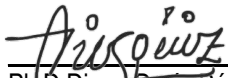


MODELO DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
EN EL VALLE DEL CAUCA - TECNOLOGÍA LODOS ACTIVADOS Y UASB.


DIEGO ARMANDO DOMÍNGUEZ VALENZUELA

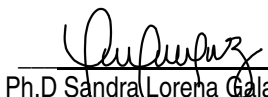
Nota de Aceptación

Certificamos que el presente Trabajo de Grado
Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos
Que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.



Ph.D. Diego Darío Pérez
Director


Ph.D. Manuel Alejandro Rojas Manzano
Jurado


Ph. D. María Fernanda Serrano Guzmán
Co-Director


Ph.D. Sandra Lorena Galarza Molina
Jurado

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la
Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de
Magister en Ingeniería Civil.


HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias


JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias

Santiago de Cali, 15 de marzo de 2021

**Maestría en Ingeniería
Facultad de Ingeniería y Ciencias**



Acta de Correcciones al Documento de Trabajo de Grado


Santiago de Cali, 15 de marzo de 2021

Autor:

Título del Trabajo de Grado: “MODELO DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL VALLE DEL CAUCA - TECNOLOGÍA LODOS ACTIVADOS Y UASB”.

Director:

Como indica el artículo 2.13 de las Directrices para Trabajo de Grado de Maestría, he verificado que el estudiante indicado arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Trabajo de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Evaluación correspondiente.


Firma del Director del Trabajo de Grado

**Maestría en Ingeniería
Facultad de Ingeniería y Ciencias**



Acta de Correcciones al Documento de Trabajo de Grado

Santiago de Cali, 15 de marzo de 2021

Autor:

Título del Trabajo de Grado: “MODELO DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL VALLE DEL CAUCA - TECNOLOGÍA LODOS ACTIVADOS Y UASB”.

Co-Director:

Como indica el artículo 2.13 de las Directrices para Trabajo de Grado de Maestría, he verificado que el estudiante indicado arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Trabajo de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Evaluación correspondiente.

María Remedios Ferranoff

Firma del co- Director del Trabajo de Grado

Nombre: Diego Armando Domínguez Valenzuela

Dirección: Calle 3B No. 97A-05 Apto A502 Conjunto Residencial Brisa Campestre Barrio
Meléndez.

Teléfonos de contacto: 3217193093-3709048

Correo: diegoad3@hotmail.com diegoad3@gmail.com

Profesión: Ingeniero Sanitario

Universidad: Universidad del Valle

Empresa: SOS Ambiental Ingeniería SAS

Cargo: Gerente

MODELO DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL VALLE DEL CAUCA - TECNOLOGÍA
LODOS ACTIVADOS Y UASB.

**Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en
construcciones:**

Diego Armando Domínguez Valenzuela



Director: Ing., Diego Darío Pérez Ruiz, Ph.D

Co-Director: Ing., María Fernanda Serrano Guzmán Ph.D

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA
FEBRERO DE 2021

Agradecimientos

A Dios y a la Vida para poder hacer realidad cada una de las metas.

A mi compañera Marysol y mi hija Violeta por ser la inspiración de superarme cada día,
por apoyarme con su tiempo y compartir cada una de mis tristezas y alegrías.

A mis padres Arnulfo y María que, de inicio a fin, han sido los artífices de cada paso que he
dado en este proceso académico y profesional.

A mis hermanos que a lo largo del tiempo hemos comprendido que hay que hacer camino al
andar.

A la Empresa SOS Ambiental Ingeniería SAS que ha permitido recopilar la información
base técnica y financiera de algunos proyectos de este trabajo.

A mis tutores María Fernanda Serrano y Diego Darío Pérez quienes siempre me apoyaron
académica y emocionalmente para alcanzar el objetivo.

Resumen

La falta de herramientas para estimar costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en la región y en Colombia, pueden generar inconvenientes en la fase de planeación de un proyecto, dado el corto tiempo con el que se cuenta.

En este trabajo se estableció un modelo paramétrico para estimar los costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas tomando en consideración la información de costos y documentación de la construcción de 10 plantas de tratamiento localizadas en el Valle del Cauca. Las plantas seleccionadas incluyeron 5 sistemas de lodos activados y 5 de reactores anaeróbicos de flujos ascendente (UASB). Los datos de costos fueron normalizados considerando la inflación, mientras que la documentación se consideró para determinar la extensión del nivel de tratamiento y la configuración del sistema. Adicionalmente, estos datos fueron analizados estadísticamente para evaluar la correlación entre el costo del proyecto y el volumen de agua tratada, como también incluyendo otras variables como la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO).

La relación de estimación de costos se hizo a partir del análisis para establecer un modelo paramétrico conceptual capaz de proporcionar un ajuste de calidad a los datos y una estimación adecuada de costos para proyectos de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Los datos analizados muestran un costo per cápita para la tecnología de lodos activados que varía de 68 a 194 USD en un rango de caudal de 1 a 14 L / s, en comparación con el rango de 31 a 74 USD observado para la tecnología UASB en un rango de caudal de 20 a 127 L / s.

Los resultados mostraron que el modelo logarítmico es el más adecuado, arrojando un error de 4.85% para la validación del modelo paramétrico seleccionado para la tecnología de lodos activados y 2.4% para el modelo paramétrico seleccionado para la tecnología UASB.

El presente trabajo muestra que un modelo paramétrico para estimar el costo de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales para efluentes domésticos, puede representar los costos con aproximaciones y márgenes de errores inferiores al 10% para usarlo en proyectos cuyo caudal no supere los valores considerados en el presente estudio.

Abstract

The lack of tools to estimate construction costs of wastewater treatment plants in the region and in Colombia, can generate inconveniences in the planning phase of a project, given the short time available.

This work investigated the capability of parametric modeling to estimate the cost for building domestic wastewater treatment plants by analyzing cost data and construction documentation for 10 wastewater treatment systems located in Valle del Cauca, Colombia. The selected plants include 5 activated sludge systems as well as 5 Up-flow Anaerobic Sludge Blanket systems (UASB). The data was normalized for inflation, meanwhile, the documentation was analyzed to determine the extend of the treatment level and system configuration. In addition, the data was statistically analyzed to assess the correlation between project cost and treated water volume as well as other variables such as biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). Cost estimating relationship was formulated from the analysis to stablish a conceptual parametric model able to provide a quality fit to the data and adequate estimate of cost for domestic wastewater treatment system projects.

The analyzed data shows a cost per capita for the activated sludge technology ranging from 68 to 194 USD in a flow range of 1 to 14 L/s, compared to the range of 31 to 74 USD observed for the UASB technology in a flow range of 20 to 127 L/s.

The modeling results showed that the logarithmic model is the most suitable with an error of 4.85% for the validation of the parametric model selected for activated sludge technology and 2.4% achieved for the parametric model selected for the UASB technology.

This work shows that a parametric model to estimate the cost of construction of wastewater treatment plants for domestic effluents can represent the costs with

approximations and error margins lower than 10% to be used in projects whose flow does not exceed the values considered in the present study.

Glosario de términos especiales

AACE: American Association of Cost Engineering (Asociación Americana de Ingeniería de Costos)

ARD: Aguas residuales domésticas

ARI: Agua Residual Doméstica

ARnD: Aguas residuales no domésticas

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

Caudal (Q): Caudal

CBR: Case Based Reasoning (Razonamiento basado en casos)

DBO₅: Demanda Bioquímica de oxígeno

DQO: Demanda Química de oxígeno

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)

IWA: International Water Association (Asociación Internacional del Agua)

ODM: Objetivos de Desarrollo del Milenio

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

PMI: Project Management Institute

PTAR. Planta de tratamiento de aguas residuales

SSPD: Superintendencia de servicios públicos domiciliarios

SST: Sólidos suspendidos totales

SSVLM: Sólidos suspendidos volátiles en Licor Mixto

TRH: Tiempo de retención hidráulica

WWAP: World Water Assessment Program (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos)

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor anaerobio de Flujo ascendente)

Tabla de Contenido

1.	Introducción	15
1.1	Problema de investigación	17
1.2	Alcance del trabajo de grado.....	18
1.3	Justificación del trabajo de grado	19
1.4	Objetivos del proyecto	21
2.	Marco de referencia.....	22
2.1	Marco normativo.....	22
2.2	Aguas residuales (AR)	23
2.2.1	Composición de aguas residuales domésticas	25
2.2.2	Principales características de las aguas residuales	25
2.2.3	Composición típica de aguas residuales domésticas o municipales	27
2.3	Tecnologías de tratamiento	27
2.3.2	Lodos activados	28
2.3.3	Reactor UASB	32
2.4	Estado del tratamiento de aguas residuales en Colombia	32
2.5	Tratamiento de aguas residuales en el Valle del Cauca	34
2.6	Metodologías de estimación de costos.....	37
2.6.1	Clasificación de estimaciones de costos	38
2.6.2	Metodología de estimación conceptual	40
2.6.3	Razonamiento Basado en Casos (CBR)	40
2.6.4	Modelo paramétrico.....	41
2.6.5	Antecedentes de estudios de aproximación de costos de sistemas de tratamiento de aguas residuales	42
2.6.6	Consideraciones Finales	45
3.	Metodología de trabajo de grado.....	46
3.1	Identificación de Plantas de tratamiento de aguas residuales en cabeceras municipales del Valle del Cauca y centros poblados del perímetro de Cali.	47
3.2	Seleccionar plantas de tratamiento con tecnologías UASB y Lodos Activados para estudio.....	48
3.3	Solicitud y consulta de información en la Corporación autónoma regional del Valle del Cauca (CVC), Constructoras y Empresas de consultoría.	48

3.4	Digitalización y consolidación de información de actas de liquidación de obra recopiladas en CVC e información suministrada por empresas privadas ejecutoras del proyecto.....	48
3.5	Visitas de reconocimiento y verificación de configuración de PTAR para descripción de sistemas.....	49
3.6	Diseño y organización de información en base de datos para las PTAR con información detallada.....	49
3.7	Planteamiento y selección de variables para el modelo de costos	50
3.8	Planteamiento de modelos de costos de tipo, lineal, exponencial, logarítmico y exponencial ajustado.....	50
3.9	Planteamiento de ecuación exponencial ajustada	52
3.10	Verificación del modelo.....	53
4.	Resultados	54
4.1	Descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales construidas - Lodos Activados y UASB.....	54
4.1.1	Plantas de tratamiento con tecnología de Lodos Activados.	54
4.1.2	Plantas de tratamiento Tecnología UASB	70
4.1.3	Configuración de los sistemas de tratamiento: Tecnologías Lodos activados y UASB	81
4.2	Variables de costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con las tecnologías Lodos Activados y UASB.	83
4.2.1	Identificación y descripción de variables	83
4.2.2	Selección de atributos.....	88
4.2.3	Modelo paramétrico para la estimación prospectiva de costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, Tecnología lodos activados y UASB.	91
5.	Conclusiones	113
6.	Bibliografía.....	115
	Anexos	119

Lista de Tablas

Tabla 1 Tipos de agua residual	23
Tabla 2 Principales constituyentes y características de las aguas residuales domésticas	26
Tabla 3 Composición de aguas residuales en diferentes Ciudades y países	27
Tabla 4 Municipios que cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales	34
Tabla 5 Centros poblados que cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales en la zona metropolitana de Cali y Jamundí.....	36
Tabla 6 Matriz de clasificación de estimación de costos AACE.....	39
Tabla 7 Función de costos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en el mundo	43
Tabla 8 Función de costos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en Colombia	43
Tabla 9 Componentes principales PTAR Lodos activados y UASB.....	51
Tabla 10 Plantas de tratamiento con sistemas de lodos activados.....	55
Tabla 11 Descripción de las estructuras para la gestión de los residuos	62
Tabla 12 Caudales de diseño de las Plantas de tratamiento con sistemas UASB	70
Tabla 13 Configuración línea de tratamientos plantas tecnología Lodos Activados	81
Tabla 14 Configuración línea de tratamientos plantas tecnología UASB	82
Tabla 15 Variables de costos de construcción PTAR.....	83
Tabla 16 Caudal de diseños de las PTAR objeto de estudio	84
Tabla 17 Parámetros fisicoquímicos.....	85
Tabla 18 Variables de costos de construcción PTAR.....	89
Tabla 19 Correlación entre variables.....	90
Tabla 20 Salarios mínimos legales Vigentes entre 2009 y 2020 en Colombia	94
Tabla 21 Costos Normalizados para el año 2020	95
Tabla 22 Costos Normalizados para el año 2020	97
Tabla 23 Estadísticas de regresión.....	99
Tabla 24 Análisis de Varianza.....	99
Tabla 25 Análisis de los residuales.....	99
Tabla 26 Estadísticas de regresión.....	101
Tabla 27 Análisis de Varianza.....	101

Tabla 28 Análisis de los residuales.....	102
Tabla 29 Información base regresión exponencial.....	103
Tabla 30 Información base regresión exponencial-UASB.....	105
Tabla 31 Información base regresión logarítmica-Lodos Activados.....	106
Tabla 32 Información base regresión logarítmica-UASB.....	108
Tabla 33 Constantes de la ecuación propuesta de tecnología Lodos Activados.....	110
Tabla 34 Parámetros y tabulación de costos Lodos Activados.....	110
Tabla 35 Parámetros y tabulación de costos UASB.....	112
Tabla 36 Constantes de la Ecuación 11, función de costos UASB.....	112

Lista de Figuras

Figura 1. Tecnologías de tratamiento	28
Figura 2. Diagrama de flujo típico del sistema de lodo activado convencional (fase líquida).	30
Figura 3. Diagrama de flujo típico del sistema de lodo activado aireación extendida (fase líquida).....	30
Figura 4. Representación esquemática de un reactor UASB rectangular	32
Figura 5. Cantidad de STAR por departamento año 2018	33
Figura 6. El ciclo del CBR.....	41
Figura 7. Costos de construcción de los sistemas de tratamiento de aguas residuales evaluados	45
Figura 8. Secuencia metodológica.....	46
Figura 9. Tren de tratamiento de plantas con tecnologías de sistemas de lodos activados ..	55
Figura 10. Vista aérea de las unidades de tratamiento	56
Figura 11. Canal de desbaste, Trampa de grasas, Pozo de bombeo	57
Figura 12. Canal de aproximación hacia unidades de rejillas (izq.); Cadica (der.).....	58
Figura 13. Sedimentador primario.....	58
Figura 14. Columna de lodos (izq.); Tanque de aireación (arriba); Sedimentador secundario (abajo).....	59
Figura 15. Canal de desbaste (der.); Trampa de grasas (Izq.)	60
Figura 16. Pozo de bombeo (izq.) y Tamiz estático (der.)	61
Figura 17. Estructuras de tratamiento secundario: Tanque de aireación (izq.) y Sedimentador secundario (der.).....	61
Figura 18. PTAR C	63
Figura 19. Estructuras del pretratamiento: Canastilla en pozo de inspección (izq.); canal de cribado y aforo (centro); Tamiz estático (der.).....	64
Figura 20. Tanque de aireación vista superior e interior	65
Figura 21. Sedimentador secundario	65
Figura 22. Tanque de contacto de cloro	66
Figura 23. Tanque de tratamiento preliminar (izq.); Trampa de grasas (der.)	67

Figura 24. Tanque de aireación (arriba.) y Sedimentador secundario (abajo.)	68
Figura 25. Canaleta parshall y Tanques de contacto de cloro al fondo	68
Figura 26. Tanque de Aireación (izq) y Lechos de secado (der).....	70
Figura 27. Tren de tratamiento de plantas con reactores UASB	71
Figura 28. Rejilla gruesa.....	72
Figura 29. Tanque bombeo No.1 (izq.); desarenador (der.)	72
Figura 30. Reactor UASB.....	73
Figura 31. Filtro percolador (izq.); decantadores secundarios (der.).....	73
Figura 32. Estructura de entrada a la planta (izq.); desarenador (der.).....	75
Figura 33. Filtro percolador.....	76
Figura 34. Estructura tratamiento preliminar: Desarenador y rejillas finas	80
Figura 35. Filtro percolador (izq.) y sedimentador secundario (der.).....	81
Figura 36. Izquierda. Localización PTAR Tecnología Lodos activados Derecha. Localización PTAR Tecnología UASB	88
Figura 37. Costos por componente PTAR – Lodos Activados.....	93
Figura 38. Costos de componente de PTAR - UASB.....	94
Figura 39. Izq. Costo directo PTAR-lodos activados Der. Costo directo PTAR-UASB	96
Figura 40. Costo directo PTAR-Lodos activados y UASB	96
Figura 41. Función de costos por No. Habitantes Tecnología Lodos activados	98
Figura 42. Costos en función de No. Habitantes Tecnología UASB	98
Figura 43. Curva de regresión Ajustada	100
Figura 44. Curva de regresión Lineal Simple ajustada.....	102
Figura 45. Curva de regresión exponencial	104
Figura 46. Curva de regresión exponencial ajustada.....	105
Figura 47. Curva de regresión logarítmica ajustada-Lodos Activados	107
Figura 48. Curva de regresión logarítmica ajustada – UASB	109
Figura 49. Función de costos ajustada - Lodos activados	111
Figura 50. Función de costos ajustada – UASB.....	112

Lista de Anexos

Anexo 1. Detalles de Costos PTAR A-Tecnología de Lodos Activados	119
Anexo 2. Detalles de Costos PTAR B-Tecnología de Lodos Activados.....	121
Anexo 3. Detalles de Costos PTAR C-Tecnología de Lodos Activados.....	128
Anexo 4. Detalles de Costos PTAR D-Tecnología de Lodos Activados	141

1. Introducción

De acuerdo al Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos [WWAP], 2017 en promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan, este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. Estas estimaciones sustentan la aproximación que se cita comúnmente que, en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno. Los esfuerzos que deben realizar las entidades gubernamentales y del sector privado son grandes en materia de tratamiento de aguas residuales y saneamiento básico.

En Colombia según las últimas revisiones de la Asociación Colombiana de Ingeniería (ACODAL) solo 31 por ciento de las ciudades colombianas cuenta con sistemas de tratamiento de estas corrientes (EL TIEMPO, 2017). Para el Valle del Cauca únicamente el 42% de los municipios cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, según información recopilada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD, (2019) y Suarez, Rodríguez, & Torres, (2011).

Es importante que todos los proyectos de agua y saneamiento en Colombia cumplan el ciclo de vida, en sus fases de inicio de proyecto, organización y preparación, ejecución del trabajo y cierre del proyecto tal como lo plantea el Project Management Institute (PMI, 2013). Sin embargo, previo al inicio de un proyecto existen fases de prefactibilidad las cuales se deben realizar usando los mínimos recursos posibles, y es allí donde juega un papel importante la estimación de costos.

La estimación de costo en la fase de prefactibilidad puede ser de importancia según American Association of Cost Engineering (AACE, 2015), para establecer una estimación temprana para un proyecto o programa propuesto, evaluar la viabilidad general de un proyecto, analizar alternativas del proyecto (como diferentes ubicaciones, tecnologías, capacidades, entre otras), para evaluar los impactos en los costos de las alternativas de diseño y para establecer un presupuesto preliminar para fines de control durante la fase de diseño de un proyecto.

El desarrollo de este proyecto se ha planteado en tres fases. La primera fase implica recopilar y analizar información relacionada con la construcción de plantas de tratamiento en cabeceras municipales y centros poblados que superan las 500 viviendas en el Valle del Cauca, previa clasificación por tecnología; posteriormente se plantea determinar las variables más determinantes e influyentes en los costos de construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Esta información se utilizará para plantear un modelo paramétrico en función de las variables definidas que represente los costos de construcción de una planta de tratamiento de la tecnología Lodos Activados y UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Estos resultados se validarán con 3 proyectos ya construidos y previamente seleccionados.

1.1 Problema de investigación

Una de las principales causas del fracaso en la ejecución de un proyecto es la falta de planeación, y uno de los factores que mayor incidencia tiene es la estimación de costos, pues los tiempos en etapa de prefactibilidad son muy reducidos y es necesario contar con herramientas que permitan determinar o estimar los costos de manera rápida con un grado de certidumbre y acorde al contexto.

Se han encontrado estudios realizados con planteamientos de modelos que determinan los costos aproximados asociados a la construcción de plantas de tratamiento de agua residual de diferentes tecnologías, sin embargo, la mayoría se ha desarrollado en otros países y otras regiones del país, las cuales difieren por su localización geográfica y su contexto.

El Valle del Cauca es un departamento en el que más del 60% de cabeceras municipales no cuentan con plantas de tratamiento, y el desarrollo urbanístico en la ciudad de Cali es cada vez mayor, con crecimientos similares a cabeceras municipales, por lo tanto, es pertinente realizar la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo determinar los costos de construcción en etapa de Pre-factibilidad para plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con tecnologías de Lodos Activados y UASB?

1.2 Alcance del trabajo de grado

Este proyecto determinó mediante un modelo paramétrico los costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el Valle del Cauca, específicamente para las tecnologías de Lodos Activados y Reactores UASB. Se analizó los costos de construcción de 10 plantas de tratamiento, 5 correspondientes a la tecnología de lodos activados y 5 de tecnología UASB, que entraron en operación entre 1993 y 2019. La selección de las plantas se hizo por conveniencia atendiendo a la disponibilidad de acceso a los datos que serán suministrados por parte de la Corporación Regional del Valle del Cauca (CVC), y Constructoras del Valle del Cauca.

El estudio evaluó la pertinencia de incorporar las variables fisicoquímicas como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de oxígeno (DQO) contenidas en la resolución 0631 de 2015; hidráulicas, como el caudal (Q); y otras relacionadas con condiciones de la zona, tales como energía, topografía y localización geográfica, con el fin de ofrecer un modelo estocástico, partiendo de la parametrización de costos para la construcción de plantas de tratamiento tipo Lodos Activados y UASB.

El modelo desarrollado podría ser aplicado en otras regiones del país, teniendo en cuenta sus limitaciones y la correspondiente calibración que debe estar basada en información de proyectos previamente desarrollados en la región.

1.3 Justificación del trabajo de grado

De acuerdo con La Republica (2018), en Colombia existen 1.122 municipios registrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), de los cuales sólo 541 municipios, equivalente al 48.2%, cuenta con algún tipo de planta de tratamiento de aguas residuales. De ese porcentaje, no todas las plantas de tratamiento tienen un sistema completo ni funcionan o son operadas correctamente (SSPD, 2019). No en vano el Banco Mundial estima que la inversión en agua y saneamiento debe triplicarse a nivel global y llegar hasta 114.000 millones de dólares anuales si se quieren alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018b).

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2013), las inversiones históricas anuales en Colombia han sido de 240.8 millones de dólares, y sería necesaria una inversión de 353.4 millones para cumplir con el objetivo de agua segura y saneamiento. Estas cifras indican que los recursos de inversión para la ejecución de proyectos para el tratamiento de aguas residuales son de menor cuantía con respecto a lo que se necesitarían para avanzar en el sector. A esto se suma la poca planificación que existe por parte de las autoridades municipales para realizar una gestión adecuada de recursos.

La planificación de proyectos inicia por la estimación de costos, el cual es un proceso predictivo utilizado para cuantificar los recursos y establecer los costos requeridos por el alcance de una opción, actividad o proyecto de inversión. El propósito de estas estimaciones puede ser determinar la viabilidad económica, evaluar entre alternativas, establecer el presupuesto o proporcionar una base para el costo del proyecto. La estimación es, por lo tanto, un proceso iterativo que se aplica en cada fase del ciclo de vida del proyecto a medida que el alcance del proyecto se define, modifica y refina.

La estimación de costos es fundamental en el éxito de un proyecto, y es uno de los determinantes clave en la evaluación para su viabilización financiera. Surge entonces la necesidad de contar con herramientas como un modelo que permita estimar los costos en etapas tempranas de un proyecto, en el menor tiempo posible y sin el uso de mayores recursos, aplicado a la región del Valle del Cauca.

1.4 Objetivos del proyecto

Objetivo General

Desarrollar un modelo paramétrico de costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el Valle del Cauca con las tecnologías de Lodos Activados y UASB.

Objetivos Específicos

- Describir los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas empleados en los municipios del Valle del Cauca.
- Seleccionar las variables de costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con las tecnologías de Lodos Activados y UASB.
- Proponer un modelo paramétrico para la estimación prospectiva de costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con la tecnología de Lodos Activados y UASB.

2. Marco de referencia

2.1 Marco normativo

En el año 2000 fueron fijados los Objetivo de desarrollo del milenio (ODM) por 189 países miembros de las Naciones Unidas. En el año 2015 entran en vigencia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, y son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad. Son 17 objetivos, que incluyen nuevas esferas como el cambio climático, la desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible y la paz y la justicia, entre otras prioridades. Los Objetivos están interrelacionados, con frecuencia la clave del éxito de uno involucrará las cuestiones más frecuentemente vinculadas con otro (ONU, 2018a).

Colombia hace parte de los 193 países miembros de la ONU, y ha adoptado estos objetivos en su agenda para su implementación. Para el caso particular de saneamiento básico se tiene el Objetivo No. 6 “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”.

El referente normativo de tipo ambiental a nivel nacional que articula todos los decretos, resoluciones y leyes vigentes, se encuentran consignados en el Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible 1076 del 26 de mayo de 2015 (Decreto 1076, 2015). Dentro de este reglamento los decretos y resoluciones que están directamente relacionados con vertimientos de aguas residuales son los siguientes:

- Resolución 0330 de 2017- Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico.

- Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015- Por el cual se establecen los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 2667 de 2012- Reglamenta el cobro de Tasa Retributiva por Vertimientos Puntuales Directos e Indirectos a Fuente. Hídrica.
- Resolución 1433 de 2004- Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos -PSMV Plan de Cumplimiento.

2.2 Aguas residuales (AR)

Existen muchas definiciones de aguas residuales, y hasta el momento no hay un consenso. Para este estudio se toma la definición dada por Raschid-Sally & Jayakody (2008), y adoptada por el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWAP, 2017). Las aguas residuales se consideran como una combinación de uno o más de los siguientes: efluentes domésticos que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; y escorrentías agrícola, hortícola y acuícola (Raschid-Sally & Jayakody, 2008). Otras definiciones son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1
Tipos de agua residual

Tipo de agua	Definición
Aguas grises	Las aguas residuales generadas por una lavadora, bañera, ducha o lavado del baño, que se recogen por separado de un flujo de aguas residuales. No incluye las aguas residuales de un inodoro.
Aguas negras	Aguas residuales generadas por el inodoro, recolectadas por separado de un flujo de aguas residuales. Contienen orina, heces, agua de descarga y/o papel higiénico.

Tipo de agua	Definición
Aguas residuales domésticas	Compuestas de aguas negras, aguas grises y potencialmente otros tipos de aguas residuales derivadas de actividades domésticas en asentamientos residenciales.
Aguas residuales industriales	Agua que se vierte después de ser utilizada o producida en procesos industriales o de producción de energía.
Aguas residuales municipales	Las aguas residuales procedentes de fuentes domésticas, industriales, comerciales e institucionales en un asentamiento o comunidad de humanos. La composición de las aguas residuales municipales puede variar considerablemente ya que refleja la variedad de contaminantes liberados por las diferentes combinaciones de fuentes.
Aguas residuales urbanas	Incluye tanto las aguas residuales municipales como las escorrentías urbanas, lo que potencialmente contiene una amplia gama de contaminantes.

Fuente: Adaptado de (WWAP, 2017).

La normatividad colombiana, específicamente la Resolución 0631 (2015), clasifica en dos grupos las aguas residuales, las domésticas y las no domésticas, y las define de la siguiente manera:

- a. **Aguas residuales domésticas-ARD:** Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que corresponden a:
 - Descargos de los retretes y servicios sanitarios.
 - Descargas 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 de lavado de ropa (no se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).
- b. **Aguas residuales no domésticas – ARnD:** Son las procedentes de las actividades industriales comerciales o de servicio distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas- ARD (Resolución 0631, 2015).

La resolución 0631 de 2015 clasifica las aguas residuales domésticas como producto de viviendas unifamiliares o bifamiliares y las aguas no domésticas provenientes de alcantarillados de prestadores de servicios y del sector industrial, las cuales se clasifican en actividades productivas como la agroindustria, ganadería, minería, hidrocarburos, alimentos, bebidas, fabricación y manufactura de bienes, servicios y otras actividades.

2.2.1 Composición de aguas residuales domésticas

Las aguas residuales (en el sentido del efluente) están compuestas de 99% de agua y 1% de sólidos en suspensión, coloidales y disueltos. Las aguas residuales municipales contienen materia orgánica y nutrientes (nitrógeno, potasio y fósforo), materia inorgánica y minerales disueltos, productos químicos tóxicos y microorganismos patógenos (WWAP, 2017). El término de materia orgánica es utilizado como indicador de la cantidad de sustancias orgánicas presentes en un AR. La concentración depende del consumo de agua; en Estados Unidos donde el consumo es elevado (350 a 400 l/hab.d) el agua residual es diluida (la DBO₅ varía de 200 a 250 mg/l), mientras que en países en desarrollo el agua residual es más concentrada (la DBO₅ varía de 300 a 700 mg/l) y el consumo de agua es más bajo (40 a 100 l/hab.d) (Suarez et al., 2011).

La cuantificación de los contaminantes presentes en el ARD es condición necesaria para seleccionar de manera apropiada la tecnología de tratamiento que garantice técnica y económicamente una calidad de agua residual tratada adecuada a su vertimiento o uso posterior y para minimizar el potencial riesgo a la salud pública y al ambiente (Torres, 2012).

2.2.2 Principales características de las aguas residuales

En la Tabla 2 se presenta los principales aspectos físicos, químicos y biológicos característico de las aguas residuales domésticas.

Tabla 2
Principales constituyentes y características de las aguas residuales domésticas

Componente	Importancia
Sólidos suspendidos	Forman depósitos de lodo
Materia orgánica	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas, comúnmente es medida como DBO5 y DQO.
Patógenos	Microorganismos que transmiten enfermedades.
Nutrientes	El nitrógeno y el fósforo, en cuerpos de agua generan crecimiento excesivo de algas y condiciones anaerobias.
Contaminantes prioritarios	Pueden ser orgánicos e inorgánicos, causan alteraciones genéticas, mutaciones; además son cancerígenos.
Compuestos orgánicos refractarios	Son resistentes al tratamiento convencional como los fenoles y algunos pesticidas utilizados en la agricultura.
Metales pesados	Se encuentran en las aguas residuales provenientes de industrias, pueden ser removidos y reutilizados.
Compuestos orgánicos disueltos	El calcio, sodio y sulfatos son añadidos en algunos casos al agua de consumo con el fin de suplir algunas necesidades, estos pueden ser removidos y reutilizados.
Temperatura	Ligeramente alta comparada con el agua potable, Influye en la actividad microbiana, en la solubilidad de los gases, y en la viscosidad.
Color	Aguas frescas: ligeramente gris. Aguas sépticas: gris oscuro o negro.
Olor	Aguas sépticas: olor ofensivo, tanto del ácido sulfhídrico como de otros productos de la descomposición Aguas industriales: depende de lo que se fabrique.
Turbiedad	Causado por una gran variedad de sólidos suspendidos Las aguas frescas presentan mayor concentración de sólidos.

Fuente: Adaptado de Suarez et al. (2011)

2.2.3 Composición típica de aguas residuales domésticas o municipales

En la Tabla 3 se presenta las características de aguas residuales municipales típicas de diferentes países y ciudades, en esta se evidencia que el rango de valores para las ciudades es menor que para los países.

Tabla 3
Composición de aguas residuales en diferentes Ciudades y países

Parámetros	Países			Ciudades		
	USA	Francia	Manchester	Campina Grande (Brasil)	Cali (Colombia)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg/l)	110-400	100-400	240	240	250	
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/l)	250-1000	300-1000	520	570	267	
Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/l)	100-250	150-500	210	392	215	
Nitrógeno y Potasio Total (NTK) (mg/l)	20-85	30-100			24	

Fuente: Tomado y adaptado de (Suarez et al., 2011; UN-Water, 2010)

2.3 Tecnologías de tratamiento

Para el tratamiento de aguas residuales existen procesos biológicos de tipo aerobio y anaerobio, como también procesos combinados. Los procesos biológicos utilizan microorganismos que se alimentan de la materia orgánica y reducen su concentración en las AR, además de utilizar los compuestos para la formación de nuevas células.

Los procesos biológicos se clasifican en:

Aerobios: Realizados por microorganismos, cuyo metabolismo tiene lugar en presencia de oxígeno disuelto. Los productos finales son principalmente CO₂, H₂O y una parte es empleada para la formación de nuevos microorganismos. En este proceso biológico se clasifica la tecnología de Lodos Activados.

Anaerobios: Realizados por microorganismos cuyo metabolismo se efectúa en ausencia de oxígeno libre, pudiendo verse gravemente afectados por su presencia. Los productos finales son CH₄ y CO₂. En este proceso biológico se clasifica la tecnología UASB.

Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales más usadas en el mundo se presentan en la Figura 1.

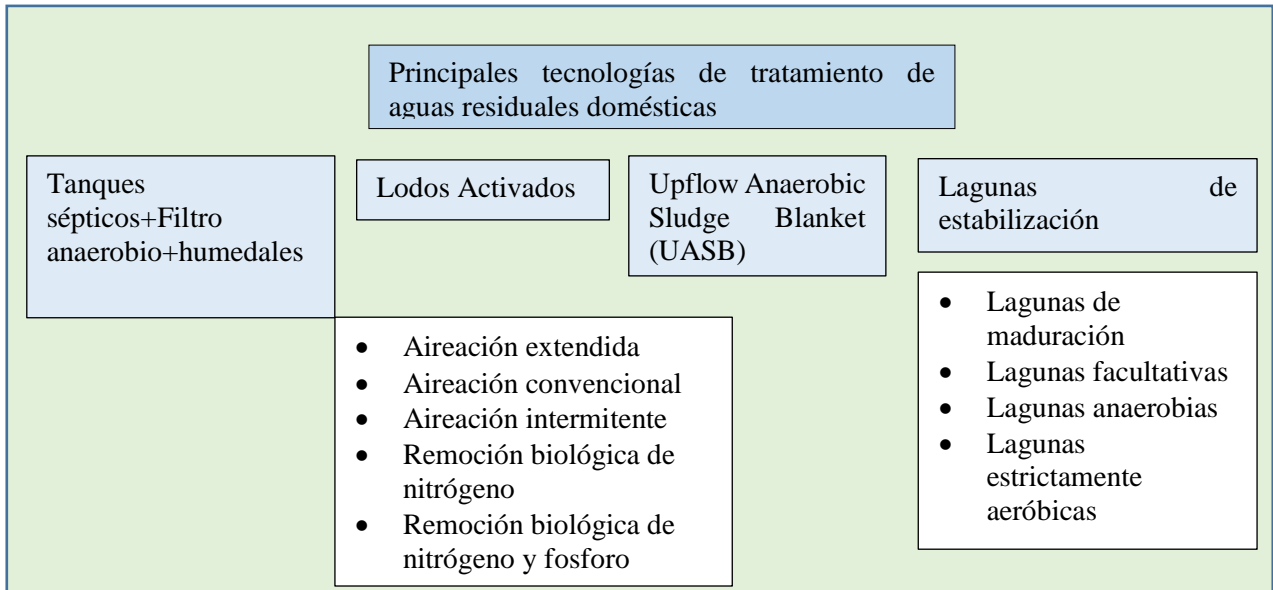


Figura 1. Tecnologías de tratamiento

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Lodos activados

El proceso de lodos activos ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. El diseño de las plantas de lodos activos se llevó a cabo fundamentalmente de una forma empírica. Sólo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de lodos activos. Este proceso nació de la observación realizada de que si cualquier agua residual, urbana o industrial, se somete a aireación durante un período de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica (Ramalho, 2003).

La tecnología fue desarrollada en Inglaterra en 1914 por Arden y Lockett, quienes realizaron experimentos con un cultivo biológico en suspensión en un tanque aireado e introdujeron la idea de recircular la biomasa suspendida formada durante la aireación (Metcalf & Eddy, 2003).

Los parámetros de operación y diseño para los sistemas de lodos activados varían dependiendo de la modalidad utilizada; entre éstos se encuentran el tiempo de retención celular - θ_c , el tiempo de retención hidráulico – TRH, la carga orgánica volumétrica – COV, la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (licor mixto) - SSVLM, la relación alimento microorganismos - A/M, la tasa de recirculación de lodo y la concentración de oxígeno disuelto. (Suarez et al., 2011). Para esta tecnología existen diferentes configuraciones entre las que se encuentran: Aireación convencional, completamente mezclado, aireación escalonada, Alta tasa, contacto estabilización, aireación extendida, zanjón de oxidación, reactores secuenciales por tandas (SBR), oxígeno puro (Resolución 0330, 2017).

2.3.2.1 Aireación convencional

Este proceso se compone por tres unidades: Sedimentador primario, tanque de aireación (reactor) y tanque de sedimentación secundario. La concentración de biomasa en el reactor es muy alta, debido a la recirculación de sólidos sedimentados (bacterias) del fondo del tanque sedimentador. La biomasa permanece en el sistema más tiempo que el líquido, que garantiza una alta eficiencia de eliminación de DBO_5 . El exceso de lodo eliminado debe ser estabilizado en la etapa de tratamiento del lodo y el suministro de oxígeno se realiza con aireadores mecánicos o por aire difuso (Sperling, 2005).

En la Figura 2 se presenta la configuración de un sistema de aireación convencional.

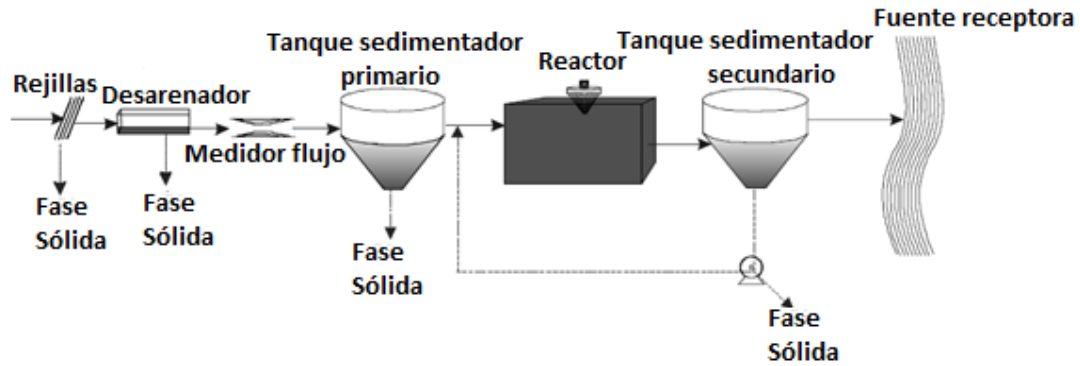


Figura 2. Diagrama de flujo típico del sistema de lodo activado convencional (fase líquida).

Fuente: Tomado y adaptado de (Sperling, 2005)

2.3.2.2 Aireación extendida

Es similar al sistema convencional (Ver Figura 3) pero con la diferencia de que la biomasa permanece más tiempo en el sistema, los tanques de aireación son más grandes. Con esto, hay menos sustrato (DBO_5) disponible para las bacterias, lo que les hace usar su propio material celular para su mantenimiento. En consecuencia, el exceso de lodo (bacteria) ya está estabilizado. Tanques de sedimentación primaria usualmente no están incluidos (Sperling, 2005).

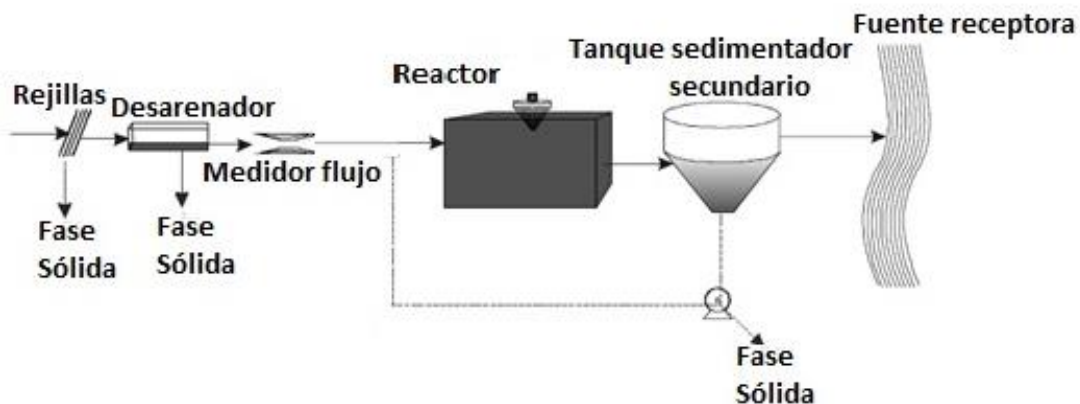


Figura 3. Diagrama de flujo típico del sistema de lodo activado aireación extendida (fase líquida).

Fuente: Tomado y adaptado (Sperling, 2005).

2.3.2.3 Aireación Intermitente

El funcionamiento del sistema es intermitente. De esta manera, las etapas de aireación y sedimentación ocurren en diferentes fases en el mismo tanque. Cuando los aireadores están apagados, los sólidos se sedimentan, lo que permite la eliminación del efluente clarificado (flotante). Cuando los aireadores se vuelven a encender, los sólidos vuelven a la masa líquida, sin necesidad de bombas para lodos de recirculación. No hay tanques de sedimentación secundarios. Puede ser en los modos de aireación convencionales o extendidos (Sperling, 2005)

2.3.2.4 Lodos activados con remoción biológica de nitrógeno

El reactor biológico incorpora una zona anóxica (ausencia de oxígeno, pero presencia de nitratos). La zona anóxica puede ser aguas arriba o aguas abajo de la zona aireada. Los nitratos formados en el proceso de nitrificación que tiene lugar en la zona aerobia se utilizan en la respiración de microorganismos facultativos en las zonas anóxicas, reduciéndose a nitrógeno molecular gaseoso, que escapa a la atmósfera (Sperling, 2005).

2.3.2.5 Lodos activados con remoción biológica de fósforo y nitrógeno

Además de las zonas aeróbica y anóxica, el reactor biológico también incorpora una zona anaerobia, situada en el extremo superior del tanque. Las recirculaciones internas hacen que la biomasa sea sucesivamente expuesta a condiciones anaeróbicas y aeróbicas. Con esta alternancia, un cierto grupo de microorganismos absorbe el fósforo del medio líquido, en cantidades mucho mayores que las que normalmente sería necesario para su metabolismo. La evacuación de estos organismos en el lodo en exceso da como resultado eliminación de fósforo del reactor biológico (Sperling, 2005).

2.3.3 Reactor UASB

El reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) fue desarrollado por el doctor Gatzke Lettinga y colegas en la década de 1970 en la Universidad de Wageningen (Holanda). Este consiste esencialmente en un reactor, a través del cual el agua residual pasa a una baja velocidad ascensional (Lettinga et al., 1980).

Posee un manto de lodos que se compone de gránulos o flocs. El fenómeno que rige la formación de los gránulos o flocs constituye la parte fundamental del proceso. El tratamiento del agua se da cuando se pone en contacto el agua residual con los gránulos. El gas producido bajo condiciones anaerobias provoca la recirculación interna, lo que ayuda en la formación y mantenimiento de las partículas biológicas, sobre las cuales algunas partículas de gas se adhieren. El gas libre y el gas adherido a los gránulos se retienen en el colector de gas en la parte alta del reactor (Lettinga et al., 1980).

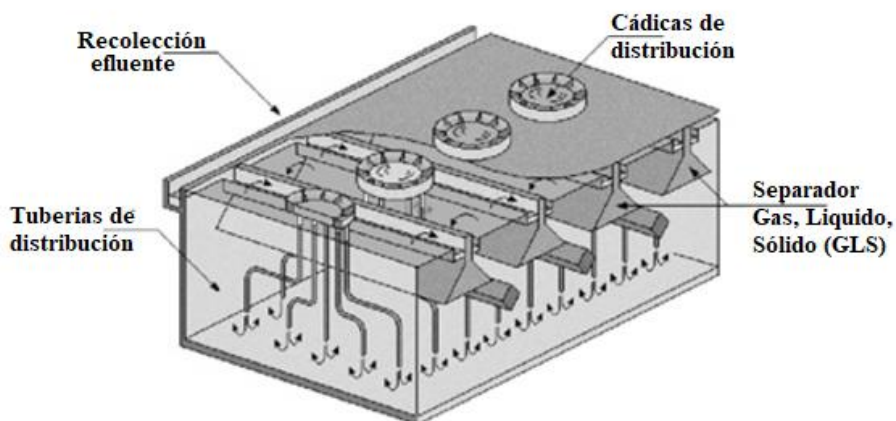


Figura 4. Representación esquemática de un reactor UASB rectangular

Fuente: Adaptado (Sperling, 2005)

2.4 Estado del tratamiento de aguas residuales en Colombia

Para la vigencia 2018 se identificaron 699 STAR en el país, dato que presenta un incremento de 17 sistemas respecto al dato de la vigencia 2017, que correspondió a 682. La Figura 5 ilustra los municipios que reporta información señalando si tratan o no las aguas residuales en una

2.5 Tratamiento de aguas residuales en el Valle del Cauca

De los 42 municipios del Valle del Cauca 16 cuentan con una PTAR, las cuales están localizadas en la cabecera municipal. De estas 16, las que están ubicadas en el Municipio de Cerrito y Pradera no se encuentran operando. En la Tabla 4 se presenta el listado de cada una de las plantas de tratamiento.

Tabla 4
Municipios que cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales

Ítem	Municipio	Descripción de las Unidades que Conforman la PTAR	Inicio Operación	Año Actualmente en Funcionamiento		Operador
				Si	No	
1	Calima - El Darién	Estación de bombeo, desarenador, reactor UASB, filtro percolador, sedimentador secundario y lechos de secado.	2006	X		Emcalima E.S.P.
2	Ginebra	Rejas, desarenador, bombeo, laguna anaeróbica, laguna facultativa. plantas experimentales: Biodiscos, reactor UASB, tanque purificador japonés, tanque séptico, filtro anaeróbico, filtro fitopedológico y filtro percolador.	1993	X		Acuavalle S.A E.S.P
3	Guacarí	Rejas, desarenador, laguna anaeróbica, laguna facultativa.	1996	X		Acuavalle S.A E.S.P
4	La Unión	Rejas, desarenador, laguna anaeróbica, laguna facultativa, lechos de secado.	1994	X		Acuavalle S.A E.S.P
5	Pradera	Rejas, desarenador, trampa de grasas, estación de bombeo, reactor UASB, filtro percolador, sedimentador secundario y lechos de secado.	2010		X	
6	Restrepo	Estación de bombeo, desarenador, reactor UASB, filtro percolador, sedimentador secundario y lechos de secado.	2000	X		Municipio
7	Riofrío	Estación de bombeo, desarenador, reactor UASB, filtro percolador, sedimentador secundario y lechos de secado.	2007	X		Municipio
8	Roldanillo	Rejas, desarenador, laguna anaeróbica, laguna facultativa, lechos de secado y laguna de deshidratación.	1994	X		Acuavalle S.A E.S.P
9	Toro	Rejas, desarenador, laguna anaeróbica, laguna facultativa, lechos de secado y laguna de deshidratación.	1994	X		Acuavalle S.A E.S.P

Ítem	Municipio	Descripción de las Unidades que Conforman la PTAR	Inicio Operación	Año Actualmente en Funcionamiento		Operador
				Si	No	
10	Tuluá	Fase I: Rejas, desarenador, filtro percolador, clarificador secundario, digestor y espesador de lodos Fase II: Desarenador, filtro percolador, clarificador secundario, digestor y espesador de lodos.	2008	X		Centroaguas S.A E.S.P
11	Ulloa	Rejas, desarenador, tanque séptico y filtro anaerobio.	2008	X		Serviulloa
12	El Cerrito	Rejas, pozo de succión, desarenador, lagunas anaeróbicas de alta tasa, lagunas facultativas, lechos de secado.			X	
13	Caicedonia	Rejas gruesas, rejas finas, desarenador y trampa de grasas, pozo de bombeo, cuatro reactores UASB, cuatro filtros percoladores, cuatro sedimentadores secundarios y doce unidades de lechos de secado.	2011	X		Emcaicedonia
14	Versalles	Rejas gruesas, rejas finas, dos desarenadores, una laguna anaerobia y tres lagunas facultativas en serie.	2011	X		Coop. Admón. de Servicios Públicos de Versalles
15	Candelaria	Fase I: Rejas gruesas, rejas finas, dos desarenadores y dos trampas de grasas, bombeo, dos reactores UASB, estructura para arenas. Fase II: Dos filtros percoladores, dos sedimentadores secundarios y lechos de secado			Actualmente en construcción de la Fase I	
16	Cali	Línea de aguas residuales: Rejas gruesas, rejas finas, desarenadores y sedimentadores primarios Línea de Lodos: Sedimentadores, espesadores, digestores, tanques y filtros prensas.	2002	X		EMCALI EICE ESP

Fuente: Tomada y adaptada del Informe de Contraloría Departamental del Valle del Cauca (2015)

Según el periódico El Tiempo, el Valle del Cauca afronta un déficit habitacional de 242.376 hogares, motivo por el cual el desarrollo de los proyectos en el área metropolitana de Cali va en aumento. Los servicios públicos no son ajenos a estos desarrollos urbanísticos y para las zonas donde no hay cobertura de las empresas Municipales de Cali, Emcali E.I.C.E

y Acuavalle S.A E.S.P ha sido necesario que las constructoras constituyan sus propias empresas de servicios públicos y su propia infraestructura para abastecimiento de agua potable, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales.

Algunas de los centros poblados que cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales de tecnología lodos activados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5
Centros poblados que cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales en la zona metropolitana de Cali y Jamundí

Ítem	Centro Poblado	Descripción de las Unidades que Conforman la PTAR	Inicio Año Operación	Actualmente en Funcionamiento		Operador
				Si	No	
1	Poblado Campestre	Estación de bombeo, desarenador, reactor Lodos Activados, sedimentador secundario y lechos de secado	2006	X		Aquaservicios E.S.P.
2	Ciudad Country	Rejas, bombeo, desarenador, Tamiz, Tanque de Homogenización, Reactor lodos activados, sedimentador secundario, desinfección.	2016	X		Ozono S.A.S E.S.P
3	El Caney	Estación de bombeo, desarenador, reactor Lodos Activados, sedimentador secundario y lechos de secado	2005	X		Emcali S.A E.S.P
4	La Morada	Estación de bombeo, desarenador, reactor Lodos Activados, sedimentador secundario y lechos de secado	2005	X		Alpes S.A
5	Cinco Soles	Estación de bombeo, desarenador, reactor Lodos Activados, sedimentador secundario y lechos de secado	2005	X		Constructora Melendez
6	Ciudad Farallones	Rejas, bombeo, desarenador, Sedimentador primario, Reactor lodos activados, sedimentador secundario.	2019	X		Emvalle SAS ESP
7	Plan Parcial Kachipay	Rejas, bombeo, desarenador, Tamiz, Reactor lodos activados, sedimentador secundario, filtración, desinfección.	2020	X		Ozono SAS ESP
8	Terranova	Rejas gruesas, rejas finas, desarenador y trampa de grasas, pozo de bombeo, tres reactores UASB, tres filtros percoladores, cuatro sedimentadores secundarios y lechos de secado.	2002	X		Terranova Servicios ESP

9	Ciudad del campo	Rejas gruesas, rejas finas, desarenador y trampa de grasas, pozo de bombeo, reactores UASB, filtros percoladores, sedimentadores secundarios y lechos de secado	X	Serbacol SAS ESP
10	El castillo	Rejas, bombeo, desarenador, Filtro percolador, Reactor lodos activados, sedimentador secundario.	X	Acuasur S.A ESP

Fuente: Elaboración propia

2.6 Metodologías de estimación de costos

La Asociación Americana de Ingeniería de Costos (AACE, 2011) indica que la estimación de costos es de importancia integral en la calidad de costo y programación en cualquier proyecto. El cálculo del costo se convierte en la base para establecer el presupuesto, los recursos y programar los procesos de monitoreo durante la ejecución del proyecto. Para lograr esto, se necesita una base / marco de estimación de costos, tales como:

- Un sistema para la clasificación de estimación de costos.
- Las metodologías utilizadas en la preparación de estimaciones de costos.
- Establecer la exactitud de la estimación en relación con la definición del alcance.
- La aplicación del análisis de riesgos a la contingencia.
- Proporcionar directrices genéricas para los principios generales de la clasificación de estimaciones que pueden aplicarse en una amplia variedad de industrias.
- Proporcionar una comprensión común de los conceptos involucrados en la clasificación de la estimación de costos del proyecto.
- Definir y correlacionar las principales características utilizadas en la clasificación de las estimaciones de costos, de modo que diferentes organizaciones puedan determinar claramente cómo se comparan sus prácticas particulares con las pautas de AACE.

- Usar el grado de madurez del proyecto en su etapa de factibilidad como la característica principal para la categorización de las clases de estimación.
- Refleja prácticas generalmente aceptadas en la profesión de ingeniería de costos.

2.6.1 Clasificación de estimaciones de costos

La AACE RP 17R-97 mapea las fases y etapas de la estimación de proyectos con una matriz de madurez y calidad; proporciona un punto de referencia común para describir y diferenciar varios tipos de estimaciones de costos. La matriz define la información de entrada específica (es decir, el diseño y los entregables del proyecto) que se requiere para producir la calidad de estimación deseada en cada fase del proceso. La matriz define los requisitos para la definición del alcance e indica las metodologías de estimación apropiadas para cada clase de estimación.

AACE identifica cinco clases de estimaciones, que simplemente designa como Clase 1, 2, 3, 4 y 5. Una estimación de Clase 5 está asociada con el nivel más bajo de definición del proyecto (o vencimiento del proyecto), y una estimación de Clase 1 está asociada con el más alto nivel de definición de proyecto. Para cada clase de estimación, se utilizan cinco características para distinguir una clase de otra. Las cinco características utilizadas en la práctica recomendada AACE son:

- Grado de definición del proyecto.
- Uso final de la estimación.
- Metodología de estimación.
- Estimación de precisión.
- Esfuerzo requerido para producir la estimación.

El grado de definición del proyecto es la característica principal utilizada para identificar una clase de estimación. Las otras características son "secundarias", y su valor generalmente está determinado por el nivel de definición del proyecto.

La Tabla 6 muestra la Matriz de Clasificación de Estimación de Costos de AACE genérica.

Tabla 6
Matriz de clasificación de estimación de costos AACE

Clasificación	Característica primaria		Característica secundaria		
	Nivel de definición del proyecto	Uso final	Metodología	Rango de precisión previsto	Esfuerzo de preparación
	Expresado como % de definición.	Propósito típico de la estimación	Método de estimación típico rango de precisión	Rango típico de +/- relativo al índice de 1 (es decir, Clase 1 Estimación) ^a	Grado de esfuerzo típico relativo al índice de costo mínimo ^b
Clase 5	0% a 2%	Viabilidad	Estocástico (factores y / o modelos) o juicio	4 a 20	1
Clase 4	1% a 15%	Estudio de concepto o viabilidad	Principalmente estocástico	3 a 12	2 a 4
Clase 3	10% a 40%	Autorización o control del presupuesto	Mezclado, pero principalmente estocástico	2 a 6	3 a 10
Clase 2	30% a 75%	Control u oferta / oferta	Principalmente determinista	1 a 3	5 a 20
Clase 1	65% a 100%	estimado u Oferta	Determinista	1	10 a 100

Notas: [a] Si el valor del índice de rango de "1" representa + 10 / -5%, entonces un valor de índice de 10 representa + 100 / -50%.

[b] Si el valor del índice de costo de "1" representa el 0.005% de los costos del proyecto, entonces un valor de índice de 100 representa el 0.5%

Fuente: (AACE, 2015)

2.6.2 Metodología de estimación conceptual

Los métodos de estimación conceptual se usan generalmente para estimaciones de Clase 5 y Clase 4 (y algunas veces para Clase 3). A menudo se los denomina estimaciones de "orden de magnitud" (OOM) en referencia a su amplio rango de precisión de estimación (como se definió previamente en las matrices de clasificación de estimación). Proporcionan un método relativamente rápido para determinar el costo probable aproximado de un proyecto sin el beneficio de la definición detallada del alcance.

Como se aprecia, las matrices de clasificación de estimaciones se pueden utilizar para: detección temprana en un proyecto o programa propuesto, evaluación de la viabilidad de un proyecto, análisis de alternativas como diferentes ubicaciones, tecnologías, capacidades del proyecto, evaluación de los impactos en los costos de las alternativas de diseño, preparación del preliminar, entre otros.

Existe una amplia variedad de metodologías de estimación conceptual. Varios de los métodos más comúnmente utilizados son: unidades de producto final, dimensiones físicas, factor de capacidad, diversos métodos de razón o factor y modo paramétrico. La mayoría de los métodos de estimación conceptual se basan en las relaciones de una forma u otra.

2.6.3 Razonamiento Basado en Casos (CBR)

El CBR es una técnica de minería de datos que tiene presente situaciones similares aplicadas a la solución de problemas anteriores, y usa la información y el conocimiento de esas situaciones para resolver el nuevo problema (Ver Figura 6).

Razonamiento Basado en Casos es una rama de la inteligencia artificial la cual está definida según el informático John McCarthy como “la ciencia e ingenio de hacer máquinas inteligentes, especialmente programas de cómputo inteligentes”, el CBR por sus siglas en inglés, Case Based Reasoning, se preocupa por el estudio de los mecanismos mentales

necesarios para repetir lo que se ha hecho o vivido con anterioridad en la solución de un problema y aplicarlo para la solución de uno nuevo, este último se convertiría en una experiencia más, disponible para los próximos problemas que se requieran los cuales presenten similitud y pueda utilizarse como experiencia previa para dar solución al nuevo caso (Aamodt & Plaza, 1994).

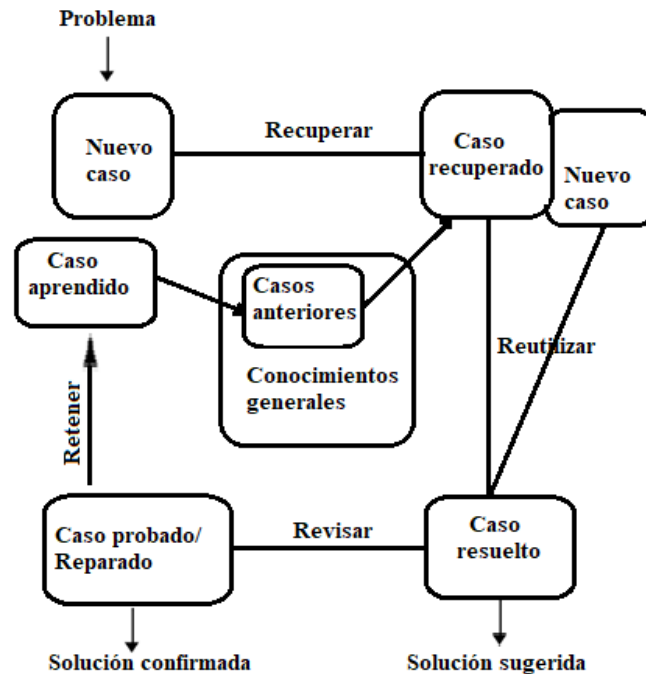


Figura 6. El ciclo del CBR
Fuente: Adaptado de (Aamodt & Plaza, 1994)

2.6.4 Modelo paramétrico

Un modelo de costos paramétrico es una herramienta extremadamente útil para la preparación de principios de estimaciones conceptuales cuando hay pocos datos técnicos o productos de ingeniería para proporcionar una base para el uso de métodos de estimación más detallados. Un modelo paramétrico es una representación matemática de las relaciones de costos provenientes de una previsible correlación lógica entre las características físicas o funcionales de una planta (o sistema de proceso) y su costo resultante. Una estimación

paramétrica comprende la estimación de costos relacionadas y otras funciones de la estimación paramétrica que proporcionan repetibles relaciones lógicas entre las variables independientes, tales como parámetros de diseño o las características físicas y la variable dependiente del costo.

Los modelos paramétricos suelen incluir diferentes variables independientes o factores, sin embargo, similares a los métodos de estimación, el método paramétrico depende de la recolección y análisis de datos de costos del proyecto con el fin de desarrollar las relaciones de la estimación (AACE, 2015).

El proceso de desarrollo de un modelo paramétrico en general, debe incluir los siguientes pasos:

1. Determinar el alcance del modelo de costos
2. Recopilación de datos
3. Normalización de datos
4. Análisis de datos
5. Aplicación de los datos
6. Pruebas
7. Documentación o memoria de cálculo.

2.6.5 Antecedentes de estudios de aproximación de costos de sistemas de tratamiento de aguas residuales

A nivel internacional se ha encontrado diversos estudios que han planteado diferentes modelos de costos de tratamiento de aguas residuales, todos en función del caudal. (Rodríguez et al., 2015) presentan una recopilación de modelos de comportamiento de costos de construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales, estos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7
Función de costos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en el mundo

Tecnología de Tratamiento	Función de costos	No. de datos	Límite de confiabilidad (L/s)	Coefficiente de correlación
Tratamiento secundario	$CI = 8988 * Q^{0.71}$	37	16.20-1388.9	0.908
Secundario avanzado y nitrificación	$CI = 2790 * Q^{0.84}$	11	34.7-173.6	0.938
Lodos activados	$CI = 0.0031 * Q^{0.881}$	6	115.7-289.3	0.979
Zanjón de oxidación	$CI = 0.0017 * Q^{0.910}$	8	11.6-902.8	0.604
Lagunas aireadas	$CI = 0.0143 * Q^{0.681}$	11	11.6-902.8	0.822
Lagunas de oxidación	$CI = 0.0004 * Q^{1.060}$	23	11.6-902.8	0.790
Tratamiento secundario convencional	$CI = 0.116 * Q^{0.954}$	9	NA	0.935
Aireación extendida mecánica	$CI = 0.206 * Q^{0.775}$	35	NA	0.829
Aireación extendida aire disuelto	$CI = 0.153 * Q^{0.727}$	32	NA	0.808
Tratamiento primario	$CI = 15.75 * Q^{0.684}$	NA	1-4000	1.000
Tratamiento secundario	$CI = 23.46 * Q^{0.763}$	NA	1-5000	1.000

CI en millones de dólares y Q en m³/s.

Fuente: Tomado y adaptado de (Rodríguez et al., 2015)

Los estudios de comportamiento de costos de construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8
Función de costos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en Colombia

Tecnología de tratamiento	Función de costos
Lagunas de estabilización	$CI = 41915593 * Q^{0.4019}$

UASB	$CI = 13974805 * Q^{0.8149}$
RAP	$CI = 43108293 * Q^{0.4243}$
Aireación extendida	$CI = 33826482 * Q^{0.8378}$
Tratamiento secundario	$CI = 2841 * Q^2 + 46830 * Q - 18.34$
Lodos Activados	$CI = 1.672.784 * Q^{0.33} * DBO^{2.18} * N^{0.18} * SST^{0.96} * P^{0.32}$
Tecnología de Reactor anaerobio	$CI = 248.263.192 * Q^{0.88} * DBO^{0.53} * N^{0.11} * SST^{0.30} * P^{0.03}$
Tecnología de lagunas de oxidación	$CI = 2.501.108.824 * Q^{0.59} * DBO^{0.28} * N^{0.65} * SST^{0.06} * P^{0.93}$

Fuente: Tomado y adaptado de (Rodríguez et al., 2015)

Por otra parte, estudios realizados por Salas-Quintero, Alberto-Zapata, & Guerrero, (2007) plantearon un modelo de costos para seis sistemas de tratamiento evaluados en la ciudad de Pereira los cuales analizaron los costos de construcciones de plantas de tratamiento en pequeñas localidades de la región, además el análisis de costos de mantenimiento de diferentes tecnologías.

En la Figura 7 se presenta lo resultados de esta investigación.

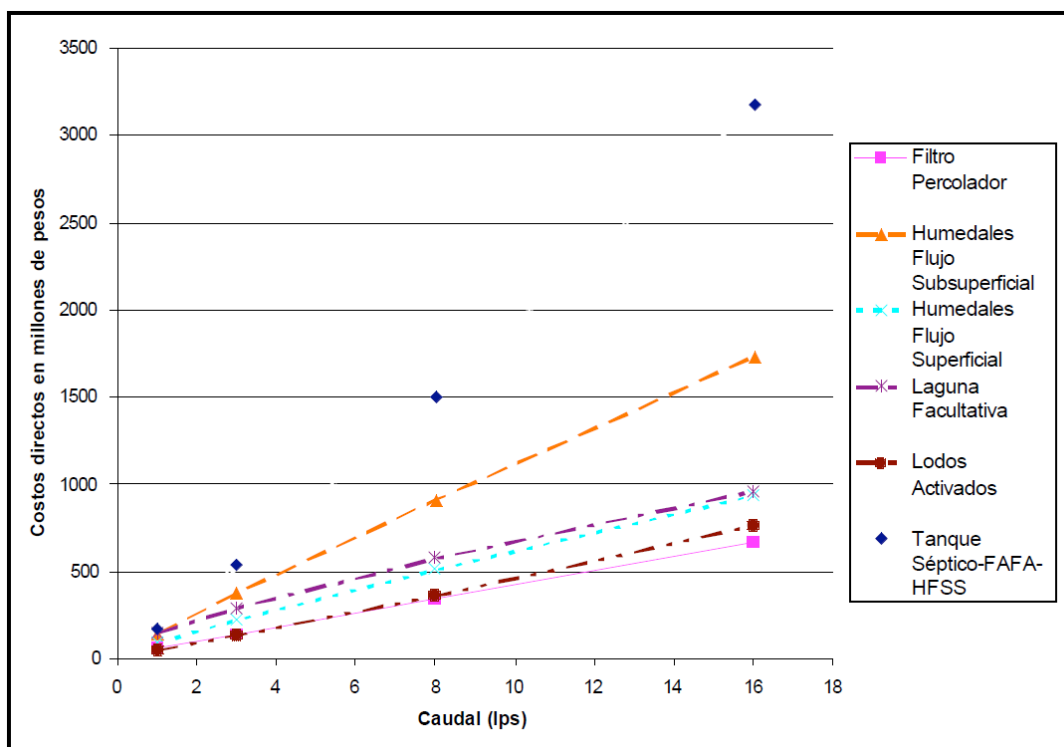


Figura 7. Costos de construcción de los sistemas de tratamiento de aguas residuales evaluados

Fuente: Salas-Quintero, Alberto-Zapata, & Guerrero, (2007)

2.6.6 Consideraciones Finales

Los modelos paramétricos y métodos de estimación de costos han sido ampliamente usados en diferentes sectores de la construcción, con el objetivo de disminuir esfuerzos en fases preliminares del proyecto, sin embargo no hay experiencias documentadas en el Valle del Cauca para obras de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas con tecnologías de Lodos Activados y UASB, y muy pocas a nivel nacional, por otra parte, no se tiene información más detallada en cuanto a los costos por componente de este tipo de obras.

Por lo anteriormente expuesto es importante contar con un modelo paramétrico de costos para la región, que pueda dar buenas aproximaciones y elementos para toma de decisiones desde el punto de vista económico de las tecnologías, y que se pueda usar en otras regiones del país con las limitaciones expuestas en el trabajo.”

3. Metodología de trabajo de grado

En la Figura 8 se presenta la secuencia metodológica para abordar el presente trabajo de grado.

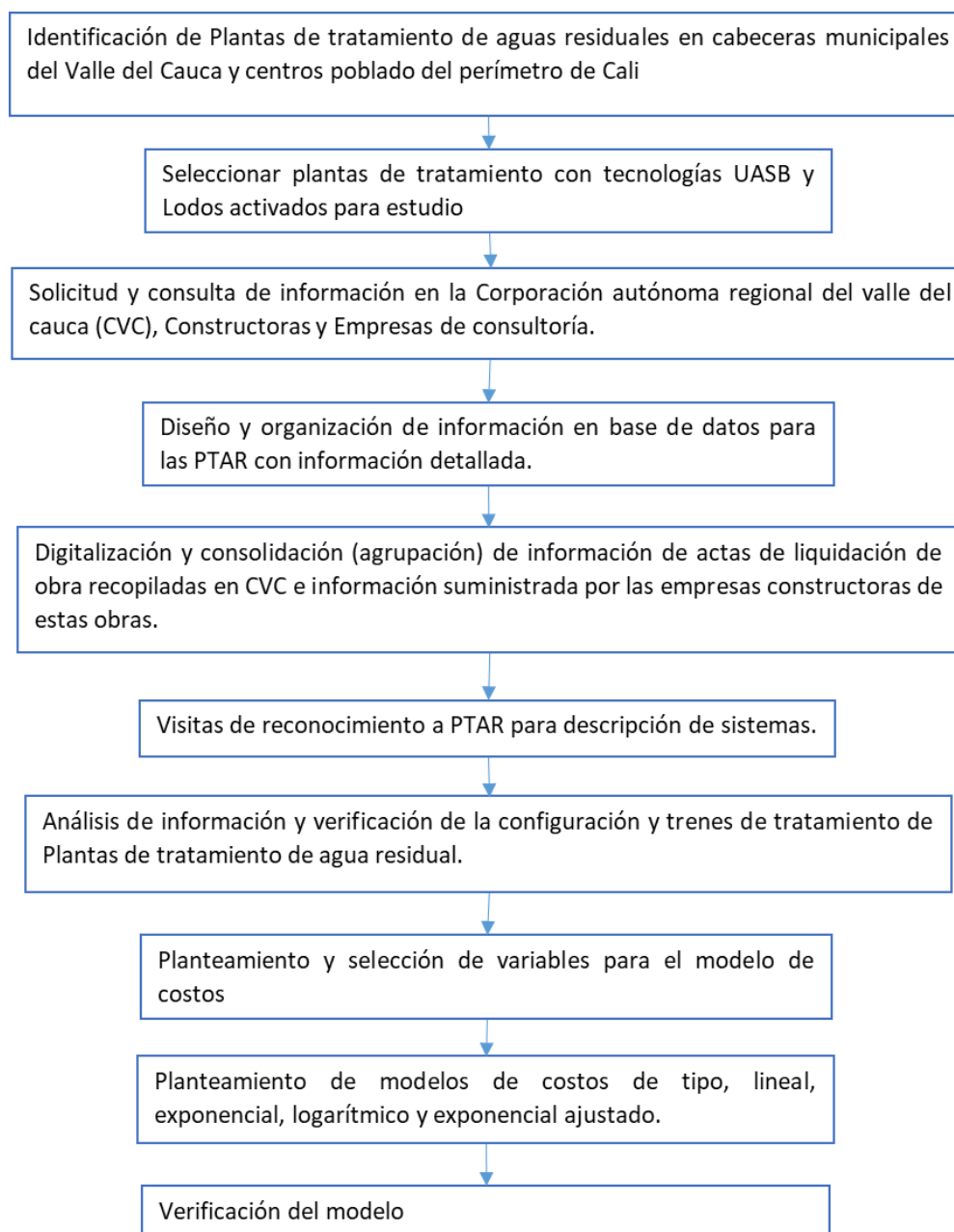


Figura 8. Secuencia metodológica

3.1 Identificación de Plantas de tratamiento de aguas residuales en cabeceras municipales del Valle del Cauca y centros poblados del perímetro de Cali.

Para identificar las plantas de tratamiento de agua residual, se revisaron diferentes fuentes. En primera instancia se contó con información base consignado en la tesis de maestría denominada “Tratamiento de aguas residuales municipales en el Valle del Cauca”, información que fue complementada con investigaciones directas en la Corporación Autónoma regional del Valle del Cauca, y completada con información suministrada por firmas constructoras de algunas de las plantas en la Zona de expansión del municipio de Santiago de Cali. Esta revisión de información permitió identificar los sistemas de tratamiento más importantes en el Valle del Cauca, relacionados con aguas residuales domésticas.

Como se mencionó en el literal 2.5 hay 16 plantas de tratamiento de aguas residuales en cabeceras municipales del Valle del Cauca, de un total de 42 municipios. Se han registrado además 10 plantas de tratamiento en centros poblados, correspondientes a desarrollos urbanos en el área metropolitana de Cali. Esta información fue consultada en la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Acuavalle, también se solicitó información a empresas privadas como constructoras en el Valle del Cauca y empresas de consultoría y construcción que ejecutaron estos proyectos.

Las plantas que se ha seleccionado corresponden a las construidas entre el año 1995 y 2020 con tecnología Lodos Activados y UASB. Con esta información se generó una base de datos sobre los costos directos.

3.2 Seleccionar plantas de tratamiento con tecnologías UASB y Lodos Activados para estudio

A partir de las identificaciones de las Plantas de tratamiento de agua residual en el Valle del Cauca, se logró constatar las tecnologías de tratamiento existentes, y de esta manera determinar el número de plantas por cada tecnología y seleccionar la muestra a estudiar.

3.3 Solicitud y consulta de información en la Corporación autónoma regional del Valle del Cauca (CVC), Constructoras y Empresas de consultoría.

Se consultaron los expedientes de los proyectos UASB ejecutados con la financiación de CVC. En estos se encontraron actas de avance de obra y actas de finalización, sin embargo, se encontró información muy dispersa y en algunos casos incompleta, encontrándose únicamente para las plantas denominadas D y E información detallada y completa, las plantas A y C se encontró actas del valor final del proyecto con sus respectivas memorias de diseño, manual de operación y planos, respecto a planta B, se consultó con la empresa de servicios públicos quien suministró la información respectiva incluyendo el costo de la obra, sin considerar costos desagregados. En cuanto a la información de Plantas de tratamiento con tecnología Lodos Activados fue suministrada directamente por los constructores de estos proyectos, para las 5 plantas en estudio.

3.4 Digitalización y consolidación de información de actas de liquidación de obra recopiladas en CVC e información suministrada por empresas privadas ejecutoras del proyecto.

Para la tecnología UASB se logró información detallada por componente, únicamente para dos plantas de tratamiento, para los tres restantes, se logró recopilar el costo final de la obra y soportes técnicos de memorias de diseños y manuales de operación. En cuanto a la

tecnología de Lodos activados se obtuvo cantidades de obra de manera general sin desagregar componentes, esto por parte de los constructores de estas plantas. Todos los datos recopilados se digitalizaron en Excel para realizar posterior diseño de base de datos y consolidación de información.

3.5 Visitas de reconocimiento y verificación de configuración de PTAR para descripción de sistemas.

Se realizaron visitas de campo para 8 de los 10 proyectos estudiados, los dos restantes no fue posible coordinar la visita por la coyuntura del COVID-19 que afronta el país. Se pudo constatar especialmente cada una de las unidades que componen el sistema de tratamiento, de la misma manera, validar el tren de tratamiento construido, así como también obtener información de la infraestructura que se encontraba reportada en actas y memorias para realizar su descripción.

Se recopiló información de las plantas de tratamiento construidas con Tecnología UASB y las plantas de tratamiento de tecnología Lodos Activados. En este apartado se describió la población servida (caudal de tratamiento), funcionamiento de cada planta, configuración del sistema, tipo de materiales empleados en la construcción, condiciones del contexto relacionadas con topografía, disponibilidad de energía, obras complementarias como vías internas, Casetas de control, dotación de laboratorio etc.

3.6 Diseño y organización de información en base de datos para las PTAR con información detallada.

Para realizar un análisis exhaustivo de los costos de construcción de una Planta de tratamiento de agua residual, se procedió a la clasificación de cada costo en un subgrupo, denominado componente PTAR, el cual está asociado a las unidades de acuerdo a los

procesos de este tipo de obra. Finalmente, se sistematiza un grupo principal llamado agrupación componente que reúne los componentes principales o tren de tratamiento en razón a que describe la línea de proceso hidráulica.

3.7 Planteamiento y selección de variables para el modelo de costos

Para seleccionar las variables se llevaron a cabo los siguientes procesos:

- Identificación de las variables independientes: Se analizaron variables como caudal (L/s), DBO5 (mg/L), DQO (mg/L), Temperatura (°C), Nivel de tratamiento, Tipo de suelo, Inundabilidad y Accesibilidad.
- Análisis de cada variable
- Correlación de variables y costos. El Análisis de correlación se realizó a partir de la Ecuación No. 1

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

- Selección de variable

3.8 Planteamiento de modelos de costos de tipo, lineal, exponencial, logarítmico y exponencial ajustado.

Una vez determinada la variable de caudal como independiente y el costo como variable dependiente, se procedió a organizar un resumen para realizar los siguientes procedimientos.

Normalización de costos. Los costos de obra de cada proyecto están dados entre los años 2000 y 2020, por lo cual fue necesario traer los costos al valor en pesos del año 2020. Este procedimiento se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Costos}_{2020} = \frac{\text{Costo PTAR}_{\text{Año}X1}}{\$ SMLMV_{\text{Año}X1}} * \$ SMLMV_{\text{Año}2020} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para realizar este procedimiento se consultó fuentes confiables de los datos históricos de la evolución del Salario mínimo en Colombia.

Costos perca pita: Una vez traídos todos los costos al año 2020, se procedió a determinar los costos per cápita por medio de la ecuación 3.

$$\text{Costo Per cápita} = \frac{\text{Costo PTAR}_{\text{Año}X1}}{\text{Población Servida}_{(hab)}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Costos por componente: Se realizó un trabajo de organización de la información en la base de datos en Excel, la cual consistió en identificar y agrupar de acuerdo al componente que corresponda según el proceso hidráulico de la PTAR de cada tecnología, de acuerdo a la Tabla 9.

Tabla 9
Componentes principales PTAR Lodos activados y UASB

Ítem	Unidad o Componente
Componentes Tecnología de Lodos Activados	Pozo de bombeo y Cámara o canal de Aproximación
	Tratamiento preliminar
	Tanque de aireación
	Sedimentador Secundario
	Tanque contacto de cloro
	Lechos de secado
	Conexiones entre unidades
	Obras eléctricas
	Caseta de operación
Sedimentador Primario	
Componentes Tecnología UASB	Caseta de operaciones
	Ductos interconexión sistema
	Lechos de secado
	Instalaciones eléctricas
	Pozo de bombeo y canal de entrada
	Preliminares
	Sedimentador

Ítem	Unidad o Componente
	REACTOR UASB
	Desarenador - Trampa de grasa
	Percoladores
	Urbanismo-Obras complementarias

Fuente: Elaboración propia

Regresión lineal simple. Usando las funciones de Excel de Análisis de datos y de regresión, se obtuvo la estadística de regresión y análisis de varianza.

Regresión lineal exponencial. Esta regresión es el ajuste (por el método de mínimos cuadrados) a una curva y se obtuvo a partir de las Ecuaciones 4 a 7.

$$Y = Ae^{Bx} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$B = \frac{(n(\Sigma xy') - (\Sigma x)(\Sigma y'))}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$A' = \bar{Y}' - B\bar{x} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$A = \ln A' \quad \text{Ecuación 7}$$

Regresión lineal logarítmica. Es el ajuste (por el método de mínimos cuadrados) a una curva y se usó las Ecuaciones 8 a 10.

$$Y = a + b \ln x \quad \text{Ecuación 8}$$

$$B = \frac{(n(\Sigma x'y) - (\Sigma x')(\Sigma y))}{n(\Sigma x'^2) - (\Sigma x')^2} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$A = \bar{y} - B\bar{x}' \quad \text{Ecuación 10}$$

3.9 Planteamiento de ecuación exponencial ajustada

Para realizar el procedimiento matemático se graficó los puntos del costo Vs Caudal para las 5 plantas y por cada tecnología, posteriormente se buscó una ecuación de la siguiente forma:

$$\text{Costo} = aQ + bQ^{k-\log(Q)} \quad \text{Ecuación 11}$$

Una vez definida la estructura de los costos y su relación con las diferentes variables, se procedió a seleccionar la ecuación matemática para describir el sistema. Esta ecuación, que

relaciona las variables dependientes e independientes cuenta con parámetros que le permiten reproducir adecuadamente el fenómeno. Para determinar los parámetros se tomaron los datos de costos de las diferentes plantas de tratamiento y se procedió a determinar el grupo de parámetros a , b y k , que permitían el mejor ajuste del modelo a los datos. Si se asume que el modelo es correcto, cualquier desviación de este es considerado como error.

Una elección común para la determinación de los parámetros es minimizar el error cuadrado promedio. Existen diferentes técnicas para buscar la solución óptima en este tipo de problemas, varias de ellas están implementada en Excel. La más común, aunque se debe utilizar con precaución, es la Reducción de Gradiente Generalizada no Lineal, la cual evalúa la pendiente de la función objetivo (en este caso el error cuadrado promedio) y determina que se ha logrado la solución óptima cuando la derivada parcial es igual a cero.

3.10 Verificación del modelo

Para verificar el desempeño del modelo, al momento de estimar los costos se seleccionó un dato, dado el número reducido con el que se contaba para el desarrollo del modelo, se seleccionó de forma aleatoria y fue extraído de la base de datos para utilizarlo posteriormente en la determinación del % de error del modelo frente a este dato.

4. Resultados

Se presentan los principales resultados de la descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales estudiadas, identificando sus trenes de tratamiento y sus componentes principales. A partir de esta información se plantea una discriminación de costos por componente de las tecnologías de Lodos activados y UASB. A los datos resultantes se les ajustan 4 modelos matemáticos diferentes: lineal, exponencial, logarítmica y exponencial ajustado, para cada una de las tecnologías. Para cada modelo se realiza la respectiva verificación para determinar la confiabilidad. La base de datos utilizada en el estudio se presenta en los anexos.

4.1 Descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales construidas - Lodos Activados y UASB.

En el Valle del Cauca las tecnologías más utilizadas para garantizar un tratamiento de aguas residuales son los tratamientos biológicos anaerobios como reactores UASB, tratamientos biológicos aerobios con sistemas de Lodos Activados, y Lagunas de estabilización. En este capítulo se describe brevemente el tren de tratamiento de diez (10) plantas que operan en el Valle del Cauca, cinco (5) con sistemas de lodos activados y cinco (5) con reactores UASB.

4.1.1 Plantas de tratamiento con tecnología de Lodos Activados.

En la Tabla 10 se presenta el caudal medio de diseño de las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) con sistemas de lodos activados que serán objeto del presente trabajo.

Tabla 10
Plantas de tratamiento con sistemas de lodos activados

Parámetro	Unidad	A	B	C	D	E
Caudal medio de diseño (Qd)	L/s	1,3	1,7	7,8	12	13,8
Demanda bioquímica de oxígeno (BDO5)	mg/L	200	300	350	300	350
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	500	560	500	560
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	300	200	350	300	350
Nitrógeno total	mg/L	-	20	20	20	20
Temperatura media del ARD (T)	°C	-	-	23	-	25

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se esquematiza el tren de tratamiento general de las plantas que utilizan la tecnología de lodos activados aireación extendida.

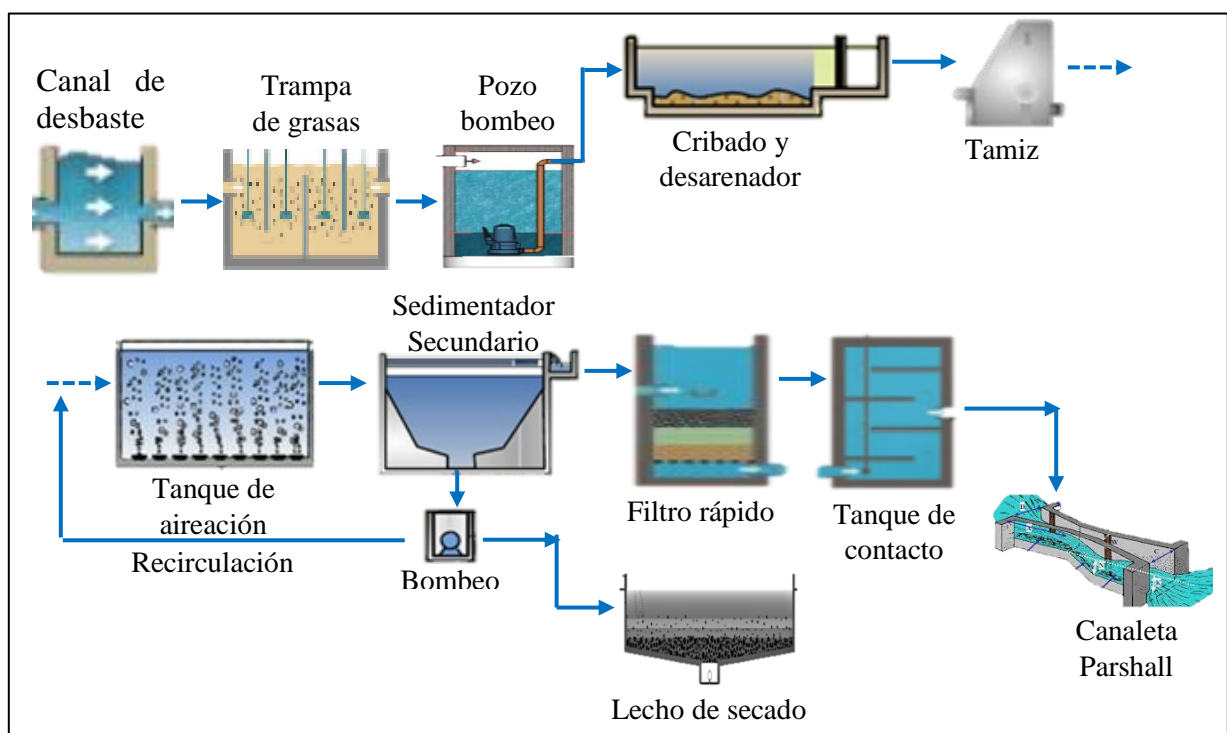


Figura 9. Tren de tratamiento de plantas con tecnologías de sistemas de lodos activados

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.1 PTARA

En la Figura 10, se muestra la Planta de Tratamiento de Agua Residual Doméstica (PTARD) denominada A. Esta se ubica en el municipio de Jamundí - Valle del Cauca, sobre

la Vía Panamericana. La zona donde se ubica la planta presenta una topografía plana con una altitud entre los 957 y 964 msnm (SOS Ambiental Ingeniería SAS, 2019a).

La planta de tratamiento posee una tecnología de Lodos Activados aireación convencional y está diseñada para tratar un caudal medio de agua residual doméstica de 7,8 L/s proveniente del alcantarillado sanitario que recolecta el agua residual de aproximadamente 1.375 viviendas y una densidad poblacional de aproximadamente 4.813 habitantes (SOS Ambiental Ingeniería SAS, 2019a).



Figura 10. Vista aérea de las unidades de tratamiento

Fuente: Propia

Tratamiento preliminar

- Canal de desbaste: Esta estructura recibe el agua proveniente del alcantarillado sanitario. En esta se ubica una canastilla en acero inoxidable por medio de la cual los sólidos más gruesos que llegan a la planta son retirados.
- Trampa de grasas y aceites (G y A): Esta unidad fue diseñada para un caudal máximo horario (QMH) de 63,7 L/s, posee un volumen de 18,6 m³ y tres baffles por los que se controla el paso del agua y remoción de las G y A.

- Pozo de bombeo: Esta unidad cuenta con un volumen de $12,8 \text{ m}^3$ para elevar el agua hacia las etapas de pretratamiento posteriores. En esta operan tres equipos de bombeo sumergibles, uno con capacidad para un caudal de 24 L/s y los otros dos para $39,7 \text{ L/s}$.

En la Figura 11, se presenta una vista aérea de la unidad compacta construida en concreto, con sus respectivas divisiones para separar los componentes de canal de desbaste, trampa de grasas y pozo de bombeo, y sus respectivas conexiones hidráulicas.



Figura 11. Canal de desbaste, Trampa de grasas, Pozo de bombeo

Fuente: Propia

- Rejillas y Desarenadores: El cribado y desarenado es realizado en una estructura compacta de fibra de vidrio. El agua residual es recibida en un canal de aproximación y se distribuye hacia dos (2) unidades de rejillas medias y finas y posteriormente a dos (2) desarenadores. Estas unidades están diseñadas para soportar cada una el caudal máximo de diseño ($63,7 \text{ L/s}$) y cada línea posee un ancho de $0,85 \text{ m}$, una longitud de 4 m y una profundidad útil de $0,25 \text{ m}$. (Ver Figura 12, izq.)
- Cámara de distribución de caudales (Cadica): La cadica, diseñada para un QMH, distribuye el caudal de forma equitativa a un (1) sedimentador primario. (Ver Figura 12, der).



Figura 12. Canal de aproximación hacia unidades de rejillas (izq.); Cadica (der.)

Fuente: Propia

Tratamiento primario

En esta etapa de tratamiento la planta cuenta con un (1) sedimentador primario circular por medio del cual se retiran los sólidos sedimentables de menor tamaño que no se lograron remover en el tratamiento preliminar. Cada sedimentador está diseñado con un caudal de 7,8 L/s y posee un volumen de 45 m³ (SOS Ambiental Ingeniería SAS, 2019a).

La Figura 13 muestra un sedimentador primario de geometría circular con vertederos triangulares y cono central, que permite la alimentación y recolección del agua sedimentada.



Figura 13. Sedimentador primario

Fuente: Propia

Tratamiento secundario: Sistema de lodos activados convencional

El tratamiento secundario de la PTAR consta de: un (1) tanque de aireación rectangular con capacidad para un caudal de 671 m³/d y 159 m³ (Ver Figura 14, arriba). Este es aireado por medio de difusores de burbuja fina. El efluente de los reactores llega a un (1) sedimentador secundario rectangular con un área de 27,96 m² (Ver Figura 14, abajo) y el

lodo generado en esta estructura pasa a una columna (Ver Figura 14, izq) el cual es bombeado o recirculado según condiciones de operación (SOS Ambiental Ingeniería SAS, 2019a).

Gestión de residuos

Una parte del lodo producido en el proceso de tratamiento secundario se purga hacia digestores anaerobios, en los cuales se estabiliza el lodo y luego se llevan a los lechos de secado para completar su deshidratación. El biogás generado en la digestión anaerobia, se conduce a un filtro biológico donde se remueven las partículas generadoras de olores.



Figura 14. Columna de lodos (izq.); Tanque de aireación (arriba); Sedimentador secundario (abajo)

Fuente: Propia

4.1.1.2 PTAR B

La PTAR denominada B, se ubica en el área de expansión Urbana, Corredor Cali – Jamundí; en el sector de Bochalema. A una elevación de 957 y 958 msnm (SOS Ambiental Ingeniería SAS, 2019b).

La tecnología de tratamiento es un sistema de lodos activados de aireación extendida.

Está diseñada para un caudal medio de 13.38 L/s.

Tratamiento preliminar

- Trampa de grasas: Después de pasar por un canal con su canastilla de desbaste para la retención de sólidos, pasa por una trampa de grasas y aceites diseñada con el caudal máximo (100,40 L/s). Esta unidad posee un volumen de 30,10 m³.
- Pozo de bombeo: El pozo de bombeo con un volumen de 24 m³, posee dos equipos de bombeo funcionando y se tendrán dos adicionales para evacuar el agua residual proyectado a futuro.

La Figura 15 se presenta una unidad construida en concreto con 3 compartimientos, el Compartimiento No. 1 corresponde al canal de aproximación, el No. 2 a la trampa de grasas y No. 3 al pozo de bombeo.



Figura 15. Canal de desbaste (der.); Trampa de grasas (Izq.)

Fuente: Propia

- Cribado y desarenadores: La PTAR posee una estructura compacta compuesta por un canal de aproximación, dos sistemas de rejillas medias y finas y dos desarenadores con capacidad de tratar cada uno el caudal máximo de diseño.
- Cadica: Por medio de la cadica circular se distribuye el agua hacia el tamiz estático.
- Tamiz estático: Actualmente la planta posee un (1) tamiz estático diseñado con un caudal medio de 13,38 L/s.

La Figura 16 presenta de manera más detallada la unidad de Pozo de bombeo y a la derecha se presenta la unidad denominada Tamiz estático.



Figura 16. Pozo de bombeo (izq.) y Tamiz estático (der.)

Fuente: Propia

Tratamiento secundario: Sistema de lodos activados con aireación extendida

El proceso biológico se realiza en un (1) reactor biológico o tanque de aireación que está diseñado para un caudal de 13,38 L/s. Este posee un volumen de 782 m³ (Ver Figura 17, izq.)

La unidad de sedimentación tiene forma circular y está diseñado con el caudal medio. Esta unidad ocupa un área de 57,05 m² (Ver Figura 17, der.).



Figura 17. Estructuras de tratamiento secundario: Tanque de aireación (izq.) y Sedimentador secundario (der.)

Fuente: Propia

Tratamiento terciario

- Filtro rápido: La PTAR posee un (1) filtro rápido de lecho mixto de grava y arena. Tiene la capacidad de tratar el caudal medio (13,38 L/s) y trabaja a una tasa superficial de 187,5 m³/m²d.

- Tanques de contacto: La desinfección se realiza en un (1) tanques de contacto de peróxido. Este tanque tiene capacidad de 36,98.

Gestión de residuos

En la Tabla 11 se describen las estructuras utilizadas en la gestión de residuos.

Tabla 11
Descripción de las estructuras para la gestión de los residuos

Estructura	Número de unidades	Descripción
Lechos de arena	3	La arena sedimentada en los desarenadores es depositada en lechos para su posterior disposición.
Lechos de secado	4	Cada lecho tiene una capa de grava gruesa (45 cm), una capa de arena (25 cm) y una capa de ladrillos.

Fuente: Manual de operación y mantenimiento PTAR B (2020)

Medición de caudal

El efluente de la PTAR pasa por una canaleta parshall de 9 pulgadas para medir el caudal tratado antes de ser vertido en el canal receptor.

4.1.1.3 PTAR C

La PTAR denominada C y presentada en la Figura 18, está ubicada en la vía Panamericana Cali-Jamundí, a una elevación de 961 msnm, está diseñada para un caudal medio de 24 L/s y un caudal máximo de 66 L/s producidos por aproximadamente 13.685 habitantes (Biota Ingeniería SAS, 2019). Esta planta está diseñada para un crecimiento en 4 módulos de 6L/s, y a la fecha se encuentran construidos 2 módulos para un total de 12L/s.



Figura 18. PTAR C

Fuente: Propia

Tratamiento preliminar

- Pozo de inspección: El agua proveniente del alcantarillado llega primeramente a un pozo de inspección donde se ubica una canastilla que retiene los residuos sólidos que pueden obstruir las bombas sumergibles.
- Pozo de bombeo: El pozo está diseñado para un caudal de 77,3 L/s y posee un volumen de 23,2 m³, el cual cuenta con dos bombas sumergibles.
- Canal de cribado y aforo: El cribado y aforo se realiza en una estructura compacta compuesta por una canaleta Parshall y dos sistemas de rejillas medias y finas diseñadas con un caudal de 77,33 L/s.
- Tanque de igualación: La planta posee un tanque para amortiguar y homogeneizar los picos de caudal y cargas que ingresan al sistema. Este está diseñado con el caudal medio y tiene un volumen de 172,8 m³ y un área de 66 m².
- Tamiz estático: Este equipo con capacidad de 6 L/s, construido en acero inoxidable con orificios de malla de 0,75 mm, impide el paso de sólidos mayores que puedan interferir en la degradación de materia orgánica disuelta en el reactor (Baying SAS, 2015).

En la Figura 19 se presenta algunas unidades correspondientes al tratamiento preliminar, específicamente rejillas gruesas, finas, canastilla desbaste y tamiz.



Figura 19. Estructuras del pretratamiento: Canastilla en pozo de inspección (izq.); canal de cribado y aforo (centro); Tamiz estático (der.)

Fuente: Manual de operación y mantenimiento PTAR C (2017)

Tanque de homogenización

La planta cuenta con dos (2) tanques de homogenización con capacidad útil total de 172 m³ cada uno, construidos en concreto reforzado impermeabilizado.

Para el suministro de oxígeno se cuenta con un soplador y difusores de burbuja gruesa en el fondo del tanque para prevenir sedimentación de sólidos, inhibir condiciones anaerobias y generación de olores ofensivos.

Tratamiento secundario (Sistema de lodos activados con aireación extendida)

- Tanque de aireación: Cada reactor biológico de lodos activados está construido en concreto reforzado y tiene con una capacidad útil de 435 m³ (Ver Figura 20) para tratar un caudal de 6 L/s cada línea. Para el suministro de aire se encuentra instalado en el fondo del tanque una red con 48 difusores de burbuja fina tipo disco de 12”.



Figura 20. Tanque de aireación vista superior e interior

Fuente: Manual de operación y mantenimiento PTAR C (2017)

- Sedimentador secundario: El efluente del reactor aerobio es conducido a un sedimentador rectangular construido en lámina de acero al carbón con un volumen útil de $47,5 \text{ m}^3$, (Ver Figura 21) con capacidad para recibir 6 L/s. La recirculación de lodos se realiza con una bomba sumergible.



Figura 21. Sedimentador secundario

Fuente: Manual de operación y mantenimiento PTAR C (2017)

Tratamiento terciario

- Cámara de contacto de cloro: El agua clarificada en el sedimentador secundario pasa por gravedad a una cámara de contacto para desinfección, con un volumen de $29,53 \text{ m}^3$ (Ver Figura 22) que cuenta con capacidad para recibir 24 L/s.



Figura 22. Tanque de contacto de cloro

Fuente: Manual de operación y mantenimiento PTAR Ciudad C (2017)

Gestión de residuos

Lechos de secado: Los lodos en exceso generados en el reactor biológico y el sedimentador secundario son purgados y enviados hacia el sistema de deshidratación de lodos por lechos de secado, compuesto por dos celdas rellenas con grava y arena, donde se permite la acumulación de lodos en la superficie del lecho filtrante con un área de 10,37 m³.

4.1.1.4 PTAR D

La planta de tratamiento de agua residual (PTAR) denominada D, se encuentra ubicada en el sur de la ciudad de Cali a una altitud de 1.000 msnm con temperaturas entre 20 y 25 °C (SOS Ambiental Ingeniería SAS, 2019c).

El agua residual llega a la PTAR por medio de un sistema de alcantarillado sanitario de los proyectos urbanísticos mencionados.

Tratamiento preliminar

- **Pozo de bombeo:** El pozo de bombeo consiste en un tanque en concreto donde se almacena el agua residual para ser impulsada hacia el tratamiento preliminar mediante dos bombas sumergibles trituradoras.
- **Cribado:** El canal de rejillas es una estructura en poliéster recubierto en fibra de vidrio (PRFV) compuesto por un sistema de rejillas gruesas y finas.

- Desarenador: La planta posee dos desarenadores que pueden trabajar en juntos o de manera independiente, por lo que cada uno está diseñado para tratar el caudal medio de diseño. Los desarenadores poseen un ancho de 0,50 m y una longitud de 2,0 m.
- Trampa de grasas: La trampa de grasas de la PTAR trata el caudal máximo horario que entra al sistema (2,5 L/s). Esta unidad tiene un volumen de 0,45 m³.

En la Figura 23 se muestra una unidad compacta construida en Poliester reforzado en fibra de vidrio con el cribado, desarenador y trampa de grasas.



Figura 23. Tanque de tratamiento preliminar (izq.); Trampa de grasas (der.)

Fuente: Manual de operación y mantenimiento de PTAR D (2017a)

Tratamiento secundario (Lodos activados con aireación extendida)

- Tanque de aireación: El reactor biológico posee un volumen de 98,28 m³. La aireación es a través de difusores de burbuja fina (Ver Figura 24, arriba).
- Sedimentador secundario: El sedimentador circular posee un diámetro de 4,5 m y una profundidad útil de 3,1 m, donde se clarifica el agua tratada en el tanque de aireación (Ver Figura 24, abajo).

Tratamiento terciario

- Filtros rápidos: La planta tiene dos (2) módulos de filtros rápidos, por cada uno se trata un caudal de 3 L/s. Cada filtro ocupa un área de 2,16 m².

- Tanque de contacto de cloro: Para realizar la desinfección al agua tratada, en la planta posee un tanque de contacto de cloro con un volumen de 2,69 m³.



Figura 24. Tanque de aireación (arriba.) y Sedimentador secundario (abajo.)

Fuente: Manual de operación y mantenimiento de PTAR Pance (2017a)

Medición de caudal

- Canaleta Parshall: El efluente de la planta de tratamiento pasa por una canaleta parshall donde es medido para determinar la cantidad de agua tratada por el sistema (Ver Figura 25)



Figura 25. Canaleta parshall y Tanques de contacto de cloro al fondo

Fuente: Propia

Gestión del residuo

- **Lechos de secado:** El lodo producido en el sistema de lodos activados se lleva a tres (3) lechos de secado en mampostería con techo en teja plástica, para su deshidratación, acondicionamiento y disposición.

4.1.1.5 PTAR E

La PTAR denominada E, trata el agua residual de 500 viviendas de la urbanización ubicada en el municipio de Jamundí.

La planta tratamiento está diseñada para un caudal medio de 5,16 L/s y un caudal máximo de 6,24 L/s, (Consultores Ambientales Ltda, 2007). Actualmente se encuentra construida una línea de 1.3 L/s, de las cuatro (4) líneas proyectadas.

El agua residual llega por medio del alcantarillado sanitario a una estructura de entrada. De esta pasa por gravedad al tanque de aireación, unidad donde comienza el tratamiento. Los flocs ingresan al tanque de sedimentación y por bombeo se retiran los lodos resultantes del proceso de lodos activados. El efluente pasa a un proceso de desinfección y es descargado al Zanjón El Rosario. A continuación, se detalla cada unidad que conforma el tren de tratamiento (Consultores Ambientales Ltda, 2007).

- **Pozo de succión:** Esta diseñado con un caudal de 8,7 L/s y posee un volumen de 5,25 m³. En este se encuentran dos (2) bombas centrífugas sumergibles con capacidad de 3,00 L/s.
- **Tanque de aireación:** Tiene un área superficial de 12,25 m² y un volumen útil de 43 m³. El suministro de oxígeno se efectúa por medio de un aireador superficial (Ver Figura 26, izq.).
- **Tanque de sedimentación:** En el tanque sedimentador rectangular, con un área superficial de 7,35 m² y un volumen de 22,05 m³, se clarifica el agua proveniente del tanque de

aireación. Por medio de dos (2) bombas se recirculan y purgan los lodos hacia el reactor y a los lechos de secado respectivamente.

- Lechos de secado: Los lodos de exceso se depositan en cuatro (4) lechos de secado formados por capas de grava y arena. Cada lecho ocupa un área de 40,00 m² (Ver Figura 26, der.).
- Tanque de contacto de luz UV: La desinfección es el último proceso que se realiza en la PTAR. Esta se hace con irradiación ultravioleta, por medio de lámparas de mercurio.



Figura 26. Tanque de Aireación (izq) y Lechos de secado (der)
Fuente: Propia

4.1.2 Plantas de tratamiento Tecnología UASB

En la Tabla 12 se presenta los caudales medios de diseño para las plantas de tratamiento con tecnologías UASB de cinco municipios del Valle del Cauca.

Tabla 12
Caudales de diseño de las Plantas de tratamiento con sistemas UASB

Parámetro	Unidad	A	B	C	D	E
Caudal medio de diseño (Qd)	L/s	22,6	27	50	92,6	127
Demanda bioquímica de oxígeno (BDO5)	mg/L	297	450	404,2	148	287
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	455	799	667,2	283,4	-
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	150	325,5	359,2	184	297

Nitrógeno total	mg/L	-	38,7	50,9	-	
Temperatura media del ARD (T)	°C	22		26	22	23

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 27 se esquematiza el tren de tratamiento general de las plantas que utilizan reactores UASB. Cabe señalar que cada planta tiene su particularidad, lo cual se ve reflejado en la disposición de las unidades en el pretratamiento.

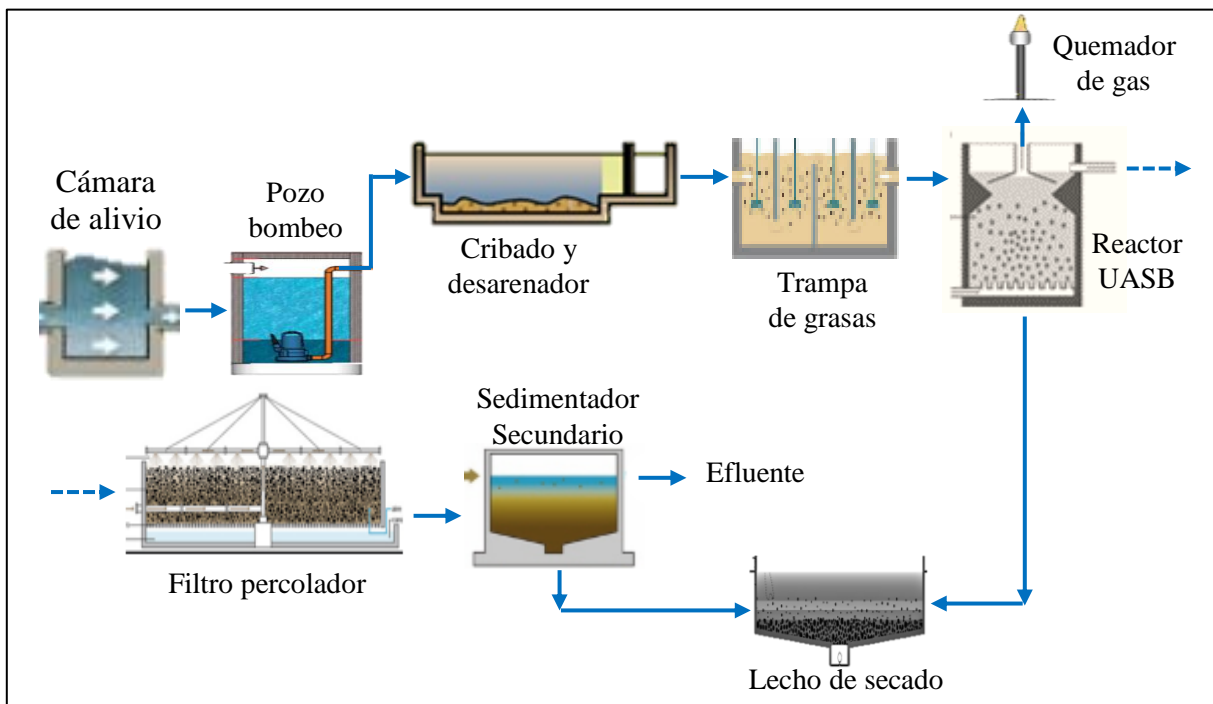


Figura 27. Tren de tratamiento de plantas con reactores UASB

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1 PTAR A-Municipio de Restrepo

La planta del municipio de Restrepo fue diseñada con un caudal medio de 22,6 L/s y un caudal máximo horario de 40,2 L/s con un periodo de diseño de 10 años. En esta se trata el agua residual municipal que llega a la PTAR por medio de un alcantarillado combinado (CVC, 1999).

A continuación, se describe las unidades que conforman el tren de tratamiento de esta planta.

Tratamiento Preliminar

El agua residual llega primeramente a un canal o estructura de alivio en el cual se encuentra un bypass hacia la fuente receptora. El efluente de la estructura de alivio pasa a un canal donde se encuentra una rejilla gruesa (Ver Figura 28) y luego a un pozo de bombeo (Ver Figura 29) que alimenta los desarenadores. La planta tiene dos desarenadores, dos conjuntos de rejillas finas y unos atrapa fibras. El material flotante se retiene en una trampa de grasas y el efluente es conducido a un pozo de bombeo que conduce el agua hacia un (1) reactor UASB.



Figura 28. Rejilla gruesa

Fuente: Propia



Figura 29. Tanque bombeo No.1 (izq.); desarenador (der.)

Fuente: Propia

Tratamiento Primario:

El reactor anaerobio presentado en la Figura 30, de la PTAR de Restrepo tiene tres (3) campanas centrales y dos (2) laterales. Posee un volumen útil de 704 m^3 y el caudal de diseño es de 24 L/s .



Figura 30. Reactor UASB

Fuente: Propia

Tratamiento Secundario

El efluente del reactor UASB pasa a un (1) filtro percolador circular con un área útil de $33,12 \text{ m}^2$ (Ver Figura 31) y luego se dirige a dos sedimentadores con área útil de 2 m^2 cada uno.



Figura 31. Filtro percolador (izq.); decantadores secundarios (der.)

Fuente: Propia

Gestión de residuos

- Lechos de secado: Los lodos producidos en los diferentes procesos son conducidos a tres lechos de secado. Cada uno con un volumen de $6,36 \text{ m}^3$. El agua de los lodos que se filtra

en el lecho es conducida al segundo pozo de bombeo para ser reincorporada al tratamiento.

- El metano y los demás gases que son producidos en el proceso anaerobio son conducidos a una TEA donde son incinerados.

4.1.2.2 PTAR B- Municipio de Riofrío

La planta se diseñó para tratar el agua residual del municipio de Riofrío. Posee la capacidad para tratar un caudal medio de 27 L/s.

El tren de tratamiento consiste en: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario, estación de bombeo y lechos de secado de lodos (Vivas, n.d.-a).

Tratamiento preliminar

- Estructura de alivio: La estructura de alivio se diseñó para evitar que el exceso de flujo llegue hasta el sistema de tratamiento. El tipo de estructura es de vertedero frontal.
- Estación de bombeo: El pozo de succión del sistema tiene un volumen de 45,40 m³. Cada bomba opera con un caudal igual a 27 L/s.
- Rejilla fina: La retención de sólidos se realiza por medio de una rejilla fina diseñada para un flujo máximo de 43,5 L/s.
- Desarenadores: La planta posee dos (2) unidades de desarenación. Cada desarenador está diseñado con un caudal máximo de 22 L/s. Estos tienen una longitud de 4,5 m y un ancho de 0,6 m cada uno.
- Trampa de grasas: Las grasas y aceites provenientes del sistema de alcantarillado, se retienen en una (1) trampa de grasas con un volumen de 4,86 m³.

En la Figura 32 se presenta la unidad en concreto reforzado donde se encuentran todos los componentes del tratamiento preliminar, a excepción del pozo de bombeo.



Figura 32. Estructura de entrada a la planta (izq.); desarenador (der.)

Fuente: Propia

Tratamiento primario

- Reactor UASB: La planta posee dos (2) reactores, cada uno con un volumen de 389 m^3 . El flujo por cada unidad es de $13,5 \text{ L/s}$ y para mejorar la retención de sólidos, tienen una zona de sedimentación acelerada.

Tratamiento secundario

- Filtro percolador: Los dos (2) filtros percoladores, con capacidad cada uno para un caudal medio de $13,5 \text{ L/s}$, tienen un área de $23,04 \text{ m}^2$ (Ver Figura 33).
- Sedimentadores secundarios: Los sedimentadores secundarios poseen un área superficial de sección cuadrada de $21,17 \text{ m}^2$ y cada uno trata un caudal máximo de $21,75 \text{ L/s}$.



Figura 33. Filtro percolador

Fuente: Propia

Gestión de residuos

- Lechos de secado de arena: El sobrenadante de los desarenadores es recirculado hacia la estación de bombeo y las arenas, evacuadas hacia lechos de secado de arena.
- Producción de gas: El biogás producido en el proceso anaerobio es quemado en una TEA.
- Lodos secundarios: Los lodos de los sedimentadores pasan a una cámara común desde donde son bombeados a los lechos de secado.
- Lechos de secado: Los cuatro (4) lechos de secado reciben los lodos provenientes de los reactores UASB y de los sedimentadores secundarios.

4.1.2.3 PTAR C- Municipio de Calima Darién

La planta de tratamiento de agua residual de Calima-Darién, se diseñó para un caudal de agua residual doméstica correspondiente a 50 L/s. El agua residual proviene del sistema de alcantarillado de la localidad (Vivas, n.d.-b).

El tren de tratamiento de la planta del municipio de Calima Darién está compuesto un tratamiento preliminar, tratamiento primario, secundario y estructuras para la gestión de residuos y de medición.

Tratamiento preliminar

- Estructura de alivio: En esta se controla la entrada de agua residual al sistema de tratamiento mediante un bypass ubicado en esta.
- Estación de bombeo: La estación de bombeo cuenta con tres bombas sumergibles de trabajo alternado, cada una trabaja con un caudal de 25 L/s a una altura de 9,5 m para elevar el agua hasta los desarenadores. Esta estructura posee un volumen de 45,40 m³.
- Rejilla fina: En el canal de ingreso a los desarenadores se encuentra una rejilla fina diseñada para un flujo máximo de 75 L/s.
- Desarenadores: La planta posee tres (3) unidades de desarenación. Cada desarenador está diseñado con un caudal de 25 L/s.
- Trampa de grasas: Para retener las grasas y aceites provenientes del sistema de alcantarillado, se tiene una (1) trampa de grasas con un volumen de 9,0 m³.

Tratamiento primario

- Reactor UASB: La materia orgánica es removida en tres (3) reactores diseñados con un caudal por unidad de 16,7 L/s. Cada reactor posee un volumen de 480,96 m³. Para la retención de sólidos que escapan del reactor se tiene una zona de sedimentación de alta tasa en la parte superficial del UASB.

Tratamiento secundario

- Filtro percolador: La planta tiene tres (3) filtros percoladores con capacidad cada uno para 16,67 L/s. Estos tienen un área de 28,50 m².
- Sedimentadores secundarios: Los sedimentadores secundarios poseen un área superficial de sección cuadrada de 21,17 m² y cada uno trata un caudal de 16,67 L/s. El lodo sedimentado es recirculado hasta el pozo de bombeo.

Gestión de residuos

- Lechos de secado de arena: El sobrenadante de los desarenadores es recirculado hacia la estación de bombeo y las arenas son evacuadas hacia los lechos de secado.
- Producción de gas: El biogás producido en el proceso anaerobio es quemado en una estructura adecuada para tal fin.
- Lodos secundarios: Los lodos de los sedimentadores saldrán a una cámara común desde donde serán bombeados a los lechos de secado.
- Lechos de secado: Los tres (3) lechos de secado reciben los lodos provenientes de los reactores UASB y de los sedimentadores secundarios.

4.1.2.4 PTAR D-Municipio de Caicedonia

La planta del municipio de Caicedonia fue diseñada con un caudal medio de 92.6 L/s y un caudal máximo horario de 99.8 L/s con un periodo de diseño de 20 años.

Tratamiento Preliminar

Está compuesto por un canal de aproximación, rejilla gruesa, rejilla fina, desarenador de flujo horizontal con vertedero sutro. Estas unidades están diseñadas para un caudal máximo de 150 L/s.

Tratamiento Primario.

Para este proceso se tiene 4 reactores UASB cuadrados en parejas compartiendo uno de los muros. Por lo tanto, cada unidad tiene un volumen de 926.3 m³ con dimensiones de 13m por cada lado y una altura de 5.5 m y un tiempo de retención hidráulica de 11 Horas.

Tratamiento Secundario.

Filtro Percolador y sedimentador secundario: Se cuenta con 3 unidades de filtro percolador, con diámetro de 8.0 m y altura de 3.0 m, con medio de soporte sintético y una Carga hidráulica entre 8.1 – 48.8 l/m² – min.

Se cuenta con 2 unidades de sedimentadores secundarios de 11.45 m de diámetro, diseñados con un tiempo de retención de 3.2 horas y un caudal máximo de 99.8.1 L / s, caudal medio de 92.6 L / s y caudal mínimo de 22 L / s

Gestión de residuos

Para manejo de lodos como subproducto se cuenta con Lechos de secado con un área de 116 m² para disponer lodos en una capa de 0.25 de altura.

En cuanto a los gases de tiene un biofiltro con diámetro de 0.9 m con una altura efectiva del de 1 m, el cual contiene lecho del compost a grava utilizada para la distribución del flujo del gas.

4.1.2.5 PTAR D-Municipio de Pradera

La PTAR se encuentra ubicada hacia el sector Nor-Occidental de Pradera. En esta se trata el 100% del agua residual producida en la ciudad y que llega a la planta a través de un alcantarillado combinado.

La planta está diseñada con un caudal medio de 127 L/s y un caudal máximo horario de 253 L/s (ACUAVALLE, 2007).

Tratamiento preliminar

- **Rejilla gruesa:** La planta cuenta con una canasta tipo jaula con rejillas gruesas para retener el material sólido con tamaño mayor a 2,5 cm. Esta se ubica al interior del pozo de succión.
- **Estación de bombeo:** Desde la estación de bombo se eleva el agua residual hacia los desarenadores mediante la acción de tres bombas sumergibles.
- **Rejillas finas y Desarenadores:** Antes de entrar a los desarenadores, el agua residual pasa por rejillas finas en acero inoxidable. La planta tiene dos desarenadores construidos

en concreto donde se retienen los sólidos gruesos como grava y arena. Las dos unidades poseen una longitud de 11 m y un ancho de 3,05 m.

- **Trampa de grasas:** En esta unidad, además del material graso, se remueven objetos flotantes tales como papeles, plásticos y otros de peso específico menor al agua, en un área útil de 7 m.

La Figura 34 muestra una estructura elevada, en concreto reforzado, la cual contiene rejillas finas, desarenadores y trampa de grasas.



Figura 34. Estructura tratamiento preliminar: Desarenador y rejillas finas

Fuente: Propia

Tratamiento primario

- **Reactor UASB:** El sistema UASB es un tratamiento primario de tipo anaeróbico donde los sólidos del afluente del agua residual se sedimentan en el reactor y se descomponen en compuestos solubles. El reactor de la planta tiene un área útil de aproximadamente 420 m.

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario de la planta consiste en un filtro percolador de 24 m de diámetro con rosetas como medio de soporte (Ver Figura 35, izq), y un sedimentador secundario circular con un diámetro interno de 18,30 m (Ver Figura 35, der).



Figura 35. Filtro percolador (izq.) y sedimentador secundario (der.)

Fuente: (CVC, 2010).

Gestión de residuos

El biogás se conduce desde el reactor hasta el quemador. Con el objeto de facilitar la disposición final del lodo generado en el reactor UASB, este se deshidrata en 12 lechos de secado de sección de rectangular.

4.1.3 Configuración de los sistemas de tratamiento: Tecnologías Lodos activados y UASB

En la Tabla 13 se observa que la unidad correspondiente al tanque de contacto de cloro no es común en todas las plantas de tecnología Lodos Activados, esto se presenta porque la norma actualmente no exige parámetros o límites microbiológicos, salvo los casos donde el agua tratada es para reúso, o las descargas se realizan en fuentes superficiales de uso recreacional.

Otro aspecto que podemos evidenciar en esta tabla es que la única planta que tiene sedimentador primario es la Planta E. Esto se presenta porque la tecnología es Lodos activados aireación Convencional, una de las configuraciones de esta tecnología y procesos.

Tabla 13

Configuración línea de tratamientos plantas tecnología Lodos Activados

Ítem	Unidad o Componente	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D	Planta E
1	Pozo de bombeo y Cámara o canal de Aproximación	X	X	X	X	X
2	Tratamiento preliminar	X	X	X	X	X

Ítem	Unidad o Componente	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D	Planta E
3	Tanque de aireación	X	X	X	X	X
4	Sedimentador Secundario	X	X	X	X	X
5	Tanque contacto de cloro	X		X		
6	Lechos de secado	X	X	X	X	X
7	Conexiones entre unidades	X	X	X	X	X
8	Obras eléctricas	X	X	X	X	X
9	Caseta de operación	X	X	X	X	X
10	Sedimentador Primario				X	

En la Tabla 14 de se observa que la configuración de las plantas de tratamiento de aguas residuales de tecnología UASB. es homogénea y contiene el mismo nivel de tratamiento, compuesto por obras complementarias comunes, tales como caseta de operaciones, urbanismo y adecuaciones complementarias, el cual corresponde a prados y accesos.

Tabla 14
Configuración línea de tratamientos plantas tecnología UASB

Ítem	Unidad o Componente	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D	Planta E
1	Caseta de operaciones	X	X	X	X	X
2	Pozo de bombeo y canal de entrada	X	X	X	X	X
3	Desarenador - Trampa de grasa	X	X	X	X	X
4	Reactor UASB	X	X	X	X	X
5	Percoladores	X	X	X	X	X
6	Sedimentador	X	X	X	X	X
7	Ductos interconexión sistema	X	X	X	X	X
8	Lechos de secado	X	X	X	X	X
9	Instalaciones eléctricas	X	X	X	X	X
10	Urbanismo-Obras complementarias	X	X	X	X	X

4.2 Variables de costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con las tecnologías Lodos Activados y UASB.

4.2.1 Identificación y descripción de variables

Las bases de datos de costos históricos que contienen información junto a los atributos, sirven como base para construir el modelo, sin embargo, fue necesario analizar detalladamente las bases de datos para identificar costos que no están asociados, o imprecisiones que puedan inferir en el análisis.

Mediante el análisis de la información, se encontraron ocho (8) posibles variables (Ver Tabla 15) que tiene mayor incidencia en los costos, que van desde variables fisicoquímicas, nivel de tratamiento hasta variables de contexto del proyecto.

Tabla 15
Variables de costos de construcción PTAR

Categoría	Atributos	Información	Descripción de Variable
Atributos	(X1)	Caudal (L/s)	Variables fisicoquímicas
	(X2)	DBO ₅ (mg/L)	
	(X3)	DQO (mg/L)	
	(X4)	Temperatura (°C)	
	(X5)	Nivel de tratamiento	Nivel de tratamiento
	(X6)	Tipo de suelo	Contexto del proyecto
	(X7)	Inundabilidad	
	(X8)	Accesibilidad	

A continuación, se realiza una descripción de la manera como puede impactar cada variable en los costos de construcción de las Plantas de tratamiento de aguas residuales.

Caudal

El caudal está directamente relacionado con la población y el consumo de agua, sin embargo, el dato final de entrada para el diseño es el caudal, por lo cual se considera una

variable determinante a la hora de analizar costos y tecnologías. Para el caso de la tecnología de lodos activados se ve caudales que oscilan entre 1.3 y 13.8 L/s. Por otro lado, para Tecnologías UASB se ve caudales entre 22.6 y 127 L/s (Ver Tabla 16). Rangos dentro de los cuales será analizado el modelo de costos que se planteará.

Tabla 16
Caudal de diseños de las PTAR objeto de estudio

Parámetro	Tecnología Lodos Activados					Tecnología UASB					
	Und	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Caudal de diseño (Qd)	L/s	1.3	1.7	7.8	12	13.8	22.6	27	50	92.6	127

Los parámetros de diseño son los datos de entrada en un diseño hidráulico, y dentro del dimensionamiento de las unidades, son los que determinan la magnitud de las unidades o el tipo de tecnología a seleccionar. En la Tabla 17 se observa que para las Plantas con tecnología de lodos la DBO₅ y DQO están dentro de las características típicas de agua residual doméstica. Por otro lado, se ve que los datos de entrada de la tecnología UASB, la DBO₅ y DQO son superiores, esto se explica porque son plantas Municipales, donde la carga orgánica puede ser superior considerando establecimientos comerciales o pequeños industriales, o en su defecto aguas diluidas, por la poca planificación en el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial.

En cuanto a la temperatura se observa que debido a que los proyectos seleccionados están ubicados en el Valle del Cauca no hay una diferencia representativa en la altura, pues los proyectos de tecnología Lodos activados se ubican entre los 964 y 1020 m.s.n.m., lo cual se tiene una temperatura promedio de 24°C, en cuanto a los proyectos de tecnología UASB se ubican en alturas comprendidas entre 945 y 1500 m.s.n.m.

La tasa de crecimiento máxima de los microorganismos nitrificantes es significativamente afectada por la temperatura. De esta manera por cada incremento de aproximadamente 7°C en la temperatura, la tasa de crecimiento se duplica, inversamente. Sin embargo, valores de temperatura de líquidos muy elevadas, puede conducir a una reducción en la tasa de crecimientos de las bacterias nitrificantes.

Tabla 17
Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Tecnología Lodos Activados					Tecnología UASB				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Demanda bioquímica de oxígeno (BDO ₅)	mg/L	200	300	350	300	350	297	450	404,2	148	287
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	500	560	500	560	455	799	667,2	283,4	-
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	300	200	350	300	350	150	325,5	359,2	184	297
Nitrógeno total	mg/L	-	20	20	20	20	-	38,7	50,9		-
Temperatura media del ARD (T)	°C	-	-	23	-	25	22		26	22	23
Altura sobre el nivel del mar	m.s.n.m	964	1020	962	961	957	1500	945	1045	1388	1140

Nivel de tratamiento

Para poder realizar el comparativo de tecnologías con trenes de tratamiento similares, se ha identificado cada caso en particular con sus componentes, tal como lo muestra la Tabla Tabla 13 y Tabla 14. En estas configuraciones se ha identificado que el tanque de contacto de cloro no es común para todas, esto se presenta porque el parámetro microbiológico no se encuentra en la exigencia de resolución 0630 de 2015, y queda como una evaluación ambiental del vertimiento que será exigida por la autoridad ambiental dependiendo del cuerpo receptor y su uso aguas abajo.

Para poder analizar los costos se ha definido eliminar este componente denominado “Tanque de contacto de cloro” en el Ítem 5 de la Tabla 13, esto para el caso de la tecnología Lodos activados. Es importante tener en cuenta esta variable, pues esta condición puede variar los costos.

Para el caso de la Tecnología de UASB se tiene que su configuración es la misma, y ninguna tiene tratamiento terciario para eliminar patógenos o parámetros microbiológicos, por lo tanto, se conserva la configuración tal como se evidencia en la Tabla 14.

Tipo de suelo

Es importante conocer el tipo de suelo del lugar donde se construyó cada planta, pues dependiendo de las estructuras, puede representar costos de excavaciones adicionales, mejoramiento de suelos, importación de suelo, disposición de material entre otros efectos que pueden elevar el costo de una obra. Sin embargo, es difícil conseguir esta información por cada proyecto, por lo cual se ha revisado detenidamente los costos de cada planta y se ha desagregado los costos asociados a excavaciones, mejoramiento e importación de relleno para poder hacer un análisis más detallado. Esta información se indica en la construcción de la base de datos.

Durante el análisis de la base de datos se determinará la necesidad de incluir en el modelo de costos, pues es una variable particular de cada proyecto que difícilmente se pueden predecir.

Cotas de Inundabilidad

Es una variable que depende de la localización de la obra de una PTAR y es una consideración de cualquier obra de infraestructura que se encuentre cercana a una fuente superficial que pueda generar este riesgo, y dependiendo de los niveles de agua puede ser necesario realizar rellenos, diques o protecciones de la obra. De la misma manera puede ser

necesario realizar bombeos adicionales para evacuar las aguas residuales tratadas. Esta variable en caso de presentarse incrementa los costos de la obra, sin embargo, es inherente a la infraestructura de la obra como tal, pues es una condición que se puede evitar en algunos casos, y en otros es un costo que se puede evaluar de manera independiente a la construcción de un PTAR.

Accesibilidad

Es una variable que puede afectar los costos, al ser una obra especial, el equipamiento debe adquirirse en ciudades capitales e incurrir en sobrecostos de transporte, y en acarreo de materiales de construcción. Es importante saber la localización geográfica de cada proyecto y su accesibilidad.

Esta variable también puede generar sobrecostos en la vigilancia, pues en lugares apartados es necesario considerar aspectos como este, para llevar a cabo una obra.

En la Figura 36 se evidencia que las localizaciones de estas plantas se encuentran en el perímetro de la ciudad de Cali y Jamundí, para las tecnologías de lodos activados, lo cual permite tener condiciones equivalentes y fácil acceso a los materiales, equipos y mano de obra. Para el caso de UASB se encuentran localizadas en el sur y centro de departamento.

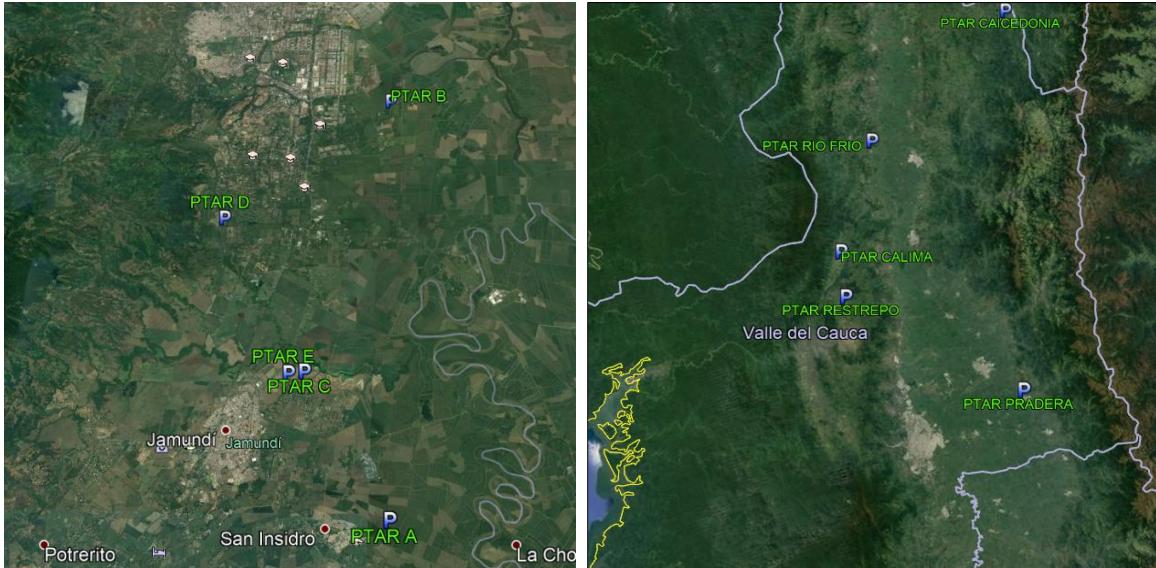


Figura 36. Izquierda. Localización PTAR Tecnología Lodos activados Derecha. Localización PTAR Tecnología UASB

Fuente: Propia

4.2.2 Selección de atributos

Para seleccionar los atributos se acudió a la metodología de atributo de impacto, el cual se determinó a partir de los resultados de la ecuación 1 “Coeficiente de determinación (r^2)”

4.2.2.1 Lodos activados

El Caudal (Q) es una de las variables más determinante a la hora de medir el impacto en los costos, pues es directamente proporcional a la población servida y a la magnitud de cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento.

En la Tabla 18 se observa el coeficiente de Pearson y determinación el cual se acerca a 1, para la variable Caudal, indicando el alto índice de correlación positivo con el costo.

Para seleccionar los atributos es importante analizar los criterios de diseño seleccionados, para el caso de tecnología de lodos activados, por ser proyectos muy similares, ubicados en la misma zona geográfica en condiciones climáticas similares y tipo de efluente netamente doméstico, con una relación de biodegradabilidad DBO_5/DQO que oscila entre 0.60 y 0.63, se puede asegurar que es una muestra homogénea en cuanto a parámetros fisicoquímicos,

motivo por el cual se ve que la correlación entre el costo y parámetros fisicoquímicos como DBO₅ y DQO son bajos con 0.447 y 0.221 respectivamente.

En cuanto a la temperatura es una variable que no varía, y es constante dada la localización geográfica de los proyectos.

Tabla 18
Variables de costos de construcción PTAR

PTAR	Costo (Y)	Caudal (L/s) (X1)	DBO₅(mg/L) (x3)	DQO (mg/L) (X2)
A	\$ 422.039.395	1,3	200	500
B	\$ 601.391.349	1,7	300	500
C	\$ 1.761.428.125	7,8	350	560
D	\$ 2.641.325.806	12	300	500
E	\$ 2.437.996.078	13,8	350	560
Coeficiente Pearson (r)		0,981	0,668	0,469
Determinación (r ²)		0,963	0,447	0,221

En cuanto al nivel de tratamiento de esta tecnología se ve que la una única diferencia es que, tres (3) plantas, no cuenta con tratamiento terciario.

En cuanto a las variables relacionadas con el contexto del proyecto (X6) y (X7), se identificó que la Planta C, tenía unas condiciones particulares referentes a esta variable, debido a niveles de inundabilidad las terrazas de todas las unidades debieron llevarse a un nivel mínimo, el cual representaba aproximadamente un 15%, el cual es un valor muy alto, sin embargo estas, son consideraciones particulares de cada proyecto, que si se consideran puede generar una mayor incertidumbre en el modelo, por tal motivo se opta por eliminar este componente ya que esta condición puede ser totalmente diferente en cada proyecto, y se invita a quien haga uso del modelo, contemplar estos costos adicionales que pueden ser cuantificados con facilidad, con costos estándares conocidos en el mercado de la construcción.

Finalmente, de acuerdo a lo anteriormente descrito, se concluye que debido a las muestras analizadas el modelo se analizará con la única variable de caudal (Q), con las condiciones que se acotaran en el modelo y de acuerdo a todas las consideraciones hechas en esta justificación.

4.2.2.2 UASB

Para el caso de la tecnología UASB, es similar, pues el caudal tiene la misma relación e impacto en los costos que la tecnología de Lodos activados. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos DBO5, DQO, y temperatura, son más variables, y para el caso de las concentraciones de DBO5 y DQO que se presentan en la Tabla 19, se explican por condiciones de diluciones para el caso de bajas concentraciones, o descargas de establecimientos comerciales o industriales para el caso de altas concentraciones. Para este análisis se cuenta con correlaciones directas entre el costo y las concentraciones de DBO5 Y DQO. Estas deberán ser consideradas en el modelo.

Tabla 19
Correlación entre variables

PTAR	Costo (Y)	Caudal (L/s) (X1)	DBO₅ (mg/L) (x3)	DQO (mg/L) (X2)	DBO₅/DQO
A	\$ 2.133.885.368	22,6	297	455	0,65
B	\$ 2.466.141.403	27	450	799	0,56
C	\$ 4.683.439.314	50	404,2	667,2	0,61
D	\$ 6.900.737.225	92,6	148	283,4	0,52
E	\$ 7.016.850.121	127	287		
Coeficiente Pearson (r)		0,949772674	-0,62842787	-0,59322464	-0,70074854
Determinación (r ²)		0,902068132	0,394921588	0,35191547	0,491048516

En cuanto a la temperatura oscila entre 20 y 24 °C lo cual es una variable relativamente constante que no implica variables considerables en el diseño, pues está dentro del rango recomendado para estas tecnologías y sus variables de respuesta.

Finalmente serán consideradas la variable Caudal como variables independientes y Costo como variable dependiente.

4.2.3 Modelo paramétrico para la estimación prospectiva de costos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, Tecnología lodos activados y UASB.

La aproximación de costos de tratamiento de aguas residuales es diversa, y en la literatura se encuentra un rango amplio que refleja una variedad de enfoques metodológicos y la comparación de los resultados es limitada. Mientras algunos estudios tienen en cuenta la calidad de agua, otros se centran en los caudales o volúmenes tratados, por lo tanto, es importante que se identifique cuáles son los límites de valores de los parámetros fisicoquímicos o consideraciones que se han realizado en los diferentes estudios para poder usar la información con una aproximación mayor.

Los costos analizados corresponden a costos directos sin incluir Administración, Imprevistos y Utilidad, el cual puede variar en función del tipo de proyecto y/o proponente. Por ejemplo, en el sector público debido a los impuestos y retenciones puede ser un valor correspondiente más alto, por el contrario, en el sector privado puede ser más bajo.

En el análisis de los costos por componente se encontró que algunos no son comunes en todas las plantas, el caso más representativo es el sedimentador primario, el cual solamente se encuentra en la Planta E. Por otra parte de acuerdo a las condiciones de cada proyecto alguna no contaban con tratamiento terciario como la desinfección, lo cual hace que no se tenga costos de estos componente, tal es el caso de las plantas A y E, de la misma manera se

tiene que el proceso de filtración no está implementado en las plantas A, C y E. Finalmente se evidencia condiciones particulares de cada proyecto en un componente de rellenos y retiro de material, estos costos se identificaron y no están asociados a el componente en sí, ya que por las condiciones del suelo y condiciones de inundabilidad ocasionaron costos que están directamente relacionados con estas condiciones y no de la tecnología.

Es importante entender como están distribuidos los costos en función del componente de cada planta de tratamiento de aguas residuales o el nivel de tratamiento, pues dependiendo del contexto no se llega hasta niveles de tratamiento terciarios.

La Figura 37, presenta los pesos de cada componente en la tecnología de lodos activados, el tanque de aireación es uno de los componentes que mayor costo representa, hasta un 42%, el pozo de bombeo hasta un 24.3%, seguido de las obras eléctricas hasta un 24% y sedimentador secundario hasta un 24.3%; sin embargo, se ve que una de las plantas no tiene el peso que se esperaría, 8.1%, esto se explica por qué su tecnología permite una variante la cual corresponde a aireación convencional y su costo en este componente se disminuye, pero incrementa en el sedimentador primario. Desde el punto de vista operativo tiene algunas ventajas y desventajas. Es importante resaltar que un tratamiento terciario como desinfección o filtración rápida puede representar entre 1.5 y 5.6, 4.8 y 10.2% respectivamente.

La información base para elaboración de esta Figura se presenta en los anexos.

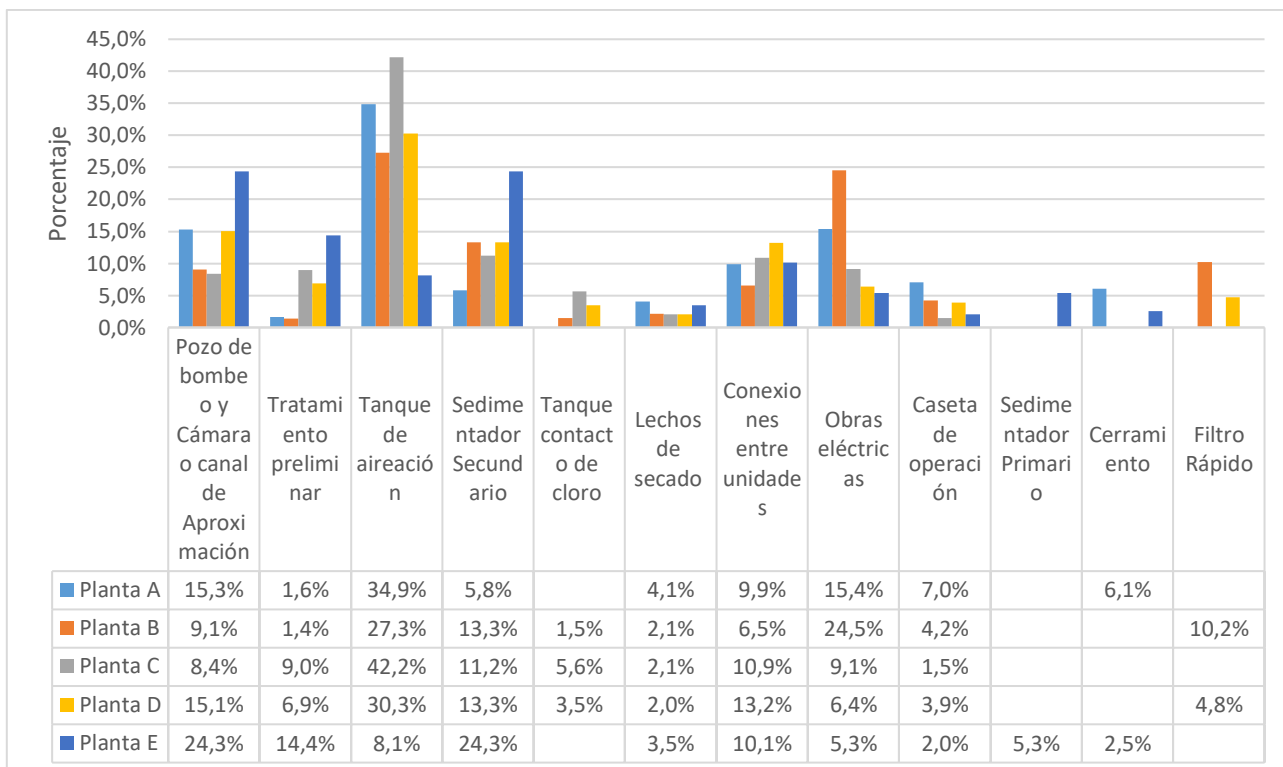


Figura 37. Costos por componente PTAR – Lodos Activados

En cuanto a la tecnología de UASB que se presenta en la Figura 38, se cuenta con información detallada para 2 plantas de tratamiento planta D y E, para esta planta se tiene que el reactor UASB representa un peso entre 23 y 31 %, para el Filtro percolador entre 22 y 26% y el sedimentador entre el 15 y 17% siendo estos 3 componentes los que mayor peso representan. La información base para elaboración de esta Figura se presenta en los anexos.

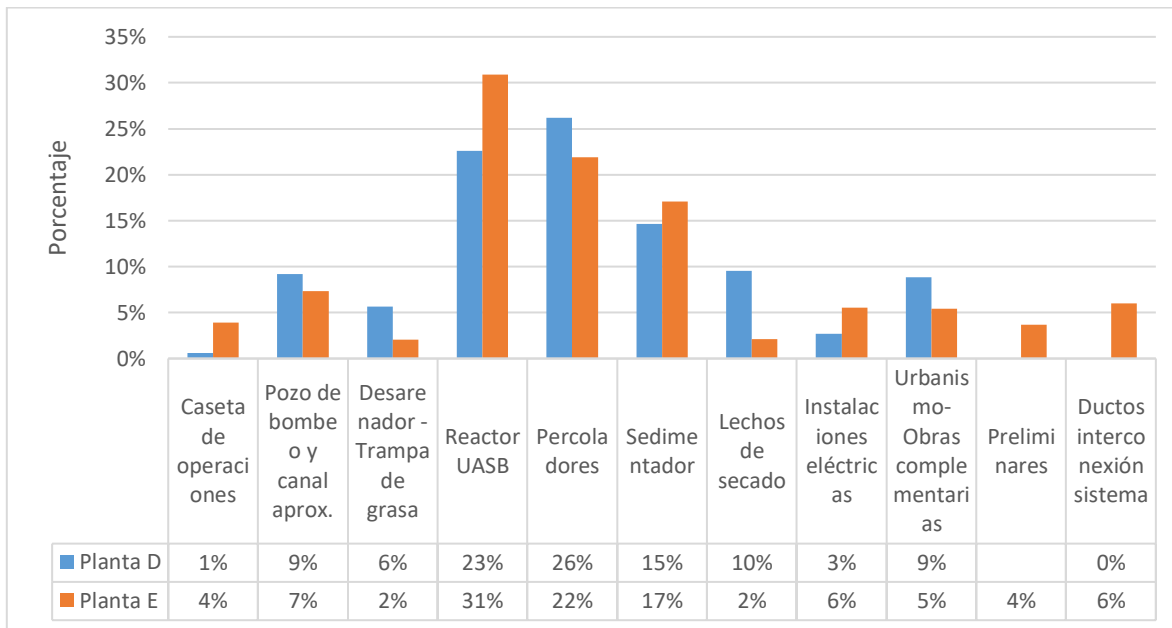


Figura 38. Costos de componente de PTAR - UASB

4.2.3.1 Normalización de costos PTAR Lodos Activados y UASB

Teniendo en cuenta que las plantas de tratamiento de aguas residuales fueron construidas en líneas de tiempo diferentes, más específicamente entre los años 2003 y 2019, se procedió a normalizar los costos utilizando el método de salarios mínimos de cada año.

La información de salarios mínimos legales vigentes en Colombia entre 1999 y 2020 se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20
Salarios mínimos legales Vigentes entre 2009 y 2020 en Colombia

Año	\$ SMLMV
1999	\$ 236.460
2000	\$ 260.100
2003	\$ 332.000
2008	\$ 461.500
2009	\$ 496.900
2010	\$ 515.000
2011	\$ 535.600

Año	\$ SMLMV
2012	\$ 566.700
2013	\$ 589.500
2014	\$ 616.000
2015	\$ 644.350
2016	\$ 689.455
2017	\$ 737.717
2018	\$ 781.242
2019	\$ 828.116
2020	\$ 877.803

Fuente: (Gerencie, 2020)

Con los salarios mínimos legales mensuales vigentes (SMLMV) del año de construcción presentados en la Tabla 20, y reemplazando en la Ecuaciones 2 de la metodología, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 21 referente al costo 2020. Estos resultados son importantes como insumo principal para poder plantear el modelo de costos.

Tabla 21
Costos Normalizados para el año 2020

Tecnología	PTAR	Costo año de Año	de Año	SMLMV	Costo 2020
		Construcción	Construcción		
Lodos Activados	A	\$ 238.904.829	2009	480,8	\$ 422.039.395
	B	\$ 472.352.308	2016	685,1	\$ 601.391.349
	C	\$ 1.567.665.674	2018	2006,6	\$ 1.761.428.125
	D	\$ 2.350.771.933	2017	3009,0	\$ 2.641.325.806
	E	\$ 2.299.996.195	2019	2777,4	\$ 2.437.996.078
UASB	A	\$ 632.287.181	2000	2430,9	\$ 2.133.885.368
	B	\$ 1.296.560.000	2008	2809,4	\$ 2.466.141.403
	C	\$ 1.763.270.130	2003	5311,1	\$ 4.662.059.668
	D	\$ 3.906.316.482	2009	7861,4	\$ 6.900.737.225
	E	\$ 3.972.044.781	2009	7993,7	\$ 7.016.850.121

4.2.3.2 Costos VS Caudal

En la Figura 39 se presenta los costos de Inversión Vs caudal tanto para la tecnología de lodos Activados como para la tecnología UASB. Se observa un comportamiento más lineal para Lodos activados, sin embargo, puede estar asociado a que los rangos de caudal son bajos, pues se encuentran entre 1 y 14 L/s, por otro lado, para la tecnología UASB se observa una pendiente con tendencia a disminuir, la cual puede explicarse por los datos con rangos de caudales más amplios, para este caso entre 22 y 127 L/s.

En la Figura 40, se presenta los costos vs caudal de las dos tecnologías, en ellas se puede apreciar que entre 0 y 20 L/s la tendencia de costos es mucho mayor para la Tecnología de Lodos activados, en comparación con UASB, pues a pesar de que en ese rango no hay datos para la tecnología UASB, se observa claramente que la tendencia es de costos inferiores.

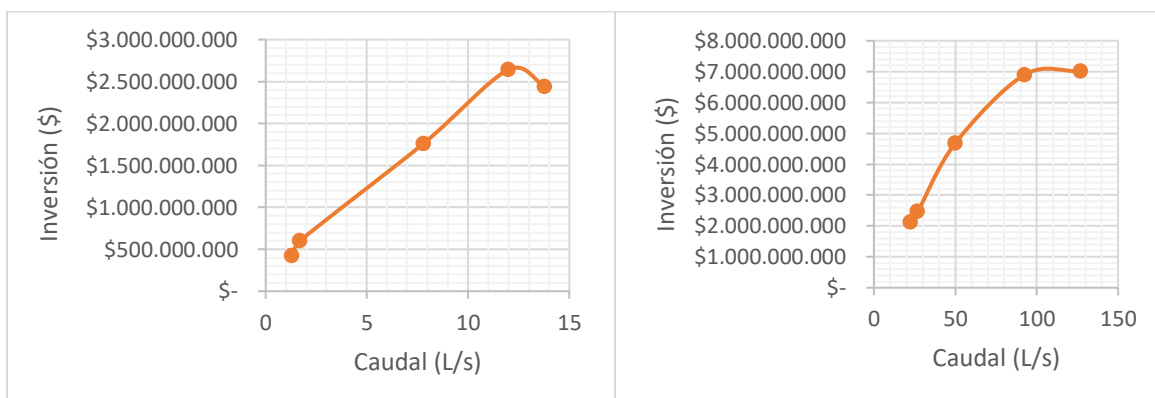


Figura 39. Izq. Costo directo PTAR-lodos activados Der. Costo directo PTAR-UASB

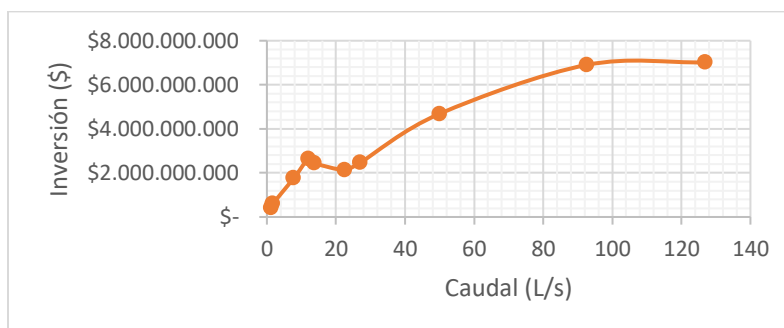


Figura 40. Costo directo PTAR-Lodos activados y UASB

4.2.3.3 Costos per cápita

Los costos per cápita en el tratamiento de aguas residuales representan un indicador indispensable a la hora de seleccionar una tecnología. Referencias citadas por Miranda J.P, et. al ...2015 menciona rangos de costos para tecnologías anaerobias que oscilan entre 20 USD/hab y 40 USD/hab. En cuanto a tecnologías de lodos activados rangos entre 40 USD/hab y 120 USD/hab. Al contrastar los resultados presentados en la Tabla 22, se evidencia que, a poblaciones menores los costos superan el rango, sin embargo, para poblaciones mayores tienden a estar dentro del rango recomendado y referencias para estas tecnologías. En cuanto a tecnologías anaerobias se evidencia que el 80% de los costos per cápita se encuentran por encima del rango superior que es 40 USD/hab.

Tabla 22
Costos Normalizados para el año 2020

Tecnología	PTAR	Población (Hab)	Costo 2020	\$ Costo/Hab	USD Costo/Hab
Lodos Activados	A	800	\$ 422.039.395	\$ 527.549,24	USD 143
	B	836	\$ 601.391.349	\$ 719.367,64	USD 194
	C	4287,5	\$ 1.761.428.125	\$ 410.828,72	USD 111
	D	9123	\$ 2.641.325.806	\$ 289.523,82	USD 78
	E	8960	\$ 2.437.996.078	\$ 272.097,78	USD 74
UASB	A	12748	\$ 2.133.885.368	\$ 167.389,82	USD 45
	B	11975	\$ 2.466.141.403	\$ 205.940,83	USD 56
	C	18536	\$ 4.662.059.668	\$ 251.513,79	USD 68
	D	43692	\$ 6.900.737.225	\$ 157.940,52	USD 43
	E	61089	\$ 7.016.850.121	\$ 114.862,74	USD 31

En la Figura 41 y Figura 42 se observa que, entre mayor número de habitantes servidos, menor es el costo per cápita. Esto está directamente asociado al costo de obra de plantas de tratamiento de aguas residuales, puesto que el costo por habitante es menor cuando la obra

es de mayor magnitud, lo cual representa claramente una economía de escala. Esta situación es indiferente de la tecnología, pues a pesar de que la tecnología UASB representan menores costos per cápita, la tendencia es similar.

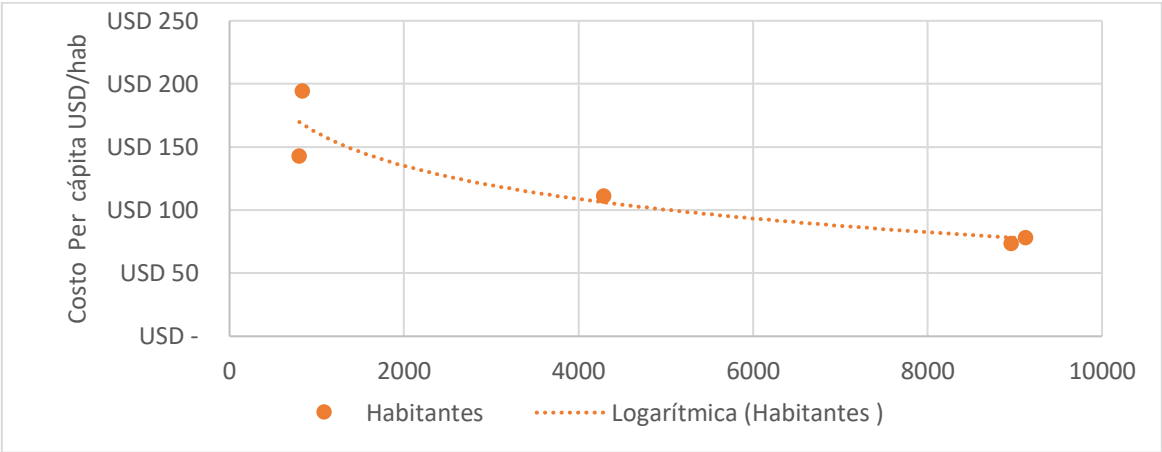


Figura 41. Función de costos por No. Habitantes Tecnología Lodos activados

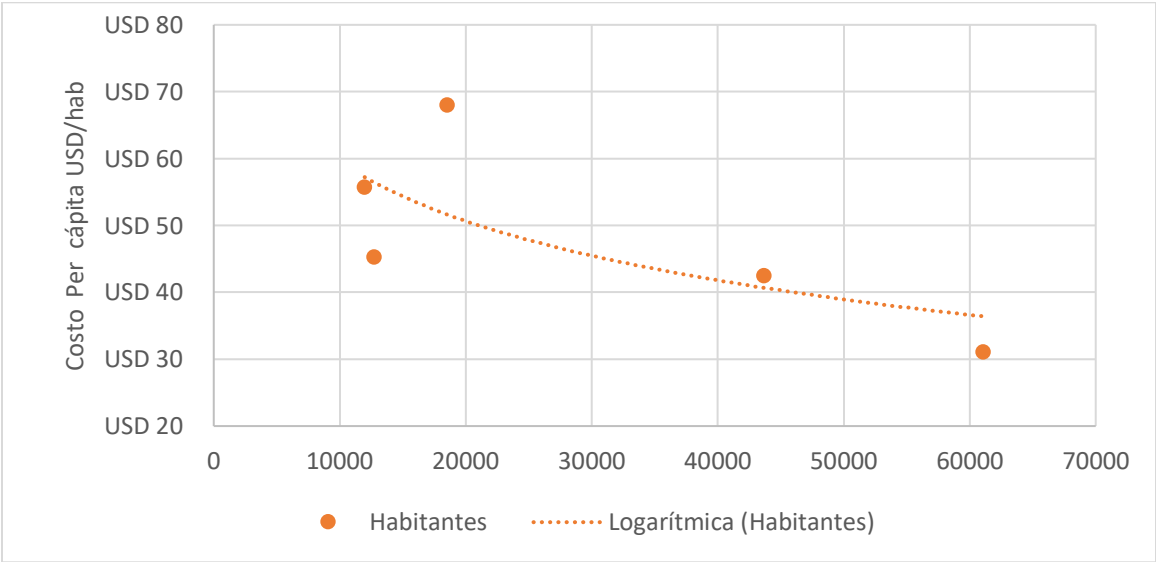


Figura 42. Costos en función de No. Habitantes Tecnología UASB

4.2.3.4 Regresión Lineal Simple – PTAR Lodos activados

Para este escenario se realiza una regresión asumiendo que los costos incrementan de manera lineal, tomando el costo como variable dependiente y el caudal como variable independiente.

En las Tablas Tabla 23, Tabla 24 y

Tabla 25, se presentan los resultados de la regresión lineal para determinar las ecuaciones de aproximación de costos, se encontró que el coeficiente de determinación R^2 , para las ecuaciones de regresión lineal simple, es de 99.9% para Lodos activados, lo que explica la probabilidad de que afecte la variable del costo con un cambio en la variable independiente Q (Caudal) sin embargo, al realizar la validación, se tienen errores del 18.6% indicando un nivel bajo de confiabilidad, a pesar de que la Tabla 23 presenta un nivel de significancia (F) individual y global por debajo de 0.005

Tabla 23
Estadísticas de regresión

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	
Regresión	1	3,25276E+18	3,25276E+18	1205,881921	0,000828238	
Residuos	2	5,39482E+15	2,69741E+15			
Total	3	3,25815E+18				
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	203.288.762,3	42.157.814,32	4,8220897	0,040416718	21.898.327,37	384.679.197,1
Caudal (L/s) (X1)	202.325.860,8	5.826.382,665	34,72581059	0,000828238	177.256.959,6	227.394.762,1

Tabla 24
Análisis de Varianza

Análisis de varianza	
Coeficiente de correlación múltiple	0,999171762
Coeficiente de determinación R^2	0,998344209
R^2 ajustado	0,997516314
Error típico	51936572,47
Observaciones	4

Tabla 25
Análisis de los residuales

Observación	Pronóstico Costo (Y)	Residuos	Residuos estándares
1	4.663.12.381,4	-44272985,88	-1,044025622

2	547.242.725,7	54148623,75	1,276908469
3	1.781.430.477	-20002351,37	-0,471686445
4	2.631.199.092	10126713,49	0,238803599

De acuerdo a la Tabla 23 se tiene que el intercepto de la función de costos corresponde a \$ 203.288.762,3 y por cada unidad de caudal en (L/s) el valor promedio del factor es de \$ 203.325.860,3 representando una ecuación de la siguiente forma: $Y(\text{Costo } \$) = 2.032.887,62 + 2.023.258,61 * Q$ y una representación gráfica que se presenta en la Figura 43.

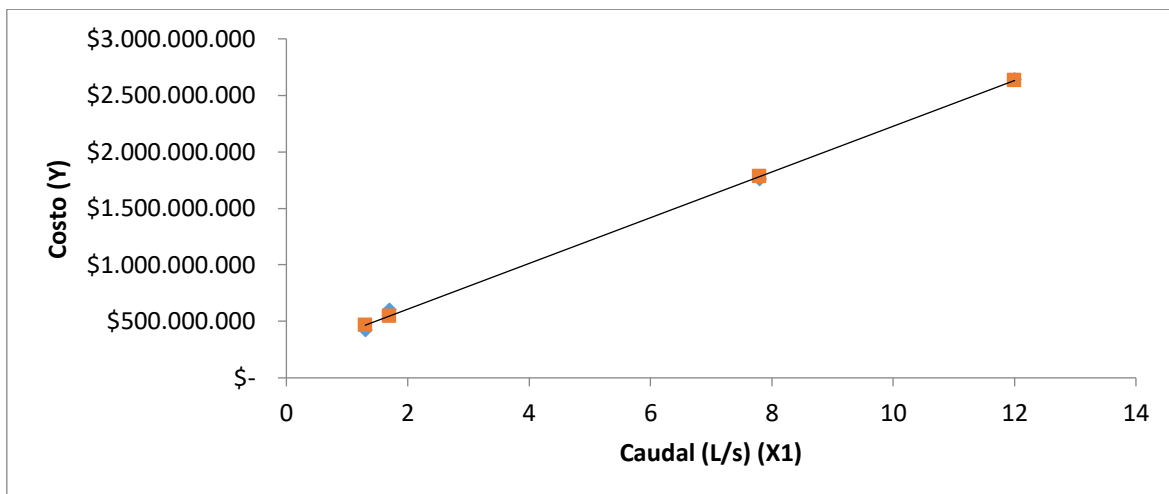


Figura 43. Curva de regresión Ajustada

Validación de Modelo

Para determinar una aproximación del error se ha seleccionado al azar una de las plantas de tecnología lodos activados para poder determinar cómo se ajusta el modelo al costo real de un proyecto. Para este caso resultó seleccionada la planta E. Esta planta su variable independiente es el caudal, el cual corresponde a 13.8 L/s y un costo real de \$ 2.437.996.078.

Se procedió a reemplazar la información en la ecuación de regresión lineal simple y se encontró el siguiente resultado.

$$\text{Costo Planta E} = \$ 2.995.385.642 \quad \text{Ecuación 12}$$

Al reemplazar en el modelo se encuentra que el costo representa \$ 2.995.385.642, con lo que se procede a determinar el error, obteniéndose el siguiente resultado.

$$Error = \frac{2.437.996.078 - \$ 2.995.385.642}{2.437.996.078} \text{ Ecuación 13}$$

$$Error = 18,61\%$$

4.2.3.5 Regresión Lineal Simple – UASB

En las Tablas Tabla 26, Tabla 27 y

Tabla 28, se presentan los resultados de la regresión lineal para determinar las ecuaciones de aproximación de costos, se encontró que el coeficiente de determinación R^2 , para las ecuaciones de regresión lineal simple, es de 87.9% para UASB, que explica la probabilidad de que afecte la variable del costo con un cambio en la variable independiente Q (Caudal) por otra parte, se tiene que el nivel de significancia global e individual está por encima de 0.005 y al realizar la validación, se tienen errores del 26.94 % indicando valor muy alto con baja confiabilidad.

Tabla 26
Estadísticas de regresión

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,937722128
Coeficiente de determinación R^2	0,87932279
R^2 ajustado	0,818984184
Error típico	912608351
Observaciones	4

Tabla 27
Análisis de Varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1,2137E+19	1,2137E+19	14,5731375	0,06227787

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	
Residuos	2	1,6657E+18	8,3285E+17			
Total	3	1,3803E+19				
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	1898930275	989516175	1,91904925	0,19497968	-2358614196	6156474747
Variable X1	45203545,49	11841206,9	3,8174779	0,06227787	-5745055,57	96152146,6

Tabla 28
Análisis de los residuales

Observación	Pronóstico para Y	Residuos	Residuos estándares
1	3119426004	-653284600	-0,87672545
2	4159107550	502973308	0,67500366
3	6084778588	773241724	1,03771112
4	7639780553	-622930432	-0,83598934

De acuerdo a la Tabla 27 se tiene que el intercepto de la función de costos corresponde a \$ 1.898.930.275 y por cada unidad de caudal en (L/s) el valor promedio del factor es de \$ 45.203.545 representando una ecuación de la siguiente forma: $Y(\text{Costo } \$) = 1.898.930.275 + 45.203.545 * Q$ y una representación gráfica que se presenta en la Figura 44.

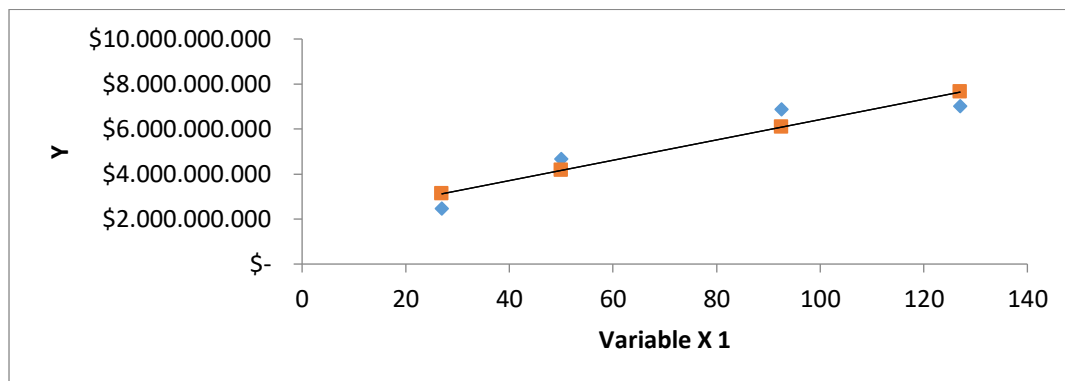


Figura 44. *Curva de regresión Lineal Simple ajustada*

Validación de Modelo

Para determinar una aproximación del error se ha seleccionado al azar una de las plantas de tecnología lodos activados para poder determinar cómo se ajusta el modelo al costo real de un proyecto. Para este caso resultó seleccionada la planta E. Esta planta su variable independiente es el caudal, el cual corresponde a 22.6 L/s y un costo real de \$ 2.133.885.368

Se procedió a reemplazar la información en la ecuación y se encontró el siguiente resultado.

$$\text{Costo Planta A} = \$ 2.920.530.403 \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\text{Error} = \frac{2.133.885.368 - \$ 2.920.530.403}{2.133.885.368} \quad \text{ecuación 15}$$

$$\text{Error} = 26.94\%$$

4.2.3.6 Regresión exponencial - Lodos activados

En la Tabla 29 se presenta los resultados de la tabulación después de aplicar las Ecuaciones 4 a 7 presentadas en la metodología, usando para el modelo de regresión, los datos de PTAR A, B, C y D.

Tabla 29
Información base regresión exponencial

PTAR	Caudal (L/s) (X1)	DBO ₅ (mg/L) (x3)	DQO (mg/L) (X2)	Costo (Y)	$Y' = \ln Y_1$	X_1^2	$Y' * X_1^2$
A	1,3	200	500	\$ 422.039.395	19,861	1,69	25,81879
B	1,7	300	500	\$ 601.391.349	20,215	2,89	34,36509
C	7,8	350	560	\$ 1.761.428.125	21,289	60,84	166,05725
D	12	300	500	\$ 2.641.325.806	21,695	144,00	260,33456
total	22,8			\$ 5.426.184.676	83,059	209,42	486,57569
Promedios	5,7			\$ 1.356.546.169	20,765	52,36	121,64392
$Y = Ae^{Bx}$		Constante B: 0.1653		Constante A: 406220331,5			

En la Figura 45 se presenta la curva de regresión exponencial, con la siguiente ecuación:

$Y = 406.220.331 * e^{0,653x}$ y un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,96$, que explica la

probabilidad de que afecte la variable del costo con un cambio en la variable independiente Q (Caudal), sin embargo, se tienen errores del 38 % indicando valor de muy baja confiabilidad.

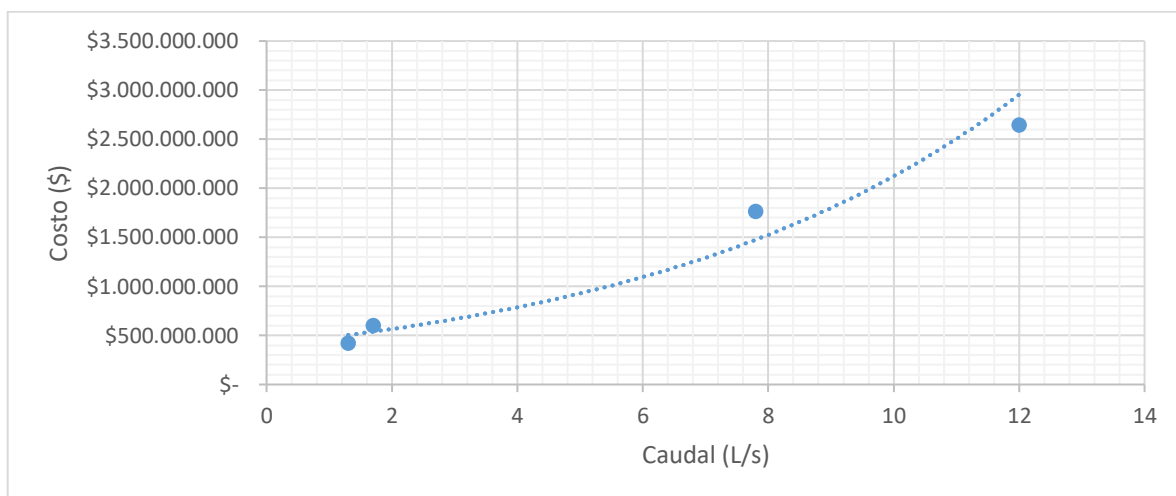


Figura 45. Curva de regresión exponencial

Validación de Modelo

Para este caso resultó seleccionada la planta E. Esta planta su variable independiente es el caudal, el cual corresponde a 13.8 L/s y un costo real de \$ 2.437.996.078

Se procedió a reemplazar la información en la ecuación y se encontró el siguiente resultado.

$$\text{Costo Planta E} = \$ 3.915.132.872 \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\text{Error} = \frac{\$3.915.132.872 - \$ 2.437.996.078}{3.915.132.872} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\text{Error} = 38\%$$

4.2.3.7 Regresión exponencial – UASB

En la Tabla 30 se presenta los resultados de la tabulación después de aplicar las Ecuaciones 4 a 7 presentadas en la metodología. Para este modelo de regresión se usó los datos de las PTAR A, B, C y D.

Tabla 30
 Información base regresión exponencial-UASB

PTAR	Caudal (L/s) (X1)	DBO ₅ (mg/L) (x3)	Costo (Y)	$X' = \ln X_1$	Y_1^2	$X' * Y_1^2$
B	27	450	\$ 2.466.141.403	21,626	729,00	583,89986
C	50	404,2	\$ 4.662.059.668	22,263	2500,00	1113,13639
D	92,6	148	\$ 6.858.020.312	22,649	8574,76	2097,26820
E	127	287	\$ 7.016.850.121	22,672	16129,00	2879,29069
Suma	296,6		\$ 21.003.071.505	89,209	27932,76	6673,59491
Promedio	74,15		\$ 5.250.767.876	22,302	6983,19	1668,3987
$Y = Ae^{Bx}$		Contante B: 0.1653	Constante A: 406220331,5			

En la Figura 46 se presenta la curva de regresión exponencial, con la siguiente ecuación: $Y = 2.329.154.452 * e^{0.0099x}$ y un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.81$, que explica la probabilidad de que afecte la variable del costo con un cambio en la variable independiente Q (Caudal), sin embargo, se tienen errores del 14.7 % indicando valor de muy baja confiabilidad.

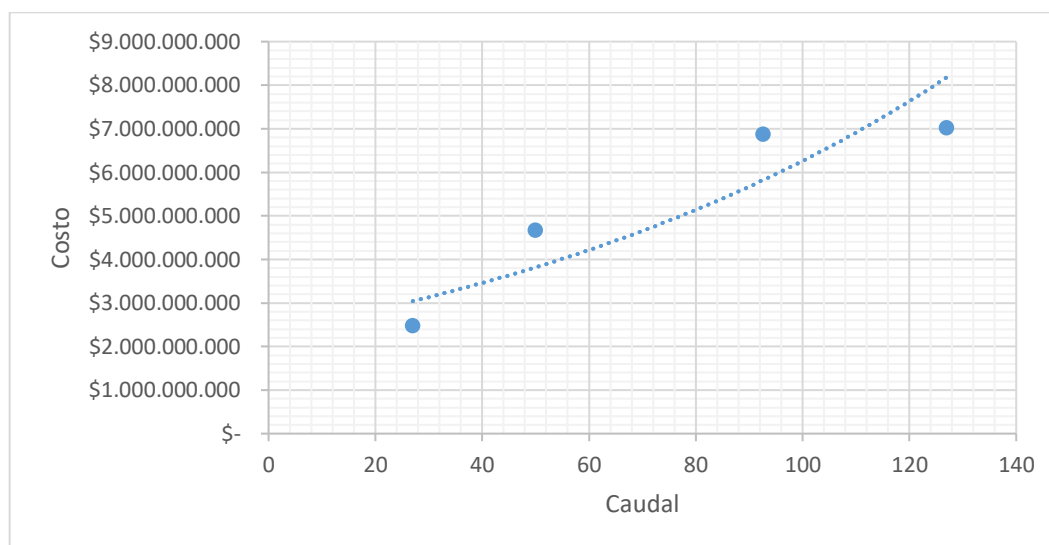


Figura 46. Curva de regresión exponencial ajustada

Validación de Modelo

Para este caso resultó seleccionada la planta E. Esta planta su variable independiente es el caudal, el cual corresponde a 22.6 L/s y un costo real de \$ \$ 2.133.885.368

Se procedió a reemplazar la información en la ecuación y se encontró el siguiente resultado.

$$\text{Costo Planta E} = \$ 2.501.491.566 \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\text{Error} = \frac{\$2.501.491.566 - \$ 2.133.885.368}{2.501.491.566} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\text{Error} = 14.7\%$$

4.2.3.8 Regresión Logarítmica - Lodos activados

En la Tabla 31 se presenta los resultados de la tabulación después de aplicar las Ecuaciones 8 a 10 presentadas en la metodología. Para este modelo de regresión se usó los datos de las PTAR A, B, C y D.

Tabla 31
Información base regresión logarítmica-Lodos Activados

PTAR	Caudal (L/s) (X1)	Costo (Y)	$\ln X_1$	$(\ln X_1)^2$	Y_1^2	$Y_1 \ln X_1$
A	1,3	\$ 422.039.395	0,262	0,069	178117251331476000,00	110728055,56966
B	1,7	\$ 601.391.349	0,531	0,282	361671555184265000,00	319115239,95859
C	7,8	\$ 1.761.428.125	2,054	4,219	3102629041254970000,00	3618191317,76073
D	12	\$ 2.641.325.806	2,485	6,175	6976602012943260000,00	6563448059,35166
Sumatoria	22,8	\$ 5.426.184.676	5,33	11	10.619.019.860.714.000.000	10.611.482.673
Promedio	5,7	\$ 1.356.546.169	1,33	3	2.654.754.965.178.490.000	2.652.870.668

$Y = B \ln X + A$ Contante A: 118.329.499,8 Constante B: 928.890.736

En la Figura 47 se presenta la curva de regresión logarítmica, con la siguiente ecuación: $Y = 928.890.736 \ln X + 118.329.499,8$ y un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.89$, que explica la probabilidad de que afecte la variable del costo con un cambio en la variable

independiente Q (Caudal), sin embargo, al realizar la verificación del modelo se tiene un 4.85 % de error, indicando valor de confiabilidad alto.

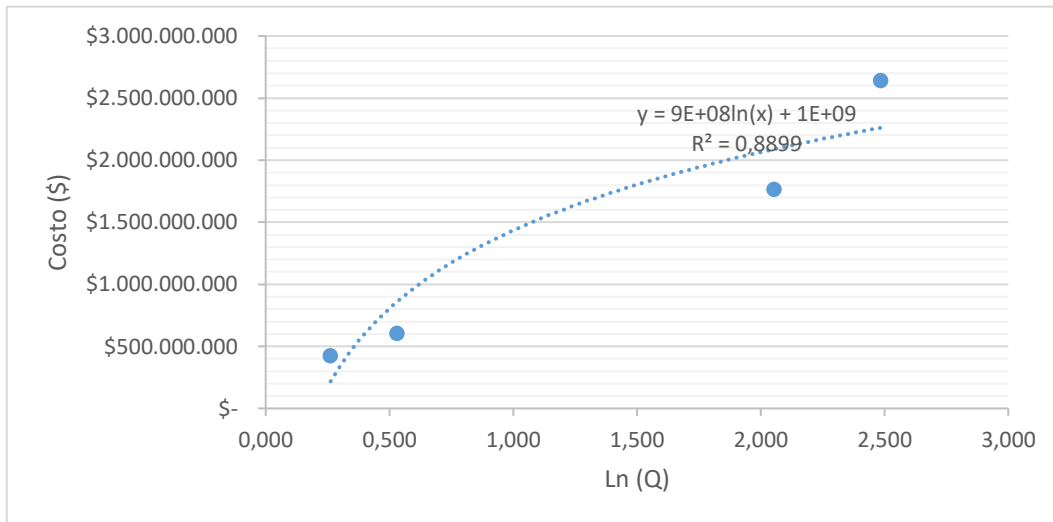


Figura 47. Curva de regresión logarítmica ajustada-Lodos Activados

Validación de Modelo

Para determinar una aproximación del error se ha seleccionado al azar una de las plantas de tecnología lodos activados para poder determinar cuál es el ajuste real de uno de los proyectos. Para este caso resultó seleccionada la planta E.

Se procedió a reemplazar la información en la ecuación y se encontró el siguiente resultado.

El caudal de la planta que se desea validar es de 13.8 L/s y un costo real de \$ 2.437.996.078, por lo tanto, al reemplazar estos valores en la ecuación se encuentra lo siguiente:

$$Y = \$ 2.556.359.841 \text{ Ecuación 20}$$

$$\text{Error} = \frac{2.556.359.841 - 2.437.996.078}{2.556.359.841} \text{ Ecuación 21}$$

$$\text{Error} = 4.85\%$$

4.2.3.9 Regresión Logarítmica - UASB

En la Tabla 32 se presenta los resultados de la tabulación después de aplicar las Ecuaciones 8 a 10 presentadas en la metodología. Para este modelo de regresión se usó los datos de las PTAR A, B, C y D.

Tabla 32

PTAR	Caudal (L/s) (X1)	DBO ₅ (mg/L) (x3)	Costo (Y)	lnX1	lnx^2	y1^2	y1*lnX1
A	22,6	297	\$ 2.133.885.368	3,118	9,722	4553466765840840000,00	6653347684,68104
B	27	450	\$ 2.466.141.403	3,296	10,863	6081853421680220000,00	8127999754,18322
C	50	404,2	\$ 4.662.059.668	3,912	15,304	21734997925201700000,00	18238167569,10490
D	92,6	148	\$ 6.858.020.312	4,528	20,505	47032442603802200000,00	31055098913,37920
E	127	287	\$ 7.016.850.121	4,844	23,466	49236185620562800000,00	33990934743,75850
SUMA	296,6		\$ 21.003.092.695	16,580	70,138	124085479571247000000,00	91412200980,42570
PROMEDIO	74,15		\$ 5.250.773.174	4,145	17,535	31021369892811700000,00	22853050245,10640
$Y = A + B \ln X$		Contante B: 3.084.491.679		Constante A: -7.534.704.012			

Información base regresión logarítmica-UASB

En la Figura 48 se presenta la curva de regresión logarítmica, con la siguiente ecuación:
 $Y = Y = 3.084.491.679 \ln Q - 7.534.704.012$ Y un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.97$, que explica la probabilidad de que afecte la variable del costo con un cambio en la variable independiente Q (Caudal), al realizar la verificación del modelo se tiene un 2.4 % de error, indicando valor de confiabilidad alto.

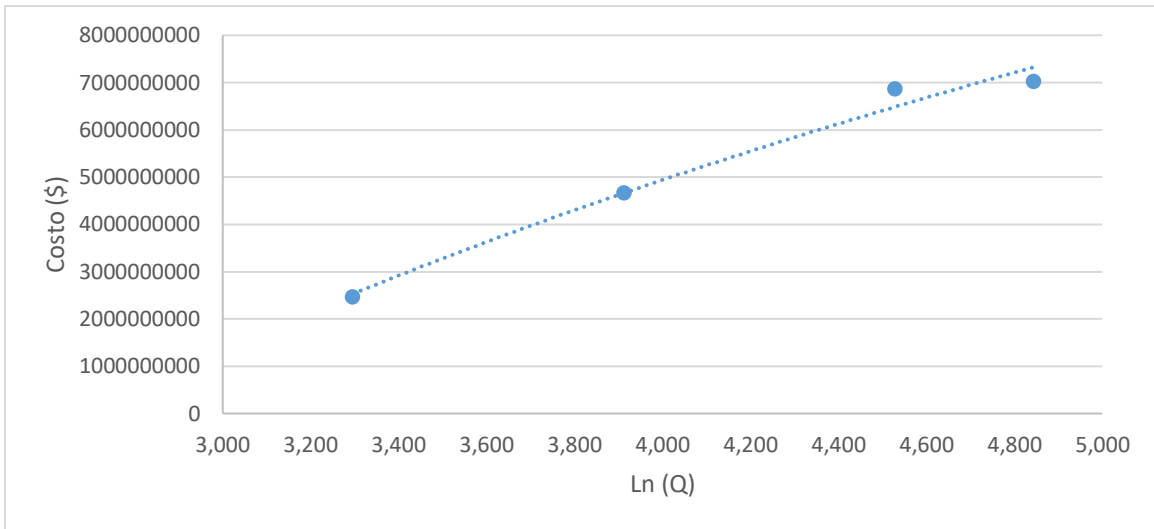


Figura 48. Curva de regresión logarítmica ajustada – UASB

Validación de Modelo

Para determinar una aproximación del error se ha seleccionado al azar una de las plantas de tecnología lodos activados para poder determinar cuál es el ajuste real de uno de los proyectos. Para este caso resultó seleccionada la planta A.

Se procedió a reemplazar la información en la ecuación y se encontró el siguiente resultado.

El caudal de la planta que se desea validar es de 22.6 L/s y un costo real de \$ 2.133.885.368, por lo tanto, al reemplazar estos valores en la ecuación se encuentra lo siguiente:

$$Y = \$ 2.082.586.531 \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\text{Error} = \frac{2.133.885.368 - 2.082.586.531}{2.133.885.368} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$\text{Error} = 2.404\%$$

4.2.3.10 Ajuste de datos mediante una ecuación conocida

Buscando un modelo que se ajuste mejor a los datos, se ha planteado una ecuación de la forma $aQ + bQ^{k-\log(Q)}$ para plantear un modelo para las funciones Lodos Activados y UASB.

- **Función Lodos Activados y UASB**

Usando las funciones descritas en la metodología se obtiene los resultados que se presentan en la Tabla 33, y reemplazando estas constantes en la Ecuación 11 se ha obtenido los resultados presentados en la Tabla 34.

Tabla 33

Constantes de la ecuación propuesta de tecnología Lodos Activados

Constante	Valor
a =	179.818.078
b =	172.186.273
k =	1,25

Tabla 34

Parámetros y tabulación de costos Lodos Activados.

PTAR	Caudal (L/s) (X1)	DBO ₅ (mg/L) (x3)	Costo (Y)	Costo estimado (\$)	Error ²	% Error
				\$ 0	\$ 0	
A	1,3	200	\$ 422.039.395	\$ 465.713.266	\$ 3.673.871	-9,38%
B	1,7	300	\$ 601.391.349	\$ 601.390.136	\$ 1.213	0,00%
C	7,8	350	\$ 1.761.428.125	\$ 1.761.409.665	\$ 18.460	0,00%
D	12	300	\$ 2.641.325.806	\$ 2.420.760.661	\$ 220.565.145	9,11%
E	13,8	350	\$ 2.437.996.078	\$ 2.711.112.769	\$ 273.116.691	-10,07%
SUMA =					\$ 537.375.380	

En la Figura 49 y Figura 50 se observa que las curvas representa muy bien los datos con aproximaciones de costos con errores entre 0% y 10.07% y 0.71% y 5.64% (Ver Tabla 34 y Tabla 35) para las tecnologías Lodos activados y UASB respectivamente, sin embargo

es importante resaltar que a medida que se aleja de los rangos de caudal de estudio, el error tiende a incrementar, no obstante es importante mencionar que el 81% de las cabeceras municipales del Valle del Cauca tiene poblaciones menores a 60.000 habitantes, y si comparamos a nivel nacional el 93.4% de las cabeceras municipales tienen poblaciones menores a esta población (DANE, 2018). Lo cual indica que aun cuando el modelo pueda limitarse al rango de estudio, puede ser de impacto de acuerdo a las poblaciones presentadas en nuestro país; esto para la tecnología UASB. Si analizamos los rangos de poblaciones de la tecnología lodos activados vemos que es una población menor, pues los datos analizados corresponden a poblaciones entre 800 y 8960 habitantes, y al contrastar con la información del DANE del año 2018, vemos que aproximadamente el 68% de las cabeceras municipales cuentan con poblaciones menores a 9.000, lo cual también indica un rango potencial para su uso.

En la Figura 49 se presenta la función que mejor representa los datos de la Tabla 34,

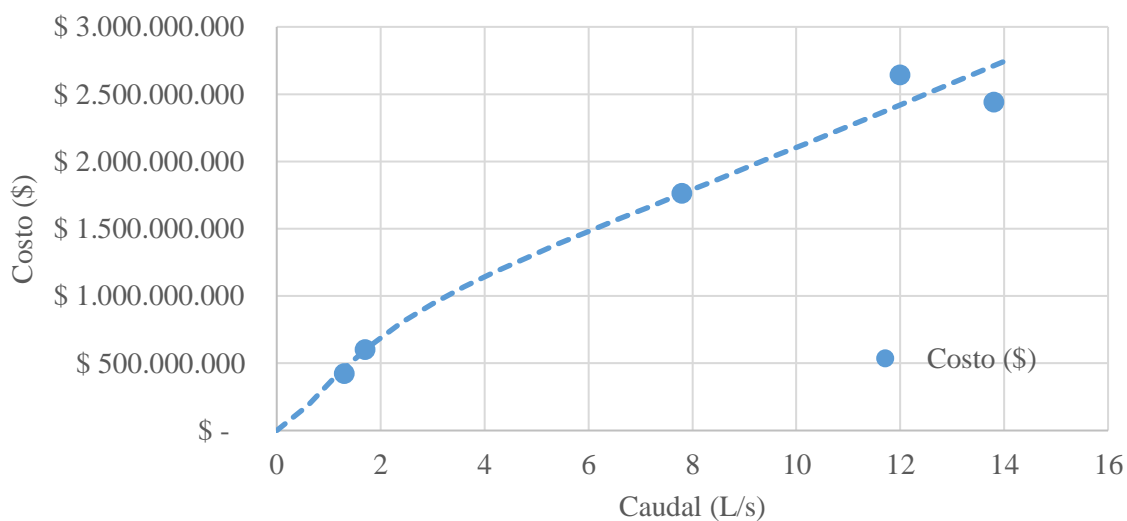


Figura 49. Función de costos ajustada - Lodos activados

$$Y = 179.818.078Q + 172.186.273Q^{1.25-\text{Log}(Q)} \quad \text{Ecuación 24}$$

- **Función UASB**

Tabla 35

Parámetros y tabulación de costos UASB

PTAR	Caudal (L/s) (X1)	DBO ₅ (mg/L) (x3)	DQO (mg/L) (X2)	Costo (Y)	Costo estimado (\$)	Error ²	% Error
	0,000000001			0	\$ 0,01	\$ 0	
A	22,6	297	455	\$ 2.133.885.368	\$ 2.013.574.396,40	\$ 120.310.972	5,64%
B	27	450	799	\$ 2.466.141.403	\$ 2.534.493.068,38	\$ 68.351.665	-2,77%
C	50	404,2	667,2	\$ 4.662.080.858	\$ 4.695.149.755,41	\$ 33.068.897	-0,71%
D	92,6	148	283,4	\$ 4.662.059.668	\$ 6.613.227.538,84	\$ 244.792.773	3,57%
E	127	287	0	\$ 7.016.850.121	\$ 7.190.715.440,53	\$ 173.865.320	-2,48%
Suma	319,2			SUMA =	\$ 640.389.627		

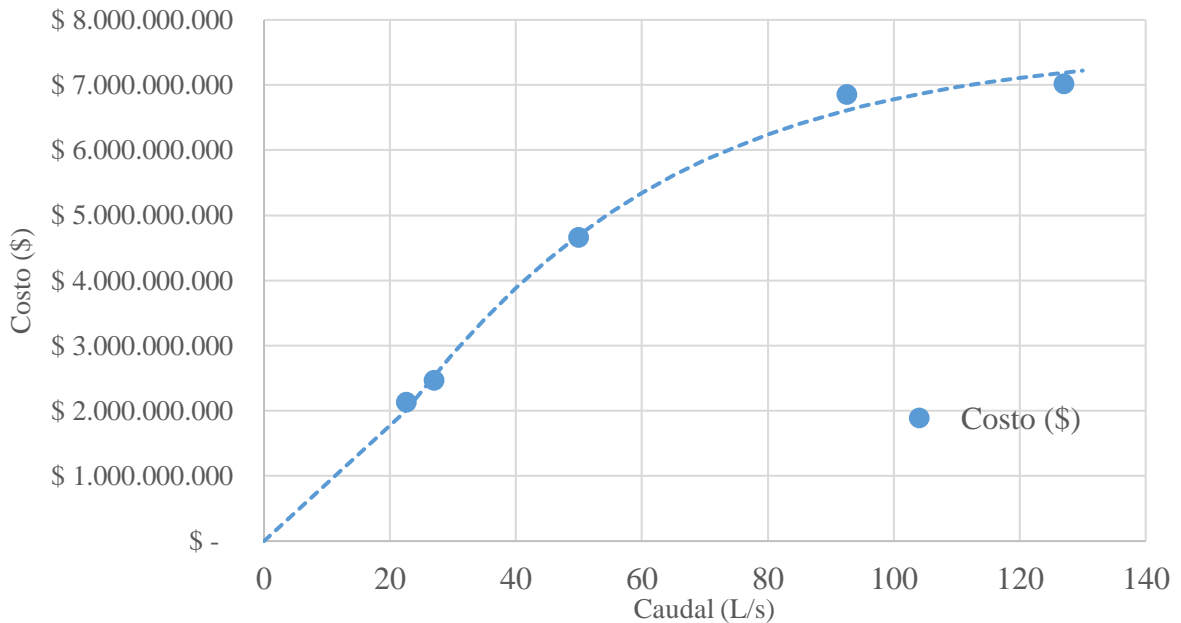


Figura 50. Función de costos ajustada – UASB

Tabla 36

Constantes de la Ecuación 11, función de costos UASB

Constante	Valor
a =	13.789.957
b =	295.615
k =	4,13

$$Y = 13.789.957Q + 295.615Q^{4,13-\text{Log}(Q)} \quad \text{Ecuación 25}$$

5. Conclusiones

Se pudo constatar que la variable con mayor correlación en costos de Plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico en el Valle del Cauca está dada por el caudal. Sin embargo hay variables ajenas al proceso, tales como niveles de inundabilidad, accesibilidad y nivel de tratamiento, las cuales son propias de cada proyecto y se deben analizar en el contexto, para ajustar cualquier estimación de costos que se realice.

En cuanto a las variables de DBO_5 y DQO, se encuentran en rangos de 200 a 450 mg/L para los proyectos con tecnología de lodos activados, y 280 a 667 mg/L, para los proyectos con tecnología UASB, manteniendo una relación entre el 40% y 60% de materia orgánica biodegradable, y en rangos típicos de agua residual doméstica. Por este motivo no se consideraron en el modelo, adicional a esto se encontró que los coeficientes de determinación fueron de 0.45 y 0.39 para la DBO_5 y 0.22 y 0.39 para la DQO para las tecnologías de lodos activados y UASB respectivamente.

Por otro lado, se encontró que los costos per cápita para la tecnología de lodos activados oscilan entre 74 USD y 194 USD, siendo el valor más bajo para la planta con mayor población servida, correspondiente a 61.089 habitantes y el valor más alto para la población menor servida correspondiente a 800 habitantes, evidenciando un comportamiento de economías de escala.

Con respecto a los sistemas de tratamiento con niveles terciarios, como desinfección o filtración, puede representar costos adicionales entre 5.6% y 10.2 % respectivamente del costo directo total del Proyecto. Inversiones que dependen de las condiciones propias del proyecto.

El estudio arrojó que el modelo logarítmico con función $Y = 3.084.491.679 \ln Q - 7.534.704.012$ para UASB y $Y = 92.889.073 \ln Q + 118.329.499,8$ para lodos activados, resultaron ser las funciones que mejor representan los costos de tratamiento.

Se debe destacar que las Inversiones en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas no alcanzan el 50% en los municipios en el Valle del Cauca, y de las plantas existentes se encuentran al menos 4 tecnologías predominantes, lo cual no permite tener mayor información para ajustar el modelo con mayor exactitud.

Así mismo es importante tener en cuenta que el 93% de las cabeceras municipales en Colombia tienen poblaciones menores a 60.000 habitantes, y el 67% menores a 9.000 habitantes, lo cual indica que los modelos planteados pueden ser potencialmente usados, dado que la mejor confiabilidad del modelo se da para caudales con poblaciones que no superan los rangos indicados, tanto para tecnologías UASB, como para lodos activados.

Recomendaciones trabajos futuros

Ajustar los parámetros a partir de la integración de nuevos datos de costos de construcción de plantas de tratamiento construidas para las tecnologías estudiadas.

Evaluar la aplicabilidad del modelo en otras regiones del país.

Evaluar la aplicación del modelo en otras tecnologías de tratamiento considerar el desarrollo de un modelo para estimar los costos de operación.

6. Bibliografía

- AACE. (2011). PL. *Cost Estimate Clasification System*, 1–4.
- AACE. (2015). Skills & Knowledge of cost engineering. *AACE International*, 0086, 6–9.
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2007.04.015>
- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-based reasoning : Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*, 7(1), 39–59.
- ACUAVALLE SA ESP. (2007). *Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Pradera (Valle). Manual de operación y mantenimiento y especificaciones de equipos y accesorios especiales.*
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). Agua Potable, Saneamiento y los Objetivos de Desarrollo del Milenio en América Latina y el Caribe. In *Banco Interamericano de Desarrollo - BID* (pp. 1–39).
<https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/document/Agua-potable-saneamiento-y-los-Objetivos-de-Desarrollo-del-Milenio-en-América-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Baying SAS. (2015). *Hoja de cálculo de la planta de tratamiento de aguas residuales Ciudad Country, de Jamundí, Valle del Cauca.*
- Biota Ingeniería SAS. (2019). *Caracterización de vertimientos 2019 PTARD urbanización Ciudad Country Ozono empresa de servicios públicos SAS ESP.*
- Consultores Ambientales Ltda. (2007). *Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto urbanización Los 5 Soles en el municipio de Jamundí. Constructora Meléndez SA. Santiago de Cali.*
- Contraloría Departamental del Valle del Cauca. (2015). *Manejo de Residuos Sólidos y Sistemas de Tratamientos de Agua Residuales en el Valle del Cauca.* 1–4.
- CVC. (1999). *Manual de Operación y Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Restrepo. Consorcio HYDRA ing. LTDA y Biotec Colombia SA.*
- CVC. (2010). *Planta de Tratamiento Agua Residual Municipio de Pradera, Valle del Cauca. Archivo Fotográfico.*
- DANE. (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018 Colombia.*

- <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Decreto 1076. (2015). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*.
- Ecodesarrollo-Bayin. (2017). *Manual de operación de la planta de tratamiento de aguas residual doméstica Ciudad Country Fase I*.
- EL TIEMPO. (2017). *tratamiento de aguas residuales en Colombia - Medio Ambiente - Vida - ELTIEMPO.COM*.
- Gerencie. (2020). *Valor histórico del salario mínimo en Colombia*.
<https://www.gerencie.com/historico-del-salario-minimo-en-colombia.html>
- LaRepublica. (2018). *Solamente 48,2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales*.
- Lettinga, G., Van Velsen, A., Hobma, S., De Zeeuw, W., & Klapwijk, A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, 22(4), 699–734.
<https://doi.org/10.1002/bit.260220402>
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment And Reuse* (Fourth edi). McGraw-Hill.
- ONU. (2018a). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONU. (2018b). *Se necesita más inversión en agua y saneamiento para alcanzar los ODS*.
<https://news.un.org/es/story/2017/04/1377091>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos WWAP. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. UNESCO. <https://doi.org/10.12691/env-3-1-3>
- Project Management Institute PMI. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Project Management Institute, Inc.
- Ramalho, R. S. (2003). Proceso De Lodos Activos. *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Del Agua*, 149.
- Raschid-Sally, L., & Jayakody, P. (2008). *Drivers and characteristics of wastewater*

- agriculture in developing countries: results from a global assessment.*
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3910/2009.127>
- Resolución 0330. (2017). *Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio* (p. 182).
- Resolución 0631. (2015). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible* (p. 62).
- Rodríguez, J. P., García, C., & Beltran, J. S. (2015). *Planificación Ambiental Hídrica Estacional: Función de costos mediante análisis multivariado para plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.*
- Salas-Quintero, D., Alberto-Zapata, M., & Guerrero, J. (2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región cafetalera. *Scientia et Technica*, 13(37), 591–596.
- SOS Ambiental Ingeniería SAS. (2017). *Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual doméstica “Alto Pance” y “Reserva Pance” Jaramillo Mora SA. Cali, Valle del Cauca.*
- SOS Ambiental Ingeniería SAS. (2019a). *Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual doméstica del proyecto “Ciudad Farallones” Jamundí, Valle del Cauca.*
- SOS Ambiental Ingeniería SAS. (2019b). *Memoria de cálculo del sistema de tratamiento de agua residual doméstica, proyecto plan parcial Kachipay. Zona expansión Cali-Jamundí, Valle del Cauca.*
- SOS Ambiental Ingeniería SAS. (2019c). *Plan de gestión del riesgo para el manejo de vertimientos. Proyectos de vivienda Alto Pance, Reserva Pance y Pance Campestre. Jaramillo Mora SA; Cali, Valle del Cauca.*
- SOS Ambiental Ingeniería SAS. (2020). *Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual doméstica Kachipay, Santiago de Cali.*
- Sperling, M. Von. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions* (IWA (ed.)).
- Suarez, C., Rodríguez, J., & Torres, P. (2011). Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en el Valle del Cauca. In *Universidad del Valle*.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2019). Informe sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2018. In *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SSPD* (pp. 1–114).

https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_sectorial_aa_2018-20-12-2019.pdf

Torres, P. (2012). Perspectives of anaerobic treatment of domestic wastewater in developing countries. *Revista EIA*, 18, 115–129. <https://doi.org/10.1533/tepr>

UN-Water. (2010). Wastewater Management. *United Nation Water Analytical Brief*, 1, 1–56. <https://doi.org/10.5772/16158>

Vivas, C. (n.d.-a). *Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de Riofrío*.

Vivas, C. (n.d.-b). *Memoria técnica del sistema de tratamiento de aguas residuales de Calima - El Darién*.

Anexos

Anexo 1. Detalles de Costos PTAR A-Tecnología de Lodos Activados

Concepto	Componente PTAR	Valor total
Excavación a máquina hasta profundidad requerida	Pozo de bombeo	\$ 1.797.400
Suministro y colocación de base en roca muerta	Pozo de bombeo	\$ 147.840
Suministro y vaciado de concreto simple para solado e=0.05	Pozo de bombeo	\$ 165.000
Relleno con material seleccionado de la excavación	Pozo de bombeo	\$ 330.528
Retiro sobrantes	Pozo de bombeo	\$ 74.250
Suministro y vaciado de concreto estructural 3000 psi	Pozo de bombeo	\$ 4.160.000
Suministro, corte, figuración y colocación de acero de refuerzo	Pozo de bombeo	\$ 4.158.000
Suministro e instalación de juntas de construcción	Pozo de bombeo	\$ 264.000
Impermeabilización de estructura con sikaguard o similar	Pozo de bombeo	\$ 746.460
Suministro y colocación de Escalera ña de gato 1/2"	Pozo de bombeo	\$ 200.000
Suministro en obra e instalación de reja manual	Pozo de bombeo	\$ 770.000
Suministro, transporte e instalación de bomba sumergible	Pozo de bombeo	\$ 22.000.000
Acometida Eléctrica	Obras eléctricas	\$ 10.000.000
Tablero de fuerza y control para el accionamiento de las motobombas, incluye arrancador estrella triangulo, contadores, luces indicadoras, PLC para control por suplencia - alternancia. Accionamiento por interruptor de niveles.	Obras eléctricas	\$ 12.000.000
Control de nivel	Obras eléctricas	\$ 13.000.000
Excavación	Tanque de aireación	\$ 6.270.000
Retiro de Material sobrante	Tanque de aireación	\$ 980.100
Relleno Material Seleccionado	Tanque de aireación	\$ 538.560
Suministro y vaciado de concreto simple para solado e=0.05	Tanque de aireación	\$ 858.000
Suministro y vaciado de concreto estructural 3000 psi	Tanque de aireación	\$ 12.800.000
Suministro, corte, figuración y colocación de acero de refuerzo	Sedimentador Secundario	\$ 13.167.000
Impermeabilizante Concreto	Tratamiento preliminar	\$ 3.100.680
Triplex formaleta muros	Tanque de aireación	\$ 2.337.500
Tabiques deflectores	Tanque de aireación	\$ 220.000
Equipo Actirotor	Tanque de aireación	\$ 40.000.000

Concepto	Componente PTAR	Valor total
Compuertas Metálicas Est. Entrada	Tanque de aireación	\$ 440.000
Rejillas Estructura de Entrada.	Tratamiento preliminar	\$ 550.000
Suministro, transporte e instalación de tubería AC 3"	Conexiones entre unidades	\$ 2.435.400
Suministro, transporte e instalación de tubería AC 6"	Conexiones entre unidades	\$ 4.372.500
Suministro, transporte e instalación de tubería AC 10"	Conexiones entre unidades	\$ 6.591.820
Suministro, transporte e instalación de tubería PVC 8"	Conexiones entre unidades	\$ 2.766.630
Válvulas de mariposa 3"	Conexiones entre unidades	\$ 707.960
Válvulas de Mariposa 6"	Conexiones entre unidades	\$ 341.858
Válvula de Doble compuerta 10"	Conexiones entre unidades	\$ 3.256.000
Codo HF Extremo Liso 90o * 10"	Conexiones entre unidades	\$ 1.011.814
Codo PVC 90o 8"	Conexiones entre unidades	\$ 112.200
Construcción caja Inspección Sencilla 0.8*0.8*1.0	Conexiones entre unidades	\$ 976.800
Baranda tubo galvanizado	Tanque de aireación	\$ 3.960.000
Escaleras metálicas de acceso	Tanque de aireación	\$ 2.500.000
Suministro, transporte e instalación de bomba sumergible para recirculación de lodos	Tanque de aireación	\$ 8.500.000
Excavación	Lechos de secado	\$ 633.600
Retiro de Material sobrante	Lechos de secado	\$ 408.000
Relleno Material Seleccionado	Lechos de secado	\$ 99.000
Suministro y vaciado de concreto simple para solado e=0.05	Lechos de secado	\$ 594.000
Suministro y vaciado de concreto estructural 3000 psi	Lechos de secado	\$ 1.600.000
Suministro, corte, figuración y colocación de acero de refuerzo	Lechos de secado	\$ 1.617.000
Arena	Lechos de secado	\$ 68.100
Grava 1/4" - 3/8"	Lechos de secado	\$ 86.696
Grava 3/8" - 1'	Lechos de secado	\$ 86.696
Tubería PVC Sanitaria 4"	Lechos de secado	\$ 874.500
Codos 90o 4"	Lechos de secado	\$ 22.552
Tee 4"	Lechos de secado	\$ 37.485
Compuertas Metálicas	Lechos de secado	\$ 600.000
Estructura metálica para cubierta y teja Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 2.500.000
Caseta de control u operación	Caseta de operación	\$ 16.000.000
Excavación viga cimienta malla	Cerramiento	\$ 603.900
Viga cimienta malla cierre	Cerramiento	\$ 5.445.000
Malla eslabonada 2" cal. 10 * h=2.5m	Cerramiento	\$ 6.300.000
Puertas en vertiente malla instaladas	Cerramiento	\$ 1.500.000
Transporte de equipo	Preliminares	\$ 1.320.000
Herramienta	Preliminares	\$ 4.400.000

Concepto	Componente PTAR	Valor total
Campamento	Preliminares	\$ 2.200.000
Limpieza General	Preliminares	\$ 3.300.000

Anexo 2. Detalles de Costos PTAR B-Tecnología de Lodos Activados

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Mano obra	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 1.950.810
Diseños	Tanque contacto de cloro	Tanque contacto de cloro	\$ 2.000.000
Ventanas	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 1.933.000
Concreto premezclado	Perdidas de material	Sedimentador Secundario	\$ 5.303.636
Insumos construcción varios	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 468.539
Contrato obras eléctricas	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 87.610.336
Varios	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 111.355
Varios	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 9.246.997
Varios	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 181.950
Varios	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 2.499.576
Insumos construcción varios	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.009.243
PRFV	Sedimentador Secundario	Sedimentador Secundario	\$ 49.214.160
Formaletas	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 14.770.481
Varios	Equipos	Sedimentador Secundario	\$ 232.000
Constr. De tapas	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.680.000
Constr. Tanque químicos	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 950.000
Constr. de tapas y accesorios	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 880.000
Constr. De canaleta	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 2.250.000
Construcción tapa PTAR Altos Pance	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 279.882
Insumos construcción varios	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 1.865.929
Insumos construcción varios	Desagües	Conexiones entre unidades	\$ 88.179
Insumos construcción varios	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 906.630
Varios	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 14.742.668
Codos	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 37.000
Ladrillos	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 844.000

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Varios	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 4.850.000
Varios	Tratamiento preliminar	Tanque contacto de cloro	\$ 5.000.000
Varios	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 121.380
Varios	Equipos	Tanque de aireación	\$ 49.057.000
Acero	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 15.726.899
Equipos	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 35.744.393
Varios	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 937.999
Puerta marco pintado e instalación	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 345.000
Mano de obra para construcción unidades PTAR acta 7	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 4.508.702
Mano de obra para construcción unidades PTAR acta 8	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 10.953.541
Mano de obra para construcción unidades PTAR acta de legalización	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 7.066.166
Excavación pozo de bombeo inicial	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 2.953.559
Cinta pvc junta dilatación	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 47.478
Acero de refuerzo	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 348.665
Acero de refuerzo sobre losa	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 13.551
Losa de fondo en concreto	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 213.254
Sobre losa de fondo	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 112.166
Viga apoyo tapas	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 77.893
Muro en concreto impermeabilizado	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 1.774.481
Pasamuros en tub acero al carbón d=6"	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 123.640
Localización-replanteo	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 15.232
Solado de limpieza	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 77.114
Relleno roca muerta compactado	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 58.635
Anclajes	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 54.410
Relleno con sikatop 122	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 204.470
Anclajes sobre losa	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 341.246
Localización-replanteo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 86.128
Relleno comp.mat.selecc.10km (roca muerta)	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 147.391
Solado de limpieza	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 357.270

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Cinta pvc junta dilatación	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 117.705
Acero de refuerzo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 1.908.507
Acero de refuerzo sobre losa	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 94.857
Losa en voladizo	Tanque de aireación	Tratamiento preliminar	\$ 418.398
Losa de fondo en concreto	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 1.472.614
Sobre losa de fondo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 729.080
Muro en concreto impermeabilizado	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 5.019.660
Viga de borde sobre muro	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 718.348
Pasamuros en tub acero al carbón d= 4"	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 185.460
Anden concreto 10cm 2500 psi	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 850.334
Anclajes sobre muro	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 95.218
Relleno con sikatop 122	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 335.914
Anclajes sobre losa	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 2.220.574
Excavación tierra a mano	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 690.683
Concreto losa de fondo	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 688.922
Concreto impermeabilizado muros	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 1.382.295
Tubería pvc perforada d=6"	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 44.510
Acero de refuerzo	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 523.838
Caja de paso concreto 70 x 70 cm	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 1.186.944
Tubería pvc red desagües 6"	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 59.347
Tubería sanitaria d=4"	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 137.982
Excavación y relleno de tubería 6"	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 372.775
Excavación y relleno de tubería 6"	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 155.045
Localización-replanteo	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 54.599
Solado de limpieza	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 191.098
Relleno roca muerta compactado	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 70.979
Excavación de cajas (a mano)	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 148.368
Caseta sopladores	Caseta de equipos	Tanque de aireación	\$ 1.483.680
Caseta control	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 9.191.398
Base sedimentador	Sedimentador Secundario	Sedimentador Secundario	\$ 1.424.333

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Acero sedimentador, parshall y tanque de cloro	Sedimentador Secundario	Sedimentador Secundario	\$ 414.441
Base en concreto para tanque contacto de cloro	Tanque contacto de cloro	Tanque contacto de cloro	\$ 104.476
Caja para canaleta parshall	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 741.840
Localización y replanteo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 83.494
Relleno en roca muerta + compactación	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 13.743
Solados	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 306.841
Preparación de concreto en obra	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 339.318
Lamina triplex 4 mm eco, varilla 9 mm	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 317.700
Arena gruesa por unidad	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 336.000
Accesorios Hidráulicos	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 438.249
Tubo sanitario 6", 4", unión sanitaria, cemento holcim	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.612.833
Tubo novafort 6x6m	Desagües	Conexiones entre unidades	\$ 415.660
Tubo novafort pavco 6x6	Desagües	Conexiones entre unidades	\$ 692.765
Tubo sanit, pintulux, tubo-p, codo pvc, tee-p, adapt pvc, tapón pvc, union-p., relleno inter, soldad pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 2.252.102
Devolución	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	-\$ 98.190
Devolución	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	-\$ 27.019
Devolución	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	-\$ 55.814
Lamina board 6mm, vigueta, perfil omega, ángulo panel, torni p/oard, cinta mallla, toni p/est	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 284.750
Estuco listo, pegacor blaco y gris, tee-p, adapt pvc, tapón, cinta teflón	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 409.862
Buje sold pvc, tubo-p pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 468.924

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Lamina board 6mm, cegueta, moldura aluminio, espuma, waipe, torni p/est	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 86.753
Tubo-p pvc, codo pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 465.250
Estuco listo 25kg	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 126.217
Tee-p pvc, tubo-p pvc, codo pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 393.420
Ladrillo común	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 256.000
Tubo-p pvc, codo pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 161.784
Adap pvc, válvula pvc, codo pvc, tee-p pvc, buje sold pvc, codo pvc, tubo-p pvc, tapón sold pvc,	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 903.867
Válvula pvc, tee-p pvc, buje sold pvc, adapt pvc, tubo-p pvc, universal pvc, arena mediana, costales	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 611.849
Tubo conduit pavco, curva pavco, tubo-p pvc, adapt pvc, tapon pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 565.812
Tubo-p pvc, tubo sanit, codo pvc y sanit	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 602.877
Válvula pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 212.094
pvc: tubo-p, codo, unión-p, tee-p, tapón sold	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 445.281
Rodillo felpa, tubo-p pvc, coraza galón, cemento, estuco listo	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 301.638
Devolucion FC-23962	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	-\$ 46.931
Codo pvc, tubo conduit, curva pavco,	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 801.778
Codo pavco, lavaplatos, canastilla, sifón, llave lavap	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 186.863
Tubo conduit, curva, cemento, estuco listo, sold pvc, cinta enmascarar	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 425.511
Devolucion FC-23743	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	-\$ 301.090

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Tubo-p pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 254.217
Tubo coduit, sold elec, curva pavco, pintulux	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 230.367
Tubo conduit, curva, doméstico gl	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 118.674
Ajustador xiloquin, coraza gl	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 100.431
Codo pvc, buje sold, cinta precaución, disco metal, sika,	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 197.040
Coraza gln, rodillo, cinta enmascarar, cabo pica, broca lamina	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 116.888
Cemento, alambre amrre, tubo-p pvc, doméstico gl, thiner gl, cinta enmascarar, acido muriatico, brocha, silicona, arena gruesa	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 183.275
Tubo ducto 3" dbx6m T-pesado	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.547.621
Tubo sant, codo sant, unión sant, sold pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 646.505
Codo sant, antico negro, cinta enmascarar	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 101.707
Coraza gl, rodillo felpa, lija, viniltex, brocha, cinta enmascara, thiner	Caseta de operación	Caseta de operación	\$ 127.900
Total componente	Alquiler equipos	Caseta de operación	\$ 49.046
Total componente	Alquiler equipos	Caseta de operación	\$ 623.177
Total componente	Alquiler equipos	Conexiones entre unidades	\$ 978.779
Total componente	Alquiler equipos	Lechos de secado	\$ 188.670
Total componente	Alquiler equipos	Tanque de aireación	\$ 650.831
Total componente	Alquiler equipos	Obras eléctricas	\$ 3.684.926
Total componente	Alquiler equipos	Pozo de bombeo	\$ 233.697
Total componente	Alquiler equipos	Sedimentador Secundario	\$ 1.687.663
Total componente	Alquiler equipos	Tanque contacto de cloro	\$ 3.454
Total componente	Alquiler equipos	Tanque de aireación	\$ 1.520.569
Total componente	Alquiler equipos	Tratamiento preliminar	\$ 325.613
Total componente	Materiales varios ferretería	Caseta de operación	\$ 118.698
Total componente	Materiales varios ferretería	Caseta de operación	\$ 1.508.165
Total componente	Materiales varios ferretería	Conexiones entre unidades	\$ 2.368.764

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Total componente	Materiales varios ferretería	Lechos de secado	\$ 456.604
Total componente	Materiales varios ferretería	Tanque de aireación	\$ 1.575.089
Total componente	Materiales varios ferretería	Obras eléctricas	\$ 8.917.969
Total componente	Materiales varios ferretería	Pozo de bombeo	\$ 565.575
Total componente	Materiales varios ferretería	Sedimentador Secundario	\$ 4.084.348
Total componente	Materiales varios ferretería	Tanque contacto de cloro	\$ 8.358
Total componente	Materiales varios ferretería	Tanque de aireación	\$ 3.679.961
Total componente	Materiales varios ferretería	Tratamiento preliminar	\$ 788.022
Total componente	Obras civiles	Caseta de operación	\$ 2.547
Total componente	Obras civiles	Caseta de operación	\$ 32.368
Total componente	Obras civiles	Conexiones entre unidades	\$ 50.839
Total componente	Obras civiles	Lechos de secado	\$ 9.800
Total componente	Obras civiles	Tanque de aireación	\$ 33.805
Total componente	Obras civiles	Obras eléctricas	\$ 191.398
Total componente	Obras civiles	Pozo de bombeo	\$ 12.138
Total componente	Obras civiles	Sedimentador Secundario	\$ 87.659
Total componente	Obras civiles	Tanque contacto de cloro	\$ 179
Total componente	Obras civiles	Tanque de aireación	\$ 78.980
Total componente	Obras civiles	Tratamiento preliminar	\$ 16.913
Total componente	Transporte materiales	Caseta de operación	\$ 61.579
Total componente	Transporte materiales	Caseta de operación	\$ 782.420
Total componente	Transporte materiales	Conexiones entre unidades	\$ 1.228.889
Total componente	Transporte materiales	Lechos de secado	\$ 236.881
Total componente	Transporte materiales	Tanque de aireación	\$ 817.139
Total componente	Transporte materiales	Obras eléctricas	\$ 4.626.546
Total componente	Transporte materiales	Pozo de bombeo	\$ 293.414
Total componente	Transporte materiales	Sedimentador Secundario	\$ 2.118.916
Total componente	Transporte materiales	Tanque contacto de cloro	\$ 4.336
Total componente	Transporte materiales	Tanque de aireación	\$ 1.909.124
Total componente	Transporte materiales	Tratamiento preliminar	\$ 408.817
Concreto premezclado y laboratorio	Concreto	Pozo de bombeo	\$ 3.852.788
Concreto premezclado y laboratorio	Concreto	Tanque de aireación	\$ 17.594.400
Concreto premezclado y laboratorio	Concreto	Sedimentador Secundario	\$ 5.137.051

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Concreto premezclado y laboratorio	Concreto	Tanque contacto de cloro	\$ 513.705
Concreto premezclado y laboratorio	Concreto	Lechos de secado	\$ 4.494.920
Concreto premezclado y laboratorio	Concreto	Tratamiento preliminar	\$ 513.705

Anexo 3. Detalles de Costos PTAR C-Tecnología de Lodos Activados

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Conector, cable encauchetado	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 968.560
Codal de aluminio	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 42.000
Reclasificación (concreto, mano obra, formaletas y otros)	Tanque de aireación	Lechos de secado	\$ 6.500.000
Reclasificación (concreto, mano obra, formaletas y otros)	Tanque de aireación	Sedimentador Secundario	\$ 7.900.000
Reclasificación (concreto, mano obra, formaletas y otros)	Tanque de aireación	Tanque de aireación	-\$ 14.400.000
Patch and plug 5k	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 98.900
Limpiador pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 42.000
Soldador, waipe, limpiador	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 66.200
Patch and plug	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 98.900
Patch and plug	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 98.900
Sikatop 122 plus	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 102.900
Union sanitaria, codo sanitario, yee y tee sanitaria	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 100.700
Cinta teflón	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 15.000
Toma trifilar	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 13.700
Ladrillo adoquin	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 1.015.400
Tubo cuadrado 1"	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 186.400
Lamina a36 hr 1/8" 6 metros	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 765.408
Limpiador pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 26.700
Tubo, chazos	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 46.000

Malla expandida	Caseta de equipos	Tanque de aireación	\$ 163.149
Tubo conduit pvc	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 60.000
Tubo mueble, canal u3, ángulo 3x16	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 370.888
Chazos y disco metal	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 76.060
Chazos expansivos	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 39.000
Patch and plug	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 432.900
Tornillo con 2 tuercas y copa 3/4	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 16.000
Unión pres 3"	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 62.500
Lamina	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 86.394
Servicio de elaboración de pasos	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 196.943
Disco corte agracel	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 19.500
Soldadura pvc y codo presion 3"	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 76.000
Tubo presopm pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 16.711
Adaptador hembra, tee pres, buje sold	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 47.500
Codo psi	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.600
Adaptador hembra y union hembra	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 3.500
Gal vanizado 4"	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 149.200
Tubo mueble cuad 1" cal 18	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 114.829
Niple acero inox	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 95.000
Tornillo lam pan	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 495
Niple galvanizado, unión universal soldar, sellante para gas	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 35.800
Gastop fuerza alta, disco dw corte metal	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 42.200
Tuercas y arandelas	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 5.400
Codo galvanizado, bushing galvanizado y niple galva	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 8.000
Tubo cuadrado 1"	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 54.900
Manguera heliflat 4" y abrazadera ind	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 268.989
Abrazadera a/c y acople macho aluminio	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 69.490

Solda pvc, disco metal, flexometro, unión sanitaria	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 61.749
Adaptador pvc macho 2 y 3	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 37.422
Varilla 5/8 inox, tuerca 5/8 y arandela 5/8	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 107.600
Brida pvc sch 80 3 vs sw spears	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 53.550
2 cintas teflon	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 6.000
Buj psi roscado, limpiador pvc, soldadura pvc, wye carpeta, costales	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 104.400
1 unión 2" y al hembra	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 10.100
Válvula mariposa, brida slipon y empaque caucho	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 325.584
Unión simple, sogá 3 cabos, costales, soldadura pvc y wye	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 86.300
Tubo 4", codo 4x90, semicod 4x45, varilla corrugada, cuarton otobo	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 244.956
Codo sanitario 4x45 y 4x90, unión sanit 4" y tubo sanit 4"	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 139.690
Marco segueta, manguera nivel, soldadura pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 44.700
Válvula check y flange 4x150	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 350.681
Unión simple u sogá 4 cabos	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 51.000
Adaptador macho, teflon pequeño, brida loca	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 82.348
Bomba centrífuga hidrostática	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 4.819.500
Pasa muros	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 3.094.000
Probeta, soporte y cono	Pruebas laboratorio concreto	Tanque de aireación	\$ 339.150
Tabla rustica, lija de uña, zapapico	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 478.397
Tabla rustica, lija de uña, zapapico	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 36.000
Concreto 2500 psi tm 1/2"	Concreto	Lechos de secado	\$ 2.346.478
Acero figurado	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 29.218.889
Cinta pvc o22	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 2.117.967
Alambre c-18	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 1.666.000
Acero figurado	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 10.966.247
Desmante de motobomba sumergible hidrostal	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 480.000

Bar corr 1 x 12m ntc 2289 g 60(420)	Sedimentador Secundario	Sedimentador Secundario	\$ 953.866
M.o construcción de la base sedimentador	Sedimentador Secundario	Sedimentador Secundario	\$ 8.699.345
Concreto 3000 psi tm	Concreto	Lechos de secado	\$ 3.286.364
Concreto 4000 psi tm 1/2" air- servicio de autobomba	Concreto	Tanque de aireación	\$ 24.324.493
Alquiler conos abrams, moldes para toma muestras y caracterización	Pruebas laboratorio concreto	Tanque de aireación	\$ 1.023.674
M.o fundición de losa de tanque de aireación	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 14.240.161
Transporte de formaletas del tanque de aireación de la obra pta	Transporte formaletas	Tanque de aireación	\$ 500.000
Concreto 4000 psi tm 1/2" air- servicio de autobomba	Concreto	Tanque de aireación	\$ 18.575.067
Soldad pvc 1/4 gal y sikatop	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 778.351
Bridas acero inox	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 380.800
Transporte de formaletas del tanque de aireación de la obra pta	Transporte formaletas	Tanque de aireación	\$ 1.350.000
Alquiler andamios y encofrado abril	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 2.306.478
Alquiler andamios y encofrado abril	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 1.026.387
Alquiler andamios y encofrado abril	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 5.425.306
Alquiler andamios y encofrado abril	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 1.553.117
Codo inox de 6" sch 10	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 172.550
M.o fundición de muros en concreto de tanque de aireación	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 16.329.150
Aro, perno, anillo plano	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 1.857.628
Plástico 4000 psi tm 1/2" air	Concreto	Tanque de aireación	\$ 24.766.756
Difusor burbuja fija y gruesa	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 8.216.122
M.o fundición muros y viga tanque lodos activados	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 15.774.131

Soldad pvc 1/4 gal y limpiador	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 153.286
Cuñete, rodillos, brochas	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 760.000
Grava lavada de rio	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 164.600
Ensayo resistencia a compresión de cilindros	Pruebas laboratorio concreto	Tanque de aireación	\$ 555.242
Transporte formaletas tanque de aireación	Transporte formaletas	Tanque de aireación	\$ 1.350.000
Válvulas, bridas y tornillería	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 9.226.070
Codo pvc-p, tee pvc-p, buje	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 919.500
Accesorios pvc-p de 1 1/2"	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 2.834.818
Ladrillo comun y teja	Caseta de equipos	Tanque de aireación	\$ 220.000
Devolucion ladrillo	Caseta de equipos	Tanque de aireación	-\$ 108.000
Soldad pvc y copa pulir	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 123.655
Soldad elec wes y tela verde	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 143.862
Tee, buje soldado y adapta	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 362.137
Suministro y fabricación de tamiz estático en fibra de vidrio	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 13.235.109
M.o para pintura de tanque de aireación y relleno material lechos fc-67	Lechos de secado	Lechos de secado	\$ 3.989.485
M.o para pintura de tanque de aireación y relleno material lechos fc-67	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 3.989.485
Tubería p.p y accesorios p.p	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 8.901.941
Masterseal (impermeabilizante)	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 663.160
Lamina alfajor, viga, angulo, perlin	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 6.662.938
Malla expandida	Caseta de equipos	Tanque de aireación	\$ 815.745
Rodillo, disco metal, soldad elec	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 555.165
Alquiler mayo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 1.463.846
Reparacion dev mayo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 59.026
Alquiler mayo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 6.127.076
Reparacion dev mayo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 27.698

Equipo irreparable dev mayo	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 27.800
Tubo sani,codo,yee,tee	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 2.638.604
Lamina hr	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 423.259
Impermeabilizante (masterseal)	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 2.210.532
Tee, reduccion. codo. válvula. adaptador	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 440.649
Paso en acero, chazo expandido, platina	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 4.272.100
M.o impermeabilización tanque e instalación de difusores	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 3.996.986
Manguera reforzada	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 416.500
Riel chanel y abrazaderas	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 131.465
Reposición de equipo por cierre de obra	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 172.961
Codo, unión, tubería, válvula	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 3.217.812
Tanque rectangular (sedimentador) fibra vidrio	Sedimentador Secundario	Sedimentador Secundario	\$ 55.424.720
Transporte de tanque en fibra de vidrio Bogotá jamundi	Sedimentador Secundario	Sedimentador Secundario	\$ 5.700.000
Canal hr, angulo, rueda	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 4.483.920
Tuberia pvc-p rde 21	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 884.328
Válvula, varilla, tuerca, arandela, empaque, platina, orificios	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 2.125.340
Válvula mariposa, varillas, tuerca, arandelas, empaque, platina	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 2.125.340
Platina, unión pvc, válvula, collar inox	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.407.889
Tubo conduit,ladrillo común, pintulux, varsol, antico	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 643.535
Mano de obra instalación de tubería conduit y cajas en concreto	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 2.588.541
Tubería 6pavco, codos cxc 6x45, codos cxe 6x45, unión 6pavco	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.020.886
Tubo conduit, curva 2, arena mediana, empaque, antico	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 806.315
Soldado, limpiador, segueta, arena mediana, empaque	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 156.811

Tee sanitaria, tapon prueba sanit, antico gris, disco metal	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 373.687
Bomba sumergible y codod fast out	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 16.552.547
Diseño eléctrico y control ptar	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 5.419.260
Soplador, válvula, indicador, manómetro, controlador, juego de amortiguadores	Equipos	Tanque de aireación	\$ 32.962.714
Codo, tubo presión, tee	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 528.985
Mano de obra elaboración 20 unidades de rodamientos en empack-n	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 1.600.000
Pintulux, tubo,tee presión, codo, buje, yee sanitaria, unión presión	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 988.823
Suministración de pasamanos, soporte de tubería, pasarelas, tapas	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 9.068.000
Codo, soldado, limpiador	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 178.649
Cadena, guaya, perro inox, brida pvc, válvula, inox, empaque caucho	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 2.444.260
Instalación de tuberías y accesorios del reactor de codos	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 3.011.069
Unión sanitaria, yee sanit, limpiador,brocha,tubo presión, codo 90	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 652.445
Tuerca, arandela ,abrazadera, cadena y guaya inoxidable	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 613.445
Soldadura pvc y guante vigueta ingenie	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 120.026
Cinta teflón, buje sold, codo, tubo presión, arena mediana, empaque y ladrillo	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 268.014
Tubo conduit y ladrillo común grande	Caseta de equipos	Tanque de aireación	\$ 176.009
Retiro de escombros	Retiro de material	Tanque de aireación	\$ 540.000
Excedente 50 % restante por suministro de tramo de tubería ptar + adicional 80.000	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 3.980.000
Red polipropileno ampliación ptar	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 4.179.938
Mo de construcción de cajas eléctricas e instalación de tuberías	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 1.844.970

Tubo sani, codo sani, buje sold	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 298.578
Unión sanitaria, solda pvc, limpiador pavco, cinta enmascarar	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 186.030
Suministro de motobomba, suministro de accesorios, mano de obra	Equipos	Tanque de aireación	\$ 10.938.361
Conector recto liquido, curva, coraza, juego boquilla, limpiador removedor	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 913.646
Ruedas en teflón y abrazadera cremallera	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 176.120
Elaboración marcos y soporteria para instalaciones hidráulicas ptar	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 3.993.589
Bandeja portacable, bisagra, cubre union,curva,soporte,tapa,tornillo	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 7.020.381
Abrazaders, unión galv, cofre,caja plástica, coraza	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 2.305.791
Koraza galón, unión sanitaria, rodillo felpa, guante vagueta	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 153.042
Cable desnudo,aislado,borna terminal, cinta temflex, soldadura,molde	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 5.919.565
Canal estructurado, abrazadera, juego bushing, conduleta, coraza	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 884.629
Molde, cable instrumentación	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 674.128
Fabricación acoples en acero inoxidable para línea de aire ciudad	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 475.000
Cable cu aislado, negro,verde	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 545.636
Cable cu aislado negro 2/0	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 828.358
Mano de obra instalación tubería y construcción de cajas en concreto	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.290.975
Bisagra, tapa bandeja, tapa curva, separador	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 3.105.091
Tablero bt	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 31.511.200
Tee presión pvc y primer para plástico	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 165.727
Brida, varillas,metro, tuercas, arandelas, tess pvc, uniones, y cruz pvc	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 2.560.880

Cable encauchetado, anillos marcadores, amarra, anillos, conector	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 1.584.386
Riel omega 1mts importado	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 11.281
Guardamotor, base montaje, contactor, minibreaker	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 1.187.977
Aerosol ultracover	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 23.900
Cable encauchetado, y borna terminal cobre estañado	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 190.210
Desmontaje y montajes eléctricas (junio)	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 400.000
Mano de obra para la construcción y montaje de válvulas sedimentador	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.403.951
Freno, guardamotor, mini interruptor	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 423.581
Embarrado bipolar 12 pol	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 66.608
Galón primer epóxido, gln epódica gris, gln disolvente	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 714.000
Cable vfd flexible 3x4+8	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 2.891.700
Tubo, curva, caja intemperie, unión ,tapa ciega, orna, condulecta, adaptador	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 437.028
Tubo sanitario 4"	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 89.505
Galones de htinner, boquin en abanico, guaipes, tapabocas	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 64.700
Transporte materiales eléctricos y compresor obra	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 140.000
Servicios de construcción cajas ,inspección obra ptar	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.290.975
Mt coraza y conector recto (noviembre)	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 9.500
Reducción bushing de 1" a 1/2 (noviembre)	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 2.589
Construcción y dirección de obra eléctricas, control e instrumentación	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 18.500.000
Sello mecánico bombas, aro sello, rodamiento y servicio de mantenimiento	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 2.819.569

Suministro de materiales, mano de obra para adecuación planta eléctrica PTAR	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 3.200.000
Mano de obra para instalaciones eléctricas en la PTAR ciudad	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 5.876.899
Difusor burbuja fina de 12" stam ord.	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 108.707
Switch flotador sencillo	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 40.000
1 tapón 2	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 9.100
Cinta 23 autofundente, cable encauchetado, cinta templex, amarras y transporte	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 132.923
Galón epódica gris, epoxica negra y rodillos epoxicos	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 159.000
Tubo acero inoxidable clase 40 de 1 ½ y 2"	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 937.720
Mano de obra para la instalación de tuberías	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 595.000
Cable encauchetado 2x16, y 4x12 y mano de obra gravada	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 612.752
Suministro de chazos inoxidable 5/8"	Metalmecánicos	Pozo de bombeo	\$ 83.300
Membrana buttle tanque, unión mecánica, unión pvc lis, manguera lay, mano de obra instalación	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 820.913
Switche flotador 16 amp ebc mano de obra e instalacion	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 130.900
Manguera lay flat 4" azul	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 262.000
Galon epóxica, botella disol, rodillo epoxico (factura marzo)	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 114.000
Servicio de atención a emergencia por taponamiento y sondeo con tirabuzon	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 840.000
Impermeabilización tanque de agua residual ciudad	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 8.547.834
Servicio de puesta en operación, sistema de configuración con 2 flotas	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 398.750
Asistencia técnica mas switche flotador	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 70.000
Garrucha 1000kg mas accesorios e instalación	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 214.400

Guaya inox, pernos inox	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 178.500
Atención de emergencia	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 60.000
Switche flotador mac 3	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 73.661
Mano de obra pruebas hidrostáticas ptar ciudad - tk de aireación	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 1.271.400
Servicio de revisión de operación de sistema	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 400.000
Difusor burbuja fina de 12" stam ords s	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 236.931
Impermeabilización tanque de agua residual ciudad	Tanque de aireación	Tanque de aireación	\$ 5.409.494
Cable encauchetado 4x14 y cinta templex	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 120.005
Mantenimiento de pozo septico (gl)	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 4.564.840
Instalaciones eléctricas adicionales en ciudad	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 1.950.300
Anticipo para la adecuación de tamiz ptar	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 1.575.000
Chazo expansivo inox de 5/8"	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 161.840
Soldadas de pasamuros	Metalmecánicos	Pozo de bombeo	\$ 480.000
Soporte para tablero eléctrico ptar	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 180.000
Soldada de dos pasamuros	Metalmecánicos	Pozo de bombeo	\$ 470.000
Apoyo en instalación de bomba y retiro material pozo de bombeo	Metalmecánicos	Pozo de bombeo	\$ 2.162.230
Fabricación de tapa en acero inoxidable pozo reserva	Metalmecánicos	Pozo de bombeo	\$ 350.000
Guaya inox de 3/16" y perro inox de 1/4"	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 227.290
Adecuación de tamiz ptar	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 1.855.000
Servicio de cambio ruta de acometidas caseta de cloro	Sistema eléctrico	Obras eléctricas	\$ 350.000
Soldada de pasamuro	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 700.000

Suministro de motobomba , suministro de accesorios y mano de obra	Equipos	Sedimentador Secundario	\$ 2.969.871
Instalación de bomba del pozo de bombeo ptar	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 600.000
Revisión estado de tubería en tanque de oxigenación	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 428.400
Total componente	Alquiler equipos	Tanque de aireación	\$ 66.618
Total componente	Alquiler equipos	Conexiones entre unidades	\$ 2.837.690
Total componente	Alquiler equipos	Lechos de secado	\$ 613.625
Total componente	Alquiler equipos	Tanque de aireación	\$ 1.651.611
Total componente	Alquiler equipos	Obras eléctricas	\$ 5.498.927
Total componente	Alquiler equipos	Pozo de bombeo	\$ 240.036
Total componente	Alquiler equipos	Sedimentador Secundario	\$ 4.137.176
Total componente	Alquiler equipos	Tanque de aireación	\$ 1.573.248
Total componente	Alquiler equipos	Tanque de aireación	\$ 10.960.470
Total componente	Alquiler equipos	Tratamiento preliminar	\$ 876.313
Total componente	Herramientas	Tanque de aireación	\$ 15.700
Total componente	Herramientas	Conexiones entre unidades	\$ 668.751
Total componente	Herramientas	Lechos de secado	\$ 144.611
Total componente	Herramientas	Tanque de aireación	\$ 389.231
Total componente	Herramientas	Obras eléctricas	\$ 1.295.917
Total componente	Herramientas	Pozo de bombeo	\$ 56.569
Total componente	Herramientas	Sedimentador Secundario	\$ 974.997
Total componente	Herramientas	Tanque de aireación	\$ 370.763
Total componente	Herramientas	Tanque de aireación	\$ 2.583.023
Total componente	Herramientas	Tratamiento preliminar	\$ 206.518
Total componente	Materiales varios ferretería	Tanque de aireación	\$ 51.644
Total componente	Materiales varios ferretería	Conexiones entre unidades	\$ 2.199.854

Total componente	Materiales varios ferretería	Lechos de secado	\$ 475.698
Total componente	Materiales varios ferretería	Tanque de aireación	\$ 1.280.374
Total componente	Materiales varios ferretería	Obras eléctricas	\$ 4.262.917
Total componente	Materiales varios ferretería	Pozo de bombeo	\$ 186.082
Total componente	Materiales varios ferretería	Sedimentador Secundario	\$ 3.207.250
Total componente	Materiales varios ferretería	Tanque de aireación	\$ 1.219.624
Total componente	Materiales varios ferretería	Tanque de aireación	\$ 8.496.852
Total componente	Materiales varios ferretería	Tratamiento preliminar	\$ 679.341
Total componente	Transporte materiales	Tanque de aireación	\$ 11.018
Total componente	Transporte materiales	Conexiones entre unidades	\$ 469.322
Total componente	Transporte materiales	Lechos de secado	\$ 101.486
Total componente	Transporte materiales	Tanque de aireación	\$ 273.158
Total componente	Transporte materiales	Obras eléctricas	\$ 909.460
Total componente	Transporte materiales	Pozo de bombeo	\$ 39.699
Total componente	Transporte materiales	Sedimentador Secundario	\$ 684.242
Total componente	Transporte materiales	Tanque de aireación	\$ 260.197
Total componente	Transporte materiales	Tanque de aireación	\$ 1.812.736
Total componente	Transporte materiales	Tratamiento preliminar	\$ 144.932

Anexo 4. Detalles de Costos PTAR D-Tecnología de Lodos Activados

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Bridas, válvulas, empaques y tornillería	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 40.493.636
Soldadura y limpiador PVC	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 14.296.886
Accesorios PVC presión	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 12.456.840
Tubería PVC presión y sanitaria	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 13.683.700
Tubería polipropileno	Sistema de aire	Tanque de aireación	\$ 7.177.253
Buggy y Pala	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 510.150
Conexión en fibra de vidrio cadica y tratamiento preliminar	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 2.750.000
Acoples manguera fleximétrica	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.088.850
Tubería Novafort	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.343.441
Chapaleta	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.118.600
Compra tubería y abrazaderas para soporte tubería polipropileno	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 161.817
Acero Cabezal de descarga	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 1.890.124
Cemento cabezal de descarga	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 5.824.100
Angulos soportería	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 748.843
Compras caja menor	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 353.493
Material de patio	Excavaciones y relleno	Excavaciones y relleno	\$ 1.538.999
Material de patio	Excavaciones y relleno	Excavaciones y relleno	\$ 1.796.018
Tierra amarilla	Excavaciones y relleno	Excavaciones y relleno	\$ 10.189.000
Equipos movimiento de tierra y tierra amarilla	Excavaciones y relleno	Excavaciones y relleno	\$ 19.593.000
Tierra amarilla	Excavaciones y relleno	Excavaciones y relleno	\$ 1.826.000
Equipos movimiento de tierra	Excavaciones y relleno	Excavaciones y relleno	\$ 1.023.000
Equipos movimiento de tierra	Excavaciones y relleno	Excavaciones y relleno	\$ 1.065.000
Tierra amarilla	Excavaciones y relleno	Excavaciones y relleno	\$ 5.950.000

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Mano de obra instalaciones hidraulicas	Conexiones entre unidades	Conexiones entre unidades	\$ 13.132.099
Instalacion tuberia polipropileno	Sistema de aire	Tanque de aireacion	\$ 4.500.397
Construccion camaras e instalacion tuberia descarga y cabezal	Desagües	Conexiones entre unidades	\$ 35.000.000
Barandas, pasarelas, elementos de izaje de bombas	Metalmecánicos	Tanque de aireación	\$ 111.979.997
Cerramiento	Obras complementarias	Obras complementarias	\$ 36.120.935
Sopladores y difusores	Sistema de aire	Tanque de aireacion	\$ 62.920.060
Bombas pozo de bombeo	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 50.741.600
Planta electrica	Equipos	Sistema eléctrico	\$ 48.206.271
Suministro e Instalacion bombas columnas de carga	Equipos	Sedimentador secundario	\$ 4.301.553
Winche	Equipos	Pozo de bombeo	\$ 1.312.045
Calibracion Medidor	Sistema eléctrico	Sistema eléctrico	\$ 398.700
Vigilancia	Operación obra	Operación obra	\$ 16.319.270
Localizacion-replanteo area ptar fase i	Preliminares	Excavaciones y relleno	\$ 4.240.719
Descapote + retiro h= 0.40 mts	Preliminares	Excavaciones y relleno	\$ 11.832.431
Excavacion a maquina con retiro interno < 1km para construir estructura de entrada	Preliminares	Pozo de bombeo	\$ 31.197.746
Relleno con roca muerta compactado 95% pm-area ptar (area sombreada plano p11)	Preliminares	Excavaciones y relleno	\$ 192.193.404
Instalacion de sistema provisional de energia para etapa de construccion	Preliminares	Excavaciones y relleno	\$ 25.796.400
Configuracion-nivelacion subrasante	Preliminares	Excavaciones y relleno	\$ 3.178.062
Instalacion de sistema provisional de energia para etapa de construccion	Preliminares	Excavaciones y relleno	\$ 33.300.000
Relleno compactado con material de rio (tmax 3"), se instalara debajo de la estructura de entrada h=1,0 m-recomendación estudio de suelos	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 9.473.212
Instalacion de geotextil nt3000	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 587.112
Relleno con material de sitio proveniente de la excavacion compactado 90% pm	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 65.199.662
Manejo permanente de las aguas del nivel freatico (durante toda	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 6.414.240

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
la etapa de construcción de la estructura de entrada)			
Solado de limpieza espesor e=0.05m 2500 psi	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 2.437.442
Suministro e instalación de cinta sika pvc o-22	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 1.698.588
Construcción de muro en concreto reforzado impermeabilizado de 4000 psi encofrado metálico	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 65.185.640
Suministro e instalación de acero refuerzo 60000 psi	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 56.528.511
Viga aleta tanque en concreto e=30 cms concreto 4000 psi impermeabilizado	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 15.036.836
Recubrimiento epoxico concreto con master seal 500 dos manos	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 4.379.198
Impermeabilización tanque muros exteriores con igol denso-dos capas	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 7.001.226
Armado y vaciado losa de fondo en concreto impermeabilizado resistencia 4000 psi	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 9.331.625
Gaviòn de 1x1x2	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 9.070.572
Tablaestacado	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 4.870.203
Empedrado con piedra media songa	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 6.419.934
Resane de junta fría sin cinta pvc y carteras pases	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 1.134.894
Bordillo de 0.1x0.05	Pozo de bombeo	Pozo de bombeo	\$ 137.103
Viga aérea losa concreto de 4000 psi	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 3.107.209
Estructura metálica soporte tratamiento viga hea 220- incluye sistema de anclaje a muros del tanque-platinas y chazos expansivos- epoxico	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 16.728.570
Losa concreto en voladizo concreto de 4000 psi	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 4.891.323
Suministro e instalación de acero refuerzo	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 3.039.513
Solado de limpieza espesor e=0.05m 2500 psi	Sedimentador primario	Sedimentador primario	\$ 829.813
Suministro e instalación de acero refuerzo	Sedimentador primario	Sedimentador primario	\$ 2.241.842
Suministro e instalación malla electrosoldada	Sedimentador primario	Sedimentador primario	\$ 330.619

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Losa de concreto apoyo sedimentador primario 3500 psi según detalle estructural	Sedimentador primario	Sedimentador primario	\$ 6.849.444
Caseton h=0.33	Sedimentador primario	Sedimentador primario	\$ 247.510
Solado espesor e=0.05m 2500 psi 175 mpa	Tanque de aireacion	Tanque de aireación	\$ 1.752.368
Suministro e instalacion de cinta sika pvc o-22	Tanque de aireacion	Tanque de aireacion	\$ 1.220.052
Viga de cimentacion concreto 4000 psi impermeabilizado	Tanque de aireacion	Tanque de aireación	\$ 10.724.126
Losa de fondo concreto impermeabilizado 4000 psi	Tanque de aireacion	Tanque de aireacion	\$ 6.961.051
Muro en concreto impermeabilizado 4000 psi-encofrado metalico	Tanque de aireacion	Tanque de aireacion	\$ 37.814.430
Recubrimiento epoxico concreto con master seal 500 dos manos	Tanque de aireacion	Tanque de aireacion	\$ 7.110.349
Suministro e instalacion de acero refuerzo	Tanque de aireacion	Tanque de aireacion	\$ 23.347.964
Instalacion de pasamuro bridado-extremo liso en acero inox d=6" sch 40 l. 0,60 mts (no incluye el suministro).	Tanque de aireacion	Tanque de aireacion	\$ 141.745
Instalacion de geotextil nt3000	Tanque de aireacion	Tanque de aireacion	\$ 4.658.791
Instalacion de geomalla	Tanque de aireacion	Tanque de aireacion	\$ 1.749.035
Excavacion tierra a mano	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 66.647
Suministro e instalacion de acero refuerzo	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 9.829.367
Solado espesor e=0.05m 2500 psi 175 mpa	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 1.013.168
Losa de fondo concreto impermeabilizado 4000 psi	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 5.962.310
Muro en concreto impermeabilizado 4000 psi	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 12.951.926
Suministro e instalacion de lecho de grava 1/4"-3/4"	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 286.422
Suministro e instalacion de lecho de grava 3/16" cuarzo	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 1.184.684
Suministro e instalacion de lecho de arena gruesa	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 339.473
Lecho o tendido en adoquin de concreto	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 1.616.608

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Estructura metalica en perlin cubierta	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 10.183.854
Teja de policarbonato tipo alveolar 4mm 2,95x1,05	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 2.116.740
Anden concreto 10cm 2500 psi 175 kg/cm2	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 2.519.824
Relleno en roca sin suministro	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 84.506
Suministro e instalacion de cinta sika pvc o-22	Lechos de secado (2 modulos)	Lechos de secado (2 modulos)	\$ 1.414.053
Cuarto para sopladores - losa de cimentacion e=15 cms-muros en mamposteria bloque estructural 14x10x30 - altura total 2,40, cubierta liviana teja pvc , correas en perfil metalico tipo perlin de 4", acabado interno bloque revitado- acabado externo repellido y pintado color blanco- mas detalles en plano adjunto formato acad..	Caseta de equipos	Caseta de equipos	\$ 12.424.471
Excavacion a mano roca muerta	Sedimentador secundario	Sedimentador secundario	\$ 267.819
Solado 5 cm	Sedimentador secundario	Sedimentador secundario	\$ 1.313.288
Acero de refuerzo 60000 psi	Sedimentador secundario	Sedimentador secundario	\$ 4.422.572
Conformacion y compactacion subrasante	Sedimentador secundario	Sedimentador secundario	\$ 228.149
Losa macisa en concreto de 3000 psi e= 0.35 (nivel sup	Sedimentador secundario	Sedimentador secundario	\$ 10.251.276
Conformacion y compactacion subrasante	Cimentacion columnas de carga y vigas de escalera tanque aireación	Tanque de aireación	\$ 33.702
Solado 5 cm	Cimentacion columnas de carga y vigas de escalera tanque aireación	Tanque de aireación	\$ 154.469
Acero de refuerzo 60000 psi	Cimentacion columnas de carga y vigas de escalera tanque aireación	Tanque de aireación	\$ 717.261
Losa macisa en concreto de 3000 psi	Cimentacion columnas de carga y vigas de	Tanque de aireación	\$ 1.817.028

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
	escalera tanque aireación		
Dado de 1x1x0.4	Cimentacion columnas de carga y vigas de escalera tanque aireación	Tanque de aireación	\$ 362.764
Dado de 1.6x1x0.2/2	Cimentacion columnas de carga y vigas de escalera tanque aireación	Tanque de aireación	\$ 185.274
Conformacion y compactacion subrasante	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 152.946
Solado 5 cm	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 91.526
Relleno rocamuerta sin suministro	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 16.329
Acero de refuerzo 60000 psi	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 405.011
Malla electrosoldada	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 896.451
Grafil 4mm muros	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 115.572
Losa macisa en concreto de 3000 psi	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 2.663.069
Muro blque estructural #12 cley	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 3.495.006
Muro calado 20x20 circulo central	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 572.001
Muro culata en bloque cley #12	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 953.953
Concreto muro-dovelas 3100psi-420mpa	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 704.388
Viga bloque #12 gris	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 785.301
Viga cinta 0.12x0.10	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 668.882
Viga dintel de 0.12x0.2	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 176.732
Puerta en malla eslabonada 3.2x2.8	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 965.627
Cubierta en teja fibrocemento	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 1.396.500
Estructura metálica cubierta	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 1.556.387
Cárcamo de 4 x0.4x0.8	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 800.366
Demolición de muro mamposteria	Caseta planta de emergencia	Caseta de equipos	\$ 50.194
Columna de carga	Sedimentador primario	Sedimentador primario	\$ 7.223.295
Sedimentador primario	Sedimentador primario	Sedimentador primario	\$ 58.737.080

Concepto	Componente PTAR	Agrupación componente	Valor Agrupación Componente
Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 46.839.953
Cámara de Caudales- Cadica	Tratamiento preliminar	Tratamiento preliminar	\$ 3.013.895