

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS
DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HCFSS) PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE POBLACIONES MENORES A
2000 HABITANTES EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**



MAURICIO ARIAS PEDROZO

WILBER DAZA ORTIZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS
DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HCFSS) PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE POBLACIONES MENORES A
2000 HABITANTES EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

**MAURICIO ARIAS PEDROZO
WILBER DAZA ORTIZ**

**Trabajo de Grado presentado como Requisito
Parcial para optar al Título de:
Ingeniero Civil**

**Directora:
ING. ANGÉLICA CORZO HERNÁNDEZ
Codirector:
ING, PhD. ALVARO VIVIESCAS JAIMES**

**Universidad Industrial de Santander
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

Dedicamos éste trabajo a nuestro Señor Jesús y padre Dios; porque Jehová da la sabiduría y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia (Pro 2:6), por la vida de nuestros padres: Oscar Daza, Elisa Ortiz, Mauricio Arias, Miryam Pedrozo, quienes fueron nuestro apoyo durante todo el proceso académico.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1. PANORAMA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	16
2. PROBLEMÁTICA DEL SANEAMIENTO EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.....	16
3. METODOLOGÍA.....	18
3.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS ESTUDIADOS Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	18
3.1.1 MUNICIPIO DE BETULIA SANTANDER.....	19
3.1.2 MUNICIPIO DE GUA VATÁ SANTANDER.....	20
4. DISEÑO Y CÁLCULO DE LAS PTAR PARA LA DEFNCIÓN DE LA LINEA DE TRATAMIENTO DE LOS MUNICIPIOS DE BETULIA Y GUA VATA.....	21
4.1 DEFINICIÓN DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO.....	21
4.2 DISEÑO Y CALCULO DE UNIDADES DE PROCESO.....	23
4.2.1 MUNICIPIO DE GUA VATÁ.....	23
4.2.1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	23
4.2.1.2 DISEÑO DEL CANAL DE DESBASTE Y DESARENADO.....	24
4.2.1.3 DISEÑO DE TANQUE IMHOFF.....	24
4.2.1.4 DISEÑO DE HUMEDALES FLUJO SUBSUPERFICIAL.....	25
4.2.2 MUNICIPIO DE BETULIA SANTANDER.....	26
4.2.2.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	26
4.2.2.2 DISEÑO DEL CANAL DE DESBASTE Y DESARENADO.....	26
4.2.2.3 DISEÑO DE TANQUE IMHOFF.....	27
4.2.2.4 DISEÑO DE HUMEDALES FLUJO SUBSUPERFICIAL.....	28
5. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	29
5.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL USO DE HCFSS EN LOS MUNICIPIOS DE GUA VATÁ Y BETULIA SANTANDER.....	29

5.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE TIPO CONVENCIONALES.....	29
5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SOLUCIÓN CON HUMEDALES Y SISTEMAS CONVENCIONALES.....	30
6. CONCLUSIONES.....	32
7. BIBLIOGRAFÍA.....	33
8. ANEXOS.....	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Detalles básicos de los sitios de estudio.	19
Tabla 2. Datos característicos para el diseño hidráulico de humedales en el municipio de Betulia.	19
Tabla 3. Datos característicos para el diseño hidráulico de humedales en el municipio de Guavatá.	21
Tabla 4. Datos de entrada para la elaboración del diseño hidráulico.	23
Tabla 5. Dimensionamiento canal de desbaste y desarenado para Guavatá.	24
Tabla 6. Dimensionamiento tanque Imhoff, para Guavatá.	25
Tabla 7. Diseño de humedales, dimensiones sistema para Guavatá.	26
Tabla 8. Dimensionamiento canal de desbaste y desarenador para Betulia.	27
Tabla 9. Dimensionamiento tanque Imhoff, para Betulia.	27
Tabla 10. Diseño de humedales, dimensiones sistema para Betulia.	28
Tabla 11. Costos globales de construcción operación y mantenimiento de HCFSS.	29
Tabla 12. Costos globales de construcción operación y mantenimiento de sistemas convencionales.	30
Tabla 13. Costos construcción del humedad de F.S.S, Guavatá.	34
Tabla 14. Costos construcción Tanque Imhoff, Guavatá.	34
Tabla 15. Costos construcción de desarenadores, Guavatá.	35
Tabla 16. Costos construcción cajas de Inspección, Guavatá.	35
Tabla 17. Costos construcción de lechos de secado, Guavatá.	35
Tabla 18. Costos, compra del lote, Guavatá-	36
Tabla 19. Costos de inversión por sistema de tratamiento, Guavatá.	36
Tabla 20. Costos de operación y mantenimiento, Guavatá.	36
Tabla 21. Costos del uso de HCFSS.	37
Tabla 22. Costos del uso de sistemas convencionales.	38
Tabla 23. Ecuaciones para estimar costos que requiere una planta de tratamiento convencional, Guavatá.	39
Tabla 24. Costos estimados de plantas de tratamiento convencionales, Guavatá.	39
Tabla 25. Costos construcción del humedad de F.S.S, Betulia.	39
Tabla 26. Costos construcción Tanque Imhoff, Betulia.	40
Tabla 27. Costos construcción de desarenadores, Betulia.	40
Tabla 28. Costos construcción cajas de Inspección, Betulia.	40
Tabla 29. Costos construcción de lechos de secado, Betulia.	41
Tabla 30. Costos, compra del lote, Betulia.	41
Tabla 31. Costos de inversión por sistema de tratamiento, Betulia.	41

Tabla 32. Costos de operación y mantenimiento, Betulia.....	42
Tabla 33. Costos del uso de HCFSS.....	42
Tabla 34. Costos del uso de sistemas convencionales	43
Tabla 35. Ecuaciones para estimar costos que requiere una planta de tratamiento convencional, Betulia.....	44
Tabla 36. Costos estimados de plantas de tratamiento convencionales, Betulia. .	44
Tabla 37. Diagnóstico del sistema de alcantarillado en el departamento de Santander.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cobertura Servicio de Alcantarillado Vs Cobertura Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.	16
Figura 2. Línea de sistema de tratamiento propuesto.	22
Figura 3. Diseño del desarenador, Guavatá.	47
Figura 4. Diseño del tanque Imhoff, Guavatá.	48
Figura 5. Diseño del desarenador, Betulia.	49
Figura 6. Diseño del tanque Imhoff, Betulia.	50

RESUMEN

TÍTULO:

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HCFSS) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE POBLACIONES MENORES A 2000 HABITANTES EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.

AUTORES:

ARIAS PEDROZO, Mauricio
DAZA ORTIZ, Wilber

PALABRAS CLAVES:

AGUAS RESIDUALES, COSTOS, HUMEDALES CONSTRUIDOS.

DESCRIPCIÓN

En Colombia solo el 30% de la de las aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento convencional y el 16% de éstas tienen una deficiente funcionalidad; quiere decir que el 70% de estas aguas están yendo directamente a las fuentes hídricas. El departamento de Santander representa el 2% de las aguas nacionales tratadas de las cuales el 45% se encuentran en un estado regular.

El 57% de los municipios del departamento de Santander son poblaciones menores a dos mil habitantes en su casco urbano, no tienen un sistema de tratamiento de aguas residuales, y otros incluso no cuentan con infraestructura de alcantarillado. Se presenta entonces la necesidad de implementación de un sistema para depurar estas aguas.

En Europa y América del Norte se han usado los humedales construidos de flujo subsuperficial con buenos resultados, consiguiendo rendimientos de más del 90% en la remoción de DBO y del 30% al 40% de nitrógeno. En Colombia generalmente se utilizan tecnologías convencionales, que para pueblos pequeños representan altos costos, haciendo inviable su implementación. En este trabajo se plantean los HCFSS como opción de tratamiento en los municipios de Santander, evaluando sus costos de construcción, puesta en marcha y mantenimiento, para un periodo de diseño de quince años, realizando su comparación de costos respecto a tratamientos convencionales. Este análisis permitió establecer que esta nueva tecnología resulta ventajosa en términos de mantenimiento y operación, respecto a sistemas convencionales.

* Trabajo de Grado

** Facultad Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Directora Ingeniera Civil Angélica Corzo Hernández, Codirector Ingeniero Civil, PhD. Álvaro Viviescas Jaimes.

ABSTRACT

TITLE

ECONOMIC EVALUATION OF THE USE OF SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLANDS (SSHFCW) FOR DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT POPULATION LESS THAN 2000 PEOPLE IN SANTANDER.

AUTHORS:

ARIAS PEDROZO, Mauricio
DAZA ORTIZ, Wilber

KEYWORDS

WATER TREATMENT, COSTS, CONSTRUCTED WETLANDS.

DESCRIPTION

In Colombia only 30% of wastewater receives some type of conventional treatment and 16% of them have poor functionality, it means that 70% of these waters are going directly to the water sources. Santander department represents 2% of treated domestic wastewater which 45% are in a steady state.

The 57% of the municipalities of the department of Santander are populations of less than two thousand inhabitants in the town center. They haven't system of wastewater treatment, and some even do not have sewerage infrastructure. It is necessary to implement a system to purify these waters.

In Europe and North America, the constructed wetlands with subsurface flow were used, and their results were good. The removal efficiencies were about of over 90% of BOD and 30% to 40% nitrogen. In Colombia generally are used conventional technologies, so in rural areas that technologies represent high costs, making its implementation impractical. In this paper we discuss the SFCW as an option to treatment the wastewater in the municipalities of Santander. An evaluation of costs of construction, operation and maintenance for a design period of fifteen years was done. These costs were compared to conventional treatments, determining that this new technology is advantageous in terms of maintenance and operation.

* Research work

**Physical Mechanical Engineering Faculty. School of Civil Engineering. Director: Civil Engineer Angélica Corzo Hernández. Co-Director: Civil Engineer, PhD Álvaro Viviescas Jaimes.

INTRODUCCIÓN

El departamento de Santander, se encuentra conformado por 87 municipios, los cuales cuentan con gran diversidad de climas, topografía, usos del suelo, e hidrografía. Un alto porcentaje de la cantidad de estos municipios presentan un crecimiento poblacional importante, por ello se pronostica que a futuro se dé un importante aumento de densidad poblacional en toda la zona departamental.

Al referirse a los vertimientos domésticos y pensar de manera generalizada en el tratamiento de las aguas residuales del departamento, las alternativas presentadas han sido soluciones muy tradicionales las cuales son tecnologías de tratamiento convencionales como: tanque séptico, campo de infiltración o reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

Las nuevas tecnologías para tratamiento de aguas residuales han sido ampliamente usadas en Europa y Norte América, produciendo efluentes con concentraciones de contaminantes muy mínimas. Los humedales construidos de flujo subsuperficial hacen parte de estas tecnologías, por lo tanto la Universidad Industrial de Santander desarrolla proyectos en la búsqueda de un conocimiento más amplio en materia de humedales artificiales y en esta investigación plantea la evaluación económica del uso de humedales construidos de flujo subsuperficial para poblaciones menores a dos mil habitantes en Santander.

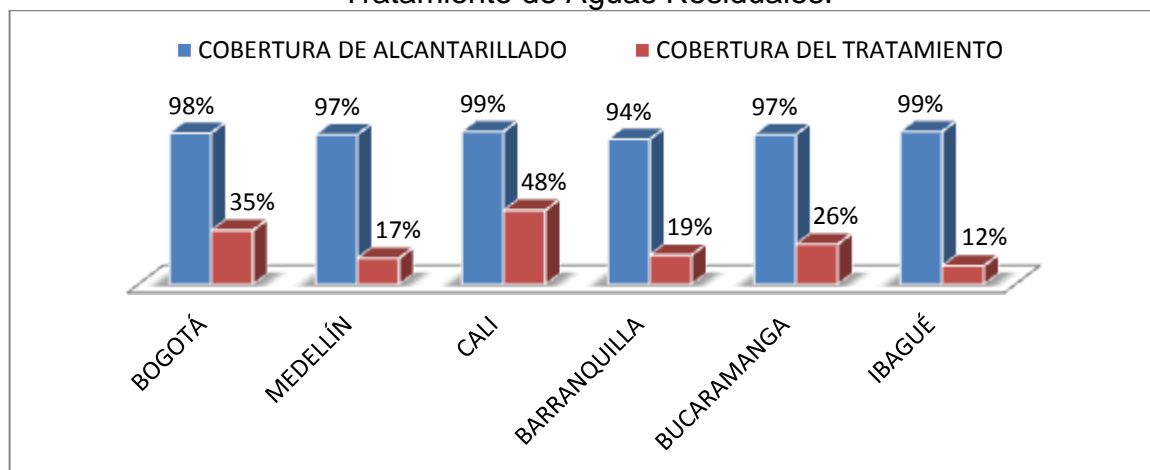
1. PANORAMA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A nivel mundial se estima que el 41% de la población no tiene acceso al saneamiento básico. En América Latina en el 2004, el 14% de la población urbana y el 51% de la población rural carecían de saneamiento básico.¹

En Colombia existe un deterioro de las cuencas generado por el vertido de aguas residuales procedentes de actividades domésticas, industriales y comerciales, dado que el 70% de las aguas residuales en nuestro país no son tratadas, y solo el 30% van a los ríos con algún tipo de tratamiento previo. Se estima que diariamente se vierten 67 m³/s de aguas no tratadas, donde Bogotá, Antioquia y Valle del Cauca emiten el 40% de estas a los cuerpos hídricos.²

En la figura 1 se evidencia la desproporción de la cobertura de alcantarillado con respecto al tratamiento de las aguas residuales transportadas, en las principales capitales del país.

Figura 1. Cobertura Servicio de Alcantarillado Vs Cobertura Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.



2. PROBLEMÁTICA DEL SANEAMIENTO EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.

En el departamento de Santander solo 11 de los 87 municipios poseen plantas de tratamiento de tipo convencional, biodigestores, laguna de oxidación o reactores anaerobios de flujo ascendente, de los cuales 5 de estos se encuentran en estado

¹ Gobernación del departamento de Santander. Diagnostico Sanitario de Santander, 2013.

² Ministerio de ambiente y desarrollo. Situación actual de la contaminación del agua, 2009.

regular y 6 en estado óptimo para depurar las aguas residuales. De las poblaciones entre 1000 a 2000 habitantes solo 1 de 16 municipios cuentan con sistema de tratamiento de aguas residuales, y en cuanto a plan maestro para la construcción de plantas de tratamiento existen un número de 7 dentro de las cuales se encuentra Betulia y Guavatá.³

Los esquemas de ordenamiento territorial de los municipios de Betulia y Guavatá presentan el diagnóstico de estas dos poblaciones, infiriendo que los sistemas de alcantarillado recogen las aguas residuales y las emiten de manera directa a las quebradas Paramera y Mochilas respectivamente, no cumpliendo de esta manera las exigencias en materia ambiental por parte de las entidades encargadas.⁴

Este trabajo propone como solución a la anterior problemática el uso de sistemas que incorporan humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. La implementación de este tipo de sistemas ha sido destacada por diferentes autores (Davis, 1994; Haberl, 1999; Kivaisi, 2001) ya que constituye una solución prometedora para ser aplicada en países en vías de desarrollo puesto que emplea procesos naturales para su funcionamiento (eliminación biológica de contaminantes, flujo por gravedad, entre otras), son simples de construir, de operar y de mantener.

En los humedales construidos la remoción de la DBO soluble y suspendida se hace al paso del agua por el medio granular. La DBO que se encuentra en forma soluble es removida mediante la degradación biológica realizada por los microorganismos que se encuentran adheridos al medio soporte en los sistemas con flujo subsuperficial.⁵ Por otra parte, las bajas velocidades que se producen en el sistema, así como la presencia de las plantas, hacen que se favorezca la filtración y sedimentación de la materia orgánica que se encuentra de forma suspendida.

De manera consecuente se plantean los siguientes objetivos para el desarrollo secuencial de esta investigación.

1. Analizar y recopilar la información necesaria para el planteamiento de la evaluación económica

³ GOBERNACIÓN DE SANTANDER - Sistema de tratamientos de aguas residuales. 2013.

⁴ Gobernación del departamento de Santander. Diagnostico Sanitario de Santander, 2013.

⁵ SILVA VINASCO, Juan Pablo. HUMEDALES CONSTRUIDOS. Universidad del Valle, 2006.

2. Calcular costos de diseño, construcción, puesta en marcha y mantenimiento de humedales construidos de flujo subsuperficial, para al menos dos casos de estudio.
3. Analizar la factibilidad en la implementación de este tipo de tecnologías en el departamento de Santander.
4. Realizar un análisis comparativo de los costos de tratamiento de aguas residuales en el departamento de Santander, frente a tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales.

3. METODOLOGÍA

El marco de este trabajo está centrado en un análisis cuantitativo, comparativo y evaluativo del uso de humedales construidos para tratamiento de aguas residuales en municipios de menos de 2000 habitantes en Santander como solución eficiente a una problemática de salud pública.

3.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS ESTUDIADOS Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

El análisis inicia con el acopio de información respecto a los municipios del departamento de Santander, incluyendo las siguientes variables: tamaño de la población, carga orgánica, temperatura, precipitación, sitio de descarga, nivel de complejidad, tipo de alcantarillado, plan maestro y si contaban o no con sistema para tratar las aguas residuales.

Utilizando la base de datos de los conteos realizados por el DANE, se observaron los ochenta y siete municipios del departamento de Santander, seleccionando aquellos con número de habitantes de mil a dos mil (1000-2000) individuos en su zona urbana, para seleccionar los dos casos de estudio: Betulia y Guavatá.

Los municipios de Betulia y Guavatá se seleccionaron debido a que cumplían con el número de población en estudio y que no cuentan con sistema de tratamiento de aguas residuales, además de ello sus condiciones climatológicas y topográficas son favorables para este tipo de sistemas.

Tabla 1. Detalles básicos de los sitios de estudio.

	CASO DE ESTUDIO N°1	CASO DE ESTUDIO N°2
PROVINCIA	MARES	VÉLEZ
MUNICIPIO	BETULIA	GUAVATÁ
TEMPERATURA	18°C	21°C
POBLACIÓN A 15 AÑOS	1819	1070

En cada una de las elecciones, se hizo una recopilación de la información necesaria para el diseño del sistema de tratamiento, como la dotación de agua residual, tipo de alcantarillado, concentración de contaminantes, entre otras.

3.1.1 MUNICIPIO DE BETULIA SANTANDER

El municipio de Betulia se localiza en el centro del departamento, hace parte de la provincia de Mares, su extensión total es de 413.3 Km², distribuidos en 14 veredas, y en su casco urbano. Betulia no tiene sistemas para tratar las aguas negras y ésta fue una de las razones influyentes en la elección de este municipio con un promedio de 2000 habitantes (proyectados a 15 años).

El efluente de humedales construidos es susceptible de ser reutilizada, en labores agrícolas, y de acuicultura. Dado que entre las principales actividades económicas de Betulia están la agrícola, la pecuaria, y la maderera⁶, y éstas giran alrededor del uso de grandes cantidades de agua diariamente, se plantea como opción el reutilizar el agua tratada de los sistemas que incorporan humedales artificiales, para mitigar la demanda.

Los datos necesarios para el diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales del municipio de Betulia, se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Datos característicos para el diseño hidráulico de humedales en el municipio de Betulia.

VARIABLE PARA EL SISTEMA	VARIABLE A UTILIZAR	UNIDADES
MUNICIPIO	BETULIA	---
TEMPERATURA	18	°C

⁶ GOBERNACIÓN DE SANTANDER. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, Betulia (Santander), 68-092-000, 2004-2009.

SITIO DE DESCARGA	PARAMERA	Quebrada
DBO5 ACTUAL	19,1	Ton/año
POBLACIÓN ACTUAL	1688	Habitantes
TASA DE CRECIMIENTO DE POBLACIÓN	0,5	%
PROYECCIÓN DEL PROYECTO	15	Años
POBLACIÓN A 15 AÑOS	1819	Habitantes
DBO ACTUAL	19,1	[Ton/año]
DBO (T=15)	20,58	[Ton/año]
VEMU	31	[g/hab-día]

3.1.2 MUNICIPIO DE GUA VATÁ SANTANDER

El municipio de Guavatá tiene una extensión territorial de 83,37 Km² y está conformado por su Cabecera municipal y 21 veredas⁷. Según datos organizados de la gobernación de Santander, este municipio no cuenta con sistemas para tratar sus aguas negras, a pesar de existir un plan maestro en el que se plantea un sistema de tratamiento convencional, el cual no se ha ejecutado desde el año 2004. Por lo anterior, se hizo la elección de Guavatá con un promedio de 1000 habitantes esperados para 2028.

El uso del suelo gira alrededor de la agricultura con cultivos permanentes, semipermanentes, limpios, pastos y guayaba⁸, así que es relevante mencionar que el agua usada para el riego de estos cultivos se puede utilizar de las aguas ya tratadas de los humedales artificiales, pensados para crearse en este municipio.

Los datos necesarios para el diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales del municipio de Guavatá, se encuentran en la tabla 3.

⁷ GOBERNACIÓN DE SANTANDER, Esquema de ordenamiento territorial municipio de Guavatá Santander, 68-24-000.2003.

⁸ GOBERNACIÓN DE SANTANDER, Esquema de ordenamiento territorial municipio de Guavatá Santander, 68-24-000.2003.

Tabla 3. Datos característicos para el diseño hidráulico de humedales en el municipio de Guavatá.

VARIABLE PARA EL SISTEMA	VARIABLE A UTILIZAR	UNIDADES
MUNICIPIO	GUAVATÁ	---
TEMPERATURA	19-23	°C
SITIO DE DESCARGA	LAS MOCHILAS	Quebrada
DBO5 ACTUAL	12,06	Ton/año
POBLACIÓN ACTUAL	993	Habitantes
TASA DE CRECIMIENTO DE POBLACIÓN	0,5	%
PROYECCIÓN DEL PROYECTO	15	Años
POBLACIÓN A 15 AÑOS	1070	Habitantes
DBO ACTUAL	12,06	[Ton/año]
DBO (T=15)	13,00	[Ton/año]
VEMU	33,27	[g/hab-día]

4. DISEÑO Y CÁLCULO DE LAS PTAR PARA LA DEFINICIÓN DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LOS MUNICIPIOS DE BETULIA Y GUAVATA.

4.1 DEFINICIÓN DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales construidos de flujo subsuperficial, en general comprende la unión de tres unidades de proceso: pretratamiento (canal de desbaste y desarenado), tratamiento primario (fosa séptica, tanque Imhoff, o decantadores primarios) y tratamiento secundario, este último por parte de los humedales horizontales de flujo subsuperficial.⁹

En el pretratamiento se efectúa la remoción de los sólidos gruesos presentes en las aguas servidas, desarrollado esencialmente en el canal de desbaste mediante su intersección con rejillas; para la remoción de fino o arenas se utiliza un canal de desarenado; por la cantidad de partículas captadas en esta unidad, es requerida una limpieza periódica

⁹ CORZO HERNÁNDEZ, Angélica; GARCÍA SERRANO, Joan. Depuración con humedales construidos. 2008.

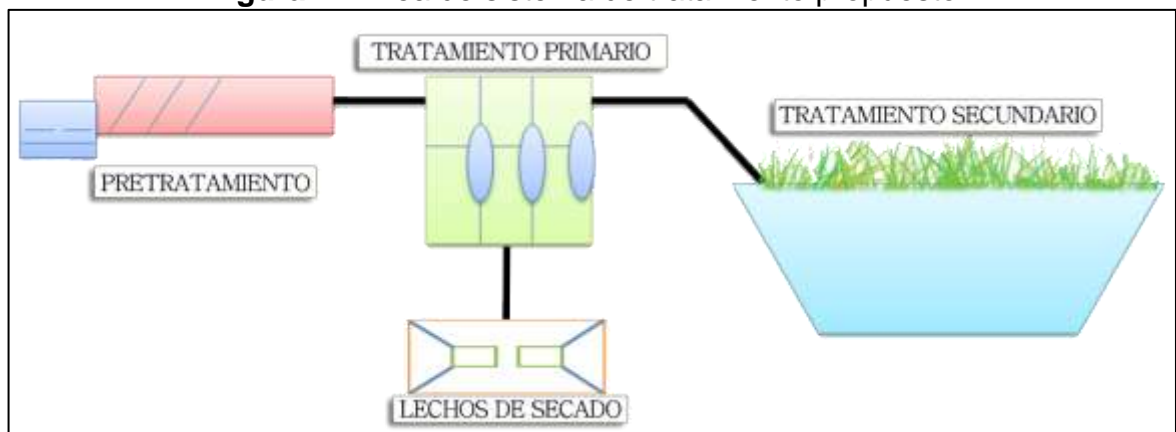
Después del pretratamiento resta entonces retirar las partículas sólidas que no fueron detenidas en el canal de desbaste y desarenado, de esta manera los sólidos suspendidos son removidos por sedimentación, empleando un tanque Imhoff, también conocido como tanque decantador-digestor, el cual se puede considerar como una modificación de la fosa séptica convencional. Para completar el proceso de depuración de agua residual, se realiza una remoción de DBO soluble y suspendida en humedales de flujo subsuperficial horizontal.

Los lodos acumulados del tanque Imhoff se extraen con una frecuencia de 6 meses¹⁰ y se conducen a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y dispone de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de suelos.

La emisión final de las aguas tratadas; se hace por medio de tuberías PVC de 6 pulgadas, las cuales captan las aguas desde los humedales y luego proceden a vestirse en las diferentes quebradas, con una remoción estimada del 86% de la carga orgánica de DBO₅ de entrada.

Las PTAR propuestas tendrán una línea de tratamiento compuesta por: canal de desbaste y desarenado, tanque Imhoff, y humedales construidos de flujo subsuperficial, además contará con un lecho de secado de lodos. En la figura 2 se esquematiza la línea de tratamiento propuesto.

Figura 2. Línea de sistema de tratamiento propuesto.



¹⁰ Ministerio de desarrollo Económico, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, 2000.

Los parámetros necesarios para el diseño del sistema de tratamiento de las dos poblaciones se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Datos de entrada para la elaboración del diseño hidráulico.

VARIABLE	CONNOTACIÓN	BETULIA	GUAVATÁ	U.M
D	Dotación de agua residual	150	150	(L/hab-día)
QMD	Caudal de diseño medio diario	219	129	m ³ /día
B	Agua de abastecimiento que se convierte en residual	0,8	0,8	%
CPH	Coeficiente punta horario	1,4	1,6	---
CPD	Coeficiente punta diario	1,7	1,7	---
QMH	Caudal medio horario	9,1	5,4	m ³ /h
QPD	Caudal punta diario	372	219,6	m ³ /día
QPH	Caudal punta horario	15,5	9,1	m ³ /h
QMH	Caudal máximo horario	0,0036	0,0023	m ³ /s
QMXI	Caudal máximo instantáneo	0,0254	0,0149	m ³ /s
QMND	Caudal mínimo horario	65,73	38,75	m ³ /día

4.2 DISEÑO Y CALCULO DE UNIDADES DE PROCESO

El diseño de las unidades de proceso para los dos casos de estudio, se desarrolló con base a la metodología propuesta por CORZO y GARCÍA¹¹, y teniendo en cuenta los procedimientos específicos técnicos de la norma RAS2000 y los datos del agua a tratar, sistematizando el cálculo en una hoja de Excel. Por lo anterior, en el documento solo se presentan los valores de cálculo y las dimensiones definidas.

4.2.1 MUNICIPIO DE GUAVATÁ.

4.2.1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.

El área destinada para el tratamiento de las aguas residuales de la cabecera municipal, que son vertidas a la Quebrada Mochilas en la actualidad, se ubicaría a aproximadamente 300 metros del casco urbano por la vía al colegio en la vereda

¹¹ CORZO HERNÁNDEZ, Angélica; GARCÍA SERRANO, Joan. Depuración con humedales construidos. 2008.

Pavachoque; contemplando un aislamiento mínimo de 300 metros, previendo el futuro desarrollo poblacional.

4.2.1.2 DISEÑO DEL CANAL DE DESBASTE Y DESARENADO.

Se debe construir dos canales de desarenado, para que en obras de mantenimiento no se detenga el proceso de tratamiento. Se presenta entonces la tabla 5 de los datos característicos y la figura 1 del componente anexos, para el diseño de este.

Tabla 5. Dimensionamiento canal de desbaste y desarenado para Guavatá.

DESCRIPCIÓN	VR	U.M
Ancho 1 de muros	0,15	m
Ancho 2 de muros	0,1	m
Ancho hidráulico del canal	1	m
Altura hidráulica	0,31	m
Altura de resguardo	0,25	m
Altura interior	0,56	m
Altura total	0,71	m
Tubería de entrada y salida	8	pulg
Entrada de aliviadero	1,7	m
Longitud zona de rejillas	2	m
Longitud desarenador	3	m
L zona de recogida	1	m
Altura total de entrada	0,91	m
Altura de deflector1	0,56	m
Altura de deflector2	0,36	m

4.2.1.3 DISEÑO DE TANQUE IMHOFF

Para el diseño del tratamiento primario, se tienen en cuenta las variables de la tabla 6, y la figura 2 del componente anexos, para el diseño de este.

Tabla 6. Dimensionamiento tanque Imhoff, para Guavatá.

	DESCRIPCIÓN	VR	U.M
ZONA DE DECANTACION	S dec	8	m ²
	L	2,5	m
	W dec	2	m
	P	1,49	m
	V dec	9,49	m ³
	W gas	0,5	m
ZONA DE DIGESTION	St	10,4	m ²
	Wt	2,5	m
	Lt	4,2	m
	V lodos	53,51	m ³
	h3	0,47	m
	h2	4,9	m
	Ht	8,7	m
	Vt	77,9	m ³

4.2.1.4 DISEÑO DE HUMEDALES FLUJO SUBSUPERFICIAL

En el diseño del humedal se estudió el efecto de la precipitación y evapotranspiración en la zona, dado la complejidad que interviene en este proceso, se ha utilizado el concepto de evapotranspiración potencial, es decir la máxima evapotranspiración que puede producirse ya que no hay límite de agua evaporable en el humedal; en este estudio se usó el método de Thomthwaite, basado en la correlación existente y la temperatura media mensual; esto con el fin de incluir esta variable en el caudal de diseño.

Se propone la construcción de 2 humedales paralelos, cada uno con las siguientes dimensiones.

Tabla 7. Diseño de humedales, dimensiones sistema para Guavatá.

DESCRIPCIÓN	VALOR	U.M
Ancho	18	m
Largo	72	m
Área de superficie	2592	m
Profundidad de excavación	0,65	m
Volumen de excavación	842,4	m ³
Profundidad medio granular	0,5	m
Volumen de gravilla fina	612	m ³
Volumen de gravilla gruesa	36	m ³

4.2.2 MUNICIPIO DE BETULIA SANTANDER

4.2.2.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.

El área destinada para el tratamiento de las aguas residuales de la cabecera municipal, que son vertidas a la Quebrada Parameras se ubicaría a 292 metros en dirección Este del parque principal, en la calle 5 con carrera 2.

4.2.2.2 DISEÑO DEL CANAL DE DESBASTE Y DESARENADO.

Se debe construir dos canales de desarenado, para que en las obras de mantenimiento no se detenga en proceso de funcionalidad. Se presenta entonces la tabla 8 de los datos característicos y la figura 3 del componente anexos, para el diseño de este.

Tabla 8. Dimensionamiento canal de desbaste y desarenador para Betulia.

DESCRIPCIÓN	VR	U.M
Ancho 1 de muros	0,15	m
Ancho 2 de muros	0,1	m
Ancho hidráulico del canal	1,3	m
Altura hidráulica	0,31	m
Altura de resguardo	0,25	m
Altura interior	0,56	m
Altura total	0,71	m
Tubería de entrada y salida	8	pulg
Entrada de aliviadero	2,6	m
Longitud zona de rejillas	2	m
Longitud desarenador	3,9	m
L zona de recogida	1,3	m
Altura total de entrada	0,91	m
Altura de deflector1	0,56	m
Altura de deflector2	0,36	m

4.2.2.3 DISEÑO DE TANQUE IMHOFF

Para el diseño del tratamiento primario, considerando el caudal a tratar, se tienen en cuenta las variables de la tabla 9, y la figura 4 del componente anexos, para el diseño de este.

Tabla 9. Dimensionamiento tanque Imhoff, para Betulia

	DESCRIPCIÓN	VR	U.M
ZONA DE DECANTACION	S dec	13,52	m ²
	L	3,1	m
	W dec	2,6	m
	P	2,06	m
	V dec	20,25	m ³
	W gas	0,5	m

ZONA DE DIGESTION	St	17,576	m ²
	Wt	3,1	m
	Lt	5,7	m
	V lodos	90,96	m ³
	h3	0,71	m
	h2	4,9	m
	ht	9,48	m
	Vt	136,4	m ³

4.2.2.4 DISEÑO DE HUMEDALES FLUJO SUBSUPERFICIAL

En el diseño del humedal se estudió el efecto de la precipitación y evapotranspiración en la zona, dado la complejidad que intervienen en este proceso, se ha utilizado en concepto de evapotranspiración potencial, es decir la máxima evapotranspiración que puede producirse ya que no hay límite de agua evaporable en el humedal; en este estudio se usó el método de Thomthwaite, basado en la correlación existente y la temperatura media mensual; esto con el fin de incluir esta variable en el caudal de diseño.

Se propone la construcción de 2 humedales paralelos, cada uno con las siguientes dimensiones.

Tabla 10. Diseño de humedales, dimensiones sistema para Betulia.

DESCRIPCIÓN	VALOR	U.M
ANCHO	31	m
LARGO	72	m
AREA DE SUPERFICIE	4464	m
PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN	0,65	m
VOLUMEN DE EXCAVACIÓN	1450,8	m
PROFUNDIDAD MEDIO GRANULAR	0,5	m
VOL DE GRAVILLA FINA	1054	m ³
VOL DE GRAVILLA GRUESA	62	m ³

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL USO DE HCFSS EN LOS MUNICIPIOS DE GUA VATÁ Y BETULIA SANTANDER.

Para la determinación de los costos de las PTAR, se realizaron los diseños estructurales de cada una de las unidades que la conforman, se calcularon las cantidades de obra, materiales y suministros necesarios para su funcionamiento. Posteriormente se evalúan los costos de construcción tomando como referencia: "Lista de precios unitarios, AMB 2013". Para la operación y mantenimiento de los HCFSS se requiere de un técnico de la zona encargado de la supervisión y manejo de la planta. En la Tabla 7 de costos del anexo A, se encuentran los valores detallados de los costos de inversión para el municipio de Guavatá y en la Tabla 19 de costos del anexo B, se encuentran del mismo modo los valores detallados para el municipio de Betulia.

Los costos globales de construcción, operación y mantenimiento de cada PTAR propuesta, se encuentran en la tabla 11.

Tabla 11. Costos globales de construcción operación y mantenimiento de HCFSS.

COSTOS HCFSS	GUA VATÁ	BETULIA
Construcción	298.237.133,72	328.535.417,12
Operación y Mantenimiento	11.935.908,00	11.935.908,00
Total VPN 2013	310.173.041,72	340.471.325,12

5.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE TIPO CONVENCIONALES.

Para evaluar la ventaja económica de los costos de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de Humedales de Flujo Subsuperficial se compararon con tres sistemas tradicionales (Filtro Percolador, Laguna Facultativa y Lodos Activados), considerando los siguientes trenes de tratamiento:

- **Filtro Percolador:** Desarenador - Sedimentador Primario - Filtro Percolador - Sedimentador Secundario - Lecho de Secado.
- **Laguna Facultativa:** Desarenador - Sedimentador Primario – Laguna Facultativa - Lecho de Secado
- **Lodos Activados:** Desarenador - Sedimentador Primario - Lodos Activados - Sedimentador Secundario - Lecho de Secado.

Aplicando el modelo matemático propuesto por GUERRERO J.¹² se simuló para cada tecnología, tomando como dato base los caudales de entrada del sistema, el comportamiento de sus diferentes costos asociados (inversión inicial, operación y mantenimiento), empleando en todos los casos el periodo de diseño de 15 años, en pesos del valor presente neto a 2013. En las tablas 10 y 22 del componente anexos, se encuentran en detalle los costos simulados de cada tecnología para el municipio de Guavatá y Betulia.

Los costos globales de tecnologías convencionales como medio de comparación con la opción de humedales construidos, se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Costos globales de construcción operación y mantenimiento de sistemas convencionales.

	Tipo de Sistema	Construcción	Operación y mantenimiento
GUA VATÁ	Filtro Percolador	245.957.345,69	18.521.438,87
	Laguna Facultativa	746.764.804,88	18.446.778,28
	Lodos Activados	170.106.111,95	23.708.628,81
BETULIA	Filtro Percolador	328.535.417,12	22.677.014,22
	Laguna facultativa	976.858.228,60	21.736.755,93
	Lodos Activados	224.758.388,40	28.279.661,90

La tecnología que ofrece mayor posibilidad de implementación, siguiendo solamente el aspecto económico, es Lodos Activados en los municipios de Guavatá, y Betulia.

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SOLUCIÓN CON HUMEDALES Y SISTEMAS CONVENCIONALES.

¹² GUERRERO, Jhoniers. Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales de Pereira. 2007.

Al analizar los costos de una planta de tratamiento de aguas residuales y compararlos con tecnologías convencionales, se encontró de manera generalizada que su alto costo de inversión radica en el hecho de que estos, por ser estructuras de baja carga, requieren grandes extensiones de terreno para su emplazamiento, lo cual se ve potenciado por los altos precios de la tierra en el área de estudio. Los costos de operación y mantenimiento son más bajos, debido a que no requieren energía, ni mano de obra especializada constante.

Se encontró que a nivel de Santander y de Colombia, este tipo de sistemas muestra que están bajo el mismo rango de costo que un sistema convencional en su fase de construcción, pero a diferencia de su contraparte, una PTAR con humedales construidos de flujo subsuperficial tiene costos menores para operación y mantenimiento.

6. CONCLUSIONES

Más del 87% de los municipios del departamento de Santander se encuentran vertiendo de manera directa las aguas residuales a los afluentes, causando daños considerables a las cuencas y provocando un grave problema ambiental y de salud pública.

La evaluación económica del uso de humedales construidos de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas de poblaciones menores a 2000 habitantes en el departamento de Santander realizada en este estudio, muestra de manera valorativa, que estos sistemas se perfilan como una buena alternativa para mejorar las calidades de los afluentes ya que estos son una tecnología viable para la depuración de aguas residuales domésticas.

Aunque las experiencias evidenciadas en Europa y Norte América, muestran que el uso de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal para depurar aguas residuales, ha sido de más bajo costo que los sistemas convencionales¹³; a nivel de Santander y de Colombia, este tipo de sistemas muestra que están bajo el mismo rango de inversión inicial, exceptuado al sistema de Lagunas Facultativas, y sus ventajas se dan al requerir bajos costos para operación y mantenimiento.

Si bien, tales beneficios pueden ser generados por los sistemas de tratamiento con HFS, existen otros beneficios intangibles que podrían ser incluidos dentro de la estructura financiera de los sistemas como regulación micro climática, regulación hídrica, refugio para fauna, ciclado de nutrientes, producción de biomasa, irrigación, valores culturales, entre otros, beneficios cuantificados y valorados por unidad terrestre por Constanza et al (1997) y Barbier (2007), al igual que la disminución de la morbilidad por contacto-ingesta de aguas contaminadas. Pero tales valores no fueron empleados puesto que por un lado se requeriría una investigación mucho más extensa y profunda para su cuantificación en los sistemas evaluados, y por el otro, si se retomaran a través de la metodología de Transferencia de Beneficios se podría estar incurriendo en errores llevando a una invalidez desde el punto de vista investigativo ya que tales valoraciones, por ser genéricas, no se ajustarían muy bien a los estudios de caso evaluados (de Groot et al, 2007; Lambert, 2003; Salas-Dueñas, 2004).

¹³ VYMAZAL, J. The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years' experience. Ecological Engineering, vol.18 issue 5, pages 633-646, 2002.

7. BIBLIOGRAFÍA

COLLAZOS, Carlos Julio. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS E INDUSTRIALES. Universidad Nacional de Colombia, 2008.

CORZO HERNÁNDEZ, Angélica; GARCÍA SERRANO, Joan. Depuración con humedales construidos. 2008.

DAVIS, L. A handbook of constructed wetlands: A guide to creating wetland for: agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage storm water in the Mid-Atlantic Region. Vol 1 General Considerations. 1994.

GOBERNACIÓN DE SANTANDER, Esquema de ordenamiento territorial municipio de Guavatá Santander, 68-24-000.2003.

GOBERNACIÓN DE SANTANDER. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, Betulia (Santander), 68-092-000, 2004-2009.

Gobernación del departamento de Santander. Diagnostico Sanitario de Santander, 2013.

GOBERNACIÓN DE SANTANDER - Sistema de tratamientos de aguas residuales. 2013.

GUERRERO, Jhoniers. Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales de Pereira. 2007.

Ministerio de ambiente y desarrollo. Situación actual de la contaminación del agua, 2009.

Ministerio de desarrollo Económico, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, 2000.

SILVA VINASCO, Juan Pablo. HUMEDALES CONSTRUIDOS. Universidad del Valle, 2006.

VYMAZAL, J. The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years' experience. Ecological Engineering, vol.18 issue 5, pages 633-646, 2002.

8. ANEXOS

Anexo A. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA, GUA VATÁ

8.1 HUMEDAL FLUJO SUBSUPERFICIAL

Tabla 13. Costos construcción del humedad de F.S.S, Guavatá.

UNIDAD: Humedal de flujo Subsuperficial				
Ítem	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Localización trazado y replanteo	m ²	\$ 3.191,00	2923	\$ 9.326.527,16
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	1685	\$ 17.067.024,00
Acarreo y retiro de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	1685	\$ 8.424.000,00
Compactación del terreno con vibro compactador tipo rana	Día	\$ 200.000,00	6	\$ 1.200.000,00
Geo textil PAVCO No tejido 2600 instalado	m ²	\$ 8.459,59	2923	\$ 24.725.351,27
Geo textil PAVCO tejido 2100 instalado	m ²	\$ 5.744,50	2923	\$ 16.789.794,82
Gravilla de Río fina de (1/2") instalada	m ³	\$ 56.615,30	1224	\$ 69.297.127,20
Gravilla de Río gruesa de (2") instalada	m ³	\$ 47.694,00	72	\$ 3.433.968,00
Tubería PVC sanitaria PERFORADA de 4"	ml	\$ 40.066,00	36	\$ 1.442.376,00
Tapón de prueba de 4" de diámetro	UND	\$ 1.828,39	4	\$ 7.313,56
Material vegetal Planta papiro	UND	\$ 5.200,00	974	\$ 5.066.117,33
Suministro e instalación de codo sanitario PVC 3" de 90º	UND	\$ 13.285,68	2	\$ 26.571,36
				\$ 156.806.170,70

8.2 TANQUE IMHOFF

Tabla 14. Costos construcción Tanque Imhoff, Guavatá.

UNIDAD: TANQUE IMHOFF				
Ítem	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Localización trazado y replanteo	m ²	\$ 3.191,00	10	\$ 33.186,40
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	125	\$ 1.264.109,73
Acarreo y retiro de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	125	\$ 623.943,60
Compactación del terreno con vibro compactador tipo rana	Día	\$ 200.000,00	1	\$ 200.000,00
Concreto instalado hecho en obra f'c=3000 psi	m ³	\$ 568.000,00	43	\$ 24.315.890,76
Acero de refuerzo instalado fy=4200 kg/cm2	kg	\$ 3.500,00	1096	\$ 3.834.270,16
Tubería PVC sanitaria de 6" entrada TI	ml	\$ 50.066,00	5	\$ 250.330,00
Tubería PVC sanitaria de 6" salida TI	ml	\$ 50.066,00	5	\$ 250.330,00
Suministro e instalación de codo sanitario PVC de 6"	UND	\$ 67.545,00	1	\$ 67.545,00
Suministro e instalación de tee sanitario PVC de 6"	UND	\$ 95.984,00	1	\$ 95.984,00
			TOTAL	\$ 30.935.589,65

8.3 DESARENADORES

Tabla 15. Costos construcción de desarenadores, Guavatá.

UNIDAD: DOS DESARENADORES				
Item	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Localizacion trazado y replanteo	m ²	\$ 3.191,00	10	\$ 33.393,82
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	10	\$ 106.010,45
Acarreo y retir de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	10	\$ 52.325,00
Compactacion del terreno con vibrocompactador tipo rana	Día	\$ 200.000,00	1	\$ 200.000,00
Concreto instalado hecho en obra f'c=3000 psi	m ³	\$ 568.000,00	3,3	\$ 1.876.189,20
Acero de refuerzo instalado fy=4200 kg/cm2	kg	\$ 3.500,00	57	\$ 198.548,00
Tuberia PVC sanitaria de 6" entrada TI	ml	\$ 50.066,00	5	\$ 250.330,00
Tuberia PVC sanitaria de 6" salida TI	ml	\$ 50.066,00	5	\$ 250.330,00
Suministro e instalacion de codo sanitario PVC de 6"	UND	\$ 67.545,00	1	\$ 67.545,00
Suministro e instalacion de tee sanitario PVC de 6"	UND	\$ 95.984,00	1	\$ 95.984,00
			SUBTOTAL	\$ 3.130.655,47
			TOTAL	\$ 6.261.310,93

8.4 CAJAS DE INSPECCIÓN

Tabla 16. Costos construcción cajas de Inspección, Guavatá.

UNIDAD: CAJAS DE INSPECCION DATO DE LA UBM				
Ítem	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Cajas de inspección de 0.8x0.8x0.8 en concreto de 2500 psi	un	\$ 346.632,00	2	\$ 693.264,00
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	2	\$ 20.260,00
Acarreo y retiro de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	2	\$ 10.000,00
				\$ 723.524,00

8.5 LECHO DE SECADO DE LODOS

Tabla 17. Costos construcción de lechos de secado, Guavatá

UNIDAD: LECHO DE SECADO DE LODOS				
Item	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Localizacion trazado y replanteo	m ²	\$ 3.191,00	55	\$ 176.076,32
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	162	\$ 1.637.008,00
Acarreo y retir de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	162	\$ 808.000,00
Compactacion del terreno con vibrocompactador tipo rana	Día	\$ 200.000,00	1	\$ 200.000,00
Concreto instalado hecho en obra f'c=3000 psi	m ³	\$ 568.000,00	1,7	\$ 965.600,00
Acero de refuerzo instalado fy=4200 kg/cm2	kg	\$ 3.500,00	419	\$ 1.467.550,00
Mamposteria en ladrillo H-15	m ²	\$ 50.706,00	66	\$ 3.324.285,36
Friso liso sobre muro (incluye filos y dilataciones)	m ²	\$ 15.592,00	66	\$ 1.022.211,52
Tuberia PVC sanitaria de 8" entrada TI	ml	\$ 61.356,00	16	\$ 975.560,40
Tuberia PVC sanitaria de 8" salida TI	ml	\$ 61.356,00	5	\$ 306.780,00
Suministro e instalacion de codo sanitario PVC de 8"	UND	\$ 67.545,00	2	\$ 135.090,00
Arena de Río fina de (1/2") instalada	m ³	\$ 15.000,00	17	\$ 249.000,00
Gravilla de Río gruesa de (2") instalada	m ³	\$ 47.694,00	11	\$ 524.634,00
Geotextil PAVCO No tejido 2600 instalado	m ²	\$ 8.459,59	55	\$ 466.792,06
			SUBTOTAL	\$ 12.258.587,65

8.6 LOTE PARA COSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Tabla 18. Costos, compra del lote, Guavatá

UNIDAD:LOTE PARA SISTEMA DE TRATAMIENTO				
Item	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Terreno para el proyecto	m ²	\$ 20.000,00	3149	\$ 62.985.680,80

8.7 RESUMEN COSTOS DE INVERSIÓN POR SISTEMA DE TRATAMIENTO (VPN AÑO 2013), MUNICIPIO DE GUA VATÁ

Tabla 19. Costos de inversión por sistema de tratamiento, Guavatá.

COMPONENTE DEL SISTEMA	VR
ADQUISICION DE TERRENOS	\$ 60.001.680,80
DESARENADOR	\$ 6.261.310,93
TANQUE IMHOFF	\$ 30.935.589,65
LECHO DE SECADO	\$ 12.258.587,65
CAJAS DE INSPECCION	\$ 723.524,00
HUMEDAL HORIZONTAL DE F.S.S	\$ 156.806.170,70
COSTO DIRECTO	\$ 266.986.863,74
AIU	\$ 5.339.737,27
TOTAL COSTO DE INVERSION	\$ 272.326.601,01

8.8 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO POR UNIDAD (VPN AÑO 2013)

Tabla 20. Costos de operación y mantenimiento, Guavatá.

ITEM	COSTO	FRECUENCIA
TÉCNICO DEL SECTOR	\$ 11.935.908,00	CADA 1 AÑO
HERRAMIENTAS Y EQUIPO		
HERRAMIENTA MENOR	\$ 131.650,00	CADA 1 AÑO
CARRETILLA DE MANO	\$ 100.000,00	CADA 5 AÑOS
CARRO PORTA MANGUERA+MANGUERA	\$ 264.800,00	CADA 15 AÑOS
ESCALERA DE ALUMINIO DE 6 METROS DE ALTO	\$ 514.900,00	CADA 15 AÑOS
GUADAÑADORA	\$ 1.135.000,00	CADA 15 AÑOS
ENSAYOS DEL AGUA	\$ 112.950,00	CADA 0.5 AÑOS

8.9 COSTOS ANUAL EQUIVALENTE DEL SISTEMA DE HCFSS

Tabla 21. Costos del uso de HCFSS

IPC	2,40%	
TA	0,05	
Diseño Flujo de Caja a 15 Años		
Inversion	Años	VPN
\$ 286.634.759	0	\$ 286.634.759
\$ 12.403.458	1	\$ 12.112.752
\$ 12.403.458	2	\$ 11.828.859
\$ 12.403.458	3	\$ 11.551.620
\$ 12.403.458	4	\$ 11.280.879
\$ 12.493.458	5	\$ 11.096.420
\$ 12.403.458	6	\$ 10.758.285
\$ 12.403.458	7	\$ 10.506.138
\$ 12.403.458	8	\$ 10.259.900
\$ 12.403.458	9	\$ 10.019.434
\$ 12.493.458	10	\$ 9.855.601
\$ 12.403.458	11	\$ 9.555.276
\$ 12.403.458	12	\$ 9.331.325
\$ 12.403.458	13	\$ 9.112.622
\$ 12.403.458	14	\$ 8.899.045
\$ 14.082.258	15	\$ 9.866.723
	VPN	\$ 442.669.637
	CAE	\$ 43.252.929,78

8.10 COSTOS ANUAL EQUIVALENTE DEL SISTEMAS CONVENCIONALES

Tabla 22. Costos del uso de sistemas convencionales.

IPC TA	2,40% 0,05		IPC TA	2,40% 0,05		IPC TA	2,40% 0,05	
	Años	VPN		Años	VPN		Años	VPN
Diseño Flujo de Caja a 15 Años FILTRO PERCOLADOR			Diseño Flujo de Caja a 15 Años LAGUNA FACULTATIVA			Diseño Flujo de Caja a 15 Años LODOS ACTIVADOS		
Inversion	Años	VPN	Inversion	Años	VPN	Inversion	Años	VPN
\$ 245.957.346	0	\$ 245.957.346	\$ 746.764.805	0	\$ 746.764.805	\$ 170.106.112	0	\$ 170.106.112
\$ 22.705.093	1	\$ 22.172.942	\$ 17.809.919	1	\$ 17.392.499	\$ 37.013.092	1	\$ 36.145.598
\$ 22.705.093	2	\$ 21.653.264	\$ 17.809.919	2	\$ 16.984.862	\$ 37.013.092	2	\$ 35.298.435
\$ 22.705.093	3	\$ 21.145.765	\$ 17.809.919	3	\$ 16.586.779	\$ 37.013.092	3	\$ 34.471.128
\$ 22.705.093	4	\$ 20.650.162	\$ 17.809.919	4	\$ 16.198.027	\$ 37.013.092	4	\$ 33.663.211
\$ 22.705.093	5	\$ 20.166.173	\$ 17.809.919	5	\$ 15.818.385	\$ 37.013.092	5	\$ 32.874.230
\$ 22.705.093	6	\$ 19.693.529	\$ 17.809.919	6	\$ 15.447.642	\$ 37.013.092	6	\$ 32.103.740
\$ 22.705.093	7	\$ 19.231.962	\$ 17.809.919	7	\$ 15.085.588	\$ 37.013.092	7	\$ 31.351.308
\$ 22.705.093	8	\$ 18.781.213	\$ 17.809.919	8	\$ 14.732.020	\$ 37.013.092	8	\$ 30.616.512
\$ 22.705.093	9	\$ 18.341.028	\$ 17.809.919	9	\$ 14.386.738	\$ 37.013.092	9	\$ 29.898.938
\$ 22.705.093	10	\$ 17.911.160	\$ 17.809.919	10	\$ 14.049.549	\$ 37.013.092	10	\$ 29.198.181
\$ 22.705.093	11	\$ 17.491.367	\$ 17.809.919	11	\$ 13.720.262	\$ 37.013.092	11	\$ 28.513.849
\$ 22.705.093	12	\$ 17.081.413	\$ 17.809.919	12	\$ 13.398.694	\$ 37.013.092	12	\$ 27.845.556
\$ 22.705.093	13	\$ 16.681.068	\$ 17.809.919	13	\$ 13.084.662	\$ 37.013.092	13	\$ 27.192.925
\$ 22.705.093	14	\$ 16.290.105	\$ 17.809.919	14	\$ 12.777.990	\$ 37.013.092	14	\$ 26.555.591
\$ 22.705.093	15	\$ 15.908.306	\$ 17.809.919	15	\$ 12.478.506	\$ 37.013.092	15	\$ 25.933.194
	VPN	\$ 529.156.803		VPN	\$ 968.907.007		VPN	\$ 631.768.508
	CAE	\$ 51.703.528,10		CAE	\$ 94.671.202,20		CAE	\$ 61.729.643,49

8.11 COSTOS ESTIMADOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONALES.

Tabla 23. Ecuaciones para estimar costos que requiere una planta de tratamiento convencional, Guavatá.

SISTEMA DE TRATAMIENTO	ECUACION Q [LPS]	R ²
1) FILTRO PERCOLADOR	$82513374.753 \cdot Q^{0.665}$	0,998
2) LAGUNA FACULTATIVA	$235861541.991 \cdot Q^{0.617}$	0,999
3) LODOS ACTIVADOS	$52271792.083 \cdot Q^{0.640}$	0,996

Fuente. SILVIA CASTAÑO, Carlos; RAMÍREZ VARGAS, Andrés, Evaluación económica – ambiental, Pereira. 2008

Tabla 24. Costos estimados de plantas de tratamiento convencionales, Guavatá.

Q [m ³]	INVERSIÓN 2007	AÑO 2013	AÑO 2038	VIDA ÚTIL (AÑOS)	INVERSIÓN VP	INVERSIÓN VF
1) 285,12	570830,3096	2,0%	2,0%	15	\$ 182.749.930,80	\$ 245.957.345,69
2) 285,12	576651,1571	2,0%	2,0%	15	\$ 554.857.249,86	\$ 746.764.804,88
3) 285,12	710699917,5	2,0%	2,0%	15	\$ 126.391.346,84	\$ 170.106.111,95

Anexo B. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA, BETULIA

8.12 HUMEDAL FLUJO SUBSUPERFICIAL

Tabla 25. Costos construcción del humedal de F.S.S, Betulia.

UNIDAD: Humedal de flujo Subsuperficial				
Ítem	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Localización trazado y replanteo	m ²	\$ 3.191,00	4862	\$ 15.515.790,76
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	2902	\$ 29.393.208,00
Acarreo y retiro de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	2902	\$ 14.508.000,00
Compactación del terreno con vibro compactador tipo rana	Día	\$ 200.000,00	10	\$ 2.000.000,00
Geo textil PAVCO No tejido 2600 instalado	m ²	\$ 8.459,59	4862	\$ 41.133.572,03
Geo textil PAVCO tejido 2100 instalado	m ²	\$ 5.744,50	4862	\$ 27.931.827,02
Gravilla de Río fina de (1/2") instalada	m ³	\$ 56.615,30	2108	\$ 119.345.052,40
Gravilla de Río gruesa de (2") instalada	m ³	\$ 47.694,00	124	\$ 5.914.056,00
Tubería PVC sanitaria PERFORADA de 4"	ml	\$ 40.066,00	62	\$ 2.484.092,00
Tapón de prueba de 4" de diámetro	UND	\$ 1.828,39	4	\$ 7.313,56
Material vegetal Planta papiro	UND	\$ 5.200,00	1621	\$ 8.428.090,67
Suministro e instalación de codo sanitario PVC 3" de 90°	UND	\$ 13.285,68	2	\$ 26.571,36
				\$ 266.687.573,80

8.13 TANQUE IMHOFF

Tabla 26. Costos construcción Tanque Imhoff, Betulia.

UNIDAD: TANQUE IMHOFF				
Ítem	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Localización trazado y replanteo	m ²	\$ 3.191,00	18	\$ 56.085,02
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	210	\$ 2.125.933,99
Acarreo y retiro de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	210	\$ 1.049.325,76
Compactación del terreno con vibro compactador tipo rana	Día	\$ 200.000,00	1	\$ 200.000,00
Concreto instalado hecho en obra f'c=3000 psi	m ³	\$ 568.000,00	59	\$ 33.272.252,22
Acero de refuerzo instalado fy=4200 kg/cm ²	kg	\$ 3.500,00	1569	\$ 5.489.953,00
Tubería PVC sanitaria de 6" entrada TI	ml	\$ 50.066,00	5	\$ 250.330,00
Tubería PVC sanitaria de 6" salida TI	ml	\$ 50.066,00	5	\$ 250.330,00
Suministro e instalación de codo sanitario PVC de 6"	UND	\$ 67.545,00	1	\$ 67.545,00
Suministro e instalación de tee sanitario PVC de 6"	UND	\$ 95.984,00	1	\$ 95.984,00
			TOTAL	\$ 42.857.738,98

8.14 DESARENADORES

Tabla 27. Costos construcción de desarenadores, Betulia.

UNIDAD: DOS DESARENADORES				
Item	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Localización trazado y replanteo	m ²	\$ 3.191,00	16	\$ 51.821,84
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	16	\$ 164.511,20
Acarreo y retir de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	16	\$ 81.200,00
Compactación del terreno con vibrocompactador tipo rana	Día	\$ 200.000,00	1	\$ 200.000,00
Concreto instalado hecho en obra f'c=3000 psi	m ³	\$ 568.000,00	4,5	\$ 2.577.811,20
Acero de refuerzo instalado fy=4200 kg/cm ²	kg	\$ 3.500,00	65	\$ 227.046,40
Tubería PVC sanitaria de 6" entrada TI	ml	\$ 50.066,00	5	\$ 250.330,00
Tubería PVC sanitaria de 6" salida TI	ml	\$ 50.066,00	5	\$ 250.330,00
Suministro e instalación de codo sanitario PVC de 6"	UND	\$ 67.545,00	1	\$ 67.545,00
Suministro e instalación de tee sanitario PVC de 6"	UND	\$ 95.984,00	1	\$ 95.984,00
			SUBTOTAL	\$ 3.966.579,64
			TOTAL	\$ 7.933.159,28

8.15 CAJAS DE INSPECCIÓN

Tabla 28. Costos construcción cajas de Inspección, Betulia.

UNIDAD: CAJAS DE INSPECCION DATO DE LA UBM				
Ítem	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Cajas de inspección de 0.8x0.8x0.8 en concreto de 2500 psi	un	\$ 346.632,00	2	\$ 693.264,00
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	2	\$ 20.260,00
Acarreo y retiro de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	2	\$ 10.000,00
				\$ 723.524,00

8.16 LECHO DE SECADO DE LODOS

Tabla 29. Costos construcción de lechos de secado, Betulia.

UNIDAD: LECHO DE SECADO DE LODOS				
Item	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Localización trazado y replanteo	m ²	\$ 3.191,00	94	\$ 299.312,01
Excavaciones en tierra y/o conglomerado	m ³	\$ 10.130,00	162	\$ 1.637.008,00
Acarreo y retir de sobrantes en banco	m ³	\$ 5.000,00	162	\$ 808.000,00
Compactación del terreno con vibrocompactador tipo rana	Día	\$ 200.000,00	1	\$ 200.000,00
Concreto instalado hecho en obra f'c=3000 psi	m ³	\$ 568.000,00	1,7	\$ 965.600,00
Acero de refuerzo instalado fy=4200 kg/cm ²	kg	\$ 3.500,00	545	\$ 1.907.850,00
Mampostería en ladrillo H-15	m ²	\$ 50.706,00	90	\$ 4.551.370,56
Friso liso sobre muro (incluye filos y dilataciones)	m ²	\$ 15.592,00	90	\$ 1.399.537,92
Tubería PVC sanitaria de 8" entrada TI	ml	\$ 61.356,00	21	\$ 1.313.018,40
Tubería PVC sanitaria de 8" salida TI	ml	\$ 61.356,00	5	\$ 306.780,00
Suministro e instalación de codo sanitario PVC de 8"	UND	\$ 67.545,00	2	\$ 135.090,00
Arena de Río fina de (1/2") instalada	m ³	\$ 15.000,00	28	\$ 421.500,00
Gravilla de Río gruesa de (2") instalada	m ³	\$ 47.694,00	19	\$ 896.647,20
Geotextil PAVCO No tejido 2600 instalado	m ²	\$ 8.459,59	94	\$ 793.499,49
			SUBTOTAL	\$ 15.635.213,57

8.17 LOTE PARA COSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Tabla 30. Costos, compra del lote, Betulia.

UNIDAD:LOTE PARA SISTEMA DE TRATAMIENTO				
Item	Unidad de Medida U.M	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Terreno para el proyecto	m ²	\$ 20.000,00	4991	\$ 99.825.096,23

8.18 RESUMEN COSTOS DE INVERSIÓN POR SISTEMA DE TRATAMIENTO (VPN AÑO 2013), MUNICIPIO DE BETUIA

Tabla 31. Costos de inversión por sistema de tratamiento, Betulia.

COMPONENTE DEL SISTEMA	BETULIA
ADQUISICION DE TERRENOS	\$ 99.825.096,23
DESARENADOR	\$ 7.933.159,28
TANQUE IMHOFF	\$ 42.857.738,98
LECHO DE SECADO	\$ 15.635.213,57
CAJAS DE INSPECCION	\$ 723.524,00
HUMEDAL HORIZONTAL DE FSS	\$ 266.687.573,80
COSTO DIRECTO	\$ 433.662.305,86
AIU	\$ 8.673.246,12
TOTAL COSTO DE INVERSION	\$ 442.335.551,98

8.19 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO POR UNIDAD (VPN AÑO 2013)

Tabla 32. Costos de operación y mantenimiento, Betulia.

ITEM	COSTO	FRECUENCIA
TÉCNICO DEL SECTOR	\$ 11.935.908,00	CADA 1 AÑO
HERRAMIENTAS Y EQUIPO		
HERRAMIENTA MENOR	\$ 131.650,00	CADA 1 AÑO
CARRETILLA DE MANO	\$ 100.000,00	CADA 5 AÑOS
CARRO PORTA MANGUERA+MANGUERA	\$ 264.800,00	CADA 15 AÑOS
ESCALERA DE ALUMINIO DE 6 METROS DE ALTO	\$ 514.900,00	CADA 15 AÑOS
GUADAÑADORA	\$ 1.135.000,00	CADA 15 AÑOS
ENSAYOS DEL AGUA	\$ 112.950,00	CADA 0.5 AÑOS

8.20 COSTOS ANUAL EQUIVALENTE DEL SISTEMA DE HCFSS

Tabla 33. Costos del uso de HCFSS

IPC	2,40%	
TA	0,05	
Diseño Flujo de Caja a 15 Años		
Inversion	Años	VPN
\$ 456.643.710	0	\$ 456.643.710
\$ 12.403.458	1	\$ 12.112.752
\$ 12.403.458	2	\$ 11.828.859
\$ 12.403.458	3	\$ 11.551.620
\$ 12.403.458	4	\$ 11.280.879
\$ 12.493.458	5	\$ 11.096.420
\$ 12.403.458	6	\$ 10.758.285
\$ 12.403.458	7	\$ 10.506.138
\$ 12.403.458	8	\$ 10.259.900
\$ 12.403.458	9	\$ 10.019.434
\$ 12.493.458	10	\$ 9.855.601
\$ 12.403.458	11	\$ 9.555.276
\$ 12.403.458	12	\$ 9.331.325
\$ 12.403.458	13	\$ 9.112.622
\$ 12.403.458	14	\$ 8.899.045
\$ 14.082.258	15	\$ 9.866.723
	VPN	\$ 612.678.588
	CAE	\$ 59.864.381,30

8.21 COSTOS ANUAL EQUIVALENTE DEL SISTEMAS CONVENCIONALES

Tabla 34. Costos del uso de sistemas convencionales

IPC TA	2,40% 0,05		IPC TA	2,40% 0,05		IPC TA	2,40% 0,05	
Diseño Flujo de Caja a 15 Años FILTRO PERCOLADOR			Diseño Flujo de Caja a 15 Años LAGUNA FACULTATIVA			Diseño Flujo de Caja a 15 Años LODOS ACTIVADOS		
Inversion	Años	VPN	Inversion	Años	VPN	Inversion	Años	VPN
\$ 28.825.659	0	\$ 328.535.417	\$ 976.858.229	0	\$ 976.858.229	\$ 224.758.388	0	\$ 224.758.388
\$ 28.825.659	1	\$ 28.150.058	\$ 22.747.304	1	\$ 22.214.164	\$ 43.292.546	1	\$ 42.277.877
\$ 28.825.659	2	\$ 27.490.291	\$ 22.747.304	2	\$ 21.693.520	\$ 43.292.546	2	\$ 41.286.990
\$ 28.825.659	3	\$ 26.845.987	\$ 22.747.304	3	\$ 21.185.078	\$ 43.292.546	3	\$ 40.319.326
\$ 28.825.659	4	\$ 26.216.784	\$ 22.747.304	4	\$ 20.688.553	\$ 43.292.546	4	\$ 39.374.342
\$ 28.825.659	5	\$ 25.602.328	\$ 22.747.304	5	\$ 20.203.665	\$ 43.292.546	5	\$ 38.451.506
\$ 28.825.659	6	\$ 25.002.274	\$ 22.747.304	6	\$ 19.730.141	\$ 43.292.546	6	\$ 37.550.298
\$ 28.825.659	7	\$ 24.416.283	\$ 22.747.304	7	\$ 19.267.716	\$ 43.292.546	7	\$ 36.670.213
\$ 28.825.659	8	\$ 23.844.026	\$ 22.747.304	8	\$ 18.816.129	\$ 43.292.546	8	\$ 35.810.755
\$ 28.825.659	9	\$ 23.285.182	\$ 22.747.304	9	\$ 18.375.126	\$ 43.292.546	9	\$ 34.971.441
\$ 28.825.659	10	\$ 22.739.436	\$ 22.747.304	10	\$ 17.944.459	\$ 43.292.546	10	\$ 34.151.797
\$ 28.825.659	11	\$ 22.206.480	\$ 22.747.304	11	\$ 17.523.886	\$ 43.292.546	11	\$ 33.351.365
\$ 28.825.659	12	\$ 21.686.016	\$ 22.747.304	12	\$ 17.113.170	\$ 43.292.546	12	\$ 32.569.692
\$ 28.825.659	13	\$ 21.177.750	\$ 22.747.304	13	\$ 16.712.080	\$ 43.292.546	13	\$ 31.806.340
\$ 28.825.659	14	\$ 20.681.396	\$ 22.747.304	14	\$ 16.320.390	\$ 43.292.546	14	\$ 31.060.879
\$ 28.825.659	15	\$ 20.196.676	\$ 22.747.304	15	\$ 15.937.881	\$ 43.292.546	15	\$ 30.332.889
	VPN	\$ 688.076.384		VPN	\$ 1.260.584.188		VPN	\$ 764.744.098
	CAE	\$ 67.231.445,35		CAE	\$ 123.170.768,35		CAE	\$ 74.722.592,18

8.22 COSTOS ESTIMADOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONALES

Tabla 35. Ecuaciones para estimar costos que requiere una planta de tratamiento convencional, Betulia.

SISTEMA DE TRATAMIENTO	ECUACION Q [LPS]	R ²
1) FILTRO PERCOLADOR	$82513374.753 * Q^{0.665}$	0,998
2) LAGUNA FACULTATIVA	$235861541.991 * Q^{0.617}$	0,999
3) LODOS ACTIVADOS	$52271792.083 * Q^{0.640}$	0,996

Fuente. SILVIA CASTAÑO, Carlos; RAMÍREZ VARGAS, Andrés, Evaluación económica – ambiental, Pereira. 2008

Tabla 36. Costos estimados de plantas de tratamiento convencionales, Betulia.

Q [m ³]	INVERSIÓN 2007	AÑO 2013	AÑO 2038	VIDA ÚTIL (AÑOS)	INVERSIÓN VP	INVERSIÓN VF	
1)	229,46	1035405,998	2,0%	2,0%	15	\$ 1.036.649,11	\$ 1.395.193,21
2)	229,46	934494,5512	2,0%	2,0%	15	\$ 1.052.392,64	\$ 1.416.381,94
3)	229,46	1193772866	2,0%	2,0%	15	\$ 1.344.382.139,22	\$ 1.809.361.355,79

ANEXO C. DIAGNÓSTICO SANITARIO DE SANTANDER

Tabla 37. Diagnóstico del sistema de alcantarillado en el departamento de Santander.

MUNICIPIO	COMPLEJIDAD CABECERA	COBERTURA %	GRAVEDAD/ BOMBEO GRAV(1) / BOMBEO (0)	FUENTE RECEPTORA	PTAR SI(1) / NO(0)	PLAN MAESTRO SI(1) / NO(0)	CABECERA 2014
Aguada	Bajo	46%	Gravedad	Queb. El Ropero	1	1	496
Albania	Bajo	90%	Gravedad	Caño Pepinillo, Queb. La Salud	0	0	851
Aratoca	Bajo	94%	Gravedad	Queb. Ramal, Leticia, Las Vegas	0	1	2293
Barbosa	Medio Alto	83%	Gravedad	Río Suarez	0	1	22372
Barichara	Medio	88%	Gravedad	Queb. Barichara	0	1	4503
B/bermeja	Alto	90%	Gravedad	Río Magdalena y Ciénagas	0	1	214352
Betulia	Bajo	83%	Gravedad	Queb. Paramera	0	1	1873
Bolívar	Bajo	89%	Gravedad	Queb. Papagayo y Queb. Pozo verde	0	0	2346
Bucaramanga	Alto	99%	Gravedad	Río de Oro, Río Surata	0	1	636721
Cabrera	Bajo	46%	Gravedad	Queb. La Puya	0	0	394
California	Bajo	96%	Gravedad	Río Vetas	0	0	627
Capitanejo	Medio	86%	Gravedad	Río Chicamocha	0	0	4196

Carcasí	Bajo	100%	Gravedad	Río Tunebo	0	0	930
Cepitá	Bajo	100%	Gravedad	Río Chicamocha, Queb. Perchiquez	0	0	408
Cerrito	Bajo	99%	Gravedad	Río Servita	0	0	3558
Charalá	Medio	96%	Gravedad	Río Pienta	0	0	6430
Charta	Bajo	90%	Gravedad	Río Charta	0	1	708
Chima	Bajo	92%	Gravedad	Queb. El Salto y Tequendama	0	1	856
Chipatá	Bajo	90%	Gravedad	Queb. Giteña	0	0	944
Cimitarra	Medio	80%	Gravedad	Queb. Agua Fria	0	0	12209
Concepción	Medio	94%	Gravedad	Río Servita	0	0	2799
Confines	Bajo	81%	Gravedad	Queb. La Guayacana, y San Jose	1	0	502
Contratación	Medio	9%	Gravedad	Queb. La Renta y La Zarza	0	0	3890
Coromoro	Bajo	100%	Gravedad	Río Yama y Río Ropero	0	0	1077
Curití	Medio	100%	Gravedad	Queb. Curití	1	1	3750
El Carmen	Bajo	97%	Gravedad	Queb. Iralundo	0	1	1730
El Guacamayo	Bajo	100%	Gravedad	Queb. Matadero	0	1	470
El Peñón	Bajo	60%	Gravedad	Queb. Grande	0	0	888
El Playón	Medio	80%	Gravedad	Río Playonero	0	1	5909
Encino	Bajo	100%	Gravedad	Queb. La Tortuga	0	0	441
Enciso	Bajo	100%	Gravedad	El Arco, La Virgen y Calagua	0	1	754
Florian	Bajo	83%	Gravedad	Caño Seco - Queb. Ruices	0	0	1327
Floridablanca	Alto	99%	Gravedad	Río Frio	1	1	279782
Galán	Bajo	60%	Gravedad	Queb Romera / Las Huertas	0	0	1238
Gambita	Bajo	100%	Gravedad	Queb. Gambita	0	0	800
Girón	Alto	99%	Gravedad	Queb. La Iglesia y Río de Oro	0	1	118872
Guaca	Bajo	73%	Gravedad	Río Guaca	0	0	1788
Guadalupe	Bajo	81%	Gravedad	Queb La Llanera, Caño negro	0	0	2401
Guapota	Bajo	98%	Gravedad	Queb. La Rosita	0	0	622
Guavatá	Bajo	100%	Gravedad	Queb. Las Mochilas	0	1	1024
Guepsa	Bajo	98%	Gravedad	Queb. Garcías	0	0	2676
Hato	Bajo	31%	Gravedad	Río Suarez	1	0,5	653
Jesús María	Bajo	91%	Gravedad	Queb Macual - Canoitas y El Hato	0	0	904
Jordan	Bajo	100%	Gravedad	Pozo	0	0	115
La Belleza	Bajo	100%	Gravedad	Queb. Colegio y la florida	0	1	1783
La Paz	Bajo	100%	Gravedad	Queb. Gran Oriente	0	0	1215
Landazuri	Medio	100%	Gravedad	Que. La Negra	1	0	3711
Lebrija	Medio	97%	Gravedad	Queb. Raices	0	1	9877
Los Santos	Bajo	84%	Gravedad	Queb. El Limo	1	0	1414
Macaravita	Bajo	96%	Gravedad	San Juan - Guamito	0	0	577
Málaga	Medio Alto	97%	Gravedad	Queb. La Magnolia	0	0	20688
Matanza	Bajo	100%	Gravedad	Río Suratá	0	1	1805

Mogotes	Medio	99%	Gravedad	Río Mogoticos y Queb. Guayaguata	0	0	3817
Molagavita	Bajo	78%	Gravedad	Río negro	0	0	1265
Ocamonte	Bajo	94%	Gravedad	Queb. La Moraria	0	0	948
Oiba	Medio	89%	Gravedad	Queb. La Guayacan	0	0	4355
Onzaga	Bajo	90%	Gravedad	Río Chaguaca, Río Suza	0	0	1518
Palmar	Bajo	100%	Gravedad	Río Suarez	0	0	396
Palmas del Socorro	Bajo	99%	Gravedad	Río Suarez	0	0	704
Páramo	Bajo	100%	Gravedad	Queb. La Fuente	0	0	926
Piedecuesta	Alto	95%	Gravedad	Río de Oro	0	1	95085
Pinchote	Bajo	100%	Gravedad	Río Fonce	1	0	738
Puente Nacional	Medio	100%	Gravedad	Río Suarez	0	0	6321
Puerto Parra	Bajo	74%	Gravedad	Río Carare	0	1	1598
Puerto Wilches	Medio Alto	78%	Gravedad	Ciénaga Yairirí	0	0	15162
Rionegro	Medio	94%	Gravedad	Río Negro	0	1	10185
Sabana de Torres	Medio	83%	Gravedad	Caño negro	0	0	12489
San Andrés	Medio	95%	Gravedad	Queb. La Llorona	1	1	3369
San Benito	Bajo	100%	Gravedad	Caño Precioso	1	0	444
San Gil	Medio Alto	98%	Gravedad	Río Fonce	0	1	37333
San Joaquín	Bajo	100%	Gravedad	Queb. Panamá	0	1	926
San José de Miranda	Bajo	79%	Gravedad	Río Servitá	0	0	1196
San Miguel	Bajo	95%	Gravedad	Queb. La Miel	0	0	677
San Vicente de Chucurí	Medio	100%	Gravedad	Río Chucurí	0	1	12537
Santa Bárbara	Bajo	100%	Gravedad	Queb Salinas	0	0	314
Santa Helena	Bajo	79%	Gravedad	Pozo Séptico	0	1	905
Simacota	Bajo	100%	Gravedad	Queb Córrala, La Picha y Mataperros	0	0	2338
Socorro	Medio Alto	96%	Gravedad	Río Suarez	0	0	19923
Suaita	Bajo	77%	Gravedad	Queb. Ricaurte y Mochavita	0	1	2940
Sucre	Bajo	97%	Gravedad	Río Suarez	0	0	566
Suratá	Bajo	100%	Gravedad	Río Suratá	0	1	879
Tona	Bajo	100%	Gravedad	Río Tona	0	1	667
Valle San José	Bajo	100%	Gravedad	Río Fonce	1	0	2697
Vélez	Medio	90%	Gravedad	Río Suarez	0	0	11948
Vetas	Bajo	71%	Gravedad	Río Vetas	0	1	1317
Villanueva	Medio	100%	Gravedad	Queb. Carrizal y Las Burras	0	0	4066
Zapatoca	Medio	99%	Gravedad	Queb. Uchuval	0	1	6768
		26 CON 100%			11 TIENEN	33 TIENEN	
					76 NO TIENEN	53 NO TIENEN	

ANEXO D. PLANOS, CANAL DE DESARENADO Y TANQUE IMHOFF, MUNICIPIOS DE GUAVATÁ Y BETILA SANTANDER.

Figura 3. Diseño del desarenador, Guavatá.

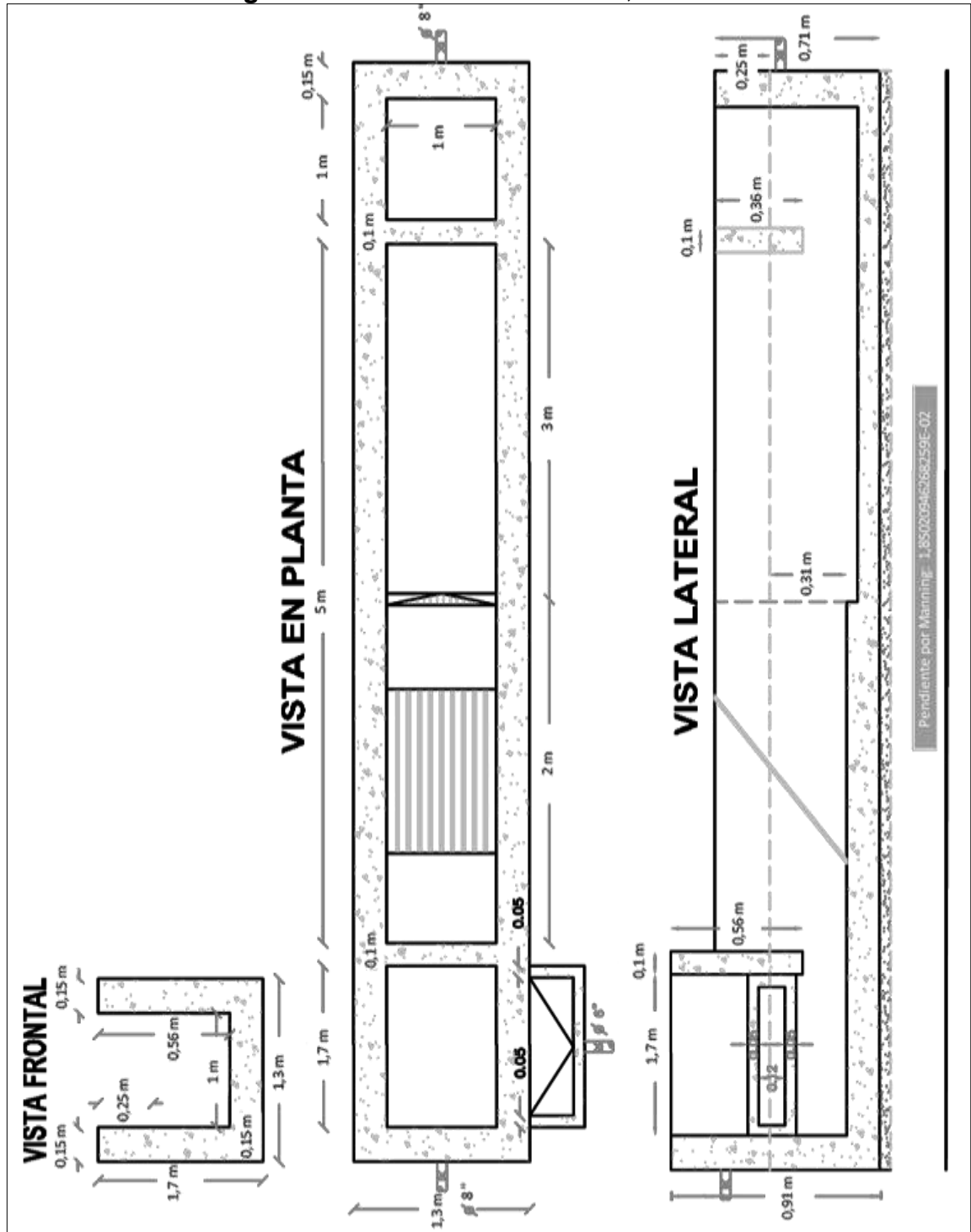


Figura 4. Diseño del tanque Imhoff, Guavatá.

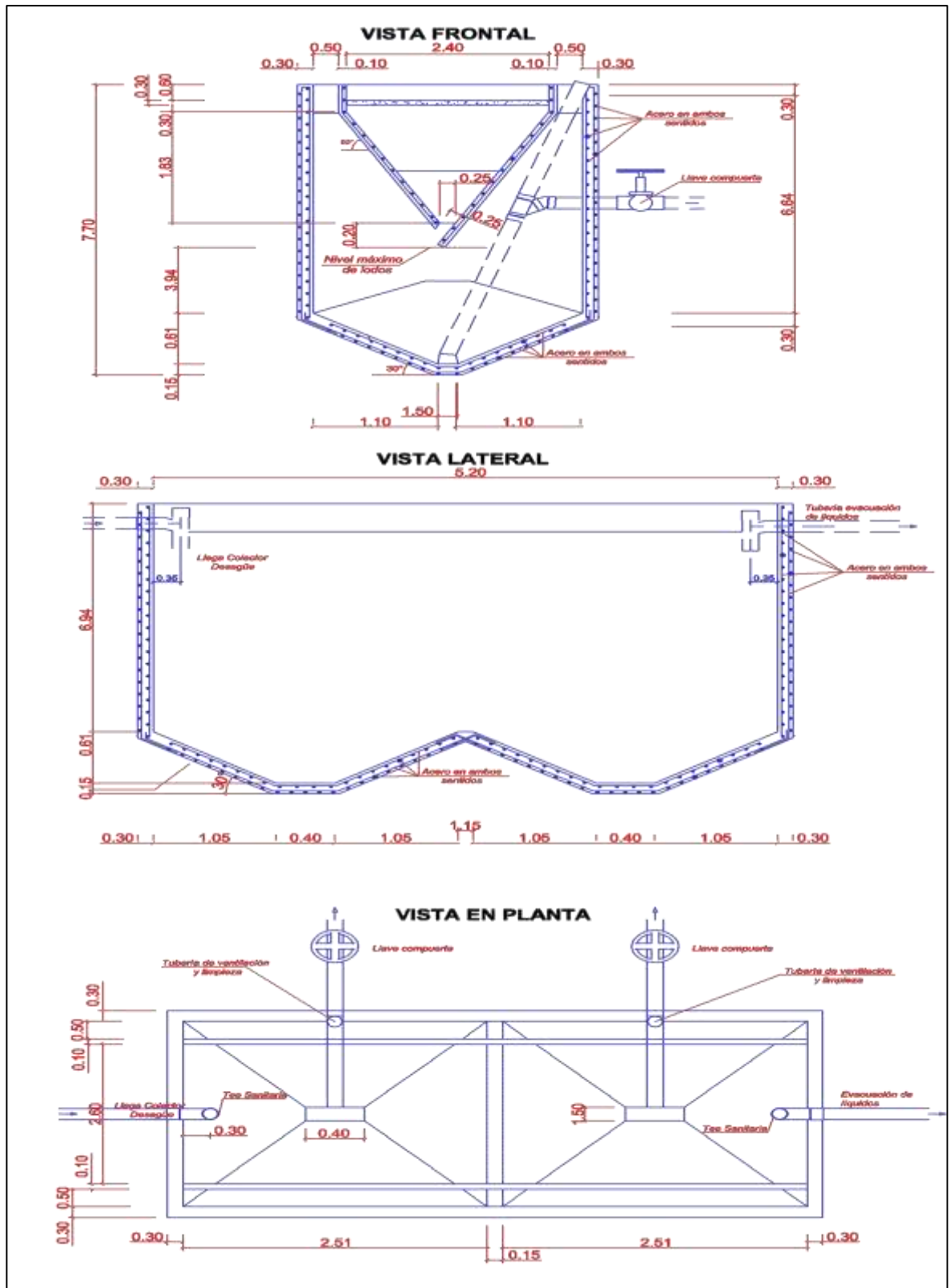


Figura 5. Diseño del desarenador, Betulia.

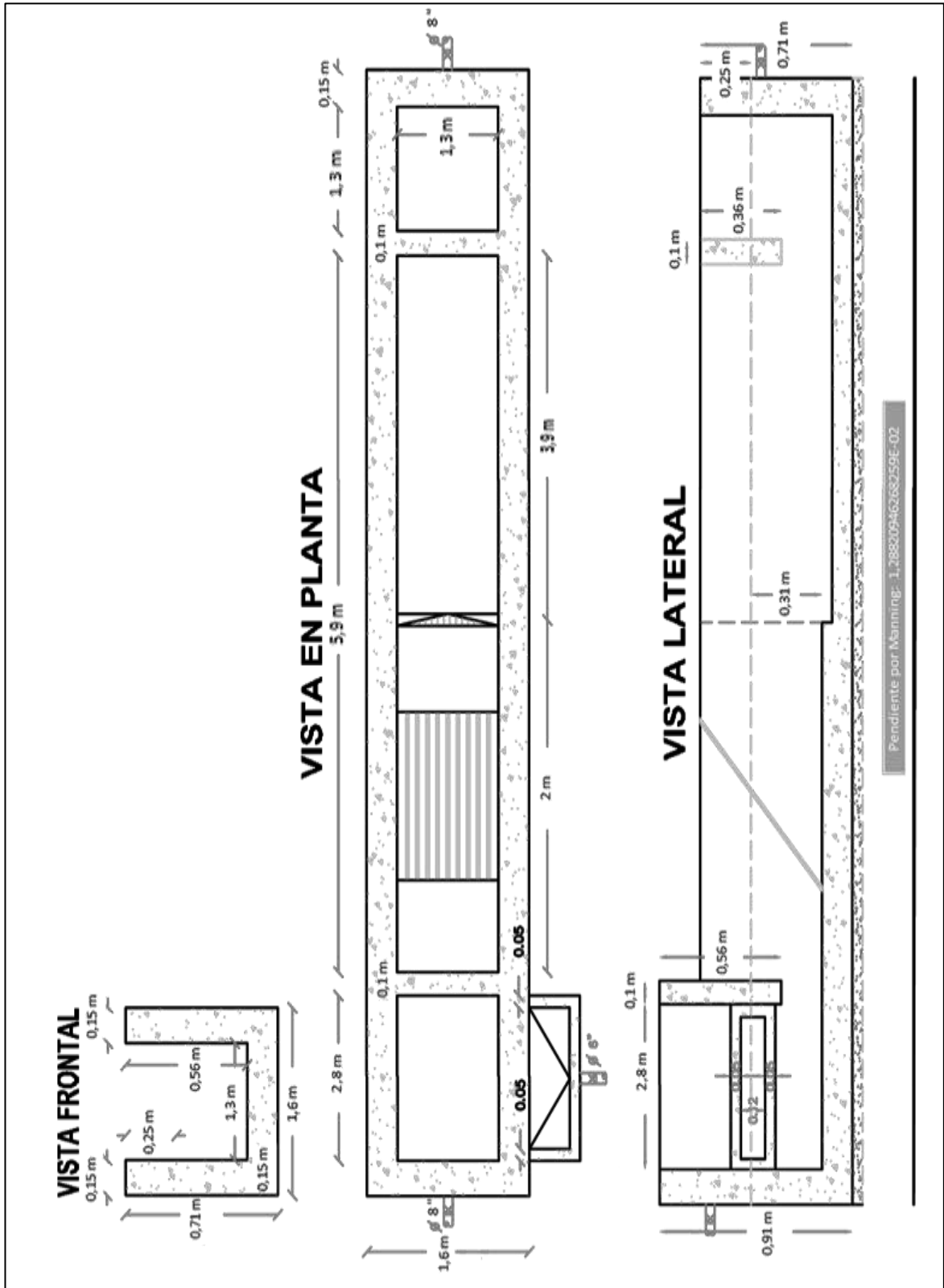


Figura 6. Diseño del tanque Imhoff, Betulia.

