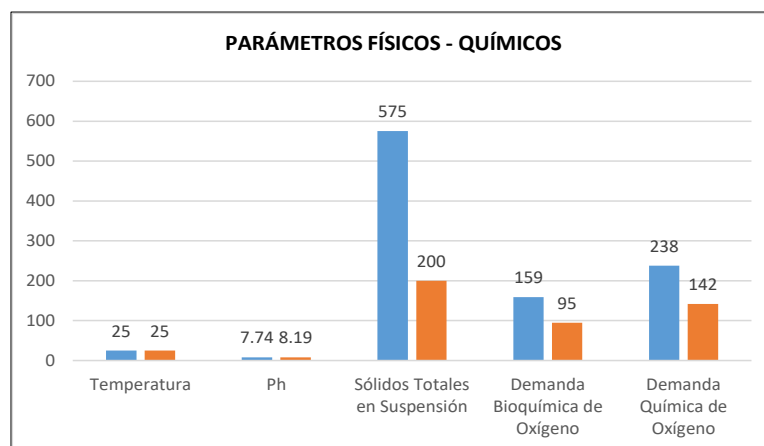


Ilustración 38. Resultados de parámetros físicos - químicos (Fuente: Elaboración propia).

Clasificación de aguas residuales según su DBO

De acuerdo con Kasetsu, podemos clasificar las aguas residuales según su demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Ello se expone en la siguiente tabla:

Tabla 60. Clasificación de AR, según su DBO.

Tipos de Aguas	Parámetros	Unidades
Pura	2 y 20	mg/l
Poco contaminada	20 y 100	mg/l
Medianamente contaminada	100 y 500	mg/l
Muy contaminada	500 y 3 000	mg/l
Extremadamente contaminada	3 000 y 15 000	mg/l

Fuente: [36].

Entonces, del análisis de las aguas residuales de la PTAR de Cayaltí, realizados en el laboratorio SINVBIOL, y según lo expuesto por Kasetsu, el afluente corresponde al tipo de agua “MEDIANAMENTE CONTAMINADA”, y el efluente al tipo “POCO CONTAMINADA”.

6. CONCLUSIONES

Se llegan a las siguientes conclusiones, del estudio de aguas residuales:

- Del análisis realizado, en relación con el DS N° 003-2010-MINAM-LMP, los parámetros evaluados del efluente del sistema de lagunaje cumplen con los límites máximos permisibles establecidos, a excepción del parámetro de aceites y grasas, los sólidos totales en suspensión y coliformes termotolerantes.
- En relación con el DS N° 004-2017-MINAM-ECA, el efluente del sistema de lagunaje no cumple con los estándares de calidad ambiental establecidos, por tanto, estas no pueden ser reusadas.
- En relación con el DS N° 203-2020-MINAGRI, decreto que aprueba los niveles de agua residual tratada con fines de reúso agrario, el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cayaltí no cumple con los niveles establecidos.
- La eficiencia del sistema con relación al parámetro de DBO₅, se determinó que es de 40.25%, y para la DQO es de 40.34%, lo que indica que las lagunas de

estabilización realizan un trabajo deficiente en cuanto a la remoción de contaminantes.

- El valor del parámetro de aceites y grasas del agua residual tratada fue de 47 mg/L, por tanto, excede el valor mínimo establecido según normativa, siendo esto, probablemente la causa de la generación de natas, espumas flotantes y malos olores en las lagunas de estabilización.
- El valor del parámetro de coliformes termotolerantes del agua residual tratada fue de 46×10^5 NMP/100mL, lo que indica una concentración alta de este patógeno, señal de una fuerte contaminación bacteriológica.
- El valor del parámetro de sólidos totales en suspensión del agua residual tratada fue de 200 mg/L, por tanto, excede el valor mínimo establecido según normativa.

7. RECOMENDACIONES

Del estudio y ensayo de laboratorio realizado a las diferentes muestras de agua residual extraídas, se recomienda que:

- El ensayo sea realizado en un laboratorio acreditado por INACAL.
- La extracción de las muestras sea realizada en puntos estratégicos identificados previamente.
- Mantener refrigerada las muestras durante su transporte.

ANEXO N°3

ESTUDIO DE BATIMETRÍA

ESTUDIO BATIMÉTRICO

El presente Estudio Batimétrico ha sido elaborado con la finalidad de tener una visión más amplia acerca del volumen útil de funcionamiento de las lagunas de estabilización que forman parte de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cayaltí, a fin de evaluar la eficiencia del sistema.

1. ALCANCE

El alcance para el desarrollo del Estudio Batimétrico de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cayaltí, se centrará en cubrir toda el área del sistema de lagunaje (4 lagunas de sistema) de las baterías que conforman el ciclo de vida de la PTAR del proyecto propuesto en el presente informe.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las características físicas de cada una de las 4 lagunas de estabilización de la PTAR de Cayaltí (área del espejo de agua, volumen que almacena, volumen útil, profundidad máxima de lodos), mediante el estudio de batimetría.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- × Determinar los perfiles y volúmenes de acumulación de lodos en cada una de las unidades de tratamiento.
- × Determinar el volumen útil de funcionamiento de cada una de las lagunas de estabilización.
- × Determinar la profundidad máxima del tirante de lodos acumulados.
- × Identificar las zonas de acumulación de lodo más críticas en las lagunas.

3. ANTECEDENTES

Con anterioridad, en las lagunas de estabilización que forman parte de la planta de tratamiento del distrito de Cayaltí, no se han realizado trabajos de batimetría.

4. METODOLOGÍA

4.1. TRABAJO DE CAMPO

Levantamiento Topográfico

Como primer paso para iniciar con el levantamiento topográfico, se realizó un reconocimiento general del entorno de las lagunas, el área de influencia, identificación de estructuras hidráulicas, con la finalidad de ubicar los puntos de visualización más adecuados para las estaciones topográficas; tomando en consideración que deben ser lugares desde donde se pueda observar la totalidad de las lagunas o por lo menos gran parte de estas, para así evitar realizar muchos cambios de estación topográfica.

El levantamiento topográfico de cada laguna se realizó, con la Estación Total Leica TPS 4000 ultra, la cual tiene un alcance mayor a 1 000 m.

El desarrollo del levantamiento topográfico se desarrolló de la siguiente forma: Se procede a levantar el perímetro de cada una de las 4 lagunas de estabilización de la PTAR de Cayaltí, estableciendo coordenadas UTM y las cotas de cada vértice, con el empleo de un GPS y la Estación Total.

Levantamiento Batimétrico

Para el levantamiento batimétrico se utilizó el sistema de posicionamiento satelital GPS en modo RT, para lo cual se emplearon receptores GPS de doble frecuencia de la marca Topcon, el ecosonda hidrográfico BATHY 500 MF y el software hidrográfico HYPACK 2015 para la recolección y procesamiento de la data batimétrica. Para el registro de las profundidades, la Ecosonda opera basándose en el principio del eco, desde el transreceptor, ubicado en el translucir, de donde es emitido un pulso ultrasónico que se propaga en el agua, y al llegar al fondo se refleja en él, midiendo automáticamente el tiempo que demora el eco en ser recibido. Entonces, conociendo la velocidad de propagación y el tiempo que demora el recorrido, se puede determinar la distancia recorrida por la onda.

Por último, se representa gráficamente sobre planos (de perfiles longitudinales y secciones transversales) los datos procesados y procedentes de las medidas efectuadas anteriormente expuestas, obteniendo como resultado, el plano

planimétrico, secciones transversales cada 10 metros y el respectivo perfil longitudinal de cada laguna.

4.2. TRABAJO DE GABINETE

Los datos obtenidos durante los trabajos de campo son descargados de la Ecosonda con el software HYPACK 2015, para luego procesarlos en una hoja de Excel, y finalmente exportarlos en formato CSV (delimitado por comas).

Posterior a ello, ya contando con estos, se procedió a la elaboración de los perfiles longitudinales y las secciones transversales (cada 10 metros), para lo que se utilizó el software AutoCAD.

Asimismo, luego de ello, se elaboraron los planos finales para la presentación, elaborando uno por cada laguna, con sus respectivos datos, para lo cual, se realizó el cálculo de los volúmenes de lodos que se obtuvieron a partir de lo realizado durante el trabajo de campo, así como con su membrete y detalles (planta general, perfil y secciones) correspondientes.

Cubicación de volumen almacenado

Para obtener la cubicación del volumen de agua actual de las lagunas de la PTAR, se trazó en cada sección transversal una línea representando el pelo de agua o máximo nivel normal de embalses, con cota de 78.50 m.s.n.m., con lo cual se estableció una sección hidráulica conformada por el relieve de fondo, los taludes del embalse, y la línea de pelo de agua con la cota del máximo nivel normal de diseño.

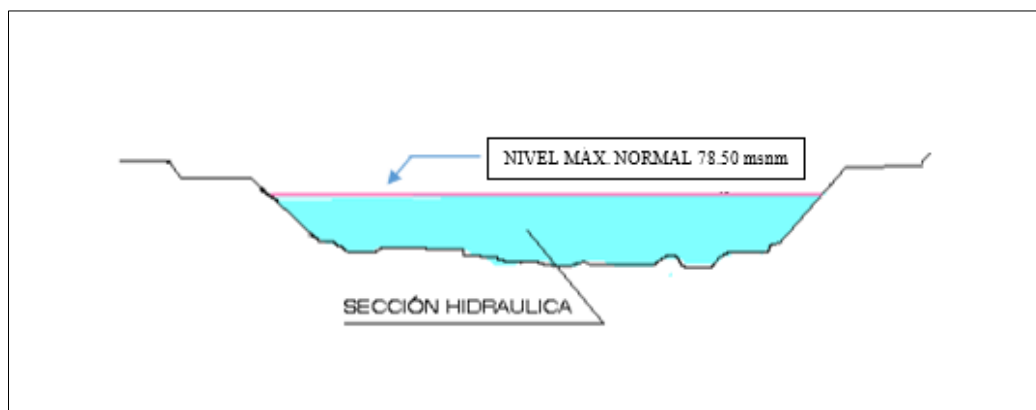


Ilustración 39. Sección hidráulica modelo (Fuente: [26]).

Habiéndose ya conformado las secciones hidráulicas en cada progresiva se calculó el volumen de agua con la sumatoria de los volúmenes parciales en cada sección, correspondiente al producto de la semisuma de dos áreas de secciones transversales consecutivas multiplicado por la equidistancia, que en este caso es de 10 metros.

$$V_i = \frac{1}{2}(A_i + A_{i+1}) \times e$$

Donde:

V_i = Volumen comprendido entre i e $i + 1$.

A_i = Superficie limitada por la curva de cota i .

A_{i+1} = Superficie limitada por la curva de cota $i + 1$.

Entonces, el volumen total será:

$$V_t = \sum V_i$$

Así, se realizaron los respectivos cálculos de superficies parciales, cada 10 metros, para el cálculo de los volúmenes parciales y totales.

5. CÁLCULOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Cálculo de volumen de lodos sedimentados en lagunas primarias

Tabla 61. Volumen de lodos sedimentado en lagunas primarias.

PROGRESIVA	LAGUNAS PRIMARIAS			
	ÁREA (m2)		VOL. SEDIMENTADO (m3)	
	LP 1	LP 2	LP 1	LP 2
0 + 010	28.1914	29.1512	-	-
0 + 020	37.7759	32.1617	439.782	408.753
0 + 030	32.0649	30.6986	465.605	419.069
0 + 040	35.6137	39.8372	451.191	470.239
0 + 050	39.8372	37.3749	503.006	514.747
0 + 060	34.6590	35.6137	496.641	486.591
0 + 070	39.8372	34.6590	496.641	468.485
0 + 080	32.0649	30.6986	479.347	435.717
0 + 090	37.3749	39.8317	462.932	470.202
0 + 100	36.2298	35.6137	490.698	502.969
VOLUMEN SEDIMENTADO EN LAG. PRIMARIAS			4285.844	4176.771

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de volumen de lodos sedimentados en lagunas secundarias

Tabla 62. Volumen de lodos sedimentado en lagunas secundarias.

PROGRESIVA	LAGUNAS SECUNDARIAS			
	ÁREA (m ²)		VOL. SEDIMENTADO (m ³)	
	LS 1	LS 2	LS 1	LS 2
0 + 110	32.0649	30.6986	-	-
0 + 120	28.1914	29.1512	401.709	398.999
0 + 130	35.6137	34.6590	425.367	425.401
0 + 140	32.0649	30.6986	451.191	435.717
0 + 150	40.1363	37.3749	481.341	453.823
0 + 160	28.1914	28.8374	455.518	441.415
0 + 170	37.3749	36.2298	437.109	433.781
0 + 180	32.0649	30.6986	462.932	446.189
0 + 190	36.2298	40.1363	455.298	472.233
0 + 200	34.6590	34.6590	472.592	498.635
0 + 206	28.1914	29.1512	251.402	255.241
VOLUMEN SEDIMENTADO EN LAG. SECUNDARIAS			4294.458	4261.435

Fuente: Elaboración propia.

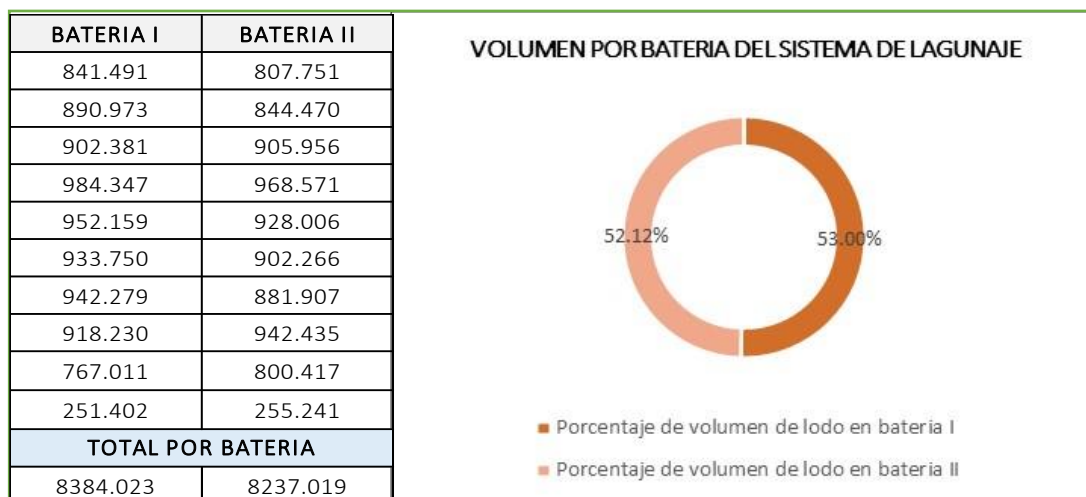


Ilustración 40. Porcentajes de volúmenes sedimentados y volumen libre, por laguna.

Cálculo de volumen de lodos sedimentados en cada batería

El volumen total correspondiente a cada batería es de 16 190.690 m³, conformada por dos lagunas, una primaria y otra secundaria. Entonces en relación con esto, el volumen sedimentado calculado respecto a cada una de las baterías es de:

Tabla 63. Volumen de lodos sedimentados, por batería.



Fuente: Elaboración propia.

El volumen total de sedimentos en la planta de tratamiento de aguas residuales es de 16 621.04 m³, representado así por el 100%. Siendo de este total los 8 384.023 m³ correspondientes al lodo acumulado en la batería I, que representa el porcentaje de 51.78% del total. Y a la batería II, le corresponde 8 237.019 m³ de lodo acumulado, el que representa un porcentaje de 50.88% del total.

Cálculo de volumen útil y volumen a descolmar

Tabla 64. Características batimétricas de cada laguna de estabilización.

PARÁMETRO	UND.	BATERÍA I		BATERÍA II	
		LP 1	LS 1	LP 2	LS 2
Largo Superior	m	103.00	103.00	103.00	103.00
Ancho Superior	m	60.00	60.00	60.00	60.00
Área Superior	m ²	6180.00	6180.00	6180.00	6180.00
Largo Inferior	m	93.00	93.00	93.00	93.00
Ancho Inferior	m	50.00	50.00	50.00	50.00
Área Inferior	m ²	4650.00	4650.00	4650.00	4650.00
Profundidad de Lagunas	m	1.50	1.50	1.50	1.50
Volumen de cada laguna	m ³	8095.35	8095.35	8095.35	8095.35
Volumen de lodos	m ³	4089.56	4294.46	3975.58	4261.44
Volumen de libre	m ³	4005.79	3800.89	4119.77	3833.91
Porcentaje de volumen libre	%	49.48%	46.95%	50.89%	47.36%
Porcentaje de volumen a descolmar	%	50.52%	53.05%	49.11%	52.64%

Fuente: Elaboración propia.

Entonces del sistema de lagunaje, se obtiene que:

- Volumen total del sistema	32381.38 m ³ (100.00%)
- Volumen total libre del sistema	15760.34 m ³ (48.67%)
- Volumen total de lodos sedimentados en el sistema	16 621.04 m ³ (51.33%)

VOLUMEN DEL SISTEMA DE LAGUNAJE



Ilustración 41. Porcentaje de volumen a descolmar y volumen libre, del sistema de lagunaje (Fuente: Elaboración propia).

6. CONCLUSIONES

Entonces del estudio realizado, se llegan a las siguientes conclusiones, luego de procesar los datos obtenidos en campo:

- Por la batimetría realizada, existe una gran acumulación de lodo, en el sistema en torno a 16 621.04 m³, que representa el 51.33% de la capacidad total del sistema.
- El volumen útil libre con el que cuenta el sistema corresponde a 15 760.34 m³, cantidad que representa el 48.67% de la capacidad total del sistema.
- El sistema de lagunaje está formado por 2 baterías, cada una compuesta por 1 laguna primaria y 1 secundaria. La batería I, ha acumula hasta la fecha 8 384.023 m³ de lodo, lo que representa el 51.78% de estos, y la batería II, ha acumulado un volumen ligeramente menor de 8 237.019 m³, los cuales representan el 50.88% de lodo.

- Es necesaria, una rutina de operación del desarenador, ya que una limpieza diaria de la cámara de retención de arena evita la acumulación de lodos y el taponamiento de ciertos sectores de las lagunas.
- Debido a la acumulación de lodos y arena hasta zonas muy próximas a la superficie, se producen fuertes olores, ya que ello impide la solubilización de los gases por la lámina de agua que debería existir sobre la capa anaerobia.
- Las secciones y perfiles del levantamiento evidencian una acumulación relativamente homogénea de los lodos. Por tanto, ello genera alteraciones en el desempeño hidráulico de la unidad de tratamiento, lo que afecta negativamente las condiciones de diseño de la laguna con relación a su tiempo de retención hidráulica.

7. RECOMENDACIONES

Del estudio batimétrico realizado, se recomienda:

- Realizarlos inmediatamente antes y después del proceso de purga de ser posible, ya que así se podrá determinar la efectividad del proceso, evaluando la cantidad de sedimentos que se pudo evacuar.
- De preferencia, este tipo de levantamientos deberán realizarse con el embalse lleno, para obtener la mayor cantidad de datos posibles.

ANEXO N°4

ESTUDIO DE SUELOS Y

TOPOGRAFÍA

ESTUDIO DE SUELOS Y TOPOGRAFÍA

El estudio de suelos y la topografía de la zona en la que se va a concebir una planta de tratamiento de aguas residuales, son necesarios pues condicionan el tipo de infraestructura que se va a realizar, ya que ciertos parámetros (selección de sitio, geometría de los componentes, disponibilidad de terreno, ubicación, etc.) de estos estudios contribuyen en la eficiencia, diseño y aspectos constructivos de estas.

1. ALCANCE

El presente estudio está relacionado con las características del suelo y la topografía del emplazamiento en el que se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales de Cayaltí, y que estos parámetros son determinantes en el diseño de la infraestructura como en los aspectos constructivos de estas.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las características del suelo y la topografía del área de estudio donde se localiza la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del presente estudio son los siguientes:

- × Caracterizar el tipo de suelo que prevalece en la zona de estudio.
- × Conocer el perfil estratigráfico de la zona de estudio.
- × Determinar la capacidad portante del suelo de la zona de estudio
- × Caracterizar el relieve topográfico de la extensión de la zona de estudio.
- × Obtener las curvas de nivel de la zona de estudio por medio de modelo de elevación digital (DEM) de la zona y el software Global Mapper.
- × Detallar las estructuras que componen la planta de tratamiento de aguas residuales (canal de Parshall, desarenador, lagunas, etc.).

3. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Los estudios geológicos y geotécnicos son requeridos para los diseños de la cimentación de los diferentes componentes que conforman la infraestructura de la planta de tratamiento. Siendo los estudios de mecánica de suelo de particular importancia, para el diseño de los diques, en el caso del sistema de lagunaje, el cual es el que se utiliza en el proyecto de estudio. Además de para tener en cuenta en la impermeabilización del fondo de las lagunas y el movimiento de tierras que involucra el aspecto constructivo de estas.

3.1. METODOLOGÍA

El análisis del estudio de mecánica de suelos se realiza tomando como referencia estudios previos realizados en proyectos del distrito, proporcionados por la municipalidad de Cayaltí, y bibliografía adicional consultada al respecto.

Los estudios de mecánica de suelos mediante los cuales se realizó este análisis fueron los siguientes:

- Informe geotécnico N° 009–06–18 perteneciente al proyecto denominado “Rehabilitación y Mejoramiento de las principales avenidas de la localidad de Cayaltí, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque”, realizado en el año 2018.
- Informe geotécnico perteneciente al proyecto denominado “Creación de veredas y pavimentación asfáltica en caliente del sector 1 – El Palmo de la localidad de Cayaltí – Distrito de Cayaltí – Chiclayo – Lambayeque”, realizado en el año 2015.
- Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación para el proyecto: “Rehabilitación del local escolar 11084 San Juan Bautista con código local N° 280760, en el distrito de Cayaltí, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque”, realizado en el año 2019.

3.2. PARÁMETROS NORMATIVOS

El Reglamento Nacional de Edificaciones, mediante la norma OS. 090, establece lo siguiente:

- Los taludes interiores de los diques deben tener una inclinación entre 1:1,5 y 1:2. Los taludes exteriores son menos inclinados, entre 1:2 y 1:3 (V:H).
- Es necesario la evaluación del parámetro de permeabilidad del sitio, pues este incide y determina la forma de impermeabilización del fondo de la laguna y sus taludes.

La Comisión Nacional del Agua [29], sugiere que al seleccionar el sitio de ubicación de la planta de tratamiento este tenga un suelo impermeable, de preferencia arcilloso, evitando áreas con fallas geológicas y lechos de río debido a los riesgos de infiltración.

3.3. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Se obtuvo conocimiento acerca de la geología y geotecnia del distrito de Cayaltí, por medio, de la siguiente bibliografía consultada:

- Estudio geológico del departamento de Lambayeque, realizado en el año 2013 por el gobierno regional.
- Boletín N° 43/Serie C: Riesgo geológico en la región Lambayeque, realizado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), en el año 2010.

GEOMORFOLOGÍA

Las principales unidades geomorfológica identificadas, coinciden en que estas incluyen una amplia zona costera, en la que destacan extensas pampas aluviales.

GEOLOGÍA

El distrito de Cayaltí, pertenece al valle de Zaña, el cual está apoyado sobre un depósito de suelos finos de origen sedimentario y heterogéneo, con unidades pertenecientes al sistema cuaternario reciente.

GEODINÁMICA

La geodinámica externa del distrito se acentúa durante los meses con presencia de precipitaciones, generando aniegos e interfiriendo en la fluidez vehicular al acceso al distrito y alrededores.

El subsuelo, no se encuentra sujeto a socavaciones ni deslizamientos, así como sin evidencias de hundimientos, ni levantamientos en el terreno.

3.4. RESULTADOS

Del contraste realizado entre los informes geológicos consultados de la zona de estudio, se obtuvieron los siguientes resultados con relación a los parámetros a continuación expuestos:

Análisis Estratigráfico

Los materiales que caracterizan al terreno de estudio corresponden a un depósito superficial de suelos sedimentarios, aluviales de unidades perteneciente a la era Cenozoico, del Sistema Cuaternario, en la que predominan suelos constituidos por arenas arcillosas de media plasticidad. Los que según la Norma Técnica E – 030 Diseño Sismorresistente del RNE, corresponden a la zona 4, por tanto, un factor de zona de 0.45.

La conformación estratigráfica se encuentra en su mayoría conformada por arenas arcillosas de media plasticidad, de consistencia variable con una tonalidad casi semejante en todo el perfil.

Del contraste, en cuanto a los cortes estratigráficos, hasta una profundidad de 2.00 metros, presentan estratos uniformes tanto en el tipo de suelo (SM y SC), como en su capacidad portante. Es importante resaltar que, en todas las excavaciones, los taludes de estas se mantuvieron estables hasta el final de las exploraciones.

Nivel Freático

Las exploraciones se realizaron hasta la profundidad de 2.00 metros desde el nivel natural del suelo, y el nivel la gradiente hidráulica de la napa freática no se presentó hasta ese punto.

Capacidad Portante – CBR

Mediante una muestra de suelo representativo de la zona de estudio, y empleando los métodos estadísticos, se obtuvo el valor 0.70 kg/cm². Se recomienda una profundidad mínima de cimentación de 1.50 metros.

Salinidad

Según los resultados analizados el contenido de sales solubles en las muestras de suelo se encuentra por debajo de 0.50%, por tanto, no es considerado un suelo salino. De ello, se sugiere el uso de Cemento Portland tipo I, para la construcción de la infraestructura que compone la PTAR.

4. ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA

El conocimiento de la topografía de la zona de estudio es necesario ya que influye en el diseño físico de la planta de tratamiento, y tanto como el diseño del proceso, puede afectar a la eficiencia del tratamiento si no se toma en consideración. Por ello parámetros como la selección del terreno y la geometría (dimensiones) de las lagunas de estabilización, deben ser compatibles con la topografía del lugar, con el fin de lograr un diseño integral eficiente.

4.1. METODOLOGÍA

El estudio de la topografía del sitio se llevó a cabo por medio de modelos de elevación digital (DEM) de la zona, con el fin de obtener las curvas de nivel. Y mediante un trabajo de campo, haciendo uso de un GPS GARMIN, para la obtención de la geometría en planta de la PTAR.

4.1.1. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo en campo realizado consistió en la obtención de las coordenadas de los diferentes vértices de cada una de las estructuras que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales, para obtener un plano de la planta general de esta. Además de así, permitimos evaluar la geometría con la que se encuentra en funcionamiento actualmente.

Para esto se utilizó un GPS modelo GARMIN.

4.1.2. TRABAJO DE GABINETE

En gabinete para la obtención de las curvas de nivel se trabajó con las imágenes ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model) diseñadas por la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria

de Japón (METI), por medio de 1.3 millones de imágenes recogidas por el satélite americano TERRA.

El Ministerio del Ambiente (MINAM), divide al territorio peruano en cartas nacionales y por medio de estas, brinda la información topográfica recogida por el satélite. Así pues, al distrito de Cayaltí le corresponde:

GDEM ASTER - CARTA NACIONAL			
CODIGO	:	ASTGTM S07W080 / 14-d	
NOMBRE	:	Chiclayo	ZONA : 17
CUADRICULA	:	M	HEMISFERIO : Sur

CARTA NACIONAL

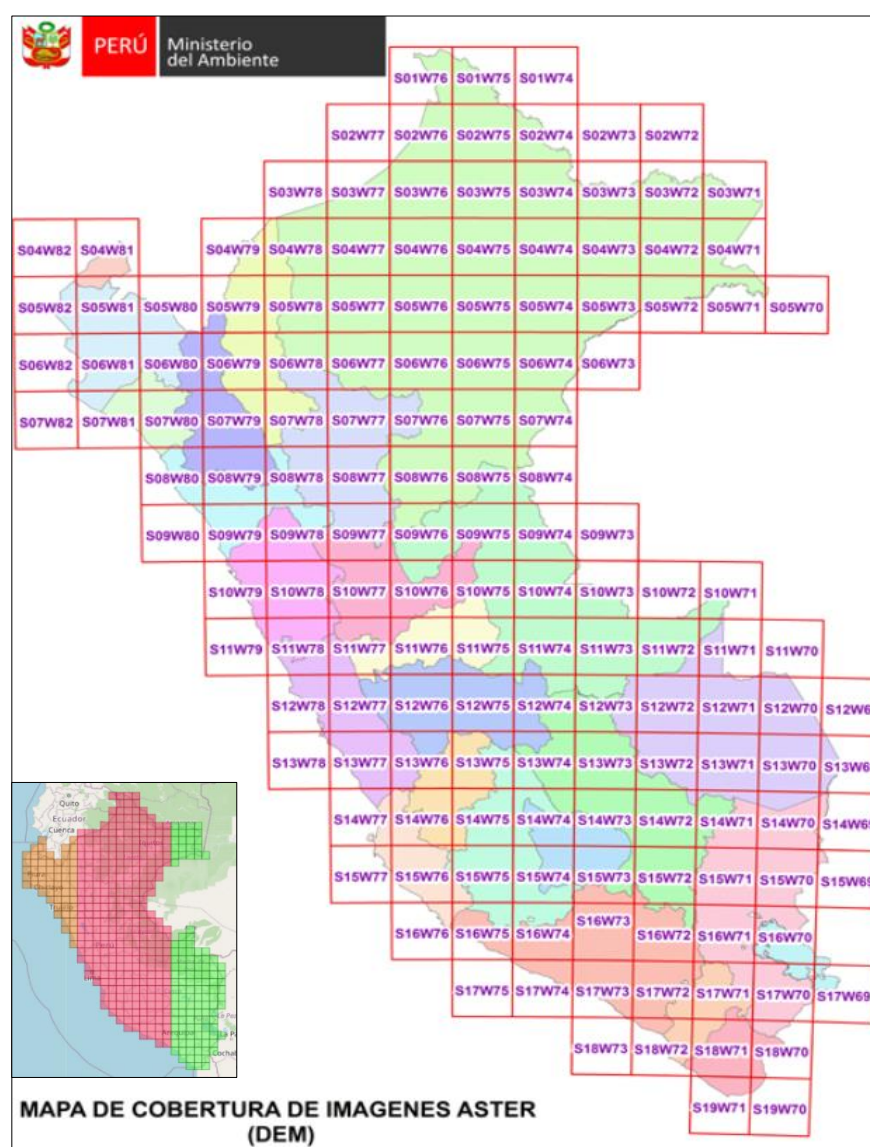


Ilustración 42. Carta nacional (Fuente: [3]).

4.2. PARÁMETROS NORMATIVOS

El Reglamento Nacional de Edificaciones, mediante la norma OS. 090, establece lo siguiente:

Selección de terreno

Los sistemas lagunares deben ubicarse en un área generosamente extensa debido a su configuración, además el área deberá estar fuera de la influencia de cauces sujetos a avenidas, de preferencia, de lo contrario se ha de proyectar obras de proyección.

El terreno seleccionado debe ser ubicado con respecto a la topografía del lugar, teniendo en cuenta la ubicación de las viviendas existentes, el plan de crecimiento urbano y la dirección del viento.

Además, con el objeto de minimizar el movimiento de tierras, se prioriza una topografía plana, y sobre el nivel de inundaciones. Y de ser posible, se debe aprovechar el flujo de gravedad para evitar el requerimiento de un sistema de bombeo.

Con el fin de evitar afectar la comodidad de la población próxima a la PTAR, se recomienda que el sistema lagunar se ubique, de la población a la que sirve, a:

- 500 metros como mínimo para tratamientos anaerobios.
- 200 metros como mínimo para lagunas facultativas.
- 100 metros como mínimo para sistemas con lagunas aeradas.
- 100 m como mínimo para lodos activados y filtros percoladores.

La razón principal por la que generalmente la población se opone a la construcción e implementación del tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas de estabilización son los olores que se producen de los procesos que en estas se realiza, es por ello necesario tener en cuenta tanto la distancia de ubicación mínimas como la orientación de estas según la topografía del sitio, considerando la dirección del viento, ya que esto favorecerá a que los posibles malos olores (poco tolerables por algunos), no genere incomodidad y rechazo.

4.3. RESULTADOS

Selección de terreno

Por medio de la herramienta de Google Earth, se ha determinado las distancias a las que se encuentran la población más próxima a la ubicación de la planta, y contrastarlo con lo establecido por la normativa, que, para este caso, corresponde a 200 metros mínimo ya que son del tipo facultativas, dando como resultado lo siguiente:

GDEM ASTER - CARTA NACIONAL			
DISTANCIA		DISTANCIA	NORMATIVA
Grifo Repsol	110.00 m	No cumple	
Sector Nuevo Mexico	90.00 m	No cumple	



Ilustración 43. Ubicación de la PTAR, respecto a las poblaciones más cercanas (Fuente: Elaboración propia).

Geometría de la PTAR

Por medio de un GPS, se pudo determinar de forma exacta la geometría/dimensiones de cada una de las lagunas de estabilización, así como de las estructuras que conforman el sistema de pretratamiento y las estructuras adicionales (cajas repartidoras de caudal, interconexiones, etc.)

Esto se plasma en el plano de planta general (Ver Anexo N°06).

Curvas de nivel

Como ya se indicó las curvas de nivel se obtuvieron mediante el uso de los modelos de elevación digitales (DEM), obtenidos de la carta nacional. Para procesar el archivo, se utilizó el software Global Mapper, a fin de exponer las curvas de nivel que pasan por el sector de estudio. Por último, se exportó el archivo de Global Mapper a AutoCAD, para así poder trabajar con este. Esto se plasma en el plano denominado curvas de nivel.

5. CONCLUSIONES

De los estudios realizados, se llegan a las siguientes conclusiones:

- La conformación estratigráfica corresponde a un depósito sedimentario de suelos finos de origen aluvial, en el que predominan las arenas finas limosas de ligera plasticidad (SM) y las arenas finas arcillosas de mediana plasticidad (SC).
- Del análisis de la salinidad de suelo, con relación a la agresión al suelo de cimentación, se determina hacer uso del Cemento Portland tipo I, ya que el porcentaje de sales en el suelo es despreciable y no supone un peligro.
- La capacidad portante, para el diseño de cimentación es de 0.70 kg/cm², con una profundidad mínima de 1.50 metros.
- La topografía de la zona de estudio corresponde a una zona llana, sin presencia de irregularidades considerables que afecten el diseño físico de la planta de tratamiento.
- Se comprobó que, en una distancia horizontal de 50 metros, la diferencia de cotas es de 0.50 metros, con lo cual se concluye que la zona de estudio tiene una pendiente suave. Por tanto, la gradiente de elevación a lo largo del terreno en el que se localiza la PTAR del distrito de Cayaltí es el 2%.

6. RECOMENDACIONES

Los datos aquí expuestos son netamente para este proyecto, con fin educativo, ya que han sido deducidos de estudio realizados con anterioridad en la zona, por ello, se recomienda la realización física de esto para mayor precisión.

ANEXO N°5

**ESTUDIO METEOROLÓGICO
E HIDROLÓGICO**

ESTUDIO HIDROMETEREOLÓGICO

El conocimiento de las características hidrometereológicas (precipitación, temperatura, humedad, dirección del viento, etc.) de la zona en la que se va a concebir una planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario pues estas intervienen y condicionan el funcionamiento de los procesos naturales que se llevan a cada en las lagunas de estabilización, así como influyen también en la disposición de la infraestructura de la planta y lo que involucran los procesos constructivos a considerar para llevarla a cabo.

1. ALCANCE

El presente estudio está relacionado con las características hidrometereológicas de la zona en la que se encuentra dispuesta la planta de tratamiento de aguas residuales de Cayaltí, ya que el análisis de estas es determinante en el diseño de la infraestructura como en los aspectos constructivos de estas.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las características hidrometereológicas del área de estudio donde se localiza la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del presente estudio son los siguientes:

- × Determinar la precipitación máxima y mínima mensual de la zona de estudio.
- × Determinar la humedad máxima y mínima mensual de la zona de estudio.
- × Determinar la dirección y velocidad del viento de la zona de estudio.
- × Determinar la temperatura máxima y mínima de la zona de estudio.
- × Conocer las condiciones ambientales que modifican el funcionamiento de las lagunas (producción de algas y microorganismos).
- × Conocer cómo influyen los procesos meteorológicos e hidrológicos en la actividad biológica que se realiza en las lagunas facultativas.

3. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

El análisis de los factores meteorológicos e hidrológicos que modifican y condicionan la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, así como la disposición de la infraestructura de la planta, en esta investigación se realiza por medio de los datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de nuestro país.

A continuación, se muestra los datos de la estación convencional destinada a registrar los datos de las diferentes variables hidrometeorológicas de la zona de estudio.

ESTACIÓN CAYALTÍ	
Departamento :	LAMBAYEQUE
Provincia :	CHICLAYO
Distrito :	CAYALTÍ
Latitud :	6°52'50.86"
Longitud :	79°32'49.25"
Altitud :	90 msnm.
Código :	106042
Tipo :	Meteorológica

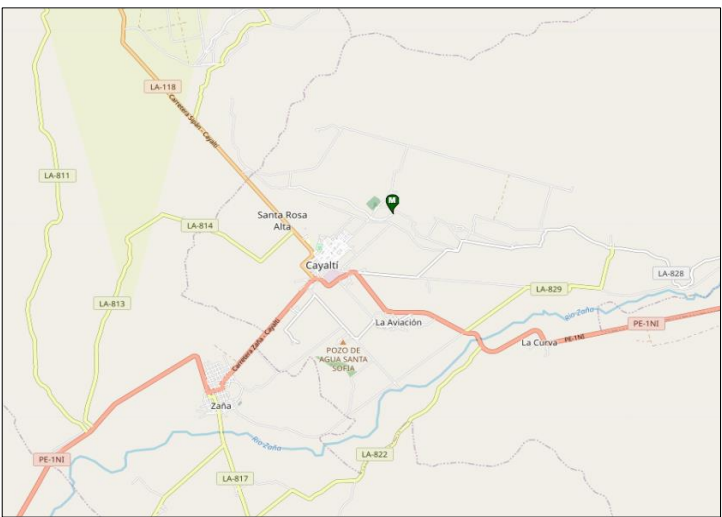


Ilustración 44. Ubicación de estación meteorológica Cayaltí (Fuente: Elaboración propia).

4. PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

4.1. VIENTO

El viento es un parámetro que interviene en el proceso de autodepuración que se realiza en las lagunas de estabilización, ya que en conjunto con la geometría de la PTAR condiciona el tipo de mezcla que en esta ocurre, así como las corrientes verticales del agua.

Dirección del viento

La dirección del viento es una de las características a tener en cuenta de dichos parámetros, puesto condiciona la dirección de transporte de los olores que se generen en caso no exista un buen funcionamiento en el sistema de lagunaje.

Velocidad del viento

La velocidad del viento es otra característica a considerar, pues la acción de este puede ocasionar problemas como la formación de oleaje en los estanques, por tanto, la erosión de los terraplenes internos.

Con relación a este parámetro, el viento, se sugiere/recomienda que:

- Los dispositivos de entrada y salida del agua residual en las lagunas deben proyectarse de manera que la dirección de los vientos dominantes se realice del efluente al afluente, para evitar la formación de cortocircuitos [1].
- Las lagunas deben orientarse de tal forma que su lado más largo se localice paralelamente a la dirección del viento dominante, con el objeto de optimizar el mezclado en el estanque [1].
- El borde libre sea como mínimo de 0.5 metros, y en el caso de producir oleaje por acción del viento, se considerará una mayor altura y el diseño de protección para los diques [2].

Tener en cuenta que, las lagunas con un área menor a 2.0 hectáreas no están expuestas a la acción del viento [3].

4.2. TEMPERATURA

La temperatura del ambiente es un factor clave para la eficiencia de los procesos de degradación en las lagunas, al igual que la temperatura del agua. Por ello, el Reglamento Nacional de Edificaciones, establece los siguientes criterios de diseño referidos a la temperatura, para el caso en que no se puedan determinar de forma experimental, estos son los siguientes:

- La temperatura de diseño corresponderá al promedio de la temperatura del agua del mes más frío, determinada por medio de correlaciones entre las temperaturas del aire y lagunas [2].
- Si no existiesen esos datos, la temperatura del agua será la temperatura del aire más un valor, el que dependerá de las condiciones meteorológicas de la zona de estudio [2].

- En donde no exista ningún dato, se usará la temperatura promedio del aire correspondiente al mes más frío [2].

En las lagunas de estabilización la temperatura es el criterio de diseño más significativo, ya que en climas fríos se requiere una mayor área para las lagunas que para climas cálidos [4].

4.3. HUMEDAD

La humedad es uno de los factores climáticos que se encuentra ligado a los parámetros de evaporación e infiltración de agua en la laguna.

Entonces, es necesario considerar este factor en la concepción del diseño puesto que, la pérdida de agua provocada por la evaporación significa un aumento en la concentración de contaminantes y en la salinidad del medio, comprometiendo el equilibrio biológico en la laguna [3]. Por otro lado, la infiltración, es controlada generalmente con la impermeabilización del fondo y taludes de los diques, para evitar suponga modificaciones imprevistas en el proceso biológico que se realiza en los estanques.

5. HIDROLOGÍA

5.1. PRECIPITACIÓN

El nivel de las precipitaciones puede ocasionar la reducción del tiempo de retención hidráulica del agua residual en una laguna, por tanto, la disminución de la población bacteriana y algas que realizan los procesos de descomposición en estas, lo que ocasiona una baja eficiencia en cuanto a la remoción de contaminantes [3], es por ello que este parámetro debe tenerse en consideración al concebir el diseño de una PTAR.

Es necesario tener de conocimiento la precipitación pluvial de la zona, puesto que si:

- Existen lluvias escasas, estas no provocan alteraciones significativas en las lagunas.

- Existen lluvias continuas, se altera el tiempo de retención hidráulica, disminuyéndolo, al incrementarse el caudal.
- Existen lluvias intensas, debido al escurrimiento se acarrea material (orgánico y mineral) a la laguna.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de los datos obtenidos del SENAMHI, por medio de la estación meteorológica ya mencionada, sumando a ello, la bibliografía revisada, y procesamiento, se obtuvieron los siguientes resultados con relación a cada uno de los parámetros considerados.

Viento

La dirección del viento predominante en la zona de estudio es del sur a oeste. Siendo la velocidad media máxima alcanzada por este en los últimos 6 años (2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020) de 4.60 m/s y la mínima de 0.70 m/s.

Tabla 65. Dirección y velocidad media del viento (2015 - 2020).

DIRECCIÓN Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/s)																		
AÑO	2015		2016		2017		2018		2019		2020		MAX		MIN		PROMEDIO	
ENE	SW	4.20	SW	3.00	SW	1.60	SW	2.80	SW	2.30	SW	3.60	SW	4.20	SW	1.60	SW	2.92
FEB	SW	4.20	SW	1.70	SW	1.10	SW	1.80	SW	S/D	SW	4.60	SW	4.60	SW	1.10	SW	2.23
MAR	SW	4.00	SW	2.10	SW	0.70	SW	2.80	SW	S/D	SW	S/D	SW	4.00	SW	0.70	SW	1.60
ABR	SW	4.40	SW	2.20	SW	2.20	SW	2.60	SW	2.40	SW	S/D	SW	4.40	SW	2.20	SW	2.30
MAY	SW	3.70	SW	2.10	SW	2.20	SW	2.70	SW	2.00	SW	S/D	SW	3.70	SW	2.00	SW	2.12
JUN	SW	2.50	SW	1.80	SW	1.60	SW	1.20	SW	1.80	SW	S/D	SW	2.50	SW	1.20	SW	1.48
JUL	SW	3.30	SW	2.00	SW	1.80	SW	1.80	SW	2.50	SW	4.00	SW	4.00	SW	1.80	SW	2.57
AGO	SW	3.00	SW	2.20	SW	3.10	SW	3.40	SW	2.60	SW	4.30	SW	4.30	SW	2.20	SW	3.10
SET	SW	3.40	SW	3.10	SW	4.40	SW	3.70	SW	4.00	SW	3.80	SW	4.40	SW	3.10	SW	3.73
OCT	SW	4.40	SW	2.90	SW	4.40	SW	3.10	SW	4.30	SW	4.00	SW	4.40	SW	2.90	SW	3.85
NOV	SW	3.70	SW	2.60	SW	3.80	SW	2.80	SW	3.60	SW	4.50	SW	4.50	SW	2.60	SW	3.50
DIC	SW	3.00	SW	2.40	SW	3.70	SW	2.10	SW	4.10	SW	4.10	SW	4.10	SW	2.10	SW	3.23

S/D = SIN DATOS

Fuente: Elaboración propia.

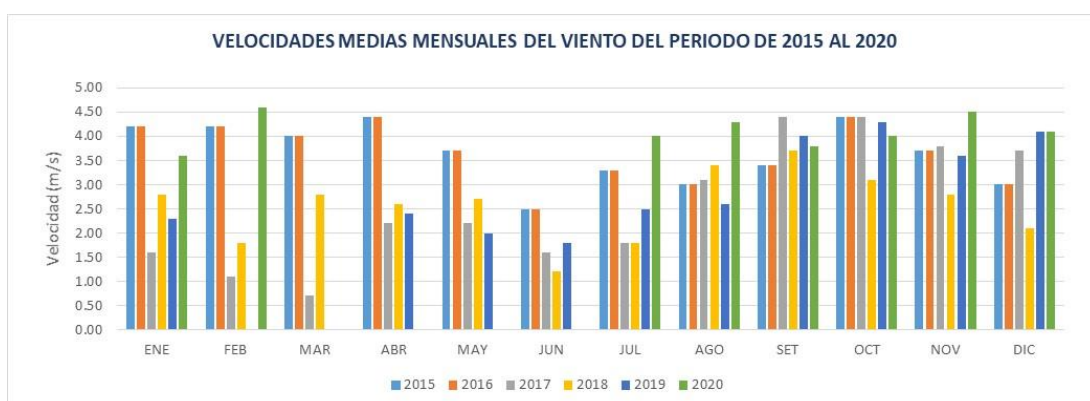


Ilustración 45. Velocidades medias mensuales, periodo de 2015 a 2020 (Fuente: Elaboración propia).

Del gráfico anterior, se aprecia que, los últimos cuatro meses del año, la velocidad del viento es mayor y más constante en sus valores, en relación de los otros.

Radiación Ultravioleta

La Organización Mundial de la Salud, establece una escala del índice UV, y según la bibliografía consultada, en el distrito el índice UV es de 6, el cual indica: Una lectura de índice UV de 6 a 7 significa un riesgo alto de daño por exposición al sol sin protección. Es necesario protegerse la piel y los ojos para que no sufran daños [5].

Temperatura

Cayaltí presenta el clima ecuatorial. El tipo del clima de la zona de estudio es árido/desértico con deficiencia de humedad en todas las estaciones. El distrito se caracteriza por presentar un clima templado la mayor parte del año, de acuerdo con mapa de clasificación climática del Perú. La máxima temperatura media mensual correspondiente al periodo 2015 – 2020, es de 28.03 °C y la temperatura mínima, corresponde a 19.23 °C. Siendo la temperatura promedio anual de 22 °C.

Tabla 66. Temperatura media mensual °C (2015 - 2020).

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)									
AÑO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	MAX	MIN	PROMEDIO
ENE	26.27	26.16	26.70	25.01	26.12	26.17	26.70	25.01	26.07
FEB	S/D	27.38	27.23	26.02	27.18	27.38	27.38	26.02	22.53
MAR	27.39	27.82	27.31	25.44	26.77	28.03	28.03	25.44	27.13
ABR	26.08	26.10	25.94	24.79	25.26	S/D	26.10	24.79	21.36
MAY	24.94	23.52	24.16	22.35	23.71	S/D	24.94	22.35	19.78
JUN	23.36	21.95	21.71	20.22	21.09	S/D	23.36	20.22	18.06
JUL	22.31	20.97	20.29	20.16	19.91	19.53	22.31	19.53	20.53
AGO	21.21	20.92	19.93	20.33	19.35	19.23	21.21	19.23	20.16
SET	22.26	21.41	20.31	20.45	20.05	19.89	22.26	19.89	20.73
OCT	22.84	22.10	20.52	21.52	20.84	21.05	22.84	20.52	21.48
NOV	23.43	22.55	20.57	22.84	21.95	21.51	23.43	20.57	22.14
DIC	24.95	24.18	23.33	24.27	24.04	23.26	24.95	23.26	24.01

S/D = SIN DATOS

Fuente: Elaboración propia.

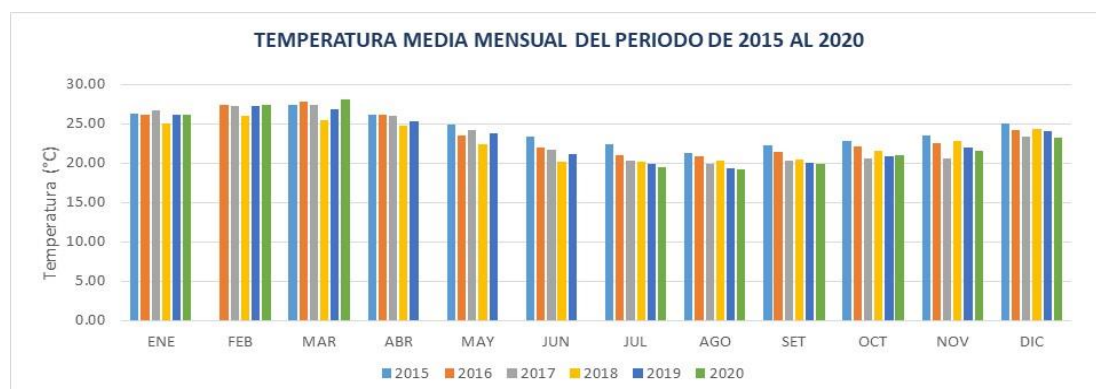


Ilustración 46. Temperatura media mensual °C, periodo 2015 a 2020 (Fuente: Elaboración propia).

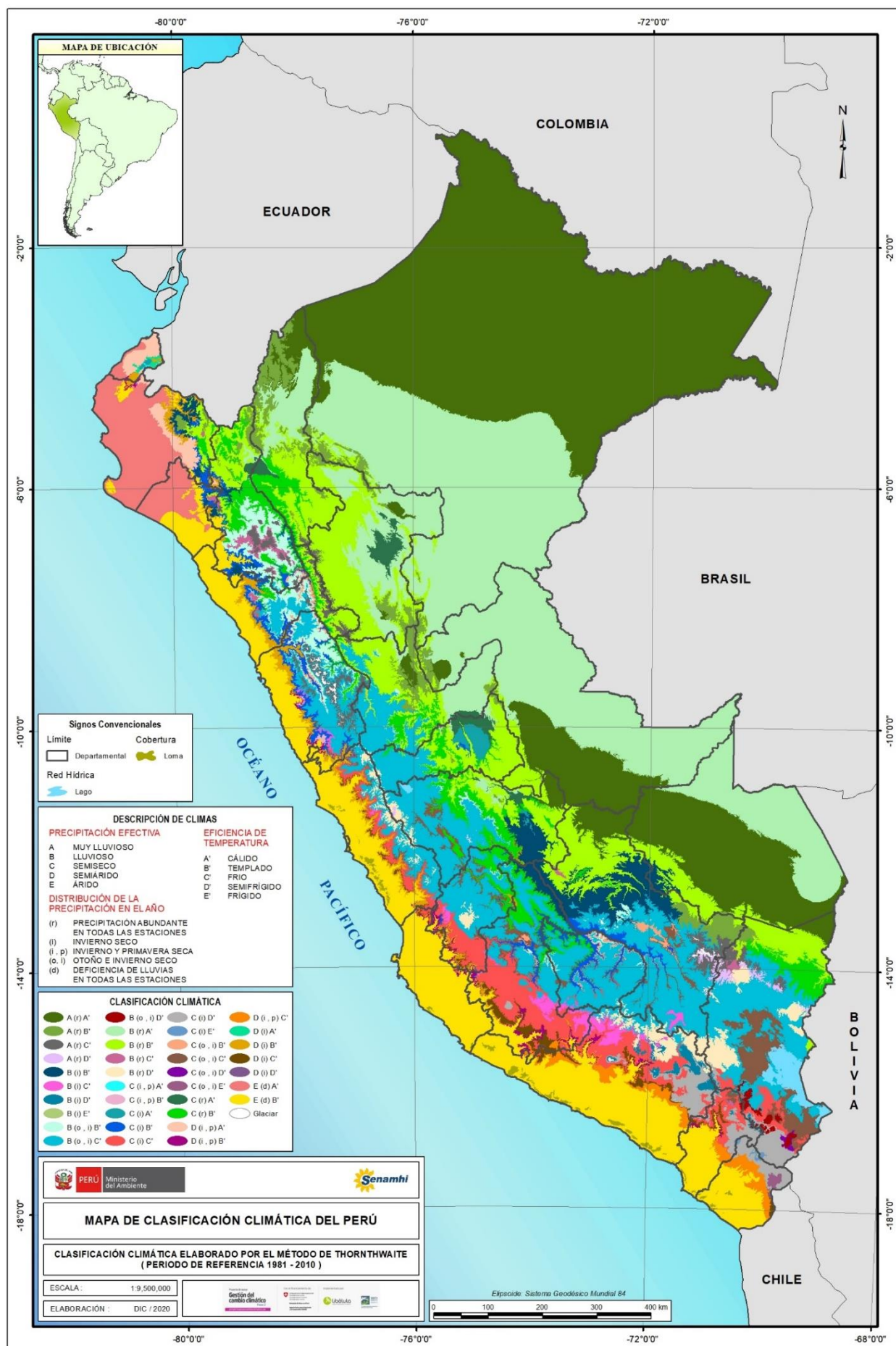


Ilustración 47. Mapa de clasificación climática (Fuente: [53]).

Humedad

El área de estudio tiene una humedad relativa media mensual máxima, para el periodo del 2015 al 2020, correspondiente a 85.70%, siendo la mínima de 71.53%. El mes de julio del 2020, se presentó la máxima humedad relativa.

Tabla 67. Humedad relativa media mensual (2015 - 2020).

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)									
AÑO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	MAX	MIN	PROMEDIO
ENE	70.92	76.85	72.06	73.90	74.73	79.35	79.35	72.06	74.64
FEB	S/D	77.80	80.35	71.90	79.90	79.09	80.35	71.90	64.84
MAR	74.51	75.33	82.10	73.93	75.22	80.59	82.10	73.93	76.95
ABR	74.79	77.14	77.38	74.46	73.75	S/D	77.38	73.75	62.92
MAY	79.19	76.36	76.97	79.87	75.38	S/D	79.87	75.38	64.63
JUN	81.09	77.63	79.10	83.56	80.18	S/D	83.56	77.63	66.93
JUL	79.68	78.30	81.03	80.89	83.39	85.70	85.70	78.30	81.50
AGO	81.77	77.94	78.96	79.28	82.43	83.06	83.06	77.94	80.57
SET	77.15	76.48	76.95	78.83	80.44	80.41	80.44	76.48	78.38
OCT	77.53	73.87	77.29	77.42	77.80	81.16	81.16	73.87	77.51
NOV	77.20	72.94	78.56	74.08	77.15	80.23	80.23	72.94	76.69
DIC	78.81	71.53	74.74	74.99	82.64	81.64	82.64	71.53	77.39

S/D = SIN DATOS

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente gráfico, podemos apreciar que la humedad del sitio es homogénea, es decir no presentar variaciones bruscas, en cuanto a sus niveles.

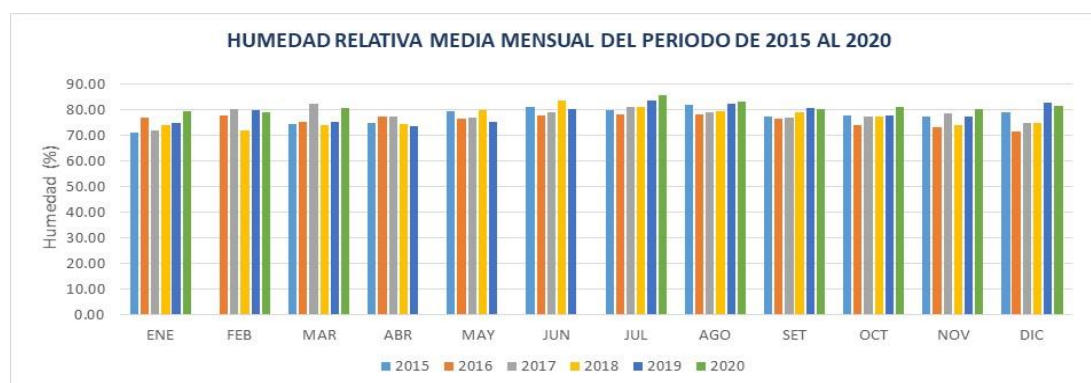


Ilustración 48. Humedad relativa media mensual, periodo 2015 a 2020 (Fuente: Elaboración propia).

Precipitación pluvial

Los datos de la precipitación presentada la media anual de esta es de 7.23 mm.

Tabla 68. Precipitación total mensual (2015 - 2020).

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)									
AÑO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	MAX	MIN	PROMEDIO
ENE	3.60	5.00	5.70	10.90	1.10	1.20	10.90	1.10	4.58
FEB	3.10	18.10	135.00	4.30	30.00	0.00	135.00	0.00	31.75
MAR	12.40	S/D	206.60	3.50	5.50	S/D	206.60	3.50	38.00
ABR	2.60	27.60	0.00	8.50	0.00	S/D	27.60	0.00	6.45
MAY	0.10	0.00	S/D	0.00	0.00	S/D	0.10	0.00	0.02
JUN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	S/D	0.00	0.00	0.00
JUL	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.08
AGO	0.00	0.00	3.10	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00	0.52
SET	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OCT	3.30	S/D	0.50	3.10	1.50	6.40	6.40	0.50	2.47
NOV	1.60	S/D	0.00	0.00	1.00	12.90	12.90	0.00	2.58
DIC	0.10	0.40	6.10	15.20	0.90	10.50	15.20	0.40	5.53

S/D = SIN DATOS

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que la precipitación media mensual máxima corresponde a 6.89 mm, ocurrida en el mes de marzo en el año 2017.

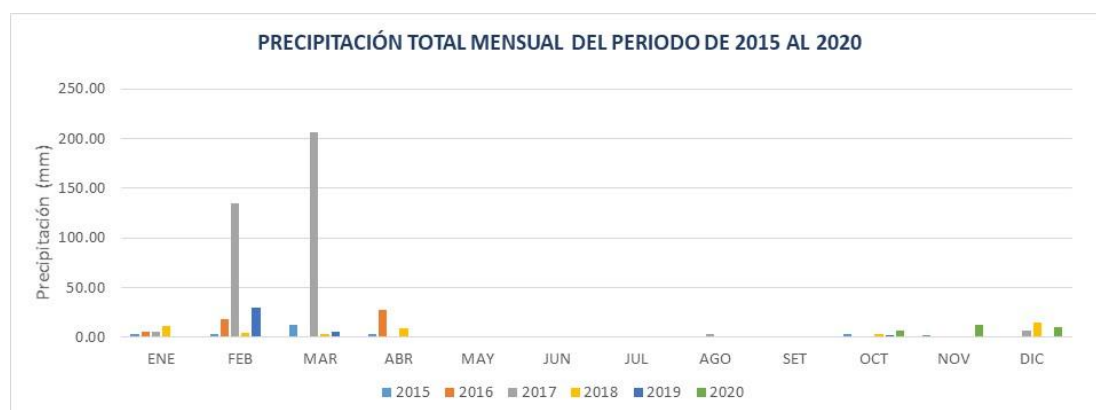


Ilustración 49. Precipitación total mensual, periodo 2015 a 2020 (Fuente: Elaboración propia).

7. CONCLUSIONES

De la evaluación y análisis de los parámetros hidrometereológicos y bibliografía consultada, se concluye lo siguiente:

- La máxima velocidad media mensual del viento es de 4.60 m/s y la media anual es de 2.94 m/s, en la dirección del sur al oeste.
- La radiación ultravioleta de la zona presenta un valor de 6 en el índice UV, lo que indica un riesgo algo de daño por exposición.
- La temperatura media mensual máxima de 28.03 °C y la mínima de 19.23 °C. Siendo la temperatura promedio anual corresponde a 22 °C. Lo que nos indica que la temperatura no fluctúa significativamente a lo largo del año en el distrito.
- La humedad media mensual máxima es de 85.70% y la mínima de 71.53%. Siendo la humedad media anual de 73.58%. Dichos datos indican que de la humedad del sitio es homogénea, es decir no presentar variaciones bruscas, en cuanto a sus niveles.
- La precipitación media anual de 7.23 mm. Y no existe una ocurrencia frecuente de lluvias en la zona, y cuando estas se presentan no tienen mayor significancia.
- Los vientos contribuyen a la acción biológica que se realiza en las lagunas por la acción de mezcla que estos generan.

- La dirección y velocidad del viento condicionan la ubicación y orientación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

8. RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta que, dado que la luz solar es uno de los parámetros que intervienen en el proceso de fotosíntesis que se realiza, tanto en las lagunas facultativas como en las aerobias, se recomienda conservar el espejo de las lagunas libres de sombras y considerar en su diseño no hacerlas con mucha profundidad.

ANEXO N°7

**DISEÑO HIDRÁULICO DE
TRENES DE TRATAMIENTO**

DISEÑO HIDRÁULICO DEL TREN DE TRATAMIENTO N° 01

1. PARÁMETROS DE DISEÑO

1.1. POBLACIÓN DE DISEÑO

La población de diseño se determinó por de una proyección poblacional en función del periodo de diseño, por medio de los datos de los tres últimos censos realizados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

1.1.1.DATOS CENSALES

La PTAR ubicada en el sector “Las Adelinas” – Cayaltí, recibe solo las aguas residuales del área urbana de dicho distrito, por lo que la determinación de la población actual se realizó por medio de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Los datos censales correspondientes a los tres últimos censos realizados en el país son los siguientes para el área urbana del distrito de Cayaltí:

Tabla 69. Población censal.

AÑO CENSAL	POBLACIÓN
2005	13,261 hab
2007	13,681 hab
2017	13,974 hab

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2.PROYECCIÓN POBLACIONAL

El cálculo de la población futura se realizó mediante los siguientes métodos:

- Método aritmético.
- Método geométrico.
- Método de interés simple.

Adoptando como población futura el valor promedio de las proyecciones realizadas según cada método.

Razón de crecimiento

Tabla 70. Razón de crecimiento, según método poblacional.

AÑO CENSAL	POBLACIÓN	$r_{MÉT.ARITM.}$	$r_{MÉT.INT.SIMPLE}$	$r_{MÉT.GEOM.}$
2005	13,261 hab	-	-	-
2007	13,681 hab	210.000	0.016	1.016
2017	13,974 hab	29.300	0.002	1.002
Tasa/Razón de crecimiento		119.650	0.009	1.009

Fuente: Elaboración propia.

Población proyectada

La proyección se realiza para un periodo de diseño de 20 años.

Tabla 71. Proyección poblacional.

AÑO	TIEMPO TRANSCURRIDO	MÉT. ARITMETICO $P = P_0(1 + r(t - t_0))$	MÉT. INT. SIMPLE $P = P_0(1 + r(t - t_0))$	MÉT. GEOMÉTRICO $P = P_0 * r^{(t - t_0)}$
2005		13261.00	13261.00	13261.00
2007		13681.00	13681.00	13681.00
2017		13974.00	13974.00	13974.00
2021	t = 0	14452.60	14476.437	14479.124
2022	t = 1	14572.25	14602.046	14608.233
2023	t = 2	14691.90	14727.656	14738.493
2024	t = 3	14811.55	14853.265	14869.914
2025	t = 4	14931.20	14978.874	15002.507
2026	t = 5	15050.85	15104.483	15136.283
2027	t = 6	15170.50	15230.093	15271.251
2028	t = 7	15290.15	15355.702	15407.423
2029	t = 8	15409.80	15481.311	15544.809
2030	t = 9	15529.45	15606.920	15683.421
2031	t = 10	15649.10	15732.530	15823.268
2032	t = 11	15768.75	15858.139	15964.362
2033	t = 12	15888.40	15983.748	16106.714
2034	t = 13	16008.05	16109.357	16250.336
2035	t = 14	16127.70	16234.967	16395.238
2036	t = 15	16247.35	16360.576	16541.433
2037	t = 16	16367.00	16486.185	16688.931
2038	t = 17	16486.65	16611.794	16837.744
2039	t = 18	16606.30	16737.404	16987.884
2040	t = 19	16725.95	16863.013	17139.363
2041	t = 20	16845.60	16988.622	17292.192

Fuente: Elaboración propia.

1.1.3. CAUDAL DE DISEÑO

Ya contando con la población futura, a razón de la dotación, procedemos al cálculo del caudal de diseño, para así poder dar inicio al diseño hidráulico de los diferentes componentes que forman parte de una PTAR.

DOTACIÓN

POBLACIÓN (HAB)	CLIMA FRÍO	CLIMA TEMPLADO/CÁLIDO
Sin estudios de consumo/Sist. Conex.	200	250
Área de lotes ≤ 90 m ²	120	150

CAUDAL DE DISEÑO

DATOS GENERALES			
Dotación de agua	q	=	250 l/hab/días
Población futura	P	=	18,897 hab
Coeficientes de variación	K1	=	1.3
	K2	=	1.8
	K3	=	0.5
Longitud de red de alcantarillado	Lr	=	15876 m
Longitud de emisor	Le	=	1000 m
% alcantarillado	C	=	80.00%
Tasa de contribución de infiltración	qinf.	=	0.00005 l/(s*m)

CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE DISEÑO

- Caudal Mínimo	$Q_{min} = C \left(\frac{P \cdot q \cdot K_3}{86\,400} \right)$	Qmin	=	21.87	l/s
		Qmin	=	1889.75	m3/día
- Caudal Medio	$Q_{med} = C \left(\frac{P \cdot q}{86\,400} \right)$	Qmed	=	43.74	l/s
		Qmed	=	3779.50	m3/día
- Caudal Máximo Diario	$Q_{md} = C \left(\frac{P \cdot q \cdot K_1}{86\,400} \right)$	Qmd	=	56.87	l/s
		Qmd	=	4913.35	m3/día
- Caudal Máximo Horario	$Q_{mh} = C \left(\frac{P \cdot q \cdot K_2}{86\,400} \right)$	Qmh	=	78.74	l/s
		Qmh	=	6803.09	m3/día
- Caudal de Infilt. en la red	$Q_{inf.} = Lr \cdot q_{in.}$	Qinf.	=	0.79	l/s
		Qinf.	=	68.58	m3/día
- Caudal de Infilt. en el emisor	$Q_{inf.} = Le \cdot q_{in.}$	Qinf.	=	0.05	l/s
		Qinf.	=	4.32	m3/día

Entonces, para determinar el caudal de diseño:

$Q_{T(md)} = Q_{md} + Q_{inf.} + Q_{ap.}$	QT(md)	=	57.71	l/s
	QT(md)	=	4986.25	m3/día
$Q_{T(mh)} = Q_{mh} + Q_{inf.} + Q_{ap.}$	QT(mh)	=	79.58	l/s
	QT(mh)	=	6876.00	m3/día

CAUDAL DE DISEÑO	Qmáx.	=	79.58	l/s
	Qmáx.	=	6876.00	m3/día

2. DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE PRETRATAMIENTO

2.1. DIMENSIONAMIENTO DE CRIBADO

El cribado, es el primer paso en el tratamiento del agua residual, y consiste en la separación de los sólidos gruesos, mediante el uso de unas rejillas por las que pasa el agua residual bruta, reteniendo los sólidos.

Para los cálculos de diseño de las cribas/rejillas del tipo manual, se considera el dimensionamiento previo del canal de aproximación donde estas son ubicadas.

DATOS GENERALES				
- Caudal de diseño	Q_i	=	0.080	m3/s
	Q_i	=	79.583	lts/s
- Coeficiente de Manning	n	=	0.014	
DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL DE APROXIMACIÓN				
DATOS PREVIOS Y CARACTERÍSTICAS PROPIAS DE DISEÑO				
- Tipo de sección del canal	RECTANGULAR			
- Pendiente del Canal de Entrada	-	S	=	0.005 m/m
- Base se la sección	-	b	=	0.300 m
DIMENSIONAMIENTO DE CANAL DE APROXIMACIÓN/DE ENTRADA				

La sección transversal del canal de aproximación, en el que se ubicará la criba/rejilla, tiene una sección rectangular, como se muestra en la siguiente ilustración:

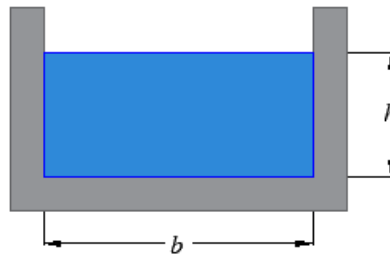


Ilustración 50. Sección transversal del canal de aproximación.

Entonces determinamos la altura del nivel del agua, mediante la ecuación de Manning:

$$Q = 1/n * A * R_h^{2/3} * S^{1/2} \text{-----} (E1)$$

Donde, el área de una sección rectangular, como sabemos es:

$$Q = (b * h) \text{-----} (E2)$$

Y el radio hidráulico, se determina mediante la siguiente formula:

$$R_h = \frac{b * h}{2 * (b + h)} \text{-----} (E3)$$

Entonces, sustituyendo E2 y E3, en E1, se obtiene:

$$Q = 1/n * (b * h) * \left(\frac{b * h}{2 * (b + h)} \right)^{2/3} * S^{1/2} \text{-----} (E4)$$

$$0.080 = 1/0.014 * (0.5 * h) * \left(\frac{0.5 * h}{2 * (0.5 + h)} \right)^{2/3} * 0.005^{1/2}$$

Despejando obtenemos:

$$h = 0.30 \text{ m}$$

Por lo tanto, el área es:

$$A = b * h$$

$$A = 0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m}$$

$$A = 0.09 \text{ m}^2$$

Conociendo ya la sección de nuestro canal, podemos determinar la velocidad del flujo, para verificar esta, en relación con las disposiciones según la normativa peruana, entonces:

$$V_c = Q/A$$

$$V_c = 0.08 \text{ m}^3/\text{s} / 0.09 \text{ m}^2$$

$$V_c = 0.889 \text{ m/s}$$

Como se observa, el valor obtenido, no cumple con la disposición de diseño en cuanto a la velocidad de aproximación, por lo que, realizamos un recalcu, tomando como dato que, $V = 0.45 \text{ m/s}$, y obtenemos que:

$$V_c = Q/A_c$$

$$0.45 \text{ m/s} = 0.08 \text{ m}^3/\text{s} / A_c \text{ m}^2$$

$$A_c = 0.178 \text{ m}^2$$

Considerando la base del canal como, $b = 0.30 \text{ m}$, la altura de la sección seria:

$$A_c = b \times h$$

$$0.178 \text{ m}^2 = 0.3 \text{ m} \times h$$

$$h = 0.60 \text{ m}$$

Garantizándose con esto, el cumplimiento de la velocidad de aproximación en el canal de entrada (canal de aproximación).

DIMENSIONAMIENTO DEL REJILLAS		
DATOS PREVIOS Y CARACTERISTICAS PROPIAS DE DISEÑO		
- Forma de barras	SECCIÓN RECTANGULAR	
- Ángulo de inclinación	-	$\alpha = 45.000^\circ$
- Ancho de barras		$a_b = 0.030 \text{ m}$
- Espesor de barras		$e_b = 0.015 \text{ m}$
- Espaciamiento entre barras	-	$e = 0.025 \text{ m}$
DIMENSIONAMIENTO DE CRIBADO/REJILLAS		

Las cribas o rejillas están conformadas por un grupo de barras de sección rectangular, como se muestra en la siguiente ilustración:

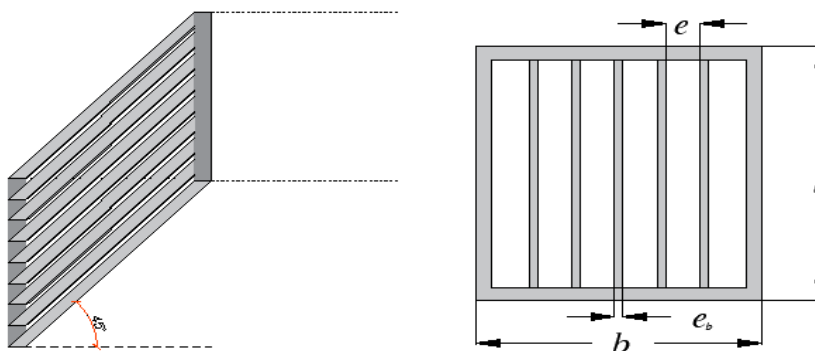


Ilustración 51. Sección transversal de las rejillas (Fuente: Elaboración propia).

A partir de adoptar el espaciamiento entre barras, procedemos a calcular el número de barras para el ancho de canal adoptado, mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{(b - e)}{(e_b + e)} \text{-----} (E5)$$

$$n = \frac{(0.3 - 0.025)}{(0.015 + 0.025)}$$

$$n = 7 \text{ barras.}$$

Y el número de espaciamientos:

$$N = (n + 1) \text{-----} (E6)$$

$$N = 7 + 1$$

$$N = 8 \text{ espacios.}$$

Luego se procede a determinar el área neta transversal correspondiente a la rejilla, con la siguiente expresión:

$$A_n = A_c * \left(\frac{e}{e + e_b} \right) \text{-----} (E7)$$

$$A_n = (30 * 60) * \left(\frac{2.5}{2.5 + 1.5} \right)$$

$$A_n = 1\,125.00 \text{ cm}^2$$

Calculamos la velocidad, para corroborar, cumpla con las disposiciones de diseño establecidas en la normativa peruana:

$$V_r = \left(\frac{Q}{A_n} \right) \text{-----} (E8)$$

$$V_r = \left(\frac{0.08 \text{ m}^3/\text{s}}{0.1125 \text{ m}^2} \right)$$

$$V_r = 0.711 \text{ m/s}$$

De esta forma se comprueba que la velocidad calculada a través de la rejilla fluye con una velocidad no menor a 0.60 m/s , ni mayor que 0.75 m/s .

La pérdida de carga producida por el paso del afluente a través de la rejilla se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H_L = \frac{1}{C_d} * \left(\frac{V_r^2 - V_c^2}{2 * g} \right) \text{-----} (E9)$$

$$H_L = \frac{1}{0.7} * \left(\frac{0.711^2 - 0.450^2}{2 * 9.81} \right) * 1\,000$$

$$H_L = 22.064 \text{ mm}$$

*El valor del coeficiente empírico (C_d), para cuando la rejilla se encuentra limpia corresponde a 0.7 [9].

Adicionalmente a esto, se evaluó la pérdida de carga producida con un 50% del área obstruida de la rejilla, entonces:

$$A_{n_{obstruida}} = A_n - (X\% * A_n) \text{-----} (E10)$$

$$A_{n_{obstruida}} = 1\,125 - (50\% * 1\,125)$$

$$A_{n_{obstruida}} = 562.50 \text{ cm}^2$$

Por lo que, la velocidad de flujo cuando la rejilla se encuentra obstruida es de:

$$V_r = \left(\frac{Q}{A_{n_{obstruida}}} \right) \text{-----} (E11)$$

$$V_r = \left(\frac{0.08 \text{ m}^3/\text{s}}{0.056 \text{ m}^2} \right)$$

$$V_r = 1.42 \text{ m/s}$$

Reemplazando en la ecuación E9, determinamos nuevamente la pérdida de carga, pero esta vez considerando la obstrucción al 50% de esta.

$$H_L = \frac{1}{0.6} * \left(\frac{1.420^2 - 0.450^2}{2 * 9.81} \right) * 1\,000$$

$$H_L = 154.00 \text{ mm}$$

*El valor del coeficiente empírico (C_d), para cuando la rejilla se encuentra obstruida corresponde a 0.6 [9].

Para la determinación del perfil hidráulico, se utilizará el valor más desfavorable de la pérdida de carga, calculado para cada uno de los casos (reja limpia o reja obstruida).

Como consideraciones finales, para completar el diseño y dimensionamiento del cribado, calculamos el borde libre y la longitud de esta, con las siguientes ecuaciones correspondientemente:

$$b_L = \sqrt{c * h} \text{----- (E12)}$$

$$b_L = \sqrt{0.46 * 0.60}$$

$$b_L = 0.52 \text{ m} \cong 0.55 \text{ m}$$

*El coeficiente adimensional c , con un valor de 0.46, para caudales menores o iguales a $0.60 \text{ m}^3/\text{s}$ [1].

$$L_r = h_T / \sin \theta \text{----- (E12)}$$

$$L_r = (0.6 + 0.55) / \sin 45^\circ$$

$$L_r = 1.626 \text{ m}$$

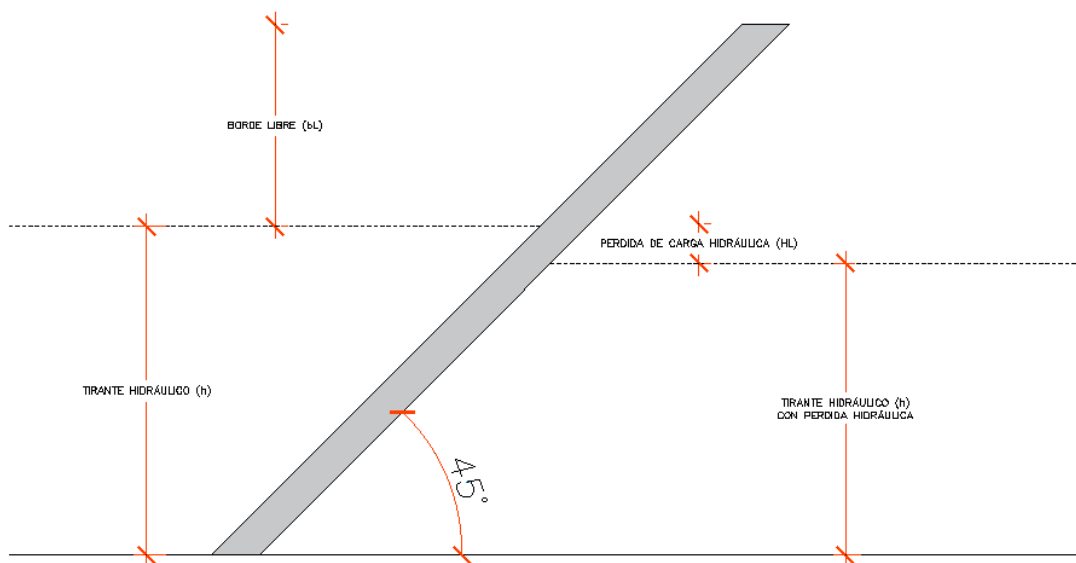


Ilustración 52. Perfil hidráulico en el cribado (Fuente: Elaboración propia).

2.2. DIMENSIONAMIENTO DE DESARENADOR

Luego del proceso de cribado, el desarenador tiene como función separar del afluente la arena y partículas en suspensión, para así evitar el decantamiento de estas en las estructuras de conducción, proteger de la abrasión y evitar sobrecargas en los posteriores procesos.

DATOS GENERALES				
- Caudal de diseño	Q_i	=	0.080	m ³ /s
	Q_i	=	79.583	lts/s
- Densidad de la partícula	ρ_a	=	2.650	g/cm ³
- Densidad del agua	ρ	=	1.000	g/cm ³
- Viscosidad cinemática	μ	=	0.0096	cm ² /s

DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR				
DATOS PREVIOS Y CARACTERISTICAS PROPIAS DE DISEÑO				
- Tipo de desarenador	DE FLUJO HORIZONTAL			
- Ancho de garganta (según caudal)	TABLA N° 85	W	=	15.200 cm
- Diametro de la partícula		d	=	0.020 cm
DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL				

Como primer paso para el dimensionamiento, de esta estructura, ya que conocemos el caudal de ingreso y la velocidad de flujo, determinamos el área necesaria:

$$A = \frac{Q}{V_f}$$

$$A = 0.08 / 0.30$$

$$A = 0.267 \text{ m}^2$$

Ahora para determinar el tirante hidráulico del desarenador, utilizamos el principio de Bernoulli (considerando datos determinados en el diseño del canal Parshall):

$$h + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g} - h_L = H_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2 * g}$$

$$h + \frac{0.30^2}{2 * 9.81} = 0.373 + \frac{0.80^2}{2 * 9.81} + 0.10 * \left[\frac{0.80^2}{2 * 9.81} - \frac{0.30^2}{2 * 9.81} \right]$$

$$h = 0.40 \text{ m}$$

*Tener en cuenta que, “h”, es la altura del agua en el desarenador.

Entonces, el ancho del canal será:

$$A = B * h$$

$$0.267 = B * 0.40$$

$$B = 0.70 \text{ m.}$$

Luego para determinar la longitud del canal, teniendo en consideración el factor de amplificación “K”, que para una velocidad de horizontal de 0.30 m/s, tiene el valor de 1.50, entonces:

$$L = K * \left[\frac{(V * h)}{V_s} \right] \text{-----} (E20)$$

$$L = 1.5 * \left[\frac{(0.30 * 0.4)}{0.0262} \right]$$

$$L = 7.00 \text{ m.}$$

Verificamos el cumplimiento con la relación indicada en la normativa $L/h = 25$, entonces:

$$L = 25 * h \text{ ----- (E21)}$$

$$L = 25 * 0.4$$

$$L = 10 \text{ m.}$$

El RNE, indica una longitud adicional del 25%, lo que significaría que:

$$L_d = 1.25 * L \text{ ----- (E22)}$$

$$L_d = 1.25 * 10$$

$$L_d = 12.50 \text{ m.}$$

Para proseguir, debemos analizar también el desplazamiento de la partícula en su proceso de sedimentación, por ello procede al cálculo, de la velocidad de sedimentación, por medio de la Ley de Stokes, según la siguiente formula:

$$V_s = \frac{1}{18} * g * \left(\frac{\rho_s - \rho}{\mu} \right) * d^2 \text{ ----- (E13)}$$

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 * \left(\frac{2.65 - 1}{0.0096} \right) * 0.02^2$$

$$V_s = 3.75 \text{ cm/s}$$

Conociendo la velocidad de sedimentación, procedemos a comprobar el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V_s * d}{\mu} \text{ ----- (E14)}$$

$$R_e = \frac{3.75 * 0.02}{0.0096}$$

$$R_e = 7.81$$

De acuerdo con la tabla 69, para aplicar la Ley de Stokes, el número de Reynolds, correspondiente al régimen de flujo laminar, debe cumplir que:

$$R_e \leq 1.00$$

Con lo que comprobamos que, no pertenece a la zona de aplicación de la Ley de Stokes. Por lo que procedemos a realizar un reajuste de la velocidad de sedimentación, considerando la sedimentación de la partícula en el régimen de transición, mediante el cálculo del término del diámetro y velocidad, según el siguiente gráfico:

*Término de diámetro:

$$T_D = \left[g * \left(\frac{\rho_s - \rho}{\mu^2} \right) \right]^{1/3} * d \text{ ----- (E15)}$$

$$T_D = \left[981 * \left(\frac{2.65 - 1}{0.0096^2} \right) \right]^{1/3} * 0.02$$

$$T_D = 5.20$$

*Término de la velocidad de sedimentación:

$$T_V = \frac{V_s}{[g * (\rho_s - \rho) * \mu]^{1/3}} \text{ ----- (E16)}$$

$$1 = \frac{V_s}{[981 * (2.65 - 1) * 0.0096]^{1/3}}$$

$$V_s = 2.50 \text{ cm/s}$$

Ahora, dado ya el reajuste, procedemos a corroborar el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V_s * d}{\mu} \text{ ----- (E14)}$$

$$R_e = \frac{2.50 * 0.02}{0.0096}$$

$$R_e = 5.20$$

Este nos indica que, en efecto, se encuentra en la zona de transición del régimen de flujo, por lo que se aplica la Ley de Allen. Luego de ello, se procede al cálculo del coeficiente de arrastre de la partícula, con el nuevo valor de Reynolds reajustado, mediante la siguiente expresión:

$$C_D = \frac{24}{R_e} + \frac{3}{\sqrt{R_e}} + 0.34 \text{ ----- (E17)}$$

$$C_D = \frac{24}{7.81} + \frac{3}{\sqrt{7.81}} + 0.34$$

$$C_D = 6.27$$

Considerante este factor, calculamos la velocidad de sedimentación en la zona de transición, mediante la siguiente expresión:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * (\rho_s - \rho) * d} \text{ ----- (E18)}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{981}{6.27} * (2.65 - 1) * 0.02}$$

$$V_s = 2.62 \text{ cm/s}$$

Ahora calculamos, el tiempo de retención:

$$T_s = h/V_s \text{-----} (E19)$$

$$T_s = 0.40/0.0262$$

$$T_s = 15.27 \text{ seg.}$$

Ya que contamos con el tiempo de sedimentación, podemos calcular el volumen necesario para el desarenador, mediante la siguiente expresión:

$$V_1 = Q * T_s \text{-----} (E20)$$

$$V_1 = 0.08 * 15.27$$

$$V_1 = 1.22 \text{ m}^3$$

Y el volumen dimensionado para el desarenador, seria:

$$V_2 = L * h * b \text{-----} (E21)$$

$$V_2 = 10.00 * 0.40 * 0.70$$

$$V_2 = 2.8 \text{ m}^3$$

Dado que el volumen dimensionado, es superior al necesario entonces es correcto, el criterio adoptado.

Ya para finalizar, calculamos la longitud de la zona de transición:

$$L_t = \frac{B - d}{2 * \tan(\theta)} \text{-----} (E22)$$

*El ángulo vario de entre 12° y 30°, dado que para este diseño anteriormente se ha usado la relación 3:4, el ángulo a usar será de 12°.

$$L_t = \frac{0.70 - 0.30}{2 * \tan(12)}$$

$$L_t = 1.00 \text{ m.}$$

2.3. DIMENSIONAMIENTO DE CANAL PARSHALL

Generalmente los flujos de entrada a las plantas de tratamiento son muy variados, sin embargo, se debe mantener la velocidad de flujo constante, lo cual se logra mediante un dispositivo de control hidráulico, como el canal Parshall.

A continuación, se expone el dimensionamiento del dispositivo para controlar la velocidad del flujo, en relación con el caudal de diseño:

DATOS GENERALES			
- Caudal de diseño	Q_i	=	0.080 m ³ /s
	Q_i	=	79.583 lts/s
- Caudal máximo	$Q_{m\acute{a}x.}$	=	0.080 m ³ /s
	$Q_{m\acute{a}x.}$	=	79.583 lts/s
- Caudal mínimo	$Q_{m\acute{i}n.}$	=	0.023 m ³ /s
	$Q_{m\acute{i}n.}$	=	22.716 lts/s
DIMENSIONAMIENTO DE LA CANALETA DE PARSHALL			
DATOS PREVIOS Y CARACTERISTICAS PROPIAS DE DISEÑO			
- Ancho de garganta (según caudal)	TABLA N° 85	W	= 15.200 cm
DIMENSIONAMIENTO DE LA CANALETA DE PARSHALL			

Calculamos el tirante H_a , mediante La siguiente expresión:

$$H_a = \left(Q_i / 0.380 \right)^{1/1.580} \text{-----} (E21)$$

$$H_a = (0.08 / 0.380)^{1/1.580}$$

$$H_a = 0.373 \text{ m}$$

De acuerdo con la tabla 93, el ancho al inicio del canal es de 40.30 cm, entonces el valor del ancho en 2/3 A, resulta:

$$\frac{D}{A} = \frac{W_a}{2/3 * A} \text{-----} (E22)$$

$$W_a = 26.87 \text{ cm.}$$

Entonces la velocidad en el punto de medida (2/3 A) de H_a , es:

$$V_a = \frac{Q}{W_a * H_a} \text{-----} (E23)$$

$$V_a = \frac{0.080}{26.87/100 * 0.373}$$

$$V_a = 0.80 \text{ m/s}$$

De la tabla 93, obtenemos las dimensiones faltantes del canal de Parshall, son:

- Longitud de la sección convergente, 61 cm.
- Ancho de entrada de la sección convergente, 40.30 cm
- Longitud de la garganta, 30.50 cm.
- Longitud de la sección divergente, 61.00 cm.
- Ancho de salida de la sección divergente, 39.40 cm.
- Longitud total del canal, 1.31 m.

3. TREN DE TRATAMIENTO N° 01

Laguna Facultativa + Laguna Facultativa con 6 mamparas + Laguna de maduración mamparas

3.1. DIAGRAMA DE FLUJO

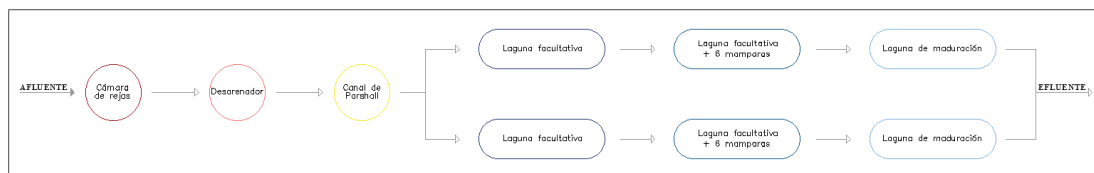


Ilustración 53. Diagrama de flujo de tren de tratamiento N° 01 (Fuente: Elaboración propia).

3.2. DIMENSIONAMIENTO

DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA

(Método de Yáñez)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	Q_i	=	3438.00 m ³ /día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO_i	=	100 mgO ₂ /L
- Coliformes	N_i	=	35,000,000.00 NMP/100ml
- Temperatura	T	=	19.23 °C
- Talud	Z	=	1 : 2 V:H
- Evaporación	e	=	5.00 mm/día
- Profundidad del Estanque	Z	=	1.50 m
- Relación Largo - Ancho	X	=	2.00 m
2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Carga Orgánica	$C.O. = Q_i(DBO_i)/1000$	$C.O.$	= 343.800 kg/día
- Carga Superficial de diseño	$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20}$	λ_s	= 234.779 kgDBO ₅ /ha*día
- Área de Laguna Facultativa	$A_f = 10L_iQ_{med}/\lambda_s; Q_{med} = Q_i$	A_f	= 14643.559 m ²
- Volumen de la Laguna	$V = A_f(Z)$	V	= 21965.338 m ³
- Tiempo Medio de Retención	$O_F = V/Q_i$	O_F	= 6.389 días
- Dimensionamiento (Relación Largo - Ancho $X = 3$)			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \sqrt{A_f/X}$	B_{prom}	= 85.567 m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = A_f/B_{prom}$	L_{prom}	= 171.135 m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$	B_{sup}	= 88.567 m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$	L_{sup}	= 172.635 m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$	A_{sup}	= 15289.814 m ²
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$	B_{inf}	= 82.567 m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$	L_{inf}	= 169.635 m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001A_{sup}e$	Q_e	= 3361.550 m ³ /día
- Relación Largo - Ancho	$X = L_{prom}/B_{prom}$	X	= 2.000 m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$	d	= 0.465
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$	K_b	= 0.798 d ⁻¹
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_F d)}$	a	= 3.238
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{\frac{1}{2d}})}{[(1 + a)^2 * e^{\frac{a}{2d}} - (1 - a)^2 * e^{\frac{a}{2d}}]}$	CF_e	= 2,275,563.112 NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e,corregido} = (N_e * Q_i)/Q_e$	$N_{e,c}$	= 2,327,314.444 NMP/100 mL
- Coeficiente "Kf"	$K_f = K_{f,20}/(1.085)^{35-T}$	K_f	= 0.331 d ⁻¹
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i/(K_f O_F + 1)$	DBO_{ef}	= 32.074 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_e)/DBO_i] \times 100$	$\%$	= 67.93 %
- DBO corregida por evaporización	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$	DBO_e	= 32.803 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(CF_i - CF_e)/CF_i] \times 100$	$\%$	= 93.50 %

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA + MAMPARAS

(Método de Yáñez)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	$Q_i =$	3438.00	m ³ /día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	$DBO_i =$	32.803	mgO ₂ /L
- Coliformes Fecales en el Influyente	$N_i =$	2,327,314.44	NMP/100ml
- Temperatura	$T =$	19.23	°C
- Talud	$Z =$	1 : 2	V:H
- Evaporación	$e =$	5.00	mm/día
- Profundidad del Estanque	$Z =$	1.50	m
- Relación Largo - Ancho	$X =$	2.00	m
- Número de Mamparas	$n =$	6.00	und.
2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Carga Orgánica	$C.O. = Q_i(DBO_i)/1000$	$C.O. =$	112.778 kg/día
- Carga Superficial de diseño	$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20}$	$\lambda_s =$	234.779 kgDBO ₅ /ha*día
- Área de Laguna Facultativa	$A_f = 10L_iQ_{med}/\lambda_s ; Q_{med} = Q_i$	$A_f =$	4803.564 m ²
- Volumen de la Laguna	$V = A_f(Z)$	$V =$	7205.345 m ³
- Tiempo Medio de Retención	$O_F = V/Q_i$	$O_F =$	2.096 días
- Dimensionamiento (Relación Largo - Ancho $X = 3$)			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \sqrt{A_f/X}$	$B_{prom} =$	49.008 m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = A_f/B_{prom}$	$L_{prom} =$	98.016 m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$	$B_{sup} =$	52.008 m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$	$L_{sup} =$	99.516 m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$	$A_{sup} =$	5175.623 m ²
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$	$B_{inf} =$	46.008 m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$	$L_{inf} =$	96.516 m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001A_{sup}e$	$Q_e =$	3412.121 m ³ /día
- Relación Largo - Ancho	$X = \frac{L_{prom} * 0.7 * (n + 1)}{[B_{prom}/(n + 1)]}$	$X =$	68.600 m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$	$d =$	0.014
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$	$K_b =$	0.795 d ⁻¹
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_F d)}$	$a =$	1.047
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{\frac{1}{2d}})}{[(1 + a)^2 * e^{\frac{a}{2d}} - (1 - a)^2 * e^{\frac{a}{2d}}]}$	$CF_e =$	434,141.94 NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e,corregido} = (N_e * Q_i)/Q_e$	$N_{e,c} =$	437,434.55 NMP/100 mL
- Coeficiente "Kf"	$K_f = K_{fsc}/(1.085)^{35-T}$	$K_f =$	0.331 d ⁻¹
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i / (K_f O_F + 1)$	$DBO_{ef} =$	19.356 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_{ef})/DBO_i] * 100$	$\% =$	40.993 %
- DBO corregida por evaporización	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$	$DBO_e =$	19.503 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(CF_i - CF_e)/CF_i] * 100$	$\% =$	81.35 %

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE LAGUNA DE MADURACIÓN

(Método de Flujo Disperso)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	$Q_i =$	3438.00	m3/día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	$DBO_i =$	19.503	mgO ₂ /L
- Coliformes Fecales en el Influyente	$N_i =$	437,434.55	NMP/100ml
- Temperatura	$T =$	19.23	°C
- Talud	$Z =$	1 : 2	V:H
- Evaporación	$e =$	5.00	mm/día
- Profundidad del Estanque	$Z =$	1.50	m
- Relación Largo - Ancho	$X =$	2.00	m
2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Tiempo de Retención Hidráulico	$O_{m1} = V/Q_i$	$O_{m1} =$	10.000 días
- Volumen de la laguna	$V = Q_i * O_{m1}$	$O_{m1} =$	34379.989 días
- Área de Laguna Facultativa	$A_m = (\tau * Q)/Z$	$A_m =$	22,919.99 m2
		$A_m =$	2.29 ha
- Dimensionamiento			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \text{Ancho de Laguna facultativa}$	$B_{prom} =$	49.008 m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = X * B_{prom}$	$L_{prom} =$	98.016 m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$	$B_{sup} =$	52.008 m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$	$L_{sup} =$	101.016 m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$	$A_{sup} =$	5253.635 m2
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$	$B_{inf} =$	46.008 m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$	$L_{inf} =$	95.016 m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001 A_{sup} e$	$Q_e =$	3411.731 m3/día
- Relación Largo - Ancho	$X = L_{prom}/B_{prom}$	$X =$	2.000 m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$	$d =$	0.465
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$	$K_b =$	0.795 d ⁻¹
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_f d)}$	$a =$	3.974
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{(\frac{1}{2d})})}{[(1 + a)^2 * e^{(\frac{a}{2d})} - (1 - a)^2 * e^{(\frac{a}{2d})}]}$	$CF_e =$	2,098.878 NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e_{corregido}} = (N_e * Q_i)/Q_e$	$N_{e_c} =$	2,115.038 NMP/100 mL
- Coeficiente "Kf"	$K_f = K_{f_{35}}/(1.085)^{35-T}$	$K_f =$	0.331 d ⁻¹
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i/(K_f O_{m1} + 1)$	$DBO_{ef} =$	4.520 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_e)/DBO_i] * 100$	$\% =$	76.824 %
- DBO corregida por evaporización	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$	$DBO_e =$	4.555 mg/L

Fuente: Elaboración propia.

4. TREN DE TRATAMIENTO N° 02

Laguna Facultativa + Laguna Facultativa con 6 mamparas + Laguna de maduración con 6 mamparas

4.1. DIAGRAMA DE FLUJO

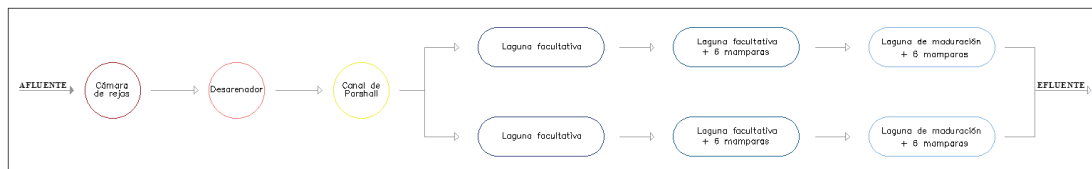


Ilustración 54. Diagrama de flujo de tren de tratamiento N° 02 (Fuente: Elaboración propia).

4.2. DIMENSIONAMIENTO

DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA

(Método de Yáñez)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	Q_i	=	3438.00 m ³ /día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO_i	=	100 mgO ₂ /L
- Coliformes	N_i	=	35,000,000.00 NMP/100ml
- Temperatura	T	=	19.23 °C
- Talud	Z	=	1 : 2 V:H
- Evaporación	e	=	5.00 mm/día
- Profundidad del Estanque	Z	=	1.50 m
- Relación Largo - Ancho	X	=	2.00 m
2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Carga Orgánica	$C.O. = Q_i(DBO_i)/1000$	$C.O.$	= 343.800 kg/día
- Carga Superficial de diseño	$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20}$	λ_s	= 234.779 kgDBO ₅ /ha*día
- Área de Laguna Facultativa	$A_f = 10L_i(Q_{med}/\lambda_s; Q_{med} = Q_i)$	A_f	= 14643.559 m ²
- Volumen de la Laguna	$V = A_f(Z)$	V	= 21965.338 m ³
- Tiempo Medio de Retención	$O_F = V/Q_i$	O_F	= 6.389 días
- Dimensionamiento (Relación Largo - Ancho $X = 3$)			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \sqrt{A_f/X}$	B_{prom}	= 85.567 m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = A_f/B_{prom}$	L_{prom}	= 171.135 m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$	B_{sup}	= 88.567 m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$	L_{sup}	= 172.635 m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$	A_{sup}	= 15289.814 m ²
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$	B_{inf}	= 82.567 m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$	L_{inf}	= 169.635 m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001A_{sup}e$	Q_e	= 3361.550 m ³ /día
- Relación Largo - Ancho	$X = L_{prom}/B_{prom}$	X	= 2.000 m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$	d	= 0.465
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$	K_b	= 0.798 d ⁻¹
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_F d)}$	a	= 3.238
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{\frac{1}{2ad}})}{[(1 + a)^2 * e^{\frac{a}{2d}} - (1 - a)^2 * e^{\frac{a}{2d}}]}$	CF_e	= 2,275,563.112 NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e,corregido} = (N_e * Q_i)/Q_e$	$N_{e,c}$	= 2,327,314.444 NMP/100 mL
- Coeficiente "K _f "	$K_f = K_{f,c}/(1.085)^{35-T}$	K_f	= 0.331 d ⁻¹
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i/(K_f O_F + 1)$	DBO_{ef}	= 32.074 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_e)/DBO_i] \times 100$	$\%$	= 67.93 %
- DBO corregida por evaporización	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$	DBO_e	= 32.803 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(CF_i - CF_e)/CF_i] \times 100$	$\%$	= 93.50 %

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA + MAMPARAS

(Método de Yáñez)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	Q_i	=	3438.00 m3/día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO_i	=	32.803 mgO ₂ /L
- Coliformes Fecales en el Influyente	N_i	=	2,327,314.44 NMP/100ml
- Temperatura	T	=	19.23 °C
- Talud	Z	=	1 : 2 V:H
- Evaporación	e	=	5.00 mm/día
- Profundidad del Estanque	Z	=	1.50 m
- Relación Largo - Ancho	X	=	2.00 m
- Número de Mamparas	n	=	6.00 und.

2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Carga Orgánica	$C.O. = Q_i(DBO_i)/1000$	$C.O.$	= 112.778 kg/día
- Carga Superficial de diseño	$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20}$	λ_s	= 234.779 kgDBO5/ha*día
- Área de Laguna Facultativa	$A_f = 10L_iQ_{med}/\lambda_s ; Q_{med} = Q_i$	A_f	= 4803.564 m2
- Volumen de la Laguna	$V = A_f(Z)$	V	= 7205.345 m3
- Tiempo Medio de Retención	$O_F = V/Q_i$	O_F	= 2.096 días
- Dimensionamiento (Relación Largo - Ancho $X=3$)			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \sqrt{A_f/X}$	B_{prom}	= 49.008 m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = A_f/B_{prom}$	L_{prom}	= 98.016 m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$	B_{sup}	= 52.008 m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$	L_{sup}	= 99.516 m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$	A_{sup}	= 5175.623 m2
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$	B_{inf}	= 46.008 m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$	L_{inf}	= 96.516 m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001A_{sup}e$	Q_e	= 3412.121 m3/día
- Relación Largo - Ancho	$X = \frac{L_{prom} * 0.7 * (n + 1)}{[B_{prom}/(n + 1)]}$	X	= 68.600 m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$	d	= 0.014
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$	K_b	= 0.795 d ⁻¹
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_F d)}$	a	= 1.047
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{\frac{1}{2d}})}{[(1 + a)^2 * e^{\frac{a}{2d}} - (1 - a)^2 * e^{\frac{a}{2d}}]}$	CF_e	= 434,141.94 NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e_{corregido}} = (N_e * Q_i)/Q_e$	N_{e_c}	= 437,434.55 NMP/100 mL
- Coeficiente "Kf"	$K_f = K_{f_{oc}}/(1.085)^{35-T}$	K_f	= 0.331 d ⁻¹
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i/(K_f O_F + 1)$	DBO_{ef}	= 19.356 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_e)/DBO_i] \times 100$	$\%$	= 40.993 %
- DBO corregida por evaporización	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$	DBO_e	= 19.503 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(CF_i - CF_e)/CF_i] \times 100$	$\%$	= 81.35 %

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE LAGUNA DE MADURACIÓN + MAMPARAS

(Método de Flujo Disperso)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	Q_i	=	3438.00 m3/día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO_i	=	19.503 mgO ₂ /L
- Coliformes Fecales en el Influyente	N_i	=	437,434.55 NMP/100ml
- Temperatura	T	=	19.23 °C
- Talud	Z	=	1 : 2 V:H
- Evaporación	e	=	5.00 mm/día
- Profundidad del Estanque	Z	=	1.50 m
- Relación Largo - Ancho	X	=	2.00 m
- Número de Mamparas	n	=	6.00 und.
2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Tiempo de Retención Hidráulico	$O_{m1} = V/Q_i$	O_{m1}	= 10.000 días
- Volumen de la laguna	$V = Q_i * O_{m1}$	O_{m1}	= 34379.989 días
- Área de Laguna Facultativa	$A_m = (\tau * Q)/Z$	A_m	= 22,919.99 m2
		A_m	= 2.29 ha
- Dimensionamiento			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \text{Ancho de Laguna facultativa}$	B_{prom}	= 49.008 m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = X * B_{prom}$	L_{prom}	= 98.016 m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$	B_{sup}	= 52.008 m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$	L_{sup}	= 101.016 m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$	A_{sup}	= 5253.635 m2
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$	B_{inf}	= 46.008 m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$	L_{inf}	= 95.016 m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001A_{sup}e$	Q_e	= 3411.731 m3/día
- Relación Largo - Ancho	$X = \frac{L_{prom} * 0.7 * (n + 1)}{[B_{prom}/(n + 1)]}$	X	= 68.600 m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$	d	= 0.014
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$	K_b	= 0.795 d ⁻¹
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_F d)}$	a	= 1.207
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{\frac{1}{2d}})}{[(1 + a)^2 * e^{\frac{a}{2d}} - (1 - a)^2 * e^{\frac{a}{2d}}]}$	CF_e	= 266.931 NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e\text{corregido}} = (N_e * Q_i)/Q_e$	N_{e_c}	= 268.986 NMP/100 mL
- Coeficiente "K _f "	$K_f = K_{f_{20}}/(1.085)^{35-T}$	K_f	= 0.331 d ⁻¹
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i / (K_f O_{m1} + 1)$	DBO_{ef}	= 4.520 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_e)/DBO_i] * 100$	$\%$	= 76.824 %
- DBO corregida por evaporización	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$	DBO_e	= 4.555 mg/L

Fuente: Elaboración propia.

5. TREN DE TRATAMIENTO N° 03

Laguna Facultativa con 6 mamparas + Laguna Facultativa con 6 mamparas + Laguna de maduración con 6 mamparas

5.1. DIAGRAMA DE FLUJO

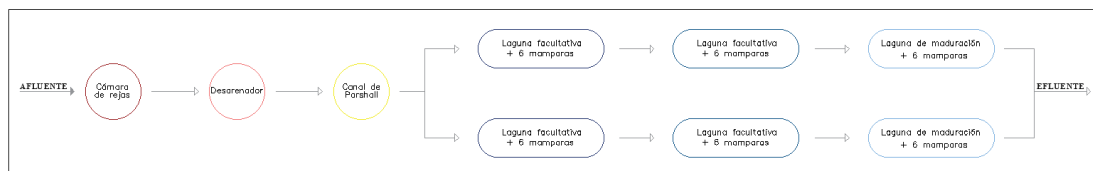


Ilustración 55. Diagrama de flujo de tren de tratamiento N° 03 (Fuente: Elaboración propia).

5.2. DIMENSIONAMIENTO

DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA + MAMPARAS

(Método de Yáñez)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	Q_i	=	3438.00 m ³ /día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO_i	=	100 mgO ₂ /L
- Coliformes Fecales en el Influyente	N_i	=	35,000,000.00 NMP/100ml
- Temperatura	T	=	19.23 °C
- Talud	Z	=	1 : 2 V:H
- Evaporación	e	=	5.00 mm/día
- Profundidad del Estanque	Z	=	1.50 m
- Relación Largo - Ancho	X	=	2.00 m
- Número de Mamparas	n	=	6.00 und.
2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Carga Orgánica	$C.O. = Q_i(DBO_i)/1000$	$C.O.$	= 343.800 kg/día
- Carga Superficial de diseño	$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20}$	λ_s	= 234.779 kgDBO ₅ /ha*día
- Área de Laguna Facultativa	$A_f = 10L_iQ_{med}/\lambda_s ; Q_{med} = Q_i$	A_f	= 14643.559 m ²
- Volumen de la Laguna	$V = A_f(Z)$	V	= 21965.338 m ³
- Tiempo Medio de Retención	$O_F = V/Q_i$	O_F	= 6.389 días
- Dimensionamiento (Relación Largo - Ancho $X = 3$)			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \sqrt{A_f/X}$	B_{prom}	= 85.567 m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = A_f/B_{prom}$	L_{prom}	= 171.135 m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$	B_{sup}	= 88.567 m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$	L_{sup}	= 172.635 m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$	A_{sup}	= 15289.814 m ²
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$	B_{inf}	= 82.567 m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$	L_{inf}	= 169.635 m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001A_{sup}e$	Q_e	= 3361.550 m ³ /día
- Relación Largo - Ancho	$X = \frac{L_{prom} * 0.7 * (n + 1)}{[B_{prom}/(n + 1)]}$	X	= 68.600 m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$	d	= 0.014
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$	K_b	= 0.795 d ⁻¹
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_F d)}$	a	= 1.136
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{(\frac{1}{2d})})}{[(1 + a)^2 * e^{(\frac{a}{2d})} - (1 - a)^2 * e^{(\frac{a}{2d})}]}$	CF_e	= 270,940.25 NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e\text{corregido}} = (N_e * Q_i)/Q_e$	N_{e_c}	= 277,102.03 NMP/100 mL
- Coeficiente "Kf"	$K_f = K_{f,c}/(1.085)^{35-T}$	K_f	= 0.331 d ⁻¹
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i/(K_f O_F + 1)$	DBO_{ef}	= 32.074 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_e)/DBO_i] \times 100$	$\%$	= 67.926 %
- DBO corregida por evaporización	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$	DBO_e	= 32.803 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(CF_i - CF_e)/CF_i] \times 100$	$\%$	= 99.23 %

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA + MAMPARAS

(Método de Yáñez)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	Q_i	=	3438.00 m3/día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO_i	=	32.803 mgO ₂ /L
- Coliformes Fecales en el Influyente	N_i	=	277,102.03 NMP/100ml
- Temperatura	T	=	19.23 °C
- Talud	Z	=	1 : 2 V:H
- Evaporación	e	=	5.00 mm/día
- Profundidad del Estanque	Z	=	1.50 m
- Relación Largo - Ancho	X	=	2.00 m
- Número de Mamparas	n	=	6.00 und.
2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Carga Orgánica	$C.O. = Q_i(DBO_i)/1000$	$C.O.$	= 112.778 kg/día
- Carga Superficial de diseño	$\lambda_s = 250(1.085)^{T-20}$	λ_s	= 234.779 kgDBO5/ha*día
- Área de Laguna Facultativa	$A_f = 10L_iQ_{med}/\lambda_s ; Q_{med} = Q_i$	A_f	= 4803.564 m2
- Volumen de la Laguna	$V = A_f(Z)$	V	= 7205.345 m3
- Tiempo Medio de Retención	$O_F = V/Q_i$	O_F	= 2.096 días
- Dimensionamiento (Relación Largo - Ancho $X = 3$)			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \sqrt{A_f/X}$	B_{prom}	= 49.008 m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = A_f/B_{prom}$	L_{prom}	= 98.016 m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$	B_{sup}	= 52.008 m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$	L_{sup}	= 99.516 m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$	A_{sup}	= 5175.623 m2
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$	B_{inf}	= 46.008 m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$	L_{inf}	= 96.516 m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001A_{sup}e$	Q_e	= 3412.121 m3/día
- Relación Largo - Ancho	$X = \frac{L_{prom} * 0.7 * (n + 1)}{[B_{prom}/(n + 1)]}$	X	= 68.600 m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$	d	= 0.014
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$	K_b	= 0.795 d^-1
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_F d)}$	a	= 1.047
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{\frac{1}{2d}})}{[(1 + a)^2 * e^{\frac{a}{2d}} - (1 - a)^2 * e^{\frac{a}{2d}}]}$	CF_e	= 51,691.17 NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e_{corregido}} = (N_e * Q_i)/Q_e$	N_{e_c}	= 52,083.21 NMP/100 mL
- Coeficiente "Kf"	$K_f = K_{f_{20}}/(1.085)^{35-T}$	K_f	= 0.331 d^-1
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i/(K_f O_F + 1)$	DBO_{ef}	= 19.356 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_e)/DBO_i] \times 100$	$\%$	= 40.993 %
- DBO corregida por evaporación	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$	DBO_e	= 19.503 mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(CF_i - CF_e)/CF_i] \times 100$	$\%$	= 81.35 %

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE LAGUNA DE MADURACIÓN + MAMPARAS

(Método de Flujo Disperso)

1 DATOS GENERALES			
- Caudal Inicial	Q_i	=	3438.00 m3/día
- Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO_i	=	19.503 mgO ₂ /L
- Coliformes Fecales en el Influyente	N_i	=	52,083.21 NMP/100ml
- Temperatura	T	=	19.23 °C
- Talud	Z	=	1 : 2 V:H
- Evaporación	e	=	5.00 mm/día
- Profundidad del Estanque	Z	=	1.50 m
- Relación Largo - Ancho	X	=	2.00 m
- Número de Mamparas	n	=	6.00 und.
2 DESARROLLO DE DISEÑO			
- Tiempo de Retención Hidráulico	$O_{m1} = V/Q_i$		$O_{m1} = 10.000$ días
- Volumen de la laguna	$V = Q_i * O_{m1}$		$O_{m1} = 34379.989$ días
- Área de Laguna Facultativa	$A_m = (\tau * Q)/Z$		$A_m = 22,919.99$ m ²
			$A_m = 2.29$ ha
- Dimensionamiento			
ANCHO PROMEDIO (m)	$B_{prom} = \text{Ancho de Laguna facultativa}$		$B_{prom} = 49.008$ m
LONGITUD PROMEDIO (m)	$L_{prom} = X * B_{prom}$		$L_{prom} = 98.016$ m
- Medidas Largo y Ancho Superior			
ANCHO SUPERIOR (m)	$B_{sup} = B_{prom} + (Z)(Talud)$		$B_{sup} = 52.008$ m
LONGITUD SUPERIOR (m)	$L_{sup} = L_{prom} + (Z)(Talud)$		$L_{sup} = 101.016$ m
- Cálculo del Área Superficial	$A_{sup} = B_{sup}(L_{sup})$		$A_{sup} = 5253.635$ m ²
- Medidas Largo y Ancho Inferior			
ANCHO INFERIOR (m)	$B_{inf} = B_{prom} - (Z)(Talud)$		$B_{inf} = 46.008$ m
LONGITUD INFERIOR (m)	$L_{inf} = L_{prom} - (Z)(Talud)$		$L_{inf} = 95.016$ m
- Gasto en el Efluente	$Q_e = Q_i - 0.001A_{sup}e$		$Q_e = 3411.731$ m3/día
- Relación Largo - Ancho	$X = \frac{L_{prom} * 0.7 * (n + 1)}{[B_{prom}/(n + 1)]}$		$X = 68.600$ m
- Coeficiente de Dispersión	$d = X/(-0.26118 + 0.25392X + 1.0136X^2)$		$d = 0.014$
- Coeficiente de Reducción Bacteriana	$K_b = 0.841(1.075)^{T-20}$		$K_b = 0.795$ d ⁻¹
- Constante "a"	$a = \sqrt{1 + 4(K_b O_f d)}$		$a = 1.207$
- Coliformes fecales en el efluente	$CF_e = \frac{CF_i * (4 * a * e^{\frac{1}{2d}})}{[(1 + a)^2 * e^{\frac{a}{2d}} - (1 - a)^2 * e^{\frac{a}{2d}}]}$		$CF_e = 31.782$ NMP/100 mL
- Coliformes fecales corregidos por evaporación	$N_{e_{corregido}} = (N_e * Q_i)/Q_e$		$N_{e_c} = 32.027$ NMP/100 mL
- Coeficiente "Kf"	$K_f = K_{fsc}/(1.085)^{35-T}$		$K_f = 0.331$ d ⁻¹
- Concentración de la DBO en el efluente	$DBO_{ef} = DBO_i/(K_f O_{m1} + 1)$		$DBO_{ef} = 4.520$ mg/L
- Eficiencia de Remoción de la DBO	$\% = [(DBO_i - DBO_e)/DBO_i] * 100$		$\% = 76.824$ %
- DBO corregida por evaporización	$DBO_e = (DBO_i * Q_i)/Q_e$		$DBO_e = 4.555$ mg/L

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°8

EVALUACIÓN DE IMPACTO

AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El presente Estudio de Impacto Ambiental (EIA), ha sido elaborado con la finalidad de tener una visión secuencial en espacio y tiempo de la ocurrencia de los posibles impactos ambientales en el entorno, que podría originar la ejecución del proyecto de investigación denominado **“EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE 2020”**.

He de destacar que los acápites más relevantes son: la línea base ambiental, la identificación de impactos, la evaluación de estos y el Plan de Manejo Ambiental.

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1. OBJETIVO GENERAL

Dar cumplimiento a la normativa y definir los impactos que genere el proyecto de implementación y rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cayaltí, planteado en las alternativas de solución. Así como establecer un plan de manejo con el objeto de evitar, minimizar o compensar los posibles impactos ambientales originados a raíz del desarrollo del proyecto.

1.2. MARCO LEGAL

- × Constitución Política del Perú de 1993, establece la protección de la salud de la población, la diversidad biológica y los recursos naturales.
- × Protocolo de KIOTO, establecido en la convención en el marco de la Naciones Unidas sobre el cambio climático.
- × Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.
- × Ley N° 28611, Ley de General del Ambiental.
- × Ley N° 26338, Ley de General de Servicios de Saneamiento.
- × Ley N° 26410, Ley de creación del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM).
- × Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y su reglamento.

- × Ley N° 25965, Ley de creación de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- × Reglamento Nacional de Edificación (RNE) - Norma OS. 090 – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

1.3. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en el sector de la Adelinas, en la localidad de Cayaltí, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. La PTAR, inicio su operación por el año 1998, solo con 2 lagunas de estabilización, del tipo facultativo, y a la fecha cuenta con los siguientes componentes: Sistema de pretratamiento (cámara de rejillas, desarenador, canal Parshall y caja de distribución de caudales), tratamiento primario y secundario (2 baterías conformadas cada una por 2 lagunas facultativas en serie) y disposición de efluentes (canal de riego San Nicolas).

La alternativa de solución que va a implementar presenta la siguiente configuración:

- Canal de aproximación con rejillas.
- Desarenador de flujo horizontal.
- Canal de Parshall.
- Laguna facultativa primaria con 6 mamparas.
- Laguna facultativa secundaria con 6 mamparas.
- Laguna de maduración con 6 mamparas.

Además, la entrada del afluente a cada una de las lagunas será por medio de entradas múltiples. Y la impermeabilización se realizará con una geomembrana, con una fijación reforzada en la base y áreas laterales del estanque.

1.4. ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

- × **Área de influencia directa:** Área en que podrían ocurrir impactos positivos o negativos en el medio físico, biológico y socioeconómico, como consecuencia directa del efecto que las actividades descritas en el proyecto podrían ocasionar en el medio.

- × **Área de influencia indirecta:** Área donde los impactos que se pudieran prever y/o generar en el medio, no son una consecuencia atribuible de forma directa a las actividades descritas en el proyecto.

1.5. LÍNEA BASE AMBIENTAL

1.5.1. LÍNEA BASE FÍSICA

Clima: La temperatura más alta se presenta en los meses de marzo (28.03 °C) y la menor de 19.23 °C, correspondiente al mes de agosto.

La precipitación media mensual es de 6.89mm. Y la velocidad máxima que alcanza el viento en el AID es de 4.60 m/s, en febrero, siendo la dirección predominante a lo largo del año es el suroeste.

Fisiografía: El relieve es poco accidentado, relativamente llano, con presencia mediana de vegetación (cultivos de arroz y caña), y en zonas aledañas encontramos árboles y arbustos.

Geología: La zona presenta depósitos aluviales (conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas), fluviales (gravas redondeadas), granodiorita y tonalita.

Geomorfología: El distrito de Cayaltí cuenta con una superficie aproximada de 162.86 km² y topográficamente se caracteriza por tener una pendiente llana (entre 0° a 5°).

Sismicidad: el área de influencia pertenece a la zona sísmica 4.

Suelo: En el AID del proyecto se identificaron arenas finas limosas de ligera plasticidad (SM) y arenas finas arcillosas de mediana plasticidad (SC).

Uso actual de la tierra: Uso agrícola.

Hidrología e hidrografía: El AID, se desplaza dentro de la cuenca de Zaña, siendo Cayaltí, uno de los 5 distritos que la abarcan (superficie total de la cuenca es de 2 158 km²).

1.5.2. LÍNEA BASE BIOLÓGICA

Ecosistemas frágiles: No se han identificado.

Formación ecológica: Se ubican 6 zonas de vida, según el mapa de Holdridge, desierto, estepa, matorral, bosque seco, paramo húmedo y monte espinoso.

Flora silvestre: Se identificaron las siguientes unidades vegetativas, algarrobo, guayacán, hualtaco y palo santo, entre otros.

Fauna silvestre: Se limita a animales domésticos, aves e insectos, lo que se debe a que el área ha sido intervenida por habilitaciones urbanas próximas.

Áreas protegidas: El proyecto no se desarrolla sobre una zona de amortiguamiento o área natural protegida.

1.5.3. LÍNEA BASE ECONÓMICA

Demografía: Extensión total de aproximadamente 162.86 km², y está conformado por 16 centros poblados.

Educación: El distrito de Cayaltí, cuenta con 16 instituciones educativas, de las que 10 pertenecen al sector público y 6 al sector privado.

Salud: El 20.24%, de la población no cuenta con seguro de salud.

Actividades económicas: La principal actividad económica se desarrolla es la agroindustria para la exportación, por ser un polo cañero.

1.5.4. DIAGNÓSTICO ARQUEOLÓGICO

La zona de estudio no presenta sitios arqueológicos e históricos, próximos que se ven afectados por la ejecución del proyecto.

1.6. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES

1.6.1. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Las actividades del proyecto son las siguientes:

- Trámites y documentación/Información a la población.
- Estudios de ingeniería previos.
- Instalación de infraestructura provisional
- Movilización y uso de maquinaria y equipos
- Señalización de áreas de trabajo
- Transporte de materiales

- Desbroce y limpieza
- Excavación y movimiento de tierras
- Rejillas – Desbaste.
- Desarenador.
- Canaleta de Parshall.
- Canales de repartición.
- Sistema de lagunaje.
- Estructuras de conexión.
- Construcción de estructuras complementarias.
- Impermeabilización de fondo.
- Compactación de terraplenes.
- Transporte y disposición de material excedente.
- Desmontaje de infraestructuras provisionales.
- Readecuación de las superficies intervenidas.
- Fiscalización de operatividad
- Limpieza rutinaria del sistema de pre. Tratamiento.
- Limpieza rutinaria del sistema lagunar
- Limpieza y control rutinario de toda el área de la PTAR.

1.6.2. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES

Los factores ambientales identificados para evaluar son los siguientes:

- Calidad del aire.
- Nivel de ruido.
- Generación de olores y gases.
- Generación de polvo.
- Subterránea (Agua).
- Reutilización de AR.
- Morfología del terreno.
- Generación de residuos.
- Cobertura vegetal.
- Fauna silvestre.
- Tierras agrícolas.
- Paisaje urbano.
- Estilo de vida/Tranquilidad.
- Empleo.
- Salud y seguridad.
- Nivel de vida.
- Saneamiento básico.
- Vectores de enfermedades/Insectos.

1.7. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Mediante la matriz de Leopold, de acuerdo a la interrelación existente entre los factores y las actividades del proyecto, definidas en 3 etapas de: planificación, construcción y operación y mantenimiento, se obtiene los factores ambientales más frágiles ante lo que significa la ejecución del proyecto, así como las actividades más impactantes/agresivas en el medio.

En la etapa de planificación, la acción que contribuye a la conservación de la calidad del medio ambiente son los ***“estudios de ingeniería previos”*** (+25). Y el factor ambiental más favorecido es el ***“empleo”*** (+34).

En la etapa de construcción, la acción más agresiva con el medio es la ***“excavación y movimiento de tierras”*** (-183) y la que contribuye a la conservación de la calidad del medio ambiente es la ***“impermeabilización del fondo”*** (+50). Y el factor ambiental más afectado es la ***“generación de polvo”*** (-147) y el más favorecido es el ***“empleo”*** (+151).

En la etapa de operación y mantenimiento, la acción que contribuye a la conservación de la calidad del medio ambiente es la ***“limpieza rutinaria del sistema de pretratamiento”*** (+98). Y el factor ambiental más afectado es el ***“saneamiento básico”*** (-39) y el más favorecido es la ***“reutilización del agua residual”*** (+203).

1.8. PLAN DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Este plan tiene por objetivo establecer un espacio de dialogo entre el estado, los titulares del proyecto y la población, para facilitar que esta última intervenga ya que el proyecto los beneficiara de forma directa.

1.9. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Programa de medidas preventivas, mitigadoras y correctivas

- ***Subprograma el manejo de residuos sólidos,*** este subprograma se propone con la finalidad de lograr una adecuada gestión y manejo de los residuos sólidos durante la ejecución del proyecto.
- ***Subprograma de salud local – COVID 19,*** este subprograma, busca garantizar la seguridad física del personal durante el desarrollo de sus actividades, dadas las circunstancias epidemiológicas.
- ***Subprograma de protección de los recursos arqueológicos y culturales,*** este subprograma, tiene como fin mantener un adecuado control de los impactos sobre los bienes culturales ubicados en el área del Proyecto. En este caso, la

zona en la que se ejecutará el proyecto no requiere de la implementación de este subprograma.

Programa de capacitación y educación ambiental

Este programa busca asegurar la salud física del personal, además de permitir la adecuada implementación de las medidas adoptadas para el manejo ambiental y protección del ecosistema en conjunto con la población.

Programa de monitoreo ambiental

Este programa está dirigido al cumplimiento de la normativa vigente en torno a la calidad del agua residual efluente, ello para verificar el adecuado funcionamiento de la planta.

Programa de cierre de obra

Este programa busca restaurar las zonas ocupadas, afectadas y/o alteradas por la ejecución del proyecto, con el fin de mantener en lo posible las condiciones originales o mejores del entorno, evitando la generación de nuevos problemas ambientales.

1.10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, de la evaluación de impacto ambiental llegamos a la conclusión de que: Los potenciales impactos positivos a producirse se han encontrado en la etapa de operación y mantenimiento, generando así un énfasis en la importancia de la implementación de un manual de operación y mantenimiento correspondiente netamente a la PTAR, y las características distintivas que esta presenta. Y los potenciales impactos negativos a producirse se han encontrado en su mayoría en la etapa de construcción, sin embargo, son manejables. El proyecto es ambientalmente viable.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Dar cumplimiento a lo establecido en la Normativa Ambiental aplicable, por medio de la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental y el Plan de Manejo Ambiental enmarcado en la Legislación Ambiental vigente.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del presente estudio son los siguientes:

- × Desarrollar el diagnóstico ambiental del área de estudio del proyecto.
- × Identificar los posibles riesgos tanto del ambiente al proyecto como del proyecto al ambiente.
- × Formular un Plan de Manejo Ambiental para el proyecto, con el objeto de evitar, minimizar o compensar los posibles impactos ambientales originados a raíz del desarrollo del proyecto.

3. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL APLICABLE AL PROYECTO

El sistema legislativo peruano, expone un número significativo de disposiciones en torno al tema ambiental, por ello, en este apartado se hacen de conocimiento aquellas ajustables al área propia del proyecto evaluado en este estudio, con el fin de su aplicación. Estas, se sintetizan a continuación.

3.1. NORMATIVA APLICABLE

- × Constitución Política del Perú de 1993, establece la protección de la salud de la población, la diversidad biológica y los recursos naturales.
- × Protocolo de KIOTO, establecido en la convención en el marco de la Naciones Unidas sobre el cambio climático.
- × Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.
- × Ley N° 28611, Ley de General del Ambiental.
- × Ley N° 26338, Ley de General de Servicios de Saneamiento.
- × Ley N° 26410, Ley de creación del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM).
- × Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y su reglamento.

- × Ley N° 25965, Ley de creación de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- × Reglamento Nacional de Edificación (RNE) - Norma OS. 090 – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

3.2. MARCO INSTITUCIONAL

Las instituciones que se encuentran relacionadas con el proyecto son las siguientes:

- × Ministerio del Ambiente (MINAM), autoridad ambiental nacional en Perú, que ejerce el rol de rector de la gestión ambiental, con el fin de garantizar el cuidado del ambiente, y su equilibrio con la actividad humana.
- × Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- × Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- × Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA).
- × Servicio Nacional de Certificación Ambiental (SENACE).

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1. UBICACIÓN

El área de estudio como ya se mencionó, se encuentra ubicado en la localidad de Cayaltí, perteneciente a la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

Exactamente se ubica en las coordenadas siguientes:

- **Latitud** : 6°32'39" latitud sur.
- **Longitud**: 79°51'51" latitud oeste.

Geográficamente el distrito de Cayaltí, se ubica en la costa del norte peruano, al sur de la ciudad de Chiclayo, sobre el valle de Zaña, a una distancia aproximada de 37 kilómetros, se sitúa a una altitud aproximada de 78 m.s.n.m.



Ilustración 56. Ubicación política de la PTAR.

Ubicación Administrativa

El servicio de tratamiento de aguas residuales, por medio de la planta de tratamiento en el distrito de Cayaltí, se encuentra a cargo de la municipalidad de esta, bajo el área Técnica Municipal de Agua y Saneamiento (ATMAS).

Ubicación Especifica

La planta de tratamiento de aguas residuales se ubica en el sector de la Adelinas, al costado del grifo Repsol, frente a la carretera Zaña, Cayaltí, Oyotún.

4.2. VÍAS DE ACCESO

La vía de acceso principal a Cayaltí, se realiza mediante la carretera Panamericana Norte, existe una distancia aproximada de 51 km y la duración del viaje es de cerca de 1 hora y 20 minutos, dependiendo del tráfico. El transporte público para ir a Cayaltí desde Chiclayo, es por medio de colectivos o combis que parten del terminal Epcel, con una duración de viaje aproximada de 1 hora y 30 minutos.

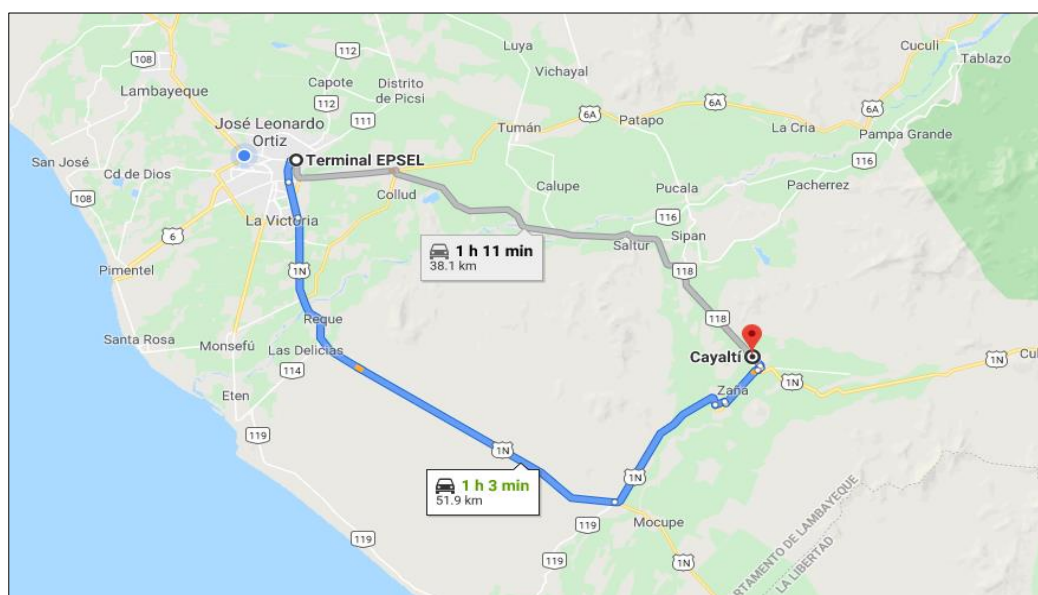


Ilustración 57. Vías de acceso al distrito de Cayaltí.

El transporte privado, tiene una duración aproximada de recorrido de viaje hasta dicho distrito, de hora y 3 minutos. Todo es relativo depende del tráfico, y horario de desplazamiento.

5. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAYALTÍ

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), inicio su operación aproximadamente por el año 1998, contando solo con 2 lagunas de estabilización para realizar un tratamiento primario. En el año 2015, en el marco de la ampliación del proyecto denominado “Mejoramiento del Plan Maestro de Saneamiento: Agua Potable, Desagüe y Tratamiento de Aguas Residuales del Cercado de Cayaltí y Anexos, Distrito de Cayaltí – Chiclayo – Lambayeque”, se incorporaron 2 lagunas de estabilización, correspondientes al tratamiento secundarios, y se mejoró el sistema de en general.

5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PTAR

La planta de tratamiento de aguas residuales del distrito cuenta con los siguientes componentes que la conforman para el desarrollo de los procesos de depuración del agua residual de la zona.

- **Pre-Tratamiento:** La etapa de pretratamiento, para su desarrollo cuenta con una cámara de rejas, un desarenador, una canaleta de Parshall y una caja de distribución de caudales para darle paso hacia el sistema de lagunaje.
- **Tratamiento Primario:** Este nivel de tratamiento se desarrolla por medio de una laguna de estabilización facultativa.
- **Tratamiento Primario:** Este nivel de tratamiento se desarrolla por medio de una laguna de estabilización facultativa.
- **Disposición de efluentes:** Respecto a la estructura para la conducción de los efluentes para su disposición final, se realiza mediante una línea de tubería que llega a un buzón de reunión, el cual a su vez descarga en el canal de riego San Nicolás, desde donde el agua es transportada para ser utilizada para el riego de los cultivos de arroz aladaños.

El sistema de lagunaje se realiza en serie, y está conformado por el nivel de tratamiento primario y secundario, para lo cual se cuenta con 2 baterías, compuestas por 1 laguna primaria y 1 secundaria correspondientemente para llevar a cabo la remoción de contaminantes del agua residual.



Ilustración 58. Componentes de la PTAR de Cayaltí.

5.2. MODIFICACIONES E IMPLEMENTACIONES PROPUESTAS

La alternativa de solución que va a implementar, a fin de mejorar la eficiencia del sistema, corresponde al tren de tratamiento N° 03.

Este presenta la siguiente configuración:

- Canal de aproximación con rejillas.
- Desarenador de flujo horizontal.
- Canal de Parshall.
- Laguna facultativa primaria con 6 mamparas.
- Laguna facultativa secundaria con 6 mamparas.
- Laguna de maduración con 6 mamparas.

Además, la entrada del afluente a cada una de las lagunas será por medio de entradas múltiples.

Por otro lado, para la impermeabilización se realizará con una geomembrana, con una fijación reforzada en la base y áreas laterales del estanque.

6. ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

El área de influencia se encuentra definida por el espacio geográfico sobre el cual se podrían producir impactos ambientales, ya sean directos o indirectos, debido a las actividades propuestas para que la PTAR mejore su eficiencia.

6.1. ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA (AID)

Se ha considerado como AID, al área en que podrían ocurrir impactos positivos o negativos en el medio físico, biológico y socioeconómico, en base fundamentalmente en la información primaria. Estos, producidos como consecuencia directa del efecto que las actividades descritas en el proyecto podrían ocasionar en el medio.

6.2. ÁREA DE INFLUENCIA INDIRECTA (AII)

Se ha considerado como AII, a aquella zona donde los impactos que se pudieran prever y/o generar en el medio, no son una consecuencia atribuible de forma

directa a las actividades descritas en el proyecto con el fin de lograr el mejoramiento de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito.

7. LÍNEA BASE AMBIENTAL

La presente línea base caracteriza el área de influencia del proyecto respecto a sus componentes ambientales y sociales; para ello se identificó en primera instancia los componentes que requerían una evaluación de mayor rigurosidad debido a que pueden ser indicadores de impacto ambiental. Para el análisis de los demás componentes se usó fuentes de información secundaria oficiales que se encuentran disponibles en las páginas web institucionales y en base a una inspección organoléptica.

7.1. LÍNEA BASE FÍSICA, BIOLÓGICA Y SOCIAL

La presente línea base caracteriza el área de influencia del proyecto respecto a sus componentes ambientales y sociales, para lo cual se identificó en primera instancia los componentes que requerían una evaluación de mayor rigurosidad debido a que pueden ser indicadores de impacto ambiental. Para el análisis de los demás componentes se usó fuentes de información secundaria oficiales que se encuentran disponibles en las páginas web institucionales.

LÍNEA BASE FÍSICA

7.1.1. CLIMA

La caracterización climatológica del área del proyecto se efectuó en base a la información proporcionada por el Servicio NACIONAL DE Meteorología e Hidrología (SENAMHI), entidad oficial del país, encargada de procesar la información climática e hidrológica, para el análisis del comportamiento de los elementos meteorológicos de mayor relevancia.

La base de datos fue extraída de la estación meteorológica Cayaltí, para el periodo 2015 – 2020.

ESTACIÓN	UBICACIÓN	ALTITUD	ESTE	NORTE	INSTITUCIÓN
Cayaltí	Cayaltí	06° 52' 50.86"	660541.00	9239184.90	SENAMHI

Temperatura

En el análisis de las variaciones de la temperatura se observó que los meses en los cuales la temperatura alcanza sus mayores valores en el mes de marzo, siendo la temperatura más alta de 28.03 °C y la menor de 19.23 °C, correspondiente al mes de agosto.

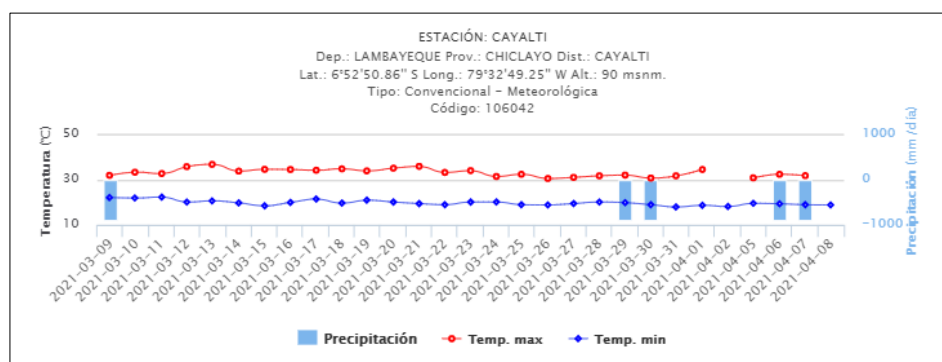


Ilustración 59. Temperatura durante el periodo marzo - abril del 2021.

Humedad relativa

En el análisis la humedad relativa, se observó que los meses en los cuales esta alcanza sus mayores valores son los meses junio, julio y agosto, siendo la máxima humedad relativa alcanzada de 85.70%, y la menor corresponde a 71.53%, durante el mes de diciembre.

Precipitación

Los datos de precipitación obtenidos muestran que el valor máximo medio mensual alcanzado corresponde a 6.89mm.

Y los meses en los que mayor presencia de precipitación pluvial existe son febrero y marzo.

Dirección y velocidad del viento

La velocidad máxima que alcanza el viento en el área de influencia directa es de 4.60 m/s, siendo el mes de febrero el mes con mayores velocidades.

Además, es preciso mencionar que la dirección predominante a lo largo del año es el suroeste.

7.1.2. CALIDAD DE AIRE Y RUIDO

Las actividades de excavación, eliminación de material, traslado y disposición de este, eliminación de residuos, etc., afecta la calidad del aire y se generan ruidos por las mismas. Además, al estar ubicado, frente a la carretera LA - 118, zona donde transitan todo tipo de vehículos, la afectación del aire como la producción de ruido siempre están presentes.

7.1.3. FISIOGRAFÍA

La fisiografía es la descripción de la naturaleza a partir del estudio del relieve, y de acuerdo con la bibliografía consultada, y las respectivas visitas técnicas realizadas se concluyó que el área de influencia directa se caracteriza por poseer tanto paisaje montañoso, como planicie.

El relieve es poco accidentado, relativamente llano, con presencia mediana de vegetación (cultivos de arroz y caña), y en zonas aledañas encontramos árboles y arbustos.

7.1.4. GEOLOGÍA

En el informe presentado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres (2017), se expone que Cayaltí presenta cinco unidades geológicas:

- **Depósitos Aluviales (Tipo 1):** Formados por conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas que se encuentran al pie de las montañas de la zona.
- **Depósitos Aluviales (Tipo 2):** Formados por conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas que se encuentran en los márgenes del río Zaña.
- **Depósitos Fluviales:** Formados por gravas redondeadas envueltas en una matriz arenosa por encontrarse en la extensión de los ríos.
- **Granodiorita:** Formaciones compuestas por plagioclasas cuarzo y feldespato potásico.

- **Tonalita:** Formaciones compuestas por plagioclasas cuarzo de tamaño medio.

7.1.5. GEOMORFOLOGÍA

El distrito de Cayaltí cuenta con una superficie aproximada de 162.86 km² y topográficamente se caracteriza por tener una pendiente llana. Se estima que sus pendientes varían de entre 0° a 5°, lo que predomina en gran parte de la localidad [4].

La PTAR está ubicada en el cuadrante 32 de la Carta geológica Nacional, dentro de la parte baja de la cuenca del Zaña Lambayeque, a nivel general presenta características de “Valle Aluvial”. Los fenómenos geomorfológicos y geoformas más importantes son los que han dado la configuración topográfica que observamos en la actualidad.

7.1.6. SISMICIDAD

Los análisis de estabilidad sísmica fueron efectuados con el fin de evaluar la estabilidad general de las obras de proyecto, durante condiciones de carga de terremoto. Según las Normas E 0.30 Diseño Sismorresistente, del Reglamento Nacional del Estado (RNE), el área de influencia pertenece a la zona sísmica 4.

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como en la formación neotectónica. A cada zona se le asigna un factor Z, el cual se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años. Este factor, se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

7.1.7. SUELOS

El uso es un cuerpo natural, independiente, tridimensional y dinámico, que se ha generado debido a la interacción de sus factores de formación (clima,

topografía, organismos y tiempo) y que ocupan un espacio pequeño y puntual en la superficie.

En el AID del proyecto, se identificó dos tipos de suelo:

- Arenas finas limosas de ligera plasticidad (SM).
- Arenas finas arcillosas de mediana plasticidad (SC).

7.1.8. USO ACTUAL DE LA TIERRA

La evaluación del uso actual de la tierra comprende la diferenciación de las diversas formas de utilización de la tierra. La superficie de unidades de uso actual de tierra, corresponden a: Uso agrícola.

7.1.9. HIDROLOGÍA E HIDROGRAFÍA

El AID, se desplaza dentro de la cuenca de Zaña, siendo Cayaltí, uno de los 5 distritos, que abarcan la totalidad de su territorio en esta. La superficie total de la cuenca es de 2 158 km², la que esta drenada por el río Zaña y sus afluentes.

La cuenca se encuentra ubicada al norte del país, entre los 06°46'00" y 07°06'00" de latitud sur y los 78°54'00" y 79°44'00" de longitud oeste.

A continuación, en la siguiente tabla, se expone los territorios que comprende la cuenca:

Tabla 72. Distritos que conforman la cuenca hidrográfica del río Zaña.

DISTRITOS UBICADOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ZAÑA					
DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	ÁREA TOTAL DISTRITAL (Km ²)	ÁREA DISTRITAL EN LA CUENCA (Km ²)	Porcentaje (%)
CAJAMARCA	SAN MIGUEL	BOLIVAR	84.17	84.17	100
		CALQUIS	337.27	211.72	62.77
		LA FLORIDA	58.66	58.66	100
		NANCHOC	357.69	196.8	55.02
		NIEPOS	153.45	153.45	100
LAMBAYEQUE	SANTA CRUZ	CATACHE	567.11	157.91	27.84
	CHICLAYO	LAGUNAS	430.82	213.67	49.59
		ZAÑA	313.67	124.48	39.68
		CAYALTÍ	163.37	163.37	100
		NUEVA ARICA	211.53	211.53	100
		OYOTUN	484.86	310.94	64.13

(Fuente: [49]).

7.2. LÍNEA BASE BIOLÓGICA

El objetivo de la descripción biológica dentro del área de influencia es determinar las interrelaciones entre los componentes que conforman los ecosistemas y hábitats presentes además del grado de afectación posible durante la ejecución de las actividades del proyecto.

7.2.1. METODOLOGÍA

Para la caracterización del medio biológico se siguió la siguiente metodología:

- Consulta de bibliografía existente para su uso como información secundaria.
- Visita de campo para reconocimiento visual en el área de influencia del proyecto.
- Contraste de información de campo con la información bibliográfica.
- Síntesis de información.

7.2.2. ECOSISTEMAS FRÁGILES

Dentro del área de influencia del proyecto no se han identificado ecosistemas frágiles, según el art. 99 de la Ley General del Ambiente.

7.2.3. FORMACIÓN ECOLÓGICA

La identificación de las zonas de vida se realizó de acuerdo con el mapa elaborado por Holdridge, el que se basa principalmente en dos eventos climáticos: la precipitación pluvial de la zona y la temperatura. En el departamento en el que se ubica el proyecto se identificaron seis zonas de vida, estas son:

- | | |
|-------------|-------------------|
| - Desierto. | - Bosque seco. |
| - Estepa. | - Paramo húmedo. |
| - Matorral. | - Monte espinoso. |

-

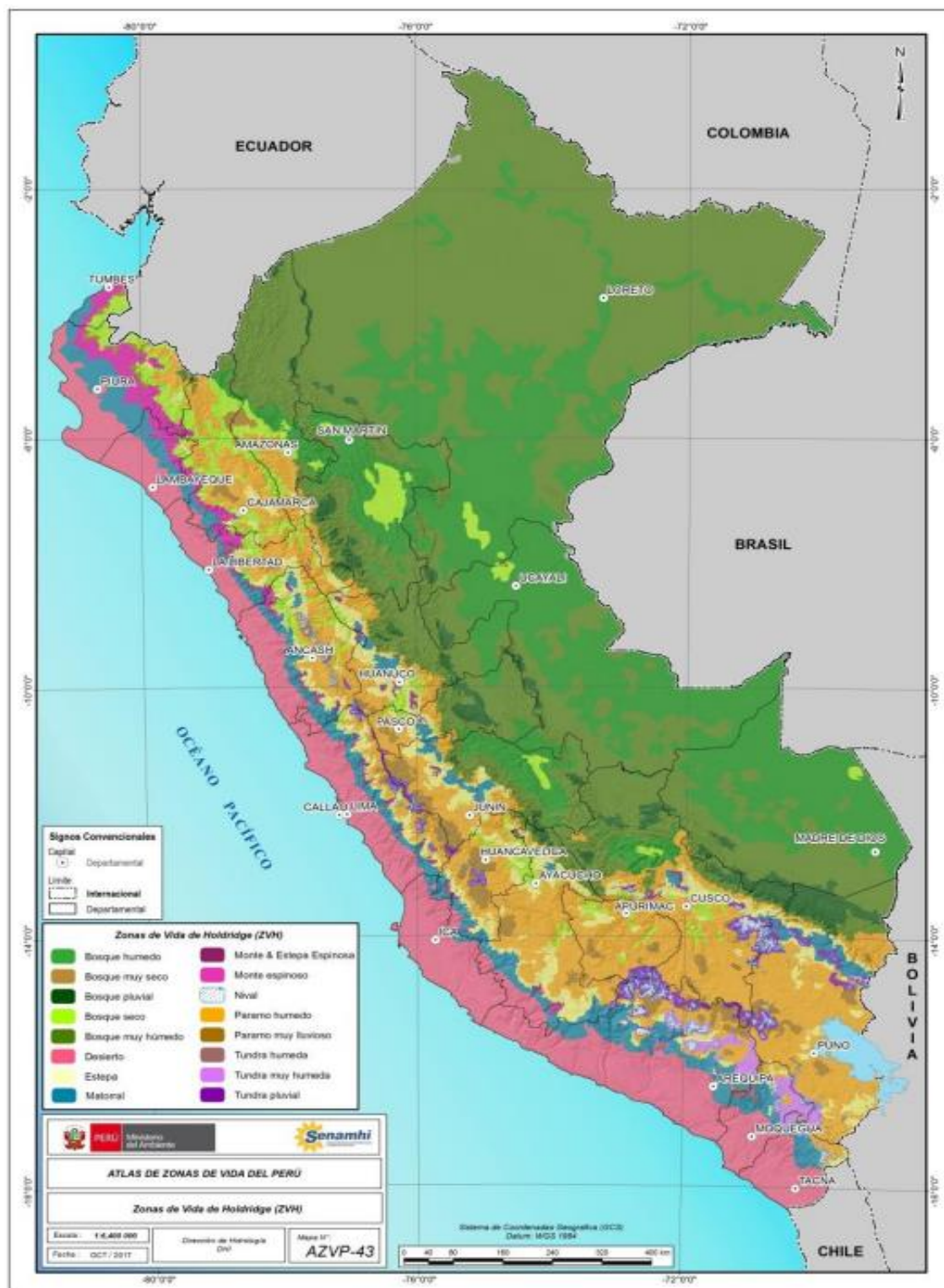


Ilustración 60. Principales zonas de vida en el Perú.

7.2.4. FLORA SILVESTRE

Por medio de la observación directa, e información secundaria existente, se identificaron las siguientes unidades vegetativas:

- Algarrobo, guayacán, hualtaco, palo santo, etc.

Cabe indicar que antes de iniciar las actividades de limpieza y desbroce, se deberá contar con las autorizaciones pertinentes emitidas por SERFOR, de acuerdo con la normativa vigente.

7.2.5. FAUNA SILVESTRE

Por medio de la observación directa, se elaboró un inventario de la fauna visualizada dentro del AID. La fauna existente en el área se limita a animales domésticos, aves e insectos, lo que se debe principalmente a que el área ha sido intervenida por habilitaciones urbanas próximas.

7.2.6. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Conforme a la verificación de campo y a la consulta en el registro de área naturales protegidas por el estado, por medio de SERNANP, que el proyecto no se desarrolla sobre una zona de amortiguamiento o área natural protegida.

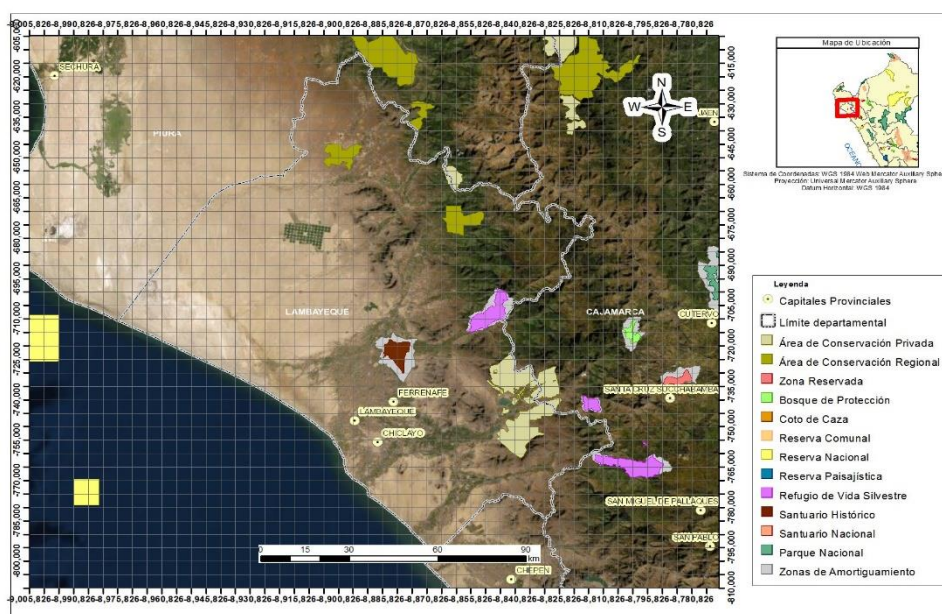


Ilustración 61. Áreas naturales protegidas en el departamento de Lambayeque (Fuente: [44]).

7.3. LÍNEA BASE SOCIOECONÓMICA

7.3.1. DEMOGRAFÍA

El distrito de Cayaltí cuenta con una extensión total de aproximadamente 162.86 km², y está conformado por 16 centros poblados, de los cuales solo 3 pertenecen al ámbito urbano, el resto es considerado como un ámbito rural.

Tabla 73. Centros poblados del distrito de Cayaltí.

Departamento	Provincia	Distrito	Nombre de centro poblado	Área
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	CAYALTI	URBANA
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	LA AVIACION - SANTA SOFIA	URBANA
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	COJAL	URBANA
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	POPAN ALTO	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	SONGOY	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	BARRIO ALTOS	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	SAN ISMAEL	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	MATA INDIO	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	SANTA ROSA ALTA	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	TAIME ALTO	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	EL CAFETAL	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	NUEVA ESPERANZA	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	CHACARILLA	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	CORRAL DE PALOS	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	LA CURVA	RURAL
LAMBAYEQUE	CHICLAYO	CAYALTI	GUAYAQUIL	RURAL

FUENTE: [4]

7.3.2. EDUCACIÓN

El distrito de Cayaltí, cuenta con 16 instituciones educativas, de las que 10 pertenecen al sector público y 6 al sector privado.

De acuerdo con el INEI, respecto al nivel educativo de los pobladores del distrito en mención:

- El 4.70% solo cuenta con estudios de nivel inicial.
- El 28.5% cuenta con estudios de nivel primario.
- El 46.2% cuenta con estudios de nivel secundario.
- El 7.7% de la población cuenta con un nivel educativo superior no universitaria.
- El 4.4% cuenta con un nivel universitario.
- El 0.1% cuenta con estudios de nivel de postgrado u otro similar.
- El 8.5% no cuenta con ningún nivel educativo.

7.3.3. SALUD

De acuerdo con el “Sistema de información estadístico sobre la prevención a los efectos del fenómeno de Niño y otros fenómenos naturales” del INEI [2], respecto al seguro médico con el que cuentan los pobladores:

- El 43.47%, tiene seguro de ESSALUD.
- El 30.24%, tiene seguro SIS.
- El 1.86%, cuentan con otro tipo de seguros (FFAA-PNP, seguro privado, etc.)
- El 20.24%, de la población no cuenta con seguro de salud.

7.3.4. ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La principal actividad económica con mayor potencial que se desarrolla en Cayaltí, es la agroindustria para la exportación. Este distrito es considerado uno de los principales complejos agroindustriales cañeros del norte del Perú.

En nuestro país existen lo que se denominan polos cañeros, que son 4, de entre los cuales figura Cayaltí participando en el mercado nacional con el 1.5%, y en el departamento de Lambayeque con el 3.87% de caña de azúcar cosechada [3]. Esta empresa, en sus mejores épocas constituyó una de las principales fuentes de trabajo para la población de Cayaltí.

Las actividades de servicios y el área agrícola son las principales actividades económicas que se desarrollan en la zona.

7.4. DIAGNÓSTICO ARQUEOLÓGICO

La zona de estudio no presenta sitios arqueológicos e históricos, próximos que se ven afectados por la ejecución del proyecto.

7. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

En este apartado se plasma la identificación, descripción y análisis de los impactos ambientales que se presenten durante las etapas de planificación, construcción, operación y mantenimiento del proyecto a realizarse.

Para esto, se efectúa el análisis de las interrelaciones entre los componentes físicos, biológicos y socio económicos del entorno, con las diferentes acciones que involucran la puesta en marcha de lo que significaría la ejecución del proyecto.

Cabe señalar que, el análisis de los impactos ambientales se desarrolla teniendo en consideración la naturaleza de lo que involucra el proyecto, y la información base con relación a los diferentes componentes ambientales descritos anteriormente. Ello en conjunto, con el reconocimiento in situ de la zona de estudio, con el fin de puntualizar los aspectos ambientales más relevantes y con mayor significancia en cuanto al proyecto.

De esta forma, determinamos las relaciones que se establecerán entre este y su entorno inmediato.

8.1. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Se identificaron las actividades que surgirán para la ejecución del proyecto y que podría causar un impacto ambiental en el área de influencia de este. Estas han sido consideradas con relación a la etapa de detalla del proyecto, en la siguiente tabla, se detalla lo señalado.

ETAPA	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
ETAPA DE PLANIFICACIÓN	Actividades previas (elaboración de los diferentes estudios de ingeniería), para definir el diseño final del proyecto y lo que ello involucra en cuanto a la población aledaña.	Vistas de reconocimiento a campo.
		Levantamiento topografico/Estudio de suelos.
		Proceso de información, consulta y participación a la población
		Trámites de documentarios.
ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	Comprende todas las actividades propias del proyecto, destinadas para que este se lleve a cabo, teniendo en consideración su impacto en el medio.	Instalación de infraestructura provisional, para personal, materiales y equipos..
		Movilización y desmovilización de maquinaria y equipos.
		Señalítica en el área de trabajo y cercana.
		Transporte y acarreo de material dentro y fuera de obra.
		Desbroce y limpieza, del área donde se desarrollara la obra.
		Acondicionamiento del sistema existente de pretratamiento.
		Acondicionamiento del sistema lagunar existente.
		Construcción de nuevas estructuras (excavaciones, compactación e impermeabilización).
		Readecuación de superficies intervenidas.
ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Actividades de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales	Fiscalización de los parámetros operativos de la planta.
		Verificación esporádica de la eficiencia de la planta.
	Actividades de mantenimiento de la infraestructura de los componentes de la planta	Limpieza rutinaria de los componentes que conforman la planta.
		Limpieza del área externa próxima de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

8.2. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS

Se identificaron los factores ambientales en los que las diferentes actividades que involucra el desarrollo del proyecto presentaran incidencia. En la siguiente tabla, se detalla lo indicado.

Tabla 74. Matriz de identificación de factores ambientales potencialmente afectados.

MEDIOS	COMPONENTES	FACTORES	
MEDIO FÍSICO	AIRE	1	Calidad del aire
		2	Nivel de ruido
		3	Generación de olores y gases
		4	Generación de polvo
	AGUA	5	Subterránea
		6	Reutilización de AR
	SUELO	7	Morfología del terreno
		8	Generación de residuos
MEDIO BIOLÓGICO		9	Cobertura vegetal
		10	Fauna silvestre
MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURA	USOS DEL TERRITORIO	11	Tierras agrícolas
	ESTÉTICO	12	Paisaje urbano
	NIVEL SOCIOECONÓMICO	13	Estilo de vida/tranquilidad
		14	Empleo
		15	Salud y seguridad
		16	Nivel de vida
	INFRAESTRUCTURA	17	Saneamiento básico
RELACIONES ECOLÓGICAS		18	Vectores de enfermedades/insectos

Fuente: Elaboración propia.

8.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Ya habiendo identificado las actividades del proyecto y los factores ambientales con probabilidad de verse afectados, a continuación, se describen los impactos ambientales potenciales identificados que podrían ocasionarse como repercusión por las actividades que involucran la ejecución del proyecto.

8. MATRIZ DE LEOPOLD

La calificación y valoración del impacto que cada actividad podría generar en relación con cada factor ambiental se realiza mediante el uso de la matriz de Leopold, con el propósito de establecer y determinar los impactos con mayores efectos ya sean negativos o positivos, siempre teniendo en consideración la tipología de los impactos identificados. Ello nos permitirá realizar una jerarquización de estos, para así determinar el proceder para su mitigación y control.

Tabla 75. Matriz de identificación de impactos.

MEDIOS	COMPONENTES	FACTORES		ETAPA DE PLANIFICACIÓN	ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
MEDIO FÍSICO	AIRE	1	Calidad del aire	-	Dado el uso de maquinaria, equipos y herramientas, las actividades de movilización y desmovilización ademas, la calidad del aire podría verse modificada, por lo que este tipo de actividades involucran.	-
		2	Nivel de ruido	-	El uso de maquinaria, equipos y heramientas para la limpieza del terreno, excavaciones, y conformación de taludes, puede alterar las condiciones de ruido normal en la zona, pudiendo afectar asi tanto a los pobladores con una ubicación proxima como a los propios trabajadores de la obra.	-
		3	Generación de olores y gases	-	El uso propio de la maquinaria, equipos y heramientas, dado su naturaleza (uso de combustible para su funcionamiento), puede generar olores un poco desagradables, especialmente para personas sensibles al olfato. El funcionamiento del sistama lagunar puede producir olores no desados hasta su regulización.	Durante esta etapa, el proceso de descomposición generará emisión de gases de efecto invernadero, lo que podría generar un impacto en el aire.
		4	Generación de polvo	-	El uso de maquinaria, equipos y heramientas para la limpieza del terreno, excavaciones, y conformación de taludes, puede alterar las condiciones de ruido normal en la zona, pudiendo afectar asi tanto a los pobladores con una ubicación proxima como a los propios trabajadores de la obra.	-
	AGUA	5	Subterránea	-	Las actividades de excavación, movimiento de tierras y conformación de los estanques, podría generar la contaminación o modificación del curso de encontrar con presencia de agua subterránea.	-
		6	Reutilización de AR	-	-	Las actividades que involucran esta etapa, permitirá que el efluente cuente con las caracteristas previstas para su descarga y reutilización (Operación eficiente).
	SUELO	7	Morfología del terreno	-	La limpieza y desbroce, asi como los trabajo de excavación generan una posible eliminación de las capas de conformación del suelo, modificando asi la morfologia inicial del terreno.	-
		8	Generación de residuos	-	La presencia del ser humando, en el área de desarrollo del proyecto generará residuos dado su consumo, lo que podría ocasionar un posible almacenamiento de estos en el área, si no existe una zona de disposición adecuada.	La presencia eventual, del personal responsable de la PTAR, podría generar cierta cantidad de residuos, no significativa, pero de igual forma importante.
MEDIO BIOLÓGICO		9	Cobertura vegetal	-	El proyecto involucra la limpieza y desbroce, lo que incluye la remoción de la cobertura vegetal, para así desarrollar el nivelado y establecimiento de los terraplenes, lo que genera la perdida de esta (podría ser reubicada, para evitarse ello).	-
		10	Fauna silvestre	-	El desbroce y limpieza de la zona, generará una posible pérdida de vegetación en su mayoría arbustos, y una pequeña cantidad de uno que otro árbol, ubicado en el área del proyecto.	-
MEDIO SOCIOECONÓMICO	USOS DEL TERRITORIO	11	Tierras agrícolas	-	El proyecto involucra es uso de un área de terrenos de cultivo de arroz, lo que generará una perdida en cuanto a tierra fértil, y cultivo.	-
	ESTÉTICO	12	Paisaje urbano	-	Al realizar trabajos de eliminación de vegetación y movimiento de tierras, ademas de la posible pérdida de fauna y especies que se localizan en el área, se generará una modificación en el paisaje a su estado actual.	-
	NIVEL SOCIOECONÓMICO	13	Estilo de vida/tranquilidad	-	El estilo de vidad y el confort de la población proxima al proyecto se verá afectado durante el tiempo de desarrollo del proyecto, por las actividades propias que este involucra.	-
		14	Empleo	Posible generación de oportunidad de empleo para la población, dado las actividades que involucra esta etapa, para el proyecto.	Dadas las diferentes actividades que se realizarán en esta etapa, se requerida una cantidad de trabajadores, lo que significa la generación de oportunidades de empleo para los pobladores de la localidad.	Las actividades que involucran esta etapa requiere de personal constante para realizar el mantenimiento de la planta, lo que significa oportunidad de empleo.
		15	Salud y seguridad	-	Las actividades de construcción, siempre tienen una posibilidad de generar daños en cuanto a la salud de los trabajadores, esto a razón de su exposición durante la realización de las antes mencionadas.	De no realizarse el mantenimiento (monitoreo) de la planta, la salud y seguridad puede verse afectada, dado que el proceso de descontaminación no sería eficiente.
		16	Nivel de vida	-	El nivel de vida de la población beneficiaria tendria un impacto, dado la mejora que significa el proyecto, en cuanto a seguridad, salud y confort.	Si las actividades de operación y mantenimiento, se suspenden, o finalizan, esto generaría que el nivel de vida se viese afectado dado lo que ello acarrearía.
	INFRAESTRUCTURA	17	Saneamiento básico	-	El nivel de vida de la población beneficiaria tendria un impacto, dado la mejora que significa el proyecto, en cuanto a seguridad, salud y confort.	De no realizarse la operación y mantenimiento de la PTAR, esto podría comprometer las estructuras que la componen.
RELACIONES ECOLÓGICAS		18	Vectores de enfermedades/insectos	-	Las actividades de construcción involucran el condicionamiento del funcionamiento al 100% del sistema de tratamiento existe lo que podría generar un aumento en cuanto a la aprición de insectos, y posibles enfermedades transmitidas por estos.	Posible generación de proliferación de vectores que comprometerían la salud de la población.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76.Matriz de Leopold correspondiente a la fase de planificación.

PROYECTO: "EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE 2020"				ACCIONES DEL PROYECTO		MAGNITUD (-)	IMPORTANCIA (+)	PONDERADO TOTAL
				PLANIFICACIÓN				
				TRÁMITES Y DOCUMENTACIÓN/ INFORMACIÓN A LA POBLACIÓN	ESTUDIOS DE INGENIERÍA PREVIOS			
MEDIOS	COMPONENTES	FACTORES		1	2			
MEDIO FÍSICO	AIRE	1	Calidad del aire			0	0	0
		2	Nivel de ruido			0	0	0
		3	Generación de olores y gases			0	0	0
		4	Generación de polvo			0	0	0
	AGUA	5	Subterránea			0	0	0
		6	Reutilización de AR			0	0	0
	SUELO	7	Morfología del terreno			0	0	0
		8	Generación de residuos			0	0	0
MEDIO BIOLÓGICO		9	Cobertura vegetal			0	0	0
		10	Fauna silvestre			0	0	0
MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURA	USOS DEL TERRITORIO	11	Tierras agrícolas			0	0	0
	ESTÉTICO	12	Paisaje urbano			0	0	0
	NIVEL SOCIOECONÓMICO	13	Estilo de vida/tranquilidad			0	0	0
		14	Empleo	3	5	8	8	34
		15	Salud y seguridad			0	0	0
		16	Nivel de vida			0	0	0
	INFRAESTRUCTURA	17	Saneamiento básico			0	0	0
RELACIONES ECOLÓGICAS		18	Vectores de enfermedades/insectos			0	0	0
IMPACTO TOTAL		MAGNITUD		3	5			34
		IMPORTANCIA		3	5			
		PONDERADO TOTAL		9	25		34	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77. Matriz de Leopold correspondiente a la fase de construcción.

PROYECTO: "EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE 2020"			CONSTRUCCIÓN																		MAGNITUD (-)	IMPORTANCIA (+)	PONDERADO TOTAL		
			INST. DE INFRAESTRUCTURA PROVISIONAL	MOVILIZACIÓN Y USO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS	SEÑALIZACIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO	TRANSPORTE DE MATERIALES	DESBROCE Y LIMPIEZA	EXCAVACIÓN Y MOVIMIENTO DE TIERRAS	SISTEMA DE PRE - TRATAMIENTO				SISTEMA LAGUNAR DE TRATAMIENTO				TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	DESMONTAJE DE INFRAESTRUCTURAS PROVISIONALES	READECUACIÓN DE LAS SUPERFICIES INTERVENIDAS						
									REJILLAS - DESBASTE	DESARENADOR	CANALETAS DE PARSHALL	CANALES DE REPARTICIÓN	SISTEMA DE LAGUNAJE	ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN	CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCT. COMPLEMENTARIAS	IMPERMEABILIZACIÓN DE FONDO				COMPACTACIÓN DE TERRAPLENES					
MEDIOS	COMPONENTES	FACTORES	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21					
MEDIO FÍSICO	AIRE	1 Calidad del aire		-1		-3	-2	-6				-1	-4		-3	-2	-3	-3			-28		-124		
		2 Nivel de ruido		2		-3	4	2	7		-1		2	5		4	3	4	4	-2		-34	37	-137	
		3 Generación de olores y gases		2		3	4	4	7		2		2	4		3	2	5	3	3		-17	40	-57	
		4 Generación de polvo		2		4	2	3	7				-1	-3		2		5	2	1		-34	19	-147	
	AGUA	5 Subterránea					4	-4	7				1	-3	4		3	4	6	2		-5	36	-17	
		6 Reutilización de AR						4						4		1	4					0	13	0	
	SUELO	7 Morfología del terreno					-2	-5								-2		-3				-12	11	-37	
		8 Generación de residuos	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-2		-2	-3		-3	2		3	-3	-3		-28	29	-69	
MEDIO BIOLÓGICO		9 Cobertura vegetal	-1		1	-2	1	2	2	2		3	4		3	3		4	3		-11	10	-24		
		10 Fauna silvestre				-2	2	2						3		2						-6	4	-8	
MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURA		USOS DEL TERRITORIO	11 Tierras agrícolas			-2		-2	-2				-4		-3	1					-13	14	-40		
		ESTÉTICO	12 Paisaje urbano			2	-3	-3	-3					-5		-3	2					-17	17	-61	
			13 Estilo de vida/tranquilidad					3	3	3				5		3				3		3	3	9	
		NIVEL SOCIOECONÓMICO	14 Empleo	2	2	1	4	2	5	2	2	2	1	2	5	2	3	4		2	2	2	43	49	151
			15 Salud y seguridad		3	1	5	2	6	2	2	2	1	3	6	3	3	5	3	3	2	2	25	30	106
			16 Nivel de vida			5		2		2	2	2	2	3	5	5	3	6		3	4		18	23	53
INFRAESTRUCTURA	17 Saneamiento básico				3			2	3	2	2	2	4	2	2	3	2	3	3	21	29	71			
RELACIONES ECOLÓGICAS		18 Vectores de enfermedades/insectos				3			3	3	2	3	5	3	4			3			0	0	0		
IMPACTO TOTAL		MAGNITUD	-1	-5	1	-12	-18	-35	7	5	5	-2	-12	4	-17	10	-17	-10	-7	9			-331		
		IMPORTANCIA	5	10	9	26	28	47	12	14	5	14	56	6	39	21	21	28	11	12					
		PONDERADO TOTAL	-1	-7	15	-25	-47	-183	18	14	9	-1	-37	12	-36	50	-73	-48	-18	27	-331				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78. Matriz de Leopold de la fase de operación y mantenimiento.

PROYECTO: "EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE 2020"			ACCIONES DEL PROYECTO				MAGNITUD (-)	IMPORTANCIA (+)	PONDERADO TOTAL
			OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO						
			FISCALIZACIÓN DE OPERATIVIDAD	LIMPIEZA RUTINARIA DEL SISTEMA DE PRE - TRATAMIENTO	LIMPIEZA RUTINARIA DEL SISTEMA LAGUNAR	LIMPIEZA Y CONTROL RUTINARIA DE TODA EL ÁREA DE LA PTAR			
MEDIOS	COMPONENTES	FACTORES		22	23	24	25		
MEDIO FÍSICO	AIRE	1	Calidad del aire					0	0
		2	Nivel de ruido					0	0
		3	Generación de olores y gases	-3	-2	-2	-2	-9	-20
		4	Generación de polvo	2	3	3	1	0	0
	AGUA	5	Subterránea					0	0
		6	Reutilización de AR	9	5	7	6	27	203
	SUELO	7	Morfología del terreno					0	0
		8	Generación de residuos	-3	-3	-2	-3	-11	-28
MEDIO BIOLÓGICO		9	Cobertura vegetal	3	2	2	3	0	0
		10	Fauna silvestre					0	0
MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURA	USOS DEL TERRITORIO	11	Tierras agrícolas					0	0
	ESTÉTICO	12	Paisaje urbano					0	0
	NIVEL SOCIOECONÓMICO	13	Estilo de vida/tranquilidad	6	4	4	2	16	76
		14	Empleo	4	4	3	3	14	54
		15	Salud y seguridad	5	3	2	2	12	52
		16	Nivel de vida	-5	4	3	1	3	8
	INFRAESTRUCTURA	17	Saneamiento básico	-5	5	-3	4	-8	-39
RELACIONES ECOLÓGICAS		18	Vectores de enfermedades/insectos	-2	3	3		4	12
IMPACTO TOTAL			MAGNITUD		6	18	15	9	318
			IMPORTANCIA		44	33	32	19	
			PONDERADO TOTAL		87	98	88	45	318

Fuente: Elaboración propia.

10. PLAN DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Este plan tiene por objetivo establecer un espacio de dialogo entre el estado, los titulares del proyecto y la población, para facilitar que esta ultima intervenga ya que el proyecto los beneficiara de forma directa.

Para el desarrollo de este plan, la población debe estar informada, consultar acerca de sus dudas sobre el proyecto e involucrarse en conocimiento y proceso de este, por lo que para lograr esto mediante este plan se brinda accesibilidad a la información a la ciudadanía.

Mecanismos a implementar:

- Talleres participativos e informativos.
- Accesos a estudios ambientales.
- Distribución de material informativo.
- Publicación de avisos.
- Vigilancia ambiental participativa.
- Instalación de oficina de información.

Estos mecanismos van a implementarse en un área dentro de la municipalidad de Cayaltí, durante el espacio de ejecución del proyecto periódicamente.

11. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Las medidas de prevención, mitigación o corrección de los impactos ambientales están conformadas por el conjunto de programas necesarios para prevenir, controlar, mitigar, compensar y corregir los impactos generados durante las etapas de construcción, mantenimiento y cierre/abandono del proyecto **“EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE 2020”**.

Estas medidas son integrales y dinámicas, para mantener los estándares adecuados en todos los aspectos de sus operaciones, incluyendo la protección ambiental, social, de salud y de seguridad. Además, que, mediante este, se establece un actuar responsable como administrador de los recursos que están a su cargo, procurando el bienestar de trabajadores, instituciones, comercios y población involucrada, dentro del área de influencia. Las medidas en adelante descritas serán aplicadas durante la ejecución de

las actividades constructivas que involucra la implementación de la alternativa de solución propuesta al problema identificado en torno a la eficiencia de funcionamiento de la PTAR de Cayaltí.

OBJETIVOS

El presente plan de manejo ambiental tiene como fin los siguientes objetivos:

- Formular las medidas para prevenir, controlar, mitigar, compensar y corregir los impactos generados durante la construcción/creación, mantenimiento y abandono/cierre de la alternativa de solución propuesta.
- Establecer los lineamientos dentro de un plan integral de gestión ambiental, determinando diferentes líneas de acción durante el desarrollo de las actividades del proyecto.

RESPONSABILIDAD

Las responsabilidades para la aplicación, cumplimiento y seguimiento de las medidas de manejo ambiental establecidas en el presente, le correspondería a la Municipalidad Distrital de Cayaltí, a través de la empresa que ejecutará el proyecto.

Las personas involucradas en las diferentes actividades dispuestas a llevarse a cabo como parte de la implementación del proyecto serán responsables de su equipo de trabajo, de las actividades que realizan y con ello de las posibles afectaciones al ambiente que puedan ocasionar, desde el inicio hasta el culmen de las actividades que se ejecutarán.

11.1. PROGRAMA DE MEDIDAS PREVENTIVAS, MITIGADORAS Y CORRECTIVAS

11.1.1. SUBPROGRAMA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Este subprograma se propone con la finalidad de lograr una adecuada gestión y manejo de los residuos sólidos durante la ejecución del proyecto. El manejo de residuos sólidos se basará en el cumplimiento del Reglamento de la Ley General de Residuos sólidos.

El presente, se basa en los procedimientos para minimizar, segregar, almacenar, transportar y disponer de los desechos generados durante las etapas del proyecto. Para ello, se tomará en cuenta el tipo de residuo generado, las características del área y el potencial de reciclaje, tratamiento y disposición en las instalaciones.

Acciones para el manejo de residuos sólidos

Los residuos sólidos serán clasificados tomando en cuenta las características establecidas en el anexo II del Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, con el cual se ha realizado la clasificación en según su riesgo (peligroso y no peligroso).

- **Residuo No Peligroso:** Aquellos residuos domésticos y/o industriales que por su naturaleza y composición no tiene efectos nocivos sobre la salud de personas, animales y plantas por lo que no deterioran la calidad del medio ambiente. Podemos citar los siguientes residuos: plásticos, papel, cartón, vidrio, latas, madera, etc.
- **Residuo Peligroso:** Aquellos residuos que por sus características físicas, químicas o infecciosas representa un riesgo o daño inmediato y/o potencial para la salud de las personas y al medio ambiente. Podemos citar los siguientes residuos: pilas, baterías, aceites usados, etc.

Los residuos producidos, serán dispuestos en los depósitos ubicados en un lugar estratégico. Para el efecto, se dispondrán de recipientes que faciliten su manipulación, almacenaje del tipo de residuo esperado (de acuerdo con la instalación donde se ubique) y que permitan una rápida limpieza.

11.1.2. SUBPROGRAMA DE SALUD LOCAL – COVID 19

Este subprograma, busca garantizar la seguridad física del personal durante el desarrollo de sus actividades. De la misma forma, incide en cuanto a la salud del trabajador dadas las circunstancias epidemiológicas que a la fecha existes, con ello hacemos énfasis en el virus del COVID 19.

Medidas/Acciones a implementar:

- Se realizarán los correspondientes exámenes pre-ocupacionales, de tal modo que se garantice la seguridad y salud de los trabajadores, por otra parte, se deberá garantizar la idoneidad de cada trabajador para las tareas que se le asignen.
- Se realizarán jornadas de capacitación del personal, en donde se informe de los riesgos de las actividades a realizar y las correspondientes medidas de prevención del deterioro de la integridad física y posibles accidentes laborales, haciendo hincapié en las medidas frente al COVID 19.
- La maquinaria y equipos empleados deberán estar en condiciones óptimas y de este modo reducir posibles accidentes laborales.
- Se garantizará el suministro de los elementos de protección personal, incluyendo además de los EPP (casco, calzado de seguridad, ropa de trabajo, etc.), el uso de mascarilla facial desechable (KN 95) y dispensador individual de alcohol.
- Colocación de avisos de seguridad visibles en el área de trabajo, que indiquen los riesgos existentes.

Esto permitirá, mantener la seguridad y armonía en obra, entre la interacción trabajador, responsabilidad.

11.1.3. SUBPROGRAMA DE PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS ARQUEOLÓGICOS Y CULTURALES

Este subprograma, hace referencia al Proyecto de Evaluación Arqueológica (PEA) como una obligación establecida por el Reglamento de Investigaciones Arqueológicas del Ministerio de Cultura (MINCU), ello a fin de mantener un adecuado control de los impactos sobre los bienes culturales ubicados en el área del Proyecto.

El PEA comprende las áreas donde deberá realizarse investigaciones arqueológicas en la modalidad de “Evaluación arqueológica con excavaciones”. Este tipo de evaluación tiene como finalidad verificar la existencia y/o inexistencia de sitios arqueológicos en el área del Proyecto y

determinar la intangibilidad de las áreas arqueológicas existentes mediante el trazado de poligonales de delimitación. Las áreas delimitadas e intangibles se incluirán en el Inventario Nacional de Sitios Arqueológicos, serán declaradas por el MINCU como Patrimonio Cultural y se inscribirán en Registros Públicos como tales, lo cual es un trámite de oficio del MINCU.

En este caso, la zona en la que se ejecutará el proyecto no requiere de la implementación de este subprograma.

11.2. PROGRAMA DE CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

La capacitación y entrenamiento del personal que intervendrá en la ejecución del proyecto contribuirá a asegurar la salud física de este mismo, además de permitir la adecuada implementación de las medidas adoptadas para el manejo ambiental y protección del ecosistema existente en el área de influencia directa del proyecto.

Por ello, mediante la implementación de este programa, se busca impartir instrucción y capacitar a los trabajadores en general, en aspectos que conciernen su seguridad física (individual y grupal), el tema ambiental y el social (capacitación a la población del AID).

Medidas/Acciones a implementar:

- Implementación de charlas de capacitación ambiental dirigidas a todo el personal, contratistas y subcontratistas, antes de iniciar las actividades diarias.
- Implementación de charlas dirigidas a la población del área de influencia directa, en cuanto a educación ambiental.
- Capacitación al personal de obra sobre el manejo de residuos sólidos, dadas las actividades que involucran el proyecto.

11.3. PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL

Este programa está dirigido al cumplimiento de la normativa vigente en torno a la calidad del producto, es decir para este caso, el agua residual efluente. Ello a fin de constatar la eficiencia del sistema de tratamiento, así como al cumplimiento de las normas de prevención ambiental.

Permitirá la evaluación periódica e integrada de algunos indicadores de calidad ambiental en el área de influencia directa del proyecto, con una gran incidencia en lo relacionado con la calidad del afluente y el punto de descarga final.

MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

Para la evaluación de la calidad del agua residual, se determinará la presencia de contaminantes, que en su descarga puedan desencadenar problemas con el medio ambiente, y el hombre.

Puntos de monitoreo

El monitoreo se realizará, en 3 puntos específicos de la planta de tratamiento, a fin de evaluar de forma puntual y certera en lo posible la eficiencia del sistema.

Tabla 79. Ubicación de puntos de monitoreo.

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	REFERENCIA
PUNTO DE MONITOREO N° 01	6°54'03.47" S	79°34'08.02" O	Último buzón de la red de desagüe/Inicio de sistema de pretratamiento.
PUNTO DE MONITOREO N° 02	6°53'59.92" S	79°34'15.97" O	Punto de descarga, en un canal de tierra/A unos metros del último buzón de la batería I.
PUNTO DE MONITOREO N° 03	6°54'00.19" S	79°34'16.40" O	Inicio de dren San Nicolas/Línea de inicio, de cultivos de arroz.

**Coordenadas referenciales.*

11.4. PROGRAMA DE CIERRE DE OBRA

El programa de cierre o abandono de obra establece las actividades necesarias para el retiro de las instalaciones que fueron construidas temporalmente durante la etapa de construcción de esta. Por ello tiene como objetivo principal, restaurar las zonas ocupadas, afectadas y/o alteradas por la ejecución del proyecto, bajo la premisa de que las características finales de estas mantendrán en lo posible las condiciones originales o mejores del entorno, evitando la generación de nuevos problemas ambientales.

Entonces, el presente documento tiene la finalidad de orientar al personal en obra sobre los procedimientos básico de como iniciar la etapa de cierre y abandono, de tal manera que se tengan los cuidados necesarios para no dejar pasivos ambientales que puedan generar daños al medio ambiente y población en plazos cortos o largos.

ACTIVIDADES DE CIERRE

Declaración de cierre de obra

Como primera actividad, en general, para el cierre de obra, se deberá informar oportunamente a las autoridades y beneficiarios, de la zona de influencia sobre esta actividad final, y sobre las consecuencias positivas o negativas que ello acarreará.

Desmantelamiento y limpieza

Esta actividad implica desarmar y retirar toda instalación temporal, así como disponer de los restantes de señalizaciones, carteles de obra, y otros elementos que se utilizaron durante los procesos constructivos.

Las áreas en donde estuvieron las instalaciones temporales deberán quedar exentas de desechos sólidos y readecuado considerando la topografía original del terreno.

Nivelación de áreas intervenidas

Esta actividad implica procurar mantener en armonía el área intervenida con el entorno circundante, teniendo en consideración su topografía original. Se realizará en el área de los terraplenes, pues es la actividad con mayor incidencia en la morfología de la topografía de la zona.

ACTIVIDADES DE CIERRE

Los trabajos para la protección y restauración de los elementos y/o componentes afectados, comprenden:

- Los escombros originados en la demolición deberán ser retirados totalmente y dirigidos hacia el punto de su disposición final. De no ser posible el traslado por estar ubicado en zonas inaccesibles este deberá ser adecuadamente enterrados en el mismo lugar.
- Los vacíos creados por el retiro de los materiales demolidos deberán ser sustituidos con material de préstamo con tierras aptas para actividades agrícolas o forestales según sea el caso.

11.5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma de actividades del PMA, nos permite establecer fechas límite para el cumplimiento de las diferentes acciones que este involucra, de manera que el responsable pueda llevar un registro de que este se está llevando a cabo según corresponde. Para este proyecto, dado que no le compete al estudio el determinar el plazo de obra, se tomará como referencia el periodo de duración que significaría la puesta en marcha de la propuesta planteada correspondiente a la alternativa de solución frente al problema identificado en la planta.

12. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DEL EIA

Mediante el análisis de la matriz de Leopold correspondiente al proyecto, podemos identificar cuales posiblemente sean los impactos/alteraciones tanto positivos/beneficiosos, como negativos/perjudiciales, con mayor incidencia en el medio ambiente durante el desarrollo de esta y por la ejecución de la misma (durante y después). La sumatoria de las filas, que contienen los factores ambientales potencialmente afectados, nos indica la incidencia del conjunto de acciones que constituyen el proyecto sobre cada factor ambiental. Lo cual se traduce, en la fragilidad del medio ambiente ante el desarrollo del proyecto y sus implicancias a posteriori. Y la sumatoria de columnas, nos proporciona una valoración del efecto que cada una de las acciones produce en el medio. Ello, hace referencia a la agresividad de cada acción para con el medio.

Entonces, de acuerdo con las valoraciones obtenidas como resultado final de la evaluación de la interrelación entre las acciones del proyecto y los factores ambientales potencialmente alterados, mediante la matriz de Leopold, teniendo en consideración la importancia y magnitud de cada una, con relación al período en que estos fueron efectuados, se detalla lo siguiente:

- Según las acciones identificadas y evaluadas:

En la siguiente tabla, se indican las acciones que ocasionan un mayor impacto.

Tabla 80. Acciones identificadas y evaluadas.

ETAPA	ACCIÓN			
	IMPACTO POSITIVO	VALOR	IMPACTO NEGATIVO	VALOR
PLANIFICACIÓN	Estudios de ingeniería previos.	25	-	-
CONSTRUCCIÓN	Impermeabilización de fondo	50	Excavación y movimiento de tierras	-183
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Limpieza rutinaria del sistema de pretratamiento	98	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

- En la etapa de planificación, la acción que contribuye a la conservación de la calidad del medio ambiente son los **“estudios de ingeniería previos”** (+25).
- En la etapa de construcción, la acción más agresiva con el medio es la **“excavación y movimiento de tierras”** (-183) y la que contribuye a la conservación de la calidad del medio ambiente es la **“impermeabilización del fondo”** (+50).
- En la etapa de operación y mantenimiento, la acción que contribuye a la conservación de la calidad del medio ambiente es la **“limpieza rutinaria del sistema de pretratamiento”** (+98).
- Según los factores identificados y evaluados:

En la siguiente tabla, se indican los factores ambientales en los que se reporta un mayor impacto (positivo/beneficioso o negativo/perjudicial) en el medio ambiente según la matriz de Leopold.

Tabla 81. Factores identificados y evaluados.

PROYECTO: "EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE 2020"			ETAPA		
			PLANIFICACIÓN	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
MEDIOS	COMPONENTES	FACTORES			
MEDIO FÍSICO	AIRE	1 Calidad del aire	0	-124	0
		2 Nivel de ruido	0	-137	0
		3 Generación de olores y gases	0	-57	-20
		4 Generación de polvo	0	-147	0
	AGUA	5 Subterránea	0	-17	0
		6 Reutilización de AR	0	0	203
	SUELO	7 Morfología del terreno	0	-37	0
		8 Generación de residuos	0	-69	-28
MEDIO BIOLÓGICO		9 Cobertura vegetal	0	-24	0
		10 Fauna silvestre	0	-8	0
MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURA	USOS DEL TERRITORIO	11 Tierras agrícolas	0	-40	0
	ESTÉTICO	12 Paisaje urbano	0	-61	0
	NIVEL SOCIOECONÓMICO	13 Estilo de vida/tranquilidad	0	9	76
		14 Empleo	34	151	54
		15 Salud y seguridad	0	106	52
		16 Nivel de vida	0	53	8
INFRAESTRUCTURA	17 Saneamiento básico	0	71	-39	
RELACIONES ECOLÓGICAS		18 Vectores de enfermedades/insectos	0	0	12

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

- En la etapa de planificación, el factor ambiental más favorecido es el **“empleo”** (+34).
- En la etapa de construcción, el factor ambiental más afectado es la **“generación de polvo”** (-147) y el más favorecido es el **“empleo”** (+151).
- En la etapa de operación y mantenimiento, el factor ambiental más afectado es el **“saneamiento básico”** (-39) y el más favorecido es la **“reutilización del agua residual”** (+203).

VIABILIDAD DE LA MATRIZ

Luego de la identificación y calificación de las posibles interacciones entre factores y acciones, a generarse como consecuencia de la ejecución y puesta en operación del proyecto en cuestión, y además conocer las más incidentes, tanto positivas/beneficiosas como negativas/perjudiciales, podemos determinar si el proyecto es o no viable.

Según el valor ponderado final de la matriz, el cual es un indicador de la magnitud y complejidad operacional del proyecto, siendo en este caso el valor obtenido positivo/beneficioso podemos determinar que, el proyecto **ES AMBIENTALMENTE VIABLE.**

13. CONCLUSIONES

Del EIA, se llegan a las siguientes conclusiones:

- Durante las etapas que constituyen el proyecto: **“EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CAYALTÍ EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE 2020”**, no se generarán impactos ambientales negativos significativos, más serán positivos ya que durante el periodo de ejecución se generará empleo para la población local y como resultado final se reutilizará el efluente final, tratándose ello de un beneficio.
- Los potenciales impactos positivos a producirse se han encontrado en la etapa de operación y mantenimiento, generando así un énfasis en la importancia de la

implementación de un manual de operación y mantenimiento correspondiente netamente a la PTAR, y las características distintivas que esta presenta.

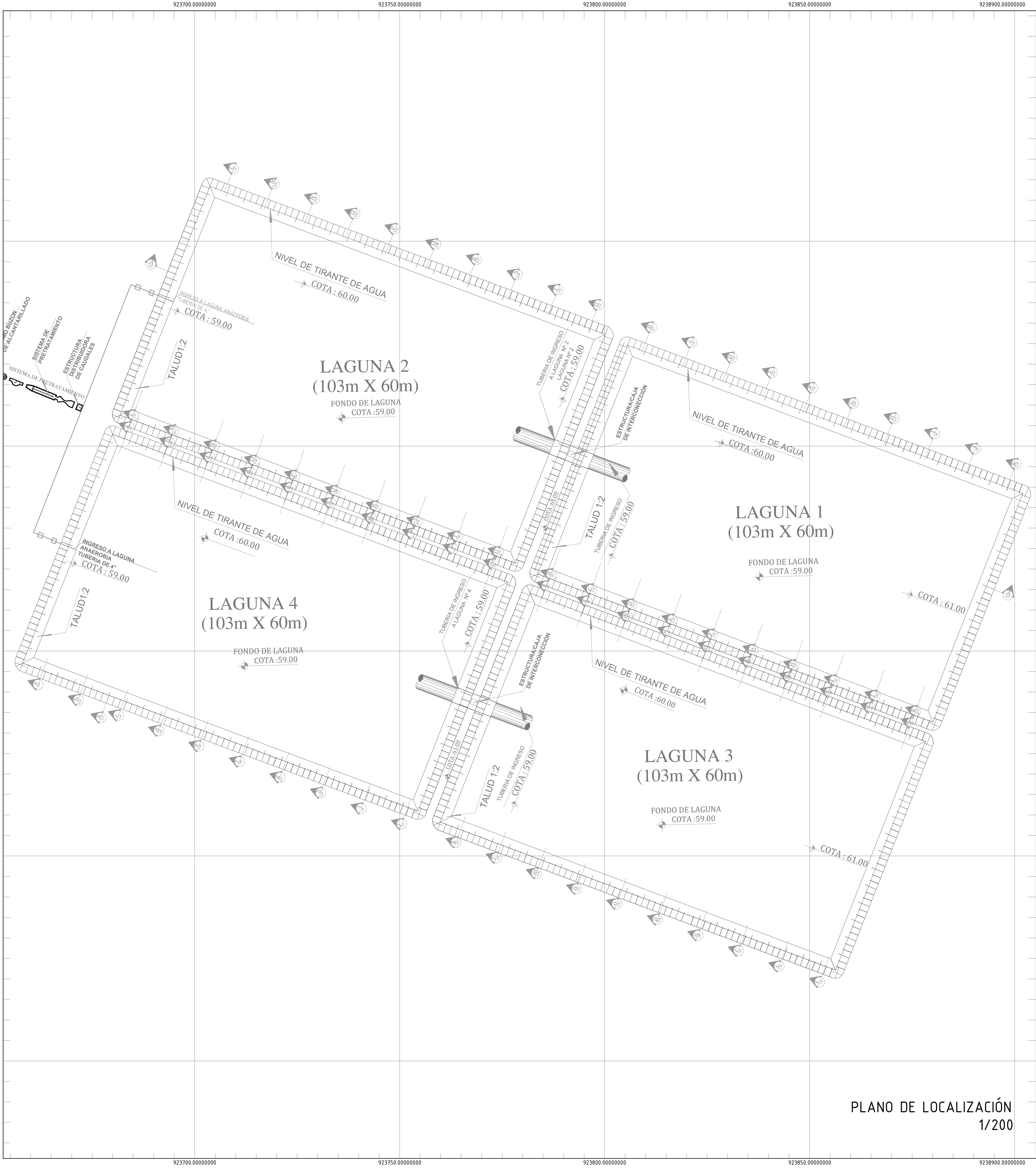
- Los potenciales impactos negativos a producirse se han encontrado en su mayoría en la etapa de construcción, sin embargo, son manejables.
- De lo anterior, se determina que la implementación del proyecto resulta ambientalmente viable.

14. RECOMENDACIONES

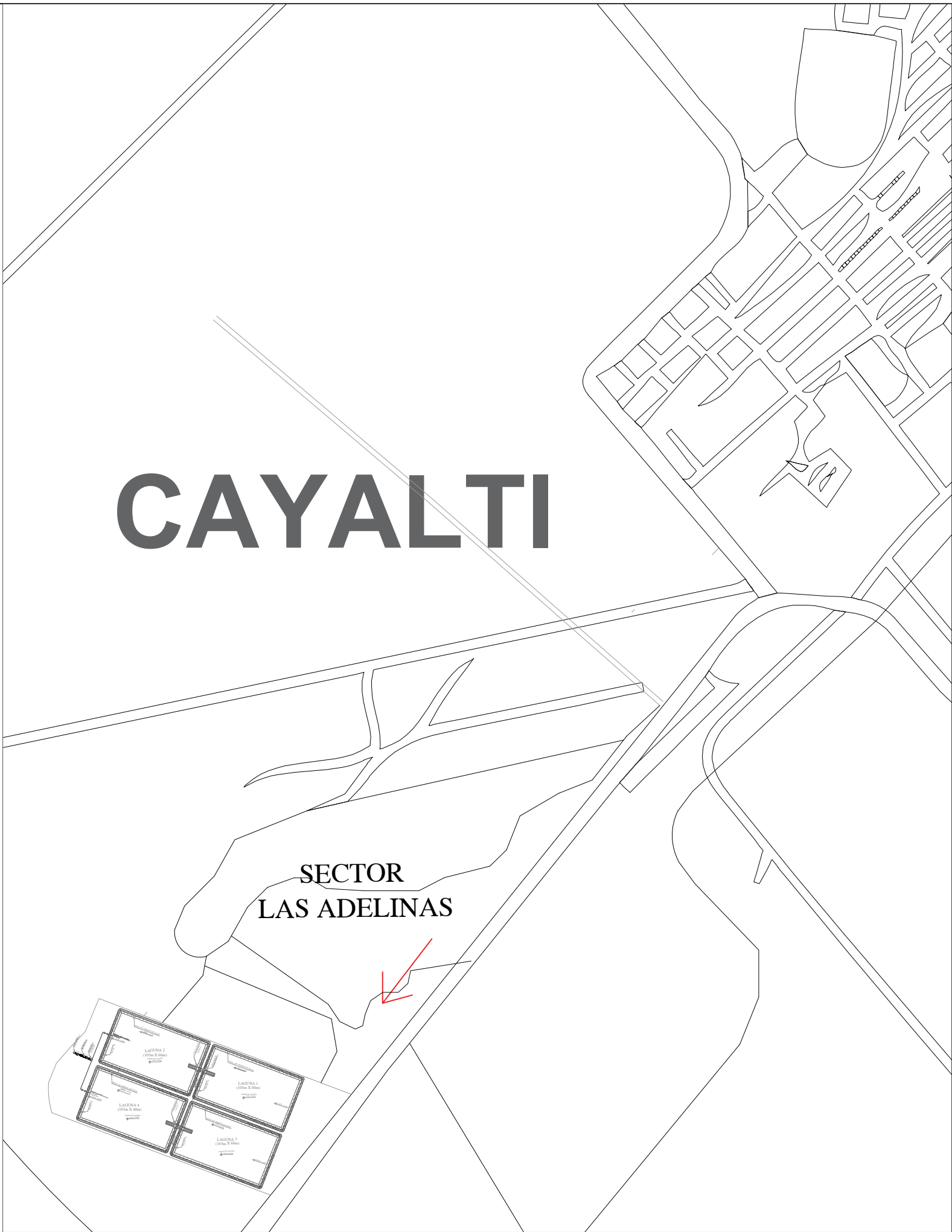
Se recomienda, de manera enfática cumplir con el desarrollo de las acciones/actividades contempladas en el plan de manejo ambiental. Además de la implementación de un manual de operación y mantenimiento.

ANEXO N°9

PLANOS



PLANO DE LOCALIZACIÓN
1/200



PLANO DE UBICACIÓN
1/5000

CUADRO DE ESPECIFICACIONES			
COORDENADAS DE UBICACIÓN: NORTE 9237014.996 ESTE 657994.995			
ESTANQUE	LARGO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m2)
A 1	103	60	6 180
A 2	103	60	6 180
A 3	103	60	6 180
A 4	103	60	6 180



FACULTAD DE IMGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTI EN EL
DEPARTAMTOO DE LAMBAYEQUE,2020.



GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:

UBICACIÓN
Y
LOCALIZACIÓN

UBICACIÓN:

CAYALTÍ

OBSERVACIONES:

ESCALA:
INDICADA

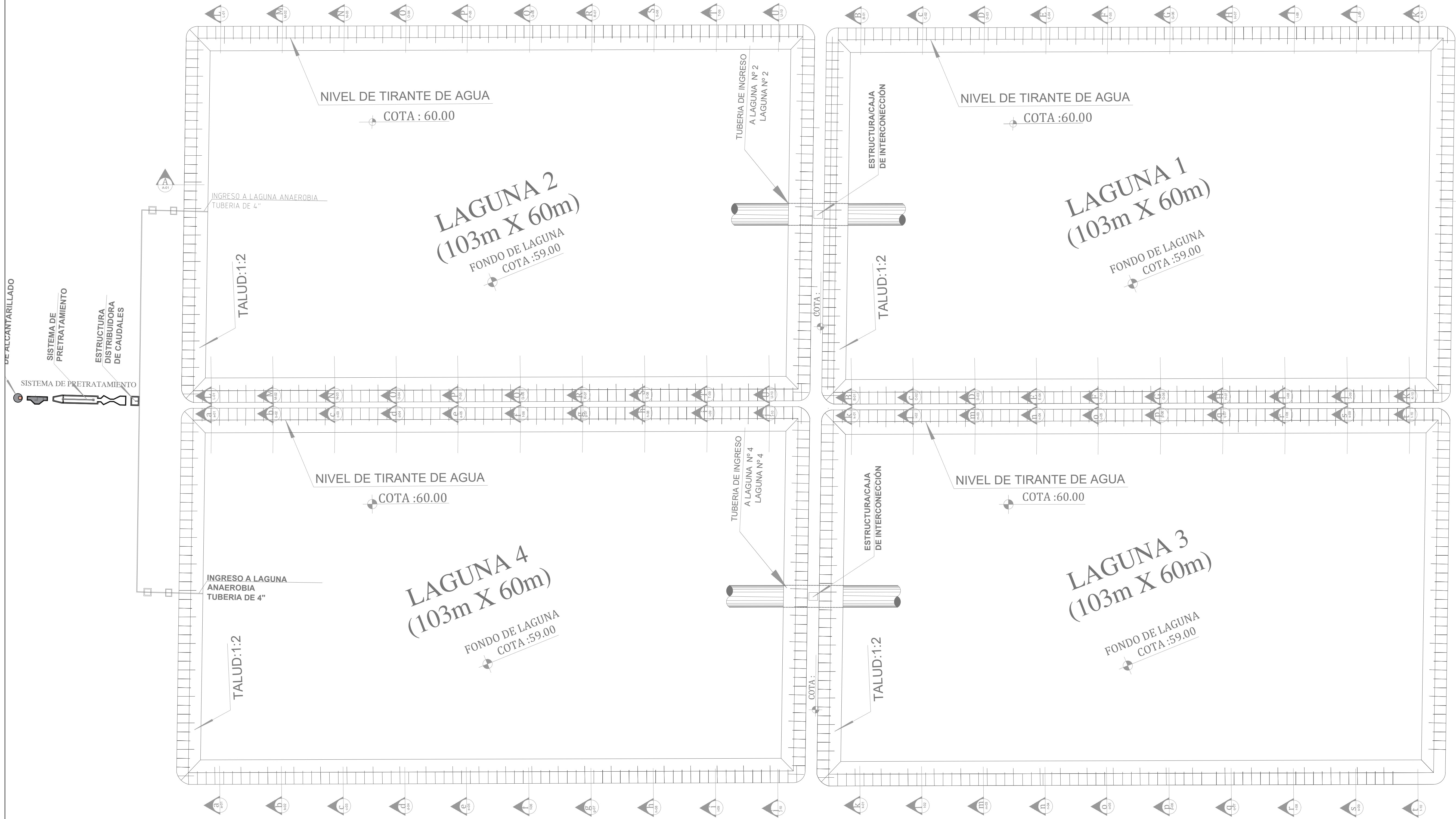
FECHA:
MAY 2020

DIBUJO CAD:
G.L.N.H

LAMINA:

PTAR - 01

DE ALCANTARILLADO

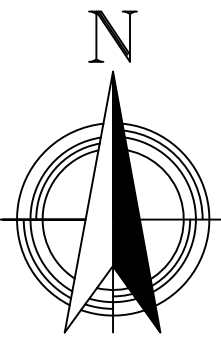


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTÍ EN EL
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020.

ORIENTACIÓN Y PLANO CAVE :



GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:

PLANTA GENERAL

UBICACIÓN:

CAYALTÍ

OBSERVACIONES:

ESCALA:
INDICADA

FECHA:
MAY 2020

DIBUJO CAD:
G.L.N.H

LAMINA:

PTAR - 01



LAS ADELAS

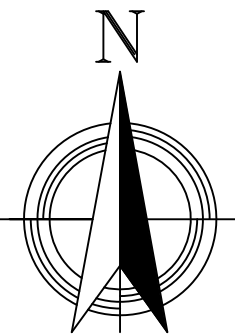


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTÍ EN EL
DEPARTAMENTOO DE LAMBAYEQUE,2020.

ORIENTACIÓN Y PLANO CAVE :

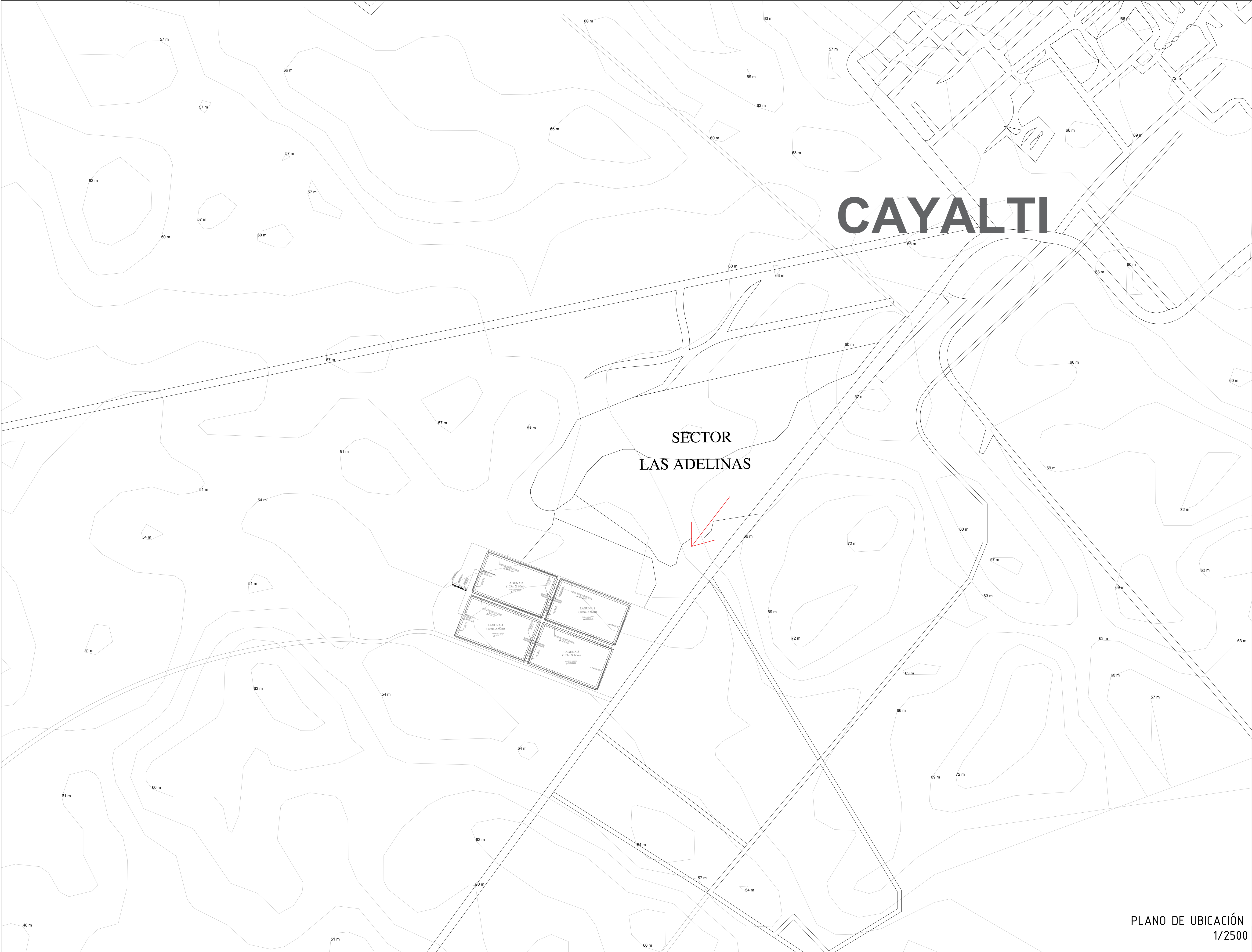


GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:	UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN
UBICACIÓN:	CAYALTÍ
OBSERVACIONES:	
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	MAY 2020
DIBUJO CAD:	G.L.N.H
LAMINA:	PTAR - 01

PLANO DE LOCALIZACIÓN
1/200

PLANO DE UBICACIÓN
1/750

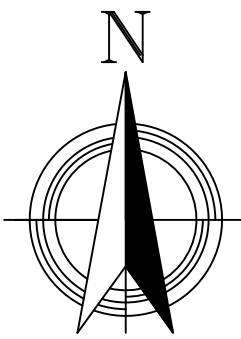


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTI EN EL
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020.

ORIENTACIÓN Y PLANO CAVE :



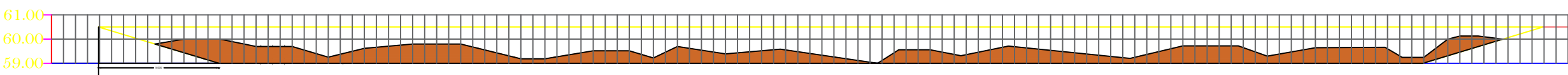
GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:	UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN
UBICACIÓN:	CAYALTÍ
OBSERVACIONES:	
ESCALA: INDICADA	
FECHA: MAY 2020	
DIBUJO CAD: G.L.N.H	
LAMINA:	PTAR - 01

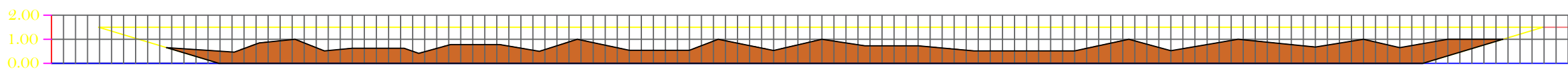
PLANO DE UBICACIÓN
1/2500

SECCIONES

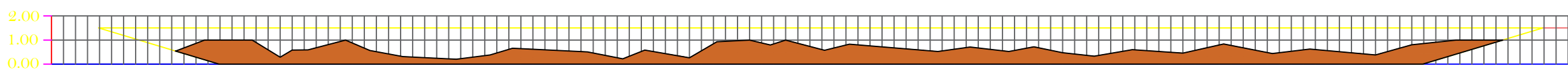
LAGUNA PRIMARIA N°1



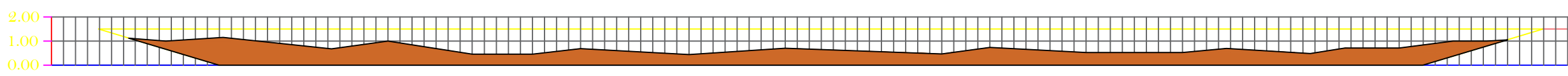
0+010



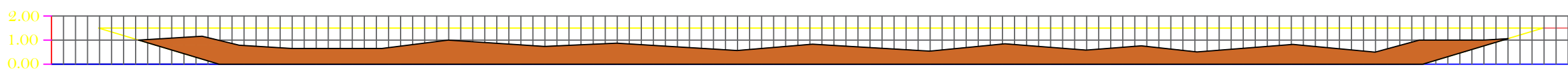
0+020



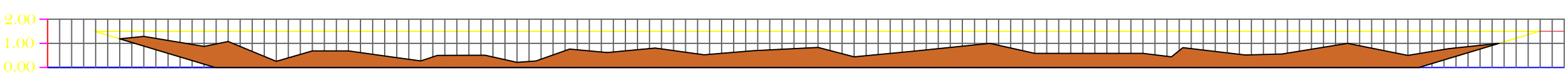
0+030



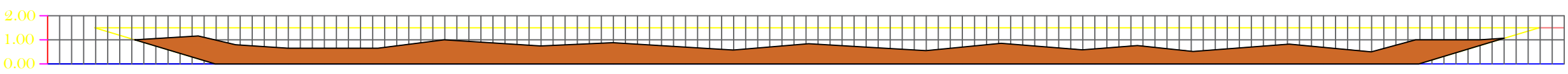
0+040



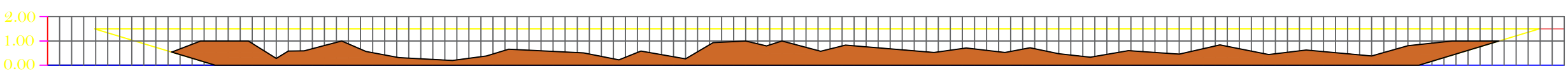
0+050



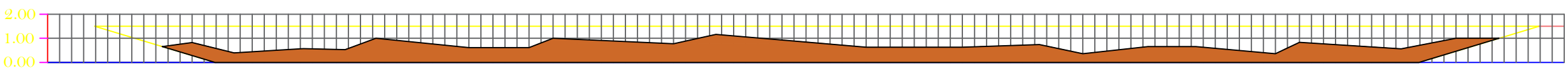
0+060



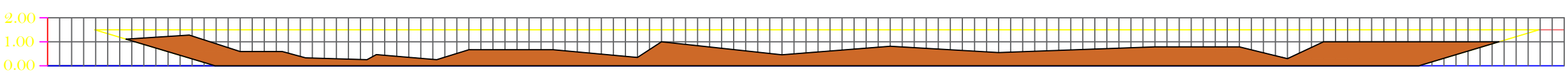
0+070



0+080

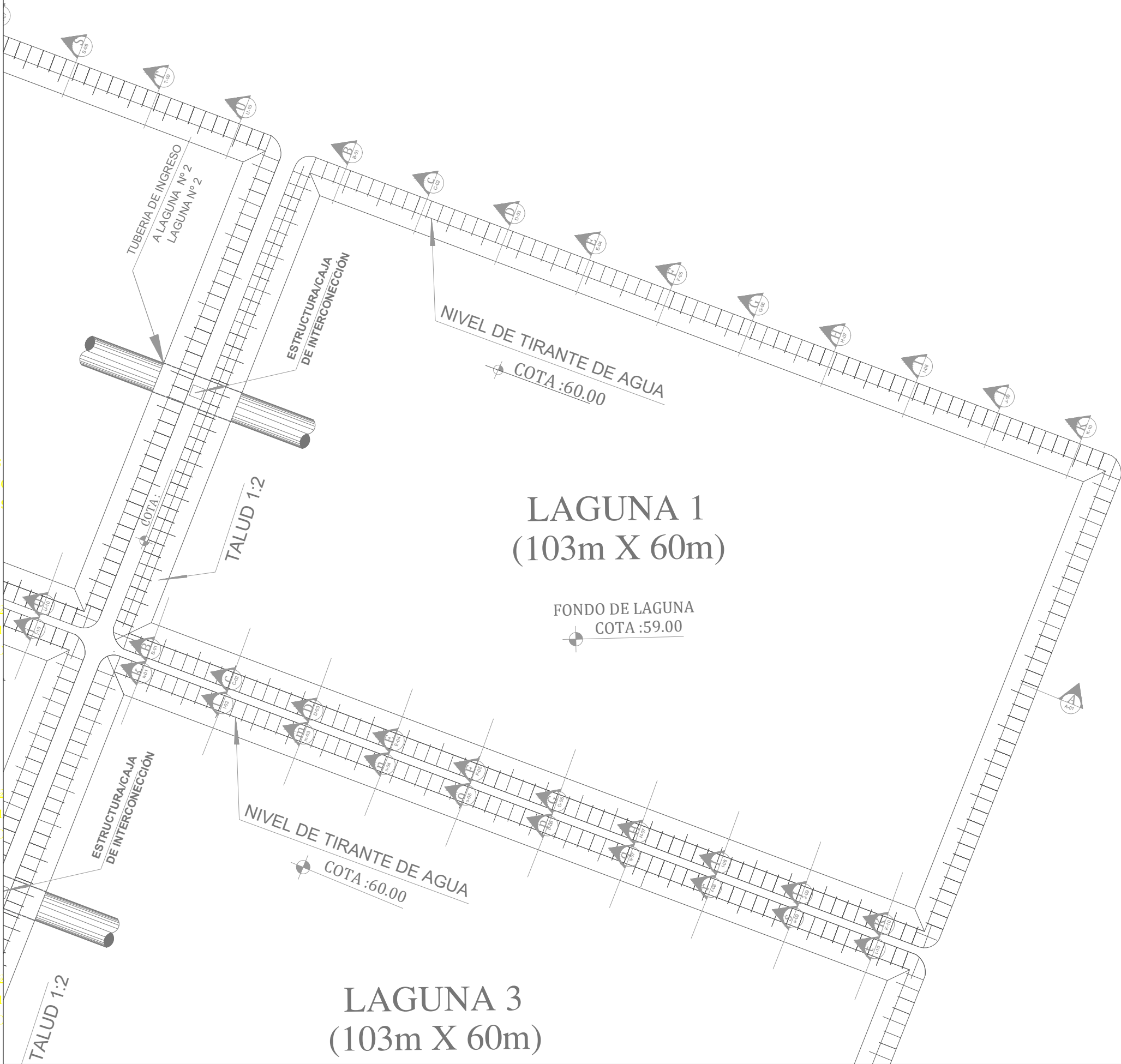


0+090



0+100

SECCIONES
1/200



PLANO DE UBICACIÓN
1/500

CUADRO DE ESPECIFICACIONES			
COORDENADAS DE UBICACIÓN: NORTE 9237014.996 ESTE 657994.995			
ESTANQUE	LARGO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m2)
A 1	103	60	6 180
A 2	103	60	6 180
A 3	103	60	6 180
A 4	103	60	6 180

PROGRESIVA:	LAGUNAS PRIMARIAS			
	ÁREA (m2)		VOL. SEDIMENTADO (m3)	
	LP 1	LP 2	LP 1	LP 2
0 + 010	28.1914	29.1512	-	-
0 + 020	37.7759	32.1617	439.782	408.753
0 + 030	32.0649	30.6986	465.605	419.069
0 + 040	35.6137	39.8372	451.191	470.239
0 + 050	39.8372	37.3749	503.006	514.747
0 + 060	34.6590	35.6137	496.641	486.591
0 + 070	39.8372	34.6590	496.641	468.485
0 + 080	32.0649	30.6986	479.347	435.717
0 + 090	37.3749	39.8317	462.932	470.202
0 + 100	36.2298	35.6137	490.698	502.969
VOLUMEN SEDIMENTADO EN LAG. PRIMARIAS			4285.844	4176.771

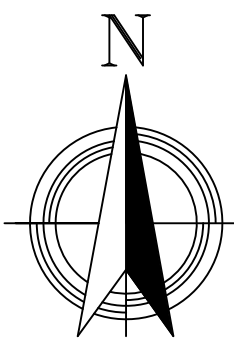


FACULTAD DE IMGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTÍ EN EL
DEPARTAMTOO DE LAMBAYEQUE,2020.

ORIENTACIÓN Y PLANO CAVE :



GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:

SECCIONES
LAGUNA
PRIMARIA 01

UBICACIÓN:

CAYALTÍ

OBSERVACIONES:

ESCALA:
INDICADA

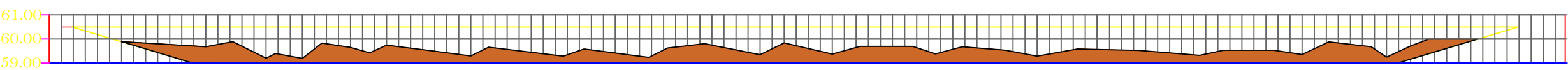
FECHA:
MAY 2020

DIBUJO CAD:
G.L.N.H

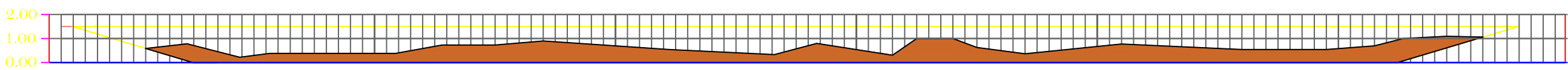
LAMINA:

PTAR - 01

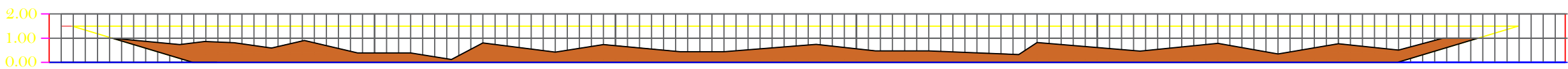
LAGUNA PRIMARIA N°2



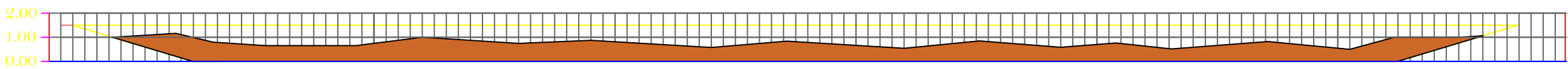
0+010



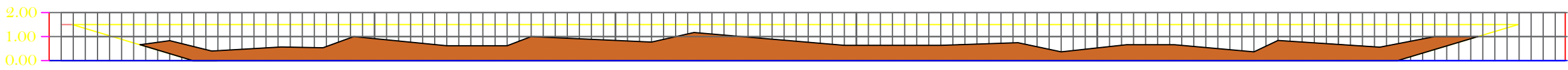
0+020



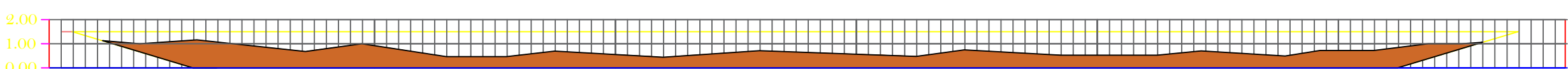
0+030



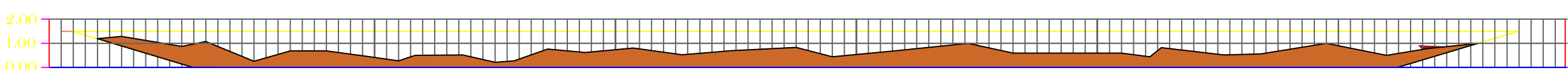
0+040



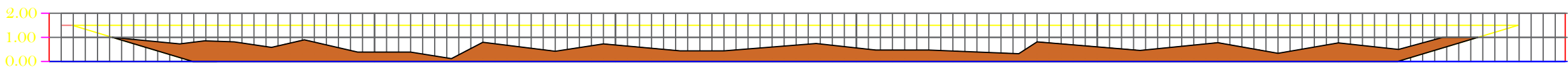
0+050



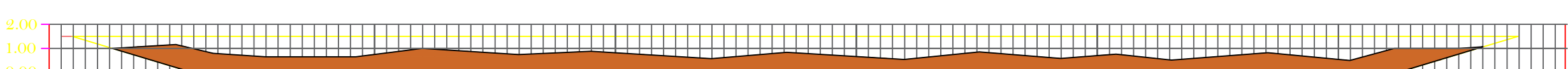
0+060



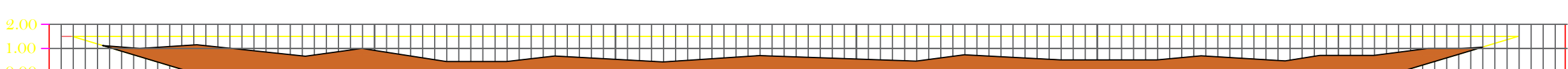
0+070



0+080

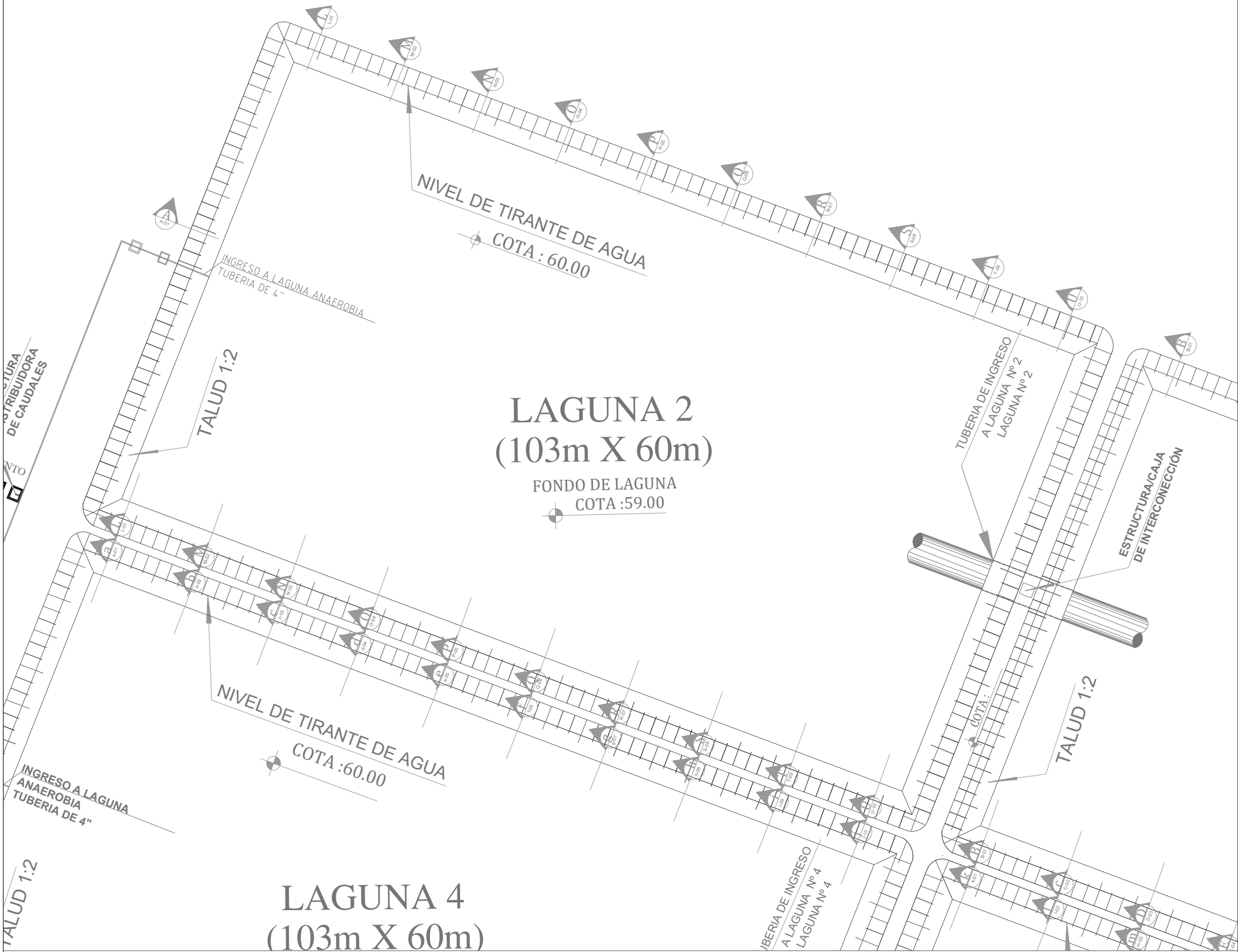


0+090



0+100

SECCIONES
1/200



PLANO DE UBICACIÓN
1/500

CUADRO DE ESPECIFICACIONES			
COORDENADAS DE UBICACIÓN:		NORTE 9237014.996 ESTE 657994.995	
ESTANQUE	LARGO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m2)
A 1	103	60	6 180
A 2	103	60	6 180
A 3	103	60	6 180
A 4	103	60	6 180

PROGRESIVA:	LAGUNAS PRIMARIAS			
	ÁREA (m2)		VOL. SEDIMENTADO (m3)	
	LP 1	LP 2	LP 1	LP 2
0 + 010	28.1914	29.1512	-	-
0 + 020	37.7759	32.1617	439.782	408.753
0 + 030	32.0649	30.6986	465.605	419.069
0 + 040	35.6137	39.8372	451.191	470.239
0 + 050	39.8372	37.3749	503.006	514.747
0 + 060	34.6590	35.6137	496.641	486.591
0 + 070	39.8372	34.6590	496.641	468.485
0 + 080	32.0649	30.6986	479.347	435.717
0 + 090	37.3749	39.8317	462.932	470.202
0 + 100	36.2298	35.6137	490.698	502.969
VOLUMEN SEDIMENTADO EN LAG. PRIMARIAS			4285.844	4176.771

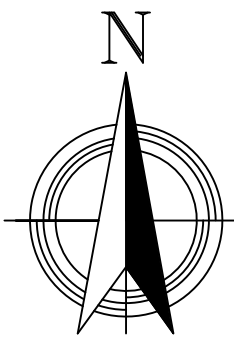


FACULTAD DE IMGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTÍ EN EL
DEPARTAMTOO DE LAMBAYEQUE,2020.

ORIENTACIÓN Y PLANO CAVE :



GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:

SECCIONES
LAGUNA
PRIMARIA 02

UBICACIÓN:

CAYALTÍ

OBSERVACIONES:

ESCALA:
INDICADA

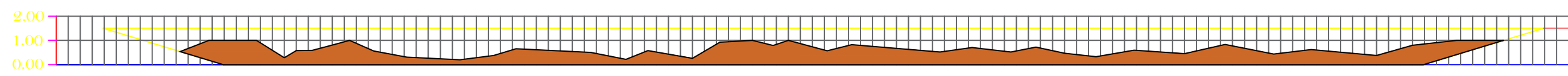
FECHA:
MAY 2020

DIBUJO CAD:
G.L.N.H

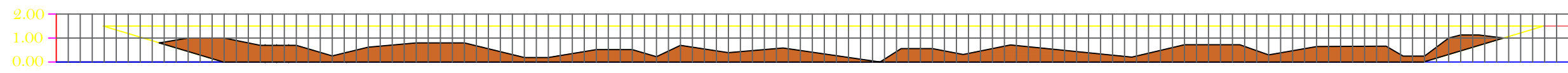
LAMINA:

PTAR - 01

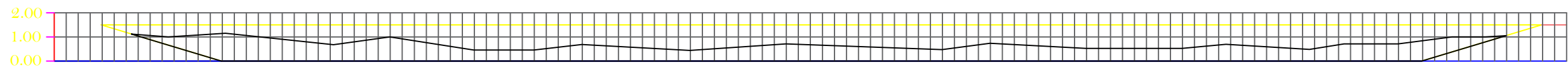
LAGUNA SECUNDARIA N°1



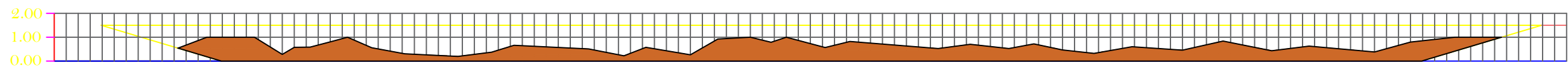
0+110



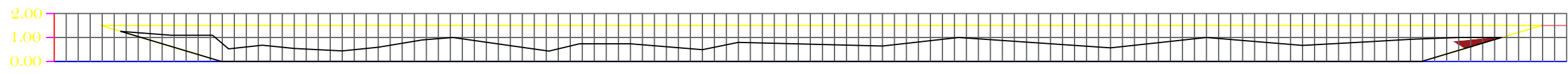
0+120



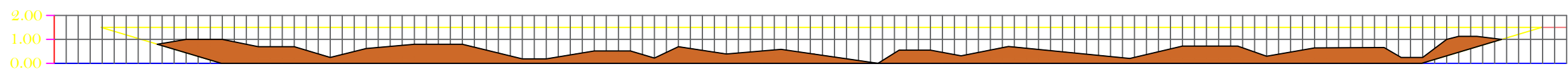
0+130



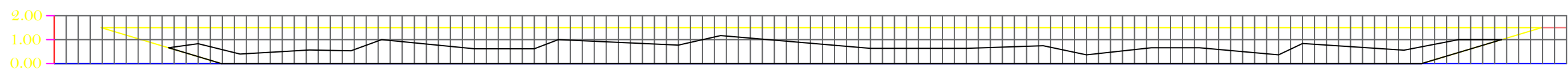
0+140



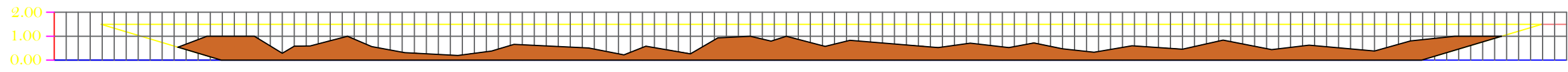
0+150



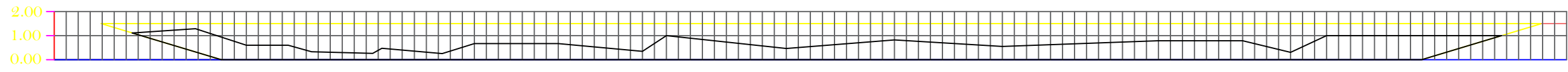
0+160



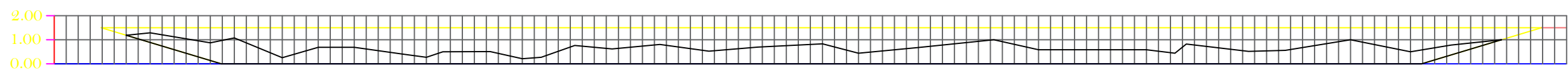
0+170



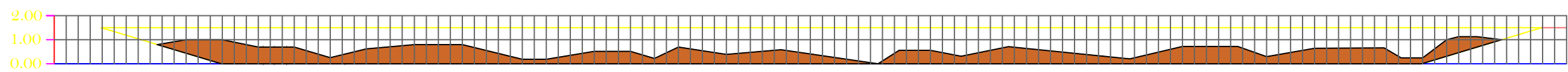
0+180



0+190

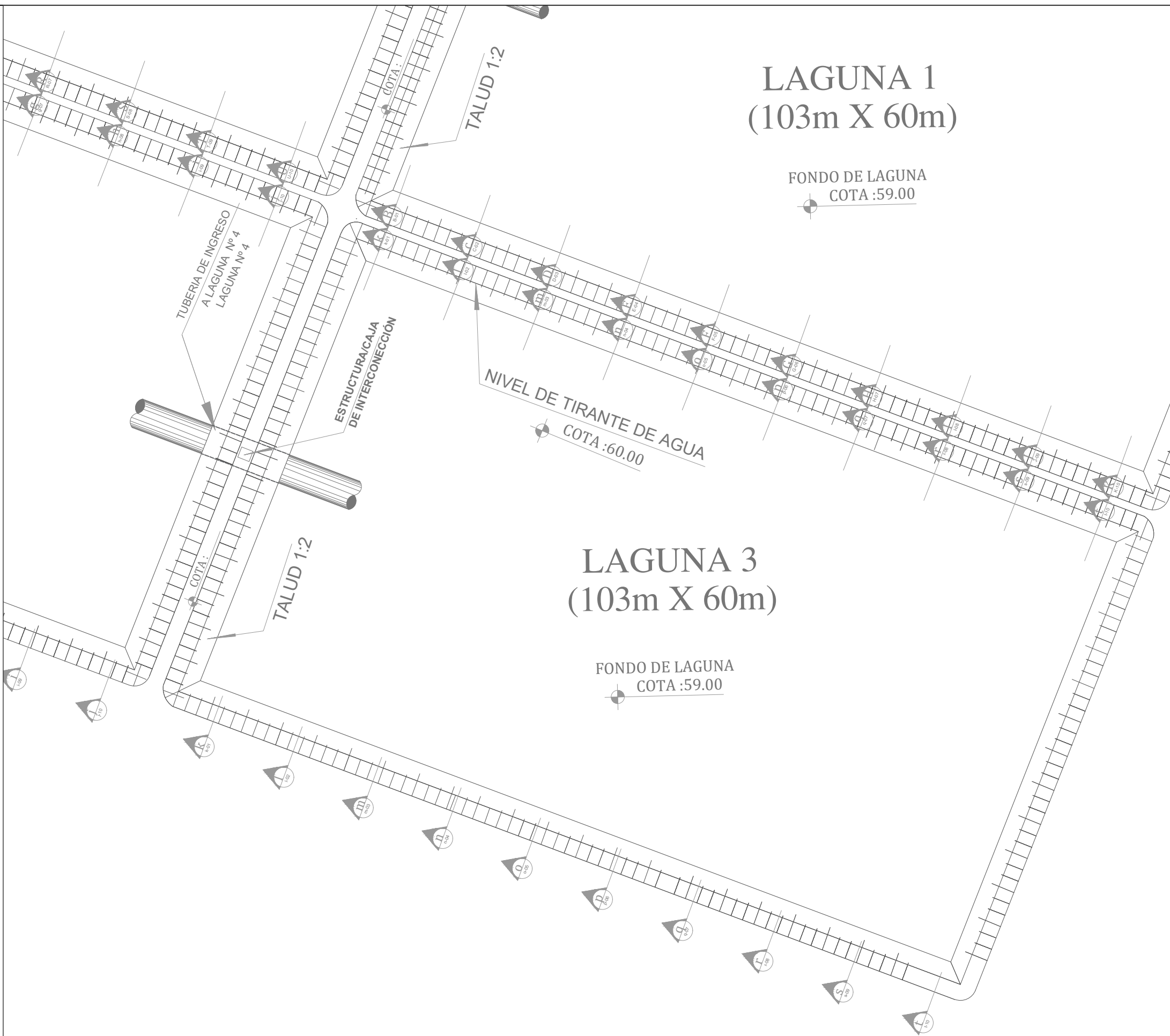


0+200



0+206

SECCIONES
1/200



PLANO DE UBICACIÓN
1/500

CUADRO DE ESPECIFICACIONES			
COORDENADAS DE UBICACIÓN:		NORTE 9237014.996	ESTE 657994.995
ESTANQUE	LARGO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m2)
A 1	103	60	6 180
A 2	103	60	6 180
A 3	103	60	6 180
A 4	103	60	6 180

PROGRESIVA:	LAGUNAS SECUNDARIAS			
	ÁREA (m2)		VOL. SEDIMENTADO (m3)	
	LP 1	LP 2	LP 1	LP 2
0 + 110	32.0649	30.6986	-	-
0 + 120	28.1914	29.1512	439.782	398.999
0 + 130	35.6137	34.6590	465.605	425.401
0 + 140	32.0649	30.6986	451.191	435.717
0 + 150	40.1363	37.3749	503.006	453.823
0 + 160	28.1914	28.8374	496.641	441.415
0 + 170	37.3749	36.2298	496.641	433.781
0 + 180	32.0649	30.6986	479.347	446.189
0 + 190	36.2298	40.1363	462.932	472.233
0 + 200	34.6590	34.6590	490.698	498.635
0 + 206	28.1914	29.1512	4285.844	425.401
VOLUMEN SEDIMENTADO EN LAG. PRIMARIAS			4462.059	4431.596

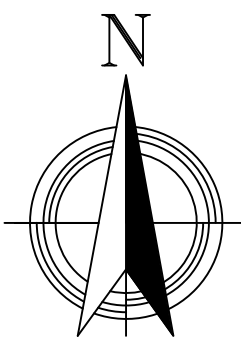


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTÍ EN EL
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE,2020.

ORIENTACIÓN Y PLANO CAVE :



GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:

SECCIONES
LAGUNA
SECUNDARIA 01

UBICACIÓN:

CAYALTÍ

OBSERVACIONES:

ESCALA:
INDICADA

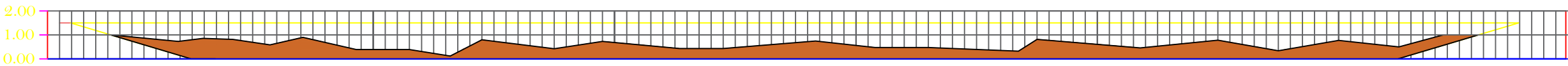
FECHA:
MAY 2020

DIBUJO CAD:
G.L.N.H

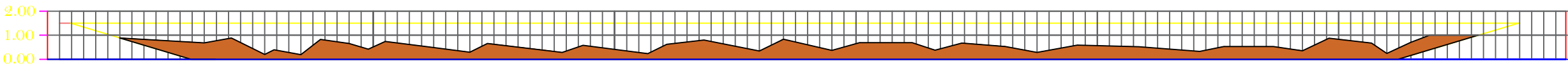
LAMINA:

PTAR - 01

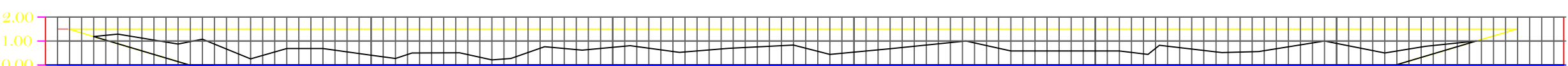
LAGUNA SECUNDARIA N°2



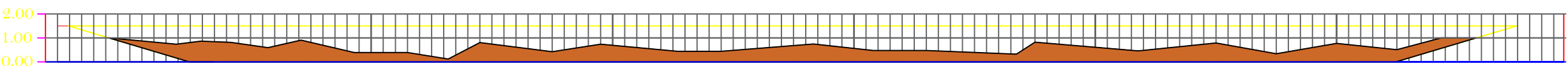
0+110



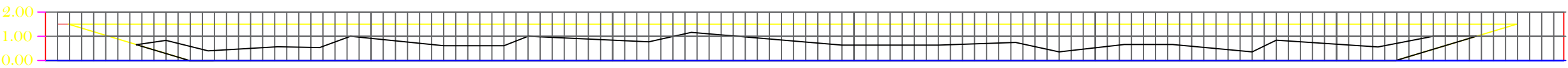
0+120



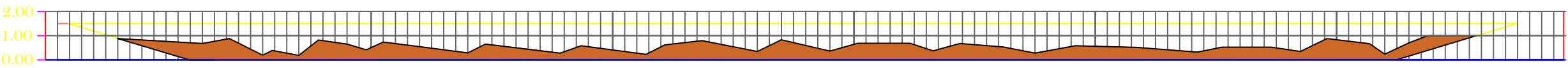
0+130



0+140



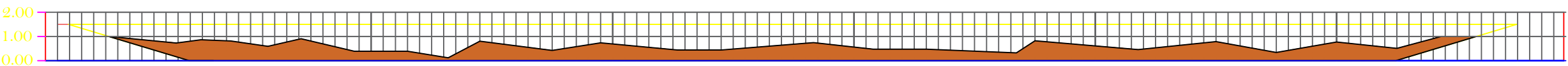
0+150



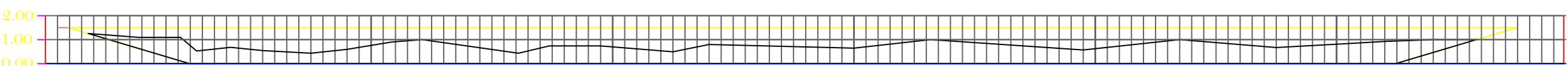
0+160



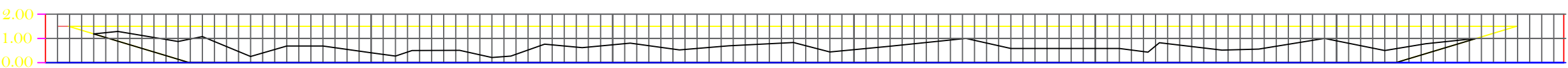
0+170



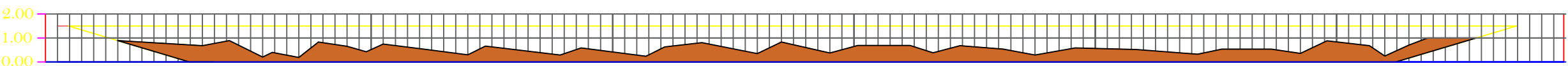
0+180



0+190

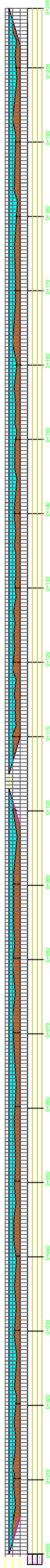


0+200

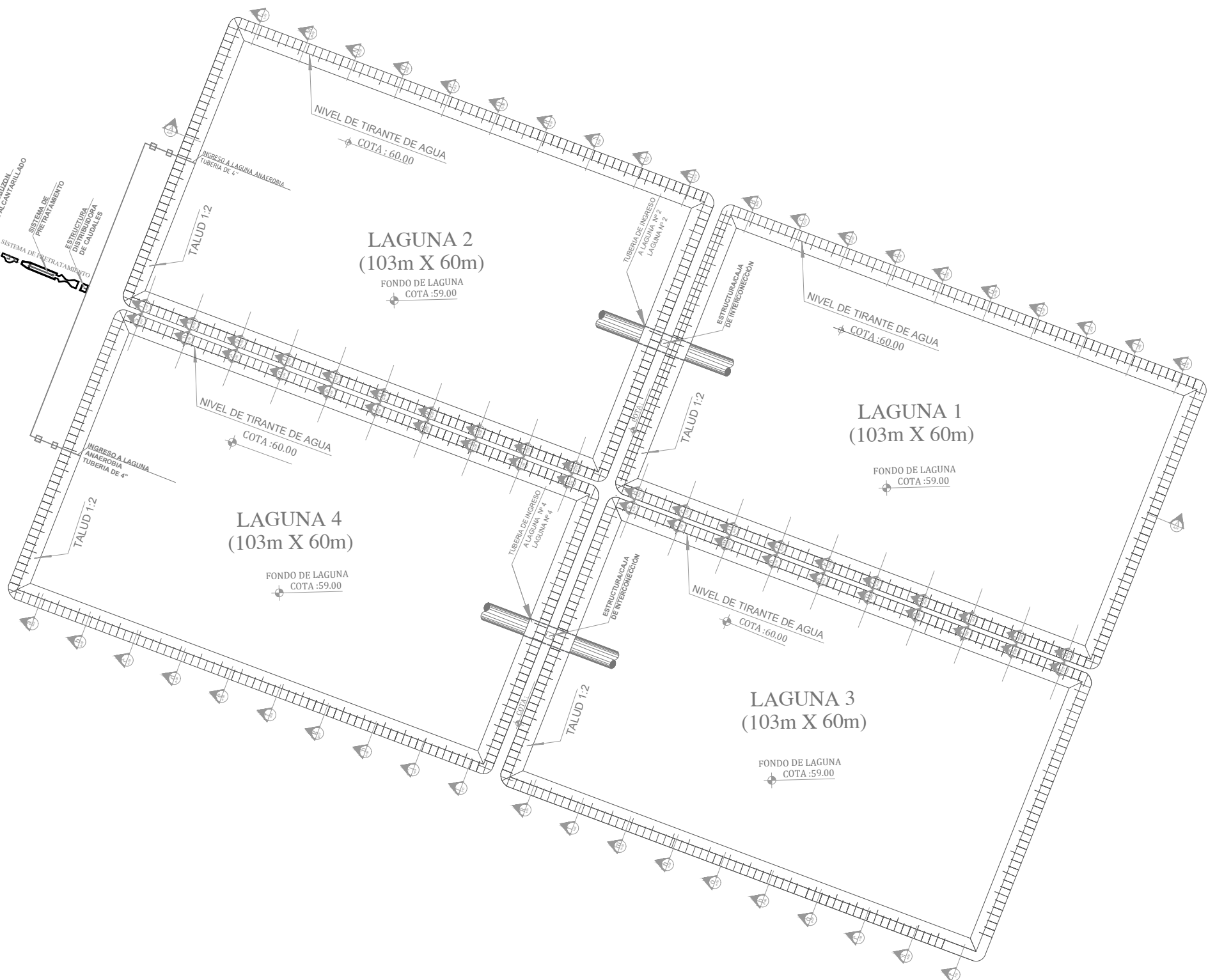


0+206

PERFIL LONGITUDINAL



SECCIONES
1/750



PLANO DE UBICACIÓN
1/1000

CUADRO DE ESPECIFICACIONES			
COORDENADAS DE UBICACIÓN:		NORTE 9237014.996 ESTE 657994.995	
ESTANQUE	LARGO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m2)
A 1	103	60	6 180
A 2	103	60	6 180
A 3	103	60	6 180
A 4	103	60	6 180

PROGRESIVA:	LAGUNAS SECUNDARIAS			
	ÁREA (m2)		VOL. SEDIMENTADO (m3)	
	LP 1	LP 2	LP 1	LP 2
0 + 110	32.0649	30.6986	-	-
0 + 120	28.1914	29.1512	439.782	398.999
0 + 130	35.6137	34.6590	465.605	425.401
0 + 140	32.0649	30.6986	451.191	435.717
0 + 150	40.1363	37.3749	503.006	453.823
0 + 160	28.1914	28.8374	496.641	441.415
0 + 170	37.3749	36.2298	496.641	433.781
0 + 180	32.0649	30.6986	479.347	446.189
0 + 190	36.2298	40.1363	462.932	472.233
0 + 200	34.6590	34.6590	490.698	498.635
0 + 206	28.1914	29.1512	4285.844	425.401
VOLUMEN SEDIMENTADO EN LAG. PRIMARIAS			4462.059	4431.596

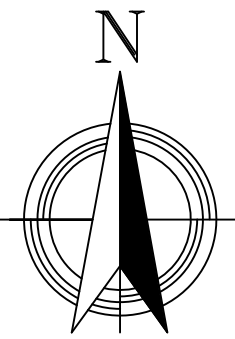


FACULTAD DE IMGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTÍ EN EL
DEPARTAMTOO DE LAMBAYEQUE,2020.

ORIENTACIÓN Y PLANO CAVE :



GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:

SECCIONES
LAGUNA
SECUNDARIA 02

UBICACIÓN:

CAYALTÍ

OBSERVACIONES:

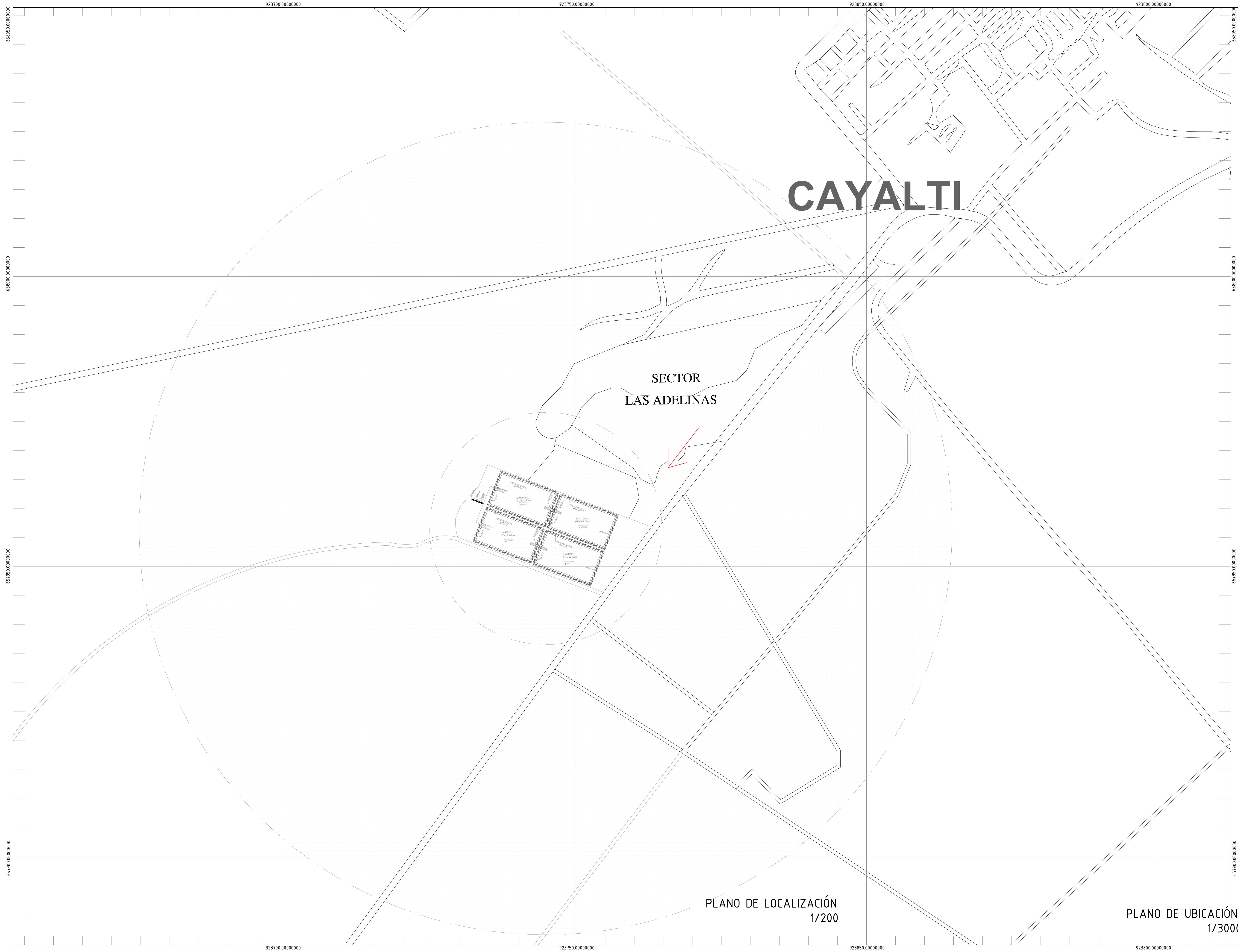
ESCALA:
INDICADA

FECHA:
MAY 2020

DIBUJO CAD:
G.L.N.H

LAMINA:

PTAR - 01



PLANO DE LOCALIZACIÓN
1/200

PLANO DE UBICACIÓN
1/3000



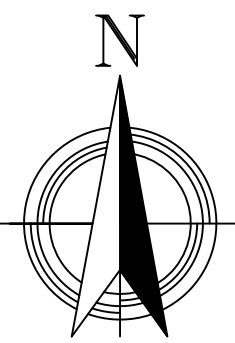
USAT
Universidad Católica
santo Toribio de Mogrovejo

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL

PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN DE CAYALTI EN EL
DEPARTAMENTOO DE LAMBAYEQUE,2020.

ORIENTACIÓN Y PLANO CAVE :



GERALDINE LISET NEVADO HERNANDEZ

PROYECTO:

PLANO DE
AID Y AII

UBICACIÓN:

CAYALTÍ

OBSERVACIONES:

ESCALA:
INDICADA

FECHA:
MAY 2020

DIBUJO CAD:
G.L.N.H

LAMINA:

PTAR - 01