

**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LODOS PROVENIENTES
DE LAS PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LOS MUNICIPIOS DEL
DEPARTAMENTO DE RISARALDA MEDIANTE EL ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO**

**Mario Alonso Raigosa Restrepo
COD: 9862900**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Facultad de Ciencias Ambientales
Administración Ambiental
Pereira
2012**

**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LODOS PROVENIENTES
DE LAS PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LOS MUNICIPIOS DEL
DEPARTAMENTO DE RISARALDA MEDIANTE EL ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO**

Mario Alonso Raigosa Restrepo
Trabajo presentado como requisito para obtener el título de
Administrador Ambiental

Dirigido por:
Álvaro Ignacio Ramírez Fajardo
Administrador Ambiental
Coordinador del Grupo de Investigación de Aguas y Saneamiento GIAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Facultad de Ciencias Ambientales
Administración Ambiental
Pereira
2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, febrero de 2012

A Dios y a mis padres, por darme la oportunidad de alcanzar logros tan memorables y acompañarme en todo momento impulsándome a crecer ofreciéndome su fortaleza para continuar luchando día a día. Así como a mi Pareja por acompañarme durante esta etapa de mi vida motivándome en todo momento hacia el alcance de mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres a quienes les debo mi vida y dedicación. Por haberme brindado su constante apoyo económico, emocional y sentimental durante todo mi proceso de formación profesional, impulsándome día a día por alcanzar tan excelente propósito.

Al profesor ALVARO IGNACIO RAMÍREZ FAJARDO, por brindarme su conocimiento y experiencia en la dirección de este trabajo. Y al acompañamiento y asesoría del profesor JOSE DAVID LÓPEZ.

RESUMEN

El presente estudio, nace a partir de la carencia de elementos e investigaciones que aporten al control de los vertimientos de lodos, resultado de los procesos de potabilización de agua para consumo humano.

El presente trabajo, toma como punto de partida once (11) Plantas de Tratamiento de Agua Potable PTAP's, pertenecientes a once municipios del departamento de Risaralda. La finalidad de la investigación, fue establecer una posible alternativa que en términos de beneficios y costos pudiese ser considerada para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización, para esto, se efectuó un análisis económico, en contraste con factores normativos y ambientales. Finalmente el análisis, permitió concluir que los lechos de secado son la opción más viable en comparación con otras alternativas.

Palabras clave: Lodo, Potabilización, Alternativas de manejo, Análisis Costo-Beneficio, Tasa Retributiva.

ABSTRACT

This study starts from the lack of elements and research that provides the control of dumping of sludge, outcome of treatment processes for drinking water.

This paper takes as its starting point eleven (11) plants of drinking water treatment PTAP's, from eleven (11) municipalities of Risaralda. The aim of this investigation was to establish a possible alternative in terms of benefits and costs that could be considered for the management of sludge coming from Treatment Plants of drinking Water, for this, economic analysis was performed in contrast to regulatory and environmental factors. Finally the analysis, allowed to conclude that the drying beds are the most viable option compared to other alternatives.

Keywords: sludge, purification, management alternatives, Cost-Benefit Analysis, Remuneration rate.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos	16
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	17
3. MARCO TEÓRICO	19
3.1 Potabilización	19
3.2 PTAP (Plantas de Tratamiento de Agua Potable)	19
3.3 Proceso del tratamiento convencional:	21
3.4 Generación de subproductos (Lodo)	21
3.5 Efectos negativos de los lodos	22
3.6 Legislación Ambiental Nacional en referencia a la problemática	23
3.7 Alternativas de manejo de lodo	26
3.8 Análisis Costo Beneficio	27
4. METODOLOGÍA	28
4.1 Ubicación del proyecto	28
4.2 Recolección de la información	28
4.3 Recolección de las muestras	30
4.4 Producción de lodo	31
5. DIAGNÓSTICO	33
5.1 Municipio de Dosquebradas	33

5.1.1 Descripción General PTAP Dosquebradas (Acuaseo S.A)	33
5.1.2 Características de la planta	33
5.1.3 Producción de lodo	36
5.2 Municipio La Virginia.....	36
5.2.1 Descripción general de la PTAP en la Virginia	37
5.2.2 Producción de lodo	38
5.3 Municipio de Marsella	39
5.3.1 Descripción General De La PTAP Marsella	39
5.3.2 Producción de lodo	41
5.4 Municipio de Belén De Umbría	41
5.4.1 Descripción de la PTAP del municipio de belén de umbría.....	42
5.4.2 Producción de lodo	43
5.5 Municipio De Santuario.....	44
5.5.1 Descripción General De La PTAP De Santuario	45
5.5.2 Producción de Lodos.....	46
5.6 Municipio De Apia.....	47
5.6.1 Descripción General PTAP Apia	48
5.6.2 Producción de lodos	48
5.7 Municipio De Guática	49
5.7.1 Descripción General PTAP De Guática	50
5.7.2 Producción de lodo	50
5.8 Municipio De Balboa	51
5.8.1 Descripción General PTAP Balboa	51
5.8.2 Producción de lodo	52

5.9 Municipio De La Celia	53
5.9.1 Descripción General De La PTAP Del Municipio La Celia	53
5.9.2 Producción de lodo	54
5.10 Municipio De Mistrató	55
5.10.1 Descripción General De la PTAP Del Municipio De Mistrató	55
5.10.2 Producción de lodo	56
5.11 Municipio De Pueblo Rico	56
5.11.1 Descripción General PTAP De Pueblo Rico	57
5.11.2 Producción de lodos	58
6. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LODOS	59
6.1 Filtración Al Vacío	59
6.2 Filtros de Prensa	61
6.3 Lechos de Secado	63
6.4 Lagunas	65
6.4.1 Lagunas de secado	66
7. COSTOS Y BENEFICIOS	67
7.1 Selección de las alternativas a analizar	67
7.2 Lechos de secado	70
7.2.1 Dimensionamiento de los Lechos de Secado	70
7.2.2 Costos de Inversión Asociados a los lechos de secado	73
7.2.3 Flujos de efectivo lechos de secado	75
7.3 Filtros Prensa	80
7.3.1 Dimensionamiento Filtros Prensa	80
7.3.2 Flujos de efectivo Filtros Prensa	84

7.4	Costos por Tasas Retributivas (Beneficios tributarios).....	85
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
8.2	Análisis Costo – Beneficio.....	91
8.3	Relación Costo – Beneficio.....	93
8.4	Obligaciones Legales.....	94
8.5	Beneficios Ambientales	94
8.6	Selección de la alternativa	96
9	CONCLUSIONES	98
10.	RECOMENDACIONES.....	100
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXOS.....		105

Listado de Tablas

Tabla 1	Alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización.....	26
Tabla 2.	Otras alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización.....	27
Tabla 3.	Materiales para la recolección de los lodos.....	30
Tabla 4.	Otros Instrumentos.....	30
Tabla 5.	Datos de ingreso al sistema de tratamiento (Acuseo).....	36
Tabla 6.	Producción promedio de Lodo en la PTAP Acuseo por trimestre 2009.....	36
Tabla 7.	Datos de ingreso al sistema de tratamiento (La Virginia).....	38
Tabla 8.	Producción de Lodo en la PTAP La Virginia por trimestre 2009.	39
Tabla 9.	Datos de ingreso al sistema de tratamiento (Marsella).....	40
Tabla 10.	Producción de Lodo en la PTAP Marsella por trimestre.....	41
Tabla 11.	Datos de ingreso al sistema de tratamiento Belén de Umbría.....	43
Tabla 12.	Producción de Lodo en la PTAP Belén de Umbría por trimestre	44
Tabla 13.	Otros datos sobre filtros rotatorios al vacío.....	60
Tabla 14.	Aspectos relacionados a la implementación de filtros al vacío como alternativa de tratamiento de lodo.....	61

Tabla 15.	Aspectos relacionados a la implementación de filtros de prensa como alternativa de tratamiento de lodo.....	62
Tabla 16.	Aspectos relacionados a la implementación de Lechos de secado como alternativa de tratamiento de lodo.....	65
Tabla 17.	Aspectos relacionados a la implementación de lagunas de deshidratación como alternativa de tratamiento de lodo.....	67
Tabla18.	Factores relacionados con la aplicación y operación de alternativas para el manejo de lodos.....	67
Tabla 19.	Calificativo por factor.....	69
Tabla 20.	Calificación de alternativas por factores asociados a su aplicación.....	69
Tabla 21.	Dimensiones lechos de secado.....	73
Tabla 22.	Materiales utilizados para la construcción de un lecho se secado.	74
Tabla 23.	Costos asociados a la dimensión de los lechos y producción de lodo.....	74
Tabla 24.	Materiales Red de Desagüe.....	75
Tabla 25.	Materiales Red de Aguas Lluvias.....	76
Tabla 26.	Materiales Equipo de Bombeo.....	76
Tabla 27.	Operación y mantenimiento lechos de secado. Municipio de Apia.....	77
Tabla 28.	Flujo de efectivo Lecho de Secado Belén de Umbría y Apia.....	78
Tabla 29.	Incremento salarial 2006-2011.....	79
Tabla 30.	Características de los Filtros Presupuestados.....	82
Tabla 31.	Costos asociados a filtro prensa 1.....	82
Tabla 32.	Costos asociados Filtro prensa 2.....	83
Tabla 33.	Inversión Inicial Lechos de secado y Filtros Prensa.....	83
Tabla 34.	Operación y Mantenimiento Filtro Prensa opción 1.....	84
Tabla 35.	Operación y Mantenimiento Filtro Prensa Opción 2.....	84
Tabla.36	Caudal de lodo PTAP municipios de Risaralda.....	86
Tabla 37.	Cc. Para la determinación de las Tasas Retributivas.....	87
Tabla 38.	Total a pagar por Tasa Retributiva.....	88
Tabla 39.	Tasa Retributiva Proyectoada.....	90
Tabla 40.	Valor Presente Neto, Lechos de Secado, Filtros Prensa y Tasa Retributiva.....	92
Tabla 41.	Relación Costo – Beneficio.....	93
Tabla 42.	Relación Costo Beneficio Final.....	97

Listado de Fotografías

Fotografía 1.	Planta de Tratamiento de Agua Potable Apia.....	29
Fotografía 2.	Punto de Muestreo Acuaseo.....	35
Fotografía 3.	PTAP La Virginia.....	38
Fotografía4.	PTAP Marsella.....	41

Fotografía 5.	Planta de Potabilización Belén de Umbría.....	44
Fotografía 6.	PTAP, Santuario.....	47
Fotografía 7.	Planta de Potabilización Apia.....	49
Fotografía 8.	PTAP Balboa.....	52
Fotografía 9.	Sedimentador PTAP La Celia.....	54

Listado de Figuras

Figura 1.	Ubicación Del Proyecto Municipios de Risaralda.....	28
Figura 2.	Toma de la muestra de lodo	30
Figura 3.	Municipio de Dosquebradas	33
Figura 4.	Canaleta Parshall.....	34
Figura 5.	Floculador de movimiento ascendente-descendente tipo Alabama.....	34
Figura 6.	Distribución de los componentes de la PTAP Acuaseo.....	35
Figura 7.	Municipio de La Virginia.....	37
Figura 8.	Componentes de la PTAP La VIRGINIA.....	37
Figura 9.	Municipio de Marsella.....	39
Figura 10.	Componentes de la PTAP Municipio de Marsella.....	40
Figura 11.	Municipio de Belén de Umbría.....	42
Figura 12.	Componentes de la PTAP Belén de Umbría.....	43
Figura 13.	Municipio de Santuario.....	45
Figura 14.	Componentes de la PTAP Santuario.....	46
Figura 15.	Localización del municipio de Apia.....	47
Figura 16.	Distribución de los componentes de la PTAP Apia.....	48
Figura 17.	Municipio de Guática.....	49
Figura 18.	Componentes PTAP Guática.....	50
Figura 19.	Municipio de Balboa.....	51
Figura 20.	Componentes PTAP Balboa.....	52
Figura 21.	Municipio de la Celia.....	53
Figura 22.	Componentes de la PTAP Municipio de la Celia.....	54
Figura 23.	Localización Municipio de Mistrató.....	55
Figura 24.	Componentes de la PTAP de Mistrató.....	56
Figura 25.	Municipio de Pueblo Rico.....	57
Figura 26.	Componentes PTAP Pueblo Rico.....	58
Figura 27.	Esquema de filtro de vacío típico.....	59
Figura 28.	Filtro-Prensa.....	61
Figura 29.	Corte esquemático del lecho de secado.....	64
Figura 30.	Esquema de deshidratación en lagunas de lodo.....	66

Listado de Ecuaciones

Ecuación 1.	Estimación volumen de lodos Aluminosos generados.....	32
Ecuación 2.	Cálculo de la carga inicial de lodo.....	70

Ecuación 3.	Profundidad.....	70
Ecuación 4.	Cambio de profundidad.....	71
Ecuación 5.	Cantidad Agua drenada.....	71
Ecuación 6.	Cambio de espesor por evaporación.....	71
Ecuación 7.	Tiempo de evaporación.....	72
Ecuación 8.	Numero de aplicaciones.....	72
Ecuación 1.	Número de aplicaciones de lodo al lecho de secado por periodo de tiempo.....	72
Ecuación 10.	Valor Presente Neto.....	79
Ecuación 11.	Cálculo Carga Contaminante.....	85
Ecuación 12.	Cálculo Tasa Retributiva.....	87

ANEXOS

Anexo A.	Caracterización de lodos municipios.....	105
Anexo B.	Determinación volumen de lodos PTAP que aplican coagulante.....	106
Anexo C.	Determinación volumen de lodos sin coagulantes.....	107
Anexo D.	Dimensionamiento lechos.....	108
Anexo E.	Costos de inversión lechos de secado.....	109
Anexo F.	Operación y mantenimiento lechos de secado.....	110
Anexo G.	Flujo de caja lechos de secado.....	111
Anexo H.	Flujo de caja filtros prensa.....	112

INTRODUCCIÓN

El agua, desde siempre ha sido considerado sustento fundamental para la subsistencia para todo ser vivo. Sin embargo, las condiciones antrópicas actuales han convertido el proceso de potabilización, en un elemento completamente fundamental para garantizar un aprovechamiento y consumo seguro del agua.

Los métodos tradicionales para la potabilización de agua, pueden resumirse en términos de captación, conducción, filtración, sedimentación y finalmente desinfección. Durante estos procesos y específicamente en la sedimentación, surgen los lodos como subproducto, el cual es resultado de la precipitación de los sólidos existentes en el agua cruda por acción, sea del paso lento del agua por tanques sedimentadores o por coagulación mediante aditivos químicos. En la actualidad, “algunas empresas de acueducto disponen el lodo producido en rellenos sanitarios, sin embargo, en su mayoría, los lodos son dispuestos directamente en los cuerpos de agua” explica Berón C.F, 1997¹, representando así, un grave problema debido a los altos contenidos de material sólido, materia orgánica y en algunos casos la composición residual de aditivos químicos usados durante el proceso de purificación de aguas.

Por otro lado, los Municipios del Departamento de Risaralda cuentan en su mayoría con plantas convencionales de potabilización, las características y volúmenes de lodos producidos por cada una son diferentes, lodos que a su vez son devueltos a las fuentes hídricas a través de sistemas de tuberías configurando una problemática ambiental. Dada esta situación, el presente proyecto aporta mediante una análisis de costos y beneficios, una alternativa para atender la actual problemática.

¹ BERÓN, C.F (1997). Incidencia de los Pretratamientos en medios porosos en el tratamiento de agua químicamente coagulada. Tesis de Maestría. Universidad del Valle. Citado por: Villegas, J.D, Castaño J.M, Paredes D. (2005). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en Plantas de potabilización de agua. Scientia et Technica Universidad Tecnológica de Pereira.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Establecer la factibilidad de una alternativa para el manejo y disposición de lodos provenientes de las plantas potabilizadoras de agua en el Departamento de Risaralda.

1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un diagnóstico de las características de las plantas de potabilización de los Municipios del Departamento de Risaralda y la producción lodos que allí se generan.
- Analizar los beneficios y costos, resultantes de la implementación de las alternativas para el manejo de lodos procedentes de plantas de tratamiento de agua potable (PTAP).
- Seleccionar la alternativa más factible para el manejo de lodos procedentes de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP).

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

La potabilización de agua es un proceso de gran importancia para los seres humanos. Durante este proceso se generan residuos, producto de la sedimentación de las partículas suspendidas en el agua, las cuales muchas veces se encuentran acompañados de residuos químicos resultado de la coagulación de sólidos presentes en el agua natural. Alberto Gallo y Juan Uribe², afirman que estos sólidos no se sedimentan naturalmente y globalmente causan diferentes problemas de olor, sabor, color y salud a menos que sean precipitados y removidos mediante procesos físicos o químicos.

En Risaralda, encontramos que para la potabilización de agua, los mecanismos más usados radican en el tratamiento convencional. Durante este tratamiento se realiza una remoción de las partículas finas en suspensión y o en solución presentes en el agua cruda, en algunos casos es necesaria la utilización de productos químicos, el más común es el sulfato de aluminio cuyas cargas son capaces de desestabilizar las partículas coloidales formando flocs de tamaño suficiente para su posterior remoción. Los lodos producto de este proceso o lodos aluminosos pueden generar graves problemas ambientales. George et al, 1991³, explica que la descarga de estos lodos a cuerpos de agua causan un gran impacto dada su naturaleza química, ya que el aluminio es tóxico para bacterias marinas, algas y organismos bentónicos, por lo que representa una amenaza cuando se acumula en ecosistemas acuáticos como arroyos, pantanos y lagos.

Ampliando el concepto, Gallo, J. y Uribe, J.C (2003), afirman que los lodos aluminosos pueden afectar la salud humana a nivel de las células renales cuando estos no pueden ser eliminados con facilidad, lo que posibilita el mal funcionamiento de otras células como las cardíacas y las cerebrales.

Por otra parte, el interés en este tipo de problemática no ha sido el mayor, lo cual ha generado como resultado la disposición inadecuada de estos lodos. Situación que procede por poco conocimiento de los problemas que genera su retorno a las fuentes hídricas, las cuales aguas abajo pueden ser utilizadas para consumo

² Gallo, J.A, Uribe, J.C, (2003). Reutilización de Lodos de planta de Potabilización en el Tratamiento de Aguas Residuales. Trabajo de Pregrado para la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

³ George D. B., Beck S. G., Adams V. D., Morgan E. L., Roberts R. O., Holloway C., Lott R. C. and Holt L. K. 1991. Alum sludge in the Aquatic Environment. AWWA Research Foundation and the American Waterworks Association. Citado por: Hernández, D. (2006). Aprovechamiento de lodos aluminosos (de la etapa de sedimentación) de sistemas de potabilización como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos. Tesis de Maestría Universidad del Valle.

humano, pero también, por el poco interés en la inversión que puede representar la implementación de una alternativa que posibilite su adecuado manejo.

Durante el año (2010) el Grupo de Investigación en Aguas y Saneamiento (GIAS) de la Universidad Tecnológica de Pereira en convenio con la Asociación de empresas de servicios públicos de Risaralda (ASESPRI), realizó el proyecto de “Selección y dimensionamiento de alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización de agua en las cabeceras municipales del Departamento de Risaralda”, esta investigación, se consolida para el presente trabajo en el principal insumo, en términos de información secundaria fiable y cercana a la realidad de la situación en la región.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Potabilización

En la sociedad actual la gran mayoría de los productos que utilizamos son desechados y en algunas ocasiones tienen una disposición final inadecuada generando y afectando otro tipo de recursos como el agua. Muchos de estos desperdicios son dispuestos en fuentes hídricas las cuales sirven de abastecimiento para poblaciones y asentamientos humanos. En consecuencia, el proceso de potabilización “se vuelve esencial para resolver los problemas de mala calidad del líquido consumido que afecta los niveles de salud humana y de calidad de vida”, comentan Zamora A. y Pérez M (2003)

En Risaralda como en el resto de nuestro país encontraremos que cada población tiene diferentes métodos y tecnologías para llevar a cabo este proceso, sin embargo todos ellos deben ceñirse a la normatividad vigente para la distribución adecuada de este recurso en una población, en este caso el Decreto 1594 de 1984 el cual establece los usos del agua y define los valores mínimos para dichos usos.

3.2 PTAP (Plantas de Tratamiento de Agua Potable)

El agua tal como la encontramos en la naturaleza es considerada no apta para consumo humano dado las concentraciones y presencia de diferentes sustancias las cuales pueden ser perjudiciales para la salud humana. Estas sustancias pueden ser agrupadas; de acuerdo a *Mariana López Sánchez et Al (2005)*⁴ de la siguiente manera:

Color: El color se debe a la presencia de materia orgánica disuelta proveniente de suelos de turba, sales minerales de hierro y de manganeso. Según la normatividad Colombiana, el decreto 1594 de 1984 en su artículo 38 define este parámetro con límite permisible para consumo humano 75 unidades, escala Platino – cobalto, requiriendo tratamiento convencional.

Materia suspendida: Es el mineral fino o materia vegetal que no es capaz de sedimentar en condiciones normales de flujo.

⁴ LÓPEZ SÁNCHEZ, Mariana et Al. El Agua. Gran Canaria. 71 págs. 2005. Universidad de las Palmas. Departamento de Química. Citada por: Martínez, F.D, (2010). Evaluación económica de la recirculación de aguas de Lavado proveniente de las unidades de filtración rápida de La planta de potabilización manantiales, Tesis de especialización en la Universidad de Antioquia.

Turbidez: Es una medida de la transparencia del agua, se puede deber a muchos factores, como partículas finas de minerales en suspensión, alta concentración de bacterias o incluso finas burbujas debido a la excesiva aireación. Según la normatividad Colombiana, el decreto 1594 de 1984 en su artículo 39, establece que este parámetro posee un límite permisible para consumo humano de 10 Unidades Jackson requiriendo solo desinfección.

Patógenos: Los patógenos pueden ser virus, bacterias, entre otros organismos que pueden afectar negativamente la salud del que ingiere el agua.

Dureza: La excesiva y extremadamente baja dureza son igualmente indeseables. El exceso de dureza se presente con frecuencia en las aguas subterráneas, mientras que las aguas blandas son más frecuentes en cuencas de captación de tierras altas.

Sabor y Olor: El sabor y olor desagradable se debe a contaminación por aguas residuales, excesiva concentración de algunas especies químicas como: el hierro, aluminio o manganeso; vegetación en estado de putrefacción, condiciones de estanqueidad debido a la falta de oxígeno en el agua, o a la presencia de ciertas algas, entre otros. En el parágrafo del artículo 45 del decreto 1594 de 1984, establece que para los usos definidos de la agua, tampoco debe haber sustancias que impartan olor y sabor a organismos acuáticos, ni turbiedad ni color que interfieran con la actividad fotosintética.

Productos químicos nocivos: Existe una gran variedad de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas que son tóxicas y nocivas, que pueden aparecer en los recursos del agua. Estas son absorbidas por los sólidos y se debe a contaminación por aguas residuales industriales y domésticas.

Teniendo en cuenta de los parámetros anteriores es necesario llevar a cabo el proceso de purificación o potabilización de modo que pueda ser consumida sin riesgos de contraer enfermedades. Para este efecto, la utilización de un sistema que permita la potabilización del agua depende de factores como el caudal, espacio disponible, costos de implementación y mantenimiento, entre otros.

Martínez Federico (2010), afirma que una de las alternativas más frecuentemente utilizada es el tratamiento convencional que consiste en el paso del agua cruda a través de un tren de unidades de tratamiento físico químicos antes de ser distribuida por la red de servicio y que pueden ser: canal de entrada, floculación, sedimentación, filtración y desinfección para su posterior almacenamiento y distribución.

No obstante existen también otro tipo de alternativas de costos más elevados y operación más compleja.

3.3 Proceso del tratamiento convencional:

Martínez Federico (2010) define los procesos que componen el sistema así:

Un proceso de **coagulación y mezcla rápida** seguido de la **floculación** a través de una mezcla lenta que pretende aglutinar las sustancias coloidales del agua ganando peso a través de la adición de un químico coagulante. Sin embargo en muchas poblaciones y dependiendo de las características del agua natural este paso es obviado y no es adicionado ningún tipo de coagulante que facilite el proceso.

El siguiente proceso corresponde al de **sedimentación** de las partículas coaguladas en un proceso físico donde se aprovecha el peso adquirido por las partículas que superan el peso específico del agua dirigiéndose al fondo del tanque. Por otra parte, se realiza el proceso de **filtración** el cual consiste en conducir el agua sedimentada a través de un medio filtrante que puede ser de arena, antracita o la mezcla de ambos. En este proceso se eliminan algunas sustancias y partículas presentes en el agua que se adhieren al lecho filtrante de gran área superficial. Por último, se lleva a cabo el proceso de desinfección del agua con la adición de un desinfectante el cual puede ser cloro siendo este el más utilizado.

3.4 Generación de subproductos (Lodo)

Como lo mencionamos con anterioridad el agua natural captada por las plantas potabilizadoras poseen sustancias de diferentes características que deben ser removidas durante el proceso de purificación, “Dentro de este grupo se encuentran arenas, limos orgánicos en solución o suspensión, iones que causan dureza, turbiedad, color y otras sustancias que reducen la calidad del agua.” (Darwin Hernández, 2006) Durante el proceso de potabilización los sólidos suspendidos del agua natural pasa por los sedimentadores donde las partículas suspendidas se precipitan permitiendo así la clarificación del agua, en algunas ocasiones las partículas son tan finas que es necesario la aplicación previa de coagulantes que permiten el aglutinamiento de dichos sólidos de modo que por su peso puedan precipitarse durante el proceso de sedimentación, son estos sedimentos los llamados lodos. Según el RAS (2000)⁵, Los lodos que se producen en los sedimentadores constituyen entre el 60 y el 70% de los sólidos totales y en los filtros entre el 30 y el 40%.

⁵ Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II, Título C, sistemas de potabilización.

Otros autores como Sandoval (1998)⁶, afirman que el volumen de dichos lodos representa del 0.3 al 1% del agua tratada, provenientes de la remoción de sólidos suspendidos presentes en el agua cruda y de reactivos adicionados.

En Risaralda la mayoría de los Municipios regresa estos lodos a las fuentes hídricas sin tratamiento alguno lo cual contribuye a la contaminación ambiental; por otro lado hay que tener en cuenta que algunos de estos lodos vienen acompañados de aditivos químicos (sulfato de aluminio) que permiten la coagulación y posterior sedimentación de los sólidos suspendidos en el agua.

Dado que las cantidades como las características de los lodos cambian estacionalmente, pueden generarse también impactos cada vez más graves. Según Sandoval (1998), "Las características del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua potable dependen del origen del agua cruda y de los sistemas usados en el tratamiento del agua y del lodo. Diferentes procesos de tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características del lodo pueden cambiar anual, estacional o diariamente." Partiendo de esto se hace necesaria la implementación de estrategias que permita abordar la problemática de los lodos generados en las PTAP.

3.5 Efectos negativos de los lodos

Dependiendo del tipo de tratamiento, los efectos negativos de los lodos pueden variar. Según Gallo, J. y Uribe, J.C. (2003). La toxicidad potencial de estaciones de tratamiento de agua depende de factores como: características del agua cruda, productos químicos usados en el tratamiento, reacciones químicas ocurridas durante el proceso, forma de remoción y tiempo de retención de los residuos en los sedimentadores, características hidráulicas, físicas, químicas y biológicas del cuerpo receptor, etc.

Uno de los lodos más característicos y de efectos más graves sobre el medio son los lodos aluminosos, producto del proceso de coagulación el cual es realizado dependiendo de las características del agua y las impurezas presentes en el agua. Según Kaggwa (2001)⁷, una de las preocupaciones más grandes es la descarga directa de lodos aluminosos sobre cuerpos de agua dada la toxicidad del aluminio,

⁶ Sandoval, L., Flórez L.M., Motellano L., Morán, M.A., Rubí, R., Sánchez, L., Santana, M.L., Vásquez, S., Martín, A. (1998) Tratabilidad de los Lodos Producidos en la Potabilización del Agua. Seminario Regional Bienal sobre Potabilización Filtración. Septiembre de 1998. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

⁷ Kaggwa, R.C., Mulalelo, C.I., Denny, P., and Okurut, T. 2001. The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in Uganda. *Water Research*. Vol. 35, No. 3: 795-807. Citado por: Hernández, D. (2006). Aprovechamiento de lodos aluminosos (de la etapa de sedimentación) de sistemas de potabilización como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos. Tesis de Maestría Universidad del Valle.

el cual puede tener varios efectos directos en las plantas (Taylor, 1989)⁸. Por otro lado, y como lo menciona Gallo, J. y Uribe, J.C. (2003), estos lodos aluminosos pueden generar graves problemas a la salud humana, e incluso se han detectado pacientes sometidos a diálisis que sufrían demencia cuando el agua utilizada poseía concentraciones de aluminio por encima del 0.08 Mg/L.

No obstante, las aguas superficiales utilizadas como manantiales están sujetas también a la contaminación por formas naturales: escorrentías de acción del agua sobre las rocas y también escorrentías de acción del agua sobre el medio, tales como la aplicación de fertilizantes, pesticidas y disposición de residuos industriales y domésticos. Este aspecto tiene gran importancia, pues esas sustancias pueden estar presentes en los residuos generados (Lodo). Gallo, J. y Uribe, J.C (2003)

3.6 Legislación Ambiental Nacional en referencia a la problemática

En la legislación ambiental encontraremos un marco normativo que define y guía los procesos que justifica la realización de la presente investigación. La constitución política de Colombia por su parte, en su artículo 80, establece la importancia de la protección de los recursos naturales y evitar el deterioro ambiental mediante herramientas de planificación. Para este fin diferentes leyes y decretos han sido formulados, caracterizando diferentes aspectos que podrían contribuir a la generación de impactos ambientales.

En torno a esto y en relación a la problemática, los lodos provenientes de las plantas de potabilización puede ser considerado como un residuo teniendo en cuenta la definición suministrada en el decreto 1713 del 97 que se relaciona directamente a la ley 99 del 93, en referencia a la gestión integral de residuos sólidos, la cual define residuo como:

“Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.”

Por otro lado también define el término contaminación, el cual se entiende como: “la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de los particulares.”

⁸ Taylor, G. J. 1989. Aluminium toxicity and tolerance in plants. Acidic precipitation; biological and ecological effects. In Advances in Environmental Science, Vol. 2, eds D. C. Adriano and A. H. Johnson, pp. 327-361. Springer, New York.

Teniendo en cuenta esta definición y dadas las características mencionadas con anterioridad los lodos provenientes de las PTAP han de ser considerados como un residuo contaminante al cual es de gran importancia dar un manejo adecuado.

No obstante, la ley 99 de 1993 define también algunas obligaciones de los entes territoriales, Nacional, Regional y local, respecto al tema de manejo de residuos. Como es el caso de las Corporaciones Autónomas Regionales cuya función Número 12 establece que debe:

“Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables, lo cual comprenderá el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos y gaseosos a las aguas en cualquiera de sus formas, al aire o a los suelos, así como los vertimientos o emisiones que puedan causar daño o poner en peligro el normal desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos.”

Sin bien es posible que haya un seguimiento, es necesario también que existan procesos de intervención y control que sea realmente efectivo que permita abordar las diferentes problemáticas, como ejemplo en nuestro caso el inadecuado manejo de lodos en las PTAP.

También, encontraremos también otras normas que infieren directamente sobre la problemática desde el origen de la misma. Es el caso de la resolución 1096 del año 2000 en la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS de Ministerio de Desarrollo Económico, cuyo marco abarca desde las características mínimas con las cuales una planta de tratamiento de agua potable debe contar, el cual fija los requisitos técnicos para procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico”, cuya sección II Título C, trata especialmente sobre los sistemas de potabilización, allí se define el diseño y características básicas de la planta de tratamiento, aspectos de calidad del agua que se va a tratar definiendo el grado y tipo de tratamiento de esta, también se definen alcances y se describe el proceso de potabilización durante cada etapa:

“Pre-tratamiento”: remoción del material flotante (hojas y demás)

“Coagulación-Mezcla rápida”: Aplicación de coagulantes

“Floculación”: separación de flóculos de material coagulado

“Sedimentación”

“Filtración”: dependiendo de la calidad del agua después de la sedimentación se define el tipo de filtrado para garantizar la mejor calidad del agua.

“Desinfección”: independiente del tipo de tratamiento que se haga para potabilizar el agua, según el RAS es obligación realizar la desinfección del agua, mediante cloración, ozonización u otro tratamiento.

De igual manera, esta norma aborda también el tema relacionado al manejo de lodos resultado del proceso de potabilización y purificación de las aguas, teniendo en cuenta procesos de caracterización, evacuación, manejo o tratamiento de estos lodos y la disposición final de los mismos. En cuanto al control y disposición de los lodos en cuerpos de agua el decreto 1594 de 1984, el cual reglamenta los usos del agua y residuos líquidos, establece en su artículo 70 que:

“Los sedimentos, lodos, y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de contaminación ambiental, no podrán disponerse en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas o sistemas de alcantarillado, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.”

El decreto 1713 de 1997 Referente al tema de la disposición final lo define como:

“El proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.”

Por otro lado, los lodos tienen características que no facilitan su disposición, razón por la cual es necesario darle un manejo o tratamiento adecuado el cual es definido también por el mismo decreto como: “El conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos sólidos incrementando sus posibilidades de reutilización o para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.”

Todas estas actividades y disposiciones pueden encontrarse y asimilarse bajo el concepto de la gestión ambiental de cuya amplitud pueden subdividirse diferentes disposiciones como la Gestión integral de residuos sólidos, definida en el *decreto 1713 de 1997* como:

“El conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final.”

Finalmente, en el año 2010 surge un nuevo decreto de vertimientos que será efectivo en el año 2011, el decreto 3930 y el proyecto resolución, “Por la cual se establecen las normas y los valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales y superficiales de generadores que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicio y se dictan otras disposiciones”

Este decreto tiene como finalidad el reglamentar y limitar todos los vertimientos a fuentes hídricas, sustituyendo el decreto 1594 del año 1984, que hasta el momento reglamenta este eje. Particularmente, en su artículo 39 define la “Responsabilidad del prestador del servicio público domiciliario de Alcantarillado: quien será responsable de exigir respecto de los vertimientos que se hagan a la red de alcantarillado en cuanto al cumplimiento de la norma de vertimiento al alcantarillado público.” Así como esto, será también regulado estrictamente en sus vertimientos lo que para efectos del presente proyecto cobra importancia, ya que se ha de generar la necesidad de implementar procesos que permitan la adecuada manera de disponer los lodos que se generan en la PTAP, que por sus características físicas y químicas, son considerados elementos contaminantes.

3.7 Alternativas de manejo de lodo

Para los diferentes análisis se han de tomar en cuenta diferentes alternativas de manejo de lodos:

El Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), 2000, establece diferentes alternativas de manejo de lodos que faciliten su disposición final. Tabla 1

Tabla 1 Alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización

TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS
Filtración al Vacío	Después de la adición de polímeros y cuando se presenta una gran concentración de sólidos inertes debe implementarse la filtración al vacío que puede secar los lodos del coagulante hasta el 20 % de sólidos.
Filtración a Presión	Debe usarse cuando las características del lodo son difíciles de manejar ya que puede mantener los sólidos bajo presión por extensos períodos de tiempo hasta que la consistencia deseada sea alcanzada.
Lechos de secado	El uso de las camas de secado está limitada por el clima pero los rangos pueden variar de 1 a 20 por año, ésta tasa de utilización puede incrementarse con el uso de polímeros.

Fuente: RAS (2000)

Tabla 2. Otras alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización

TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS
Lagunas de deshidratación	Las lagunas de deshidratación son muy similares a los lechos de secado de arena, excepto en que operan a cargas iniciales mucho mayores, y además, tienen mayores tiempos de secado entre limpiezas.
Centrifugas	La centrifugación de lodos es básicamente un somero proceso de Sedimentación mejorada por la aplicación de la fuerza centrífuga.

Fuente: Darwin Hernández 2006

Las alternativas de manejo de lodos presentadas en las Tablas 1 y 2 son algunas de las más conocidas o mencionadas en nuestro país, de las cuales algunas son usadas principalmente para el manejo de lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

3.8 Análisis Costo Beneficio

Como dice Ernesto Cohen y Rolando Franco 1988⁹, El principio de análisis Costo Beneficio, radica en comparar los costos y los beneficios de la aplicación de un proyecto determinado. De este modo, se descarta o se implementa el proyecto propuesto.

No obstante, cuando las variables incluyen otros aspectos además del económico, como son el ambiental, legal u otro, es necesario complementar el análisis para llegar a la decisión final. Según John Dixon y Stefano Pagiola, 1998,¹⁰ en algunos casos, el análisis beneficio costo tradicional puede no ser completamente efectivo, puesto que, podría no ser posible hacer estimaciones monetarias de los beneficios ambientales.

Por ejemplo: algunas áreas naturales pueden ser tan únicas que se puede sentir que ellas deben ser conservadas a cualquier costo. Partiendo de esto, cuando la pérdida de estos bienes y servicios fuese irreversible, sería deseable escoger la estrategia que minimiza al máximo posible las pérdidas fruto del daño ambiental.

⁹ Cohen E., Franco R., Evaluación de Proyectos Sociales, (1988)

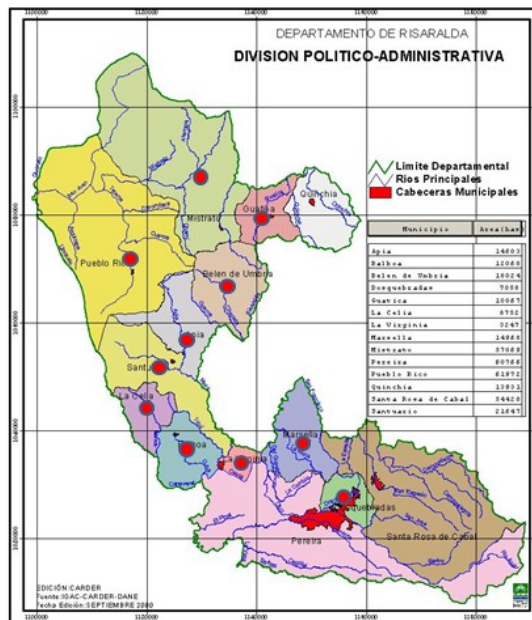
¹⁰ Dixon J., Pagiola S., 1998. Análisis Económico y Evaluación Ambiental. Indicators and Economic Valuation Unit, Environment Department. Tomado de: Environmental Assessment Sourcebook Update. Publicación No. 23. Environment Department World Bank.

4. METODOLOGÍA

4.1 Ubicación del proyecto

El departamento de Risaralda (Figura 1), es una entidad territorial ubicada en el sector central de la región andina, centro occidente de Colombia. Su exposición geográfica está determinada por las coordenadas de sus límites extremos: entre los 5°32' y 4°39' de latitud norte y entre 75°23' y 76°18' de longitud al oeste del meridiano 0° de Greenwich. (Gobernación de Risaralda, 2010)

Figura 1. Ubicación Del Proyecto Municipios de Risaralda



Fuente: CARDER, 2000

4.2 Recolección de la información

El trabajo se realizó en las plantas de potabilización de 11 de los 14 Municipios del Departamento Risaraldense, Dosquebradas, La Virginia, Apia, Balboa, Belén de Umbría, Guática, La Celia, Marsella, Mistrató, Pueblo Rico y Santuario. Durante un periodo de 20 días se realizaron visitas a cada Municipio. El objetivo de las estas, fue el conocer la operación de las plantas de tratamiento, y obtener información necesaria para el cálculo de la cantidad de lodo que se generaba en cada una y qué tipo de manejo existía para este tipo de residuos.

Fotografía 1. Planta de Tratamiento de Agua Potable Apia



Esta información fue suministrada en cada Municipio por las empresas de servicios públicos de cada localidad.

Durante las visitas se encontró que diferentes tipos de plantas de potabilización son operadas en cada Municipio, en algunas de ellas el proceso de coagulación es innecesario dadas las características del recurso, donde la precipitación de partículas se da por el paso lento de las aguas por tanques sedimentadores, donde se acumula el material sólido cuyas características (tamaño de las partículas) facilitan su separación del medio acuático sin necesidad de aditivos químicos. Por el contrario, en otras plantas el material diluido es tan fino que la aplicación de aditivos químicos es determinante siendo el sulfato de aluminio el coagulante usado en las plantas de potabilización donde el proceso es llevado a cabo.

4.3 Recolección de las muestras

Tabla 3. Materiales para la recolección de los lodos

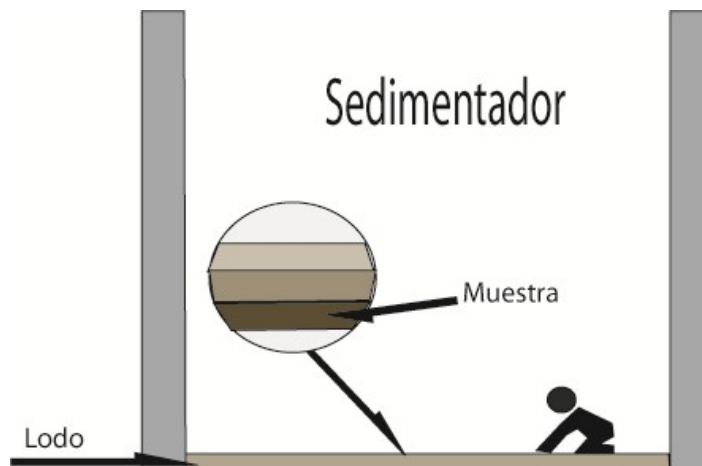
Materiales	Objetivo
pHmetro	Medición de temperatura y pH
Recipientes Plástico y Vidrio	Recolección muestras de lodo
Nevera portátil + Hielo	Conservación de la muestras recolectadas
Regla	Medidas de profundidad de los lodos sedimentados.
Cuchara plástica	Recolección de la muestra de lodo

Tabla 4. Otros Instrumentos

Otros Instrumentos	
GPS	Ubicación Geo-espacial
Decámetro	Medidas de los sedimentadores

La recolección de las muestras fue de carácter puntual, con ubicación aleatoria del sitio de captura, recolectando la misma en el perfil inferior del lodo sedimentado. Para esto, se procuró que la programación de los muestreos, correspondiera al día de lavado de las plantas de potabilización, de modo se posibilitara la obtención de una muestra representativa.

Figura 2. Toma de la muestra de lodo



En cada planta, se tomaron dos (2) muestras, con el fin de evaluar los parámetros y características de los lodos.

La primera muestra, se depositó en un recipiente plástico, la cual, según lo establecido en la norma NTC- 5667¹¹; se recolecta para la medición de parámetros de interés ejemplo: Ph y Temperatura. La segunda muestra, fue depositada en un recipiente de vidrio y partiendo de la misma norma, es recolectada para un análisis más específico relacionado con los componentes orgánicos del lodo.

En el municipio de Marsella no pudo ser recolectada la muestra de lodo, ya que la planta se encontraba en adecuación. Por otro lado en el municipio de Santuario, las cantidades de lodo sedimentado eran escasas y tampoco pudo recolectarse una muestra representativa para su caracterización.

La caracterización de la muestra se realizó mediante análisis llevados a cabo en el Laboratorio de Química Ambiental en la Universidad Tecnológica de Pereira, cuyos parámetros evaluados fueron:

DBO, DQO, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Aluminio, Humedad, Coliformes Totales y E Colli, con el fin de establecer las características de los lodos vertidos en cada planta.

Los métodos analíticos utilizados para la caracterización de los lodos, corresponden a lo establecido en el Standard Methods for the examination of water and wastewater. Ver Anexo A.

4.4 Producción de lodo

Como se mencionó con anterioridad, el establecer el volumen de lodos provenientes de las plantas de potabilización hubiese requerido de un muestreo exhaustivo teniendo en cuenta características más específicas, como es el caso del clima; requiriendo un tiempo prolongado y mayores recursos. Por esta razón, el cálculo del volumen de lodos en las plantas de potabilización pertenece a una metodología de carácter secundario.

Para la estimación de las cantidades de lodo producido en cada planta de potabilización, se acudió al método establecido en el documento de la Comisión Nacional del Agua (2007)¹²:

¹¹ Norma técnica Colombiana NTC – 5667- Gestión Ambiental. Calidad del agua. Parte 13: Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas

¹² Comisión Nacional del Agua, 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Guía para el Manejo, Estabilización y Disposición de Lodos Químicos.

Ecuación 1. Estimación volumen de lodos Aluminosos generados

$$S = 86,4 * Q(0.44Al + SS + A)$$

Fuente: CONAGUA 2007

Dónde:

S: Lodos Producidos (Kg/día)

Q: Caudal de ingreso a la Planta (m³/seg)

Al: Dosis de aluminio seco (mg/L)

SS: sólidos suspendidos en el agua cruda (mg/L)

A: Otros aditivos (Polímeros, arcilla Carbón Activado) (mg/L)

Partiendo de la definición del documento de la Comisión Nacional del Agua 2007, los elementos de la formula corresponden a:

La variable 0.44 corresponde a los sólidos inorgánicos de aluminio resultantes de la adición del sulfato de aluminio al agua para la coagulación. Los sólidos suspendidos¹³ presentes en el agua cruda producen un peso equivalente de sólidos en el lodo, ya que no reaccionan. Se puede suponer que otros aditivos, tales como los polímeros o el carbón activado en polvo, producen lodo en la misma cantidad añadida.

Los datos utilizados para el cálculo de volúmenes de lodos municipales corresponden a datos históricos diarios de entrada a las PTAP en cuanto a caudal como a los datos de Solidos Suspendidos Totales, registrados en los laboratorios de cada E.S.P.

Anexo B y C Estimación de Volumen de Lodos Municipios

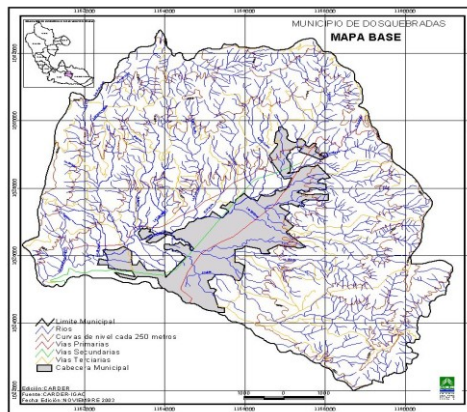
¹³ Los Sólidos Suspendidos utilizados para la formula corresponden a los promedios históricos del parámetro registrados por la empresa para el año 2009.

5. DIAGNÓSTICO.

5.1 Municipio de Dosquebradas

El Municipio de Dosquebradas (Figura 3), se encuentra ubicado sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central, entre las coordenadas: 4° 45' - 4° 51' lat. Norte y 75° 30' - 75° 45' long. Oeste, con una superficie de 70.8 km² a una altura de 1.400 mt y temperatura promedio de 21°-22 °. (www.dosquebradas.gov.co)

Figura 3. Municipio de Dosquebradas



Fuente: CORDER, 2003

5.1.1 Descripción General PTAP Dosquebradas (Acuaseo S.A)

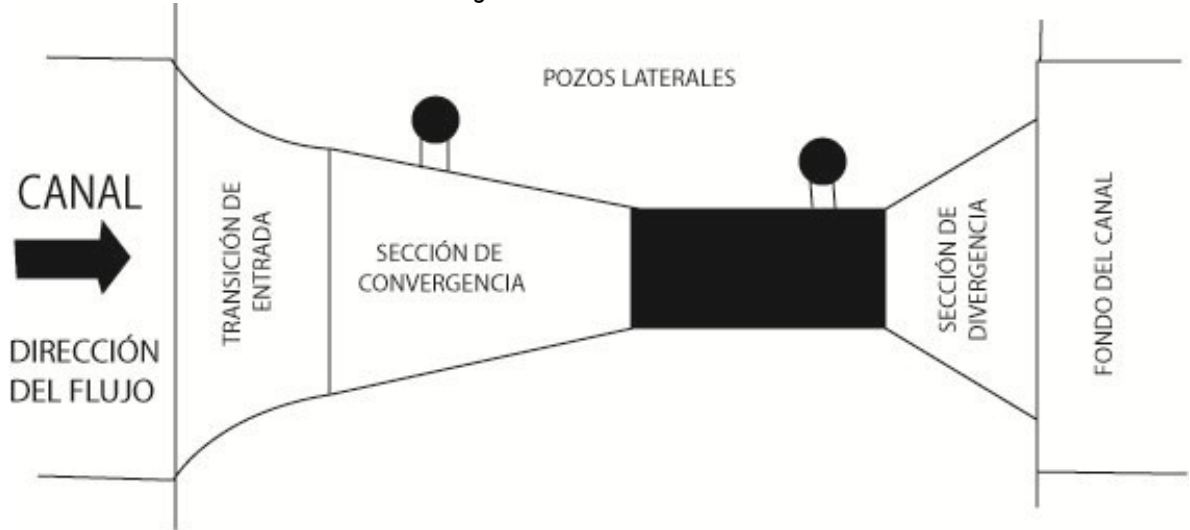
La planta de tratamiento del municipio de Dosquebradas, Acuaseo ESP, se encuentra ubicada, a los 4°51'44,53" Norte y a los 75°39'16,63" O, con una altitud de 1.548 msnm. La PTAP inició operaciones en el año 1995 para satisfacer la demanda de agua del municipio de Dosquebradas (sector nororiental), la empresa encargada del sistema es la Compañía de Servicios Públicos Domiciliarios S.A. ACUASEO E.S.P. La capacidad máxima de producción de la planta es de 60 l/s, con un caudal promedio de 16,7L/s. La empresa atiende al 100% de la población del sector Acuaseo, alcanzando una población beneficiada 3.677 suscriptores para el año 2009.

5.1.2 Características de la planta

La planta de tratamiento de Acuaseo es abastecida por una bocatoma ubicada sobre la Quebrada Aguazul en la ciudad de Dosquebradas a una altura de 1548 msnm. Las unidades que componen el sistema de tratamiento son:

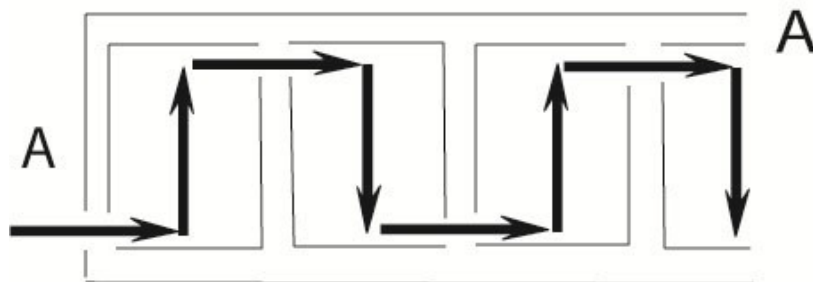
Canal de entrada
 Mezcla rápida (canaleta Parshall ¹⁴)
 Floculadores hidráulicos (Tipo Alabama) (Figura 3)
 Filtros rápidos
 Tanque de almacenamiento

Figura 4. Canaleta Parshall



Fuente: Edmundo Pedroza Gonzales, 2001, Canal Parshall

Figura 5. Floculador de movimiento ascendente-descendente tipo Alabama

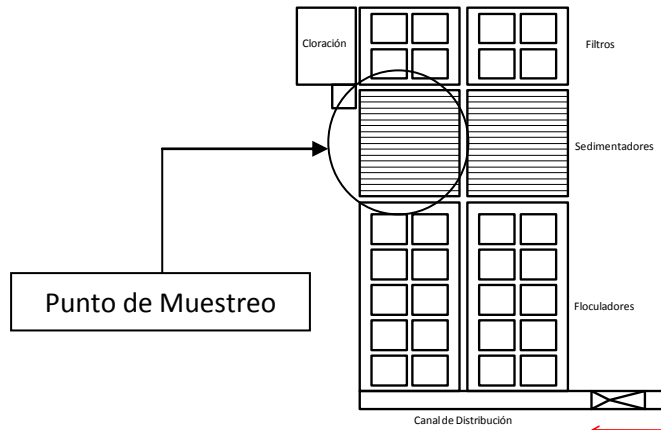


Fuente: Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada, Organización Panamericana de la Salud, 2004

El esquema del sistema de potabilización para la empresa ACUASEO ESP, se muestra en la Figura No 6.

¹⁴ Estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección (Ver Figura 4)

Figura 6. Distribución de los componentes de la PTAP Acuaseo



Fuente: (informe Acuaseo. GIAS, 2010)

Fotografía 2. Punto de Muestreo Acuaseo



La planta de potabilización ACUASEO es una de las plantas de potabilización, en cuyos procesos incluyen la coagulación mediante la aplicación del sulfato de aluminio, que permite la sedimentación de los sólidos suspendidos en el agua natural. En la tabla 5, se encuentran consignados los datos referido al caudal y dosis de coagulante en niveles promedio trimestrales para el año 2009.

Tabla 5. Datos de ingreso al sistema de tratamiento

Parámetro		Caudal (L/s)	Dosis de Aluminio (mg/L)
<i>Trimestre 1</i>	Promedio	20,9	26,6
<i>Trimestre 2</i>	Promedio	22	30,3
<i>Trimestre 3</i>	Promedio	21,5	26,6
<i>Trimestre 4</i>	Promedio	18	37,7

5.1.3 Producción de lodo

Partiendo de la Ecuación establecida por CONAGUA 2007 para establecer el volumen de lodo (Ecuación. 1) y la información suministrada por la PTAP ACUASEO, se estableció la producción de lodos promedio trimestrales para el año 2009 Tabla 6.

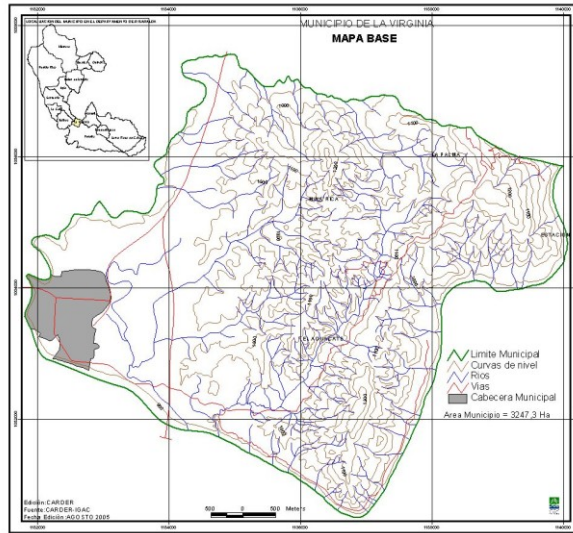
Tabla 6. Producción promedio de Lodo en la PTAP Acuaseo por trimestre 2009

Periodo		Producción de lodos (m3/día)
<i>Trimestre 1</i>	<i>Promedio</i>	0,050
<i>Trimestre 2</i>	<i>Promedio</i>	0,056
<i>Trimestre 3</i>	<i>Promedio</i>	0,052
<i>Trimestre 4</i>	<i>Promedio</i>	0,050

5.2 Municipio La Virginia

El municipio de La Virginia (Figura 7) se encuentra ubicado en la región andina de Colombia, sobre el valle que conforman los ríos Cauca y Risaralda, a 899 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 27 grados centígrados.

Figura 7. Municipio de La Virginia

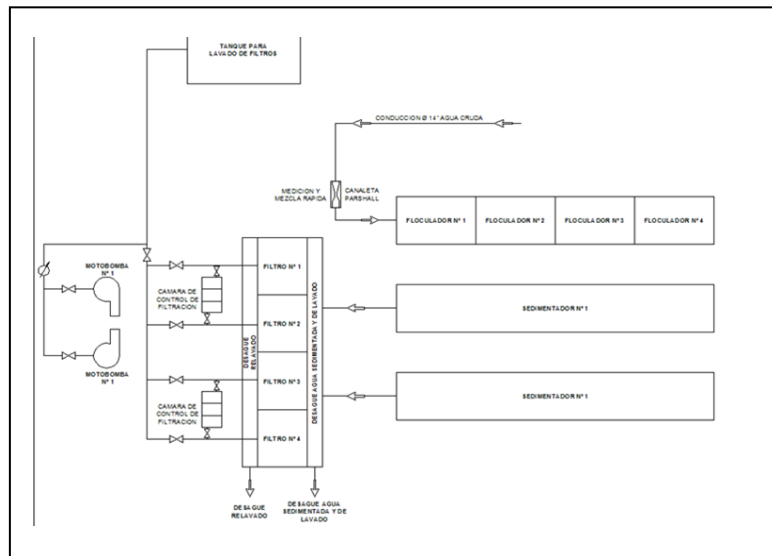


Fuente: CARDER, 2005

5.2.1 Descripción general de la PTAP en la Virginia

La planta de tratamiento de agua potable del municipio de La Virginia, cuyos componentes se ilustran en la Figura 8, se encuentra ubicada en el sector Granatal al noroccidente del casco urbano municipal, a los 5°00'26,2" Norte y a los 76°00'49,4", con una altitud de 962 msnm. Esta es abastecida por la bocatoma principal ubicada en el río Totuú, esta estructura tiene una capacidad de 180 L/s, la captación es utilizada para el abastecimiento de agua potable del municipio.

Figura 8 Componentes de la PTAP La VIRGINIA



Fuente: Informe la Virginia GIAS, 2010

Fotografía 3. PTAP La Virginia



La planta de potabilización en la Virginia al igual que la planta de tratamiento ACUASEO de Dosquebradas usa el sulfato de aluminio como coagulante durante el proceso de potabilización, en la tabla 7, encontraremos los datos suministrados por la PTAP de la Virginia en referencia al caudal y dosis de aluminio usada durante el proceso.

Tabla 7. Datos de ingreso al sistema de tratamiento (La Virginia)

Parámetro		Caudal (L/s)	Dosis de Aluminio (mg/L)
Trimestre 1	Promedio	120	30,3
Trimestre 2	Promedio	121	24,21
Trimestre 3	Promedio	127	18,5
Trimestre 4	Promedio	127	21,91

5.2.2 Producción de lodo

Partiendo de la fórmula para establecer el volumen de lodo (Ecuación. 1) y la información suministrada por la PTAP de La Virginia, se estableció la producción de lodos en valores mínimos, medios y máximos trimestrales para el año 2009 Tabla 8.

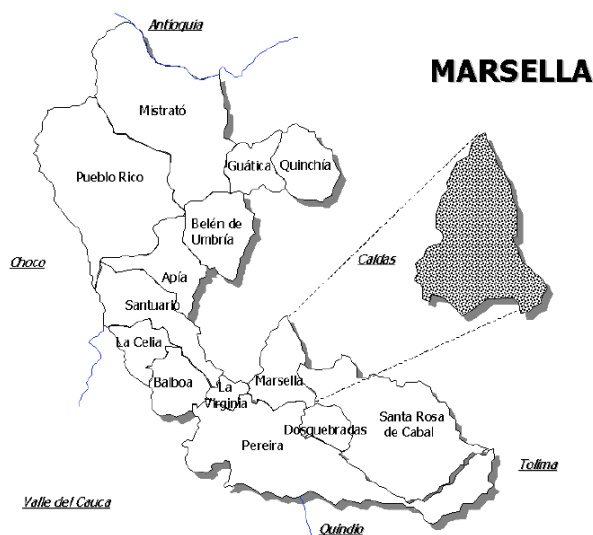
Tabla 8. Producción de Lodo en la PTAP La Virginia por trimestre 2009

		Producción de lodos (m3/día)
Trimestre 1	Promedio	3,81
Trimestre 2	Promedio	2,67
Trimestre 3	Promedio	0,39
Trimestre 4	Promedio	0.50

5.3 Municipio de Marsella

El Municipio de Marsella se encuentra sobre la vertiente occidental de la cordillera Central, al sur oriente del departamento de Risaralda. La cabecera municipal está localizada sobre los 4°57' de Latitud Norte y 75°45' de Longitud Oeste a una distancia de 31 kilómetros de Pereira capital del departamento. (Agenda Ambiental Municipal-Marsella 2005 – 2012)

Figura 9. Municipio de Marsella



Fuente: Agenda Ambiental Municipal 2005 – 2012

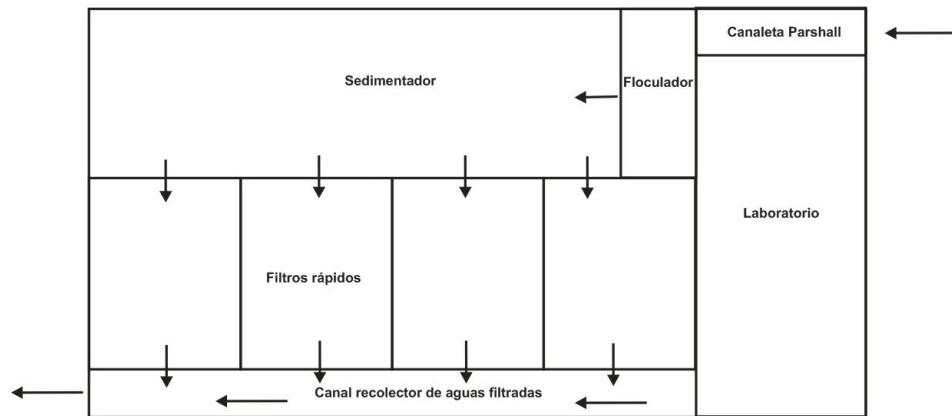
5.3.1 Descripción General De La PTAP Marsella

La planta de tratamiento del municipio de Marsella, se encuentra ubicada, a los 4°55'44,72" Norte y a los 75°44'17,02", con una altitud de 1.565 msnm. Esta PTAP fue adecuada en el año 1986 y actualmente satisface la demanda de agua del municipio de Marsella, el operador del sistema es Empresas Públicas De

Marsella E.S.P -EMPUMAR, quien abastece al municipio en cuestión. La capacidad máxima de producción de la planta es de 60 l/s, con un caudal promedio de 48 L/s.

La planta de tratamiento de Marsella, cuyos componentes se ilustran en la figura 10. Es abastecida por la bocatoma ubicada sobre la quebrada La Nona, una estructura de fondo con presa, rejilla y muros laterales, la captación es utilizada para el abastecimiento de agua potable del municipio.

Figura 10. Componentes de la PTAP Municipio de Marsella



Fuente: Informe Marsella GIAS, 2010

Al igual que en los dos casos anteriores Marsella en su proceso de purificación incorpora también el sulfato de aluminio. En la siguiente tabla, (Tabla 9) se encuentran los datos de ingreso tanto de caudal como de sulfato de aluminio utilizado en el proceso.

Tabla 9. Datos de ingreso al sistema de tratamiento

Parámetro		Caudal (L/s)	Dosis de Aluminio (mg/L)
Trimestre 1	Promedio	46,5	43,6
Trimestre 2	Promedio	47,44	68,63
Trimestre 3	Promedio	47,2	51,47
Trimestre 4	Promedio	47,8	55,36

Fuente: Informe Marsella GIAS, 2010

5.3.2 Producción de lodo

Partiendo de la ecuación para establecer el volumen de lodo (Ecuación 1) y la información suministrada por la PTAP de Marsella, se estableció la producción de lodos en valores promedio trimestrales para el año 2009 Tabla 10.

Tabla 10. Producción de Lodo en la PTAP Marsella por trimestre

<i>Periodo</i>		<i>Producción de lodos (m3/día)</i>
<i>Trimestre 1</i>	<i>Promedio</i>	<i>0,074</i>
<i>Trimestre 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>0,12</i>
<i>Trimestre 3</i>	<i>Promedio</i>	<i>0,09</i>
<i>Trimestre 4</i>	<i>Promedio</i>	<i>0,10</i>



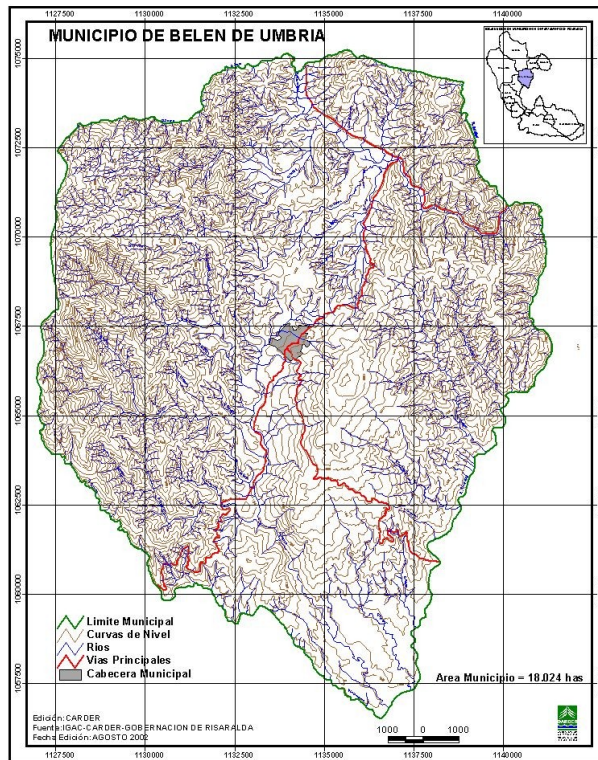
Fotografía 4. PTAP Marsella

5.4 Municipio de Belén De Umbría

El Municipio de Belén de Umbría (Figura 11) se encuentra ubicado en la región Centro-Occidental con coordenadas geográficas 5° 18" de latitud norte, y 5° 8" de latitud sur, 76° de longitud oeste y los 75° 52" de longitud este, a una altura sobre

el nivel del mar de 1564 m. Su principal referente hidrográfico es el Rio Risaralda. (Agenda Ambiental Municipal Belén De Umbría 2005 – 2012)

Figura 11. Municipio de Belén de Umbría



Fuente: CARDER, 2002

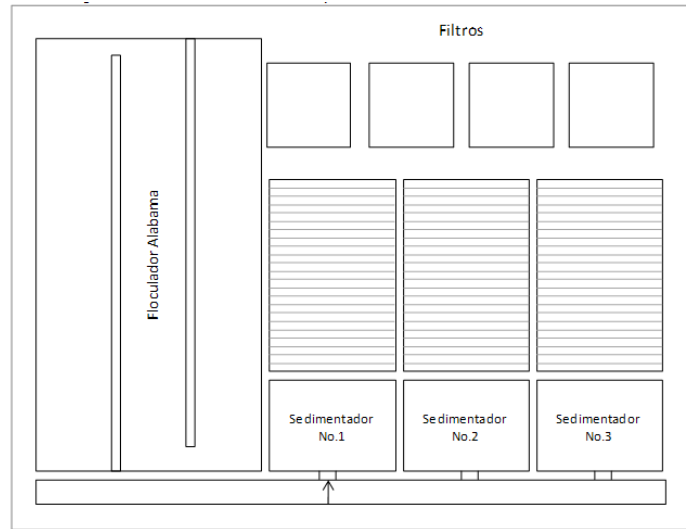
5.4.1 Descripción de la PTAP del municipio de Belén de Umbría

La planta de tratamiento del municipio de Belén de Umbría cuyos componentes se ilustran en la Figura 12. La PTAP inició operaciones en el año 1985 para satisfacer la demanda de agua del Municipio, el operador del sistema es la entidad EMPRESAS PÚBLICAS MUNICIPALES E.S.P, quien abastece al municipio en cuestión.

La capacidad máxima de producción de la planta es de 60 l/s, con un caudal promedio de 46,63 L/s. La empresa atiende al 100% de la población del casco urbano del municipio de Belén de Umbría.

La planta de tratamiento de Belén Umbría es abastecida por la bocatoma principal ubicada en la vereda Santa Emilia, sobre la Quebrada El Cofre, esta estructura tiene una capacidad de 222 L/s, la captación es utilizada para el abastecimiento de agua potable del municipio. El agua es conducida hasta la planta de tratamiento a través de una tubería de asbesto cemento y una longitud de 4,5 km.

Figura 12. Componentes de la PTAP Belén de Umbría



Fuente: informe Belén de Umbría (GIAS, 2010)

La planta de potabilización de Belén de Umbría utiliza como coagulante el sulfato de aluminio facilitando la sedimentación de los sólidos en el agua natural. En la tabla 12, encontraremos datos de importancia para la estimación del volumen de lodos, suministrados en la PTAP de Belén de Umbría durante el funcionamiento normal de la misma.

Tabla 11. Datos de ingreso al sistema de tratamiento Belén de Umbría

Parámetro		Caudal (L/s)	Dosis de Aluminio (mg/L)
Trimestre 1	Promedio	45,33	4,88
Trimestre 2	Promedio	45	6,29
Trimestre 3	Promedio	45	3,47
Trimestre 4	Promedio	45	2,92

5.4.2 Producción de lodo

Partiendo de la ecuación para establecer el volumen de lodo (Ecuación 1) y la información suministrada por la PTAP de Marsella, se estableció la producción de lodos en valores promedio trimestrales para el año 2009 Tabla 12.

Tabla 12. Producción de Lodo en la PTAP Belén de Umbría por trimestre

		<i>Producción de lodos (m3/día)</i>
<i>Trimestre 1</i>	<i>Promedio</i>	<i>0,156</i>
<i>Trimestre 2</i>	<i>Promedio</i>	<i>0,158</i>
<i>Trimestre 3</i>	<i>Promedio</i>	<i>0,153</i>
<i>Trimestre 4</i>	<i>Promedio</i>	<i>0,152</i>

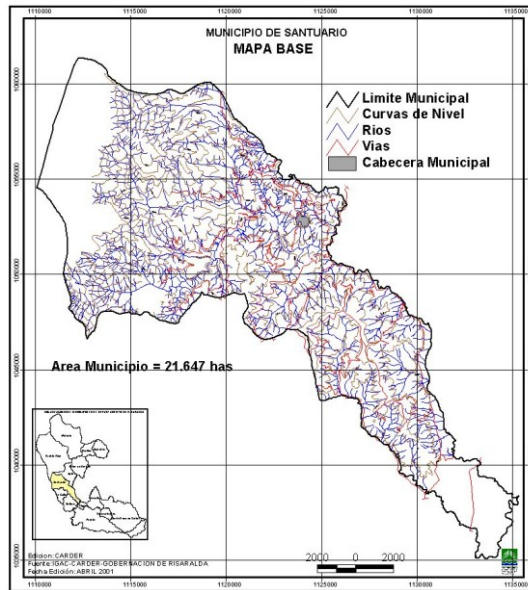


Fotografía 5. Planta de Potabilización Belén de Umbría

5.5 Municipio De Santuario

El municipio de Santuario (Figura 13), está ubicado en la región centro occidental del país en la vertiente oriental de la cordillera occidental, sobre la cuchilla La Esmeralda que se extiende en dirección SE, a una altura de 1575 m.s.n.m.; sus coordenadas geográficas son 5° 05' de latitud norte y 75° 08' de longitud oeste.

Figura 13. Municipio de Santuario



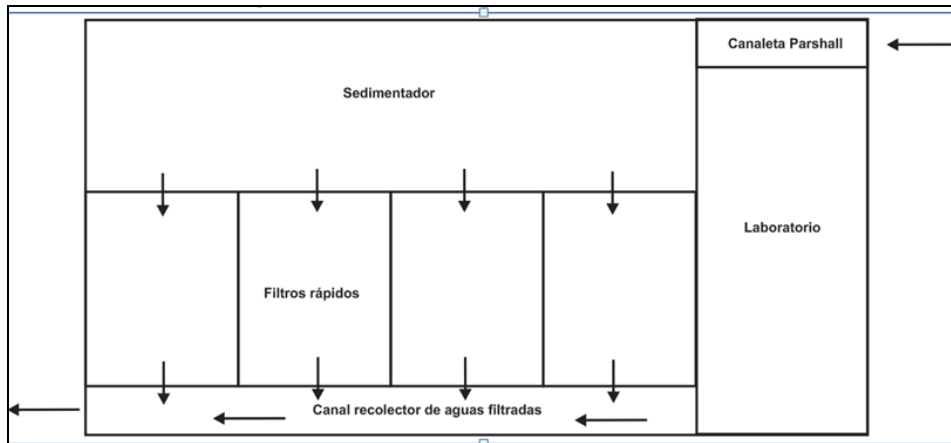
Fuente: CARDER, 2001

5.5.1 Descripción General De La PTAP De Santuario

La planta de tratamiento de Santuario se encuentra ubicada en sector nororiental del casco urbano del municipio, a los $5^{\circ}04' 34,01''$ N y a los $75^{\circ} 58' 05,50''$ O, con una altitud de 1.597 msnm. La PTAP inició operaciones en el año 1.985 para satisfacer la demanda de agua del municipio de Santuario, la empresa encargada del sistema se denomina Empresas Públicas Municipales de Santuario E.S.P.

La Planta de potabilización es de tipo convencional. Se optimizó quedando con los siguientes componentes que se ilustran en la Figura 14, La captación promedio de la planta es de 34 L/s.

Figura 14. Componentes de la PTAP Santuario



Fuente: Informe Santuario (GIAS, 2010)

5.5.2 Producción de Lodos

Para el municipio de Santuario no se cuenta con información detallada de caracterización de la fuente abastecedora. El caudal de entrada a la planta fluctuó entre los 45 y los 48 L/s durante 2009. Para la determinación del volumen de lodos a tratar se usa el valor promedio reportado para este año (45 L/s) y el valor de SST reportado en el PSMV del municipio para la quebrada La Bomba, aguas arriba del casco urbano, y localizada en la misma región biogeográfica que el río San Rafael, fuente abastecedora del casco urbano municipal. El valor promedio de SST para este punto de muestreo durante 2.007 reportado en el estudio referido fue de 15,8 mg/L.

Utilizando la Ecuación No. 1 propuesta por CONAGUA (2007), es posible inferir sobre el volumen de lodos producidos en un sistema de tratamiento dados unas condiciones de caudal y sólidos suspendidos en el agua que ingresa al sistema. Con la información disponible se estimó una producción de lodos de 61,43 kg/Día, equivalente a un volumen de 0,06 m³/Día. (Ver Anexo B. Producción de lodo a partir de datos de campo y documentados)

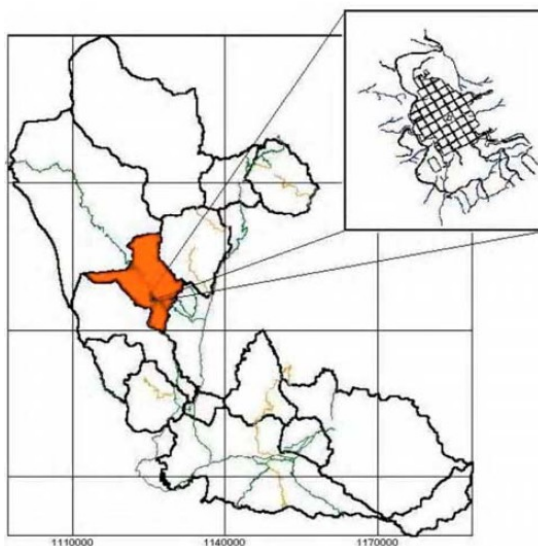


Fotografía 6. PTAP, Santuario

5.6 Municipio De Apia

El municipio de Apia (Figura 15), se encuentra localizado en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental, a los 50 7' de latitud norte y 750 57' de longitud al oeste de Greenwich a una altura de 1630 m.s.n.m. (Agenda Ambiental, Apía 2005)

Figura 15. Localización del municipio de Apia

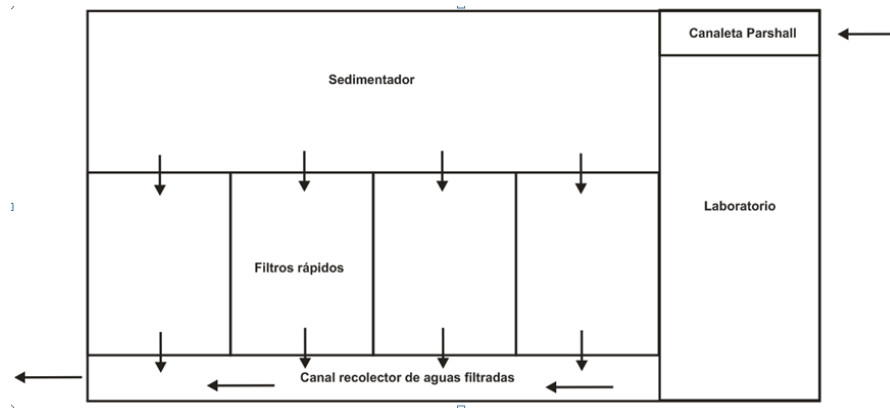


Fuente: Agenda Ambiental Del Municipio De Apia, 2005

5.6.1 Descripción General PTAP Apia

La planta de tratamiento se encuentra ubicada en sector nororiental del casco urbano del municipio, a los 5°06' 31,64" N y a los 75° 56' 13,81" O, con una altitud de 1.746 msnm. La PTAP inició operaciones en el año 1.985 para satisfacer la demanda de agua del municipio de Apía, la empresa encargada del sistema se denomina Empresas Públicas Municipales de Apía E.S.P., que abastece al municipio en cuestión. La capacidad máxima de producción de la planta es de 38 L/s, con un caudal promedio captado de 34 L/s. La potabilización del agua captada de las quebradas (Quebrada Santa Isabel y Agua Linda) se realiza en una planta de de tratamiento de tipo convencional.

Figura 16. Distribución de los componentes de la PTAP Apia



Fuente: Informe Apia GIAS (2010)

5.6.2 Producción de lodos

Al igual que para el Municipio de Santuario, el municipio de Apia no cuenta con información detallada de caracterización de la fuente abastecedora ni registros de caudal diario. Se conoce por estudios anteriores y por información entregada por el personal que opera la planta que el caudal de entrada a la planta fluctúa entre los 28 y los 36 L/s. para la determinación del volumen de lodos a tratar se usa el valor promedio reportado para el año 2.009 (34 L/s) y el valor de SST reportado en el PSMV del municipio para el río Apia, aguas arriba del casco urbano, y localizado en la misma región biogeográfica que las quebradas Santa Isabel y Agua Linda, fuentes abastecedoras del casco urbano municipal. El valor promedio de SST para este punto de muestreo durante 2.007 reportado en el estudio referido fue de 72,75 mg/L.

Utilizando la Ecuación No. 1 propuesta por CONAGUA (2007), es posible inferir sobre el volumen de lodos. Con la información disponible se estimó una producción de lodos de 213,71 kg/Día, equivalente a un volumen de 0,205 m3/Día.

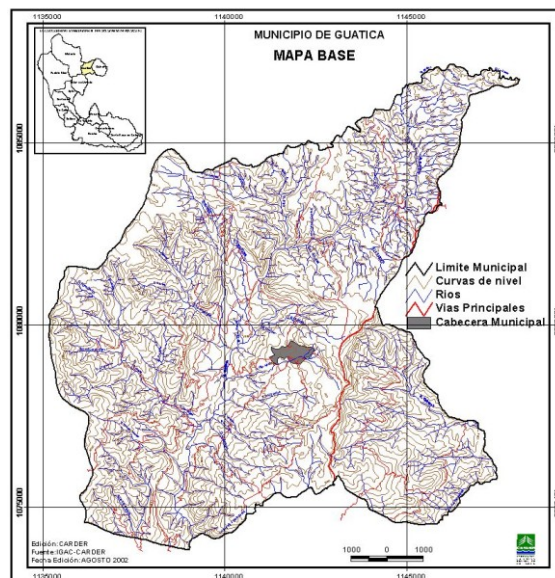


Fotografía 7. Planta de Potabilización Apia

5.7 Municipio De Guática

El municipio de Guática (Figura 17), se encuentra en la región centro occidente del país, a nivel departamental está localizado en la parte noroccidental del Departamento de Risaralda con coordenadas 5° 18' latitud norte y 75° 45' longitud oeste, a 93 Km de la ciudad de Pereira y su cabecera municipal se encuentra (según mapa del IGAC) a una altura entre los 1.440 y 1.556 metros sobre el nivel del mar. (Agenda Ambiental Municipio de Guática, Risaralda)

Figura 17. Municipio de Guática



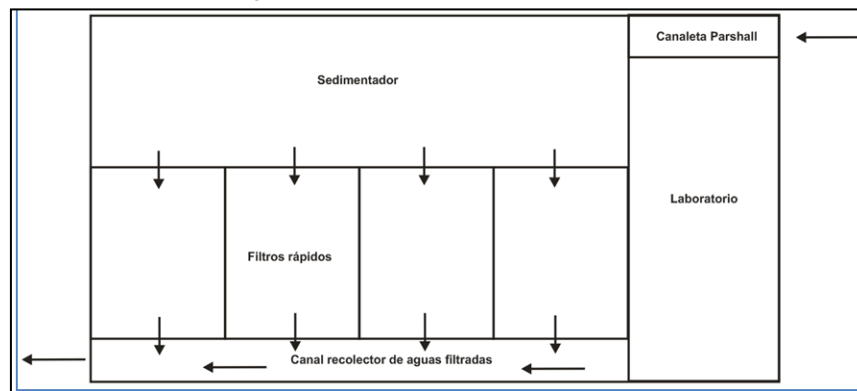
Fuente: Agenda Ambiental Municipio de Guática CARDER, 2002

5.7.1 Descripción General PTAP De Guática

La planta de tratamiento de Guática se encuentra ubicada en sector suroccidental del casco urbano, a los 5°19' 1,42" N y a los 75° 47' 40,06" O, con una altitud de 1.962 msnm. La PTAP inició operaciones en el año 1.989 para satisfacer la demanda de agua del Municipio de Guática, la empresa encargada del sistema es la Empresa de Servicios Públicos domiciliarios del Municipio de Guática E.S.P.,

La potabilización del agua captada de las quebradas (Quebrada Santa Isabel y Agua Linda) se realiza en una planta de tratamiento de tipo convencional. En la siguiente figura se ilustran los componentes de la planta (Figura 18).

Figura 18. Componentes PTAP Guática



Fuente: Informe Guática (GIAS 2010)

5.7.2 Producción de lodo

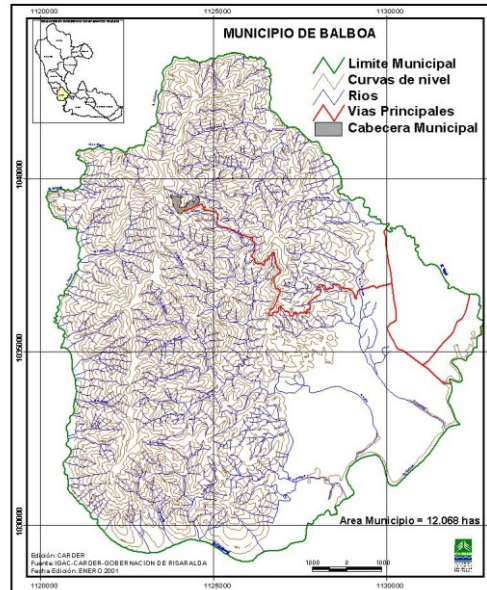
Para el municipio de Guática no se cuenta con información detallada de caracterización de la fuente abastecedora. Se conoce por información entregada por el personal que opera la planta que el caudal de entrada a la misma fluctúa entre los 3 y los 38 L/s. Para la determinación del volumen de lodos a tratar se usa el registro diario de caudales para el año 2.009 (Promedio 22, 02 L/s), y el valor de SST reportado en el PSMV del municipio para las quebradas El Pueblo, aguas arriba del casco urbano, y localizado en la misma región biogeográfica que las quebradas El Chuscal y La Palma, fuentes abastecedoras del casco urbano municipal. El valor promedio de SST para este punto de muestreo durante 2.007 reportado en el estudio referido fue de 10,52 mg/L.

Utilizando la Ecuación No. 1 propuesta por CONAGUA (2007), es posible inferir sobre el volumen de lodos producidos en un sistema de tratamiento dadas unas condiciones de caudal y sólidos suspendidos en el agua que ingresa al sistema. Con la información disponible se estimó una producción de lodos de 20.02 kg/Día, equivalente a un volumen de 0,019 m³/Día.

5.8 Municipio De Balboa

El Municipio de Balboa (Figura 19), se encuentra localizado a los 4° 58" de latitud norte, 75° 58" de longitud oeste, en la región centro occidental del país en la vertiente oriental de la cordillera occidental. (Agenda Ambiental del Municipio de Balboa, 2005)

Figura 19. Municipio de Balboa



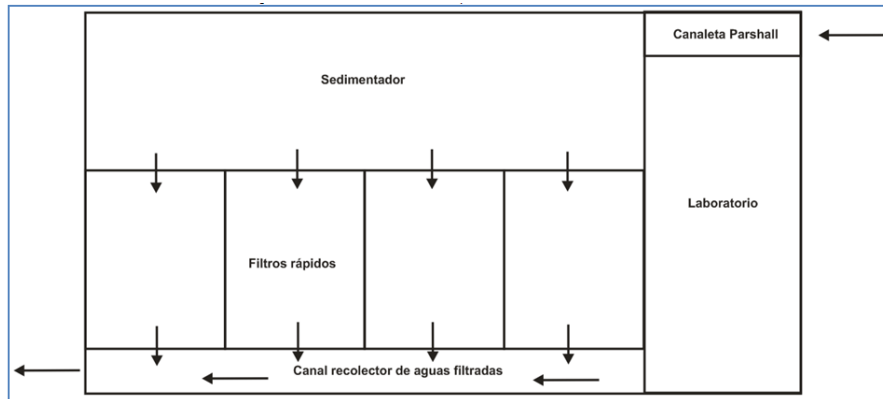
Fuente: CARDER, 2001

5.8.1 Descripción General PTAP Balboa

La planta de tratamiento de Balboa se encuentra ubicada en el casco urbano, a los 4°57' 4,36" N y a los 75° 57' 37,73" O, con una altitud de 1.657 msnm. La PTAP inició operaciones en el año 1990 para satisfacer la demanda de agua del municipio de Balboa, la empresa encargada del sistema es la Empresa de Servicios Públicos del municipio de Balboa Emilio Gartner S.A. E.S.P.

La planta de tratamiento de agua potable del municipio de Balboa, cuyos componentes se ilustran en la Figura 20, es de tipo convencional, y tiene una capacidad de tratamiento de 15 L/s.

Figura 20. Componentes PTAP Balboa



Fuente: Informe Balboa (GIAS 2010)

5.8.2 Producción de lodo

Para el municipio de Balboa no se cuenta con información detallada de caracterización de la fuente abastecedora. Se conoce por información entregada por el personal que opera la planta que el caudal de entrada promedio es 9.09 L/s. Para la determinación del volumen de lodos a tratar se usa el valor de SST reportado en el PSMV del municipio para la quebrada La Eme - Cristales, aguas arriba del casco urbano, y localizado en la misma región biogeográfica que la quebrada La Sirena, fuente abastecedora del casco urbano municipal. El valor promedio de SST para este punto de muestreo durante 2.007 reportado en el estudio referido fue de 12,33 mg/L.

Utilizando la Ecuación No. 1 propuesta por CONAGUA (2007), es posible inferir sobre el volumen de lodos producidos en un sistema de tratamiento dadas unas condiciones de caudal y sólidos suspendidos en el agua que ingresa al sistema. Con la información disponible se estimó una producción promedio de lodos de 5,83 Kg/día, equivalente a un volumen de 0.009 m³/Día.

Fotografía 8. PTAP Balboa

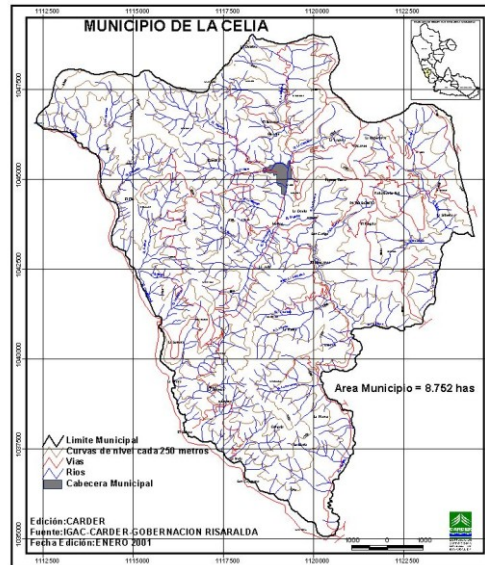


Fuente: Informe Balboa (GIAS, 2010)

5.9 Municipio De La Celia

El Municipio de La Celia (Figura 21) se localiza a los 4° 59` de latitud norte y 76° 02` de longitud oeste. Con respecto a la capital del Departamento está ubicado en las estribaciones de la cordillera Occidental, a una distancia de 68 Km. (Plan de Gestión Ambiental, 2004)

Figura 21. Municipio de la Celia



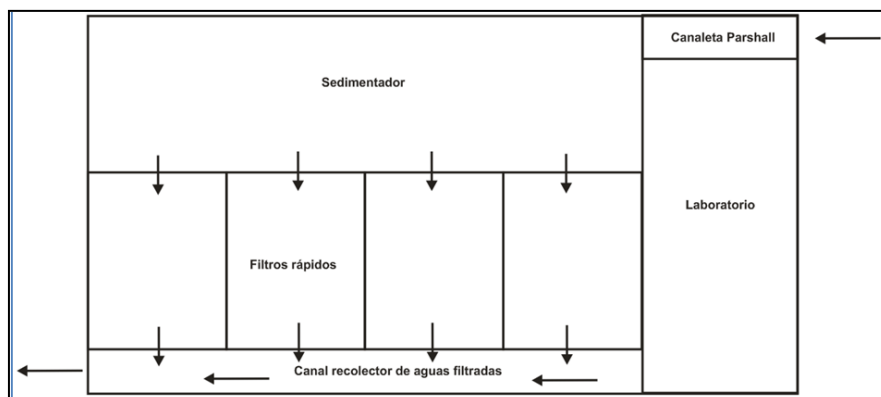
Fuente: CARDER, 2001

5.9.1 Descripción General De La PTAP Del Municipio La Celia

La planta de tratamiento de La Celia se encuentra ubicada al sur del casco urbano del municipio, a los 5°0' 13,07" Norte y a los 76° 0' 17,78" O, con una altitud de 1.432 msnm. La capacidad máxima de producción de la planta es de 30 L/s, con un caudal promedio de 20 L/s. La PTAP inició operaciones en el mes de junio del año 1981 para satisfacer la demanda de agua del municipio de La Celia, la empresa encargada del sistema es la Empresa de Servicios Públicos de La Celia S.A. E.S.P.

El sistema tratamiento de agua, es convencional con capacidad de 30 l/s. Los componentes de la PTAP se ilustran a continuación (Figura 22).

Figura 22. Componentes de la PTAP Municipio de la Celia



Fuente: Informe La Celia (GIAS, 2010)

5.9.2 Producción de lodo

Para el municipio de La Celia no se cuenta con información detallada de caracterización de la fuente abastecedora. Se conoce por estudios anteriores que el caudal de entrada en promedio a la planta es de 20 L/s. para la determinación del volumen de lodos a tratar se usa este valor y el valor de SST reportado en el PSMV del municipio para la quebrada La Secreta, aguas arriba del casco urbano, y que coincide con el área de captación. El valor promedio de SST para este punto de muestreo durante 2.007 reportado en estudio referido fue de 1,81 mg/L.

Utilizando la Ecuación No. 1 propuesta por CONAGUA (2007), es posible inferir sobre el volumen de lodos producidos en un sistema de tratamiento dados unas condiciones de caudal y sólidos suspendidos en el agua que ingresa al sistema. Con la información disponible se estimó una producción de lodos de 3.128 kg/Día, equivalente a un volumen de 0,003 m³/Día.

Fotografía 9. Sedimentador PTAP La Celia

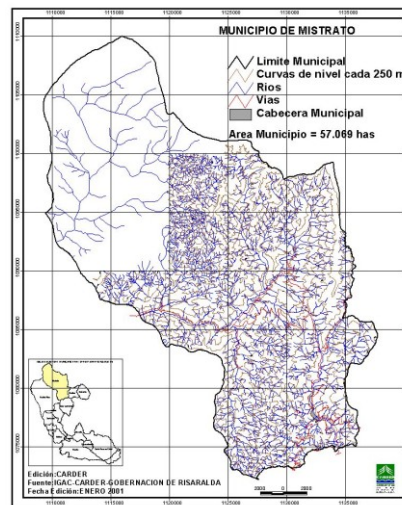


Fuente: Informe La Celia (GIAS, 2010)

5.10 Municipio De Mistrató

El Municipio de Mistrató (Figura 23), se encuentra ubicado al Noroccidente del Departamento de Risaralda. Limita al Norte con el Municipio de Jardín - Antioquia, al Oriente con los Municipios de Río sucio - Caldas y Guática - Risaralda, al Sur con el Municipio de Belén de Umbría - Risaralda y al Occidente con los Municipios de Bagadó - Chocó y Pueblo Rico - Risaralda. Su distancia con la capital corresponde a ochenta y siete (87) Km.

Figura 23. Localización Municipio de Mistrató



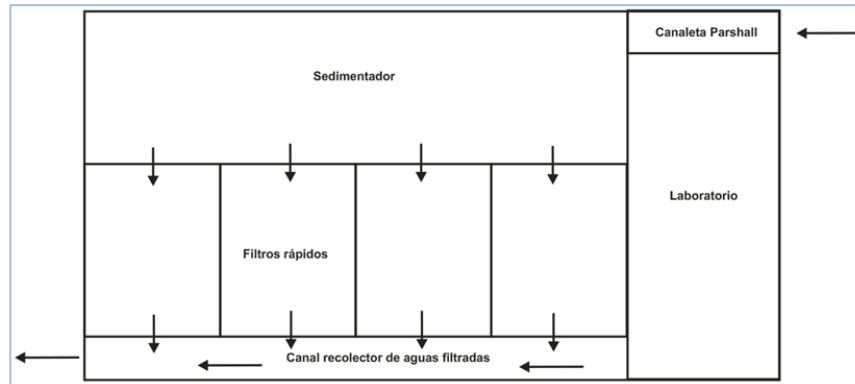
Fuente: CARDER, 2001

5.10.1 Descripción General De la PTAP Del Municipio De Mistrató

La planta de tratamiento de Mistrató se encuentra ubicada en sector suroccidental del casco urbano, a los $5^{\circ}17'42,02''$ N y a los $75^{\circ}53'23,25''$ O, con una altitud de 1.740 msnm. La PTAP inició operaciones en el año 2.002 para satisfacer la demanda de agua del municipio de Mistrató, la empresa encargada del sistema es la Empresa de Servicios Públicos de Mistrató Risaralda E.S.P.

El sistema tratamiento de agua, es convencional con capacidad de 30 l/s. Los componentes de la PTAP se ilustran a continuación (Figura 24).

Figura 24. Componentes de la PTAP de Mistrató



Fuente: Informe Mistrató (GIAS 2010)

5.10.2 Producción de lodo

Para el municipio de Mistrató no se cuenta con información detallada de caracterización de la fuente abastecedora ni registros de caudal diario. Se conoce por estudios anteriores y por información entregada por el personal que opera la planta que el caudal de entrada a la planta fluctúa entre los 19 y los 25 L/s. para la determinación del volumen de lodos a tratar se usa el valor promedio entre los dos anteriores (22 L/s) y el valor de SST reportado en el PSMV del municipio para el río Risaralda, aguas arriba del casco urbano, y localizado en la misma región biogeográfica que la quebrada Arrayanal, fuente abastecedora del casco urbano municipal. El valor promedio de SST para este punto de muestreo durante 2.007 reportado en el estudio referido fue de 9,17 mg/L.

Utilizando la Ecuación No. 1 propuesta por CONAGUA (2007), es posible inferir sobre el volumen de lodos producidos en un sistema de tratamiento dadas unas condiciones de caudal y sólidos suspendidos en el agua que ingresa al sistema. Con la información disponible se estimó una producción de lodos de 17,43 kg/Día, equivalente a un volumen de 0,017 m³/Día.

5.11 Municipio De Pueblo Rico

El municipio de Pueblo Rico (Figura 25), se encuentra ubicado al noroccidente del Departamento de Risaralda, pertenece a la subregión 3 en la vertiente del pacífico Risaraldense de la cordillera occidental, posee una extensión de aproximadamente 548 km², que corresponde al 15,5% de la extensión departamental. (Agenda ambiental Pueblo Rico)

Figura 25. Municipio de Pueblo Rico



Fuente: CARDER

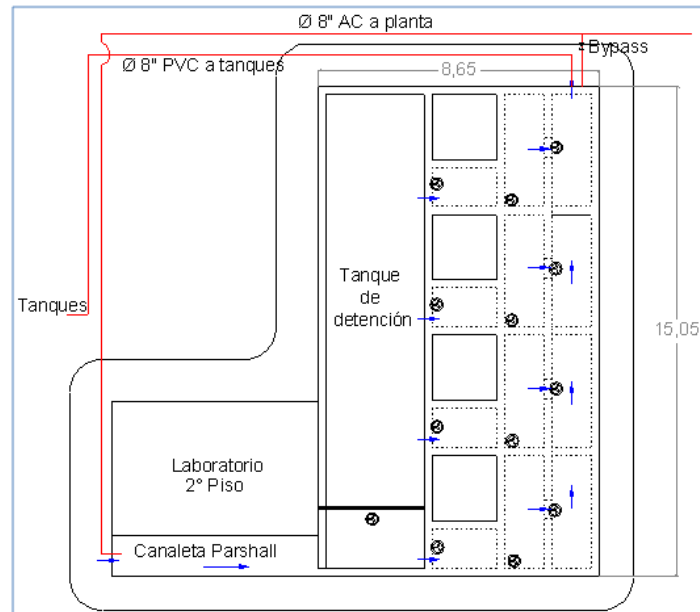
5.11.1 Descripción General PTAP De Pueblo Rico

La planta de tratamiento de Pueblo Rico se encuentra ubicada en el sur del casco urbano del municipio de Pueblo Rico, a los $5^{\circ}14' 0,01''$ Norte y a los $76^{\circ} 01' 59,99''$ O, con una altitud de 1.560 msnm. La PTAP inició operaciones en el año 1981 para satisfacer la demanda de agua del municipio de Pueblo Rico, la empresa encargada del sistema es la Empresa de Servicios Públicos de Pueblo Rico E.S.P.

La captación se hace de fondo en predios dentro del PNN Tatamá, mediante una rejilla dispuesta sobre un dique que represa el flujo aguas arriba tomando un caudal de 64 L/s. Este caudal es llevado por un canal trapezoidal en concreto de 28 cm de base y 53 cm de altura, aguas abajo hasta el desarenador de tipo convencional. Posteriormente se conduce el flujo hacia la planta de tratamiento mediante una tubería de 8 pulgadas en asbesto cemento.¹⁵ Los componentes de PTAP son Canaleta Parshall, tanque sedimentador, filtros (4) y estructura de almacenamiento y desinfección. (Figura 26, componentes de la planta)

¹⁵ Universidad Tecnológica de Pereira. Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, municipio de Pueblo Rico, 2.007. Citado por el Grupo GIAS en el Proyecto "Selección y Dimensionamiento de Alternativas para el Manejo de Lodos Provenientes de la Planta de Tratamiento de La Celia, 2010.

Figura 26. Componentes PTAP Pueblo Rico



Fuente: ACUADATOS LTDA. Formulación e Implementación de un Proyecto de Agua no Contabilizada en la Cabecera Municipal de Pueblo Rico (Risaralda).2005¹⁶

5.11.2 Producción de lodos

Para el municipio de Pueblo Rico no se cuenta con información detallada de caracterización de la fuente abastecedora ni registros de caudal diario. Se conoce por estudios anteriores que el caudal de entrada a la planta fluctúa entre los 28 y los 30 L/s. para la determinación del volumen de lodos a tratar se usa el valor promedio entre estos dos caudales (29 L/s) y el valor de SST reportado en el PSMV del municipio para el río Mapa (ramal Ciató), aguas arriba del casco urbano, y localizado en la misma región biogeográfica que el Río Negro, fuente abastecedora del casco urbano municipal. El valor promedio de SST para este punto de muestreo durante 2.007 reportado en estudio referido fue de 20,4 mg/L.

Utilizando la Ecuación No. 1 propuesta por CONAGUA (2007), es posible inferir sobre el volumen de lodos producidos en un sistema de tratamiento dadas unas condiciones de caudal y sólidos suspendidos en el agua que ingresa al sistema. Con la información disponible se estimó una producción de lodos de 51,11 kg/Día, equivalente a un volumen de 0,049 m³/Día.

¹⁶ Fuente: ACUADATOS LTDA. Formulación e Implementación de un Proyecto de Agua no Contabilizada en la Cabecera Municipal de Pueblo Rico (Risaralda).2005. Citado en el informe realizado para el Municipio de Pueblo Rico (GIAS 2010)

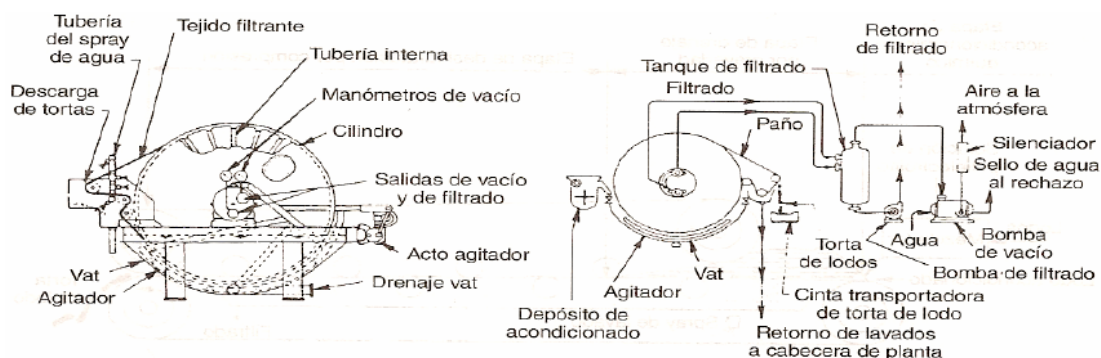
6. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LODOS

El manejo adecuado de lodos tiene como objetivo reducir o eliminar el vertimiento de estos a cuerpos de agua, situación que es común en los Municipios donde se realizaron las visitas correspondientes. Para este efecto existen diferentes métodos y alternativas. El Reglamento Técnico RAS 2000 menciona algunas (Tabla 1), cuyo objetivo es reducir el tamaño del lodo y producir un material que debe ser satisfactorio para los procesos de recuperación o disposición convenientes. Otros autores como Darwin Hernández mencionan adicionalmente otras alternativas para el manejo de lodos (Tabla 2)

6.1 Filtración Al Vacío¹⁷

Los filtros al vacío (Figura 27) son tambores rotativos cilíndricos de eje horizontal, cuya periferia es revestida con una tela filtrante.

Figura 27. Esquema de filtro de vacío típico



Fuente: Innocenti, 1988¹⁸

El movimiento de rotación es lento, variando entre 1/8 hasta una rotación por minuto. La tela puede ser constituida por un tejido de algodón, lana, fibras sintéticas, hilos plásticos, tamices metálicos o por una doble camada de alambre inoxidable enrollado en la forma de resorte en espiral. El tambor que es dividido en un determinado número de segmentos se sumerge en una cuba que contiene el lodo acondicionado y donde la mezcla es mantenida homogénea por medio de una agitación muy blanda para evitar la formación de partículas finas. La sumersión alcanza el 25% del diámetro del tambor. El mecanismo comprende aun

¹⁷ Max Lothar Hex, Acondicionamiento y desaguado Filtraciones al vacío, prensa y lechos de secado. Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico en defensa del Medio Ambiente. Sitio Web: Organización Panamericana de la Salud <http://www.bvsde.paho.org>

¹⁸ Innocenti P, 1988. Techniques for handling water treatment sludge, Citado por: Hernández, D. (2006). Aprovechamiento de lodos aluminosos (de la etapa de sedimentación) de sistemas de potabilización como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos. Tesis de Maestría Universidad del Valle.

válvulas y tuberías destinadas a mantener el vacío en un segmento desde el momento en que se haya sumergido en el lodo hasta el instante en el que el lodo, ya desaguado, es removido de la superficie por medio de un raspador.

El vacío succiona el líquido manteniendo los sólidos adheridos a la tela y aspira el líquido intersticial durante la rotación del tambor, dejando una camada de 4-10 mm de espesor de lodo húmedo en la superficie. Poco antes de completar la rotación, la capa de lodo es removida, para lo que puede aplicarse un breve soplo de aire comprimido de adentro hacia afuera para destacar la camada de lodo, o también haciendo pasar la tela por un rollo de pequeño diámetro.

Tabla 13. Otros datos sobre filtros rotatorios al vacío

<i>Área Filtrante de una Unidad</i>	<i>De 5 hasta 50 m²</i>
<i>Rendimiento</i>	<i>20 a 40 kg Sólidos/m² por hora</i>
<i>Potencia instalada</i>	<i>0.25 a 2.0 cv¹⁹</i>
<i>Espesor de la manta de lodo</i>	<i>2 a 10 mm</i>
<i>Humedad del producto Final</i>	<i>65 a 80%</i>

Los filtros rotativos al vacío también pueden ser empleados en pequeñas plantas de tratamiento en sustitución a lechos de secado cuando:

- El espacio disponible es limitado
- Cuando hay problemas de olores que debes ser controlados.
- Cuando hay residuos industriales u otros constituyentes que hacen difícil el secado natural.

Los filtros son generalmente suministrados completos, con todos sus accesorios, como, tanques de reactivos, tanques de mezcla, bombas, tuberías, instrumental de control, medición y comando, dosificadores, sistemas de alarma y seguridad, dispositivos de transporte del material sólido y líquido, bombas al vacío, columnas barométricas, herramientas de mantenimiento, instrucciones para operación, lubricación, ajustes de velocidad al vacío, de alimentación, de dosificación, etc.

Son necesarios operadores muy bien adiestrados para conseguir hacer funcionar esas instalaciones a satisfacción. El mantenimiento es muy costoso, especialmente la parte de las telas filtrantes y material de sellado para mantener al vacío. Para la aplicación de filtros al vacío debemos tener en cuenta algunos aspectos de importancia para su implementación. En la tabla 14, se muestran los aspectos relacionados con la implementación de esta alternativa.

¹⁹ Unidad de medida: Caballo de vapor, (CV), Equivalente a 1 CV = 75 kgf·m/s = 735,49875 W (Enciclopedia en línea Wikipedia)

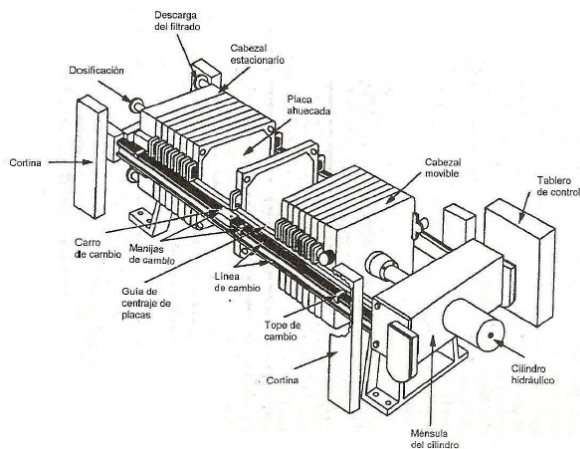
Tabla 14. Aspectos relacionados a la implementación de filtros al vacío como alternativa de tratamiento de lodo

<i>Aspectos</i>	<i>Impactos</i>	<i>Detalle</i>
Ambientales	Generación de olores	Si
	Generación de ruido	Si
	Impactos a ecosistemicos	Medio
	Impacto visual	Si
Técnicos	Requerimientos de equipos	Alto
	Complejidad	Alta
Económicos	Costos de inversión	Alta
	Costos por operación y mantenimiento	Alta

6.2 Filtros de Prensa²⁰

Los filtros prensa (Figura 28) son los equipos que producen mayor sequedad alcanzando el 50% al igual que los lechos de secado.

Figura 28. Filtro-Prensa



Fuente. Romero, 2002²¹

²⁰ Max Lothar Hex, Acondicionamiento y desaguado Filtraciones al vacío, prensa y lechos de secado. Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico en defensa del Medio Ambiente. Sitio Web: Organización Panamericana de la Salud <http://www.bvsde.paho.org>

²¹ Imagen de Romero, 2002. Citado por: Ramos A. F, Duque C, Pérez D, 2008. Propuesta Para El Manejo De Los Lodos Aluminosos Generados En La Planta De Tratamiento De Agua Potable Villa Santana, Municipio De Pereira, Risaralda.

El filtro-Prensa está constituido por una serie de placas verticales huecas y ranuradas recubiertas con tela filtrante en ambas caras y apretadas unas contra otras por los bordes periféricos más espesos. Siendo así, entre cada dos placas contiguas se forma una bolsa filtrante. Estas bolsas son alimentadas con lodo a través de un hueco que atraviesa todas las placas generalmente por el centro. El lodo líquido se introduce por medio de una bomba de pistón con presión creciente que puede alcanzar los 15 kg/cm² o un poco más, siendo la alimentación mantenida durante un periodo de tiempo entre 30 minutos y 2 horas. El líquido intersticial atraviesa las telas filtrantes dejando entre ellos una “torta” que termina ocupando el espacio de la concavidad entre las placas. La compactación de la torta es muy grande, pudiéndose lograr un lodo final con 40-50% de humedad, comparable al secado en lechos de arena drenante.

Así como en el caso de los filtros rotativos al vacío, los filtros prensas son suministrados con todos los accesorios (Tanques, dosificadores, bombas, tuberías, controles, etc.). Son equipos de elevada eficiencia, pero de precio considerable. El mantenimiento es limitado casi exclusivamente a las telas filtrantes por que podrán romperse o quedar obstruidas. En la tabla 15, se muestran los aspectos relacionados con la implementación de esta alternativa.

Tabla 15. Aspectos relacionados a la implementación de filtros de prensa como alternativa de tratamiento de lodo

<i>Aspectos</i>	<i>Impactos</i>	<i>Detalle</i>
Ambientales	Generación de olores	Si
	Generación de ruido	Si
	Impactos a ecosistemicos	Medio
	Impacto visual	Si
Técnicos	Requerimientos de equipos	Alto
	Complejidad	Alta
Económicos	Costos de inversión	Alta
	Costos por operación y mantenimiento	Alta

6.3 Lechos de Secado²²

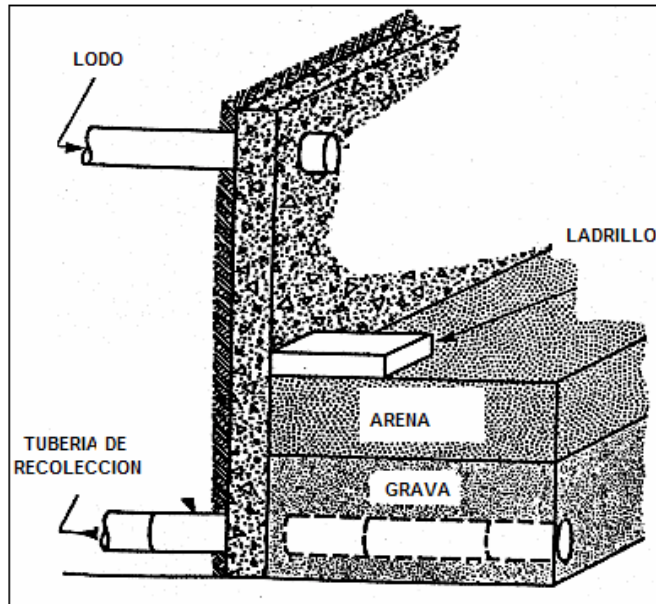
Los lechos (Figura 29) de secado son considerados la solución más adecuada para el tratamiento de lodos debido a su simplicidad y bajo costo de implementación. Pueden ser empleadas en pantas de gran capacidad, si se disponen de áreas para su construcción se disminuye la inversión inicial de capital. La mano de obra necesaria para la remoción del lodo seco, no es necesariamente calificada y puede contribuir a la ocupación de ciudadanos sin profesión.

Los lechos de secado están constituidos por tanques de pequeña profundidad, con fondo drenante. Este constituye de dos a tres capas de arena de granulometría diferente con aproximadamente 0.30 m de espesor, quedando el material más grueso abajo y el más fino arriba. El fondo es generalmente el propio suelo. A veces este es revestido con una capa delgada de hormigón simple. Sobre el suelo es colocada una línea de drenaje, constituida por tubos cerámicos perforados o tejas de tipo colonial juntas para recolectar el líquido drenado. La superficie de la arena puede ser protegida contra pérdidas por adhesión al lodo seco, empleándose un ladrillado con juntas abiertas con 4 hasta 10 cm de ancho y rellenos con arena fina.

La superficie del lecho de secado en general es levemente inclinada en forma longitudinal para que el lodo se distribuya rápidamente debido a las cargas. El ancho de los lechos de secado está entre los 3 y 6 metros, en general, pero puede sobrepasar incluso los 10 metros.

²² Max Lothar Hex, Acondicionamiento y desaguado Filtraciones al vacío, prensa y lechos de secado. Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico en defensa del Medio Ambiente. Sitio web: Organización Panamericana de la Salud <http://www.bvsde.paho.org>

Figura 29. Corte esquemático del lecho de secado



Fuente: Organización Panamericana de la Salud 2005

El lodo es aplicado en camadas de 20 hasta 30 cm de espesor. Más de esto dificultara el secado. No se debe esparcir lodo en un lecho que ya contenga una carga anterior en fase de secado. En los climas fríos se acostumbra cubrir los lechos con un tejado o con placas de vidrio. El secado de lodo en lechos reduce la humedad de un 95 o 90 %, hasta alrededor del 60 o 50 %.

Según American Water Works Association (2002), citado por Darwin Hernández 2006. “El diseño y construcción de lechos de secado en arena son muy específicos del lugar, debiendo considerarse todas las condiciones de topografía, suelo disponible y restricciones de operación. La topografía juega un papel clave en la construcción de los lechos en un lugar, al igual que restricciones operativas como la distancia de bombeo de los residuos.” En la tabla 16, se muestran los aspectos relacionados con la implementación de esta alternativa.

Tabla 16. Aspectos relacionados a la implementación de Lechos de secado como alternativa de tratamiento de lodo

<i>Aspectos</i>	<i>Impactos</i>	<i>Detalle</i>
Ambientales	Generación de olores	Si
	Generación de ruido	No
	Impactos ecosistemicos	Bajo
	Impacto visual	No
Técnicos	Requerimientos de equipos	No
	Complejidad	Baja
Económicos	Costos de inversión	Usualmente Bajos. Sin embargo pueden ser altos (Si no se dispone de terreno disponible para su construcción)
	Costos por operación y mantenimiento	Bajos

6.4 Lagunas²³

El enlagueamiento es uno de los métodos más usados para el manejo y disposición de lodos. Las lagunas pueden ser empleadas como una fase intermedia del proceso de manejo de lodos (Deshidratación), o como disposición final.

Las lagunas pueden ser clasificadas en 3 tipos:

- Lagunas para espesamiento, almacenaje y digestión.
- Lagunas de secado.
- Lagunas de depósito permanente

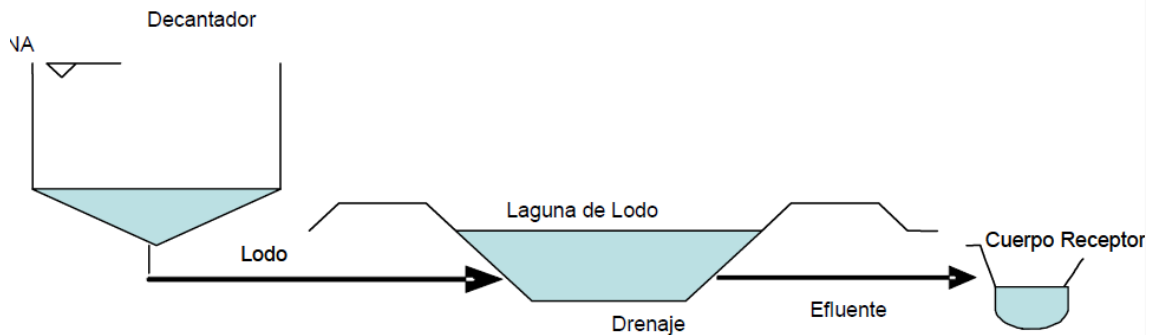
Para efectos del presente trabajo y en la dinámica de tratamientos para la deshidratación de los lodos no centraremos en las lagunas de secado.

²³ Max Lothar Hex, Reducción y disposición final de lodos, Incineración, Relleno, Disposición en el Terreno. Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico en defensa del Medio Ambiente. Sitio Web: Organización Panamericana de la Salud <http://www.bvsde.paho.org>

6.4.1 Lagunas de secado

Según Darwin Hernández (2006), “Las lagunas de deshidratación (Figura 30) son muy similares a los lechos de secado de arena, excepto en que operan a cargas iniciales mucho mayores, y además, tienen mayores tiempos de secado entre limpiezas.”

Figura 30. Esquema de deshidratación en lagunas de lodo



Fuente: Darwin Hernández (2006)

Cuando las lagunas son empleadas para el secado en lugar de lechos de arena, estas pueden ser vaciadas y rellenas en largos intervalos de tiempo, a veces de varios años. El lodo posiblemente no seca a menos del 70% de humedad pero en ese estado puede ser removido por equipos de terraplén. Removido el contenido, este lodo seco puede ser empleado en actividades agrícolas o darle una disposición final alterna. Las lagunas son frecuentemente construidas en áreas donde el suelo es poroso. Lo que es favorable siempre y cuando nada haya que temer de la contaminación de las aguas de la napa freática. Sin embargo en muchos países existen reglamentos y fijan distancias mínimas entre 0.40 y 0.50 metros entre el fondo de la laguna y el nivel de la capa freática.

Los costos son variables principalmente respecto al terreno, la distancia entre la planta y la laguna, tuberías, etc. En la tabla 17, se muestran los aspectos relacionados con la implementación de esta alternativa.

Tabla 17. Aspectos relacionados a la implementación de lagunas de deshidratación como alternativa de tratamiento de lodo

<i>Aspectos</i>	<i>Impactos</i>	<i>Detalle</i>
Ambientales	Generación de olores	Pueden generarse olores
	Generación de ruido	No
	Impactos ecosistemicos	Bajo
	Impacto visual	No
Técnicos	Requerimientos de equipos	No
	Complejidad	Baja
Económicos	Costos de inversión	Usualmente Bajos. Sin embargo pueden ser altos (Si no se dispone de terreno disponible para su construcción)
	Costos por operación y mantenimiento	Bajos

7. COSTOS Y BENEFICIOS

7.1 Selección de las alternativas a analizar

Las alternativas de manejo de lodos presentadas con anterioridad, son algunas de las más conocidas en nuestro país. Sin embargo, para el análisis de costos y beneficios solo tendremos en cuenta las alternativas que para el contexto nacional posean mayor aplicabilidad.

Para esto, tendremos en cuenta los siguientes factores:

Tabla 18. Factores relacionados con la aplicación y operación de alternativas para el manejo de lodos

<i>Factor</i>	<i>Comentario</i>
Calidad del lodo obtenido	Evaluando la alternativa más viable, se deberán tener en cuenta las características finales de la torta de lodo, para su posterior disposición final o recirculación en alguno de los procesos de la planta.

<p><i>Vida Útil</i></p>	<p>Se deberá tener en cuenta la vida útil de cada una de las alternativas, partiendo de la base de que se destinaran unos recursos limitados para construcción, operación y mantenimiento que a futuro si se les da un buen direccionamiento puedan recuperar la inversión inicial o en cambio desfavorecer esa inversión si la experiencia y la manipulación de los recursos, equipos o unidades de tratamiento no son las mejores.</p>
<p><i>Requerimiento de área</i></p>	<p>Para la ubicación de la alternativa de manejo de lodos aluminosos, se tendrá en cuenta el área disponible en la planta de tratamiento para tal fin, cabe aclarar que algunas alternativas pueden ocupar grandes extensiones de terreno pero son más viables tanto económica como técnicamente.</p>
<p><i>Costos</i></p>	<p>A la hora de elegir una alternativa de tratamiento de lodos en este caso aluminosos, es importante estudiar los alcances. Ya que estos no solo se basan en los recursos con que se cuentan en el momento para la consecución de la obra, sino que además garantice el sostenimiento de esta más adelante.</p> <p>Si se elige una alternativa económica y más eficiente, dichos recursos podrían ser destinados al mantenimiento de esta a futuro, permitiendo así hacerla más óptima y brindarle un mejor servicio a la población y a la protección del medio natural. En cuanto a la parte de operación y mantenimiento es importante como se recalcó anteriormente, hacer una buena elección, pues en países en vía de desarrollo como Colombia este es uno de los aspectos que desfavorece la puesta en marcha de proyectos de agua potable y saneamiento.</p>
<p><i>Diseño y Construcción</i></p>	<p>Para el diseño y construcción se debe tener en cuenta, que el personal que ejecute el proyecto esté en la capacidad técnica y que responda a las necesidades de la población, además los criterios de diseños deben estar ajustados a la normatividad y que la alternativa seleccionada haya sido ampliamente probada a nivel no solo nacional sino internacional.</p>

Operación y Mantenimiento	Si se hace una buena elección, no solo se ahorraran costos, sino que la planta podrá ser operada por personal con poca capacitación, además las proyecciones de operación y mantenimiento deben garantizar que los repuestos e insumos estén cercanos a la planta de tratamiento y que ante cualquier inconveniente técnico o humano halla un centro de atención cercano a la población.
----------------------------------	--

Fuente: Duque et al, 2008

Tabla 19. Calificativo por factor

Calificación		
Ponderación	Calificativo	Carácter
1	Muy Bajo	Negativo +
2	Bajo	Negativo
3	Aceptable	Aceptable
4	Alto	Positivo
5	Muy Alto	Positivo +

Tabla 20. Calificación de alternativas por factores asociados a su aplicación.

Factor	Alternativas			
	Lechos de secado	Lagunas de deshidratación	Filtros al vacío	Filtros prensa
Calidad del lodo obtenido	5	4	5	5
Vida útil	5	5	4	4
Requerimiento de área	2	1	5	5
Costos	2	1	1	5
Diseño y Construcción	5	4	4	5
Operación	5	5	3	3
Calificación	24	20	22	27

Las calificaciones asignadas en la tabla anterior nos permiten tener una idea de la aplicabilidad de las alternativas previamente enunciadas.

Partiendo de este análisis tomaremos las dos alternativas que presentan mejor calificativo; que en este caso corresponde a **lechos de secado y Filtros prensa**.

7.2 Lechos de secado

Para establecer la viabilidad de los lechos de secado, es necesario dimensionar las características del mismo, para así, generar un aproximado de los costos asociados.

7.2.1 Dimensionamiento de los Lechos de Secado

El dimensionamiento de los lechos de secado, parte de la base metodológica planteada por la Comisión Nacional del Agua del año 2007 de México, cuyo principio básico consiste en extender los lodos en una superficie apta para ello y dejarlos secar hasta alcanzar un nivel de humedad aceptable. (Informes GIAS, 2010)

Carga inicial:

Ecuación 2. Cálculo de la carga inicial de lodo

$$IA = 10 DS(i) D(i)$$

Fuente: Comisión nacional del agua, 2007

Dónde:

IA: Carga Inicial (kg/m^2)

DS(i): Concentración de Sólidos Suspendidos Iniciales en el lodo a aplicar (%)

D(i): Espesor de la capa de lodos a aplicar (m)

Para efectos del cálculo de esta carga, se tomó como referencia, lo establecido en el documento RAS 2000 Título C, el cual establece que la concentración de los lodos varía entre 3 y 8, siendo este último, el valor usado para el dimensionamiento de unidades. En este mismo documento, en el numeral C.13.6.2.2, se afirma que para los lechos de secado, la profundidad del lodo no debe superar los 0.30 m.

Profundidad:

Ecuación 3. Profundidad

$$D(f) = D(i) DS(i)/DS(f)$$

Fuente: Comisión nacional del agua, 2007

Dónde:

D(f): Profundidad final

DS(f): Contenido de sólidos finales deseados

DS(f), es establecido por el documento RAS 2000 en el numeral C.13.5.2.2, el cual establece que los lodos de aluminio deben alcanzar concentraciones de sólidos de 15 % al 30 %. Siendo este último el utilizado para el dimensionamiento de unidades.

El cambio en la profundidad:

Ecuación 4. Cambio de profundidad

$$DD = D(i) - D(f)$$

Fuente: Comisión nacional del agua, 2007

La cantidad de agua drenada:

Ecuación 5. Cantidad Agua drenada

$$DD (u) = D(i) * P$$

Fuente: Comisión nacional del agua, 2007

$$P = 50\% \text{ estimado}$$

La variable P, corresponde al porcentaje de pérdida de agua por drenaje o decantación (GIAS, 2010). Este parámetro varía usualmente entre 40 y 50 %, siendo este último, el más utilizado para el dimensionamiento de lechos de secado. (Ramírez, 2003; Duque et al, 2008; GIAS, 2010)

El cambio de espesor por evaporación:

Ecuación 6. Cambio de espesor por evaporación

$$DD(e) = D(i) - D(u) \quad DD(e)$$

Fuente: Comisión nacional del agua, 2007

El tiempo necesario para evaporar:

Ecuación 7. Tiempo de evaporación

$$T = DD(e)/E$$

Fuente: Comisión nacional del agua, 2007

E: 1772 mm, fue el valor utilizado para el cálculo de tiempo de evaporación. Dato suministrado para Risaralda en el Atlas Climático de Colombia, estación Matecaña, evapotranspiración media anual, IDEAM, 2009.

Numero de aplicaciones:

Ecuación 8. Número de aplicaciones

$$AA = 12/T$$

Fuente: GIAS, 2010

Dónde:

AA = Número de aplicaciones de lodo por año (aplicaciones/año)

T = Tiempo de secado por concepto de evaporación (año)

Ecuación 2. Número de aplicaciones de lodo al lecho de secado por periodo de tiempo

$$Y = IA * AA$$

Fuente: GIAS, 2010

Dónde:

Y = Rendimiento del lecho (kg/m²/año)

IA = Carga del lodo a aplicar (Kg/m²)

AA = Número de aplicaciones de lodo por año (aplicaciones/año)

En el anexo D. encontraremos los cálculos asociados al dimensionamiento de los lechos de secado para los municipios. La tabla 21 muestra los datos resumen, correspondientes al dimensionamiento de los lodos según la metodología anterior.

Tabla 21. Dimensiones lechos de secado

	<i>Apía</i>	<i>Balboa</i>	<i>Belén de Umbría</i>	<i>Dosquebradas</i>	<i>Guática</i>	<i>La Celia</i>	<i>La Virginia</i>	<i>Mistrató</i>	<i>Pueblo Rico</i>	<i>Unidades</i>
<i>Área Total Lecho de Secado</i>	275,13	12,46	207,27	70,11	25,77	4,03	2471,64	22,44	65,80	m2
<i>Número de módulos</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	13,00	1,00	1,00	Modulo
<i>Área (por módulo)</i>	275,13	12,46	207,27	70,11	25,77	4,03	190,13	22,44	65,80	m2
<i>Volumen (por módulo)</i>	82,54	3,74	62,18	21,03	7,73	1,21	57,04	6,73	19,74	m3
<i>Largo (por modulo)</i>	20,00	10,00	20,00	10,00	10,00	10,00	20,00	10,00	10,00	m
<i>Ancho (por módulo)</i>	14,00	2,00	11,00	8,00	3,00	1,00	10,00	3,00	7,00	m

Durante las visitas realizadas a los municipios, en Marsella y Santuario, la recolección de las muestras no pudo efectuarse. Dado esto, tales municipios no fueron tenidos en cuenta para el análisis.

7.2.2 Costos de Inversión Asociados a los lechos de secado

Los costos presentados a continuación, obedecen a la inversión inicial de los lechos de acuerdo a las características del diseño realizado con anterioridad. Dichos costos se establecen de acuerdo al material usado para los lechos presentados en la tabla 22 para todos los municipios; adicional a esto, los costos de dichos materiales corresponde al “Listado de precios unitarios 2011” para el Departamento de Risaralda.²⁴

²⁴ www.risaralda.gov.co

Tabla 22. Materiales utilizados para la construcción de un lecho se secado

<i>Item</i>
Localización y Replanteo
Ladrillo común
Arena
Grava media
Concreto de 3.000 psi impermeabilizado (producción)
Malla electrosoldada ojo 0,15 x 0,15 m 6,0 m 2,35 m de 4 mm
Tubería PVC perforada de 4" (100 mm)
Excavación en material común (tierra y conglomerado)
Retiro de Tierra
Estructura metálica (cubierta)
Teja Traslucida
Canal PVC tipo Amazonas
Tubería PVC agua lluvia de 4"

Fuente: GIAS 2010

Tabla 23. Costos asociados a la dimensión de los lechos y producción de lodo

	Apía	Balboa	Belén de Umbría	Dosquebradas	Guática	La Celia	La Virginia	Mistrató	Pueblo Rico
Área Requerida (m ²)	275,13	12,46	207,27	70,11	25,77	4,03	2471,64	22,44	65,80
Producción Anual promedio de lodo (Kg/d)	213,71	9,68	161,00	54,46	20,02	3,13	1919,89	17,43	51,11
Inversión									
Lechos de secado	\$ 41.102.655,05	\$ 20.910.096,55	\$ 41.102.655,05	\$ 32.008.804,71	\$ 20.910.096,55	\$ 20.910.096,55	\$ 597.098.094,45	\$ 20.910.096,55	\$ 31.371.723,26
Clasificación	LSM+	LSP	LSM+	LSM-	LSP	LSP	LSG	LSP	LSM-

La tabla anterior (23), muestra los costos asociados a las dimensiones de los lechos de secado y de acuerdo a elementos como requerimientos de área y de la producción promedio anual de lodos, fue posible clasificarlos de la siguiente manera:

- LSG = Lecho de secado grande - Municipio de la Virginia
- LSM+ = Lecho de secado mediano mayor - Municipios: Apia y Belén de Umbría
- LSM- = Lecho de secado mediano menor - Municipios: Marsella, Pueblo Rico y Santuario
- LSP = Lecho de secado pequeño - Municipios: Balboa, Guática, La Celia y Mistrató

7.2.3 Flujos de efectivo lechos de secado

Para continuar la evaluación de la alternativa, es necesario llevar a cabo análisis aún más profundos, que permitan evaluar la posibilidad de su aplicación y evaluar el efecto tiempo sobre la misma. Según Arlette Beltrán et al 2001²⁵, los flujos de efectivo, muestran el efecto de los cambios o variaciones de dinero en efectivo y/o equivalentes de efectivo en un periodo determinado.

El anexo E. el cual especifica los costos de inversión de los lechos, también, relaciona elementos como: Equipo de Bombeo, Red de Drenaje y Red de drenaje de aguas lluvias. Tablas 24, 25, 26.

Tabla 24. Materiales Red de Desagüe

Red de desagüe Lechos de Secado
Item
Caja de inspección de 0,60 x 0,60 x 0,60 m en concreto de 2.500 psi, tapa reforzada en concreto de 3.000 psi
Tubería PVC sanitaria de 4", incluye accesorios
Excavación en material común (tierra y conglomerado)
Retiro de Tierra

²⁵ BELTRÁN, Arlette y CUEVA, Hanny.(2003). Evaluación Privada de Proyectos. Ed. Universidad del Pacífico. 2a ed. p. 293-334.

Tabla 25. Materiales Red de Aguas Lluvias

Red de Aguas Lluvias
Item
Caja de inspección de 0,60 x 0,60 x 0,60 m en concreto de 2.500 psi, tapa reforzada en concreto de 3.000 psi
Tubería PVC Novafort de 110 mm (4")
Excavación en material común (tierra y conglomerado)
Retiro de Tierra

Tabla 26. Materiales Equipo de Bombeo

Equipo de Bombeo
Item
Bomba sumergible Pedrollo RX Vortex 3/40 (incluye accesorios eléctricos)
Extensión eléctrica Trabajo Pesado con polo a tierra (Calibre 12)
Manguera negra 1 1/2"

Los precios asociados a los mismos, también se están definidos según el “Listado de precios unitarios 2011” para el Departamento de Risaralda.

Las cantidades de material a usar para la construcción de los lechos, corresponden a lo considerado en los informes realizados por el Grupo de Aguas y Saneamiento GIAS, lo cual, fue posible dado las similitudes en términos del dimensionamiento entre los informes para los municipios y el cálculo realizado para la presente investigación.

Los flujos de efectivo presentados a continuación de Apía y Belén de Umbría a modo de ejemplo, fueron efectuados para todos los municipios objeto de investigación.

Los costos de operación y mantenimiento se asocian a gastos por consumo eléctrico y gastos en personal que operaría el lecho. La tabla 28, muestra cómo se define la inversión en ambos elementos.

Tabla 27. Operación y mantenimiento lechos de secado. Municipio de Apia

APIA		
Consumo de energía por la Bomba Sumergible		
Ítem	Valor	Unidad
Caudal de Bombeo (Q)	2,04	l/s
Potencia de la bomba	1,1	Kw
Tiempo de uso de la bomba por mes	8	h/mes
Consumo de energía por la bomba	8,8	Kw-h/mes
Precio de energía eléctrica por hora	\$ 337,46	\$ Kw-h
Costo de energía eléctrica por mes	\$ 2.969,65	\$ Kw-h/mes
Gastos de Personal		
Ítem	Valor	Unidad
Número de operarios	2	operarios
Horas-hombre por mes	16	h/mes
Valor hora-hombre al mes	\$ 4.500,00	\$/h
Costo personal por mes	\$ 72.000,00	\$/mes
TOTAL		\$ 74.969,65

El anexo F, evidencia los costos asociados a la operación y mantenimiento de los lechos para el resto de los municipios. Su cálculo, al igual que los elementos asociados a la inversión de la alternativa, se plantea según lo estipulado en los informes elaborados para los municipios por el grupo GIAS.

De acuerdo a la dimensión de los lechos de secado, fue posible agrupar la inversión en los mismos y los flujos de caja asociados al funcionamiento de los mismos. La tabla 28, evidencia el flujo de caja para los municipios de Belén de Umbría y Apia.

Tabla 28. Flujo de efectivo Lecho de Secado Belén de Umbría y Apia

<i>Municipios: Apia y Belén de Umbría (Tamaño Variable entre = 150 m² - 300m²)</i>						
<i>Inversión</i>	AÑO					
	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Lecho de secado	\$ (41.102.655,05)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Red de desagüe	\$ (1.048.933,00)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Red de aguas lluvias	\$ (1.021.520,00)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Equipo de bombeo	\$ (1.750.000,00)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Operación		\$ (35.635,78)	\$ (36.801,07)	\$ (38.004,46)	\$ (39.247,21)	\$ (40.530,59)
Mantenimiento		\$ (864.000,00)	\$ (892.252,80)	\$ (921.429,47)	\$ (951.560,21)	\$ (982.676,23)
<i>Depreciación</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Equipo de bombeo		\$ (175.000,00)	\$ (175.000,00)	\$ (175.000,00)	\$ (175.000,00)	\$ (175.000,00)
Lechos, Redes		\$ (2.158.655,40)	\$ (2.158.655,40)	\$ (2.158.655,40)	\$ (2.158.655,40)	\$ (2.158.655,40)
Valor de salvamento	\$	33.254.831,49				
Costos Totales	\$ (44.923.108,05)	\$ (3.233.291,18)	\$ (3.262.709,27)	\$ (3.293.089,33)	\$ (3.324.462,82)	\$ (3.356.862,22)
<i>Tasa de descuento</i>	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
<i>Variación Salario Mínimo</i>	0,0619	0,0619	0,0619	0,0619	0,0619	0,0619
<i>IPC</i>	0,0327	0,0327	0,0327	0,0327	0,0327	0,0327
VPN	(\$ 34.125.317,53)					

La tabla anterior (28), relaciona los costos asociados, más allá de la inversión en el lecho, tomando también la inversión en redes de desagüe y de aguas lluvias. En este, se relaciona la inversión de costos del equipo de bombeo, operación y mantenimiento. Estos, varían de acuerdo a gastos de energía, en el caso del equipo de bombeo, el cual fue proyectado a cinco años partiendo de un incremento anual del 3.27 %, correspondiendo a la variación anual del índice de precio al consumidor.²⁶

Por otro lado, el incremento anual del salario correspondiente al 6.19 %, se basó en el promedio de incremento del salario mínimo en los últimos 6 años, Tabla 29.

²⁶ www.banrep.gov.co, Banco de la Republica de Colombia.

Tabla 29. Incremento salarial 2006-2011

SALARIO MÍNIMO 2006-2011					
Año	Transporte			Salario	
2006	47.700,00	7,19%	13.600,00	408.000,00	6,95%
2007	50.800,00	6,50%	14.456,66	433.700,00	6,30%
2008	55.000,00	8,27%	15.383,33	461.500,00	6,41%
2009	59.300,00	7,67%	16.563,33	496.900,00	7,67%
2010	61.500,00	3,71%	17.166,66	515.000,00	3,64%
2011	63.600,00	3,41%	17.853,33	535.600,00	4,0%
Promedio Variación del Salario Mínimo Legal Vigente					6,19%

La depreciación utilizada para el análisis, según el decreto 3019 de 1989, corresponde para los equipos (Bombeo), con una vida útil de 10 años, así como, para las bienes inmuebles, en este caso los lechos de secado y las redes de drenaje con una vida útil de 20 años. Sin embargo, dados estos elementos del proyecto, se estableció el valor de salvamento correspondiente al valor residual del activo posterior al descuento de la depreciación.

La elaboración de estos flujos de caja, corresponde a la evaluación de las alternativas entre sí para los municipios del Departamento de Risaralda que hacen parte del proyecto. Para esto, recurrimos a establecer el Valor Presente Neto (VPN) de los lechos de secado, el cual, según Joan Pascual Rocabert, 2006²⁷, mide la deseabilidad de un proyecto en términos absolutos. Calcula la cantidad total en que ha aumentado el capital como consecuencia del proyecto.

Ecuación 10. Valor Presente Neto

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Fuente: Rocabert, 2006

Dónde:

- VAN: Valor Actual Neto
 Qs: Flujo de caja (Ingresos y Egresos por periodo)
 N: Número de periodos considerado
 r: Tasa de descuento (7.5 %)

²⁷ Pascual Rocabert, J. 2006, Los Criterios Valor Actual Neto y Tasa Interna de Rendimiento. Revista electrónica sobre la enseñanza de la Economía Pública Nº 2, Departamento de Economía Aplicada, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Autónoma de Barcelona. Campus de Bellaterra, 08193-Bellaterra, España,

La tasa de descuento establecida para este proyecto, correspondiente al 7,5 % se encuentra acorde a lo establecido para la compra de papeles negociables en la Bolsa de Valores de Colombia.²⁸

Según Joan Rocabert, 2006, La regla de aceptación de un proyecto para el VAN, sea cual sea el tipo de proyecto, es $VAN \geq 0$. Para elegir el mejor entre dos proyectos se dispone de dos reglas equivalentes, a) escoger el mayor VAN: el proyecto X es mejor o igual al Y si y sólo si $VAN(X) \geq VAN(Y)$, b) el proyecto X es mejor o igual al Y si y sólo si el VAN del proyecto diferencia $(X - Y)$ es no negativo, es decir $VAN(X - Y) \geq 0$.

De acuerdo a esto, y a las características del proyecto, para cada municipio se identifica el valor presente neto en razón de los lechos de secado. El anexo G. contiene los flujos de caja de los lechos de secado para los municipios.

7.3 Filtros Prensa

“En un filtro prensa, la deshidratación se lleva a cabo forzando la evacuación del agua presente en el fango por la aplicación de una presión elevada. Las ventajas de un filtro prensa incluyen (1) altas concentraciones de sólidos en la torta; (2) obtención de un filtrado muy clarificado, y (3) elevada capturas de sólidos. Los inconvenientes incluyen la complejidad mecánica, los altos costos de mano de obra, y la limitada vida útil de las telas de filtro” (Herrera ángel, 2003)²⁹

7.3.1 Dimensionamiento Filtros Prensa

La empresa Industrias Protón LTDA, ha sido la encargada de efectuar los cálculos del dimensionamiento de los filtros prensa, factibles de ser usados para el manejo de los lodos en los municipios.

La empresa Industrias Protón, generó, el tipo de inversión que se debía realizar, de acuerdo a los datos de:

- Producción de Lodo
- Porcentaje de Humedad del Lodo

Ambos suministrados, según lo calculado para los municipios.

²⁸ www.bvc.com.co, Bolsa de Valores de Colombia.

²⁹ Herrera Suárez AA, 2003. Eliminación de Lodos en una EDAR, Master en Ingeniería del Agua.

La tabla 30. Indica las alternativas ofrecidas por la empresa Industrias Protón LTDA. Ambas obedecen a la producción de lodo de los municipios agrupándolas para dos opciones.

Tabla 30. Características de los Filtros Presupuestados

<i>Filtro</i>	<i>Máxima capacidad de lodo a tratar m³ /día</i>	<i>Tamaño del Filtro m²</i>	<i>Humedad Final de la torta</i>	<i>Medidas</i>	<i>Aplicable a los Municipios</i>
KK630-65-32-CHELECT	3,81	39,9	65%	Largo: 6.20 m Ancho: 1.13 m Alto: 1.44 m	La Virginia
KK-470-14-32-CHMAN	0.205	4,8	65%	Largo: 2.05 m Ancho: 0.90 m Alto: 1.20 m	Apia, Belen de Umbria, Marsella, Pueblo Rico, Balboa, Mistrató, La Celia, Santuario, Guática y Dosquebradas

La tabla siguiente (31), identifica los costos asociados a la inversión inicial en los filtros de prensa evaluados para el tratamiento de los lodos provenientes de los municipios de Risaralda. Estos no incluyen valor de operación y mantenimiento.

Tabla 31. Costos asociados a filtro prensa 1.

<i>Insumos</i>	<i>Costo</i>	<i>Iva</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>
Filtro				
KK630-65-32-CHELECT	\$ 89.660.000,00	\$ 14.345.600,00	1	\$ 104.005.600,00
Tela Filtrante	\$ 8.200.000,00	\$ 1.312.000,00	2	\$ 19.024.000,00
Carro Recepción de Torta	\$ 5.670.000,00	\$ 907.200,00	2	\$ 13.154.400,00
Bomba de alimentación	\$ 35.100.000,00	\$ 5.616.000,00	1	\$ 40.716.000,00
Costo Final				\$ 176.900.000,00

Tabla 32. Costos asociados Filtro prensa 2.

<i>Insumos</i>	<i>Costo</i>	<i>Iva</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>
Filtro				
KK-470-14-32-CHMAN	\$ 27.850.000,00	\$ 4.456.000,00	1	\$ 32.306.000,00
Tela Filtrante	\$ 1.200.000,00	\$ 192.000,00	2	\$ 2.784.000,00
Carro Recepción de Torta	\$ 700.000,00	\$ 112.000,00	1	\$ 812.000,00
Bomba de alimentación	\$ 10.100.000,00	\$ 1.616.000,00	1	\$ 11.716.000,00
Costo Final				\$ 47.618.000,00

Partiendo de los costos generados por inversión inicial, se evidencia parcialmente la que alternativas puede ser factible de implementarse para el manejo de lodos en los municipios de Risaralda.

Tabla 33. Inversión Inicial Lechos de secado y Filtros Prensa

<i>Inversión Inicial</i>		
<i>Municipios</i>	<i>Lechos de Secado</i>	<i>Filtro Prensa</i>
La Virginia	\$ 597.098.094,45	\$ 176.900.000,00
Dosquebradas	\$ 32.008.804,71	\$ 47.618.000,00
Belen de Umbria	\$ 41.102.655,05	\$ 47.618.000,00
Guática	\$ 20.910.096,55	\$ 47.618.000,00
La Celia	\$ 20.910.096,55	\$ 47.618.000,00
Balboa	\$ 20.910.096,55	\$ 47.618.000,00
Mistrató	\$ 20.910.096,55	\$ 47.618.000,00
Pueblo Rico	\$ 31.371.723,26	\$ 47.618.000,00
Apia	\$ 41.102.655,05	\$ 47.618.000,00

Partiendo de la anterior tabla (33), evidenciamos que en la mayoría de los municipios Risaraldenses, la inversión inicial en lechos de secado es menor que con filtros de prensa.

Diferente es el caso de la Virginia, especialmente que por las condiciones de producción de lodo presentadas con anterioridad. Los costos de los lechos de secado son realmente altos respecto a los filtros de prensa cotizados en la empresa Industrias Protón LTDA.

7.3.2 Flujos de efectivo Filtros Prensa

Al igual que con los lechos de secado, el flujo de efectivo para los filtros de prensa, incluyen costos de operación y mantenimiento, los cuales se relacionan en la tabla 34 y 35.

Tabla 34. Operación y Mantenimiento Filtro Prensa opción 1,

FiltroKK630-65-32-CHELECT		
Consumo de energía por la Bomba cavidades progresivas		
Ítem	Valor	Unidad
Potencia de la bomba	4	hp
Potencia de la bomba	2,9	kw
Tiempo de uso de la bomba por mes	8	h/mes
Consumo de energía por la bomba	23,2	Kw-h/mes
Precio de energía eléctrica por hora	\$ 337,46	\$ Kw-h
Costo de energía eléctrica por mes	\$ 7.829,07	\$ Kw-h/mes
Gastos de Personal		
Ítem	Valor	Unidad
Número de operarios	2	operarios
Horas-hombre por mes	16	h/mes
Valor hora-hombre al mes	\$ 4.500,00	\$/h
Costo personal por mes	\$ 72.000,00	\$/mes
TOTAL	\$	79.829,07

Tabla 35. Operación y Mantenimiento Filtro Prensa Opción 2.

FiltroKK-470-14-32-CHMAN		
Gastos de Personal		
Ítem	Valor	Unidad
Número de operarios	2	operarios
Horas-hombre por mes	16	h/mes
Valor hora-hombre al mes	\$ 4.500,00	\$/h
Costo personal por mes	\$ 72.000,00	\$/mes

La operación del segundo filtro, solo contempla, gastos de operación y mantenimiento ya que se ofrece una bomba neumática, que carece de gastos de energía para su utilización.

Anexo H. Evidencia los flujos de caja para ambos filtros de prensa.

7.4 Costos por Tasas Retributivas (Beneficios tributarios).

El decreto 3100 de 2003 define las tasas retributivas como “las tasas que cobrará la Autoridad Ambiental Competente a las personas naturales o jurídicas, de derecho público o privado, por la utilización directa del recurso como receptor de vertimientos puntuales y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativas.”

Para iniciar el proceso de cálculo de la tasa retributiva, partiendo del decreto es necesario conocer la carga contaminante, cuya ecuación se presenta a continuación:

Ecuación 11. Cálculo Carga Contaminante

$$C_c = Q \times C \times 0,0864 \times (t/24)$$

Fuente. Decreto 3100 de 2003

Dónde:

Cc:	Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)
Q:	Caudal promedio, en litros por segundo (l/s)
C:	Concentración de la sustancia contaminante, en miligramos por litro (mg/l)
0.0864:	Factor de conversión de unidades
T:	Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

El caudal de lodo utilizado para los cálculos de la carga contaminante (Tabla 36), corresponde a la producción en volúmenes de lodos generados para las plantas de potabilización de los municipios de Risaralda.

Tabla. 36 Caudal de lodo PTAP municipios de Risaralda

MUNICIPIO	HABITANTES	VOLÚMEN DE LODO m ³ /Día	CAUDAL (Q) l/s
Dosquebradas	179301,00	0,524	0,0061
La Virginia	31261,00	1,846	0,0214
Belen de Umbria	27717,00	0,155	0,0018
Guática	15752,00	0,019	0,0002
La Celia	8761,00	0,003	0,0000
Balboa	6353,00	0,009	0,0001
Mistrató	15166,00	0,017	0,0002
Pueblo Rico	11975,00	0,049	0,0006
Apia	17514,00	0,205	0,0024

Factor de Conversión	0,0116
----------------------	--------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Cc. Para la determinación de las Tasas Retributivas

$Cc = Q \times C \times 0.0864 \times (t/24)$								
Municipios	Habitantes	DBO5 (mg/l)	SST (mg/l)	Caudal (l/s)	Factor de conversión	t (t/24)	Carga DBO (kg/d)	Carga SST (kg/d)
Dosquebradas	179301	1255	141245	0,0061	0,0864	3,0000	1,9729	222,0371
La Virginia	31261	134	55715	0,0214	0,0864	3,0000	0,7421	308,5497
Belen de Umbria	27717	892	68891	0,0018	0,0864	3,0000	0,4148	32,0343
Guática	15752	1,632	232,125	0,0002	0,0864	3,0000	0,0001	0,0134
La Celia	8761	583	71934	0,00003	0,0864	3,0000	0,0053	0,6490
Balboa	6353	1538	341480	0,0001	0,0864	3,0000	0,0430	9,5388
Mistrató	15166	1827	93769	0,0002	0,0864	3,0000	0,0919	4,7147
Pueblo Rico	11975	2301	106974	0,0006	0,0864	3,0000	0,3393	15,7728
Apia	17514	918	120030	0,0024	0,0864	3,0000	0,5659	73,9952

Fuente. Elaboración Propia

La Carga contaminante (Tabla 37), partiendo de la definición dada por el decreto 3100 de 2003, es el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante, por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas.

Ecuación 12. Cálculo tasa retributiva

$$MP = \sum C_i * T_{mi} * Fr_i$$

Fuente. Decreto 3100 de 2003

Dónde:

- MP: Total Monto a Pagar
- C_i: Carga contaminante de la sustancia i vertida durante el periodo de cobro
- T_{mi}: Tarifa mínima del parámetro i

Fri: Factor regional del parámetro i aplicado al usuario. Si cumple con su meta individual o sectorial es igual a 1; si incumple es calculado de acuerdo al Artículo.

Tabla 38. Total a pagar por Tasa Retributiva

$MP = \sum C_i * T_{mi} * Fr_i$											
Municipio	Población (Dane 2005)	DBO5(CI) kg/d	SST(CI) kg/d	Tarifa Mínima \$ x Kg (DBO)	Tarifa Mínima \$ x Kg (SST)	Factor Regional Ajustado (DBO5)	Factor Regional Ajustado (SST)	Periodo de cobro 1 año	Monto a Pagar (MP) X DBO5	Monto a Pagar (MP) X SST	Total a Pagar
Dosquebradas	179301	1,97286	222,0371	106,05	45,35	1	1	365	\$ 76.365,96	\$ 3.675.325,27	\$ 3.751.691,23
La Virginia	31261	0,74209	308,5497	106,05	45,35	1	1	365	\$ 28.725,08	\$ 5.107.345,55	\$ 5.136.070,63
Belen de Umbria	27717	0,41478	32,0343	106,05	45,35	1	1	365	\$ 16.055,41	\$ 530.256,01	\$ 546.311,42
Guática	15752	9,42E-05	0,0134	106,05	45,35	1	1	365	\$ 3,65	\$ 221,88	\$ 225,53
La Celia	8761	5,26E-03	0,6490	106,05	45,35	1	1	365	\$ 203,60	\$ 10.742,73	\$ 10.946,33
Balboa	6353	4,30E-02	9,5388	106,05	45,35	1	1	365	\$ 1.662,99	\$ 157.893,43	\$ 159.556,41
Mistrató	15166	9,19E-02	4,7147	106,05	45,35	1	1	365	\$ 3.555,79	\$ 78.041,05	\$ 81.596,84
Pueblo Rico	11975	3,39E-01	15,7728	106,05	45,35	1	1	365	\$ 13.132,58	\$ 261.082,77	\$ 274.215,35
Apia	17514	5,66E-01	73,9952	106,05	45,35	1	1	365	\$ 21.905,83	\$ 1.224.823,57	\$ 1.246.729,40

Fuente. Elaboración Propia

La tarifa mínima establecida para el ejercicio, parte de la Resolución 372 de 1998, el cual establece las tarifas mínimas vigentes para los años 2007 y 2008. De acuerdo a esto y a las variaciones porcentuales en los índices de precios al consumidor (Ver. Anexo I), establecidas por el DANE 1995-2010³⁰, se establece un incremento en la tarifa mínima de la Tasa Retributiva del 2 % entre el año 2009 y el 2010 para DBO5 y Solidos Suspendidos Totales.

El factor regional (Fr) es un factor que incide en la determinación de la tasa retributiva y está compuesto por un coeficiente de incremento de la tarifa mínima que involucra los costos sociales y ambientales de los daños causados por los vertimientos al valor de la tarifa de la tasa. (Decreto 3100 de 2003)

El factor regional empezará con un valor igual a uno (1) el cual se ajustará anualmente a partir de finalizar el segundo año y que se aplicará a los usuarios sujetos al pago de la tasa que no hayan cumplido con la meta de reducción en el cálculo del valor a pagar del año siguiente.

El ejercicio como elemento netamente académico, se asumió para el Factor Regional un valor de 1 tanto para el cálculo de la tasa como de la proyección a 5 años. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que sin control alguno del vertimiento de estos lodos, estos aumentarán tanto como la demanda de agua aumente en este tiempo y alcanzar la meta de reducción establecida por la Corporación Autónoma será aún más complejo.

No obstante, para la proyección de la tasa retributiva tomo de base elementos como el Índice de Precios al Consumidor (IPC) que al día de hoy se ha establecido en un 3.27 %. Tabla 39.

³⁰ DANE, (2010). Colombia, Índices de Precios al Consumidor (IPC), Variaciones Porcentuales 1995-2010. Dirección Electrónica: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/ipc/dic11/IPC_Variacion.xls

Tabla 39. Tasa Retributiva Proyectada

<i>Tasa Retributiva Proyectada</i>						
<i>Municipios</i>	<i>AÑO</i>					
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>VPN</i>
<i>Dosquebradas</i>	\$ 3.751.691,23	\$ 3.874.371,53	\$ 4.001.063,48	\$ 4.131.898,26	\$ 4.267.011,33	\$ 16.129.454,88
<i>La Virginia</i>	\$ 5.136.070,63	\$ 5.304.020,14	\$ 5.477.461,60	\$ 5.656.574,60	\$ 5.841.544,58	\$ 22.081.246,70
<i>Belen de Umbria</i>	\$ 546.311,42	\$ 564.175,80	\$ 582.624,35	\$ 601.676,16	\$ 621.350,97	\$ 2.348.728,82
<i>Guática</i>	\$ 225,53	\$ 232,91	\$ 240,52	\$ 248,39	\$ 256,51	\$ 969,62
<i>La Celia</i>	\$ 10.946,33	\$ 11.304,28	\$ 11.673,93	\$ 12.055,66	\$ 12.449,88	\$ 47.061,00
<i>Balboa</i>	\$ 159.556,41	\$ 164.773,91	\$ 170.162,01	\$ 175.726,31	\$ 181.472,56	\$ 685.972,75
<i>Místrató</i>	\$ 81.596,84	\$ 84.265,06	\$ 87.020,52	\$ 89.866,09	\$ 92.804,72	\$ 350.805,13
<i>Pueblo Rico</i>	\$ 274.215,35	\$ 283.182,19	\$ 292.442,25	\$ 302.005,11	\$ 311.880,68	\$ 1.178.920,08
<i>Apia</i>	\$ 1.246.729,40	\$ 1.287.497,45	\$ 1.329.598,62	\$ 1.373.076,50	\$ 1.417.976,10	\$ 5.360.000,18

<i>Variación Tarifa Mínima</i>	0,0327
<i>Variación Fator Regional</i>	1
<i>Tasa de descuento</i>	0,075

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.2 Análisis Costo – Beneficio

La Técnica metodológica Costo-Beneficio, como elemento decisorio ha sido aplicado comúnmente en diferentes investigaciones y estudios. Normalmente, su aplicación se basa en la valoración de costos y beneficios económicos derivados directa o indirectamente de un proyecto, determinando así la conveniencia de llevar a cabo su ejecución. No obstante, Uno de los riesgos que se toma al utilizar este tipo de análisis es el sobre-enfatizar sobre la valoración económica y cuantitativa sobre los efectos, sean ambientales y/o sociales del proyecto. Sin embargo, otros efectos intangibles no cuantificados pueden ser tanto más importantes.

Para nuestro caso, la evaluación se ha llevado a cabo de acuerdo a la herramienta de Valor Presente Neto, resultado de la evaluación de los flujos de caja relacionados a la inversión, operación y mantenimiento de los lechos de secado y filtros prensa.

Según Arturo Infante Villareal, 1997, el Valor Presente Neto de un proyecto de inversión, no es otra cosa que su valor medido en dinero de hoy, en otras palabras, es el equivalente en dinero actual de todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto.

Por otro lado, encontraremos también los elementos asociados a las Tasas Retributivas, que actualmente aplican para las Empresas de Servicios Públicos. Estos valores, fueron determinados partiendo de la caracterización de los lodos, que finalmente hacen parte de los beneficios asociados a la aplicación de las alternativas de manejo de los mismos.

La tabla siguiente (Tabla 40), relaciona los VPN asociados a la inversión, operación y mantenimiento de los lechos de secado y filtros prensa, así como, el asociado a las tasas retributivas para cada municipio.

Tabla 40. Valor Presente Neto, Lechos de Secado, Filtros Prensa y Tasa Retributiva

Municipios	VPN Lechos de secado	VPN Filtros Prensa	VPN Tasa Retributiva
<i>La Virginia</i>	\$ (410.807.222,00)	\$ (251.659.661,54)	\$ 22.081.246,70
<i>Guática</i>	\$ (21.110.239,62)	\$ (64.583.585,34)	\$ 969,62
<i>La Celia</i>	\$ (21.110.239,62)	\$ (64.583.585,34)	\$ 47.061,00
<i>Balboa</i>	\$ (21.110.239,62)	\$ (64.583.585,34)	\$ 685.972,75
<i>Mistrató</i>	\$ (21.110.239,62)	\$ (64.583.585,34)	\$ 350.805,13
<i>Dosquebradas</i>	\$ (28.651.379,04)	\$ (64.583.585,34)	\$ 16.129.454,88
<i>Pueblo Rico</i>	\$ (28.102.690,56)	\$ (64.583.585,34)	\$ 1.178.920,08
<i>Apia</i>	\$ (34.125.317,53)	\$ (64.583.585,34)	\$ 5.360.000,18
<i>Belén de Umbria</i>	\$ (34.125.317,53)	\$ (64.583.585,34)	\$ 2.348.728,82

La tabla 41, muestra principalmente la inversión necesaria en la aplicación de las alternativas de manejo de lodos de lechos de secado y filtros de prensa. No obstante, también encontramos los valores correspondientes a las tasas retributivas, las cuales representan el beneficio de aplicar las alternativas.

Estos resultados, según Arturo Infante Villareal, 1997, indican que la aplicación, tanto para los lechos de secado como los filtros prensa, serían poco convenientes de ser empleados, puesto que, la negatividad del valor presente indica que el rendimiento del proyecto es inferior a la tasa de descuento o de rentabilidad utilizada para el proyecto.

Por otro lado, en términos de tasa retributivas; actualmente, representa un gasto o costo para las Empresas de Servicios Públicos. No obstante, el VPN de las tasas retributivas es tomado como un ingreso, dado que: asumiendo la aplicación a 5 años, de cualquiera de las dos alternativas, es un valor que las E.S.P estarían dejando de pagar a la corporación por tasación.

La tabla 40, muestra también para las tasas retributivas, valores altos como es el caso de la Virginia, Dosquebradas y Apia; de igual manera, encontramos valores bajos en gran medida, tales como, Guática, Mistrató y La Celia. No obstante, dichos resultados no son concluyentes puesto que, como se mencionó con anterioridad, las condiciones técnicas, económicas y temporales del proyecto para la recolección de las muestras son poco idóneas, dándole a estas un carácter preliminar o parcial.

8.3 Relación Costo – Beneficio

Una vez establecido el Valor Presente Neto (Tabla 40), tanto de los costos como los beneficios, siendo este el efecto de la aplicación de las alternativas; puede establecerse la relación de ambos elementos y generar el estado de análisis para la toma de una decisión.

Según Arturo Infante Villareal, 1997 la relación C/B de calcula de la siguiente manera:

1. Se calcula el Valor Presente de los ingresos asociados con el proyecto en cuestión (Valor de las Tasas Retributivas).
2. Se calcula el valor presente para los egresos del proyecto (Costos asociados a la implementación de las alternativas).
3. Se establece una relación entre el VPN de los ingresos y el VPN de los egresos, al dividir la primera cantidad por la segunda. *El resultado de tal división es la relación Costo-Beneficio.*

La tabla 41. Ilustra la relación Costo – Beneficio resultado de la implementación de las alternativas en razón del beneficio, el cual se materializa en la tasa retributiva que la E.S.P dejaría de pagar por no verter los lodos en una fuente hídrica.

Tabla 41. Relación Costo - Beneficio

Municipios	VPN Lechos de secado	VPN Filtros Prensa	VPN Tasa Retributiva	ACB Lechos de Secado	ACB Filtros Prensa
<i>La Virginia</i>	\$ (410.807.222,00)	\$ (251.659.661,54)	\$ 22.081.246,70	(\$ 0,05)	(\$ 0,09)
<i>Guática</i>	\$ (21.110.239,62)	\$ (64.583.585,34)	\$ 969,62	(\$ 0,00005)	(\$ 0,00002)
<i>La Celia</i>	\$ (21.110.239,62)	\$ (64.583.585,34)	\$ 47.061,00	(\$ 0,0022)	(\$ 0,0007)
<i>Balboa</i>	\$ (21.110.239,62)	\$ (64.583.585,34)	\$ 685.972,75	(\$ 0,03)	(\$ 0,01)
<i>Mistrató</i>	\$ (21.110.239,62)	\$ (64.583.585,34)	\$ 350.805,13	(\$ 0,02)	(\$ 0,005)
<i>Dosquebradas</i>	\$ (28.651.379,04)	\$ (64.583.585,34)	\$ 16.129.454,88	(\$ 0,56)	(\$ 0,25)
<i>Pueblo Rico</i>	\$ (28.102.690,56)	\$ (64.583.585,34)	\$ 1.178.920,08	(\$ 0,04)	(\$ 0,02)
<i>Apia</i>	\$ (34.125.317,53)	\$ (64.583.585,34)	\$ 5.360.000,18	(\$ 0,16)	(\$ 0,08)
<i>Belén de Umbria</i>	\$ (34.125.317,53)	\$ (64.583.585,34)	\$ 2.348.728,82	(\$ 0,07)	(\$ 0,04)

De acuerdo a la tabla anterior, las relaciones C/B son claramente de carácter negativo. Esto señala que, el VPN de todo el proyecto es negativo, es decir, los proyectos no son atractivos. (Villareal A, 1997)

En este caso, podemos afirmar que financieramente no se debe aplicar ninguna de las dos alternativas presentadas en el documento. No obstante, el análisis Costo – Beneficio, como lo dijimos anteriormente, puede generar grandes riesgos, al sobre-enfatizar sobre la valoración económica y cuantitativa sobre los efectos

del proyecto. Sin embargo, pueden existir efectos adicionales a tener en cuenta para tomar una decisión como pueden ser los efectos u obligaciones legales, así como los beneficios ambientales de la aplicación del proyecto.

8.4 Obligaciones Legales

Uno de estos efectos, y dada la coyuntura nacional es la expedición del decreto 3930 del año 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Este Decreto, genera según el artículo 39, atribuciones y responsabilidades por parte de las Empresas de Servicios Públicos, como ente regulador del cumplimiento de la norma. Así mismo, *“deberá dar cumplimiento a la norma de vertimiento vigente y contar con el respectivo permiso de vertimiento o con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV reglamentado por la Resolución 1433 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que lo modifique, adicione o sustituya.”*

De igual manera, el decreto establece en el numeral 3 del artículo 25 que; **No se permite el desarrollo de actividades como:**

“Disponer en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado, **los sedimentos, lodos, y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control ambiental** y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo. Para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.”

Teniendo en cuenta la norma, las Empresas de Servicios Públicos, actualmente tienen la obligación de generar alternativas para evitar cualquier tipo de vertimiento que afecte la calidad del agua y particularmente como lo dice el numeral 3 el vertimiento de lodos o sedimentos generados en el proceso de tratamiento de aguas.

8.5 Beneficios Ambientales

El análisis presentado con anterioridad desde el punto de vista financiero, plantea unas condiciones que podrían parecer poco prácticas en términos de beneficios. Sin embargo, existen otro tipo de beneficios representativos e importantes en un carácter social, estético, paisajístico y ambiental.

Los beneficios ambientales, parten de la necesidad de generar un proceso poco impactante en el medio, que no afecte la vida sea animal, vegetal o humana, e incluso mejore las características paisajísticas y recreativas del ambiente.

La disposición de lodos en cuerpos de agua, según diversos actores genera diferentes problemas ambientales:

Según Francisco Ramírez 2008³¹, La descarga de residuos en las corrientes naturales de agua, llega a plantear problemas importantes, ya que, si bien estos residuos son principalmente inorgánicos, van formando depósitos o “bancos de fango” en los tramos lentos del cauce, a la vez que aumentan la turbiedad y el color de las aguas receptoras, disminuyendo la actividad fotosintética de las plantas acuáticas.

Por otro lado, como lo mencionan Gallo, J. y Uribe, J.C (2003), las aguas superficiales utilizadas como manantiales están sujetas también a la contaminación por formas naturales: escorrentías de acción del agua sobre las rocas y también escorrentías de acción del agua sobre el medio, tales como la aplicación de fertilizantes, pesticidas y disposición de residuos industriales y domésticos. Este aspecto tiene gran importancia, pues esas sustancias pueden estar presentes en los residuos generados (Lodo).

Si bien, estos fertilizantes, pesticidas, residuos industriales y domésticos, se encuentran ya en el agua, la generación de lodo por sedimentación en las plantas de potabilización, concentra todos estos residuos que se encontraban diluidos, generando así un impacto mayor una vez se realiza la descarga. Por otro lado, es importante resaltar, los valores estéticos implícitos en las corrientes acuáticas en las cuales, se podrían estar generando importantes impactos para efectos de su utilización presente y futura, sea de uso recreativo o incluso para uso humano.

Otros efectos relacionados con la disposición de estos lodos en cuerpos de agua, tienen que ver con la composición de lodo. Esto, en referencia al caso específico del componente de aluminio que es utilizado en algunas plantas de potabilización en el Departamento de Risaralda, como es el caso de La Virginia, Dosquebradas, Belén de Umbría y Marsella.

Según Mc Bride, 1994. El aluminio ha sido clasificado con un nivel medio de fototoxicidad para plantas terrestres, con concentraciones de 5 a 200 mg/g, secando los tejidos de las plantas, mostrando así, ser tóxico para las mismas. Por otro lado, también se ha encontrado que los iones aluminosos son tóxicos para los peces, considerando niveles mayores a 0,5 mg/l (Freeman y Everhart, 1971)³².

³¹ Francisco Ramírez Quirós, 2008. Lodos Producidos en el Tratamiento del Agua Potable.

³² Mc Bride, 1994, Freeman y Everhart, 1971, George et al., 1991, Referencias tomadas de: Kaggwa R.C., Mulalelo, C.I., Denny, P., Okurut, T.O. 2001. The Impact Of Alum Discharges On A Natural Tropical Wetland In Uganda. Elsevier Science Ltd, Great Britain.

También, el aluminio es tóxico para las bacterias marinas, algas y organismos bentónicos (George et al., 1991) así como cuando se moviliza en arroyos, pantanos y lagos, puede ser una amenaza para la vida acuática. Otro efecto secundario generado por los iones de aluminio, es su habilidad para adherirse fuertemente a los fosfatos, inmovilizándolos. En consecuencia, la no-natural presencia del aluminio en el ambiente, puede tener graves impactos por su interferencia en el ciclo del fósforo, el cual se encuentra en humedales, la biota, y sedimentos del agua. (Kaggwa, 2001)

De acuerdo a Mejía y Delvasto³³, (1998), ha sido comprobado en varios ensayos que la aplicación de lodos de hidróxido de aluminio disminuye la disponibilidad de fósforo asimilable por las plantas, puesto que estos lodos contienen grandes cantidades de óxidos hidratados de hierro y aluminio que puedan ligar el fósforo soluble. Al respecto Rose et al, (2001), estableció un efecto negativo de los lodos aluminosos en el ciclo del fósforo, ya que los iones de aluminio fijan fuertemente a los fosfatos, inmovilizándolos y dejándolos no disponibles como nutrientes para la vegetación acuática, por lo que se puede inferir que los lodos aluminosos inducen a la eutroficación.

Por otro lado, Gallo, J. y Uribe, J.C (2003), mencionan también algunos efectos en la salud humana, entre los cuales relacionan la afección de las células cerebrales y cardíacas resultado de la deficiencia en el funcionamiento de las células renales quienes son afectadas por las concentraciones de aluminio que no son rápidamente eliminadas en las excreciones.

8.6 Selección de la alternativa

Finalmente, la selección de la alternativa para el manejo de lodos, obedece a criterios más allá del análisis económico del mismo.

1. Las condiciones normativas del país, obligan a las Empresas de servicios Públicos a tomar medidas para cualquier tipo de vertimientos, incluyendo los lodos.
2. Las condiciones o estudios ambientales, si bien, corresponden en su mayoría a efectos que no son inmediatos, representan en la actualidad un riesgo latente para las condiciones de disponibilidad del recurso hídrico para la población futura.

³³ Mejía R. y Delvasto S. 1998. Aprovechamiento de lodo aluminoso generado en el proceso de potabilización del agua. Cali. Citado por: Hernández, D. (2006). Aprovechamiento de lodos aluminosos (de la etapa de sedimentación) de sistemas de potabilización como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos. Tesis de Maestría Universidad del Valle.

3. Teniendo en cuenta, que el análisis económico y financiero, constituye un consumo de recursos, esto, no significa que la posibilidad de ser implementado se descarte, aún más partiendo de los factores mencionados (ambiental y Legal).

De acuerdo a la relación Costo-Beneficio, la alternativa más apropiada para ser implementada, será aquella cuyo factor B/C se acerque mayormente a 1, que según Arturo Infante Villareal, 1997, no constituye ni pérdidas ni ganancias por la implementación del proyecto.

Tabla 42. Relación Beneficio Costo Final

Municipios	ACB Lechos de Secado	ACB Filtros Prensa
<i>La Virginia</i>	(\$ 0,05)	(\$ 0,09)
<i>Guática</i>	(\$ 0,00005)	(\$ 0,00002)
<i>La Celia</i>	(\$ 0,0022)	(\$ 0,0007)
<i>Balboa</i>	(\$ 0,03)	(\$ 0,01)
<i>Mistrató</i>	(\$ 0,02)	(\$ 0,005)
<i>Dosquebradas</i>	(\$ 0,56)	(\$ 0,25)
<i>Pueblo Rico</i>	(\$ 0,04)	(\$ 0,02)
<i>Apia</i>	(\$ 0,16)	(\$ 0,08)
<i>Belén de Umbria</i>	(\$ 0,07)	(\$ 0,04)

Como se muestra en la tabla 42, en la relación costo-beneficio, se presentan los valores correspondientes a las alternativas de manejo de lodos. En esta, encontramos que los datos para los lechos de secado, en casi todos los municipios se acercan en mayor proporción a 1. La Virginia a excepción de los demás municipios, el valor más cercano a 1 se relaciona con los filtros de prensa.

9 CONCLUSIONES

- Las tasas retributivas, según la normatividad, corresponde a elementos sancionatorios para aquellas organizaciones que realizan algún tipo de vertimiento que impacte negativamente en el ambiente. No obstante, esta herramienta debe ser reformulada de modo que las tasas se conviertan en la presión suficiente para que las empresas que realicen estos vertimientos tengan la necesidad de implementar alternativas para el control de los mismos.
- De acuerdo a la relación de Costo y Beneficio, de la aplicación de las alternativas de manejo de lodos, se puede concluir que la alternativa más viable son los lechos de secado.
- A diferencia de los demás municipios, la Virginia, por las características del efluente en términos de Sólidos Suspendidos y su fuerte producción de lodo, mencionada en el anexo B, y posteriormente en los factores de dimensionamiento de unidades en el anexo D. presenta altos costos en términos de construcción del lecho de secado, dejando como resultado una preferencia importante hacia filtros de prensa.
- El municipio de Dosquebradas, si bien, está presente en el análisis, es necesario aclarar que la PTAP Acuaseo solo abastece a una parte de la población del municipio, por lo que para un análisis completo del municipio, es necesario realizar este mismo ejercicio con la otra E.S.P, Servicudad.
- En municipios como la Celia, Mistrató y Guática la producción calculada de lodos es realmente pequeña en comparación con los demás municipios.
- De acuerdo al decreto 3930 del 2010 que reglamenta los vertimientos en la actualidad, las Empresas de Servicios Públicos tienen la responsabilidad de invertir e implementar alternativas de manejo de estas descargas, por lo cual, es determinante, que la actual contextualización se extienda de manera particular a cada municipio; con la finalidad de establecer un parámetro de referencia en términos de inversión que sea de utilidad para las E.S.P.
- En términos de beneficios ambientales, en la actualidad no se cuentan con estudios en zonas cercanas a nuestro contexto en cuanto a los efectos del vertimiento de lodo. Sin embargo, es importante considerar, que dado la falta de control por vertimientos en las plantas de potabilización de agua en nuestra región, las acumulaciones de elementos como el aluminio, entre otros, ya pueden estar interfiriendo con procesos naturales como es el

ciclo del fosforo y modificando las características naturales del agua, disminuyendo la posibilidad de disponer de ella en el futuro.

- Esta herramienta metodológica, si bien, no está relacionada en el análisis del ejercicio, de acuerdo a los avances normativos, se constituirá como en un nuevo incentivo económico para los generadores de vertimientos, y para el caso de una nueva investigación, en un nuevo factor para un análisis de Beneficios y Costos.

10. RECOMENDACIONES

- Es importante, realizar estudios e investigaciones, en torno a la calidad y característica del lodo; con el fin de evaluar la posibilidad de reutilizar el mismo, en la elaboración de materiales de construcción u otros sub productos.
- Es recomendable, llevar a cabo una investigación que establezca como base, el impacto ambiental que tiene el vertimiento de lodo aluminoso producido en las Plantas de Potabilización de Agua en Risaralda.
- Es recomendable que las E.S.P acojan este tipo de iniciativas como base para dar manejo a sus vertimientos y evitar futuras sanciones.

11. BIBLIOGRAFÍA

- *Agenda Ambiental Del Municipio De Apia, Carder 2005*
- *Agenda Ambiental del Municipio de Balboa, Carder 2005*
- *Agenda Ambiental del Municipio de Belén de Umbría, Carder 2005*
- *Agenda Ambiental del Municipio de La Celia, Carder 2004*
- *Agenda Ambiental Municipio de Guática Carder, 2002*
- *Agenda Ambiental Municipio de Marsella, Carder 2005.*
- *Agenda Ambiental Municipal de Mistrató, Carder, 2005*
- *Agenda Ambiental Municipio de Santuario, Carder 2005*
- *Agenda ambiental Pueblo Rico, Carder 2005*
- Alcaldía de Dosquebradas www.dosquebradas.gov.co
- Alcaldía de la Virginia www.lavirginia-risaralda.gov.co
- Banco de la República de Colombia www.banrep.gov.co
- Bolsa de Valores de Colombia www.bvc.com.co
- BELTRÁN, Arlette y CUEVA, Hanny. (2003). Evaluación Privada de Proyectos. Ed. Universidad del Pacífico. 2a ed. p. 293-334
- Comisión Nacional del Agua, 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Guía para el Manejo, Estabilización y Disposición de Lodos Químicos. www.cna.gob.mx
- Constitución Política de Colombia, 1991

- Corporación Autónoma Regional de Risaralda (Mapas) www.carder.gov.co
- DANE, (2010. Colombia, Índices de Precios al Consumidor (IPC), Variaciones Porcentuales 1995-2010. Dirección Electrónica: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/ipc/dic11/IPC_Variacion.xls
- Decreto 3100 de 2003. por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
- Decreto 1713 de 2002, Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Decreto 1594 de 1984, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
- Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
- Dixon J., Pagiola S., 1998. Análisis Económico y Evaluación Ambiental. Indicators and Economic Valuation Unit, Environment Department. Tomado de: Environmental Assessment Sourcebook Update. Publicación No. 23. Environment Department World Bank.
- Edmundo Pedroza Gonzales, 2001, Canal Parshall. Serie Autodidactica de Medición. Coordinación de Tecnología Hidráulica. Subdirección general de Administración del Agua. CNA.
- Francisco Ramírez Quirós, 2008. Lodos Producidos en el Tratamiento del Agua Potable.
- Gallo, J.A, Uribe, J.C, (2003). Reutilización de Lodos de planta de Potabilización en el Tratamiento de Aguas Residuales. Trabajo de Pregrado para la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Gobernación de Risaralda: www.risaralda.gov.co

- Grupo de investigación en Agua y Saneamiento GIAS, 2010. Selección y Dimensionamiento de Alternativas para el Manejo de Lodos Provenientes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Acuaseo S.A. ESP, Apia, Balboa, Belén de Umbría, Guática, La Celia, La Virginia, Marsella, Mistrató, Pueblo Rico y Santuario.
- Hernández, D. (2006). Aprovechamiento de lodos aluminosos (de la etapa de sedimentación) de sistemas de potabilización como agregado en la fabricación de ladrillos cerámicos. Tesis de Maestría Universidad del Valle.
- Infante V, A. 1997. Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión. Editorial Norma S.A, Colombia.
- Kaggwa R.C., Mulalelo, C.I., Denny, P., Okurut, T.O. 2001. The Impact Of Alum Discharges On A Natural Tropical Wetland In Uganda. Elsevier Science Ltd, Great Britain.
- Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
- *Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada, Organización Panamericana de la Salud, 2004*
- Martínez, F.D, (2010). Evaluación económica de la recirculación de aguas de Lavado proveniente de las unidades de filtración rápida de La planta de potabilización manantiales, Tesis de especialización en la Universidad de Antioquia.
- Max Lothar Hex 1976. Acondicionamiento y desaguado Filtraciones al vacío, prensa y lechos de secado. Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico en defensa del Medio Ambiente. Sitio Web: Organización Panamericana de la Salud <http://www.bvsde.paho.org>
- Max Lothar Hex, 1976. Reducción y disposición final de lodos, Incineración, Relleno, Disposición en el Terreno. Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico en defensa del Medio Ambiente. Sitio Web: Organización Panamericana de la Salud <http://www.bvsde.paho.org>

- Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II, Título C, sistemas de potabilización.
- Norma técnica Colombiana NTC – 5667- Gestión Ambiental. Calidad del agua. Parte 13: Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas.
- Pascual Rocabert, J. 2006, Los Criterios Valor Actual Neto y Tasa Interna de Rendimiento. Revista electrónica sobre la enseñanza de la Economía Pública N° 2, Departamento de Economía Aplicada, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Autónoma de Barcelona. Campus de Bellaterra, 08193–Bellaterra, España.
- Guerrero J. Planes de saneamiento y manejo de vertimientos - Departamento de Risaralda. 2007.
- Ramos A. F, Duque C, Pérez D, 2008. Propuesta Para El Manejo De Los Lodos Aluminosos Generados En La Planta De Tratamiento De Agua Potable Villa Santana, Municipio De Pereira, Risaralda.
- Sandoval, L., Flores L.M., Motellano L., Morán, M.A., Rubí, R., Sánchez, L., Santana, M.L., Vásquez, S., Martín, A. (1998) Tratabilidad de los Lodos Producidos en la Potabilización del Agua. Seminario Regional Bienal sobre Potabilización Filtración. Septiembre de 1998. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Taylor, G. J. 1989. Aluminium toxicity and tolerance in plants. Acidic precipitation; biological and ecological effects. In Advances in Environmental Science, Vol. 2, eds D. C. Adriano and A. H. Johnson, pp. Springer, New York.
- Villegas, J.D, Castaño J.M, Paredes D. (2005). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en Plantas de potabilización de agua. Scientia et Technica Universidad Tecnológica de Pereira.
- Zamora, A, Pérez, M. 2003. Selección de tecnología de sistemas de potabilización de agua: metodología para la compatibilización entre costos económicos y ambientales. Conferencia internacional usos múltiples del agua: para la vida y el desarrollo sostenible, AGUA 2003 Cartagena de Indias.

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D

ANEXO E

ANEXO F

ANEXO G

ANEXO H

ANEXO I