

**Evaluación del diseño y construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales del Municipio de Labranzagrande – Boyacá**

Cristhian Camilo Torres Peña

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Trabajo de Grado
Bogotá
2021**

**Evaluación del diseño y construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales del Municipio de Labranzagrande – Boyacá**

Trabajo para obtener el título de ingeniero civil

Cristhian Camilo Torres Peña

Director:

Ing. Fabio Eduardo Díaz López

Jurado 1:

Ing. Oscar Baquero

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Civil

Trabajo de Grado

Bogotá

2021

Contenido

Índice de Ilustraciones	5
Índice de Tablas	6
Índice de Figuras	8
Índice de Ecuaciones	9
Glosario	10
Resumen	17
Abstract.....	19
1. Introducción	21
2. Descripción del Proyecto	23
3. Objetivos	24
3.1 Objetivo General.....	24
3.2 Objetivos Específicos	24
4. Justificación.....	25
5. Antecedentes	29
6. Marco Teórico	32
6.1 Tipos de Procesos de Tratamientos de Agua Residuales.....	32
6.1.1 Tratamiento Preliminar:	32
6.1.2 Tratamiento Primario	45
6.1.3 Tratamiento Secundario	46
6.1.4 Tratamiento terciario.....	52
6.2 Reactor UASB	52
6.3 Información general el municipio de Labranzagrande	65
6.3.1 Servicios Públicos	69
6.4 Marco Tecnológico	70
7. Flujograma	71
8. Cronograma.....	72
9. Metodología	73
Fase 1: Obtención de información de la planta de tratamiento del municipio de Labranzagrande – Boyacá.....	73
A. Características principales de la ubicación del proyecto (Sistema de información geográfica).....	74

B.	Estudios realizados para la construcción de las unidades de la PTAR	75
C.	Adquirir planos de la infraestructura de la planta de tratamiento (PTAR) del municipio de Labranzagrande – Boyacá.	88
	Fase 2: Diagnostico de las condiciones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrande – Boyacá.	88
A.	Visita técnica y observación directa de las unidades existentes.....	89
B.	Verificación mínima de parámetros de diseño	100
	Fase 3: Realizar una actualización de las unidades ya construidas y de las de la segunda etapa para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrande – Boyacá.....	113
A.	Comparar los datos existentes con los obtenidos en el proyecto	114
B.	Anomalías encontradas en la visita técnica.....	140
C.	Prediseño de las unidades de la segunda etapa de construcción de la planta de Tratamiento de aguas Residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá.	142
D.	Informe a la secretaria de planeación del municipio de Labranzagrande – Boyacá.....	155
	Conclusiones.....	156
	Recomendaciones	158
	Referencias	160

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación del Departamento de Boyacá	26
Ilustración 2. Ubicación del municipio y departamento - Labranzagrande – Boyacá.....	27
Ilustración 3. Ubicación del municipio - Labranzagrande - Boyacá	27
Ilustración 4. Labranzagrande - Boyacá – Ubicación PTAR UASB.....	28
Ilustración 5. Tipos de sistemas combinados de sistemas aerobios – anaerobios.	47
Ilustración 6. Reactores UASB de los principales proveedores de sistemas anaeróbicos: Paques, B.V. (izquierda) y Biothane B.V. (derecha).....	53
Ilustración 7. Reactor UASB.....	54
Ilustración 8. Procesos químicos de la digestión.....	56
Ilustración 9. Procesos químicos de la digestión.....	57
Ilustración 10. Las 4 etapas del proceso de digestión anaerobia	59
Ilustración 11. Dibujo esquemático de un reactor UASB.	62
Ilustración 12. División política de Boyacá.....	66
Ilustración 13. Mapa de la provincia de la Libertad.	66
Ilustración 14. División política rural.....	67
Ilustración 15. División política urbana.	68
Ilustración 16. Flujograma del Proyecto.....	71
Ilustración 17. Cronograma de actividades	72
Ilustración 18. Labranzagrande – Boyacá – Ubicación PTAR UASB.....	74
Ilustración 19. Localización de los puntos de monitoreo fuente receptora Rio Cravo Sur ..	76
Ilustración 20. Perfil Hidráulico de la PTAR	113
Ilustración 21. Perfil Hidráulico de la PTAR.	113
Ilustración 22. Estructura planta de tratamientos de aguas residuales que se encuentra construida en la actualidad en el municipio de Labranzagrande – Boyacá.	113
Ilustración 23. Planta general canaleta Parshall.	122
Ilustración 24. Canaleta Parshall perfil Esc: 1:10	126
Ilustración 25. Diagrama de flujo de la configuración de la infraestructura UASB.	129
Ilustración 26. Estructura planta de tratamientos de aguas residuales con las unidades faltantes del municipio de Labranzagrande – Boyacá.	142
Ilustración 27. Filtro Anaerobio.	147
Ilustración 28. Filtro Anaerobio.	151
Ilustración 29. Lechos de secado.....	154
Ilustración 30. Diagrama de flujo PTAR.....	155

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de rejillas gruesas.	32
Tabla 2. Rejillas finas	39
Tabla 3. Ventajas y desventajas del proceso aerobio y anaerobio.....	47
Tabla 4. Ventajas Tratamiento Anaeróbico.....	49
Tabla 5. Desventajas Tratamiento Anaeróbico.....	50
Tabla 6. Características Filtros Anaeróbicos.....	51
Tabla 7. Ventajas de los Reactores UASB.	55
Tabla 8. Digestión anaeróbica.	59
Tabla 9. Ventajas y desventajas del Reactor UASB.....	63
Tabla 10. Uso actual Rio Cravo Sur (Tramo 1-2)	77
Tabla 11. Concentraciones de aguas residuales.....	77
Tabla 12. Comportamiento de los parámetros sanitarios en el punto de mezcla.....	78
Tabla 13. Parámetros sanitarios aguas abajo del vertimiento.....	79
Tabla 14. Muestreo compuesto de aguas residuales.....	79
Tabla 15. Variación del caudal de aguas residuales. Muestro compuesto	80
Tabla 16. Eficiencias en los procesos de tratamiento.....	82
Tabla 17 . Usos del recurso y objetivos de calidad.	83
Tabla 18 . Alternativas de Tratamiento	84
Tabla 19 . Alternativa 1.	85
Tabla 20 . Alternativa 2.	85
Tabla 21. Comparación de remociones de las alternativas de tratamiento seleccionadas....	85
Tabla 22. Determinación del mejor sistema de tratamiento	86
Tabla 23. Especificaciones emisario	90
Tabla 24. Características de las rejillas finas.....	92
Tabla 25. Características de las rejillas gruesas	93
Tabla 26. Características de los lechos de secado	96
Tabla 27. Características de los reactores UASB.....	97
Tabla 28. Resumen de Parámetros de Diseño.	100
Tabla 29. Porcentaje de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	101
Tabla 30. Población total.....	103
Tabla 31. Proyecciones de población DANE Método geométrico.....	103
Tabla 32. Proyecciones de población método exponencial y método geométrico.....	104
Tabla 33. Caudales de diseño.	106
Tabla 34. Dotaciones netas máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar.....	106
Tabla 35. Aportes comerciales según el nivel de complejidad.....	109
Tabla 36. Aportes de caudales por conexiones erradas.	109
Tabla 37. Parámetros de diseño RAS 2000.	114
Tabla 38. Actualización Parámetros de diseño RAS 2017 – Resolución 0330.....	115
Tabla 39. Criterios de rejillas.	116
Tabla 40. Eficiencia en los procesos de tratamiento	116
Tabla 41. Canaleta Parshall.	124

Tabla 42. Eficiencia en los procesos de tratamiento.	127
Tabla 43. Eficiencia en los procesos de tratamiento.	131
Tabla 44. Parámetros de diseño Reactor UASB.....	132
Tabla 45. Parámetros primarios de diseño.	132
Tabla 46. Parámetros ambientales.	133
Tabla 47. Otros parámetros	134
Tabla 48. Eficiencia de remoción en filtros Anaerobios.	143
Tabla 49. Área requerida según fuente de lodo.	152

Índice de Figuras

Figura 1. Emisario final	89
Figura 2. Vertederos de rebose	91
Figura 3. Rejillas finas.....	92
Figura 4. Rejillas gruesas.	92
Figura 5. Desarenador.....	94
Figura 6. Salida de desarenador.....	94
Figura 7. Lechos de secado.....	96
Figura 8. Reactor UASB.....	96
Figura 9. Cuarto de bombas.....	98
Figura 10. Cuarto de bombas.....	99

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Pérdida de energía a través de barras limpias o parcialmente obstruidas.....	37
Ecuación 2. Pérdida de energía únicamente a través de una pantalla limpia	37
Ecuación 3. Pérdida de energía calculada a través de un orificio.....	43
Ecuación 4. Área efectiva de la pantalla mojada.....	44
Ecuación 5. Punto de mezcla.....	78
Ecuación 6. Volumen de cada porción de muestra.....	81
Ecuación 7. Método geométrico.....	103
Ecuación 8. Método exponencial.....	104
Ecuación 9. Caudal de aguas domésticas	107
Ecuación 10. Factor de mayoración.....	107
Ecuación 11. Caudal máximo horario.....	108
Ecuación 12. Caudal por infiltración.....	109
Ecuación 13. Caudal de diseño.....	110
Ecuación 14. Carga hidráulica.....	111
Ecuación 15. Velocidad de flujo.....	111
Ecuación 16. Pérdidas de carga.....	111
Ecuación 17. Área útil- rejillas gruesas.....	117
Ecuación 18. Eficiencia rejillas gruesas.....	118
Ecuación 19. Velocidad de aproximación rejillas gruesas.....	118
Ecuación 20. Número de barras rejillas gruesas.....	119
Ecuación 21. Pérdida de carga rejillas gruesas.....	119
Ecuación 22. Área útil- rejillas finas.....	120
Ecuación 23. Eficiencia rejillas finas.....	120
Ecuación 24. Velocidad de aproximación rejillas finas.....	121
Ecuación 25. Número de barras rejillas finas.....	121
Ecuación 26. Pérdida de carga rejillas finas.....	122
Ecuación 27. Tiempo de Retención Hidráulica.....	135
Ecuación 28. Carga Orgánica Volumétrica.....	136
Ecuación 29. Volumen del Reactor.....	137
Ecuación 30. Área del Reactor.....	138
Ecuación 31. Velocidad Ascensional.....	139
Ecuación 32. Diámetro del Reactor.....	140
Ecuación 33. Volumen del lecho filtrante del filtro anaeróbico.....	144
Ecuación 34. Volumen del filtro anaerobio.....	145
Ecuación 35. Volumen de digestión del filtro anaerobio.....	145
Ecuación 36. Tiempo de digestión del filtro anaerobio.....	146
Ecuación 37. Pérdida de carga del filtro anaerobio.....	148
Ecuación 38. Pérdidas de entrada del filtro.....	148
Ecuación 39. Pérdidas por salida del filtro.....	149
Ecuación 40. Pérdidas totales del filtro.....	150
Ecuación 41. Área requerida según fuente de lodo.....	153

Glosario

Aguas Crudas: Aguas residuales que no han sido tratadas. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Aguas Receptoras: Un río, un lago, un océano, una corriente de agua u otro curso de agua, dentro del cual se descargan aguas residuales o efluentes tratados. (*Agua mx, 2015*)

Aguas Residuales Municipales: Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Aguas Residuales: Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Aguas residuales domesticas - ARD: Son las procedentes de los hogares, así como la de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que corresponden a:

1. Descargas de los retretes y servicios unitarios
2. Descarga de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (no se incluyen las de los servicios de lavandería industrial). (*Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2015*)

Aguas residuales no domesticas - ARnD: Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintos a las que constituyen aguas residuales domesticas – ARD. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., 2015)

Aguas Servidas: Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Aireación: Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido). (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Alcantarilla Combinada: Un sistema de alcantarilla que transporta tanto aguas residuales como agua de lluvia de escorrentía. (*Agua mx, 2015*)

Ambiente Aerobio: Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Ambiente Anaerobio: Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Análisis: Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Área de Influencia: Comprende el ámbito espacial en donde se manifiestan los posibles impactos ambientales y socioculturales ocasionados por las actividades hidrocarburíferas. (*ESPOL, 2010*)

Área de Influencia Directa: Comprende el ámbito espacial en donde se manifiesta de manera evidente, durante la realización de los trabajos, los impactos socio-ambientales. (ESPOL, 2010)

Clarificador: Tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Combinado: Sistema de alcantarillado que recibe aguas lluvias y aguas residuales de origen doméstico y/o industrial. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Contaminación: Acción y efecto de contaminar. Ver contaminante. (IGME, 2017)

Contaminante: Cualquier forma de materia o energía ajena a la composición natural del agua. (IGME, 2017)

Contaminante Conservativo: Contaminante 153 Glosario cuya naturaleza química no varía en su interacción con el medio físico o biológico y que por tanto al atravesar el suelo y el acuífero, mantiene todas sus propiedades. (IGME, 2017)

Contaminante No Conservativo: Contaminante cuya naturaleza química varía al interaccionar con los componente bióticos y abióticos del medio. (IGME, 2017)

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente 5 días y 20°C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Desarenadores: Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena). (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Descarga: Vertido de agua residual o de líquidos contaminantes al ambiente durante un periodo determinado o permanente. (*Agua mx, 2015*)

Desecho: Denominación genérica de cualquier tipo de productos residuales o basuras procedentes de las actividades humanas o bien producto que no cumple especificaciones. Sinónimo de residuo. (*Agua mx, 2015*)

Descomposición Anaerobia: Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Desechos Industriales: Desechos líquidos de la manufactura de un producto específico. Usualmente son más concentrados y tienen mayores variaciones de caudal que los desechos domésticos. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Depuración natural: Depuración en la que no interviene el hombre, mediada por procesos naturales como la degradación bacteriana, oxidación, dilución o la interacción con la matriz sólida del terreno. (*IGME, 2017*)

Demanda química de oxígeno (DQO): Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usado como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Disposición Final: Disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados. (*Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000*)

Eficiencia de Tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Efluente Final: Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Emisario: Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado y las lleva a una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento y las lleva hasta el punto de disposición final. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Filtro Anaerobio: Consiste en una columna llenada con varios tipos de medios sólidos usados para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Flujo: El radio del caudal de un recurso, expresado en volumen por unidad de tiempo. (*Agua mx, 2015*)

Flujo Entrante: Una corriente de agua que entra en cualquier sistema o unidad de tratamiento. (*Agua mx, 2015*)

Lechos de Secado: Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Lodo Biológico: Lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Lodos: Residuo semisólido, que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas. (*Agua mx, 2015*)

Lodos Activados: Procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Lodos Municipales: Residuos semilíquidos que sobran del tratamiento de las aguas municipales y aguas residuales. (*Agua mx, 2015*)

Lodos Residuales: Lodos producidos por un sistema de alcantarillado público. (*Agua mx, 2015*)

Parámetro: Es la línea que determina el límite de construcción permitida en una obra. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Parámetros de diseño: Criterios preestablecidos con los que se diseñan y se construyen cada uno de los componentes de los sistemas. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

pH: Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrogeno, en moles por litro. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Planta de Tratamiento (de agua residual): Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB): Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de

un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

SST: Sólidos Suspendidos Totales, un parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua. (*IGME, 2017*)

Resumen

El proyecto es la evaluación del diseño y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrande – Boyacá, la cual corresponde a un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante reactores anaerobios tipo UASB (flujo ascendente) los cuales permiten separar internamente el efluente tratado, la biomasa y se encarga de reducir concentraciones de materia orgánica. Esta evaluación se realizó con el fin de darle continuidad al proyecto y hacer algunas correcciones y recomendaciones para su buen funcionamiento al ser culminada, esto con el fin de darle una mejor calidad de vida a los habitantes del municipio de Labranzagrande – Boyacá y a las poblaciones ubicados aguas abajo.

El procedimiento que se llevó a cabo para este proyecto fue: visitas e inspecciones de campo, conociendo así las condiciones físicas y ambientales que enmarcan la PTAR, ayudándonos de esta manera a una descripción detallada del sistema de tratamiento de aguas residuales en estudio, posteriormente se hicieron consultas topográficas, hidráulicas, estructurales y ambientales, igualmente se tomaron fotografías, medidas de cada una de las unidades existentes, luego con los resultados obtenidos se procedió a la fase de evaluación del estado actual del sistema de tratamiento en estudio, especificando las anomalías de las unidades construidas al igual que sus características físicas con las suministradas en las especificaciones establecidas técnicamente en la normatividad y documentación correspondiente, por último se dieron recomendaciones, para la futura terminación de la PTAR.

Palabras clave: Reactor UASB, Tratamiento anaerobio, Aguas residuales, Planta de tratamiento de aguas residuales, Parámetros de diseño.

Abstract

The project is the evaluation of the design and construction of the wastewater treatment plant (WWTP) of the municipality of Labranzagrando - Boyacá, which corresponds to a wastewater treatment system using anaerobic reactors type UASB (upward flow) which allow internally separate the treated effluent, the biomass and is responsible for reducing concentrations of organic matter. This evaluation was carried out in order to give continuity to the project and make some corrections and recommendations for its proper functioning upon completion, this in order to give a better quality of life to the inhabitants of the municipality of Labranzagrando - Boyacá and to the populations located downstream.

The procedure that was carried out for this project was: field visits and inspections, thus knowing the physical and environmental conditions that frame the PTAR, thus helping us to a detailed description of the wastewater treatment system under study. Topographic, hydraulic, structural and environmental investigations were carried out, photographic samples were also taken, measurements of each of the existing units, then with the results obtained we proceeded to the evaluation phase of the current state of the treatment system under study, specifying the various causes of inoperability of the WWTP and also verifying its physical characteristics with those provided in the specifications technically established in the regulations and corresponding documentation, finally, recommendations were given for the future termination of the WWTP.

Keywords: UASB reactor, Anaerobic treatment, Wastewater, Wastewater treatment plant, Design parameters.

1. Introducción

Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para la población, es uno de los objetivos de desarrollo sostenible primordiales a la hora de diseñar y construir plantas de tratamiento (agua potable, aguas residuales). Es por esta razón que al construir una planta de tratamiento se debe dar garantía a la seguridad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, al igual que permisos, licencias los cuales son suministrados por la curaduría urbana o secretaria de planeación donde se va a ejecutar el proyecto y así brindarle un buen servicio a la comunidad, garantizando confiabilidad en su uso y consumo.

En Colombia de 1122 municipios solo 541 cuentan con sistemas de saneamiento, es decir solo el 48,2% cuentan con Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) (*Editorial La República S.A.S., 2018*), que deben cumplir con la demanda que se presenta en cada uno de sus municipios para el adecuado manejo de las aguas; sin embargo, es importante mencionar que en muchos de estos lugares los recursos destinados para la construcción de estas obras no es suficiente, por lo que las plantas son construidas sin tener en cuenta las especificaciones y requerimientos necesarios para entrar en operación, y así mismo el personal que desempeñan su labor, aún no cumplen a cabalidad con las exigencias que se generan dentro de estas. Esto afecta en cierto modo a las personas, no solo del municipio en sí, sino también de las zonas aledañas, quienes de una u otra forma piensan que estas aguas son para su consumo, y en realidad son aguas que no han pasado por un sistema de tratamiento.

Es importante que las entidades encargadas de la supervisión y control de los diseños y bocetos preliminares de las plantas de tratamiento en los municipios, cumplan y ejerzan su función íntegramente, lo que permitiría que los proyectos no presenten irregularidades en las etapas (pre factibilidad, factibilidad y construcción) y en su cronograma de construcción.

Debido a estas problemáticas que se presentan en dichos municipios de Colombia (51,8%), (*Editorial La República S.A.S., 2018*), se evaluaron las unidades construidas de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) ubicada en el municipio de Labranzagrande – Boyacá, la cual ha tenido dificultades por presencia de lluvias y la consecuente subida del nivel freático (así mismo se presenta dificultades en el bombeo de estas aguas), renuncia de la interventoría debido a que su representante legal hacia parte de una unión temporal encargada de realizar un contrato de obra en el municipio, lo que implica que este proyecto no ha sido culminado y está en total abandono.

2. Descripción del Proyecto

Labranzagrande es un municipio colombiano, capital de la provincia de la Libertad, en el departamento de Boyacá. Se encuentra aproximadamente a 210 km de Tunja. Este municipio cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que no está en funcionamiento, debido a inconvenientes desde los estudios hasta el momento de su construcción, por esta razón este proyecto el cual tuvo fecha de inicio el 7 de julio de 2015 con un plazo de 2 años no ha sido concluido, causando un impacto negativo en las aguas receptoras, por esto el objetivo del proyecto es realizar la evaluación del diseño y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) verificando los cálculos de las unidades ya existentes y realizando un prediseño de las faltantes.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Hacer el diagnóstico y evaluación de las unidades actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrando – Boyacá, y hacer el prediseño de las unidades faltantes en la planta.

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar los diseños de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrando – Boyacá construida en el año 2015.
- Revisar el diseño de las unidades actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrando – Boyacá.
- Verificar si las unidades existentes cumplen con el RAS 2017 – Resolución 0330.
- Hacer el prediseño de las unidades faltantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrando- Boyacá.

4. Justificación

El río Cravo Sur es uno de los ríos más importantes y caudalosos del departamento de Casanare, el cual tiene una longitud de 138 km, iniciando en el páramo de Pisba perteneciente al municipio de Mongua (Boyacá) y desembocando en el río Meta; recorriendo también los municipios de Labranzagrando (Boyacá) y Yopal, San Luis de Palenque, Orocué (Casanare). En estos municipios se desarrollan diferentes actividades económicas en las cuales generan residuos que en su mayoría son descargados en el río Cravo sur, siendo esto una causa directa de la contaminación de esta corriente.

Esta problemática se reconoce como un impacto ambiental que afecta directamente sobre al río Cravo Sur generando incremento de DBO, DQO, SST, Coliformes fecales y otros contaminantes.

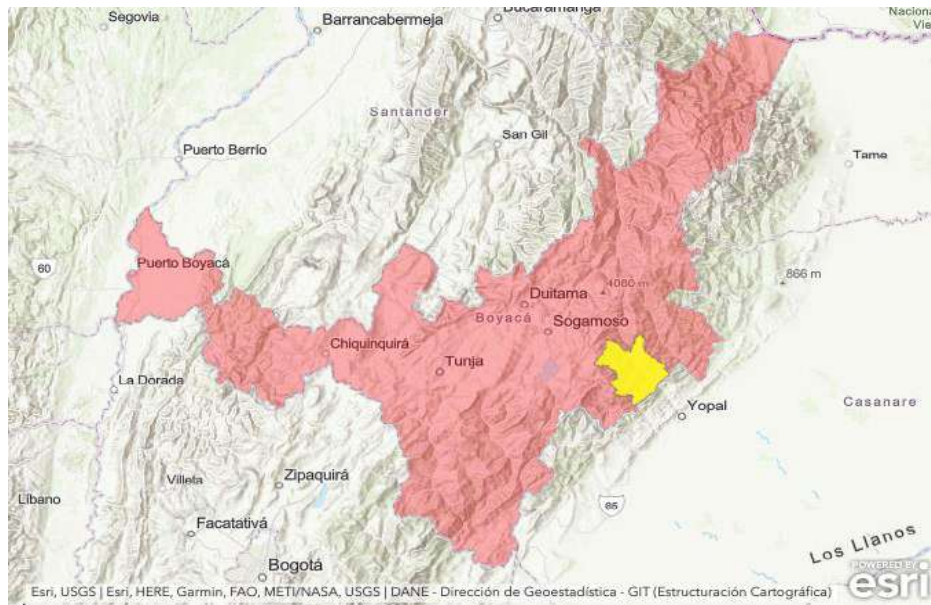
La línea de investigación que articula el proyecto es Modelación en problemas complejos y manejo de datos de ingeniería civil.

*Ilustración 1.**Ubicación del Departamento de Boyacá*

Nota: ArcGIS Online.

Ilustración 2.

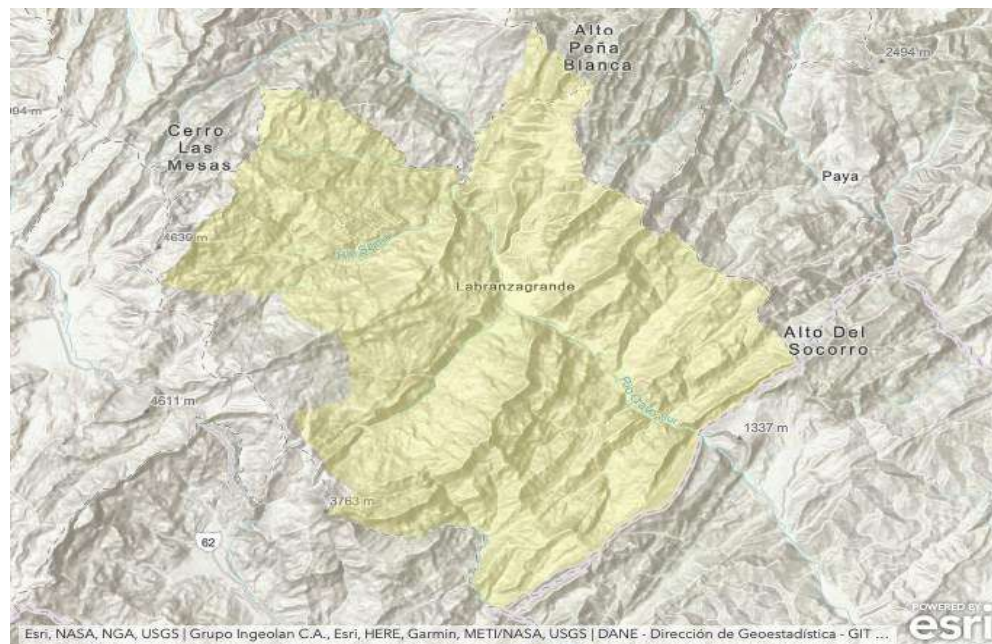
Ubicación del municipio y departamento - Labranzagrande – Boyacá



Nota: ArcGIS Online.

Ilustración 3.

Ubicación del municipio - Labranzagrande - Boyacá



Nota: ArcGIS Online.

Ilustración 4.

Labranzagrando - Boyacá – Ubicación PTAR UASB



Nota: ArcGIS Online.

En el proyecto se hicieron los cálculos necesarios de la planta de tratamiento de aguas residuales para hacer la comparación con las unidades ya existentes y así darle continuidad a la siguiente fase de construcción.

5. Antecedentes

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se elaboraron con el propósito de tratar los desafíos ambientales, políticos y económicos con que se afronta nuestro mundo. En el 2012 se sustituyó los ODM, que tenían como finalidad hacer frente a la pobreza extrema y el hambre, prevenir las enfermedades mortales, ampliar la enseñanza primaria a todos los niños, suministrar el acceso al agua y al saneamiento. (*Antecedentes / PNUD, 2018*)

Mientras que los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) estaban dirigidos a los países en desarrollo en particular los más pobres, los ODS se aplicarán a todo el mundo, los ricos y los pobres, se centraron principalmente en la agenda social, los nuevos objetivos abordan temas interconectados del desarrollo sostenible como el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente. (*Antecedentes / PNUD, 2018*)

Durante largos años de negociaciones entre los 192 integrantes de las Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales el grupo de trabajo presento la recomendación de los 17 objetivos de Desarrollo Sostenible con 169 metas planteando el comienzo 2015 y la finalización en 2030. (*Antecedentes / PNUD, 2018*)

Objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo

Objetivo 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades

Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos

Objetivo 5: Lograr la igualdad entre los géneros

Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y gestión sostenible y el saneamiento para todos

Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos

Objetivo 8: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos

Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación

Objetivo 10: Reducir la desigualdad en y entre los países

Objetivo 11: Logra que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles

Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible

Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

Objetivo 14: Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible

Objetivo 15: Proteger, reestablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la Pérdida de la diversidad biológica

Objetivo 16: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles

Objetivo 17: Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible

Con base en el objetivo 6 la ONU calcula que 1800 millones de personas solo tienen acceso a fuentes de agua contaminada por restos fecales. Como consecuencia, 18 millones de personas mueren cada año por enfermedades diarreicas, sobre todo niños. (*6. Agua limpia y saneamiento / Agenda 2030 en América Latina y el Caribe, 2020*)

6. Marco Teórico

6.1 Tipos de Procesos de Tratamientos de Agua Residuales

Para que estas aguas no ocasionen inconvenientes que afecten la flora y la fauna, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que su disposición cause los problemas antes mencionados.

6.1.1 Tratamiento Preliminar:

El cribado o rejillas es normalmente la primera operación unitaria que se utiliza en una planta de tratamiento de aguas residuales. El propósito de las rejillas es eliminar objetos grandes que pueden dañar el equipo, bloquear válvulas, boquillas, canales, tuberías, y accesorios. Esto crea serios problemas de operación y mantenimiento de la planta. Las rejillas finas han ganado popularidad como sustituto del tratamiento preliminar y primario para eliminar los sólidos en suspensión y DBO. (*Qasim & Zhu, 2017, pp. 324*)

➤ Rejillas gruesas:

Tabla 1.

Tipos de rejillas gruesas.

Tipo de rejillas	Rango	Descripción
Rejillas de limpieza manual	- Tamaño de apertura: 25–75 mm (1-3 in)	Los bastidores de barras paralelas se utilizan ampliamente en canales pequeños en plantas de tratamiento de aguas residuales. La longitud de las barras es restringida a 3 m (10 ft) para facilitar la limpieza manual (rastrillado). Las rejillas se rastrillan manualmente hacia una placa perforada donde drenan los desechos antes de ser
	- Ancho del canal: 1–1,5 m (3-5 ft)	
	- Profundidad del canal: 1–1,2 m (3 a 4ft)	

Rejillas de limpieza automática	- Ángulo de inclinación: 45–60°	de retirados para su eliminación. Si las rejillas se limpian con poca frecuencia se pueden acumular solidos provocando alteraciones en el flujo.
	- Tamaño de apertura: 6–50 mm (0,25- 2 in)	Hay rejillas gruesas de limpieza mecánica continua o intermitente. Los dos tipos básicos de los métodos de limpieza son (1) rastrillado y (2) otros dispositivos de autolimpieza. La limpieza mecánica, en comparación con la limpieza manual, tiende a reducir los costos laborales, mejorara las condiciones de flujo y de captura de cribado y reducir los malos olores. En los sistemas combinados que manejan aguas pluviales mejoran la operación de limpieza de grandes cantidades de sólidos.
➤ Rastrillado	- Tamaño de apertura: 6–50 mm (0,25- 2 in)	El rastrillado se usa comúnmente con barras de limpieza mecánica y pantallas parabólicas. La reja de desbaste con rastrillo está diseñada, también a medida, específicamente para el cribado grueso. La reja o criba Autolimpiante Multi Rastrillo es la opción perfecta para remover de forma eficiente partículas grandes, además de garantizar la limpieza de la rejilla continuamente con varios rastrillos uno tras de otro embonando completamente cada diente en las barras de la reja. Esta rejilla es una opción económica y con una larga vida de operación.
• Accionado por cadena	- Tamaño de apertura: 6–50mm (0,25-2 in) - Ancho del canal: 0,3–6 m (1–20 ft) - Max. profundidad del canal: 20m (65 ft)	Los tipos más comunes de dispositivos de rastrillado son (1) accionados por cadena, (2) cable-accionado (3) guiado por riel (4) Catenaria (5) alternativo (o trepador) Este tipo está disponible para aplicaciones especiales en canales profundos de hasta 90 m (300 ft). El principio de funcionamiento de las Rejillas Auto – Limpiables de cadena se da a través de un sistema de cadena dentada conectada a un eje motriz el cual mediante un Moto – reductor genera un movimiento circular y constante a través de toda la

- Ángulo de inclinación: 60–80° de longitud de la rejilla permitiendo que los dispositivos de limpieza llamados peines o rastrillos la recorran, en una acción de limpieza ascendente, a través de la rejilla toda vez, que recorren dicha longitud de barrotos, introduciendo sus dientes según la separación entre barras, permitiendo en esta acción recolectar todos los residuos sólidos retenidos o atrapados en toda la amplitud de la misma, y depositándolos en la parte superior externa del área de instalación de la Rejilla.
- Las rejillas de limpieza mecánica accionadas mediante cables son de limpieza y retorno frontales que emplean un rastrillo pivotante que asciende y desciende por unas guías accionado por un dispositivo formado por un cable y un tambor, el rastrillo desciende por gravedad, pivota hasta engarzarse con la reja, y se eleva por acción del cable. Suelen tener un diseño resistente. Se puede utilizar en canales profundos de hasta 75 m (250 ft). Los requisitos de mantenimiento suelen ser de bajos a medios.
- **Accionado por cable (Vertical)**
 - Tamaño de apertura: 15 - 50 mm (0,6 – 2 in)
 - Ancho del canal: 0.6 - 6 m (2 -20 ft)
 - Profundidad del canal: hasta 20 m (65 ft)
 - **Guiado por riel (Vertical)**
 - Tamaño de apertura: 10 - 50 mm (0,4 – 2 in)
 - Ancho del canal: 0.4 - 2,5 metros (1,3 – 8 ft)
 - Profundidad del canal: hasta 20 m (65 ft)

Las pantallas generalmente se limpian hacia atrás. La operación de este tipo de pantallas es muy similar al de las pantallas accionadas por cable. La estructura vertical reduce los requisitos de espacio y permite un fácil reajuste. Los requisitos de mantenimiento suelen ser de bajos a medios.
 - **De cadena**
 - Tamaño de apertura: 6 - 40 mm (0,25 - 1,5 in)
 - Ancho del canal: hasta 5 m (16 ft)
 - Profundidad del canal: hasta 20 m (65 in)
 - Ángulo de inclinación: 45 – 75°

Este tipo de pantalla utiliza una disposición de limpieza frontal/retorno. Es adecuado su uso en canales anchos de hasta 9 m (30 ft). El espacio para el sistema de cabecera requerido es relativamente bajo, pero necesita un área horizontal grande. Las ruedas dentadas no están sumergidas y la mayor parte del mantenimiento se puede realizar por encima del piso de operaciones. El diseño resistente es adecuado para instalaciones con poco mantenimiento y donde las cargas pueden variar significativamente. Se requiere limpieza manual periódica porque los
-

- rastrillos pasan sobre objetos pesados en la base para evitar atascos. Requieren un mantenimiento medio
- Las rejillas de alta resistencia se limpian desde la parte delantera o trasera de las pantallas. Por lo general, en un carro accionado por rueda dentada con un pivote de limpieza. El brazo del rastrillo se desplaza hacia arriba y hacia abajo a lo largo de una guía. El rastrillo engancha la pantalla en la parte inferior, limpia los materiales atrapados mientras se moviliza hacia arriba, y los descarga a través de una rampa en un recipiente en la parte superior. Se puede utilizar en canales anchos de hasta 9 m (30 ft). Cuando se usa en canales profundos, se necesita más espacio que en otros tipos. La pantalla requiere un área de piso pequeña debido a una pendiente pronunciada. Los costos de mantenimiento son bajos a medios ya que todas las partes móviles están por encima de la superficie del agua
- Como una variación de pantallas finas similares, estas pantallas gruesas se pueden utilizar para el tratamiento preliminar. Los elementos de la pantalla son normalmente de acero inoxidable o plásticos de alta resistencia. Estas pantallas incluyen:
- Parabólico con rastrillos giratorios: barras curvas o alambres en forma de cuña con aberturas de 6 a 12 mm (0,25 a 0,5 in)
 - Espiral (o cesta): placas perforadas con aberturas de 6 a 10 mm (0,25-0,4 in)
 - Elementos de movimiento continuo: placas perforadas, barras en forma de cuña, eslabones moldeados o mallas o rejillas estampadas con aberturas 6–30 mm (0,25-1,2 in)
 - Tambor giratorio inclinado: barras en forma de cuña con aberturas 6–10mm (0,25-0,4 in)
 - Tambor de cizalla giratorio: placas perforadas con aberturas de 6 a 50 mm (0,25-2 in)
- Estas pantallas requieren un mantenimiento de medio a alto
- **Recíproco (o trepador)**
 - Tamaño de apertura: 6–50mm (0,25-2 in)
 - Ancho del canal: 0,6–4m (2 a 13 ft)
 - Profundidad del canal: hasta 15 m (50 ft)
 - Ángulo de inclinación: 75–90°
 - **otros dispositivos de autolimpieza**
 - Tamaño de apertura: 6–50 mm (0,25-2 in)
 - Capacidad de una sola unidad: 90 a 24 000 m³ / h (0,6 a 150 MGD)

- **Ubicación de la pantalla:** Las pantallas gruesas deben ubicarse delante de las bombas o de la instalación de extracción de arena. Proporcionan protección contra objetos grandes que pueden envolver piezas móviles, atascar equipos y bloquear canales, válvulas y tuberías. (*Qasim & Zhu, 2017, pp. 327*)

- **Disposición de la cámara y cámara de la pantalla:** La cámara de la pantalla está diseñada para evitar la acumulación de arena y otros materiales pesados. Es un canal rectangular que tiene una pendiente plana (horizontal) o suave. Eso debe proporcionar un acercamiento recto, perpendicular a la pantalla para una distribución uniforme del flujo y proyecciones en toda el área de la pantalla. Se deben proporcionar al menos dos estantes de barras, cada una diseñada para transportar el máximo caudal, debe proporcionarse para una protección continua en caso de que una unidad esté fuera de servicio. Se deben hacer un Bypass o derivación de flujo para el mantenimiento de rutina. La estructura de entrada debe tener una transición o divergencia suave para minimizar las pérdidas de entrada. La estructura del efluente también debe tener una transición suave. Se debe evitar el vertedero rectangular para controlar la profundidad del canal, ya que el material pesado se depositará en el canal. Si la pantalla está ubicada delante de la cámara de arena, la profundidad y la velocidad en el canal deben ser controladas por la elevación de la superficie del agua en una cámara de arena. Sin embargo, se requiere que la velocidad de descarga se desarrolle en condiciones normales de funcionamiento. Si la pantalla está por delante de un pozo húmedo, se debe proporcionar un dispositivo de control de carga, como un vertedero proporcional o canal de Parshall de modo que no ocurran baja

profundidad y alta velocidad en la pantalla debido a la reducción resultante de una caída libre. (Qasim & Zhu, 2017, pp. 326-327)

- **Velocidad y pérdida de energía:** La longitud deseable del canal ascendente suele ser de 2 a 4 veces el ancho del canal. El intervalo ideal de velocidad de aproximación en el canal ascendente suele ser de 0,4 a 0,45 m/s (1,25–1,5 ft / s) para evitar la deposición de sólidos y evitar fuertes turbulencias en el canal. La velocidad a través de la pantalla limpia no debe exceder 0,6 y 0,9 m/s (2 y 3 ft/s) en el promedio y pico de diseño flujo, respectivamente. Una velocidad más alta empujará los escombros a través de la pantalla, mientras que una velocidad más baja acumula una mayor cantidad de sólidos. La pérdida de carga permitida a través de las rejillas de barras obstruidas es de 150 mm (6 in). La pérdida de carga máxima de diseño puede oscilar entre 250 y 600 mm (10-24 in) para las pantallas de cinta continua con placas perforadas. Para propósitos de diseño, la pérdida de carga a través de la pantalla puede ser calculado a partir de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1.

Pérdida de energía a través de barras limpias o parcialmente obstruidas

$$h_{L} = \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right) * \left(\frac{1}{C_d} \right)$$

Nota: (Qasim & Zhu, 2017, pp. 328)

Ecuación 2.

Pérdida de energía únicamente a través de una pantalla limpia

$$h_{L} = \beta * \left(\frac{W}{b} \right)^{4/3} * h_v * \sin \theta$$

. Nota: (Qasim & Zhu, 2017, pp. 328)

Donde:

h_L = Pérdida de carga a través de la pantalla, m (ft)

V o v = velocidad a través de la pantalla y velocidad de aproximación en el canal aguas arriba de la pantalla, m/s (ft/ s)

g = aceleración debida a la gravedad, 9,81 m/s² (32,2 ft/s²)

W = ancho total de la sección transversal de las barras en la dirección del flujo, m (ft)

b = espacio libre total de barras, m (ft)

h_v = altura de la velocidad del flujo acercándose a las barras, m

θ = ángulo de las barras con respecto a la horizontal

Q = descarga a través de la pantalla, m³ /s, (ft³/s)

C_d = coeficiente de descarga, adimensional. $C_d = 0,60$ para pantalla obstruida y 0,70 para pantalla limpia

β = factor de forma de barra, adimensional

La pérdida de carga real se validará con los fabricantes de pantallas.

La primera ecuación se usa para calcular la pérdida de carga a través de barras limpias o parcialmente obstruidas, mientras que la segunda ecuación se utiliza para calcular la pérdida de carga únicamente a través de una pantalla limpia. (*Qasim & Zhu, 2017, pp. 327-328*)

➤ **Rejillas finas:**

Tabla 2.

Rejillas finas

Tipo de rejilla	Rango	Descripción
➤ Estacionaria (o fijo) pantallas	- Tamaño de apertura: 1 - 6 mm (0,04 - 0,25 in)	<p>Estas pantallas se utilizan generalmente en pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales. Están compuestas por barras rectangulares o en forma de cuña, estas son las más utilizadas en pantallas finas estáticas.</p> <p>Hay tres tipos básicos de pantallas finas estáticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rejilla inclinada • Parabólico o transportador de tornillo en espiral (o cesta)
• Rejilla inclinada	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño de apertura: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25 in) - Ancho del canal: 1 a 6 m (3 a 20 ft) - Profundidad del canal: hasta 20 m (65 pies) - Ángulo de inclinación: 60–80 	<p>La reja de barra inclina arranca y se detiene automáticamente de acuerdo con la diferencia de nivel del efluente. La reja de barra inclinada incluye un bastidor, una rejilla filtrante, una placa de descarga, una serie de cadenas que activan el rastrillo y un motorreductor. El número de rastrillos depende de la longitud de la reja y el tipo de efluente.</p>
• Parabólico	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño de apertura: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25 in) - Alambres en forma de cuña: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25in) - Placas perforadas: 1,5–6 mm (0,06-0,25 in) ✓ Limpiado manualmente: - Ancho: 0,6 a 3 m (2 a 10 ft) - Altura: 1,2 a 3 m (4 a 10 ft) ✓ Limpiado mecánicamente: - Ancho: 0,4–4,5 m (1,3–15 ft) 	<p>Las pantallas parabólicas estáticas se utilizan generalmente en áreas poco profundas o con unidades independientes, sobre los canales. La tasa de carga superficial puede ser de 400 a 1200 l/m²·min (10–30 gal / ft² ·min) de área de la pantalla. La pérdida de carga puede tener una altura de hasta 1 a 2 m (3 a 7 ft) cuando se coloca una pantalla independiente instalada en la parte superior del canal y operado por gravedad de patrón de flujo. Las rejillas finas son limpiadas manualmente utilizando un método de pantalla de barras en forma de cuña de acero inoxidable. La limpieza se realiza una o dos veces al día con agua</p>

- Altura de descarga: 1,2 a 2 m (4 a 7 ft) caliente a alta presión, vapor o desengrasante.
 - Capacidad de una sola unidad: 16–320 m³ /h (0,1 a 2 MGD)
 - Tamaño de apertura: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25 in)
 - Alambres de cuña o mallas: 1-6 mm (0,04-0,25 in)
 - Placas perforadas: 2-6 mm (0,08-0,25 in)
 - Ancho del canal: 0,2 a 1 m (0,7 a 3,5 pies)
 - Profundidad del canal: hasta 1,5 m (5 ft)
 - Profundidad del agua corriente arriba: hasta 0,75 m (2,5 ft)
 - Diámetro de la cesta: 300 a 900 m (12 a 36 in)
 - Ángulo de inclinación: 35–48°
 - Altura de descarga: 2 a 2,5 m (7 a 8,5 ft)
 - Capacidad de una sola unidad: 90-1600 m³/h (0,6 a 10 MGD)
 - Eliminación de cribado: Este tipo de pantalla se usa típicamente en áreas poco profundas y canales estrechos. Incluye un inclinado (35–45°)"cesta" de cribado estacionaria, cepillos "espirales" de limpieza. Las aguas residuales fluyen hacia la cesta semicircular y los sólidos se retienen. A medida que el nivel del líquido en la canasta se eleva a un nivel predeterminado, la espiral comienza a girar y limpia la canasta. Los sólidos cepillados caen en el transportador que los mueve hasta un conducto de descarga superior. Por lo general, los materiales se lavan, compactan y deshidratan mediante un dispositivo de eliminación integrado. Se puede incluir una opción de soporte giratorio para un fácil acceso a los elementos de la pantalla.
 - ✓ Eficiencia de lavado: hasta 90%
 - ✓ Reducción de volumen: 40–50%
 - ✓ Contenido de sólidos: 30–40% como sólidos secos
- **Espiral (o canasta) con transportador de tornillo**
- **Pantalla móvil (o en movimiento)** Tamaño de apertura: 1 - 6 mm (0,04 - 0,25 in)
- Estas pantallas finas se utilizan ampliamente en plantas de tamaño mediano a grande. Todas estas pantallas se limpian mecánicamente. El material más utilizado son las placas perforadas o mallas de alambre en forma de cuña. Estas pantallas requieren un mantenimiento de medio a alto. Los tipos básicos son:
- (1) Escalón o escalera mecánica

- (2) Banda o cinturón de movimiento continuo
 - (3) Filtro de banda giratorio
 - (4) Tambor giratorio inclinado
 - (5) Tambor giratorio
 - (6) Cizalla giratoria
 - Tamaño de apertura: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25 in)
 - Elementos laminados: 1–6 mm (0,04-0,25 in)
 - Placas perforadas: 2-6 mm (0,08-0,25 in)
 - Ancho del canal: 0,4 a 2 m (1,3 a 7 ft)
 - Profundidad del canal: hasta 3 m (10 ft)
 - Profundidad del agua corriente arriba: hasta 2,3 m (7,5 ft)
 - Ángulo de inclinación: 40–75°
 - Altura de descarga: hasta 6 m (20 ft)
 - Capacidad de una sola unidad: 160–9600 m³/h (1 a 60 MGD)
- Estas pantallas tienen láminas escalonadas donde cada lámina está conectada a una fija y otra parte móvil sobre la que se forma una alfombra de sólidos. Las láminas transportan los sólidos al punto de descarga. Además de la detección de aguas residuales, estas pantallas también son utilizadas para la eliminación de sólidos de residuos sépticos, lodos primarios, y / o lodos digeridos
- Tamaño de apertura: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25 in)
 - Eslabones moldeados o mallas estampadas orejillas: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25 in)
 - Placas perforadas: 2-6 mm (0,08-0,25 in)
 - Alambres de cuña o mallas: 1-3 mm (0,04-0,12 in)
 - Ancho del canal: 0,3 a 5 m (1 a 16 ft)
 - Profundidad del canal: hasta 11 m (36 ft)
 - Ángulo de inclinación: 45–90°
 - Altura de descarga: hasta 15 m (50 ft)
- Las pantallas finas de elementos móviles continuos constan de una banda o correa de criba sin fin que pasa por encima de los piñones superior e inferior. Las pantallas retenidas se levantan y eliminan mediante un dispositivo de autolimpieza continuo en la parte superior de la pantalla. El dispositivo de limpieza puede incluir un cepillo giratorio, paletas de limpieza, boquillas rociadoras de agua o una combinación de estos métodos. Hay tres patrones de flujo básicos disponibles para estas pantallas:
- (1) Flujo continuo
 - (2) Flujo de adentro hacia afuera
 - (3) Flujo de afuera hacia adentro.
- Se puede utilizar un proceso de cribado simple o doble en el patrón de flujo, mientras que solo se aplica un cribado único en los otros dos patrones de flujo.
-

- Capacidad de una sola unidad: 640–9600 m³/h (4 a 60 MGD)
 - Tamaño de apertura: 1 - 6 mm (0,04 - 0,25 in)
 - Placas perforadas: 1 - 6 mm (0,04 - 0,25 in)
 - Alambres o mallas de cuña: 1 - 6 mm (0,04 - 0,25 in)
 - Ancho del canal: 1 - 3,5 metros (3 - 11,5 ft)
 - Profundidad del canal: hasta 4 m (13 ft)
 - Ángulo de inclinación: 30 – 35°
 - Diámetro de la cesta: 0,6 - 3 metros (2 - 10 ft)
 - Capacidad de una sola unidad: 320 - 7200 metros³ = h (2 – 45 MGD)
 - Eliminación de cribado:
 - ✓ Eficiencia de lavado: hasta un 80%
 - ✓ Reducción de volumen: ~ 50%
- Contenido de sólidos: ~ 40% como sólidos secos
 - Tamaño de apertura: 1– 2,5 mm (0,04–0,1 in)
 - Placas perforadas: 1-2 mm (0,04-0,08 in)
 - Alambres de cuña o mallas: 1–2,5 mm (0,04-0,1 in)
 - Dimensiones del tambor:
 - ✓ Diámetro: 0,6 a 1 m (2 a 3 ft)
 - ✓ Longitud: 0,3 a 3 m (1 a 10 ft)
 - ✓ Capacidad de una sola unidad: 16-1600 m³/h (0,1 a 10 MGD)

Este tipo de pantalla generalmente se instala en el canal en un ángulo de 30 – 35°. Consiste en una rejilla en forma de tambor (alambres, mallas o placas perforadas) un transportador de tornillo central y un dispositivo de eliminación integrado. El flujo entra por el extremo abierto del tambor inclinado y los sólidos son retenidos por la parte inferior del tambor. La rotación del tambor se activa a un nivel de agua preestablecido. Las cribas se llevan a la parte superior del tambor y se dejan caer en el tornillo transportador. El tornillo transporta los sólidos hasta el dispositivo de eliminación integrado. El soporte pivotante proporciona un fácil acceso a los elementos de la pantalla para fines de mantenimiento.

La criba consta de una rejilla en forma de tambor o cilindro de alambres o mallas de acero inoxidable, o platos perforados. El tambor se instala horizontalmente en condición parcial o no sumergida. El afluente es distribuido uniformemente por toda la longitud del tambor. Como un sistema de alimentación externa, las proyecciones se mantienen en la superficie exterior del tambor y se lleva a la zona de descarga por el movimiento de rotación.

- Tamaño de apertura: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25 in)
 - Placas perforadas: 1 a 6 mm (0,04 a 0,25 in)
 - Alambres de cuña o mallas: 1-3 mm (0,04-0,12 in)
 - Diámetro del tambor: 0,5 a 2 m (1,5 a 7 ft)
 - Dimensiones del recinto:
 - ✓ Altura: 1–2,7 m (3–9 ft)
 - ✓ Ancho: 0,6 a 3 m (2 a 10 ft)
 - ✓ Longitud: 1,4 a 6,5 m (4 a 21 ft)
 - ✓ Capacidad de una sola unidad: hasta 3200 m³/h (20MGD) (hasta 1420–14,200 m³/ h (9–90MGD) para la opción en el canal
- Esta pantalla es muy similar a la pantalla de tambor giratorio excepto que es un sistema de alimentación interna que utiliza un proceso de selección. El afluente se alimenta internamente de una caja de distribución cerca de un extremo y los sólidos son retenidos en el interior a medida que el flujo pasa a través de la pantalla. Los cepillos giratorios internos utilizan rociadores de agua externos para eliminar los sólidos. El flujo que pasa a través de la pantalla se recoge en un canal. La pantalla suele ser una unidad independiente, mientras que la opción de diseño de canal también está disponible.

Nota: (Qasim & Zhu, 2017, pp. 356-358)

Pérdida de energía: La pérdida de carga en una pantalla fina depende del:

- (1) El área despejada efectiva de la pantalla
- (2) El grado de obstrucción de la estera del filtro

En general, la pérdida de energía se calcula a partir de las siguientes ecuaciones.

Ecuación 3.

Pérdida de energía calculada a través de un orificio.

$$h_L = \frac{1}{2g} * \left(\frac{Q}{C_d * A_e} \right)^2$$

Nota: (Qasim & Zhu, 2017, pp. 358)

*Ecuación 4.**Área efectiva de la pantalla mojada*

$$A_e = E_c * A_T$$

Nota: (Qasim & Zhu, 2017, pp. 358)

Donde

 h_L = Pérdida de energía, m (ft)Q = descarga a través de la pantalla, m³ /s (ft³ /s) A_e = Área efectiva de la pantalla mojada, m² (ft²) A_T = Área total de la pantalla mojada, m² (ft²) C_d = coeficiente de Pérdida, adimensional (0.6 - 0.8 para pantalla limpia) E_c = factor de eficiencia que es la relación entre el área efectiva y el área total de la pantalla (los fabricantes proporcionan este factor)

Estas ecuaciones se desarrollan basándose en la pérdida de carga calculada a través de un orificio. La pérdida de carga real debe valorarse con los fabricantes de pantallas.

(Qasim & Zhu, 2017, pp. 358)

6.1.2 Tratamiento Primario

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para eliminar partículas pequeñas suspendidas no deseadas (arena, limo y arcilla) y algunos contaminantes biológicos del agua bajo la influencia de la gravedad.

La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión.

En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual. La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento. En una planta típica de lodos activos, la sedimentación se utiliza en tres de las fases del tratamiento:

- 1) En los desarenadores, en los cuales la materia orgánica (arena, a veces) se elimina del agua residual.
- 2) En los clarificadores o sedimentadores primarios, que preceden al reactor biológico, y en el cual los sólidos (orgánicos y otros) se separan.
- 3) En los clarificadores o sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales los lodos del biológico se separan del efluente tratado. (Ramalho, 1996)

Las cuencas de sedimentación primaria están diseñadas para proporcionar suficiente tiempo en condiciones de reposo para máximo asentamiento que ocurra. Los criterios importantes de diseño y rendimiento, por lo tanto, son:

- (1) Superficie caudal,
- (2) Tiempo de detención
- (3) Velocidad de carga del vertedero.

Valores típicos de estos parámetros para sedimentación.

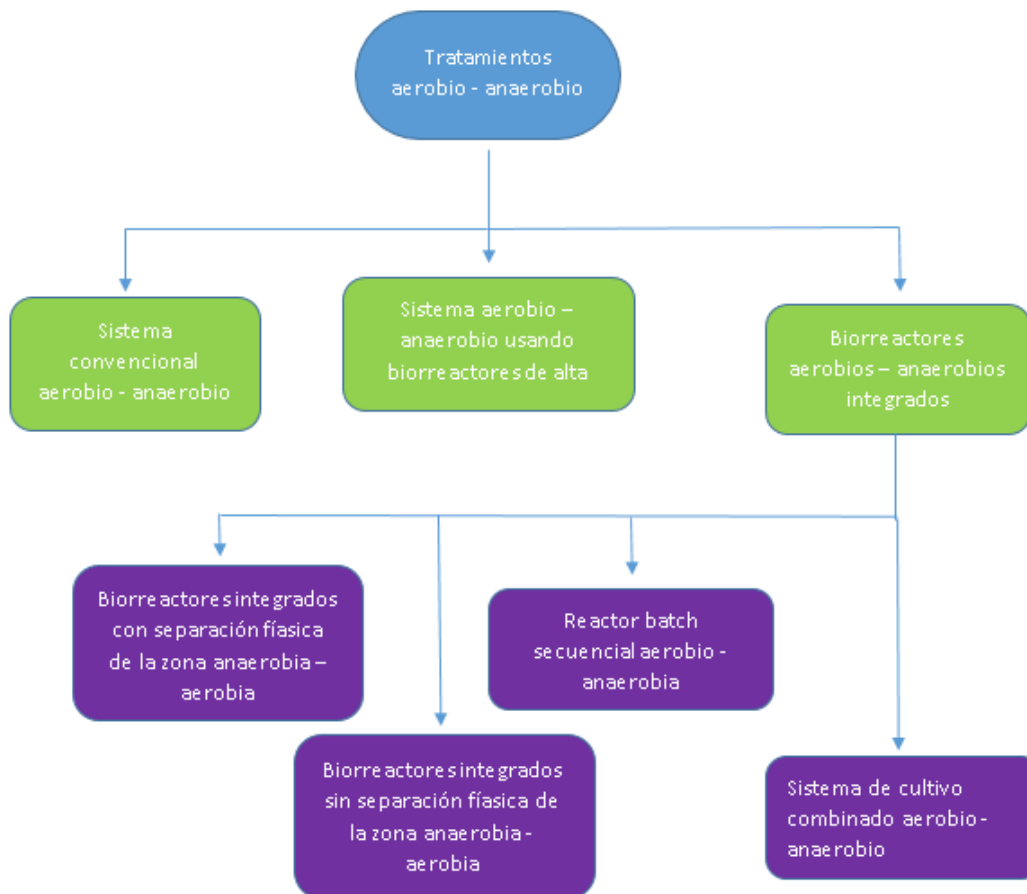
6.1.3 Tratamiento Secundario

Este tipo de tratamiento consiste en eliminar desechos (materia orgánica), remover las demandas biológicas de oxígeno y sustancias que con la sedimentación no se eliminan, por medio de procesos biológicos y químicos, esto con el fin de depurar el agua.

En este tratamiento se pueden distinguir varios procesos:

Ilustración 5.

Tipos de sistemas combinados de sistemas aerobios – anaerobios.



Nota:(Chan, et. Al., 2009)

Tabla 3.

Ventajas y desventajas del proceso aerobio y anaerobio.

Proceso anaeróbico		Proceso aeróbico	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Bajo consumo eléctrico	Larga etapa de adaptación	Reducción de microorganismos patógenos	Alta producción de lodos

Puede producir calor y electricidad	Puede requerir la adición de algún ión específico o de alcalinidad	Bajos requerimientos de nutrientes	Requieren mucha energía eléctrica para oxigenación y mezcla Gran proporción de células en los lodos, que hace en algunos casos, necesaria su digestión antes de sacarlos y disponerlos Cuando la concentración de materia orgánica es muy alta se tiene que usar tiempos de residencia hidráulica muy altos, ya que el aporte de oxígeno es la etapa delimitante
Baja producción de lodos	Puede requerir tratamientos posteriores para alcanzar la normatividad		
Apropiado para aguas extremadamente contaminada	No es posible la remoción de fósforo y nitrógeno	Formación de un producto final inodoro, parecido al humus, que es biológicamente estable y que puede ser fácilmente eliminado.	
Menor cantidad de nutrientes requeridos	Son más sensibles a los efectos adversos de las bajas temperaturas en las tasas de reacción	Producción de lodos con excelentes características de deshidratación.	La eficiencia en la reducción de sólidos varía con las fluctuaciones de temperatura.
Menor volumen de los reactores	Son susceptibles a perturbarse debido a sustancias tóxicas	Recuperación de los valores fertilizantes básicos del lodo.	
Rápida respuesta a la adición de sustrato después de largos períodos sin alimentarse	Potencial producción de olores y gases corrosivos	Hay menos problemas de operación debido a que el sistema es más estable. Menores costos de mantenimiento y menor mano de obra.	

Nota: (López Riveros & Restrepo Mejía, 2000), (Márquez Vázquez & Martínez González, 2011).

Tabla 4.

Ventajas Tratamiento Anaeróbico.

Tratamiento anaeróbico	
Ventajas	
Alta eficiencia	El sistema puede alcanzar buenas eficiencias de remoción a altas cargas y bajas temperaturas.
Simplicidad	La construcción y la operación de los reactores anaeróbicos son relativamente simples.
Flexibilidad	El tratamiento anaeróbico se puede aplicar fácilmente a pequeña o gran escala.
Bajos requerimientos de espacio	El área necesaria para instalar un reactor aeróbico es baja, sobre todo cuando es posible tratar altas cargas orgánicas.
Bajo consumo de energía	El consumo de energía es prácticamente despreciable, ya que no se necesita calentar el influente para alcanzar la temperatura de operación y las operaciones de la planta pueden realizarse por gravedad. Por otra parte, se produce energía durante el proceso en forma de gas metano.
Baja producción de lodo biológico	La producción de lodo es más baja que en los métodos aeróbicos, debido a las bajas tasas de crecimiento de las bacterias anaeróbicas. El lodo que se produce está completamente estabilizado para disposición final y tiene buenas condiciones de deshidratabilidad. Puede ser preservado por largos periodos de tiempo sin una reducción significativa de la actividad metanogénica, permitiendo su uso como inóculo para “sembrar” otros reactores.
Bajos requerimientos de nutrientes y productos químicos	Especialmente en el caso de líquidos cloacales, es posible mantener un pH adecuado y estable sin la adición de

químicos. Macronutrientes (nitrógeno y fosforo) y micronutrientes están presentes en general en los líquidos cloacales, mientras que no hay compuestos tóxicos.

Nota: (Fernández & Seghezso, 2015)

Tabla 5.

Desventajas Tratamiento Anaeróbico

Tratamiento anaeróbico	
Desventajas	
Baja remoción de patógenos y nutrientes	Los microorganismos patógenos son sólo removidos parcialmente, excepto los huevos de helmintos, los cuales son capturados efectivamente en el manto de lodo. La remoción de nutrientes tampoco es completa, por lo que se requiere post – tratamiento para ello.
Larga puesta en marcha	Debido a las bajas tasas de tratamiento de las bacterias anaeróbicas, la puesta en marcha de un reactor anaeróbico lleva mucho tiempo, en comparación con un sistema aeróbico, siempre y cuando no haya un buen inóculo disponible.
Posibilidad de malos olores	Durante el proceso aeróbico se produce sulfato de hidrógeno, sobre todo cuando existe alta concentración de sulfatos en el influente. Para evitarla producción de malos olores se requiere un manejo adecuado del biogás.
Necesidad de post – tratamiento	Para alcanzar los límites de volcamiento impuestos en general por las leyes ambientales, es necesario algún tipo de post – tratamiento.

Nota: (Fernández & Seghezso, 2015)

➤ **Filtros anaerobios**

El filtro es similar a un filtro percolador aerobio salvo que la alimentación de agua residual ingresa por el fondo de la unidad y la abandona por la parte superior. En consecuencia, el material de relleno está completamente sumergido en el agua residual y por ello no hay aire en absoluto dentro del sistema, por lo que se puede decir que se mantienen las condiciones anaerobias requeridas. Puede emplearse grava o relleno sintético. (Ramalho, 1996)

El filtro anaerobio constituye un sistema eficaz para el tratamiento anaerobio de las aguas residuales solubles. No se requiere reciclado ya que la biomasa permanece adherida al relleno del filtro y por lo tanto no se pierde con el efluente. Es posible operar los tratamientos anaerobios a temperaturas menores que las requeridas en el proceso de contacto, debido a la concentración elevada de biomasa presente en el filtro. (Ramalho, 1996)

El filtro anaerobio no resulta indicado para el tratamiento de aguas residuales conteniendo concentración elevadas de sólidos en suspensión debido a problemas de obstrucciones.

El diseño de los filtros anaerobios está basado fundamentalmente en consideraciones empíricas. (Ramalho, 1996)

Tabla 6.

Características Filtros Anaeróbicos

Características de los filtros anaeróbicos	
Ventajas	Desventajas
Elevada capacidad de tratamiento	Puesta en marcha difícil
Bajo THR	Riesgo de oclusiones
Adaptación a diferentes aguas	Limitado a aguas con pocos SS

Aguas diluidas y cargadas	Elevado contenido SS efluente
Resistente fluctuaciones de carga	Sensible altas concentraciones Ca
Rápido rearranque	Elevado coste de relleno
Requiere poca superficie	

Nota: (Fernández & Seghezso, 2015)

6.1.4 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario (al que se conoce también como tratamiento avanzado) es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional. Algunos tipos de tratamiento terciario son: 1) Separación de sólidos en suspensión, 2) adsorción en carbón activo (separación de compuestos orgánicos), 3) intercambio iónico, 4) osmosis inversa, 5) electrodiálisis, 6) oxidación química (cloración y ozonación), 7) métodos de eliminación de nutrientes (eliminación de nitrógeno y fosforo), y 8) proceso “Sonozone” para la purificación de aguas residuales. Muchos de estos procesos, actualmente no se emplean demasiado en el tratamiento de aguas residuales, pero su uso a mayor escala está previsto conforme las exigencias de calidad de los efluentes se hagan más estrictas en el futuro. (Ramalho, 1996)

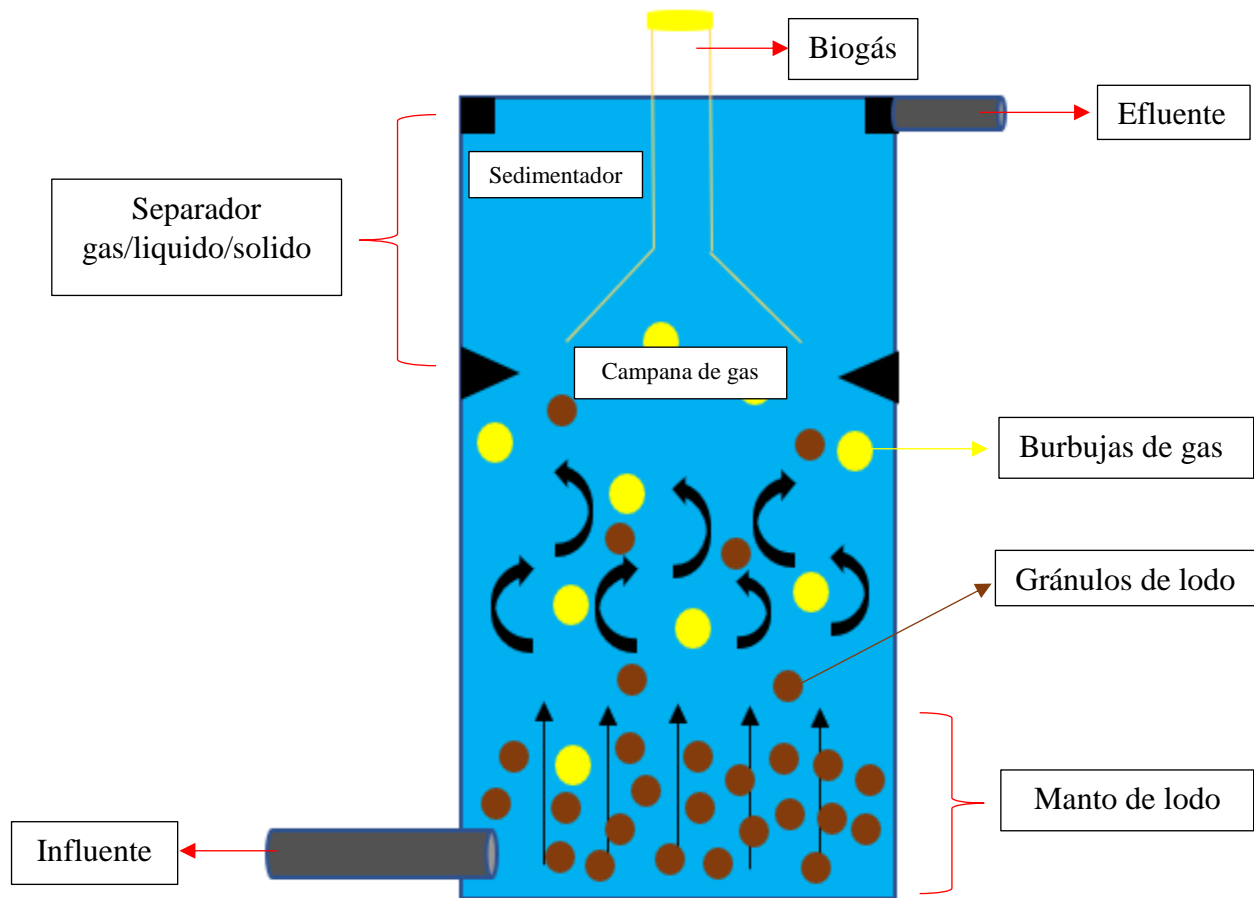
6.2 Reactor UASB

El reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) se desarrolló en Holanda a principios de los años 70 (Lettinga et al., 1980). La mayoría de estos reactores a gran escala se comenzaron a utilizar para tratar aguas agro-industriales, pero su aplicación para agua residual de industrias químicas y aguas fecales está aumentando. Algunos ejemplos de reactores UASB de los principales proveedores de sistemas anaeróbicos se muestran en la Ilustración 8. En la

Ilustración 9 se muestra de forma esquemática la representación de un reactor UASB. (Veiga Barbazán, 2015)

Ilustración 6.

Reactores UASB de los principales proveedores de sistemas anaeróbicos: Paques, B.V. (izquierda) y Biothane B.V. (derecha).



El agua residual entra por debajo del reactor, el efluente tratado sale por la parte superior. El reactor no contiene ningún relleno para soportar el crecimiento biológico.

El lodo formado en el reactor puede considerarse dividido en dos zonas:

La zona 1: Se llama lecho de lodo

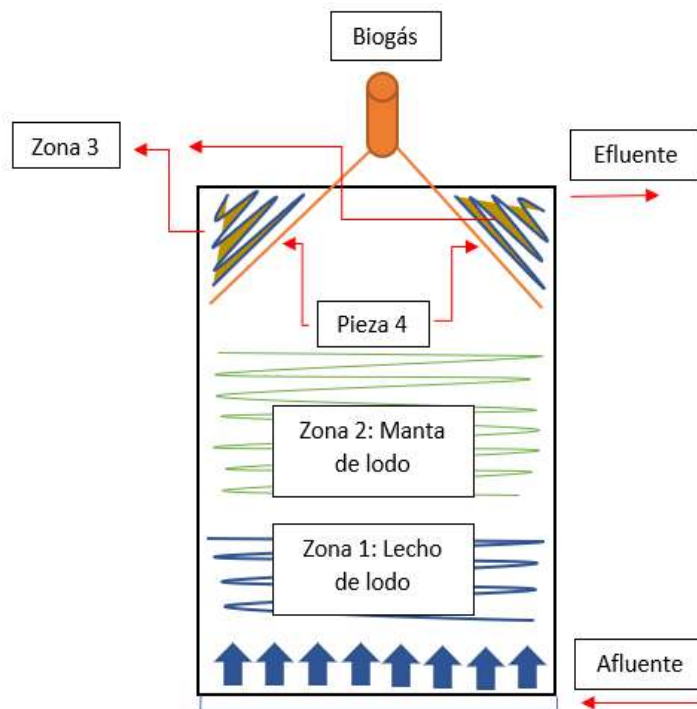
La zona 2: Es la manta de lodo

La diferencia entre las dos zonas es que el lodo en la primera es mucho más compacto que en la segunda.

La pieza 4 del diagrama sirve de sedimentador de lodo y colector de gas. La pantalla crea una zona de bajo nivel de turbulencia (zona 3) donde un 99% del lodo en suspensión se sedimenta y es retornado al reactor. La pieza 4 sirve también para recuperar el gas anaerobio que sale por el centro. En biomasa en el UASB está formado de gránulos de 3 a 4 mm que tiene altas velocidades de sedimentación, y por consiguiente son casi totalmente retenidos en el reactor. Habrá acumulación de biomasa en el reactor si la producción neta supera las pérdidas por arrastre en el efluente, o sea la purga. (Ramalho, 1996)

Ilustración 7.

Reactor UASB.



Nota: (Ramalho, 1996)

Las ventajas de los reactores UASB con respecto a otros sistemas anaerobios son:

Tabla 7.

Ventajas de los Reactores UASB.

Ventajas de los reactores UASB	
El costo de inversión es bajo. Carga de diseño de 10 kg DQO/m ³ *d o más altas son utilizadas; por lo tanto, el volumen del reactor es pequeño.	
Las fermentaciones acidas y metálica, así como la sedimentación tienen lugar en el mismo tanque. Por lo tanto, las plantas son muy compactas, son consideradas economías de espacio.	
Como no hay relleno, se elimina la posibilidad de corto circuito y obstrucciones.	
El consumo de potencia es bajo puesto que el sistema no requiere ninguna agitación mecánica.	
La retención de biomasa es muy buena y por esto no es necesario reciclar el lodo.	
La concentración de biomasa es alta. Por consiguiente, el sistema se resiste a la presencia de sustancias tóxicas y fluctuaciones de carga.	

EL UASB fue desarrollado en Holanda por Lettinga y asociados (Lettinga, G. et al.; *Biotechnology and Bio – engineering*, 22,4,1980) y se ha utilizado en industrias de productos alimenticios, plantas azucareras, cervecerías, fábricas de conservas alimenticias, industrias de celulosa y papel, etc.

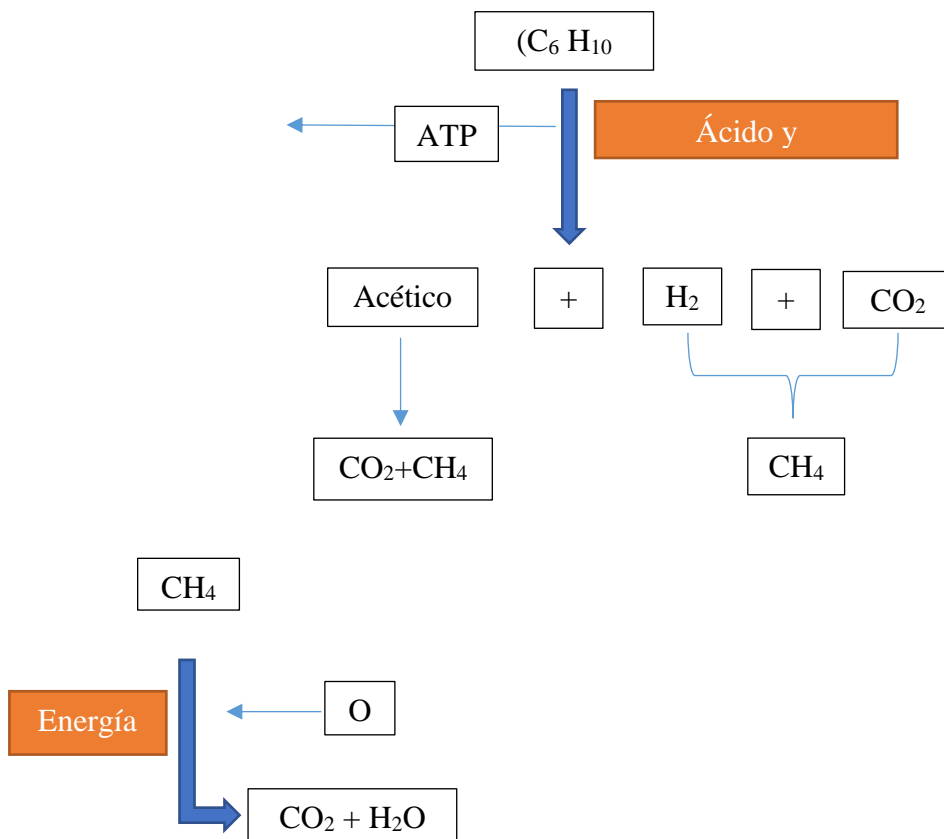
Nota: (Fernández & Seghezzo, 2015)

El Reactor UASB (anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos) tiene como objetivo degradar los contaminantes presentes en el agua residual en ausencia de oxígeno. La tecnología de este reactor permite separar internamente el efluente tratado, la biomasa y el biogás. *(Veiga Barbazán, 2015)*

El proceso de tratamiento de aguas residuales, tipo anaerobio se caracteriza por la conversión completa de los contaminantes orgánicos (sustrato) en el agua residual en la ausencia del oxígeno molecular libre, a una mezcla de gases como el metano (CH_4), Dióxido de carbono (CO_2) y nuevas células bacterianas producto de la digestión anaerobia de las bacterias presentes en el lodo y que interactúan con el agua residual a tratar.

Ilustración 8.

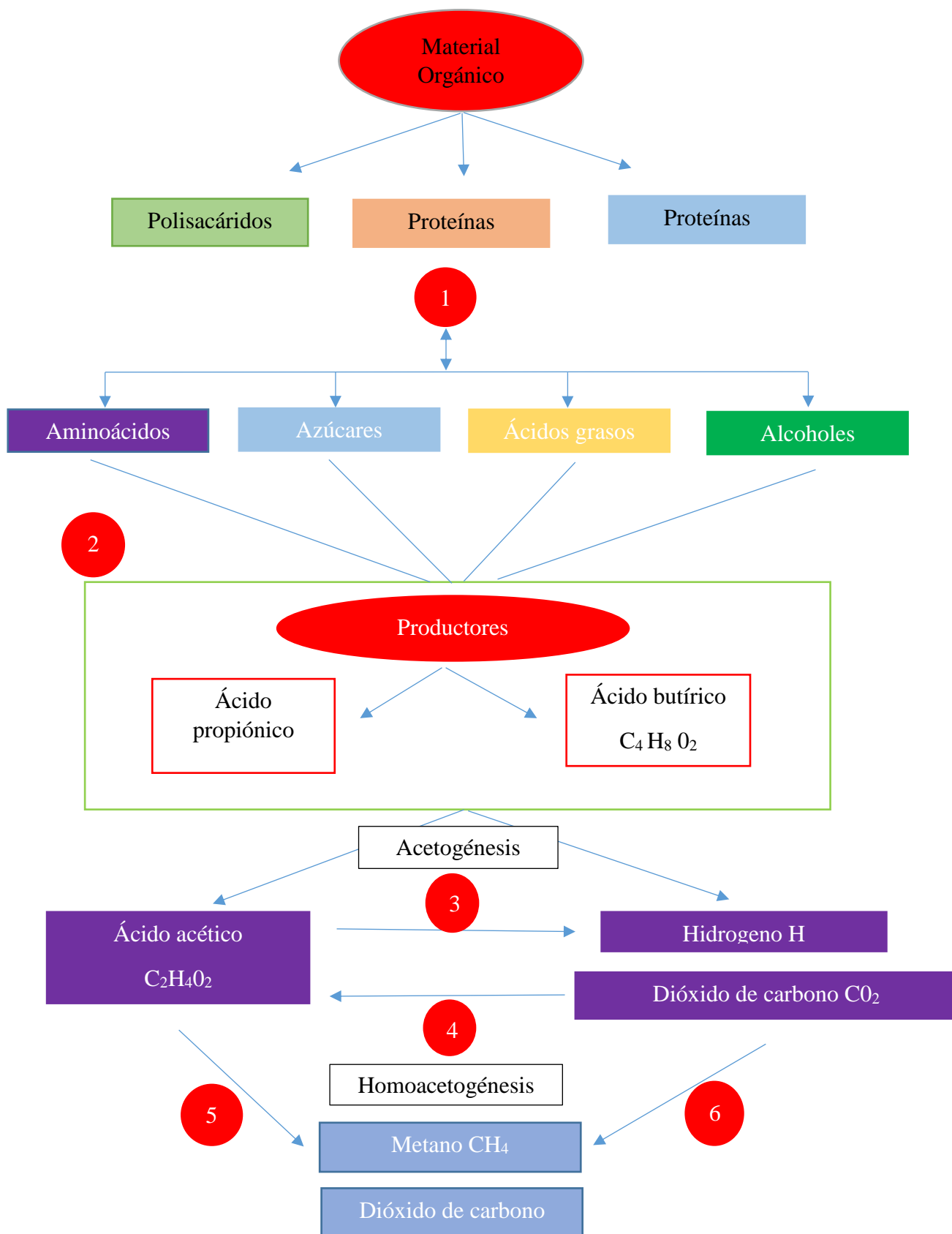
Procesos químicos de la digestión.



Nota: (Corrales & Romero, 2015)

Ilustración 9.

Procesos químicos de la digestión.



Nota: (Corrales & Romero, 2015)

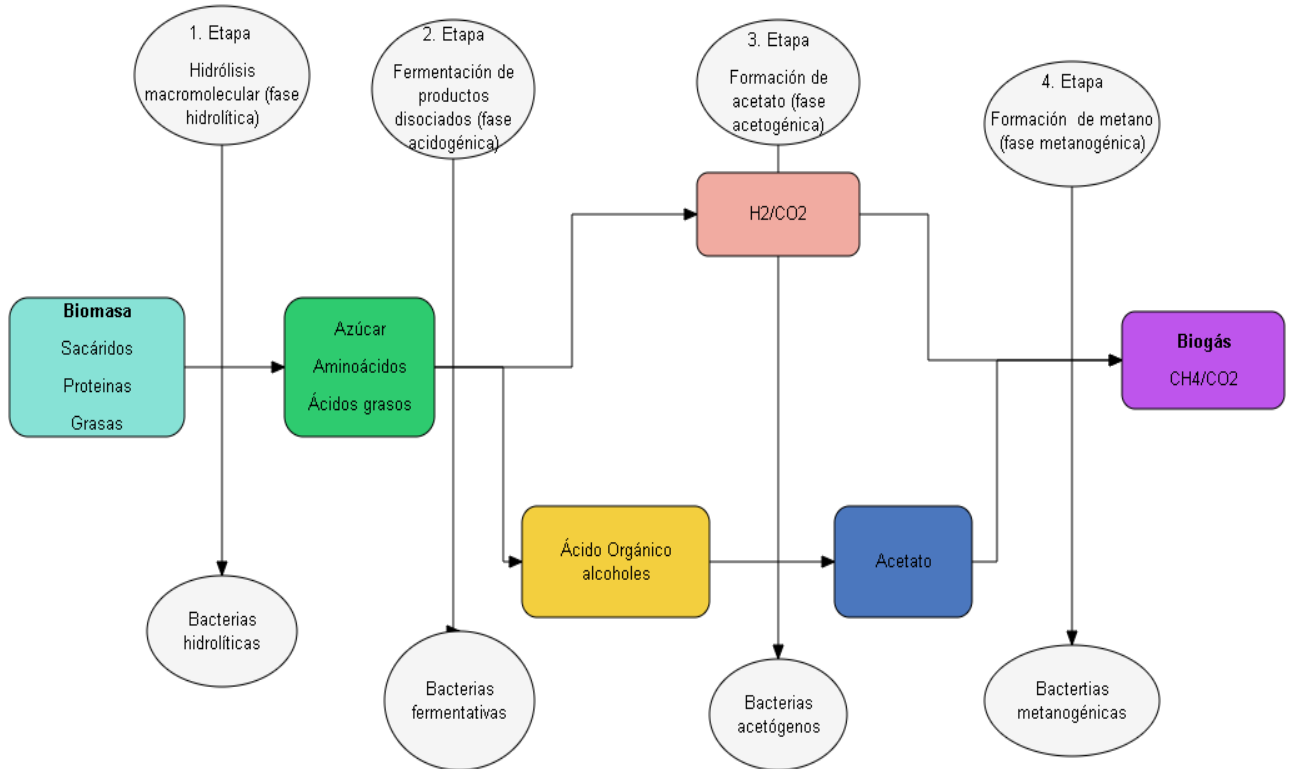
1. Bacterias hidrolíticas
2. Bacterias fermentativas
3. Bacterias homoacetogénicas
4. Bacterias oxidadoras de acetato
5. Metanogénicas acetoclásicas
6. Metanogénicas hidrogenitróficas

El metano es potencialmente valioso que se puede utilizar como combustible para producir calor y electricidad. Este proceso debe estar equilibrado para evitar la acumulación de los ácidos grasos volátiles y por tanto impedir una repentina caída en el pH del sistema, que puede conducir a un fallo completo del proceso de conversión de digestión anaerobia, puesto que el sistema debe contener mayoritariamente bacterias metanogénicas y no acidogénica.

La Digestión Anaeróbica consta de tres etapas: hidrólisis, acidogénesis, y metanogénesis.

Ilustración 10.

Las 4 etapas del proceso de digestión anaerobia



. Nota:(Vivanco, Yaya, & Chamy, s. f.)

Tabla 8.

Digestión anaeróbica.

Hidrólisis	Acidogénesis	Metanogénesis
Conversión de material insoluble a soluble (<i>Ghaly, 1991</i>)	Fermentación de los monómeros en una variedad de productos finales los cuales incluyen ácidos grasos volátiles (AGV) alcoholes,	Los productos finales de la fermentación (acetato, propionato, ácido fórmico, hidrógeno y dióxido de carbono) son fermentados

Reducción de polímeros a monómeros (*Ghaly, 1991*)

dióxido de carbono e hidrógeno. (*Ghaly, 1991*)

por otro grupo de microorganismos anaerobios a metano y dióxido de carbono con trazas de otros gases (sulfuros de hidrógeno, amonio, nitrógeno, mercaptanos y aminas).

Esta etapa se puede convertir en la limitante de la digestión anaerobia cuando los polímeros a hidrolizar y fermentar son poco solubles, tóxicos o de difícil biodegradación

Los ácidos orgánicos son subsecuentemente convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por grupos acetogénicos.

Si los sustratos son solubles, fácilmente hidrolizables y fermentables, la primera etapa ocurre sin mayor problema (*Ghaly, 1991*).

Los ácidos orgánicos son subsecuentemente convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por grupos acetogénicos.

En esta etapa, microorganismos liberan una variedad de enzimas extracelulares hidrolizando complejos orgánicos como carbohidratos, proteínas y grasas en productos solubles como glucosa, alcoholes, aminoácidos y ácidos orgánicos de cadenas larga (*Hwang et al. 2010*);

El hidrógeno producido por estos organismos es consumido por un grupo metanogénico, y el acetato, por un grupo metanogénico acetoclásico.

En esta primera etapa la hidrólisis de la materia orgánica es el paso más lento en comparación con las demás fases o etapas en el proceso anaerobio (*Stabnikova, Liu & Wang, 2008*).

Esta es una etapa crítica, ya que con ella se evita la acumulación de AGV, los cuales en concentraciones altas pueden inhibir posteriormente la metanogénesis (*Ghaly, 1991*).

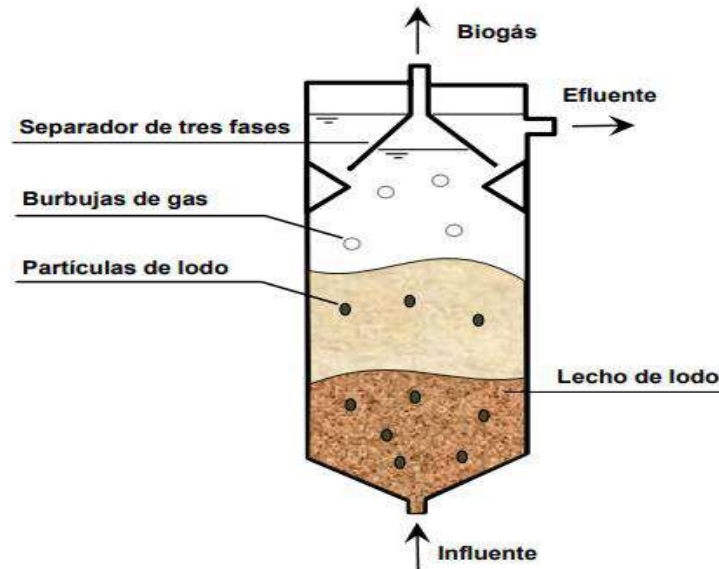
Nota: Ghaly, 1991

➤ **Proceso**

El reactor se inocula inicialmente con cantidad suficiente de lodo anaeróbico, y a continuación se comienza a alimentar a velocidades de carga baja, en flujo ascendente. Este periodo inicial se denomina puesta en marcha del sistema, siendo la fase más importante de la operación del reactor. La velocidad de carga del sistema debe aumentarse progresivamente, de acuerdo con una respuesta favorable del sistema. Tras varios meses de operación, un lecho de lodo altamente concentrado (40 a 100 g Sólidos Totales/L) es desarrollado cerca del fondo del reactor. El lodo es muy denso y tiene excelentes características de sedimentación. El desarrollo de lodo granular (diámetros en el intervalo de 1 a 5 mm) puede ocurrir, dependiendo de la naturaleza del lodo inoculado, de las características del agua residual y de las condiciones de operación del reactor. (*M. Veiga Barbazán, 2015*)

Ilustración 11.

Dibujo esquemático de un reactor UASB.



Nota: (M. Veiga Barbazán, 2015)

Un área de crecimiento bacteriano más disperso se desarrolla sobre el lecho de lodos, con sólidos que presentan una concentración y velocidades de sedimentación bajas. La concentración del lodo en esta área normalmente varía entre el 1 y el 3%. El sistema se encuentra en agitación debido al movimiento ascendente de las burbujas de biogás (Metano CH_4 + Dióxido de carbono CO_2) y al flujo de la alimentación (influyente) a través del reactor.

Durante la puesta en marcha del sistema, cuando la producción de biogás es normalmente baja, algunas formas de agitación adicional, como la recirculación de gas o el efluente, pueden ser necesarias. El sustrato se elimina a través del lecho de lodos, aunque esta eliminación es más pronunciada en la parte inferior del lecho de lodo. El lodo se arrastrado

por el movimiento ascendente de las burbujas de gas, siendo necesaria la instalación de un separador de tres fases (gas, sólido y líquido) en la parte superior del reactor, para permitir la retención y devolución del lodo. Alrededor y encima del separador de tres fases existe una zona para la sedimentación, donde el lodo más pesado se elimina de la masa de líquido y se devuelve al compartimento de digestión, mientras que las partículas más ligeras abandonan el sistema conjuntamente con el efluente final. (M. Veiga Barbazán, 2015)

La instalación del separador de gas, sólido y líquido garantiza la devolución del lodo y una alta capacidad de retención de grandes cantidades de biomasa altamente activa, sin necesidad de emplear ningún tipo de material de soporte. Como resultado, los reactores UASB presentan elevados tiempos de residencia de sólidos (edad del lodo), mucho más elevados que los tiempos de retención hidráulica, lo que es una característica de los sistemas anaerobios de alta velocidad de carga. La edad de los lodos en un reactor UASB normalmente supera los 30 días, permitiendo la estabilización del exceso de lodo eliminado del sistema. (M. Veiga Barbazán, 2015)

Tabla 9.

Ventajas y desventajas del Reactor UASB.

Reactor UASB	
Ventajas	Desventajas
La producción de los lodos estabilizados en exceso es mínima y fácilmente drenable hasta de 30 a 40 % y, por tanto, los costos de tratamiento del lodo y su transportación posterior son relativamente bajos.	El comienzo del proceso es lento y requiere de un período de 8 a 12 semanas

Se pueden aplicar altas cargas hidráulicas y orgánicas con eficiencias aceptables	El proceso es sensible a la presencia de compuestos tóxicos
El reactor necesita poco espacio	La reducción de bacterias patógenas es relativamente baja
Los lodos anaerobios adaptados pueden mantenerse sin alimentación por largos períodos de tiempo por lo que el proceso resulta muy adecuado para las industrias que trabajan de forma cíclica	No es efectivo para un tratamiento secundario completo, ya que remueve compuestos orgánicos y sólidos suspendidos. Se requiere de un post-tratamiento para remover en mayor grado la materia orgánica
Su construcción no es compleja y los costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos	Eliminación parcial de patógenos con la excepción de huevos de helmintos, que se capturan efectivamente en el lecho de lodo
Alta eficiencia en la remoción, incluso con altas tasas de carga y bajas temperaturas	Poca experiencia en la aplicación del reactor a gran escala
No requiere de ningún tipo de soporte para la retención de biomasa, ni agitación mecánica	Suele presentar olores debido al escape de gases, que pueden generar malos olores debido, principalmente, a fallos en la ventilación o sobrecargas
Conserva los nutrientes en el efluente (N y P), punto atractivo en caso de re-uso en riego	Como todo proceso biológico, es sensible a la temperatura del agua residual (inferior a 16°C) y a cambios bruscos del pH fuera del intervalo de 6,5 a 7,5

Nota: (Lorenzo & Obaya, 2006), (Gandarillas R., Saavedra, Escalera, & Montoya, 2017).

6.3 Información general el municipio de Labranzagrande

El Municipio de Labranzagrande se localiza en la República de Colombia, a 290 kilómetros al norte de Santafé de Bogotá D.C. en el sector Oriental del Departamento de Boyacá, en el lugar donde la cordillera Oriental comienza su descenso a los llanos Orientales, haciendo parte de la Provincia de la Libertad. Limita al norte con los Municipios de Mongua y Pisba, al sur con los Municipios de Pajarito y Yopal (Depto. de Casanare), al oriente con los Municipios de Paya y Pisba y al occidente con los municipios de Pajarito, Mongua y Aquitania. Cuenta con un área total de 625.235 kilómetros cuadrados, se encuentra entre los pisos térmicos cálidos, medio, frío, y páramo. La cabecera se encuentra ubicada a una altura de 1210 metros sobre el nivel del mar y se localiza en las coordenadas geográficas 5° 32´ de Latitud Norte y 72° 35´ Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich., su población total, según estimaciones del DANE es de 5099 Habitantes. La distancia física que lo separa de las principales urbes con las que tienen relación directa la entidad territorial, son en su orden; Bogotá D. 290 km, Sogamoso Boyacá a 98 km y Yopal Casanare a 39 km, siendo la ciudad con la que el municipio mantienen estrechos vínculos comerciales, culturales, económicos y de servicios. *(Niño Uscátegui, 2016)*

El municipio de Labranzagrande atendiendo su población y sus recursos fiscales como indicadores de sus condiciones socioeconómicas se clasifica en SEXTA CATEGORIA según Ley 136 de 1.994 “Todos aquellos municipios con población inferior a siete mil (7.000) habitantes y con ingresos anuales no superiores a cinco mil (5.000) salarios mínimos legales mensuales”. *(Cifuentes Mogollón, 2006)*

Ilustración 12.

División política de Boyacá.



Nota: Plan de desarrollo municipal 2016-2019

Ilustración 13.

Mapa de la provincia de la Libertad.

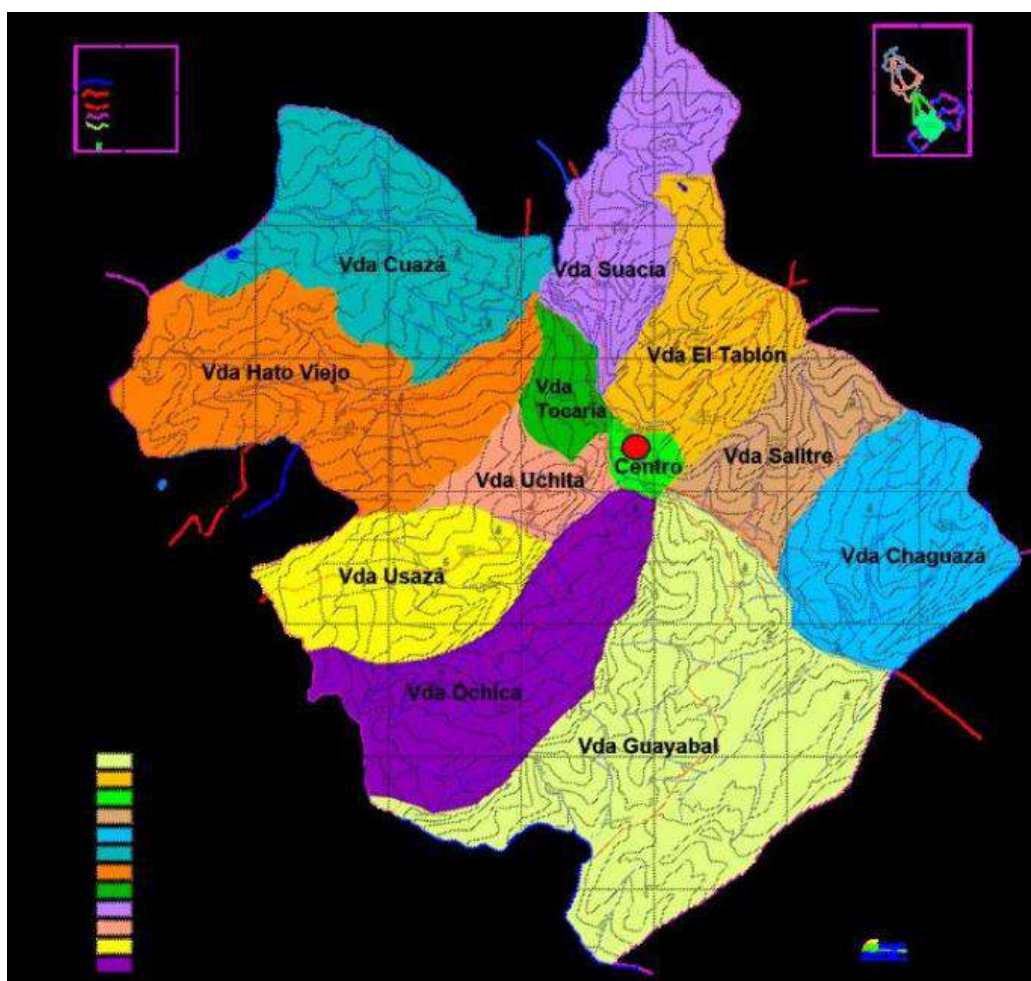


Nota: Plan de desarrollo municipal 2016-2019

La división política territorial está compuesta por 12 veredas, encontrando en algunas de ellas una subdivisión por sectores plenamente identificados, que agrupan núcleos poblacionales muy importantes, que, por las características topográficas del terreno, han establecido nodos para asegurar la supervivencia y la prestación de algunos servicios públicos. (Alcaldía municipal de Labranzagrande, 2016)

Ilustración 14.

División política rural.

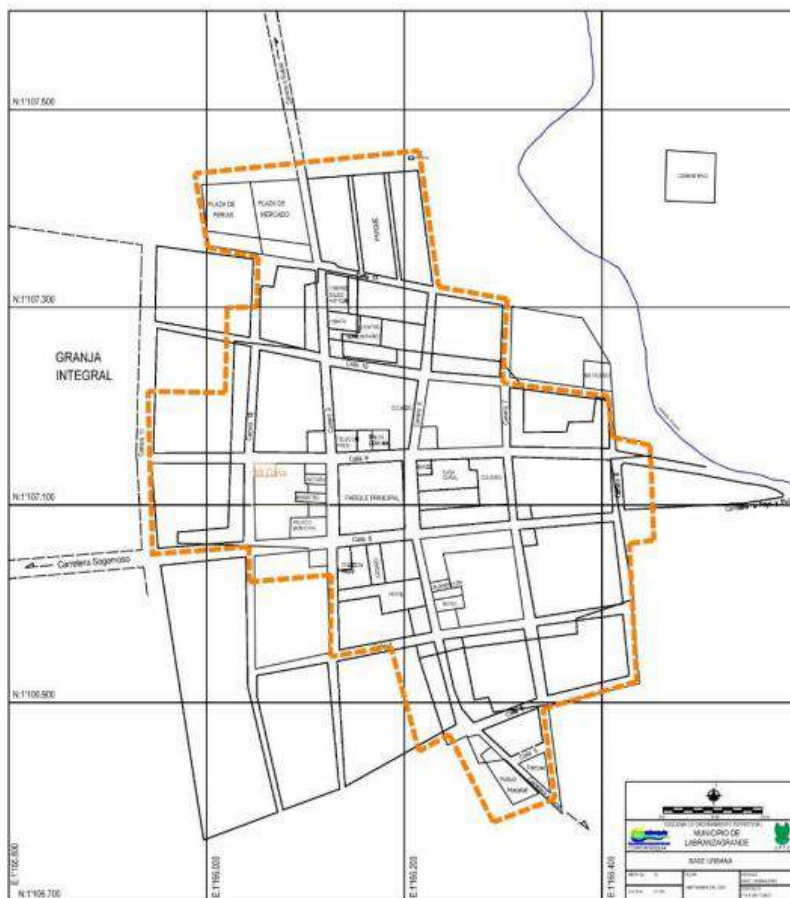


Nota: Plan de desarrollo municipal 2016-2019

El Casco Urbano está compuesto por 23 manzanas, algunas de ellas consolidadas parcialmente. No existe nomenclatura domiciliaria. De sus calles, están en pavimento tipo empedrado las conjuntas al parque principal, la calle 8 está en concreto rígido y algunas calles tienen una especie de vertimiento en concreto pero muy deteriorado. La expansión se está dando hacia el costado norte del pueblo en donde se cuenta con una red de servicios básicos aceptable y se dispone de algunas áreas libres. (*Alcaldía municipal de Labranzagrande, 2016*)

Ilustración 15.

División política urbana.



Nota: Plan de desarrollo municipal 2016-2019

6.3.1 Servicios Públicos

➤ Agua Potable y Saneamiento básico.

La Empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Labranzagrande S.A E.S.P (Empolab s.a e.s.p), es el operador de servicios públicos del municipio, creada mediante acuerdo 007 de 2010, es la única prestadora de servicios públicos en el municipio, con un total de 354 suscriptores en el estrato 1 y 2, que reciben los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo el cual se recolecta 2 veces por semana-, residuos sólidos que son depositados en el relleno 40 sanitario de la ciudad de Sogamoso.

El municipio cuenta con un servicio de alcantarillado mixto, el cual recolecta las aguas lluvias y servidas (aguas residuales) transportada hasta el río Cravo sur, donde se vierte sin ningún tipo de tratamiento, evidenciándose además que los colectores de aguas lluvias o superficiales están deteriorados. En la Planta de Tratamiento de Aguas residuales PTAR, se encuentra en proceso de construcción, lo que ayudará a optimizar los posibles niveles de contaminación en las aguas del río Cravo.

La calidad del agua, según boletín de Vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano IRCA es de 42,7 lo que indica un alto riesgo. (INS- Instituto Nacional de Salud, 2019). Se puede evidenciar que el municipio no cuenta con una planta de tratamiento de agua potable, solo cuenta con unos tanques desarenadores y de almacenamiento desde, donde se distribuye el agua a todo el casco urbano. Las quejas de la comunidad sobre la coloración o nivel de turbiedad del agua, se explica por la época invernal que afecta la quebrada donde se

ubica la boca toma que abastece la cabecera municipal. (*Alcaldía municipal de Labranzagrande, 2016*)

6.4 Marco Tecnológico

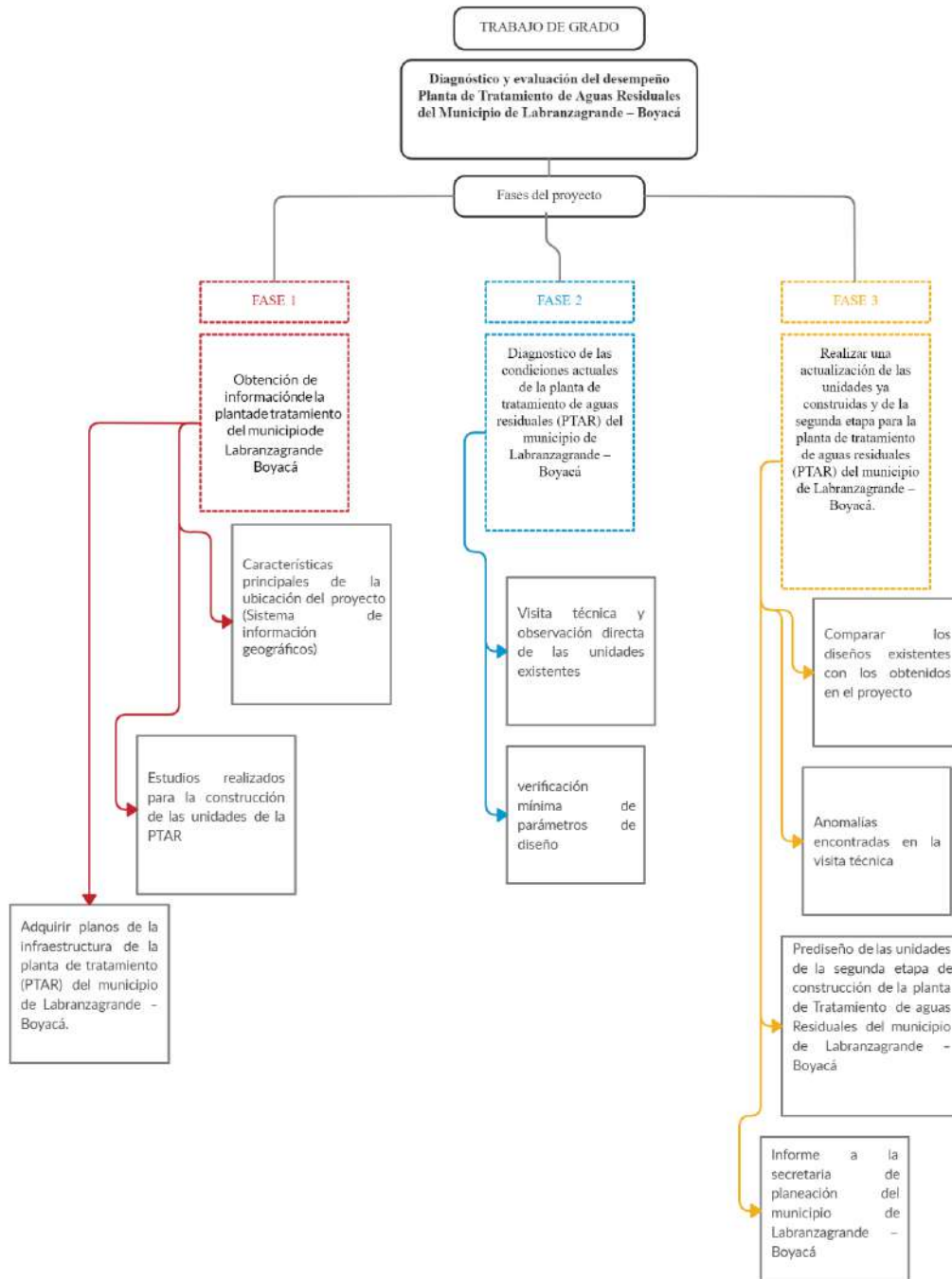
Cuando hablamos del sector del agua, hablamos de un sector transversal que se sitúa geográficamente en todo el planeta y que abarca prácticamente todos los sectores productivos tanto a nivel público como a nivel privado. Es por ello por lo que, con los crecientes problemas por el cambio climático, los altos niveles de contaminación ambiental causados por vertidos de aguas residuales e industriales no tratadas correctamente junto con los bajos porcentajes de acceso y abastecimiento de agua potable de calidad, están generando que el agua se convierta en el “**oro blanco**” del siglo XXI.

Dada esta problemática en la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se creó los objetivos de Desarrollo Sostenible, el cual es un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad. Dentro de estos el que específicamente afecta al consumo de agua y calidad de esta es el objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, que permitirá controlar exhaustivamente el consumo y la calidad de este recurso tan preciado. Es por ello por lo que actualmente, tanto la industria del agua potable como la del residual están **sufriendo un proceso de transformación digital** en sus procesos productivos. Mediante la monitorización de sus actividades y la generación de datos en tiempo real a través de la incorporación de la **tecnología basada en el IoT**, se pretende conseguir una mayor eficiencia en sus operaciones, reducir los gastos de gestión y mejorar indicadores como la huella hídrica.

7. Flujograma

Ilustración 16.

Flujograma del Proyecto.

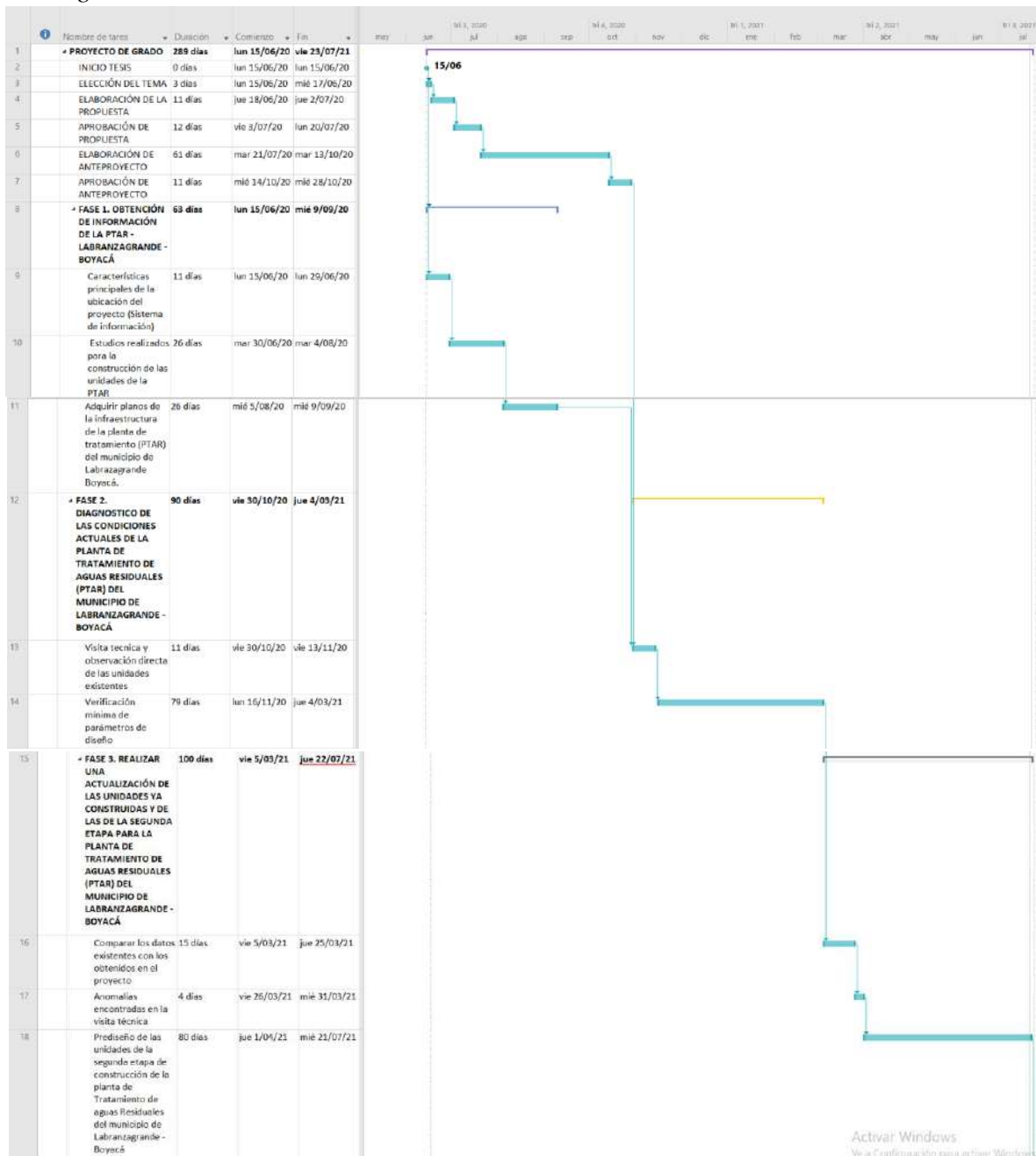


Nota: Elaboración propia

8. Cronograma

Ilustración 17.

Cronograma de actividades



19	Informe a la secretaria de planeación del municipio de Labranzagrande - Boyacá	1 día	jue 22/07/21	jue 22/07/21
20	FIN DE TESIS	0 días	vie 23/07/21	vie 23/07/21



Nota: Elaboración propia

9. Metodología

En este proyecto se utilizó la investigación cuantitativa con recopilación de datos; consistió en estudiar y analizar cada una de las unidades construidas en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá, ya que en este momento la planta no se encuentra en funcionamiento, ni en su etapa final de construcción; por ende, se rectificó que cada una de las unidades construidas cumpla con el requisitos normativos y legales necesarios.

Fase 1: Obtención de información de la planta de tratamiento del municipio de Labranzagrande – Boyacá.

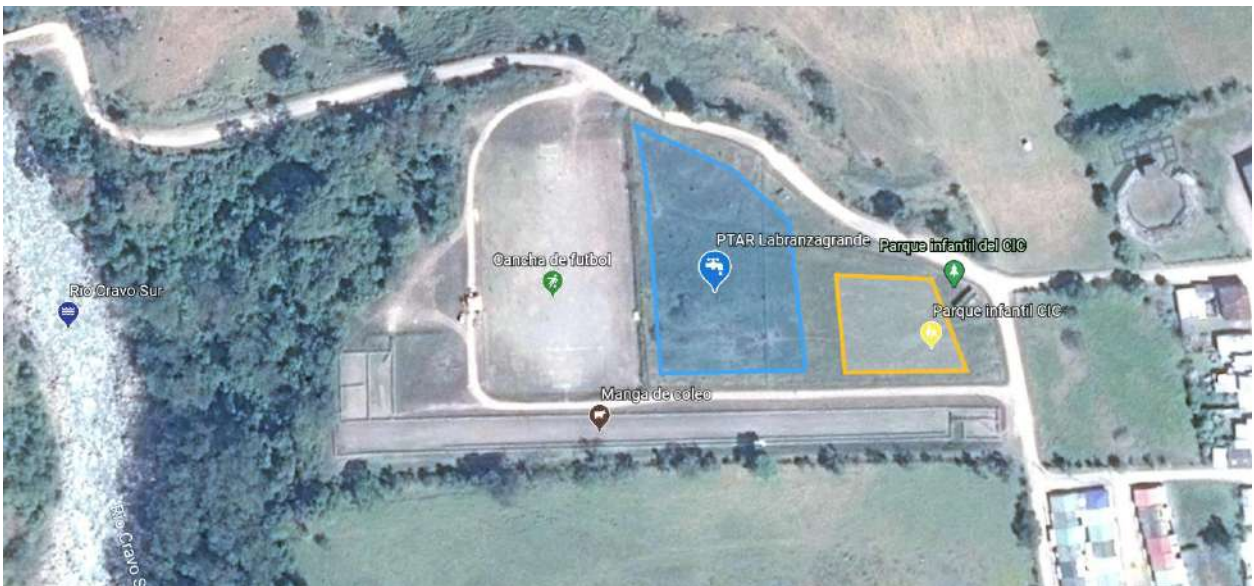
Se obtuvo la información de fuentes primarias (secretario de planeación del Municipio de Labranzagrande – Boyacá, Corporación Autónoma Regional de loa Orinoquia - Corporinoquia) y secundarias (Documentos, planos y diseños de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) necesaria para saber la localización y los aspectos topográficos donde se realizó la construcción de la PTAR.

A. Características principales de la ubicación del proyecto (Sistema de información geográfica).

La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá se encuentra ubicada en un punto medio entre el casco urbano y el cauce del río Cravo sur, con coordenadas $5^{\circ}33'55.8''$ N, $72^{\circ}34'51.9''$ O y tiene límites al sur con la manga de coleo, al este con la cancha de futbol y al norte con la vía que comunica la población con la ciudad de Sogamoso – Boyacá.

Ilustración 18.

Labranzagrande – Boyacá – Ubicación PTAR UASB



Nota: Google Earth

B. Estudios realizados para la construcción de las unidades de la PTAR

Se obtuvo información de los estudios previos realizados por parte de la secretaria de planeación del municipio de Labranzagrando – Boyacá para la localización y construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

➤ Cartera Topográfica

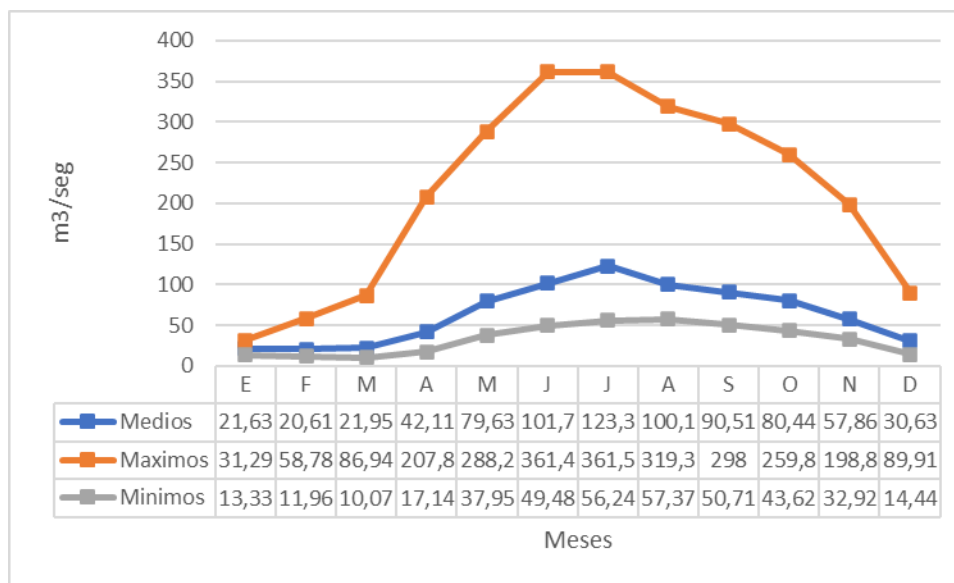
Ver anexo N°1

➤ Estudios Hidráulicos**➤ Fuente receptora**

La fuente receptora de los vertimientos de aguas residuales del Municipio de Labranzagrando – Boyacá es el río Cravo sur, cuyo caudal mínimo según el POMCA “Estación puente Yopal” equivalente a 10,07 m³/s

Gráfica 1.

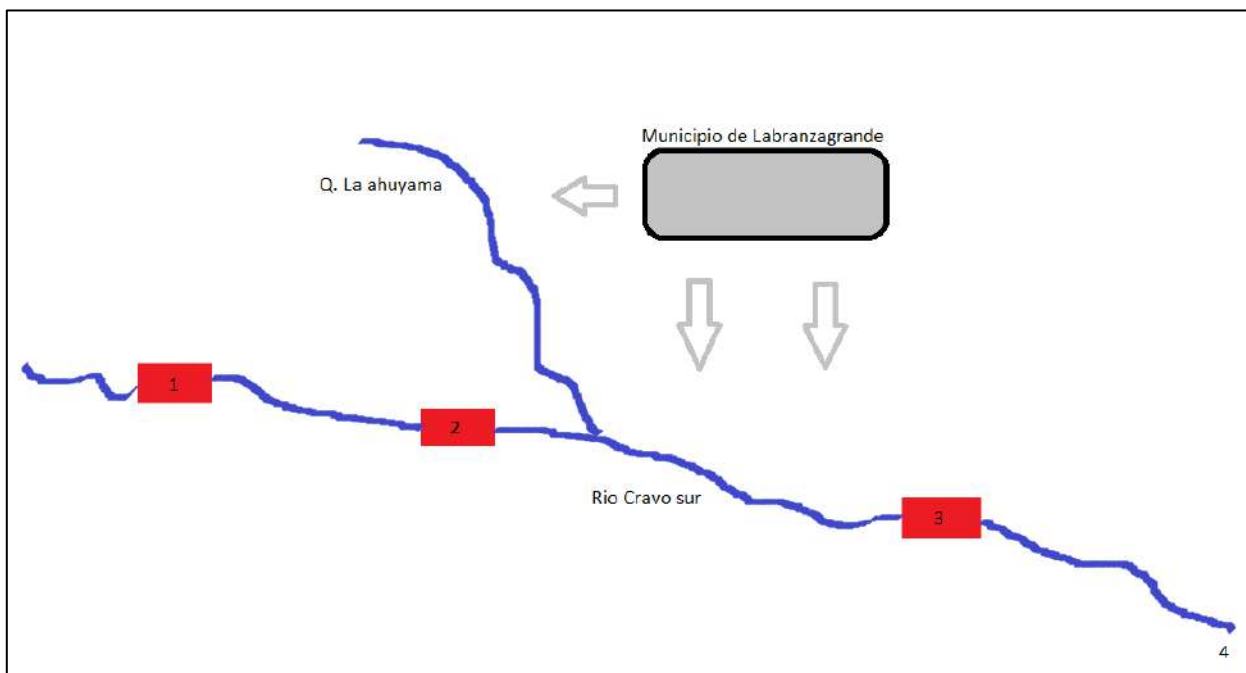
Caudales mínimos del Rio Cravo Sur



Nota: Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá

Ilustración 19.

Localización de los puntos de monitoreo fuente receptora Rio Cravo Sur



Nota: Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá

Las condiciones actuales de la fuente, respecto a los parámetros de interés sanitario (Según el plan de Saneamiento y Manejo de vertimientos aprobado por CORPORINOQUIA), antes de recibir descarga son:

Tabla 10.

Uso actual Rio Cravo Sur (Tramo 1-2)

Parámetro	Unidad	Valor
OD	mg/l	7,3
DBO ₅	mg/l	2
SST	mg/l	3

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá

Teniendo en cuenta que se proyecta la separación de alcantarillado sanitario y pluvial, se emplea el método presuntivo para cada uno de los parámetros de interés sanitario. El caudal de descarga es el estimado para el año 2015.

Tabla 11.

Concentraciones de aguas residuales

Parámetros	Valor (mg/l)
DBO ₅	200
SST	250
OD	1

Nota Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá

De acuerdo al plan de saneamiento y manejo de vertimientos, los usos y objetivos de calidad determinados por CORPORINOQUIA para esta fuente en el tramo donde son evacuados los vertimientos del municipio son:

Tramo 1-2: Tramo que caracteriza el caño antes de recibir el vertimiento, uso preponderante (Limpio)

Tramo 2-3: Tramo utilizado para recibir el vertimiento de agua residual del municipio
(Moderadamente contaminado)

Tabla 12.

Comportamiento de los parámetros sanitarios en el punto de mezcla

Parámetros de interés	Concentración de		Uso actual			Punto de mezcla (mg/s)
	agua residual (mg/l)	Q1 (l/s)	del Rio (mg/l)	Q2 (l/s)	Qtot (l/s)	
DBO ₅	200	12,82	2	10007	10019,82	2,25
SST	250	12,82	3	10007	10019,82	3,32
OD	1	12,82	7,3	10007	10019,82	7,29

Nota Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá

Ecuación 5.

Punto de mezcla.

$$PM = (CA * \left(\frac{Q1}{Q2}\right) + UR)$$

Nota: (IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)

Donde:

PM: Punto de mezcla

CA: Concentración de agua residual

Q1: Caudal 1

Q2: Caudal 2

UR: Uso actual del rio

Tramo 3-4: Tramo localizado aguas abajo del vertimiento (Moderadamente limpio)

Tabla 13.

Parámetros sanitarios aguas abajo del vertimiento

MUNICIPIO	TRAMO	USO REPONDERANTE	PARAMETRO	UNID	INDICE		OBJETIVO DE CALIDAD	PUNTO DE MEZCLA (mg/l)	CUMPLE
					USO ACTUAL	NORMATIVO O TECNICO			
Labranzagrande	3 – 4	Agrícola y pecuario con criterio de uso doméstico	OD	mg/l	7,1	≥5	≥5	7,29	SI
			DBO5	mg/l	2	0 - 5	≤6	2,25	SI
			SST	mg/l	4	≤50	0 - 20	3,32	SI

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá

➤ **Muestreo de aguas residuales**

En el año 2009, Se hicieron muestreos compuestos (Laboratorio Servi Químicos) del vertimiento de las aguas residuales del Rio Cravo Sur con una duración de 14 horas, ya que no se pudo realizar por 24 horas por razones de orden público, por parte del consultor del plan Maestro de Alcantarillado Sanitario y Pluvial.

Se tomaron muestras compuestas y no simples debido a que estas nos permiten conocer las condiciones y variaciones promedio del agua por medio de aforos realizados y toma de muestras al igual que el comportamiento de la variación del caudal en el punto de descarga:

Tabla 14.

Muestreo compuesto de aguas residuales.

Hora	Q l/s
6	16,66
7	15,48

8	15,25
9	14,45
10	16,96
11	17,82
12	18,06
13	17,56
14	17,76
15	17,24
16	17,16
17	17,21
18	15,97
19	15,37

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá

Se tomaron datos de los caudales promedios de las aguas residuales del día de muestreo compuesto, del único vertimiento.

Tabla 15.

Variación del caudal de aguas residuales. Muestro compuesto

Hora	N(Numero de muestras)	Q(instante) l/s	Q(Promedio) l/s	V(instante)
6:00 a. m.	1	16,66	16,66	2000
7:00 a. m.	2	15,48	16,07	963,28
8:00 a. m.	3	15,25	15,79	643,59
9:00 a. m.	4	14,45	15,46	467,33
10:00 a. m.	5	16,96	15,76	430,45
11:00 a. m.	6	17,82	16,1	368,86
12:00 p. m.	7	18,06	16,38	314,96
1:00 p. m.	8	17,56	16,53	265,57
2:00 p. m.	9	17,76	16,66	236,8
3:00 p. m.	10	17,24	16,72	206,17
4:00 p. m.	11	17,16	16,76	186,11
5:00 p. m.	12	17,21	16,8	170,72
6:00 p. m.	13	15,97	16,73	146,79
7:00 p. m.	14	15,37	16,63	131,95

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá

Ecuación 6.

Volumen de cada porción de muestra.

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

Nota: Nota: (IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007)

Donde:

Vi: Volumen de cada porción de muestra

V: Volumen total a componer

Qi: caudal instantáneo de cada muestra

Qp: Caudal promedio durante el muestreo

n: Numero de muestras tomadas

En la tabla anterior se observa la variación de caudal de aguas residuales en las 14 horas de aforo realizado, estos caudales de descarga representan un aporte importante de aguas residuales sobre un cuerpo receptor, esto es debido a un sistema tarifario, falta de cultura de ahorro de agua en la comunidad y falta de una entidad que se encargue de los servicios.

➤ **Alternativas**

Teniendo en cuenta la situación actual y futura del municipio de Labranzagrande – Boyacá con relación al alcantarillado y la unificación de sus vertimientos, se planteó la ubicación de la PTAR, un análisis de la fuente receptora, alternativas de tratamiento que se analizan desde el punto de vista técnico, ambiental, socioeconómico y de costo – beneficio.

El tratamiento de las aguas residuales propone la aplicación de unos procesos básicos u operaciones unitarias, cuya secuencia y utilización vienen definidas por el grado de depuración a alcanzar, de acuerdo a los objetivos de calidad establecidos por la entidad ambiental; las diferentes alternativas de tratamiento están compuestas por una combinación de operaciones unitarias, procesos unitarios, de tal forma que se alcancen los niveles de calidad del efluente requeridos.

Tabla 16.

Eficiencias en los procesos de tratamiento.

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						Observaciones
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	
Pre-tratamiento	Cribado o desbaste	0-15	0-10	10_50	0-6	0-40	N/A	Remociones con militamices y microcribas
	Desarenadores	0-5	0-5	0-10	N/A	N/A	N/A	
	Trampa de grasas	0-5	0-3	10_50	N/A	85-95	N/A	
Tratamiento Primario	Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	75-85	60-70	30-50	
	Lagunas anaerobias	50-70	30-50	50-60	75-85	80-90	80-90	
	Tanque Imhoff	25-40	15-30	50-70	75-85	60-70	_30-50	
	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
Tratamiento Secundario	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-90	80-90	Sin contar con algas
	Lagunas aireadas	80-95	60-70	N/A	N/A	N/A	80-90	Con sedimentación secundario
	Reactor anaerobio RAP	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	

	Lodos activados (convencionales)	80-95	70-80	80-90	N/A	N/A	80-90
	Filtros percoladores de alta tasa, roca de alta tasa, plástico	65-90 75-95	55-70 60-80	60-85 65-85	N/A N/A	N/A N/A	80-90 80-90
Desinfección	Rayos UV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100
	Cloración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100
	Laguna de maduración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	99,99

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

Tabla 17.

Usos del recurso y objetivos de calidad.

Municipio	Tramo	Uso preponderante	Und	Índice			
				Uso actual	Normativo o técnico	Objetivo de calidad	
Actualmente no existen vertimientos	1 - 2.	Agrícola y pecuario	OD	mg/l	7,3	≥5	≥5
			DBO5	mg/l	2	0 - 5	≤20
			SST	mg/l	3	≤50	≤20
			Grasas y Aceites	mg/l	<1	0	≤1
			T°	°C	-	T (2° - 3°) ≤ T ambiente	T (2° - 3°) ≤ T ambiente
			pH	UND	7,5	7- 9	5-9.
			OD	mg/l	-	≥5	≥5
Labranzagrande	2 - 3.	Agrícola y pecuario restrictivo	DBO5	mg/l	-	0 - 5	≤5
			SST	mg/l	-	≤50	≤20
			Grasas y Aceites	mg/l	-	0	≤1

		T°	°C	-	T (2° - 3°) ≤ T ambiente	T (2° - 3°) ≤ T ambiente
		pH	UND	-	7- 9	7- 9
		OD	mg/l	7,1	≥5	≥5
		DBO5	mg/l	2	0 - 5	≤6
		SST	mg/l	4	≤50	0- 20
3 - 4.	Agrícola y pecuario con criterio de uso domestico	Grasas y Aceites	mg/l	<1	0	≤1
		T°	°C	-	T (2° - 3°) ≤ T ambiente	T (2° - 3°) ≤ T ambiente
		pH	UND	7,7	7- 9	6- 9

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrande – Boyacá

Teniendo en cuenta tanto los aspectos socio-culturales como los aspectos tecnológicos se obtuvo el siguiente resultado para la selección del sistema de tratamiento:

➤ **Alternativas de tratamiento**

Tabla 18 .

Alternativas de Tratamiento

Sistemas de tratamiento para las aguas residuales	Manejo de Lodos
1. Tratamiento preliminar rejilla gruesa + rejilla fina + Laguna anaerobia + Laguna Facultativa	Lechos de secado de lodos

2. Tratamiento preliminar rejilla

gruesa + rejilla fina + desarenador
+ UASB + filtro anaerobio

Lechos de secado de lodos

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrande – Boyacá

Se presentan a continuación los porcentajes de remoción de cada una de las alternativas propuestas por la Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrande - Boyacá:

1. Alternativa 1

Tabla 19.

Alternativa 1.

Porcentajes de remoción tratamiento 1							
Unidades de tratamiento	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH3-N	Patógenos
Rejillas	Desp	desp	Desp	desp	desp	desp	desp
Lagunas anaerobias	50 - 70		20 - 60				90 - 99,99
Lagunas facultativas	80 - 90		63 - 75	30			90 - 99,99

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrande - Boyacá

2. Alternativa 2

Tabla 20.

Alternativa 2.

Porcentajes de remoción tratamiento 2							
Unidades de tratamiento	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH3-N	Patógenos
Rejillas	Desp	Desp	Desp	desp	desp	desp	desp
Desarenadores	0 - 5	0 - 5	0 - 10	desp	desp	desp	desp
Reactores UASB	65 - 80	60 - 80	60 - 70	30 - 40			desp
Filtros Anaerobios	65 - 82	60 - 82	60 - 70	30 - 40			desp

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrande – Boyacá

Se realizó la comparación de las alternativas propuestas en cuanto a remoción se tiene:

Tabla 21.

Comparación de remociones de las alternativas de tratamiento seleccionadas

	Alternativa 1	Alternativa 2
--	---------------	---------------

Área	Aéreas grandes para la construcción de lagunas	Menor área de requerimiento para construcción
Remoción de DBO	88%	95%
Remoción de SST	82%	90%
Remoción de DQO	-	80%

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrande – Boyacá

Con base en esta tabla y haciendo la comparación de las dos alternativas se seleccionó la mejor, dando puntaje de 1 a 3 de la siguiente manera:

1: Para la alternativa que ofrece menos ventajas

3: Para la alternativa que ofrece más ventajas, obteniendo la siguiente matriz:

Tabla 22.

Determinación del mejor sistema de tratamiento

	Aspectos	Laguna anaer + laguna fac	Reactor UASB + anaerobio
1	Condiciones de operación		
	Funcionamiento	1	3
	Personal	3	1
	Frecuencia de control	3	1
	Nivel de capacitación	3	1
	Control producción de lodos	1	3
		11	9
2	Insumos		
	Área requerida	1	3
	Consumo de energía	3	1
	Obra	1	3
	Equipos	3	1
		8	8
3	Costos		
	Construcción	1	3
	Mantenimiento	1	3
	Operación	3	1
	Disposición de lodos	1	3
		6	10
4	Beneficios del sistema		
	Eficiencia remoción DBO	1	3
	Eficiencia remoción SST	1	3

	2	6
Confiabilidad	27	33

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrande – Boyacá

De las alternativas propuestas por la Secretaria de Planeación del Municipio Labranzagrande – Boyacá se obtuvo que el esquema de tratamiento más óptimo, corresponde a la alternativa 2 debido a que la otra alternativa, para el manejo de aguas residuales domesticas no resulta viable por experiencias fallidas en la región o por ser no adecuadas por la magnitud del proyecto.

➤ **Estudio de suelos**

De acuerdo a la información brindada por de la Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrande se hicieron estudios de suelos (Laboratorio de mecánica de suelos Pérez y Asociados) el cual comprendió: reconocimiento geológico y geotécnico en el área del terreno y en el área de influencia del proyecto; explotación del subsuelo mediante un sondeo de acuerdo al área del lote; a partir de esta exploración realizaron la caracterización geotécnica de los materiales de subsuelo que determino la capacidad portante y la profundidad de la cimentación.

➤ **Análisis de resultados**

➤ **Sondeo n° 1**

- **Estrato 1 (0.00 m – 0.30 m)**

Capa vegetal con presencia de raíces y material orgánico

- **Estrato 2 (0,30 m – 1,10 m)**

Se apreció un material limos plásticos de color gris mediana consistencia. Es clasificado como MH, presento un límite líquido de 51,07%, un límite plástico de 30,85% y un índice de plasticidad de 20,22%. El material que pasa la malla N° 200 en el proceso de lavado es de 92,24%.

- **Estrato 3 (1,10 m – 2,00 m)**

Está compuesto por un material de arena arcillo – arenoso color gris, de baja plasticidad. Es clasificado como SC – SM, presenta un límite líquido de 24,16%, un límite plástico de 18,12% y un índice de plasticidad de 6.04%. El análisis por tamizado indicó que un 90.89% del material pasa la malla 4, un 79,67% el tamiz N° 10, un 59,82% la malla N° 40 y un 32,13% de material pasa la malla N° 200. La humedad del estrato indico un promedio de 13,49

- **Estrato 4 (2,00 m – 6,00 m)**

Está compuesto por un manto rocoso

C. Adquirir planos de la infraestructura de la planta de tratamiento (PTAR) del municipio de Labranzagrande – Boyacá.

Fase 2: Diagnostico de las condiciones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrande – Boyacá.

Se realizó la visita a la planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá con el fin de desarrollar un diagnóstico y evaluación del estado actual de las unidades construidas.

A. Visita técnica y observación directa de las unidades existentes

Inicialmente en la visita técnica se pudo observar que la planta de tratamiento no está construida a la distancia mínima requerida con respecto al centro poblado, la cual debe ser de 200m según el RAS 20117 – Resolución 0330.

De igual forma se pudo observar que el lote donde se construyó la planta no cumple con la señalización apropiada y se encuentra en muy mal estado, debido a que no se le ha realizado un adecuado mantenimiento tanto de las unidades existentes como de su alrededor.

Debido a que el casco urbano, del municipio, no cuenta en su totalidad con un sistema de alcantarillado donde sean separadas las aguas pluviales y las residuales, estas en épocas de invierno pueden causar una saturación de caudal en la planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), por lo que es necesario diseñar una estructura de tal manera que solo entre el caudal para lo que fue diseñada.

➤ ***Estructura de entrada:*** Consiste en una estructura construida en concreto, donde llega el emisario final, tiene una longitud de 9,3m de largo por 1m en promedio de ancho. Se observan dos cámaras de 0,50m por 0,70m las cuales cuentan con sus respectivas tapas metálicas. La estructura aún no se encuentra en funcionamiento, por lo que cuenta con una cámara de 2,7m por 1m, por donde las aguas provenientes del municipio son desviadas hacia un pozo de inspección, y son evacuadas hacia un lote ubicado a la margen derecha de la vía sin ningún tipo de tratamiento.

- ***Emisario Final***

Figura 1.

Emisario final



Nota: Elaboración propia

Este emisario final es el interceptor de toda la red de alcantarillado combinado del municipio hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Tabla 23.

Especificaciones emisario

Medida	Und
Diámetro	27"

Nota: Elaboración propia

- ***Vertederos de rebose***

Figura 2.

Vertederos de rebose.



Nota: Elaboración propia

Después de las estructuras de entrada las cuales están constituidas por las rejillas finas y rejillas gruesas, se encuentran unos canales de rebose los cuales pueden ser de gran ayuda en épocas de invierno para aliviar el caudal combinado y permitir tan solo el ingreso del caudal de diseño.

- ***Estructura de entrada: Rejillas finas, Rejillas gruesas***

Estas rejillas están ubicadas aguas arriba del tratamiento preliminar el cual es susceptible de obstruirse por la materia gruesa que trae el agua residual sin tratar.

Figura 3.

Rejillas finas.



Nota: Elaboración propia

Tabla 24.

Características de las rejillas finas

Características de las rejillas finas
Espacio: 1,6cm
Numero de rejillas: 20
Diámetro: ½"
Ancho de la rejilla: 60cm

Nota: Elaboración propia

Figura 4.

Rejillas gruesas.



Nota: Elaboración propia

Tabla 25.

Características de las rejillas gruesas

Características de las rejillas gruesas
Espacio: 4cm
Numero de rejillas: 11
Diámetro: ½"
Ancho de la rejilla: 60cm

Nota: Elaboración propia

➤ *Canal, Desarenador, Vertedero Sutro*

El desarenador está localizado después de las rejillas y antes de los reactores UASB y la estación de bombeo; con este desarenador se eliminará partículas con diámetro mínimo de 0,3mm, con una velocidad de decantación de 0,03 m/s; de igual forma para garantizar la

velocidad constante se tiene una estructura de salida tipo vertedero Sutro y un sistema hidráulico de evacuación de lodos; para asegurar su limpieza cuenta con dos unidades de ancho de 0,25m y una cámara de salida de 0,50m por 0,60m cada una con la capacidad para operar con los caudales de diseño.

Figura 5.

Desarenador



Nota: Elaboración propia

Figura 6.

Salida de desarenador.



Nota: Elaboración propia

- ***Lechos de secado***

Estos lechos de secado están constituidos por arena y grava (rocas pequeñas, a veces llamado ripio) con un sistema de drenaje por medio de tubos de 4" que tienen como función recolectar los lixiviados (líquido residual generado por la descomposición biológica). El secado de los lodos primarios (o parcialmente digeridos) es descargado sobre la superficie, el cual se basa en drenar los líquidos a través de arena y la evaporación al aire del agua presente en la superficie de lodos.

Figura 7.

Lechos de secado.



Nota: Elaboración propia

Tabla 26.

Características de los lechos de secado

Características de los lechos de secado
Largo: 6,50m
Ancho: 6,75m
Diámetro de tubería: 4"

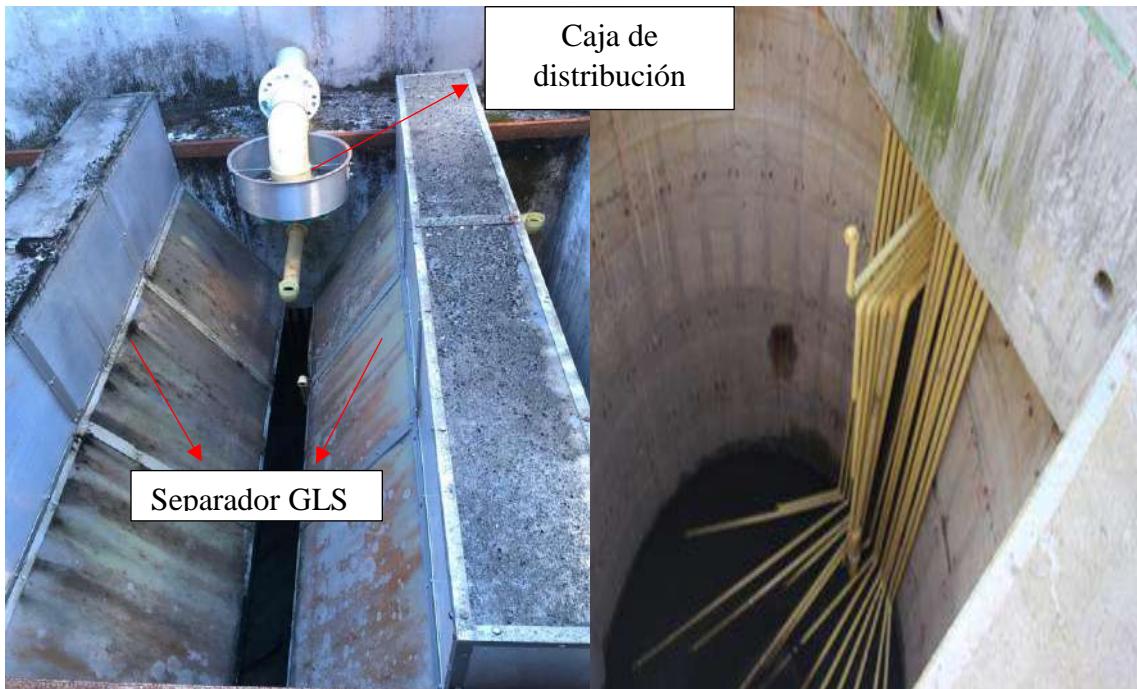
Nota: Elaboración propia

- **Reactores UASB**

Luego del tratamiento preliminar de rejillas y de desarenado, el agua residual entra por la parte superior del reactor y es distribuida uniformemente en el reactor y fluye hacia la parte superior manteniendo en pulsación el manto de lodos granular

Figura 8.

Reactor UASB.



Nota: Elaboración propia

Tabla 27.

Características de los reactores UASB.

Características de los reactores UASB

Se localizan 4 reactores UASB
Construidos en concreto
Altura aproximada de 5m
Diámetro de 4,5m

Nota: Elaboración propia

➤ **Cuarto de bombas**

Estructura de concreto de 4m por 4,5m.

1. Luego del Pre – tratamiento (Cribado o desbaste, desarenadores) el agua residual llega a un cuarto de bombeo donde se alimentarán los reactores de flujo ascendente (4 Reactores UASB) donde el agua tratada quedara en la parte superior de estos.
2. Control de niveles de lodos producto de la acción anaeróbica que se realiza dentro de los reactores UASB.
3. Salida de agua tratada hacia el efluente.
4. Salida de lodos por Succión hacia los lechos de secado.

Figura 9.

Cuarto de bombas.



Nota: Elaboración propia

Figura 10.

Cuarto de bombas.



Nota: Elaboración propia

B. Verificación mínima de parámetros de diseño

➤ **Parámetros de diseño**

Los parámetros de diseño son los especificados en el manual técnico de Agua Potable y Saneamiento RAS 2017-Resolución 0330.

Tabla 28.

Resumen de Parámetros de Diseño.

Resumen de parámetros de diseño	
Población inicial	1098
Población final	1452
Periodo de diseño	25 AÑOS
Dotación	130 l/s

Q Aguas residuales domesticas	2,23l/s
Coefficiente de retorno	0,85
Factor de mayoración	1,3
Caudal máximo horario	2,84l/s
Aporte institucional	0,4l/s-Ha
Aporte comercial	0,4l/s-Ha
Aporte por conexiones erradas	0,2l/s-Ha
Caudal por infiltración	0,15/s-Ha

Nota: Elaboración propia

Según los objetivos de calidad determinados por la entidad ambiental (Corporinoquia), para la fuente receptora de los vertimientos de aguas residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá, se necesita un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con el fin de disminuir parámetros de interés sanitario de las aguas residuales antes de ser vertidas al Rio Cravo Sur.

Los objetivos de calidad establecida para la fuente receptora en el punto de vertimiento son:
Uso agrícola y pecuario restrictivo.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantearon alternativas de tratamiento y se determinó que la más óptima es la construcción de: **Rejillas, Desarenados, Reactor UASB, Filtro Anaerobio y Lechos de Secado**, sistema que garantizara la disminución de los parámetros de interés sanitario hasta los límites permisibles de acuerdo a la reglamentación y al uso de la corriente receptora.

Tabla 29.

Porcentaje de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales.

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						Observaciones
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	
Pre-tratamiento	Cribado o desbaste	0-15	0-10	10_50	0-6	0-40	N/A	Remociones con miltamices y microcribas
	Desarenadores	0-5	0-5	0-10	N/A	N/A	N/A	
Tratamiento Secundario	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

- ***Aceptabilidad de la población vecina o más cercana***

La densidad poblacional en el sector evaluada es baja; adicionalmente de acuerdo con lo manifestado por parte de los representantes de la comunidad, esta se encuentra de acuerdo con la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales ya que se garantizará al máximo el aprovechamiento para actividades agrícolas sin restricción.

- ***Aprovechamiento de subproductos de la planta de tratamiento***

El tratamiento de aguas residuales genera una serie de subproductos tales como gas y lodos; sin embargo, por el bajo caudal que se va a tratar la producción de gas no va a ser significativa por lo que no se prevé su aprovechamiento. En cuanto a los dos generados se proyecta su aprovechamiento una vez sean estabilizados en el enriquecimiento de suelos aledaños.

- **Cálculos hidráulicos**

- **Población**

Los datos de población fueron tomados de los censos realizados por el DANE, correspondientes a los años 1993, 2005 y 2006.

Tabla 30.

Población total.

Año	Población total	r %
1993	5085	
2005	5231	0,24%
2006	5376	2,70%
	Tasa media	1,47%

Nota: DANE

Tabla 31.

Proyecciones de población DANE Método geométrico.

AÑO	POBLACION URBANA	r %
2005	1050	
2006	1063	1,24%
2007	1077	1,32%
2008	1088	1,02%
2009	1098	0,92%

Nota: Elaboración propia

Método geométrico

Ecuación 7.

Método geométrico.

$$P_f = P_i(1 + r)^{Tf - Ti}$$

Nota: (Espinel Ortiz, 2014)

Método exponencial

Ecuación 8.

Método exponencial.

$$Pf = Pi * e^{r*(Tf-Ti)}$$

Nota: (Espinel Ortiz, 2014)

Donde:

Pf: Población final hasta el periodo de diseño

Pi: Población inicial (año cero)

r: Tasa de crecimiento anual $r = \left(\frac{Pf}{Pi}\right)^{\frac{1}{Tf-Ti}} - 1$

Tf: Año final del periodo de diseño

Ti: Año actual de diseño

Tabla 32.

Proyecciones de población método exponencial y método geométrico.

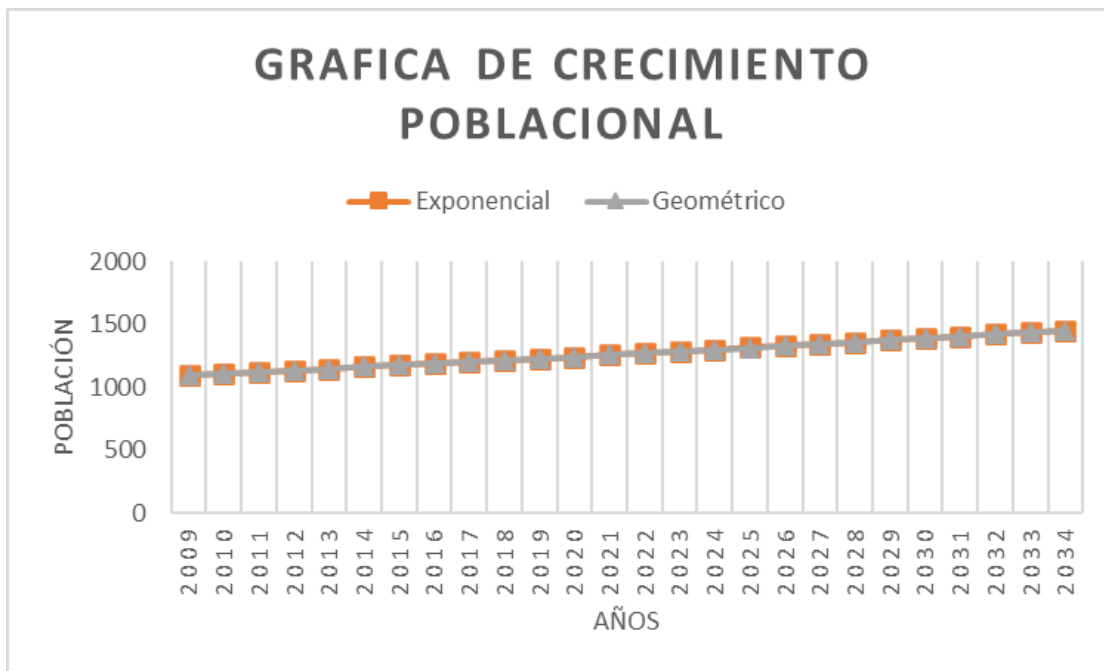
Proyección de población		
Año	Exponencial	Geométrico
2009	1098	1098
2010	1110	1110
2011	1123	1123
2012	1136	1135
2013	1149	1148
2014	1162	1161
2015	1175	1174
2016	1188	1187
2017	1201	1201
2018	1215	1214
2019	1229	1228
2020	1243	1242
2021	1257	1256
2022	1271	1270
2023	1285	1284
2024	1300	1299
2025	1315	1313
2026	1329	1328
2027	1344	1343

2028	1360	1358
2029	1375	1373
2030	1391	1389
2031	1406	1404
2032	1422	1420
2033	1438	1436
2034	1455	1452

Nota: Elaboración propia

Gráfica 2.

Grafica de crecimiento poblacional por los métodos exponencial y geométrico.



Nota: Elaboración propia

La población final en el periodo de 25 años es de 1452 habitantes. La población de diseño será calculada a los 25 años de diseño más una población flotante de uniformados del ejército de 300 hombres.

- **Caudales de diseño**

Caudales de diseño según las variaciones diarias y horarias que se pueden presentar:

Tabla 33.

Caudales de diseño.

Componente	Caudal de diseño
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de Distribución	QMH

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

- **Dotación neta**

Tabla 34.

Dotaciones netas máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
>2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
<1000 m.s.n.m	140

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

De acuerdo RAS 2017-Resolución 0330, la dotación neta máxima habitante es de (130 l/hb-día) ya que la altura sobre el nivel del mar del municipio de Labranzagrande – Boyacá es de 1202 m.s.n.m.

- **Caudal de aguas residuales Domesticas**

Ecuación 9.

Caudal de aguas domésticas .

$$Qd = (P * D * C)/86400$$

Nota: (Unilibre, 2020)

Donde:

P: Población hab

D: Dotación l/hab-día

C: Coeficiente de retorno (Como no se cuenta con datos de campo, se adopta un valor de 0,85 según el RAS 2017)

$$\begin{aligned} &= \frac{1452 \text{ hab} * 130 \frac{l}{\text{hab} - \text{día}} * 0,85}{86400} \\ &= \frac{1,85l}{s} \\ &= \frac{300 \text{ hombres} * \frac{130l}{\text{hb} - \text{día}} * 0,85}{86400} \\ &= \frac{0,38l}{s} \\ &= \frac{1,85l}{s} + \frac{0,38l}{s} \\ &= \frac{2,23l}{s} \end{aligned}$$

- ***Máximo diario***

Factor de mayoración (Harmon):

Ecuación 10.

Factor de mayoración.

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + p^{0.5})}$$

Nota: (Unilibre, 2020)

Donde:

F: Factor de mayoración

P: Población

$$F = 1,33 \text{ Se adopta } 1.3$$

Según el RAS para poblaciones menores o iguales de 12500 habitantes, al periodo de diseño, en ningún caso el factor de mayoración será superior a 1,3. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

- ***Caudal máximo horario***

Ecuación 11.

Caudal máximo horario.

$$\left(\frac{1,85l}{s} * \frac{1,33l}{s} \right) = \frac{2,46l}{s} + \frac{0,38l}{s}$$

Nota: (Galeano Nieto & Rojas Ibarra, 2016)

$$\frac{2,84l}{s}$$

- ***Aporte de caudal comercial***

Tabla 35.

Aportes comerciales según el nivel de complejidad.

Aportes comerciales según el nivel de complejidad. RAS	
NIVEL DE COMPLEJIDAD	CONTRIBUCION COMERCIAL l/s-Ha
Cualquiera	0,4-0,5

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

No se tiene en cuenta aportes por caudal comercial ni industrial.

- ***Caudal por conexiones erradas***

Tabla 36.

Aportes de caudales por conexiones erradas.

Conexiones erradas con sistema pluvial. RAS	
NIVEL DE COMPLEJIDAD	CONTRIBUCION INSTITUCIONAL L/s-Ha
Bajo y Medio	0,2
Medio alto Y Alto	0,1

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

- ***Caudal por infiltración***

Se adopta 0,15 l/s-Ha

Ecuación 12.

Caudal por infiltración.

$$= 20,72Ha * \frac{0,15l}{s * Ha}$$

Nota: (Unilibre, 2020)

$$= \frac{3,11l}{s}$$

- ***Caudal de diseño***

Ecuación 13.

Caudal de diseño.

$$QT = QMH + Q \text{ por infiltración}$$

Nota: (Galeano Nieto & Rojas Ibarra, 2016)

$$\begin{aligned} &= \frac{2,84l}{s} + \frac{3,11l}{s} \\ &= \frac{5,95l}{s} \end{aligned}$$

La Planta Tratamiento de Aguas Residuales se proyectará con el caudal máximo horario (QMH), según se establece en el RAS 2017 - Resolución 0330.

Las unidades de tratamiento serán proyectadas con un caudal de 2 l/s, y en la etapa 1 se construirá para tratar un total de 4 l/s, es decir la mitad del caudal proyectado (8 l/s).

El sistema de tratamiento será proyectado con el caudal máximo horario (QMH).

- ***Caudal de aproximación***

Para su dimensionamiento se emplea la ecuación de Manning por su simplicidad y amplias posibilidades para estimar los coeficientes de razonamiento según se selecciona el tipo de revestimiento.

El canal calculado estará revestido en cota cuyo coeficiente de rugosidad es de 0,013, su sección transversal será rectangular.

La expresión de Manning supone un flujo uniforme que en realidad puede no ser uniforme, por esta razón se recomienda que la profundidad obtenida en el diseño de flujo uniforme difiera del 15% al 20% de la profundidad de flujo crítico.

- ***Perfil Hidráulico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)***

De acuerdo a los planos y las visitas técnicas realizadas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá, se realizó el perfil hidráulico.

- Carga hidráulica

Ecuación 14.

Carga hidráulica

$$Ch = \frac{Q}{Ar}$$

Nota: (Vargas, 2016)

$$Ch = \frac{10,224m^3}{16m^2 \cdot h}$$

$$Ch = \frac{0,64m}{h}$$

- Velocidad de flujo

Ecuación 15.

Velocidad de flujo.

$$Vf = 4 * Ch$$

Nota: (Vargas, 2016)

$$Vf = 4 * \frac{0,64m}{h}$$

$$Vf = \frac{2,56m}{h}$$

- Pérdidas de carga

Según la ecuación de Hazen – Williams

Ecuación 16.

Pérdidas de carga

$$Q = 0,25 * c * D^{2,63} * J^{0,54}$$

Nota: (Vargas, 2016)

Reactores:

Numero de reactores #4

$$c = 150 \text{ (PVC)}$$

$$D = 6" = 0,152m$$

$$Lt = 31,02m$$

$$Q = \frac{0,028m^3}{s}$$

$$\frac{0,028m^3}{s} = 0,28 * 150 * (0,152m)^{2,63} * J^{0,54}$$

$$J = 0,013$$

$$hf = 31,02 * 0,013$$

$$\mathbf{hf = 0,40mCa}$$

Filtros anaerobios:

Numero de filtros #2

$$c = 150 \text{ (PVC)}$$

$$D = 6" = 0,152m$$

$$Lt = 50,35m$$

$$Q = \frac{0,055m^3}{s}$$

$$\frac{0,055m^3}{s} = 0,28 * 150 * (0,152m)^{2,63} * J^{0,54}$$

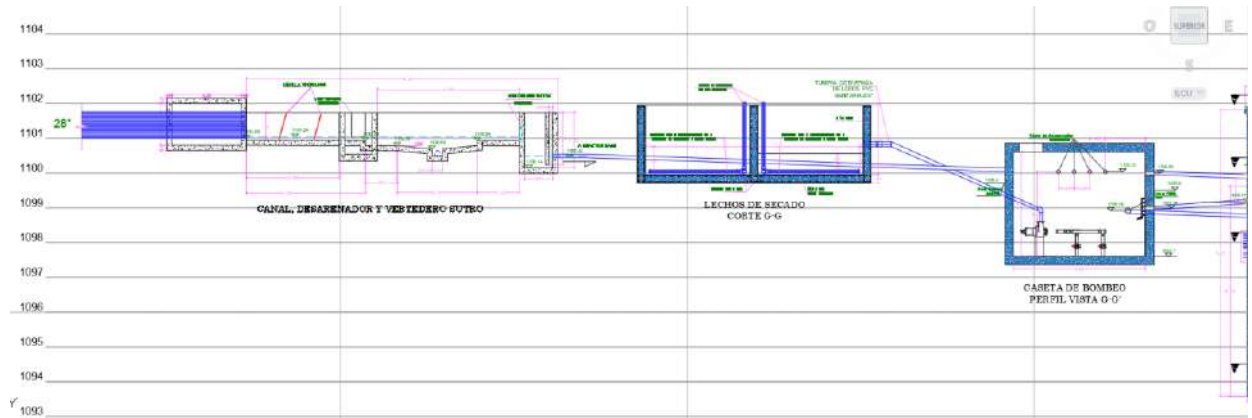
$$J = 0,044$$

$$hf = 50,35 * 0,044$$

$$hf = 2,22mCa$$

Ilustración 20.

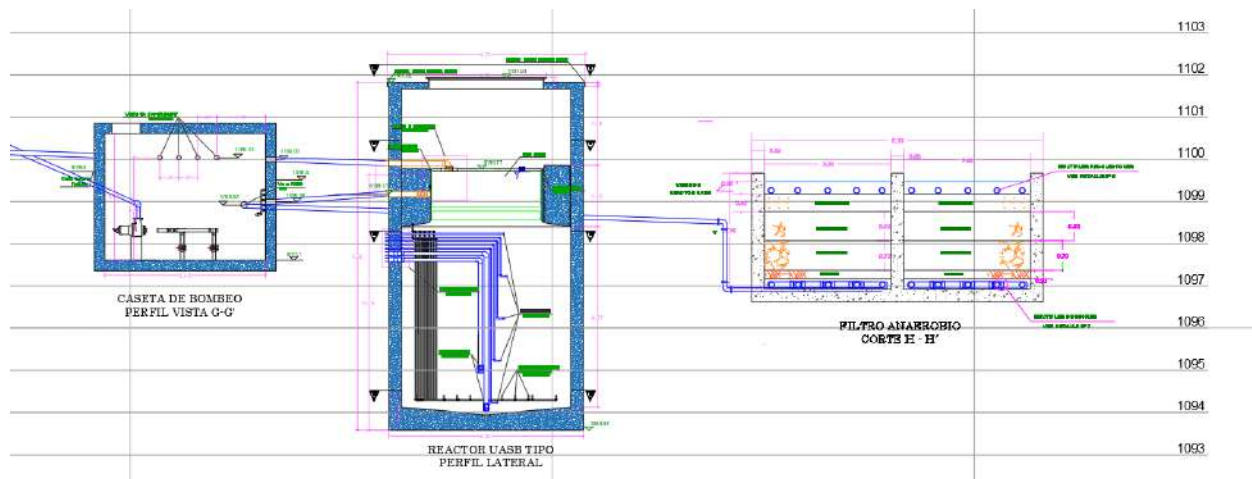
Perfil Hidráulico de la PTAR



Nota: Elaboración Propia

Ilustración 21.

Perfil Hidráulico de la PTAR.

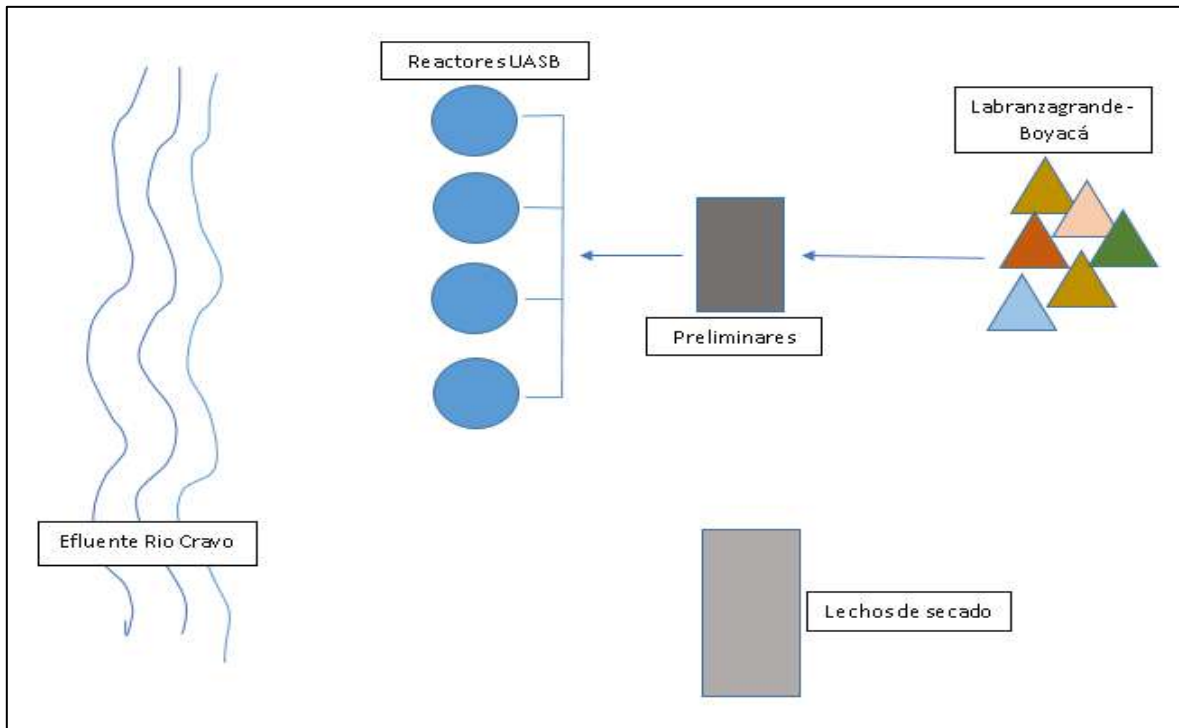


Nota: Elaboración propia

Fase 3: Realizar una actualización de las unidades ya construidas y de las de la segunda etapa para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Labranzagrande – Boyacá.

Ilustración 22.

Estructura planta de tratamientos de aguas residuales que se encuentra construida en la actualidad en el municipio de Labranzagrande – Boyacá.



Nota: Elaboración propia

A. Comparar los datos existentes con los obtenidos en el proyecto

➤ Parámetros de diseño

Tabla 37.

Parámetros de diseño RAS 2000.

Resumen de parametros de diseño	
Nivel de complejidad	BAJO
Población inicial	1098
Población final	1452
Periodo de diseño	25 AÑOS
Dotación	90 l/s
Q Aguas residuales domesticas	1,36l/s

Coeficiente de retorno	0,75
Factor de mayoración	1,5
Caudal máximo horario	2,04l/s
Aporte institucional	0,4l/s-Ha
Aporte comercial	0,4l/s-Ha
Aporte por conexiones erradas	0,2l/s-Ha
Caudal por infiltración	0,15/s-Ha

Nota: Secretaria de Planeación del Municipio de Labranzagrando – Boyacá

En la tabla anterior se pueden observar los parámetros de diseño utilizados para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Labranzagrando – Boyacá, los cuales fueron basados en el RAS 2000.

Tabla 38.

Actualización Parámetros de diseño RAS 2017 – Resolución 0330.

Resumen de parámetros de diseño	
Población inicial	1098
Población final	1452
Periodo de diseño	25 AÑOS
Dotación	130 l/s
Q Aguas residuales domesticas	2,23l/s
Coeficiente de retorno	0,85
Factor de mayoración	1,3
Caudal máximo horario	2,84l/s
Aporte institucional	0,4l/s-Ha
Aporte comercial	0,4l/s-Ha

Aporte por conexiones erradas	0,2l/s-Ha
Caudal por infiltración	0,15/s-Ha

Nota: Elaboración Propia

Se realizó una actualización de los parámetros de diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá, basándonos en la nueva actualización de RAS 20017 – Resolución 0330.

- **Rejillas**

La primera operación unitaria que tiene lugar en la planta de tratamiento de aguas residuales es la operación de desbaste. Estas rejillas deben colocarse aguas arriba de cualquier sistema de tratamiento para impedir el paso de material grueso que trae el agua residual sin tratar. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Tabla 39.

Criterios de rejillas.

Tipo de barrotes	Distancia entre barrotes	Velocidad máxima de aproximación
Rejillas gruesas	4 cm a 10cm	1,2 m/s para caudal máximo y 0,3 m/s para caudales mínimos
Rejillas finas	1 cm a 2cm	

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

Tabla 40.

Eficiencia en los procesos de tratamiento

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						Observaciones
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	
Pre-tratamiento	Cribado o desbaste	0-15	0-10	10_50	0-6	0-40	N/A	Remociones con miltamices y microcribas

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

Intervalo de eficiencia en los procesos de tratamiento

➤ **Rejillas gruesas**

$$Qd = 2l/s$$

Donde:

Qd: Caudal de diseño

Se asume:

$$W = 1/2" = 0,0127 m$$

$$b = 0,040m$$

$$Vat = \frac{0,6m}{s}$$

Donde:

W: Diámetro de barras

b: Espacio entre barras

Vat: Velocidad de entrada entre barras

Área útil:

Ecuación 17.

Área útil- rejillas gruesas.

$$Au = \frac{Qd}{Vat}$$

Nota: (Alvarado Uvidia, 2014)

$$\begin{aligned} & \frac{0,00204m^3}{s} \\ &= \frac{0,6m}{s} \\ &= 0,0034m^2 \end{aligned}$$

Eficiencia:

Ecuación 18.

Eficiencia rejillas gruesas.

$$E = \frac{b'}{b' + w}$$

Nota: (Alvarado Uvidia, 2014)

$$\begin{aligned} &= \frac{4cm}{(4cm + 1,27cm)} \\ &= \mathbf{75\%} \end{aligned}$$

Velocidad de aproximación:

Ecuación 19.

Velocidad de aproximación rejillas gruesas.

$$V_{aprox} = vat * E$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2017)

$$V_{aprox} = \frac{0,6m}{s} * 0,75$$

$$V_{aprox} = \frac{0,45m}{s}$$

Ancho:

$$B = \text{ancho del canal} = 0,60m$$

Numero de barras:

Ecuación 20.

Número de barras rejillas gruesas.

$$NB = \frac{B - b}{b + w}$$

Nota: (Medina & Muñoz, 2012)

$$NB = \frac{0,6m - 0,040m}{0,040m + 0,0127m}$$

Numero de barras = 11 barras de ½” cada 0,04m

Pérdida de carga:

Ecuación 21.

Pérdida de carga rejillas gruesas.

$$hf = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{(V_{aprox})^2}{2g} \right) \text{sen}\theta$$

Nota: (Qasim & Zhu, 2017, pp. 358)

$$hf = 2,42 \left(\frac{0,0127m}{0,040m} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{\left(\frac{0,60m}{seg} \right)^2}{19,62m/seg^2} \right) \text{sen}90$$

$$hf = 0,0096m$$

➤ **Rejillas finas**

Rejillas de ½” de diámetro de barras

$$Qd = \frac{2l}{s}$$

Se asume:

$$W = 1/2" = 0,0127m$$

$$b = 0,016m$$

$$Vat = \frac{0,6m}{s}$$

Donde:

W: Diámetro de barras

b: Espacio entre barras

Vat: Velocidad de entrada entre barras

Área útil:

Ecuación 22.

Área útil- rejillas finas.

$$Au = Qd/Vat$$

Nota: (Alvarado Uvidia, 2014)

$$\begin{aligned} & \frac{0,00204m^3}{s} \\ &= \frac{\frac{s}{0,6m}}{s} \\ &= \mathbf{0,0034m^2} \end{aligned}$$

Eficiencia:

Ecuación 23.

Eficiencia rejillas finas.

$$E = \frac{b'}{b' + w}$$

Nota: (Alvarado Uvidia, 2014)

$$= \frac{2\text{cm}}{(2\text{cm} + 1,27\text{cm})}$$

$$= \mathbf{63\%}$$

Velocidad de aproximación:

Ecuación 24.

Velocidad de aproximación rejillas finas.

$$V_{\text{prox}} = v_{\text{at}} * E$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2017)

$$V_{\text{prox}} = \frac{0,6\text{m}}{s} * 0,63$$

$$V_{\text{prox}} = \frac{\mathbf{0,38m}}{s}$$

Ancho:

B = ancho del canal = 0,60m; Pendiente del fondo del 1%

Numero de barras:

Ecuación 25.

Número de barras rejillas finas.

$$NB = \frac{B - b}{b + w}$$

Nota: (Medina & Muñoz, 2012)

$$NB = \frac{0,6\text{m} - 0,016\text{m}}{0,016\text{m} + 0,0127\text{m}}$$

Numero de barras = 20 barras de ½”

Pérdida de carga:

Ecuación 26.

Pérdida de carga rejillas finas.

$$hf = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{(V_{aprox})^2}{2g}\right) \text{sen}\theta$$

Nota: (Qasim & Zhu, 2017, pp. 328)

$$hf = 2,42 \left(\frac{0,0127m}{0,016m}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{(0,60m/seg)^2}{19,62m/seg^2}\right) \text{sen}90$$

$$hf = 0.032m$$

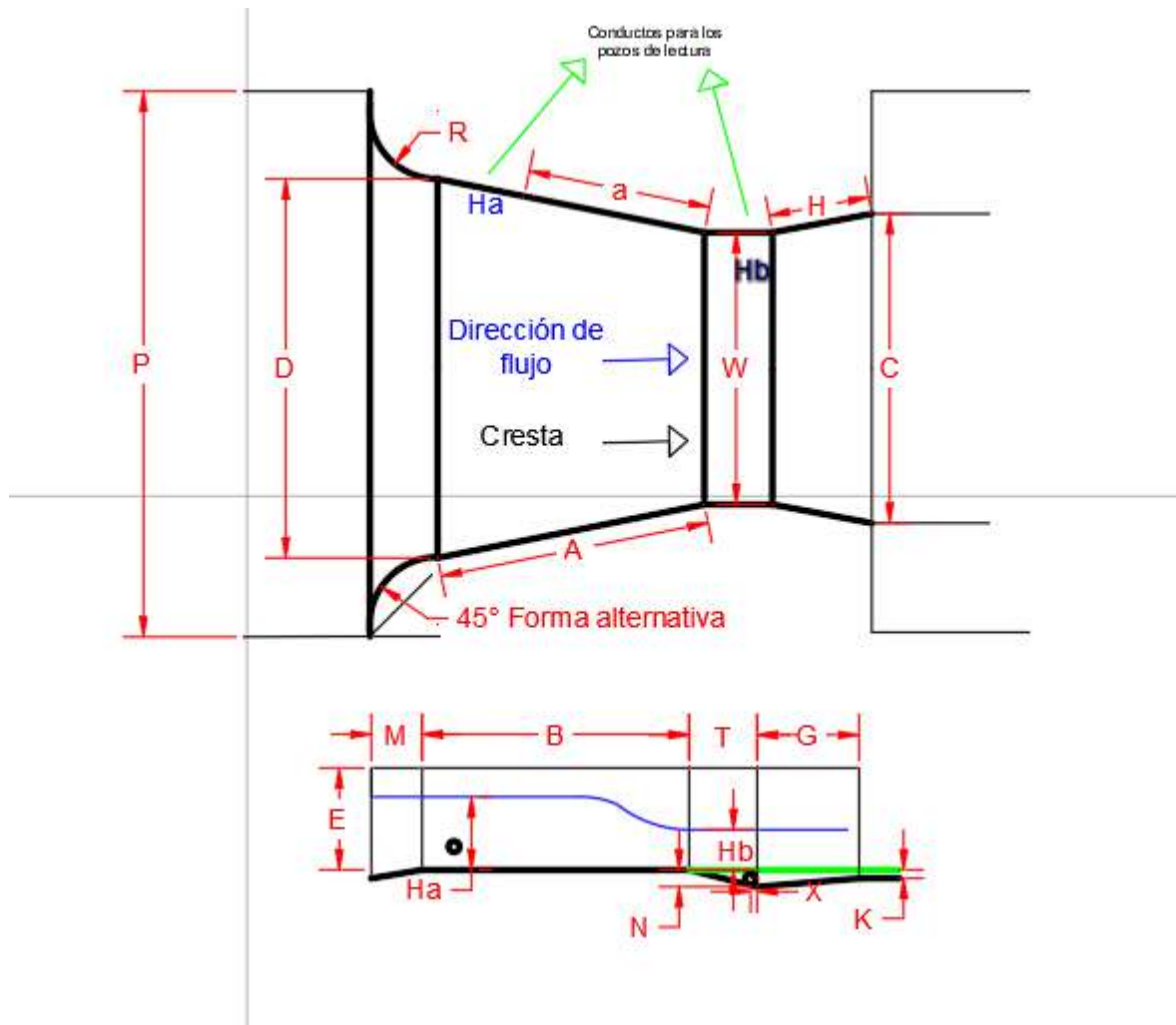
- ***Canaleta parshall***

La canaleta parshall es utilizada generalmente para la medición del flujo de líquidos en canales abiertos. Es un dispositivo de aforo bastante exacto, aunque no tanto como el medidor Venturi, pero tiene la ventaja de que su costo es menor. Este se emplea como dispositivo de medición de caudales en las plantas de tratamiento de aguas residuales, instalaciones en las que el bajo costo es cuestión de importancia.

Sus ventajas lo hacen ser el más utilizado, ya que su forma no permite la acumulación de sólidos en ninguna parte del canal. Su diseño hidráulico se ha hecho de tal manera que el caudal es una lineal de la altura del tirante a la entrada del dispositivo.

Ilustración 23.

Planta general canaleta Parshall.



Nota: Secretaria de Planeación del municipio de Labranzagrande- Boyacá

➤ **Descarga libre:**

En este caso, la lámina vertiente es independiente de las condiciones de las aguas abajo del canal y basta tomar una sola lectura (H_a) para obtener el caudal.

➤ **Descarga sumergida:**

Se presenta cuando el nivel aguas abajo del medidor es lo suficientemente alto para afectar el flujo a través de este, es necesario entonces tomar una lectura (H_b) más con el fin de hacer una corrección de caudal.

La sumergencia está dada por la relación entre los niveles, H_2/H_1 y la condición de descarga libre se determina según el ancho de la garganta (W) así:

$$w < 9" (23\text{cm}) \text{ y } H_b/H_a < 60\%$$

$$w < 1" (30\text{cm}) \text{ y } H_b/H_a < 70\%$$

La condición de descarga ideal es la de descarga libre, es recomendable tomar un ancho de garganta como 1/3 a 1/2 del ancho del canal.

Tabla 41.

Canaleta Parshall.

Dimensionamiento Canaleta Parshall		
Q l/s		cm
Q mínimo	Q máximo	Ancho de garganta
0,85	53,8	7,6
1,52	110,4	15,2
2,55	251,9	22,9
3,11	455,6	30,5
4,25	696,2	45,7
11,89	936,7	61,0
36,79	1921,5	122,0
74,4	2929	183,0
130,7	3950	244,0

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

Se toma un ancho de garganta de 7,6 cm. Se escoge un valor de sumergencia del 60% para evitar flujo sumergido y así se pueda operar en flujo libre.

$$w = 20cm$$

$$w = 0,20m$$

Para este **W** el caudal Según es Ras 2017 – Resolución 0330 es:

$$Q = \frac{110l}{s}$$

Evita flujo sumergido

$$\frac{Hb}{Ha} = 0,6 = 60\%$$

$$1. \quad Q = 0,690 Ha^{1,522}$$

$$Ha = \left[\frac{Q}{0,69} \right]^{\frac{1}{1,522}}$$

$$Ha = \left[\frac{0,1104m^3}{0,690} \right]^{\frac{1}{1,522}}$$

$$\mathbf{Ha = 0,300m}$$

$$2. \quad \frac{Hb}{Ha} = 0,6$$

$$Hb = 0,6 * H1$$

$$\mathbf{Hb = 0,18m}$$

3. Pérdidas de energía:

$$h = H_a - H_b$$

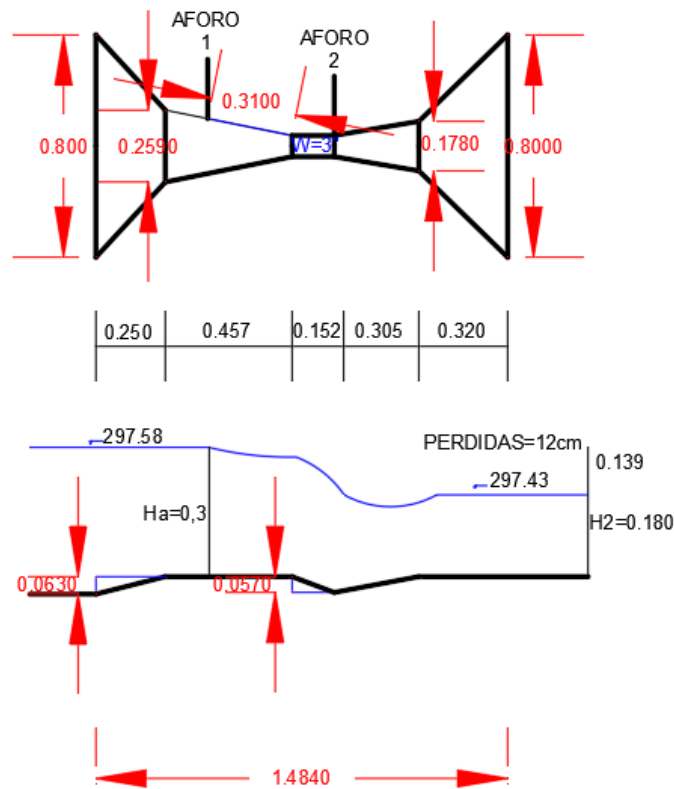
$$h = 0,3 - 0,18$$

$$hf = 0,12 \text{ m}$$

Canaleta parshall W=3" y conexión con canal de entrada y salida:

Ilustración 24.

Canaleta Parshall perfil Esc: 1:10



Nota: Secretaria de Planeación del municipio de Labranzagrande- Boyacá

- **Desarenador**

Su objetivo es la extracción de la mayor cantidad posible de las arenas presentes en las aguas residuales, estos deben localizarse después de las rejillas, y antes de los tanques

de sedimentación primaria y las estaciones de bombeo. Con esta operación se pretende proteger los equipos mecánicos contra la abrasión y el desgaste y evitar la acumulación de estas materias pesadas.

Con estos desarenadores se quiere prever la eliminación de partículas de diámetro mínimo a 0.3mm, con una velocidad de decantación de 0,03m/s, y deberá mantener una velocidad horizontal de 0,3 m/s en desarenadores de velocidad constante y flujo transversal. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Para garantizar su precisión se deben planear estructuras de salida utilizando materiales resistentes al agua residual tipo vertedero sutro, vertedero proporcional, secciones parabólicas, etc. Las estructuras de desarenado deberán contar con un sistema hidráulico de evacuación de lodos, al igual se debe exigir construir como mínimo dos unidades donde cada una de estas debe tener la capacidad de operar con los caudales de diseño cuando la otra está en limpieza. (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017*)

Tabla 42.

Eficiencia en los procesos de tratamiento.

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						Observaciones
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	
Pre-tratamiento	Desarenadores	0-5	0-5	0-10	N/A	N/A	N/A	

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

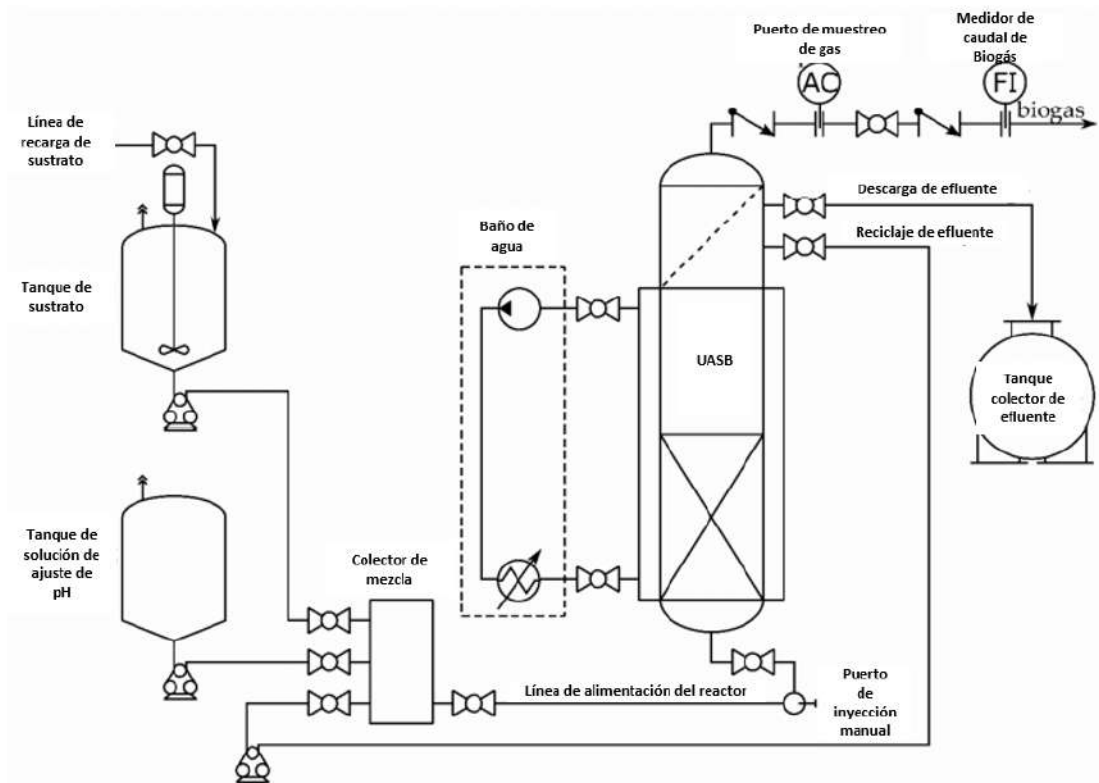
- ***Reactor U.A.S.B***

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica es transformada a biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos volátiles.

Las tecnologías del tratamiento anaerobio como el reactor de flujo ascendente anaerobio de lecho de lodos (UASB), están siendo rápidamente aceptados para tratamiento de aguas residuales que no cumplen con las regulaciones ambientales para descarga directa a cuerpos receptores por su elevada DQO, bajo pH y presencia de sólidos suspendidos. (Martínez & Vargas, 2013)

Ilustración 25.

Diagrama de flujo de la configuración de la infraestructura UASB.



Nota: Pererva, Miller & Sims, 2020

A través de estos procesos anaerobios se obtienen subproductos los cuales pueden ser utilizados posteriormente, obteniéndose beneficios apreciables de su aprovechamiento, estos son:

- *Biogás:* Producto gaseoso que puede ser empleado como combustible. Según los reportes energéticos 1 m³ de biogás equivale a 0,551 de fuel-oil.
- *Lodo:* Estudios realizados ha demostrado que su composición guarda riquezas en cuanto al contenido de materia orgánica y mineral, pudiendo emplearse como biofertilizante y mejorador de suelos.

- *Efluente líquido*: Según los resultados obtenidos en investigaciones, se ha demostrado que esta conserva nitrógeno en forma fácilmente asimilable y otros iones los cuales enriquecen este residuo y lo hacen propicio para su uso en fertirriego.

De manera general, el reactor UASB tiene una promisoría aplicabilidad para el tratamiento de aguas municipales y domésticas, ya que con un buen diseño del reactor pueden contrarrestarse las desventajas que le son inherentes y aprovechar muchas de sus cualidades. El reactor UASB es un proceso económico, que disminuye apreciablemente los costos de inversión y operación de un proyecto de una planta de tratamiento que involucre este proceso, inclusive con postratamiento.

En sí, el reactor UASB es un proceso generador de energía (productor de CH_4), en lugar de un consumidor energético, como la mayoría de los procesos de depuración de aguas residuales.

En la mayoría de los casos en los que se emplea el reactor UASB como proceso depurador de aguas residuales municipales, se incluye en el proceso, un postratamiento.

Las principales razones son:

- Remoción de materia orgánica permanente (DQO y DBO) en el efluente, debido a que la digestión anaerobia tiene un límite de remoción que depende, básicamente, de la cinética global de degradación, y por lo tanto de la temperatura, el contenido de biomasa activa y del grado de contacto entre el sustrato y los microorganismos.

- Remoción de nutrientes (N y P), ya que la digestión anaerobia tiene bajos requerimientos de nutrientes y prácticamente no remueve nitrógeno ni fósforo lo cual podría generar eutroficación. Esta remoción, sin embargo, puede no ser necesaria, ya que si el agua será usada para riego. La presencia de estos elementos puede ser muy valiosa como nutrientes de las plantas.
- Remoción de organismos patógenos, debido a que el reactor UASB no es eficiente en la remoción de bacterias y virus patógenos, aunque si tiene capacidad de remoción de huevos y quistes de protozoarios, pero con un postratamiento se aseguraría una remoción del 100%. Con excepción de las lagunas de oxidación, todos los procesos biológicos tienen, sin embargo, está limitada.

Los valores de eficiencia de remoción de DQO, DBO y SST, obtenidos al variar el TRH en los reactores, es que logran eficiencia de remoción de materia orgánica aceptables (alrededor de 60 – 75 %), con tiempos de retención relativamente bajos (TRH=4 – 6 h). Estas eficiencias de remoción alcanzadas ponen en claro la factibilidad tecnológica del reactor UASB para tratar aguas residuales domésticas.

Tabla 43.

Eficiencia en los procesos de tratamiento.

Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						
	DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Tratamiento Secundario Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

➤ **Parámetros de diseño:**

Tabla 44.

Parámetros de diseño Reactor UASB.

Resumen de parámetros de diseño reactor	
Caudal	2,84l/s
Q por modulo	1,42l/s
Tiempo Hidráulico para el Qmax	6 horas
Tiempo Hidráulico para el Q promedio	8 horas
Compartimiento del reactor	
Velocidad superficial para Q promedio	<0,5m/h
Velocidad superficial para Qmax	0,1 - 1,1 m/h
Altura del reactor	5m
Altura liquida	4m
Altura del colector de gas	1,5 - 2m
Colector de gas	
Velocidad superficial para Q promedio	1,0 m/h

Nota: Secretaria de Planeación del municipio de Labranzagrande- Boyacá

Los criterios básicos de diseño usados para dimensionar un reactor UASB son el Caudal (parámetro decisivo) y concentración.

➤ Parámetros utilizados para el diseño

Tabla 45.

Parámetros primarios de diseño.

Caudal

Q(l/s)	2,84	
Q(m³/d)	245,38	
Duración (h)	Diario	Horario
	24	6
Concentración		
	DBO	DQO
C(mg/l)	200	385
C(kg/m³)	0,2	0,385
DQO/DBO	1,92	
DBO/DQO	0,52	

Nota: Elaboración propia

➤ **Parámetros ambientales**

- Temperatura

Tabla 46.

Parámetros ambientales.

	ARD	AMBIENTE
Temperatura (°C)	20	23

Nota: Elaboración propia

- Otros parámetros

Tabla 47.

Otros parámetros

pH	7,0
SST (mg/l)	250
SST (kg/m ³)	0,25

Nota: Elaboración propia

➤ **Parámetros que afectan el diseño**

El parámetro que más afecta el diseño y la operación es la fluctuación del caudal ya sea horaria, diaria, semanal o mensual. Si las fluctuaciones son demasiado pronunciadas, pueden obligar a incluir un tanque de compensación o aumentar demasiado el volumen del reactor. Las variaciones normales observadas para las aguas residuales domésticas (ARD) son bastantes pequeñas, en magnitud y duración, y es posible despreciarlas. Por otra parte, el reactor UASB ha demostrado alto grado de resistencia para hacer frente a las variaciones de caudal (no es caso para usos industriales). El control de pH o la adición de nutrientes modifican la operación del reactor, pero no cambiara fundamentalmente el diseño. (Fernández & Seghezzo, 2015)

➤ **Suposiciones básicas**

El punto más delicado de todo el proceso de diseño es la selección del tiempo de Retención Hidráulica (TRH) y la carga orgánica (CO) apropiada. En caso de que no exista un estudio

que haya determinado experimentalmente estos parámetros, estos valores se obtienen generalmente de una revisión cuidadosa de la bibliografía especializada. (Fernández & Seghezzo, 2015)

El TRH es el tiempo que las aguas residuales permanecerán en el reactor y debe ser suficiente para asegurar un tratamiento apropiado. (Fernández & Seghezzo, 2015)

Ecuación 27.

Tiempo de Retención Hidráulica.

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

Nota: (Fernández & Seghezzo, 2015)

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulica (h)

V: Volumen (m³)

Q: Caudal (m³/h)

$$TRH = \frac{79,52m^3}{\frac{10,224m^3}{h}}$$

TRH: 7,77h

El CO es la cantidad de materia orgánica que se introducirá en el reactor. Si se expresa por unidad de volumen del reactor, es la carga orgánica “volumétrica” (COV). (Fernández & Seghezzo, 2015)

Ecuación 28.

Carga Orgánica Volumétrica

$$COV = \frac{Q * C}{V} = \frac{C}{TRH}$$

Nota: (Fernández & Seghezzo, 2015)

Donde:

COV: Carga orgánica volumétrica (kgDQO/m³*d)

C= Concentración (kgDQO/m³)

$$COV: \frac{\frac{245,38m^3}{d} * \frac{0,385kg}{m^3}}{79,52m^3}$$

$$COV = \frac{1,19kgDQO}{m^3 * d}$$

$$COV = \frac{\frac{0,385kg}{m^3}}{0,323d}$$

$$COV = \frac{1,19kgDQO}{m^3 * d}$$

➤ **Altura del reactor**

El reactor UASB tendrá una altura líquida interna de 4m, este valor es estándar para los reactores de tratamiento de ARD. Para las aguas residuales industriales, esta altura puede ser de hasta 20m. (Fernández & Seghezzo, 2015)

➤ **Numero de módulos**

La necesidad de construir más de una unidad tiene que ser discutida para cada sitio. El número de reactores depende generalmente del caudal. Para caudales pequeños (alrededor de 500 m³/d) basta con una unidad, si el caudal es más alto, probablemente será conveniente construir dos unidades, por un número de razones:

- a) La puesta en marcha puede ser más fácil de lograr en una unidad pequeña que luego pueda proporcionar el inóculo de lodo para la segunda unidad.
- b) Se facilita el mantenimiento ya que mientras un reactor se encuentra fuera de servicio, el otro sigue trabajando.

La construcción se puede hacer en fases para contemplar el crecimiento de la población (tiempo de vida útil de diseño 20 años) (Fernández & Seghezzo, 2015)

➤ Volumen del reactor

Se debe establecer si el reactor está limitado por la carga hidráulica o por la carga orgánica comparando el volumen del reactor calculando.

Ecuación 29.

Volumen del Reactor

$$V = Q * TRH$$

. Nota: (Fernández & Seghezzo, 2015)

$$V = \frac{245,38m^3}{d} * 0,323d$$

$$V = 79,25m^3$$

Despejando de la fórmula del TRH y:

$$V = \frac{Q * C}{COV}$$

$$V = \frac{\frac{245,38m^3}{d} * \frac{0,385kg}{m^3}}{\frac{1,19kg}{m^3 * d}}$$

$$V = 79,38m^3$$

El volumen más alto indicara el tipo delimitación existente. En nuestro caso de estudio, la limitación es por carga orgánica.

➤ Área del reactor

Ecuación 30.

Área del Reactor.

$$A = \frac{V}{h}$$

Nota: (Fernández & Seghezso, 2015)

Donde:

A= Área del rector (m2)

h = Altura del reactor (m)

$$A = \frac{79,52m^3}{5m}$$

$$A = 16m^2$$

➤ Velocidad ascensional

La velocidad ascensional del líquido dentro del reactor se puede calcular de la siguiente manera:

Ecuación 31.

Velocidad Ascensional

$$V_{asc} = \frac{Q}{A} = \frac{h}{TRH}$$

Nota: (Fernández & Seghezso, 2015)

Donde:

V_{asc} : Velocidad ascensional (m/h)

$$V_{asc} = \frac{10,224m^3}{16m^2}$$

$$V_{asc} = \frac{0,639m}{h}$$

$$V_{asc} = \frac{5m}{7,77h}$$

$$V_{asc} = \frac{0,64m}{h}$$

➤ Forma del reactor

Los reactores pueden ser cúbicos (rectangulares) o cilíndricos. Esta opción de la forma depende de los factores como costo, tamaño disponibilidad del inóculo y de materiales, experiencias anteriores, espacio físico disponible, etc. Los reactores pequeños de hasta aproximadamente 300 m³, puede ser cilíndrico, mientras que para volúmenes que excedan este valor, los reactores cilíndricos son menos atractivos económicamente. (Fernández & Seghezzeo, 2015)

El diámetro de un reactor cilíndrico puede calcularse de la siguiente manera:

Ecuación 32.

Diámetro del Reactor.

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

Nota: (Fernández & Seghezzeo, 2015)

Donde:

d = Diámetro del reactor (m)

π = Número Pi (3,1416)

$$d = \sqrt{\frac{4 * 16m^2}{\pi}}$$

$$d = 4,51m$$

B. Anomalías encontradas en la visita técnica

Durante la visita se encontraron las siguientes deficiencias a esta estructura:

➤ **Estructura de entrada:**

- Falta la instalación de las rejillas a la entrada de cada uno de los canales del desarenador.
- Falta la instalación de las compuertas de los vertederos de rebose.
- La tubería de salida del desarenador debe estar conectado a la entrada de cada uno de los reactores UASB, no a la cámara de bombeo.

➤ **Lechos de secado:**

- Faltan los lechos de gravas.
- Faltan válvulas de entrada y salida.
- Falta la tubería de llegada y distribución en los lechos de los lodos.
- Falta cubierta.
- No existe conexión de los lechos a la estructura de entrada de la PTAR.

➤ **Reactores UASB:**

Para la construcción de la primera etapa de tratamiento se tenía propuesto dos reactores rectangulares, pero en el momento de su construcción fueron cambiados por 4 reactores circulares.

- El ingreso del agua residual al reactor UASB, se realiza en una tubería de PVC presión y con diámetros de ½", muy pequeñas que se taponaran de forma rápida, el diámetro mínimo es de 2".
- Falta la campana recolectora de gas a uno de los reactores, esta se encuentra con fisuras al lado de los lechos de secado.
- Falta realizar la conexión del desarenador a los reactores UASB.
- Los diámetros de tubería para toma de muestras de lodos, son muy pequeños, estas se taponarán inmediatamente, el diámetro mínimo para bombeo de aguas residuales es de 1 ½".

C. Prediseño de las unidades de la segunda etapa de construcción de la planta de Tratamiento de aguas Residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá.

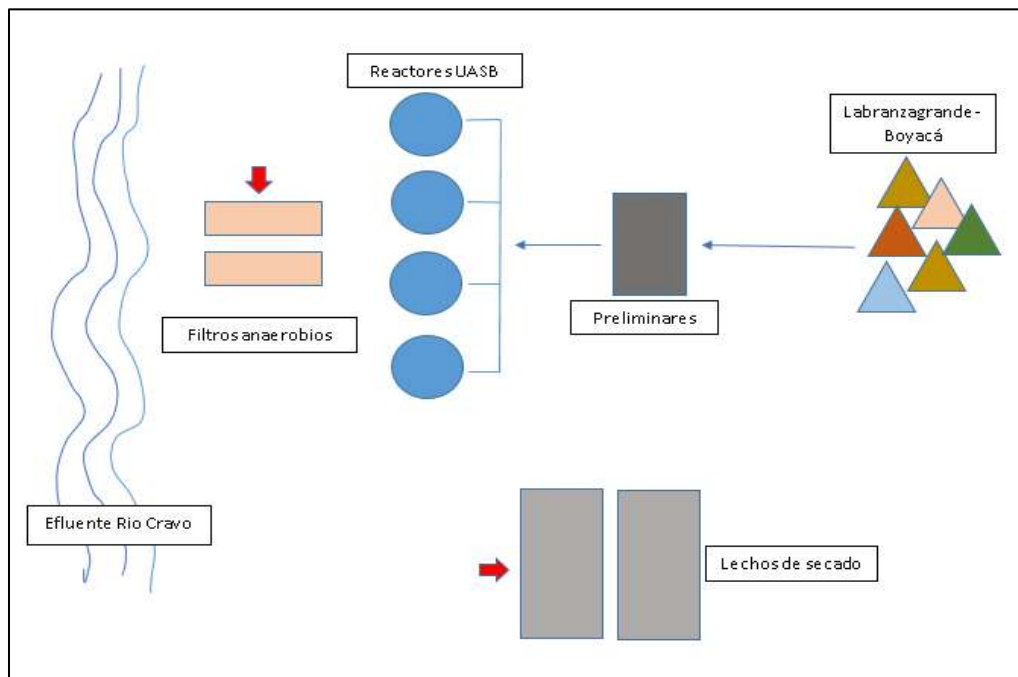
El sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Labranzagrande – Boyacá, se encuentra construido en una primera etapa, mediante convenio con Corporinoquia, se hacen necesario la finalización de su construcción, para que este, entre en funcionamiento.

De acuerdo al diseño final de la PTAR se hace la construcción de las siguientes unidades de tratamiento:

- Dos filtros anaerobios
- Un lecho de secado

Ilustración 26.

Estructura planta de tratamientos de aguas residuales con las unidades faltantes del municipio de Labranzagrande – Boyacá.



Nota: Elaboración propia

➤ **Filtro anaerobio**

En este tipo de reactores existe un medio de soporte fijo inerte al cual crecen adheridos los microorganismos. El agua residual puede tener un flujo vertical ascendente o descendente a través de la cámara.

Tabla 48.

Eficiencia de remoción en filtros Anaerobios.

Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						
	DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Tratamiento Secundario Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

El agua clarificada llega a las unidades de filtración por la parte inferior de este, por medio de una tubería de 3", la cual se bifurca para alimentar los dos compartimientos del filtro con 4,0m de largo por 4,0m de ancho; en cada módulo de filtración, el agua se distribuye de forma uniforme por medio de múltiples difusores, compuestos por tubería PVC Sanitaria de 3" y 5 laterales de 2", con orificio de ½" localizados cada 0,20m.

El agua residual pasara a través de lechos de grava de diferente graduación, donde los microorganismos realizan el proceso de degradación de la materia orgánica:

El lecho de grava debe estar constituido por tres capas así:

- Capa inferior: h=0,70m, Ø max=3”
- Capa intermedia: h=0,70m, Ø max=2”
- Capa superior: h=0,60m, Ø max=1”

La grava estará soportada sobre viguetas con forma de V invertida, con orificios de 1”, separados cada 0,20m.

Una vez el agua residual, pasa a través de los lechos de grava, el agua es recogida mediante múltiples recolectores de 3”, con 5 laterales de PVC sanitaria de 2”, y orificios de ½” cada 0.20m, hacia una canaleta de recolección, para luego ser transportada hacia la fuente receptora.

Se tendrá en cuenta un tiempo de retención de 5 horas.

Ecuación 33.

Volumen del lecho filtrante del filtro anaeróbico.

$$Vfa = QMH * THR / e$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Donde:

QMH = Caudal máximo (m³/s)

THR = Tiempo hidráulico de retención (s)

VFA = Volumen del lecho filtrante del filtro anaeróbico (m³)

E = Porosidad de lecho 60%

Caudal máximo horario (QMH= 2,04l/s 0,00204m³/s)

Se diseñará dos filtros con dos compartimientos. El caudal de diseño para cada filtro será

Q=0,00102m³/s

Tiempo de retención:

Para concentraciones de DBO entre 80 – 300 mgO₂/l y con base en experiencias de restrepo (M.S; M.E), el tiempo de retención en filtros anaeróbicos de una sola etapa, entre 2,5 y 12 horas. En este caso se asume un tiempo de retención de diseño de 5 horas, el cual se encuentra entre los rangos recomendados y además se considera un tiempo bajo, lo cual es atractivo desde el punto de vista económico.

Volumen de digestión:

Se adopta un tiempo de retención de 5 horas

Ecuación 34.

Volumen del filtro anaerobio.

$$V_{fil} = q_{dis} * T.R$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

$$V_{fil} = \frac{0,00102m^3}{s} * 18000s$$

$$V_{fil} = 18,36m^3$$

Con base en el volumen calculado del filtro, y teniendo en cuenta el factor de porosidad del medio filtrante, se puede calcular el volumen de digestión de la siguiente manera:

Ecuación 35.

Volumen de digestión del filtro anaerobio.

$$V_{dig} = P * V_{fil}$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Donde:

P = Factor de porosidad para granulometría por medio entre 1,5” y 3,5”, gravas redondeadas.

$$V_{dig} = 0,66 * 18,36m^3$$

$$V_{dig} = 12,11m^3$$

Tiempo de digestión:

Con base en el volumen real de digestión es posible conocer el tiempo de digestión de la siguiente manera:

Ecuación 36.

Tiempo de digestión del filtro anaerobio.

$$T_{dig} = \frac{V_{dig}}{q_{dis}}$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Donde:

V_{dig} = Volumen de digestión

Q_{dis} = Caudal

$$T_{dig} = \frac{18,36m^3}{\frac{0,00102m^3}{s}} = 180000 = 5 \text{ horas}$$

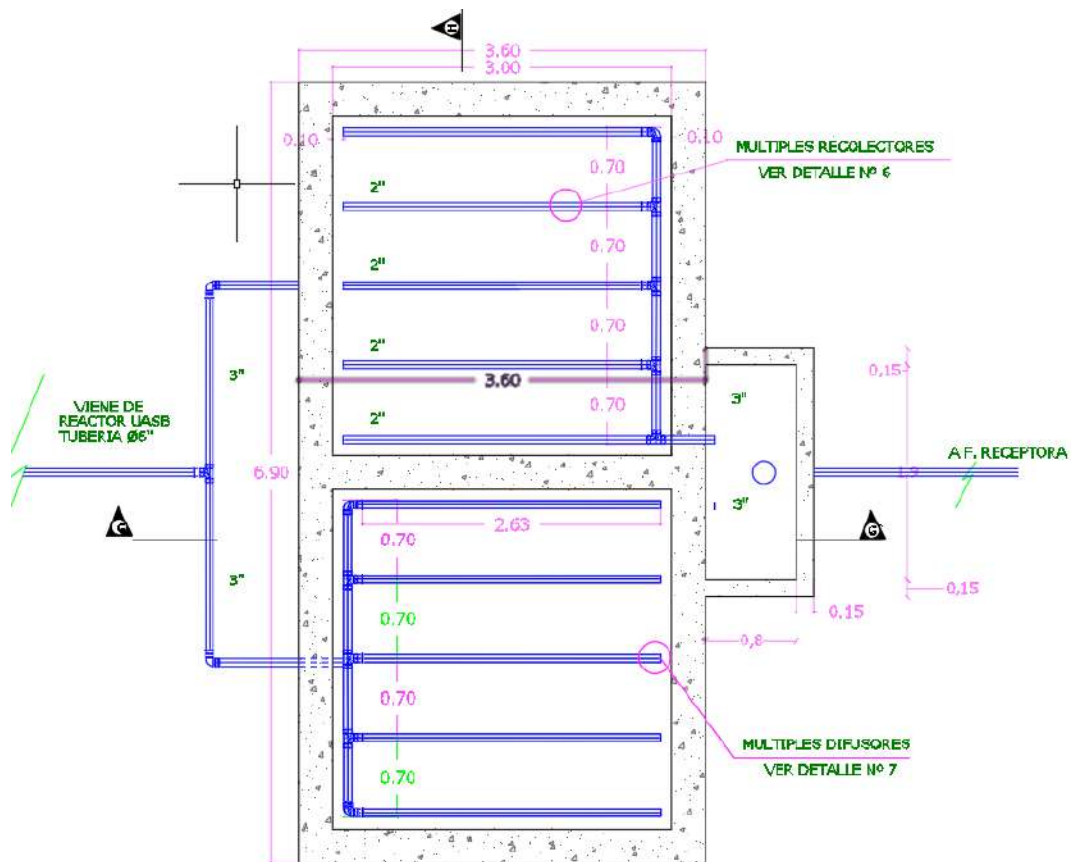
Dimensiones finales:

- Área útil horizontal = 18,36m²
- Como son dos compartimientos:
 - Ancho útil = 3,02 m
 - Largo útil = 3,02 m
- La altura total del filtro está constituida por:
 - Cámara inferior = 0,30 m
 - Estructura de soporte = 0,07 m
 - Lecho de grava = 2,00 m

- Tirante de agua = 0,20 m
- Borde libre = 0,30 m
- El lecho de grava debe estar constituido por tres capas así:
 - Capa inferior: h=0,70m, \varnothing max=3"
 - Capa intermedia: h=0,70m, \varnothing max=2"
 - Capa superior: h=0,60m, \varnothing max=1"

Ilustración 27.

Filtro Anaerobio.



Nota: Elaboración propia

La grava estará soportada sobre viguetas con forma de V invertida (\wedge), con orificios e $\frac{1}{2}$ " revestidos en PVC, separados cada 20 cm.

La pérdida de carga en el paso por los orificios de la estructura de soporte es inferior a 1 cm, pero para efectos de diseño se adopta $h_o = 2,0$ cm.

La pérdida de carga en la grava se puede calcular mediante la expresión:

Ecuación 37.

Pérdida de carga del filtro anaerobio.

$$hg = \frac{Vl}{3}$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Donde:

V = Velocidad de infiltración = 0,011 m/min

L = Espesor del lecho de grava = 2,0 m

$$hg = \frac{0,011m}{min} * 2 m$$

$$hg = 0,0073 m$$

$$hg = 1 cm$$

Pérdidas en el sistema de filtración:

- Pérdidas por entrada (h_e):

Ecuación 38.

Pérdidas de entrada del filtro.

$$h_e = \frac{Kv^2}{2g}$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Donde:

$K = \text{constante (0.5)}$

$g = \text{Aceleración de la gravedad}$

$V = \text{Velocidad de entrada de la cámara}$

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

Donde:

- $Q = \text{Caudal de diseño}$

$$Q = \frac{1,02t}{s}$$

- Diámetro 3"

$$A = \pi r^2$$

$$A = 3,1415 * 0,0381^2$$

$$A = 0,0045m^2$$

- Velocidad de entrada de cámara

$$V = \frac{\frac{0,00204m^3}{s}}{0,0045m^2}$$

$$V = \frac{0,45m}{s}$$

$$he = \frac{0,5 * (0,45)^2}{19,6}$$

$$he = 0,0051 m$$

- Pérdidas por salida:

Ecuación 39.

Pérdidas por salida del filtro.

$$hs = \frac{KV^2}{2g}$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

$$k = 1.0$$

$$h_s = \frac{1,0 * (0,45)^2}{19,6}$$

$$h_s = 0,010 \text{ m}$$

- Pérdidas totales = Ht:

Ecuación 40.

Pérdidas totales del filtro.

$$H_t = h_e + h_s$$

Nota: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

$$H_t = 0,051 \text{ m} + 0,010 \text{ m}$$

$$H_t = 0,061 \text{ m}$$

Zona de entrada

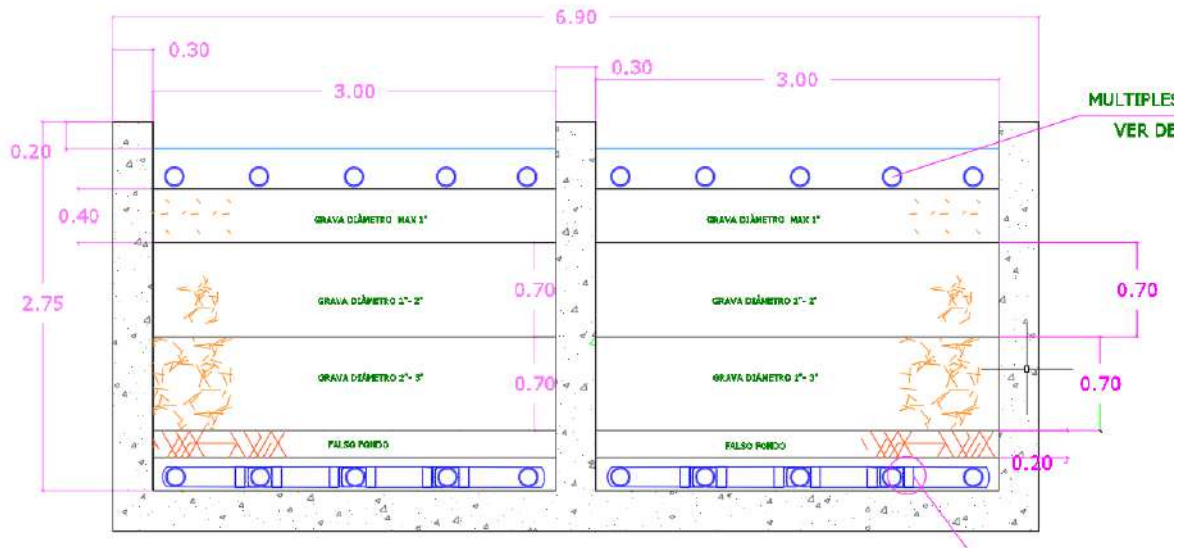
El mecanismo de flujo en el filtro anaeróbico es ascendente, el agua llega a la parte inferior del filtro por una tubería PVC sanitaria de 3" se bifurca para suministrar agua residual a los dos módulos de filtración por medio de múltiples difusores de 3" PVC sanitaria, 5 laterales de 2", con orificios de ½" localizados cada 0.20m.

El lecho de grava deberá estar constituido por grava de diámetro de ½" a 3".

La grava estará soportada sobre viguetas con forma de V invertida, con orificios de 1", separadas cada 0,20m.

Ilustración 28.

Filtro Anaerobio.



Nota: Elaboración propia

Zona de salida

El agua del filtro será recogida a través de múltiples recolectores, conformados por tubería PVC sanitaria de 3" y 5 laterales de 2", con orificios de ½" cada 0,20 m, hacia una canaleta y evacuada hacia la fuente receptora.

➤ Lechos de secado

El lodo producido en las unidades de un sistema de tratamiento de aguas residuales, es un semisólido cuyo contenido varío según el proceso que lo ha generado, y cuya fracción suele estar entre 0,25 y 12% del peso total. Las características de los lodos que complican su manejo incluyen materia orgánica, nutrientes, patógenos entre otros. El

volumen de lodo que se produce depende básicamente de su contenido de agua y un pequeño porcentaje de las características de la materia sólida.

Los lechos de secado son el mecanismo más sencillo para el manejo de los lodos. Presenta ventajas tales como el costo, mínimo nivel de mantenimiento y elevado contenido de sólidos en el producto final. Los lechos de secado pueden ser: convencionales de arena, pavimentados, de medio artificial y por vacío.

Se plantea la construcción de lechos de secado convencionales de arena. El procedimiento consiste básicamente en extender los lodos provenientes de las unidades de tratamiento en capas de 20cm a 30cm. La arena que se emplee no puede tener coeficiente de uniformidad superior a 4,0mm y debe tener un tamaño efectivo de grano entre 0,3mm – 0,75mm. (*Dodane & Ronteltap, 2016*)

La cantidad de lodo se basa en una producción por habitante y en el tipo de lodo a secar.

El número de habitantes empleado para el diseño de los lechos corresponde a la proyección poblacional para los 25 años de diseño del sistema.

El valor del aporte de lodos se extrajo de la siguiente tabla para un lodo primario, con lecho de secado cubierta.

Tabla 49.

Área requerida según fuente de lodo.

Área requerida según fuente del lodo y cubrimiento del lecho		
Fuente de lodo	Sin cobertura m ² /hb	Con cobertura m ² /hb

Primario	0,07-0,14	0,05-0,09
Primario más químico	0,14-0,23	0,09-0,173
Primario más filtro percolador de baja tasa	0,12-0,17	
Primario más lodos actuados de desecho	0,16-0,51	

Nota: RAS 2017-Resolución 0330

Área requerida:

Ecuación 41.

Área requerida según fuente de lodo.

$$A = Apc * Nhab$$

(Medina & Muñoz, 2012)

Donde:

Apc: Área necesaria por habitante

Apc: 0.05 m²/hab

$$A = \frac{0,05m^2}{hab} * 350hab \text{ (5años)}$$

$$A = 17,52m^2$$

Dimensionamiento:

Teniendo en cuenta una relación, largo: ancho de 1:2

$$A = L * W$$

Donde:

L: Largo

W: Ancho

$$A = 2W^2$$

$$W = 3m \quad L = 6m$$

Debe tenerse un borde libre entre 0,5 y 0,9m. Para este caso se adopta un valor de 0.50m. se propone el empleo de los siguientes medios de soporte y alturas de material.

Grava gruesa: 0,15m

Grava media: 0,10m

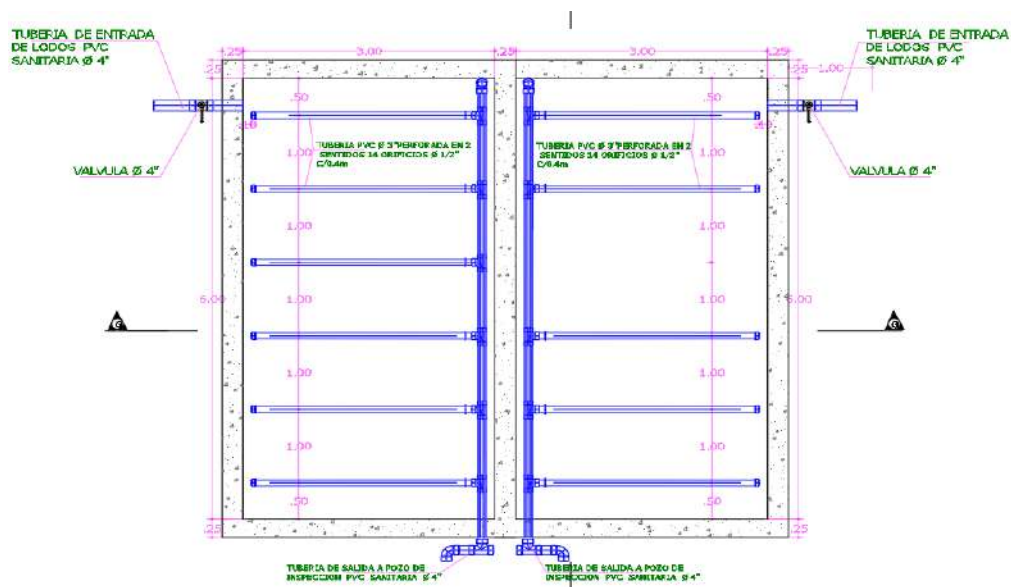
Arena gruesa: 0,10m

Se obtiene una profundidad de lecho de 1,20m. se plantea la construcción de dos celdas, cada una con dimensiones de 3m*6m*1,20m; con un tabique de separación de 0,25m. Deberá instalarse tubería de drenaje lateral, en tubería de PVC de 4" de diámetro perforada, con pendiente del 1%.

Aunque después de 15 días es posible extraer un lodo de aceptables condiciones, por facilidad de operación se sugiere que el retiro se haga una vez al mes.

Ilustración 29.

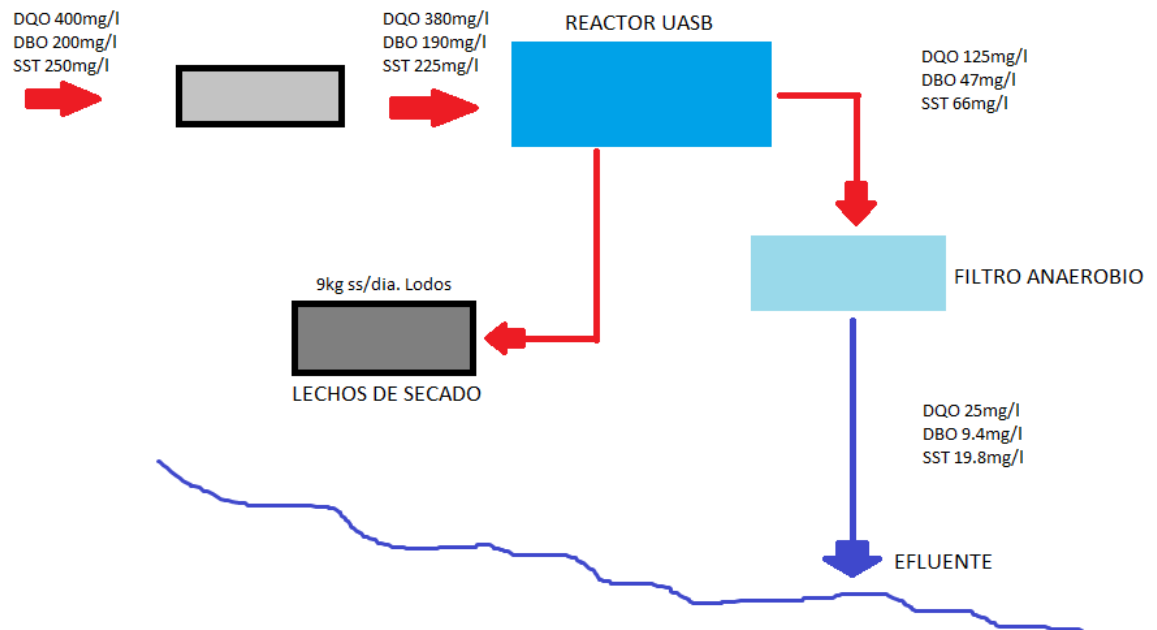
Lechos de secado.



Nota: Elaboración propia

Ilustración 30.

Diagrama de flujo PTAR.



Nota: Elaboración propia

D. Informe a la secretaria de planeación del municipio de Labranzagrande – Boyacá.

Conclusiones

- En el diseño de la Planta se presenta un sobredimensionamiento, ya que se construyeron 4 reactores y para el caudal actual del municipio basta con solo dos reactores, los otros 2 reactores serán necesarios cuando se haya cumplido con el caudal de diseño previsto para dentro de 25 años.
- Con la ayuda de la alcaldía y el ingeniero de planeación del municipio de Labranzagrande – Boyacá se pudo obtener la información correspondiente del diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR), donde se pudieron evidenciar las unidades construidas en la primera etapa y las unidades faltantes que corresponden a la segunda etapa de construcción; de igual forma se evidencio un cambio a una de las unidades de la PTAR.
- El municipio de Labranzagrande – Boyacá no cuenta en su totalidad con un sistema de alcantarillado donde estén separadas las aguas pluviales de las aguas residuales.
- Se evidencio que las unidades construidas en la primera etapa se encuentran en estado de abandono (presencia de malezas), tubería deteriorada y ausencia accesorios complementarios (compuertas de la canaleta parshall, separadores trifásicos GLS y cubierta de los lechos de secado).
- A pesar de los cambios realizados y el estado de la planta, se pudo evidenciar con los cálculos y estudios correspondientes realizados con la ayuda del secretario de planeación del municipio y una ingeniera externa, que la planta puede entrar en operación con la construcción de un lecho de secado y dos filtros anaerobios.

- Debido a que los cálculos de diseño para esta planta de tratamiento fueron basados en el RAS 2000, se realizó una actualización de los parámetros con el nuevo RAS 2017-Resolución 0330.
- La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no respeta los límites de distancia mínima al centro poblado el cual debe ser 200m.
- En el caso de los lodos no era necesario elevarlos hacia los lechos de secado por medio de una bomba, simplemente estos pueden fluir por gravedad o mínimo bombeo.
- De acuerdo a la actualización que hubo del RAS 2000 al RAS 2017-Resolución 0330 se evidenciaron cambios en la dotación neta, factor de mayoración y coeficiente de retorno provocando un aumento del caudal máximo horario.
- Al igual que en los reactores UASB se presenta un sobredimensionamiento en la canaleta parshall debido a que utilizaron un ancho de garganta de 15,2 cm para un caudal máximo de 110,4 l/s, cuando se pudo haber utilizado uno de 7,6 cm para un caudal máximo de 53,8 l/s según RAS 2017-Resolución 0330.

Recomendaciones

- El diseño de la planta debe respetarse para el periodo en el cual se diseñó, debido a que los caudales se encuentran estimados en base a la dotación por habitante, por lo que después del año 2034, habría que realizar una valoración de la planta para comprobar si aún los parámetros con los que se diseñó cumplen, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional del municipio.
- La planta de tratamiento es diseñada solamente para aguas residuales domesticas de la cabecera municipal por lo tanto no puede ser utilizada para las aguas de las industrias futuras que pueden crearse en el municipio.
- Hasta que el pueblo cuente en su totalidad con la separación de las aguas pluviales de las residuales se sugiere hacer una estructura que permita la entrada del caudal para lo que la planta fue diseñada (8 l/s).
- Al momento de terminar las unidades faltantes de la PTAR (lecho de secado, 2 Filtros anaerobios) se sugiere un mantenimiento de la tubería existente o en su defecto el cambio debido a que la gran mayoría de esta se encuentra cristalizada, al igual que la limpieza de cada una de las unidades construidas en concreto.
- Una vez entre en operación la planta será importante la implementación de nuevas tecnologías dentro para que se tengan una menor utilización del agua, así como de que eviten la descarga de contaminantes difíciles de detectar y remover en la PTAR, llegando reducir la eficiencia de esta.
- Cuando la planta esté en funcionamiento es necesario diseñar un manual de operación y mantenimiento para el personal, del correcto manejo que se deberá hacer a cada uno de los equipos, permitiendo al operario tener las bases necesarias

para controlar los tiempos de mantenimientos (preventivo y rutinario) y operación de cada elemento de la PTAR.

- Debido a que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no cumple con la distancia mínima del centro poblado según el RAS 2017-Resolución 0330 se sugiera colocar barreras ecológicas.
- Se debería considerar el aprovechamiento de los lodos (como abono o recuperación de suelos) y de los gases generados para las mismas necesidades de la Planta de Aguas Residuales.

Referencias

- ESPOL. (2010, 29 noviembre). Estudio de Impacto Ambiental por la Construcción y Operación de las Nuevas Instalaciones del Diario “El Telégrafo”. Recuperado 7 marzo, 2020, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13634/10/Glosario%20de%20Terminos.pdf>
- Alcaldía municipal de Labranzagrande. (2016). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 "Un buen gobierno es mi compromiso con el Pueblo". Recuperado 9 marzo, 2020, de https://labranzagrandeboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/labranzagrandeboyaca/content/files/000041/2010_plan-de-desarrollo-20162019-laranzagrande-boyaca-def.pdf
- Cifuentes Mogollón, J. (2006, 15 septiembre). Programa para la disminución de la pobreza y seguimiento al avance de las metas del milenio en el departamento de Boyacá. Recuperado 9 marzo, 2020, de https://www.dapboyaca.gov.co/descargas/odm/la_libertad/labranzagrande.pdf
- Alcaldía Municipal de Labranzagrande en Boyacá. (2018). Mapa vial Labrancero. Recuperado 9 marzo, 2020, de <http://www.labranzagrande-boyaca.gov.co/municipio/mapa-vial-labrancero>
- Niño Uscátegui, S. (2016). Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, Labranzagrande - Boyacá 2016. Recuperado 9 marzo, 2020, de

<https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2016/asis-municipal-2016-Labranzagrande.pdf>.

- López Riveros, C. A., & Restrepo Mejía, C. H. (2000, julio 17). estudio técnico para el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta Algarra S.A. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/47069027.pdf>
- Márquez Vázquez, M., & Martínez González, S. A. (2011, junio 25). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. Recuperado 14 de abril de 2020, de https://ula.aguapedia.org/pluginfile.php/11619/mod_resource/content/0/RAFA.pdf
- Lorenzo, Y., & Obaya, Ma. C. (2006, abril 1). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. Recuperado 14 de abril de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf>
- Gandarillas R., V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017, junio 16). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa . Recuperado 15 de abril de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/318283641_REVISION_DE_LAS_EXPERIENCIAS_EN_EL_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DOMESTICAS_MEDIANTE_REACTORES_UASB_EN_COCHABAMBA-BOLIVIA_COMPARADAS_CON_LAS_DE_LATINOAMERICA_INDIA_Y_EUROPA?fbclid=IwAR08-1BCZ3PIVZtlNWIRW8uPv5hzL5LyllSGRIafx8JiYzgfVAPGnUippI

- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W. (1991) UASB process design for various types of wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 24(8), 87-107.
- Vivanco, E., Yaya, R., & Chamy, R. (s. f.). Manual técnico sobre tecnologías biológicas anaerobias aplicadas al tratamiento de aguas y residuos industriales. Recuperado 5 de mayo de 2020, de http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_anaerobio_de_aguas_residuales.pdf
- Veiga Barbazán, M. (2015, septiembre 10). Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB). Series: Tratamiento biológico. Recuperado 8 de mayo de 2020, de <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Reactor+anaerobio+d e+flujo+ascendente+%28UASB%29.pdf/939a21c0-1c0a-46f7-2e6a-d3b2febe7f26>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017, 8 junio). *Resolución 0330 de 2017, Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. <https://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017). *Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples, Volume 1: Principles and Basic Treatment (English Edition)* (1.^a ed.). CRC Press. https://www.academia.edu/42235481/Wastewater_Treatment_and_Reuse_Theory_and_Design_Examples_Volume_1_Principles_and_Basic_Treatment
- Fernández, F., & Seghezzi, L. (2015). *DISEÑO DE REACTORES UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB)* [Libro electrónico]. https://www.academia.edu/31752963/DISE%C3%91O_DE_REACTORES_UPFLOW_ANAEROBIC_SLUDGE_BLANKET_UASB

- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté.
https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015, 17 marzo). *Resolución 0631 de 2015*. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Editorial La República S.A.S. (2018, 15 marzo). *Solamente 48,2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales*. La Republica.
<https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-482-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155>
- *Antecedentes* / *PNUD*. (2018). UNDP.
<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/background.html>
- *6. Agua limpia y saneamiento | Agenda 2030 en América Latina y el Caribe*. (2020, 27 mayo). Agenda 2030. <https://agenda2030lac.org/es/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento>
- INS- Instituto Nacional de Salud. (2019, noviembre). *Boletín de vigilancia calidad de agua*. SIVICAP. <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/boletin-vigilancia-calidad-agua-noviembre-2019.pdf>
- IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007, septiembre). *TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES*.

http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

- Espinel Ortiz, A. (2014). PROYECCION DE POBLACION. Repository Unimilitar. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10837/EspinelOrtizAlfredoAndres2014_Capitulo%204.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Unilibre. (2020). METODOLOGIA DE DISEÑO. Repositorio Institucional Unilibre. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10933/CAPITULO%204%20f.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Galeano Nieto, L. J., & Rojas Ibarra, V. D. (2016). PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL POR ZANJON DE OXIDACION PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VELEZ - SANTANDER. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13930/4/PROPUESTA%20DE%20DISE%20C3%91O%20DE%20UNA%20PTAR%20PARA%20EL%20MUNICIPIO%20DE%20VELEZ%20-SANTANDER..pdf>
- Alvarado Uvidia, T. I. (2014). DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA PARROQUIA BILBAO. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3873/1/236T0121%20UDCTFC.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2017). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro26.pdf>

- AGUAS RESIDUALES PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MACANAL, BOYACÁ.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2651/2012germanmedina.pdf?sequence=34&isAllowed=y>
- Martínez, Y., & Vargas, A. (2013). *TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE POPULAR POR MEDIO DEL SISTEMA DE REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE UASB A ESCALA PILOTO.*
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11326/TRATAMIENTO%20BIOL%C3%93GICO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20GENERADAS%20EN%20LA%20UNIVERSIDAD%20LIBRE%20SEDE%20BOSQUE%20POPULAR%20P.pdf?sequence=1>
- Corrales, Lucia & Romero, Diana & Macías, Johanna & Vargas, Aura. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*. 13. 55. 10.22490/24629448.1717.
- Pererva, Y., Miller, C., & Sims, R. (2020, junio). *Approaches in Design of Laboratory-Scale UASB Reactors.* https://www.researchgate.net/publication/342430812_Approaches_in_Design_of_Laboratory-Scale_UASB_Reactors
- Dodane, P., & Ronteltap, M. (2016). *Lechos de secado sin plantas.* https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/FSM_Libro_low_res/manejo_fsm_cap7_120ppi.pdf

Anexo 1.

Plano Desarenador

Anexo 2.

Plano Desarenador perfiles

Anexo 3.

Plano Reactor UASB

rectangular

Anexo 4.

Plano Reactor UASB Perfil

rectangular

Anexo 5.

Cuarto de bombas

Perfiles

Anexo 6.

Cuarto de bombas

Perfiles

Anexo 7.

Reactor UASB circular

Perfiles

Anexo 8.

Distribución del Influyente en cortes

Anexo 9.

Detalles Reactor UASB

circular y secciones

Anexo 10.

Detalles constructivos y
secciones

Anexo 11.

Detalles constructivos y

detalles

Anexo 12.

Lecho de Secado

Cortes

Anexo 13.

Filtro Anaerobio

Anexo 14.

Laboratorio

Bodega

Anexo 15.

Detalles

Anexo 16.

Perfil Hidráulico