

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN MÓDULO DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA PEQUEÑAS EMPRESAS DE JUGOS CÍTRICOS EN  
BOGOTÁ”

---

Trabajo de Grado



**MARIANA ARAQUE PINZÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
BOGOTÁ ABRIL 23 DE 2012

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN MÓDULO DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA PEQUEÑAS EMPRESAS DE JUGOS CÍTRICOS EN  
BOGOTÁ”**

**MARIANA ARAQUE PINZÓN**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2012**

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN MÓDULO DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA PEQUEÑAS EMPRESAS DE JUGOS CÍTRICOS EN  
BOGOTÁ”**

**MARIANA ARAQUE PINZÓN**

**Propuesta de Trabajo de Grado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Industrial**

**DIRECTOR  
CARLOS EDUARDO NAVARRETE SÁNCHEZ  
Ingeniero Industrial**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2012**

# CONTENIDO

Pág.

LISTA DE GRÁFICOS .....	7
LISTA DE TABLAS .....	8
LISTA DE ANEXOS.....	9
1 GENERALIDADES .....	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	13
1.4 MARCO TEÓRICO .....	17
1.4.1 Contaminación del Agua.....	17
1.4.2 Medición de la Contaminación.....	18
1.4.3 Aguas Residuales y Vertimientos. ....	18
1.5 OBJETIVOS .....	21
1.5.1 Objetivo General.....	21
1.5.2 Objetivos Específicos. ....	21
2 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS INDUSTRIALES GENERADAS POR LA INDUSTRIA DE JUGOS CÍTRICOS EN BOGOTÁ.....	22
2.1 ENCUESTA SOBRE VERTIMIENTOS .....	23
2.1.1 Ficha Técnica de la Encuesta.....	24
2.1.2 Análisis de la Encuesta.....	25
2.2 ORIGEN DE LOS RESIDUOS.....	33
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	35
2.3.1 Residuos Inorgánicos. ....	35
2.3.2 Residuos Orgánicos. ....	35
2.3.3 Residuos Químicos. ....	35
2.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS .....	36

3	TECNOLOGÍA EXISTENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	39
3.1	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	39
3.2	TECNOLOGÍA DE PUNTA USADA EN EL TRATAMIENTO DE AGUA.....	40
3.2.1	Osmosis Inversa.....	40
3.2.2	Sistemas de Filtrado Eficiente. ....	41
3.2.3	Sistemas Avanzados de Desinfección del Agua. ....	43
3.3	TECNOLOGÍA APLICABLE A PEQUEÑAS EMPRESAS .....	45
3.3.1	Coagulación y Floculación.....	46
3.3.2	Lechos Biológicos.....	47
3.3.3	Tanques de Lodos Activos. ....	48
3.3.4	Tratamiento Microbiológico Anaerobio y Aerobio.....	48
3.3.5	Humedales Artificiales. ....	49
3.4	TECNOLOGÍA EXISTENTE EN LATINOAMÉRICA.....	49
3.4.1	Principales Proveedores de Tecnología para Tratamiento de Aguas en la Región. 49	
3.4.2	Tecnologías Aplicadas en algunas Empresas de Bogotá. ....	52
4	NORMATIVIDAD SOBRE EL VERTIMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES EN COLOMBIA.....	54
4.1	NORMAS AMBIENTALES DE VERTIMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS .....	54
4.2	CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD V/S SU APLICACIÓN EN PEQUEÑAS EMPRESAS .....	59
5	PROPUESTAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA .....	63
5.1	ALTERNATIVAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	63
5.1.1	Alternativa 1 - Planta de Tratamiento Industrial Compacta. ....	63
5.1.2	Alternativa 2 – Planta de Tratamiento Modular. ....	67
5.1.3	Alternativa 3 - Planta de Tratamiento Industrial Electromecánica. ....	69
5.2	ESCOGENCIA DE LA PROPUESTA QUE MEJOR SE ADAPTE .....	71
5.3	DESARROLLO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ESCOGIDA .....	75

5.3.1	Descripción de la Planta de Tratamiento. ....	76
5.3.2	Espacio Útil Requerido. ....	80
5.3.3	Ubicación de la Planta de Tratamiento dentro de la Empresa.....	81
5.3.4	Especificaciones de Diseño y Método Constructivo.....	82
5.3.5	Manual de Funcionamiento y Mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Vertimiento de Aguas Residuales. ....	86
6	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	89
6.1	EVALUACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	89
6.1.1	Valor del Sistema de Tratamiento.....	89
6.1.2	Análisis de Precios Unitarios. ....	90
6.2	VIABILIDAD FINANCIERA.....	94
	CONCLUSIONES.....	101
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
	ANEXOS.....	107

# LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
GRÁFICO 01. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PRODUCCIÓN DE JUGOS CÍTRICOS.....	34
GRÁFICO 02. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA USO AGRÍCOLA.....	39
GRÁFICO 03. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA OSMOSIS INVERSA.....	41
GRÁFICO 04. FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN DEL AGUA.....	45
GRÁFICO 05. LECHO BIOLÓGICO.....	46
GRÁFICO 06. JESCO - AGUAS LATINAS MÉXICO.....	49
GRÁFICO 07. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS Y SERVICIOS LTDA.....	49
GRÁFICO 08. UNITEK.....	50
GRÁFICO 09. LENNTECH.....	50
GRÁFICO 10. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS COMPACTA.....	63
GRÁFICO 11. DIAGRAMA DE FLUJO ALTERNATIVA 1.....	64
GRÁFICO 12. PLANTA DE TRATAMIENTO DE MODULAR.....	66
GRÁFICO 13. DIAGRAMA DE FLUJO ALTERNATIVA 2.....	67
GRÁFICO 14. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES ELECTROMECAÁNICA.....	68
GRÁFICO 15. DIAGRAMA DE FLUJO ALTERNATIVA 3.....	69
GRÁFICO 16. PLANTA DE TRATAMIENTO DE MODULAR.....	74
GRÁFICO 17. INSPECCIÓN DE NATAS Y LODOS.....	78

# LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 01. INDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ. CONCENTRACIONES AJUSTADAS Y CARGAS MEDIAS DE LOS PRINCIPALES POLUCTANTES (EN MG/L Y TON/DÍA).....	15
TABLA 02. VERTIDOS INDUSTRIALES.....	20
TABLA 03. CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN TRES PUNTOS DIFERENTES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.....	36
TABLA 04. RESULTADO DE TRATABILIDAD DE AGUAS UTILIZADAS EN EL LAVADO DE NARANJA.....	37
TABLA 05. SISTEMAS DE FILTRADO EFICIENTE.....	41
TABLA 06. SISTEMAS AVANZADOS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA.....	43
TABLA 07. DIFERENTES MONTAJES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO EN BOGOTÁ.....	51
TABLA 08. NORMATIVIDAD SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA.....	54
TABLA 09. NORMATIVIDAD APLICABLE.....	56
TABLA 10. NORMATIVIDAD EN CUANTO A LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LOS VERTIMIENTOS INDUSTRIALES.....	57
TABLA 11. CRITERIOS DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS INDUSTRIALES.....	58
TABLA 12. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	65
TABLA 13. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	67
TABLA 14. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	70
TABLA 15. EXPLICACIÓN DE CRITERIOS A EVALUAR.....	72
TABLA 16. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS EVALUADOS.....	73



# LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1. ENCUESTA SOBRE VERTIMIENTOS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 2. PLANO DEL DISEÑO DEFINITIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	
<b>PROPUESTA.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO 3. COTIZACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>101</b>

# 1 GENERALIDADES

En este capítulo se hace una introducción al objeto de este trabajo de grado, definiendo el problema que se pretende solucionar, especificando los parámetros contaminantes de los vertimientos provenientes de la industria de alimentos y específicamente de las empresas de jugos cítricos. Por último se plantean los objetivos del proyecto.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La humanidad, siendo la única especie capaz de ejercer su dominio sobre el medio, y a su vez la que posee el potencial de conocer y entender los fenómenos de la naturaleza; siendo además, la única que puede idear soluciones a los problemas que ella misma genera, es paradójicamente protagonista de un desequilibrio ambiental mundial sin antecedentes, generado por la producción incontrolable de sustancias tóxicas y residuos artificiales de alta permanencia. La cruda realidad ambiental que nos rodea no es más que el resultado de una sociedad consumista donde la balanza favorece a las industrias, al comercio y a la moda, más que a la salud.<sup>1</sup>

Lo anterior nos lleva a darnos cuenta que es hora de preocuparnos por el medio ambiente o en pocos años vamos a terminar autodestruyendo nuestro planeta. La ONU estima que dos terceras partes de la humanidad están en riesgo de sufrir de sed dentro de los próximos treinta años. Esto se debe en gran parte, a que como la Organización Mundial de la Salud señala, *“en América Latina sólo el 10% de las aguas residuales colectadas en alcantarillados reciben algún tratamiento antes de ser dispuestas en los cuerpos de agua, como ríos y mares. Esto significa que alrededor de 400 m<sup>3</sup>/s de desagües vienen contaminando el medio ambiente y constituyen un vector de transmisión de parásitos, bacterias y virus patógenos”<sup>2</sup>.*

Para tener más claro el tema se considera que el agua está polucionada cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que bajo esas condiciones no puede ser empleada para los diferentes usos que pueden hacerse en su estado natural, ésta

---

<sup>1</sup>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ. Medio ambiente en Colombia, Contaminación. [en línea]

<[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion4/capitulo10/04\\_10\\_04.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion4/capitulo10/04_10_04.htm)>

<sup>2</sup> Moscoso, Egocheaga, & de la Torre. Manual del usuario para la Formulación y Evaluación del Proyecto Integrado, Organización Panamericana para la Salud 2005.

definición según la Organización Mundial de la Salud<sup>3</sup>. Estas alteraciones pueden darse sobre las propiedades físicas, biológicas y químicas del agua, disminuyendo así su potabilidad para el consumo humano y su potencial de uso para actividades agrícolas o industriales.

De otro lado, el sector industrial es uno de los principales contaminantes, dado que no aplica un pre tratamiento o tratamiento a las aguas industriales antes de ser vertidas en los alcantarillados públicos. En algunos casos se han implementado algunos sistemas que permiten un tratamiento previo del agua, sin embargo la mayoría de empresas no cumple con la normatividad en relación al vertimiento de aguas industriales. La situación ambiental debida al vertimiento de aguas industriales crea problemas económicos, puesto que los residuos que generan las industrias alteran fuertemente los cuerpos de agua, el aire, la capa de ozono y crean problemas en la composición de la tierra. Es por esto que es necesario mirar la normatividad existente con relación al cuidado del medio ambiente, y revisar si las empresas hacen un seguimiento de las leyes, y en qué medida pueden tratar de solucionar los problemas que ocasionan.

En relación a la contaminación generada por la industria en Colombia, de acuerdo a los estudios del Departamento Nacional de Planeación<sup>4</sup>, cada día la industria manufacturera, la agropecuaria, la agroquímica, la petrolera, las fábricas, la explotación minera, los vehículos y los colombianos tiran cerca de 13.000 toneladas de sustancias contaminantes al aire, 9.000 toneladas de materia orgánica, 5 millones de metros cúbicos de aguas residuales y más de 15.000 toneladas de basura en la tierra. A esto se agregan los miles de toneladas de compuestos químicos, los tóxicos y los patógenos que son esparcidos en la tierra, el agua y el aire.

Dentro de las industrias contaminantes de las aguas colombianas, los procesos relacionados con el sector de alimentos, al consumir gran cantidad de agua son los principales aportantes de vertimientos orgánicos industriales; como resultado, aumentan la demanda biológica de oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua, y los residuos de biomasa (RB) en el agua o el suelo. Estos últimos pueden ser de origen animal o vegetal, y pueden tener un potencial importante de aprovechamiento que no es explotado al máximo. Los efectos en el agua a partir de la contaminación generada por la industria alimentaria son las alteraciones de diferentes parámetros tales como: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sustancias peligrosas, espumas, turbidez y color. Para simplificar la explicación de estos

---

<sup>3</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ, Op.cit.

<sup>4</sup> Departamento de Planeación Nacional (2009), Estadísticas de contaminación empresarial.

contaminantes los dos primeros tiene que ver con la disminución de oxígeno en el agua causando su putrefacción, los cuatro siguientes son sustancias que van al agua causando su contaminación, juntos causan la muerte de vida en el agua.<sup>5</sup>

Aunque en Colombia existen alrededor de 170 plantas de tratamiento de aguas residuales, se calcula que del volumen de agua generado por el sector urbano, sólo el 0.21% recibe tratamiento antes de ser descargado a los cuerpos de agua. En promedio, las plantas liberan un 19% de agua en las mismas condiciones en que es recibida. Existen grandes inequidades por departamentos: Mientras Cundinamarca dispone de 24 plantas de tratamiento, Chocó, con 22 municipios y Cauca con 39 no poseen ninguna. En el departamento del Valle, sólo el 12% de los municipios cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales. En el distrito de Barranquilla sólo el 1% de las aguas industriales y el 6% de las aguas domésticas reciben manejo adecuado. Entre los ríos que actualmente reciben aportes constantes y considerables de aguas residuales sin tratar, se encuentran el Río Magdalena, el Río Cauca y el Río Bogotá.<sup>6</sup>

La población se ve seriamente afectada por toda la contaminación, por esta razón es tan importante desarrollar mecanismos que le permitan a las empresas ayudar a la conservación del medio ambiente, a la vez que cumplen con la normatividad exigida y se protegen, las mismas empresas, del riesgo jurídico por el no cumplimiento de las leyes. Por lo tanto, se deben desarrollar propuestas que permitan encontrar soluciones reales en condiciones multifacéticas de la industria y deben hacer parte de la política ambiental como una forma de herramienta y cumplimiento de la regulación y normatividad del vertimiento de aguas industriales.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es factible construir un módulo integrado de tratamiento de aguas residuales, que permita a las pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá, cumplir con la normatividad existente en cuanto al vertimiento de aguas industriales para disminuir la contaminación?

---

<sup>5</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ, Op.cit.

<sup>6</sup> Ibíd.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Se decide trabajar el tema relacionado con el tratamiento de aguas residuales en el contexto de la ingeniería debido a su importancia que los temas ambientales tiene en la actualidad, y especialmente en la ciudad de Bogotá, para ayudar a mitigar el problema del medio ambiente en relación a los recursos naturales que se utilizan en la fabricación de jugos cítricos. Así mismo, se considera un asunto relativamente reciente y es necesario mirar las iniciativas que se pueden brindar desde la ingeniería industrial para contribuir al cuidado del medio ambiente y para diseñar herramientas que las pequeñas empresas citrícolas de Bogotá puedan utilizar en pro del mejoramiento integral.

El tema surge a partir de los problemas actuales como son la necesidad de optimizar los recursos naturales, la problemática medioambiental y su relación con el crecimiento económico, no sólo en Colombia, sino en todo el mundo. Otra de las razones que llevan al desarrollo de este proyecto es lo que tiene que ver con el marco legal, las industrias en su gran mayoría no cumplen con la legislación de vertimiento de aguas industriales, dado que no cuentan con sistemas mínimos de tratamiento de agua dentro del proceso productivo para el vertimiento de las mismas, que les permita cumplir con la regulación medioambiental. Esta situación también tiene efectos en la eficiencia de la producción y la optimización de los recursos naturales.

Además, en este trabajo se analizará la tecnología existente en el estado del arte con relación al tratamiento de aguas residuales como una de las herramientas claves que permite la solución a la problemática. Es importante tener en cuenta que la regulación ambiental y las normas de vertimiento, a su vez, describen la tecnología necesaria para el tratamiento del agua. Colombia muestra una deficiencia significativa en investigación, desarrollo e innovación tecnológica que pueden incidir directamente en el desarrollo de tecnología para el tratamiento de aguas. Esto plantea una necesidad de reconocer y avanzar en el desarrollo tecnológico orientado a sistemas para el tratamiento del agua, concretamente en la producción de pulpa y jugos cítricos que hacen parte de la industria de alimentos, con el fin de establecer herramientas para el cumplimiento de la normatividad medioambiental y en aprovechamiento de las ventajas comparativas que tiene Colombia con respecto a otros países.

El proceso de tratamiento del agua tiene una estrecha relación con la problemática ambiental en especial con la contaminación de los cuerpos de agua, dado que cuando no se aplica algún tipo de tratamiento de las aguas residuales industriales se origina una

problemática de contaminación, el incumplimiento en la normatividad por parte de empresas es una constante que se viene presentado y con esto, intensificación del problema. La regulación ambiental existe pero al mismo tiempo las herramientas para su cumplimiento presentan diferentes obstáculos y en algunos casos no son aplicables.

En el país, una de las principales fuentes de contaminación de agua es la evacuación directa de aguas residuales, ya sea proveniente de las residencias, fábricas, minas u otros. Las sustancias más peligrosas provienen fundamentalmente de los residuos tóxicos, reactivos, inflamables y combustibles que produce la minería, la industria manufacturera, particularmente la industria del procesamiento del petróleo, la industria química y la industria de curtiembres (IDEAM, 1998). La industria de alimentos y bebidas participa activamente en el aporte diario de 688 toneladas de materia orgánica e inorgánica a los ríos del país.<sup>7</sup>

La problemática de vertimiento de aguas industriales ha afectado de manera significativa uno de los principales cuerpos de agua como es el río Bogotá, *“desde su nacimiento hasta su desembocadura, los aportes de aguas residuales hacen que el río Bogotá presente niveles crecientes de contaminación biológica, química y física, en la medida en que recibe las descargas de sus distintos tributarios, lo que lo convierte en la mayor alcantarilla abierta de Colombia”*<sup>8</sup>. La siguiente tabla muestra los valores de contaminación medida en el río Bogotá, un gran porcentaje corresponde a vertimiento de aguas industriales, se analizan los diferentes parámetros junto con las zonas por donde transita el río.

---

<sup>7</sup> Ibíd.

<sup>8</sup> Pérez Preciado, Alfonso. El Problema del Río Bogotá. [en línea] <<http://www.alverde vivo.org/Documentos/EL%20PROBLEMA%20DEL%20RIO%20BOGOTA.pdf>>

**Tabla 01. Indicadores de la contaminación del río Bogotá. Concentraciones ajustadas y cargas medias de los principales poluciantes (en mg/l y ton/día)**

PARA-METRO	LA BAL-SA	LA VIR-GEN	PUEN-TE CUND.	LA ISLA	LAS HUER-TAS	PUEN-TE PORTILLO	SAL-SI-PUE-DES	SAL-TRE	FU-CHA	TUN-JUELO
DBO5	13.68	13.94	98.81	35.51	143.52	17.84	33.90	123.62	131.96	281.48
	10.64	12.65	138.30	79.77	403.00	66.28	134.73	58.74	102.61	97.28
DETERG	2.70	0.61	3.02	1.49	3.72	0.26	0.28	2.70	1.49	3.44
	1.28	0.55	4.22	3.34	10.44	0.96	1.11	1.28	1.16	1.19
ST	374.57	364.89	567.82	207.38	707.03	578.69	415.38	374.57	464.35	993.90
	177.99	331.03	794.77	465.86	1985.34	2149.95	1650.89	177.99	361.08	343.49
SS	169.31	32.79	154.52	39.53	138.91	343.34	210.19	169.31	184.16	440.72
	80.46	29.75	216.28	88.80	390.06	1275.58	835.38	80.46	143.20	152.31
CROMO	0.02	0.02	0.05	0.01	0.05	0.04	0.08	0.02	0.03	0.28
	0.009	0.018	0.070	0.022	0.140	0.149	0.318	0.009	0.023	0.097
Hg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PLOMO	0.13	0.03	0.04	0.02	0.05	0.03	0.07	0.13	0.08	0.07
	0.062	0.027	0.056	0.045	0.140	0.111	0.278	0.062	0.062	0.024
HIERRO	2.84	3.01	4.66	1.42	3.60	5.92	35.47	2.84	3.60	5.70
	1.35	2.73	6.52	3.19	10.11	21.99	140.97	1.35	2.80	1.97

Fuente: CAR Datos ajustados para caudales medios. El primer dato es de concentración y el segundo de carga, para cada estación.

Según el DAMA y la Procuraduría han encontrado que de las más de 2.000 empresas de la ciudad de Bogotá, sólo un 25% poseen licencia del Ministerio de Salud o han cumplido con los requisitos exigidos. La Procuraduría, en su informe sobre la contaminación de Bogotá, pidió a la Secretaría de Salud Pública del Distrito (SSD) tomar las medidas del caso e intervenir las empresas contaminantes<sup>9</sup>.

En cuanto a la regulación en el Distrito la Secretaria de Ambiente Distrital con el objetivo de implementar las buenas prácticas ambientales ha generado diferentes estrategias entre estas capacitaciones a empresarios con lo cual y según la secretaria se han obtenido los siguientes resultados<sup>10</sup>: debido al uso de buenas prácticas ambientales, tales como el uso eficiente del agua y la energía, y la disminución de impactos ambientales en residuos, emisiones y vertimientos, con el 76% de estas empresas, se lograron aprovechar 102.831 toneladas de residuos sólidos convencionales, con un beneficio económico de más de 18 mil millones de pesos. Además, ahorraron 154.413 metros cúbicos de agua, disminuyeron su consumo de energía en 181.365 giga julios y dejaron de generar 6.795 toneladas de residuos peligrosos. Este tipo de iniciativas demuestra, una vez más, la importancia de este tema y el impacto ambiental positivo tan grande que produce.

<sup>9</sup> Encolombia (2009). Situación en Bogotá. [en línea]

<<http://www.encolombia.com/medicina/neumologia/neumologia15403-contaminacion4.htm>>

<sup>10</sup> Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá Cómo Vamos en Ambiente, Marzo de 2008

En Colombia, según la ley para el fomento de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa, Ley 590, las pequeñas empresas son aquellas que tienen un personal entre 11 y 50 trabajadores y unos activos totales mayores a 501 y menores a 5.001 salarios mínimos mensuales legales vigentes. El aporte de la micro, pequeña y mediana empresa industrial refleja, según la Encuesta Anual Manufacturera, como en el panorama empresarial colombiano las pequeñas y medianas empresas representan el 96.4% de los establecimientos, aproximadamente el 63% del empleo; el 45% de la producción manufacturera, el 40% de los salarios y el 37% del valor agregado. Son más de 650.000 empresarios cotizando en el sistema de seguridad social. La distribución geográfica de las unidades, establece que la PYME en términos generales sigue la misma tendencia del total de la industria manufacturera y reúne prácticamente el 70% en los cuatro (4) principales centros productivos: Cundinamarca–Bogotá, Antioquia, Valle y Atlántico. Según datos de Confecámaras, en el 2001 existían en Colombia 43.242 pequeñas empresas y 8.041 medianas. La encuesta señala también que en el 2000 existían alrededor de 7.600 establecimientos industriales con más de 10 trabajadores.<sup>11</sup> De aquí la importancia de centrar el tema en las pequeñas empresa, ya que el impacto va a ser mayor, además por que no cuentan con los recursos suficientes para la realización de investigaciones sobre el tema entonces es una forma de contribuirles con la problemática.

La razón fundamental de que las pequeñas empresas no cumplan con la normatividad exigida por los entes gubernamentales para solucionar el problema de los vertimientos contaminantes es básicamente la carencia de personal en las empresas lo suficientemente capacitado para buscar soluciones como son las plantas de tratamiento, y en el evento de que logren llegar a esta solución el otro problema es de tipo económico, para lograr obtener los diseños de la solución. Se busca entonces, con este trabajo de grado poder entregárselo a agremiaciones como las cámaras de comercio y las oficinas de ACOPI, a través de las cuales los pequeños empresarios puedan hacer uso de él de forma gratuita y solucionar en parte el problema.

La idea del trabajo es desarrollar el diseño de un módulo integral de tratamiento de agua que le permita a las pequeñas empresas de jugos cítricos cumplir con la normatividad en cuanto a los vertimientos industriales de una manera fácil y económica. Con la implementación del diseño del módulo que estará disponible para estas empresas se estaría contribuyendo a la solución del problema de contaminación de los vertimientos de esta industria. Es importante tener en cuenta el desarrollo de unidades integrales para el tratamiento del agua dado que se estandarizan ciertos tratamientos con el fin de retirar la carga contaminante que vierten las industrias en las aguas residuales y así llega un agua

---

<sup>11</sup> Negociemos en Colombia. Sección PYMES. [en línea] <<http://www.businesscol.com/empresarial/pymes/>>



que cumple con los límites máximos permitidos a las plantas de tratamiento de agua municipales.

En los procesos de la industria de jugos cítricos siempre se utiliza agua, puesto que no existe un proceso en seco para la manipulación de las frutas, por lo tanto el problema que se plantea en relación a la contaminación del agua utilizada para desarrollar los procesos de pelado y extracción de pulpa se estarían minimizando si se ajustan a la normatividad en cuanto al tratamiento de aguas. Con la propuesta se está atacando el problema desde la fuente pues el agua residual de la industria se trata antes de ser vertida y esto permite que el agua no tenga que ser tratada más adelante en las plantas municipales.

Otra de las grandes ventajas de efectuar un tratamiento a estos vertimientos es que se pueden utilizar en procesos que no requieren condiciones tan asépticas como en el lavado inicial de la fruta, en el lavado de la infraestructura de la empresa y en los sanitarios.

## **1.4 MARCO TEÓRICO**

A continuación, para entender el fundamento de la propuesta del trabajo, es necesario el estudio de ciertos temas que se encuentran involucrados directamente con el objeto a tratar.

### **1.4.1 Contaminación del Agua.**

Los mayores contaminantes de los vertimientos en la industria de jugos cítricos son los residuos de origen orgánico o biológico. Para medir la concentración de contaminantes orgánicos en las aguas que resultan del uso industrial, el parámetro más utilizado es la Demanda biológica de oxígeno o (DBO), esta se define como la concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos, presentes en el agua o añadidos a ella para efectuar la medida de la medición, en la oxidación de toda la materia orgánica presente en la muestra de agua. Su valor debe ser inferior a 8 MG/l. para ser considerada como

potable. Generalmente en las aguas de origen residual este valor fluctúa entre los 200 a 300 MG/l.<sup>12</sup>

#### **1.4.2 Medición de la Contaminación.<sup>13</sup>**

La cantidad de oxígeno necesaria para la descomposición biológica aerobia de un material nutriente es el factor clave para expresar su fuerza contaminante. La prueba de demanda bioquímica (o biológica) de oxígeno (DBO) estima el oxígeno gastado en la descomposición biológica actual de una muestra residual y constituye una simulación de laboratorio del proceso de auto purificación. En una muestra de los residuos se diluye una mezcla convenientemente con una población mixta apropiada de microorganismos. Se mide la concentración del oxígeno disuelto, se incuba la mezcla a una temperatura ya determinada y, después de cierto tiempo prefijado, se mide de nuevo la concentración de oxígeno disuelto. El cambio en la cantidad de oxígeno disuelto da la cantidad de oxígeno no utilizado por los microorganismos en un tiempo determinado al metabolizar nutrientes de una cantidad de muestra residual. De este resultado se calcula la cantidad de oxígeno requerido para el tratamiento similar de un volumen normal de residuos. Las condiciones normales aceptadas son: incubación durante 5 días a 20°C y se suponen dichas condiciones si no se especifican otras.

La demanda química de oxígeno (DQO) es el oxígeno tomado por una muestra de bicromato de potasio después de 2-3 horas de reflujo con ácido sulfúrico concentrado. Casi todas las sustancias orgánicas se oxidan virtualmente en su totalidad por este procedimiento. El valor DQO da una idea del contenido orgánico total de un residuo, sea o no biodegradable. La relación DBO/DQO constituye una guía para la proporción de las materias orgánicas presentes y que son biodegradables.

#### **1.4.3 Aguas Residuales y Vertimientos.**

Se definen Aguas Residuales y Vertimientos así:

---

<sup>12</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ, Op.cit.

<sup>13</sup> *Ibíd.*

- ***Aguas Residuales.***

Se denomina aguas servidas o residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas negras o aguas cloacales. Son residuales pues, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado que incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.<sup>14</sup>

- ***Vertimiento de Aguas.***

Según la Ley de Aguas, contaminación es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica, es decir, verter elementos contaminantes. Principalmente existen tres posibles tipos de vertidos en las aguas continentales según su origen, los cuales se explican a continuación<sup>15</sup>:

- a. **Vertidos Industriales:** La tipología de los vertidos industriales es muy variada según el tipo de industria, ya que diferentes industrias provocan diferentes tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos, ya que es vital que se depuren antes de ser vertidos al colector urbano. En algunos países en vías de desarrollo que carecen de legislación al respecto o sistemas de depuración, la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante. Según el tipo de industria los vertidos más importantes que provocan son:

---

<sup>14</sup> MARSILLI ALEJANDRO, Tratamiento de aguas residuales. [en línea] <<http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>>

<sup>15</sup> SISTEMA ESPAÑOL DE INFORMACIÓN SOBRE EL AGUA, Vertidos de aguas continentales en España. [en línea] <<http://hispagua.cedex.es/>>

**Tabla 02. Vertidos Industriales**

<b>Sector Industrial</b>	<b>Principales Sustancias Contaminantes</b>
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Alimentos	En especial carga orgánica que puede afectar la DBO y DQO
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

*Fuente: SISTEMA ESPAÑOL DE INFORMACIÓN SOBRE EL AGUA, Vertidos de aguas continentales en España. [en línea] <<http://hispagua.cedex.es/>>*

Dado que estas sustancias contaminantes son limpiadas generalmente con agua en todas las industrias, estos contaminantes van a parar a los cuerpos de agua causando un gran impacto ambiental.

- b. Vertidos Urbanos:** Estas aguas son generadas por la población a través de las viviendas y el sistema de alcantarillado doméstico principalmente. Estos vertidos domésticos están compuestos por las aguas grises provenientes del lavado de ropa, utensilios y el baño de personas, y por las aguas negras provenientes de los sanitarios.
- c. Vertidos de la Agricultura y Ganadería:** Los trabajos agropecuarios producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo General.

Proponer un modelo de bajo costo y fácil implementación de un módulo de tratamiento de aguas residuales para pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá, que les permita cumplir con la normatividad ambiental y disminuir la contaminación de cuerpos de agua.

### 1.5.2 Objetivos Específicos.

1. Identificar y clasificar los diferentes tipos de residuos contaminantes de las aguas industriales generadas por la industria de jugos cítricos en Bogotá.
2. Conocer la tecnología existente en relación al tratamiento de aguas industriales.
3. Describir las normas aplicadas a la industria de jugos cítricos en relación al vertimiento de aguas industriales en Colombia.
4. Plantear las diferentes propuestas de módulos de tratamiento de agua y escoger la que mejor se adapte a pequeñas empresas del sector de jugos cítricos.
5. Efectuar la evaluación financiera de la propuesta seleccionada.

*El problema de contaminación en la ciudad de Bogotá es de tal magnitud y de tan difícil y costosa solución que mientras cada uno de los sectores que contribuyen a esa contaminación no haga su aporte en solucionar este problema jamás se lograra una solución aceptable.*

*El objeto de este trabajo es apuntarle a solucionar el problema de contaminación en el sector de alimentos, concretamente en las empresas productoras de jugos cítricos en Bogotá, proponiendo el diseño de un módulo de tratamiento de aguas residuales que sea de fácil aplicabilidad, de bajo costo y fácil implementación.*

## 2 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS INDUSTRIALES GENERADAS POR LA INDUSTRIA DE JUGOS CÍTRICOS EN BOGOTÁ

La industria de alimentos ha venido presentando un crecimiento importante en el mundo, esto debido al aumento poblacional e industrial en los últimos años. La producción de alimentos es una necesidad creciente que a su vez ha demandado una mayor cantidad de recursos agrícolas entre algunos, situación que también ha llevado a una mayor generación de residuos. La producción cítrica como parte de la industria de alimentos ha venido creciendo e igualmente generando una mayor cantidad de residuos.<sup>16</sup>

Para poder desarrollar objetivamente el presente trabajo es necesario saber el tipo de residuos contaminantes de los vertimientos que vamos a tratar. Para esto en este capítulo se define tanto el origen como la clasificación de estos residuos contaminantes.

Antes de hacer una descripción de la clasificación de residuos es importante establecer una aproximación de la cantidad de residuos generados por la industria cítrica. Para producir una tonelada de jugo se requieren aproximadamente de 2,400 Kg de fruta, es decir el 42 % es jugo y el 58 % restante lo constituyen los siguientes desperdicios: la cáscara, la pulpa y el hueso<sup>17</sup>.

Las principales frutas que se procesan en la producción de jugos cítricos en Bogotá son: Naranja Valencia, Naranja Tangelo, Mandarina Clementina, Mandarina Oneco, Limón Tahiti y limón común del Magdalena (pajarito).<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> UNIDO. Manual de producción Más Limpia para el Sector Industrial Cítrico 2007. Consultado el 15 de febrero de 2012. Disponible en:

[http://www.unido.org/fileadmin/user\\_media/Publications/Pub\\_free/Manual\\_de\\_produccion\\_mas\\_lim\\_pia\\_para\\_el\\_sector\\_industrial\\_citricola.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Publications/Pub_free/Manual_de_produccion_mas_lim_pia_para_el_sector_industrial_citricola.pdf)

<sup>17</sup> Itzincab L., Chan M., Domínguez R. Utilización de los residuos de vegetales tropicales como materia prima para biorefinerías. Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Yucatán 2004, p 5

<sup>18</sup> Cámara de Comercio de Bogotá.

## 2.1 ENCUESTA SOBRE VERTIMIENTOS

Para obtener la información necesaria y poder desarrollar este proyecto es preciso efectuar una encuesta a empresas productoras de jugos cítricos y recolectar así los datos.

Según la Cámara de Comercio de Bogotá hay registradas 64 pequeñas empresas productoras de jugos cítricos en la ciudad.

Para definir el tamaño de la muestra de la encuesta ya que la población es conocida y pequeña se utiliza el modelo Ji cuadrada de Pearson:

$$n = \frac{X^2 NP(1 - P)}{d^2(N - 1) + X^2 P(1 - P)}$$

Donde:

n = Tamaño muestra

$X^2 = 3.841$  para el 95%.

d = 0.05 para el 95%.

P = 0.5.

N = 64

Reemplazando estos valores anteriores en la formula se obtiene que el tamaño de la muestra debe ser:

$$n = 29,57$$

Teniendo en cuenta este resultado se efectúan telefónica y presencialmente 30 encuestas a empresas escogidas aleatoriamente de las registradas en la Cámara de Comercio de la ciudad. Los resultados de la encuesta permiten definir específicamente los vertimientos y

por consiguiente la solución adecuada para su tratamiento desde el punto de vista de la tecnología y cumplimiento de la normatividad existente.

### 2.1.1 Ficha Técnica de la Encuesta

- **Diseño y realización**

La encuesta ha sido desarrollada por la autora de este proyecto.

- **Universo**

Pequeñas empresas productoras de jugos cítricos en Bogotá, registradas en la Cámara de Comercio de esta ciudad.

- **Tamaño de la muestra**

30 empresas.

- **Área de cobertura:** Todas las empresas se sitúan en Bogotá.

- **Muestreo**

Se realiza un muestreo aleatorio simple, ya que la población es pequeña y se cuenta con el listado de empresas, para evitar sesgo en la información se utiliza la función de aleatorio en Excel para escoger la muestra.

- **Nivel de confianza**

Nivel de confianza del 95% y error  $\pm 5\%$  para el análisis global.

- **Tipo de encuesta**

Encuesta presencial y telefónica.

- **Diseño de la muestra**

Con la información de la Cámara de Comercio de Bogotá, se estableció que la población base de este estudio es de 64 empresas.

La fórmula utilizada para el cálculo final de la muestra fue el modelo Ji cuadrada de Pearson, determinando un tamaño de 30 empresas.

La muestra es confiable ya que se cuenta con la lista de la población para la escogencia de ésta y son todas las pequeñas empresas productoras de jugos cítricos en Bogotá



registradas en la Cámara de Comercio, esto permite tener una copia lo más fiel posible de la población.

En el Anexo 1 se adjuntan las 30 encuestas efectuadas y a continuación se encuentra el análisis a éstas:

### 2.1.2 Análisis de la Encuesta

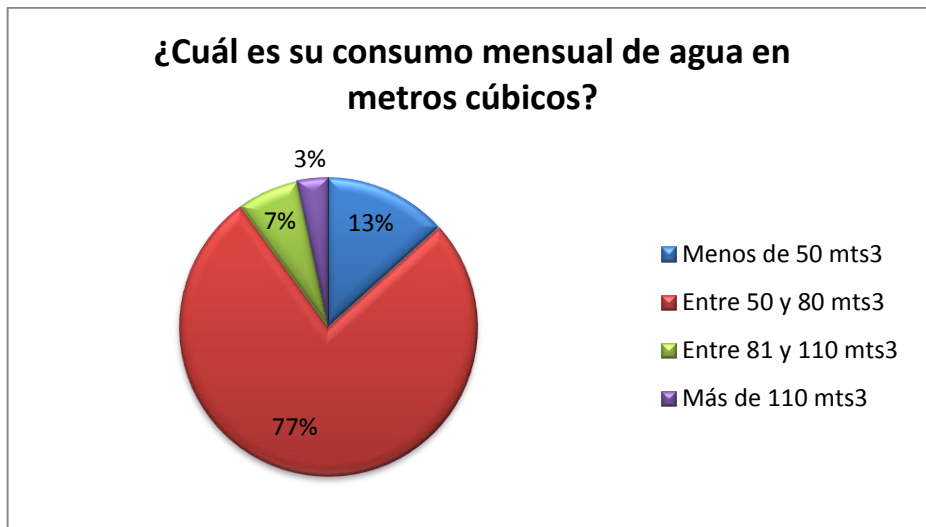
#### 1. ¿En su proceso productivo utiliza agua?

<b>Si</b>	30
<b>No</b>	0
<b>Total</b>	<b>30</b>

El cien por ciento de las empresas entrevistadas dijo utilizar agua en su proceso productivo, esta característica hace aceptable a las empresas para que sean investigadas en cuanto a la normatividad ambiental y los procesos de tratamiento del agua.

#### 2. ¿Cuál es su consumo mensual de agua en metros cúbicos?

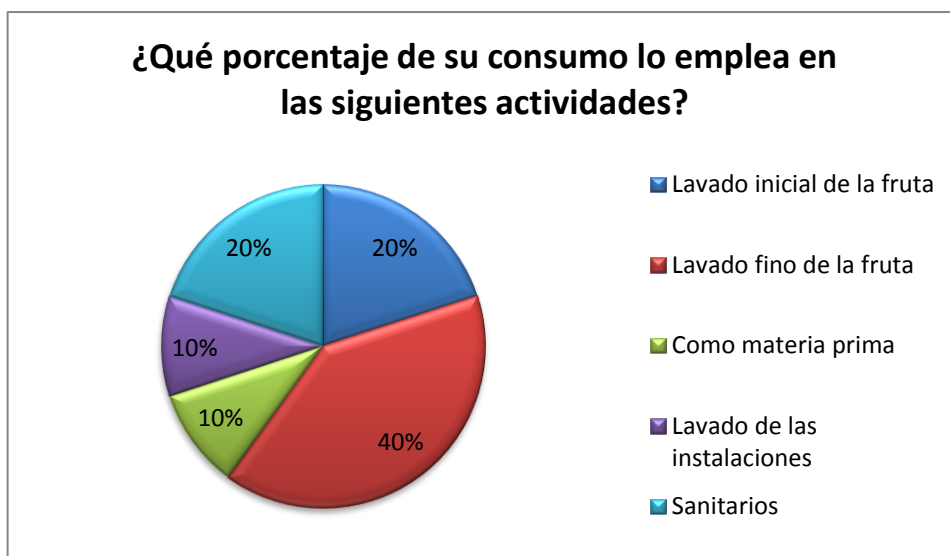
a) Menos de 50 mts <sup>3</sup>	4
b) Entre 50 y 80 mts <sup>3</sup>	23
c) Entre 81 y 110 mts <sup>3</sup>	2
d) Más de 110 mts <sup>3</sup>	1
<b>Total</b>	<b>30</b>



Como se ve en el gráfico, el 90% de las empresas consumen hasta 80 mts<sup>3</sup> mensuales, caudal con el que se debe trabajar.

### 3. ¿Qué porcentaje de su consumo lo emplea en las siguientes actividades?

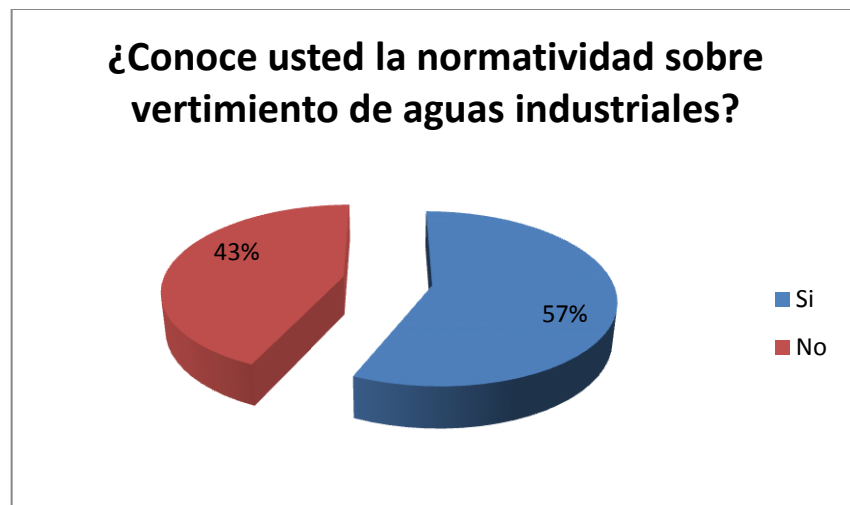
a) Lavado inicial de la fruta	20%
b) Lavado fino de la fruta	40%
c) Como materia prima	10%
d) Lavado de las instalaciones	10%
e) Sanitarios	20%
<b>Total</b>	<b>100%</b>



En cuanto al porcentaje de consumo que las empresas emplean en sus diferentes actividades, el 40% lo emplean en el lavado fino de la fruta, el 20% en el lavado inicial de la fruta, otro 20% en los sanitarios, 10% en el lavado de las instalaciones y otro 10% como materia prima.

**4. ¿Conoce usted la normatividad sobre vertimiento de aguas industriales?**

<b>Sí</b>	17
<b>No</b>	13
<b>Total</b>	<b>30</b>



Uno de los aspectos importantes se refiere al conocimiento de la normatividad en cuanto vertimiento de aguas industriales, según la encuesta el 57% de las empresas sí conoce por lo menos la existencia de la normatividad y con esto la idea de que el agua debe ser tratada antes de ser vertida. El 43% dice no conocer la norma en cuanto vertimiento de aguas industriales, se denota una falta de difusión de información necesaria para conocer la normatividad.

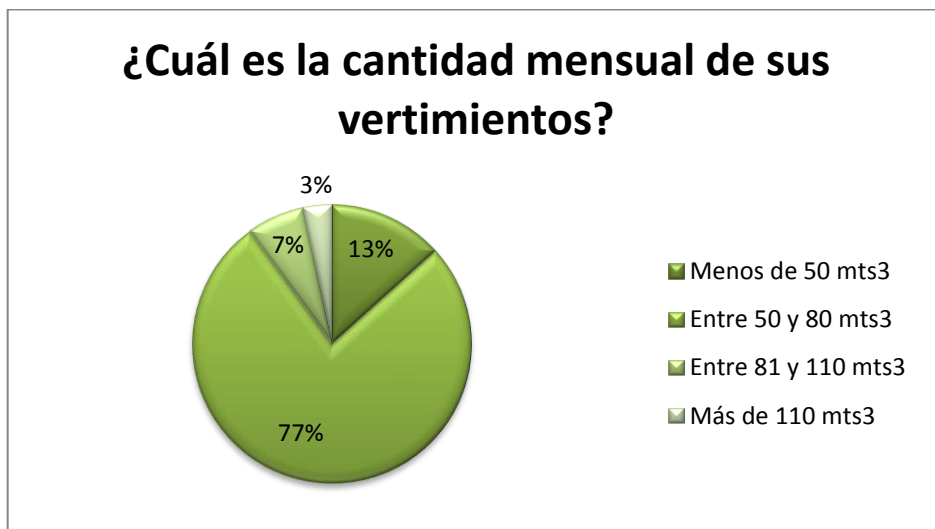
**5. ¿Qué sustancias contaminan las aguas residuales de su empresa?**

a) Residuos Inorgánicos	30
b) Residuos orgánicos	30
c) Residuos Químicos	30
d) Residuos sólidos	30

Según el 100% de estas empresas procesadoras de frutas para la producción de pulpa y jugos, la contaminación que se genera en el agua resultante del proceso productivo proviene de residuos inorgánicos, orgánicos y químicos además de residuos sólidos. La contaminación química corresponde a elementos utilizados en el lavado de utensilios y en los ácidos provenientes de los cítricos.

**6. ¿Cuál es la cantidad mensual de sus vertimientos?**

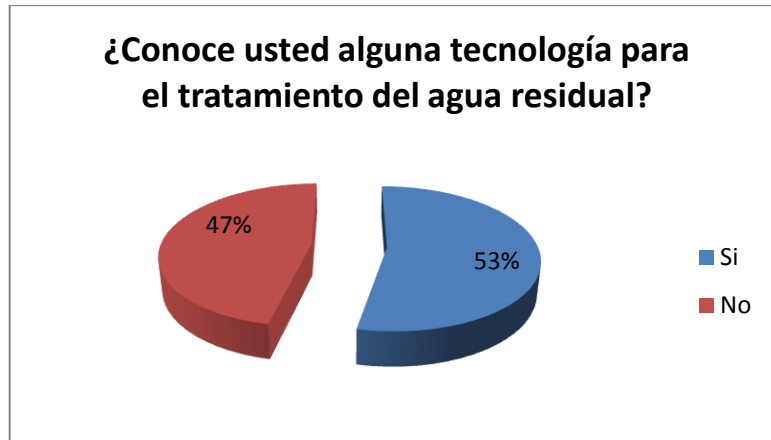
a) Menos de 50 mts <sup>3</sup>	4
b) Entre 50 y 80 mts <sup>3</sup>	23
c) Entre 81 y 110 mts <sup>3</sup>	2
d) Más de 110 mts <sup>3</sup>	1
<b>Total</b>	<b>30</b>



El servicio de alcantarillado está en función del servicio de acueducto, por lo tanto este volumen es muy similar a los rangos establecidos para consumo y vertimiento, no en cifras exactas dado que hay un consumo de agua en la producción de jugos y una pequeña pérdida en el proceso productivo. Como se ve en el gráfico, el 90% de las empresas vierten hasta 80 mts<sup>3</sup> mensuales, esto demuestra que las empresas que han hecho parte de la muestra son pequeñas y el consumo de agua no alcanza grandes volúmenes.

**7. ¿Conoce usted alguna tecnología para el tratamiento del agua residual?**

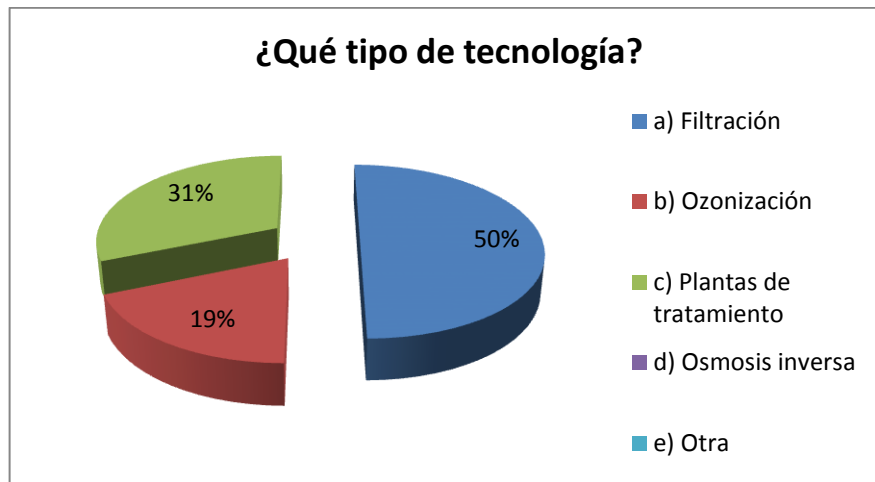
<b>Sí</b>	16
<b>No</b>	14
<b>Total</b>	<b>30</b>



En relación al conocimiento de tecnología para el tratamiento del agua residual, el 53% de las empresas encuestadas conoce alguna tecnología, mientras que el 47% no conoce ninguna.

**¿Qué tipo de tecnología?**

a) Filtración	8
b) Ozonización	3
c) Plantas de tratamiento	5
d) Osmosis inversa	0
e) Otra	0
<b>Total</b>	<b>16</b>

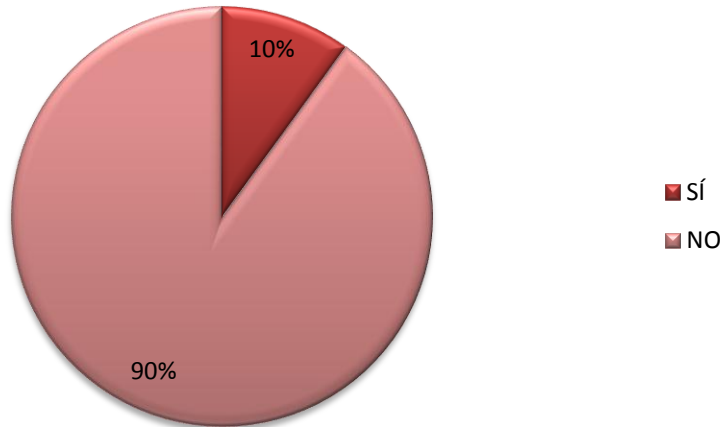


En cuanto al tipo de tecnología que conocen las empresas encuestadas, éstas se refieren su mayor parte al proceso de filtración, que es un proceso ampliamente conocido y extendido para usos domésticos e industriales. Se ha establecido un porcentaje del 50% con conocimiento en el proceso de filtración para el tratamiento del agua, el 31% conoce algunos de los procesos que implican las plantas de tratamiento para el agua, entiéndase por plantas de tratamiento un completo sistema donde se aplican diferentes procesos para tratar el agua, y sólo el 13% conoce el proceso de la ozonización, mientras que ninguna de las empresas conoce la ósmosis inversa u otro tipo de tecnología avanzada. Al parecer la tecnología para el tratamiento del agua no se ha difundido de manera eficiente al interior de las empresas que pueden utilizarla para cumplir la normatividad.

**8. ¿Tiene algún sistema de tratamiento de agua para cumplir con la normatividad ambiental relacionada con el vertimiento de aguas?**

<b>Sí</b>	3
<b>No</b>	27
<b>Total</b>	<b>30</b>

**¿Tiene algún sistema de tratamiento de agua para cumplir con la normatividad ambiental relacionada con el vertimiento de aguas?**

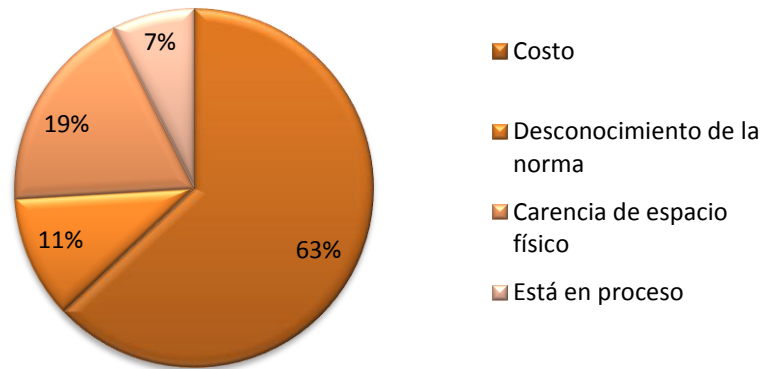


Según la encuesta el 10% dice tener un sistema para cumplir con la normatividad, mientras que el 90% dice no tener un sistema de tratamiento de agua, es importante aclarar que el conocimiento de la normatividad no implica que las empresas tengan implementado un sistema de tratamiento que les permita cumplir con ésta.

**9. Si la respuesta anterior fue No, indique la razón por la cual no ha implementado algún sistema de tratamiento?**

a) Costo	17
b) Desconocimiento de la norma	3
c) Carencia de espacio físico	5
d) Está en proceso	2
<b>Total</b>	<b>27</b>

**Si la respuesta anterior fue No, indique la razón por la cual no ha implementado algún sistema de tratamiento?**

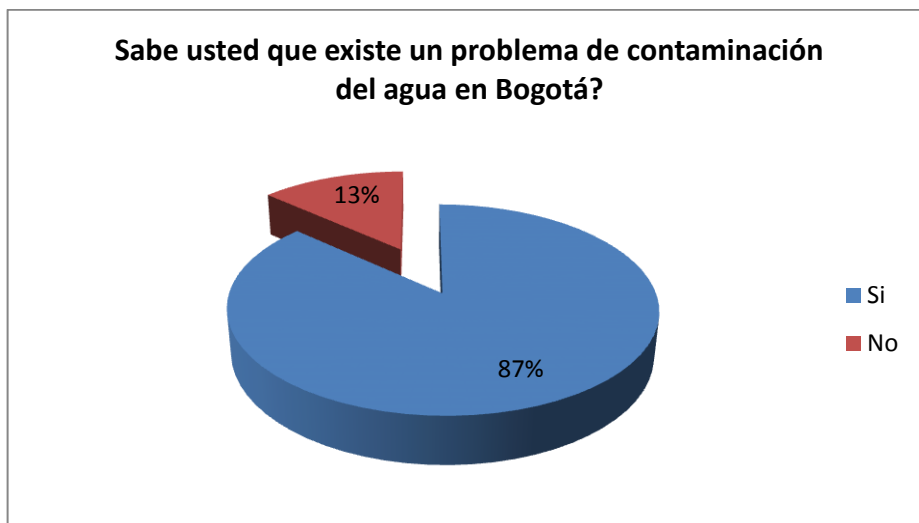


Como se puede ver en el gráfico la mayoría de las empresas no tiene implementado un sistema de tratamiento de vertimientos por falta de recursos económicos. He aquí la importancia de diseñar un sistema o módulo de tratamiento de aguas residuales para las pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá que les permita cumplir con la normatividad existente y contribuir con el mejoramiento del medio ambiente en lo que a vertimientos se refiere.

**10. Sabe usted que existe un problema de contaminación del agua en Bogotá?**

<b>Si</b>	26
<b>No</b>	4
<b>Total</b>	<b>30</b>





En cuanto al conocimiento del problema de contaminación del agua en Bogotá, el 87% dijo conocerlo, mientras el 13% dice no conocerlo. El conocer el problema no implica que tengan la posibilidad de solucionarlo, confirmando lo visto en la pregunta anterior donde se muestra que la razón principal por lo que estas empresas no han instalado un sistema de tratamiento de agua que ayude a disminuir la contaminación de cuerpos de agua es porque no cuentan con los recursos económicos suficientes.

## 2.2 ORIGEN DE LOS RESIDUOS<sup>19</sup>

El origen principal de los residuos en los vertimientos en la producción de jugos cítricos es:

- Durante el lavado de las frutas que se van a procesar.
- Durante el proceso industrial para la producción propiamente dicha de los jugos cítricos.
- Durante el aseo permanente de las áreas donde se desarrollan los procesos industriales.

Para información y manejo de términos y procedimientos, describimos a continuación el proceso que se sigue para la producción de jugos cítricos.

---

<sup>19</sup> UNIDO, Op.cit.

*Sistemas de recepción:* La fruta fresca pasa por un primer lavado donde se le quita la suciedad, hojas y tierra. Luego se hace una primera selección y clasificación de la misma.

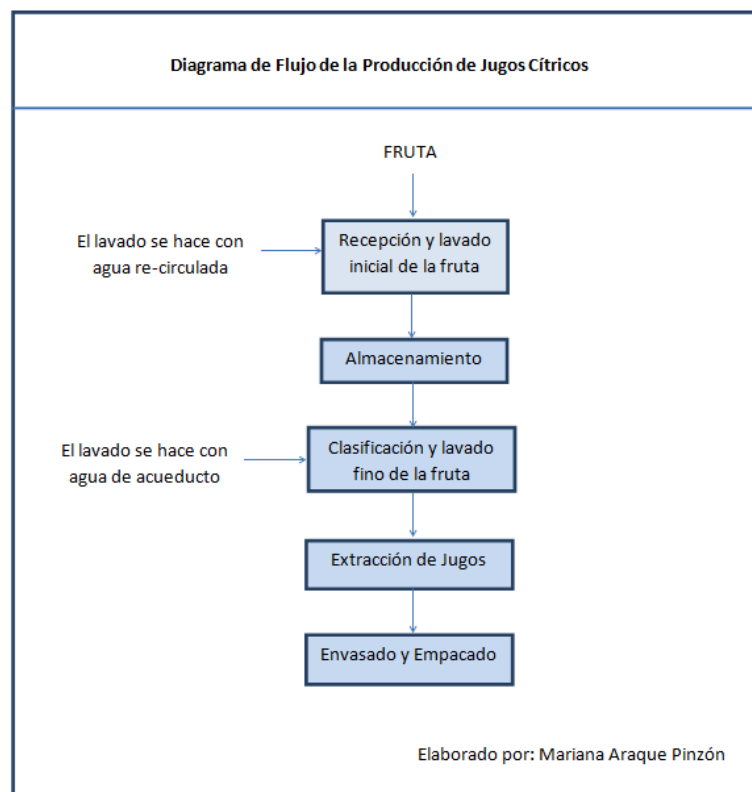
*Sistemas de almacenamiento de la fruta:* Los cítricos son llevados hasta los sitios de almacenamiento.

*Clasificación y lavado de la fruta:* Los cítricos son clasificados y lavados de nuevo. La clasificación es muy importante dado que diferentes tamaños de cítricos requieren extractores de tamaños diferentes para garantizar así un jugo de calidad.

*Línea de extracción de cítricos:* El zumo es extraído y exprimido evitando que algún tipo de aceites contenidos en la piel pase al mismo, igual que otros componentes contaminantes.

*Envasado y Empacado:* El jugo es envasado en unidades de varios volúmenes y posteriormente empacados para su despacho.<sup>20</sup>

**Gráfico 01. Diagrama de Flujo de la Producción de Jugos Cítricos**



<sup>20</sup> MACHINEPOINT. Procesado de cítricos [en línea].  
<[http://www.machinepoint.com/foodtechnologies/machinery.nsf/beverage\\_technology/procesamiento\\_de\\_c%C3%ADtricos.html](http://www.machinepoint.com/foodtechnologies/machinery.nsf/beverage_technology/procesamiento_de_c%C3%ADtricos.html)>

Como se puede ver en el diagrama del proceso de fabricación de jugo cítrico concentrado el proceso comienza con la recepción de materia prima seguida del lavado, la selección y clasificación de las frutas cítricas. En esta primera fase se habrán generado gran parte de los residuos, lo que hace importante la implementación del proceso tanto de tratamiento de aguas residuales como de manejo de residuos sólidos.

## **2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS**

La clasificación de los residuos generados por las pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá, que contaminan las aguas servidas, según su origen son<sup>21</sup>:

### **2.3.1 Residuos Inorgánicos.**

Están compuestos principalmente por tierra proveniente del lavado de las frutas que se van a procesar y son los que generan los sólidos suspendidos en el vertimiento.

### **2.3.2 Residuos Orgánicos.**

Están compuestos por desechos provenientes de cáscaras, pulpas y semillas que resultan del proceso de extracción de los sumos.

### **2.3.3 Residuos Químicos.**

Están compuestos por ácidos, álcalis, materiales tóxicos como los aceites esenciales, que son descargados en distintas etapas del proceso. También grasas provenientes de los jabones y detergentes utilizados para la limpieza de la planta.

El proceso de producción de jugos cítricos al igual que los procesos de la industria de alimentos también genera residuos sólidos y gaseosos.

---

<sup>21</sup> UNIDO, Op.cit

Dentro de los residuos sólidos proveniente del procesamiento industrial de cítricos, se encuentran la cáscara, pulpa y semillas. Estos sólidos son retirados de los vertimientos mediante el uso de coladores y tamices convencionales. Se estima que la cantidad de residuos sólidos es proporcional al 40% del peso de la fruta y los residuos líquidos al 10% de la fruta procesada.<sup>22</sup>

También hay emisiones gaseosas a la atmósfera generadas por el uso de portadores energéticos durante los procesos de concentración del jugo, la transportación del personal y del producto terminado así como la utilización de gases refrigerantes en las cámaras de enfriamientos.

## **2.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS**

A continuación se presenta la caracterización de las aguas residuales de la industria de alimentos, esto permite establecer una referencia en cuanto a los parámetros de contaminación provenientes de las aguas residuales de esta industria. La tabla muestra los datos medidos en tres puntos diferentes del efluente de la industria de alimentos de la ciudad de Bogotá.

---

<sup>22</sup> Ibid.

**Tabla 03. Caracterización de agua residual de la industria de alimentos en tres puntos diferentes de la ciudad de Bogotá**

PUNTOS (Concentraciones)				
PARAMETROS	1	2	3	Rango. Permissible de Descarga
Temperatura	28	32	28	+/- 3
PH	6.8	4.75	6.75	6 a 9
Amonio Total (mg/l)	1.0	0.4	0.8	No hay dato
Amoniaco (mg/l)	0.007	0.0028	0.0056	No hay dato
NH4+ (mg/l)	0.993	0.3972	0.2944	No hay dato
NO2 (mg/l)	0.09	0.23	0.14	No hay dato
NO3 (mg/l)	2.2	8.2	4.4	No hay dato
Fósforo (mg/l)	0.2	2.0	0.2	No hay dato
Oxígeno (mg/l)	2.2	5.4	0.8	4 a 6
Dureza Total (mg/l)	135.3	480.6	174.4	120
DBO5 (mg/l)	4.0	132.6	20.0	Remoción 80% carga
DQO (mg/l)	10.0	180.0	27.7	Remoción 80% carga
Sólidos T (mg/l)	586	2906	570	200 a 250
Sólidos suspendidos (mg/l)	8.0	839.0	4.0	Remoción 80% carga
Sólidos Disueltos (mg/l)	578	2067	566	1000 a 1500
Aceites y Grasa (mg/l)	74.0	150.0	79.0	Ausencia
Contaje de aerobios (Col/ml)	2000	INC.	2400	No hay dato
Hongos y levaduras (Col/ml)	10	20	10	No hay dato
Coliformes totales (Col/ml)	11000	>11000	>11000	1000 a 1500
Ident. Bact. Gram (Presencia)	E.freundii	E.freundii	E.freundii	Presencia

*Fuente: Gestión y diseño de una planta de tratamiento de residuos industriales líquidos para una industria de alimentos octubre de 2002.*

La contaminación que genera el sector de alimentos y su impacto ambiental por la gestión inadecuada llevó a la creación de normas para controlarla y al menos minimizar su efecto nocivo al medio ambiente.

La producción de jugos y pulpa de cítricos presenta algunas ventajas en cuanto al tipo de aguas residuales que se generan comparado con la producción de alimentos en general. A continuación se muestra un ejemplo de la caracterización del agua utilizada en el lavado de naranja que ha sido tratada con el fin de cumplir con la normatividad de descontaminación exigida, este ejemplo muestra que el agua no posee una carga contaminante significativa si se compara con otro tipo de aguas.

**Tabla 04. Resultado de tratabilidad de aguas utilizadas en el lavado de naranja**

ITEM	UNIDADES	06/07/20	02/08/2007	20/09/2007
VOLUMEN MUESTRA	ml	800	800	800
TURBIEDAD INICIAL	UNT	21	28	24
TEMPERATURA	°C	-	29	27
pH INICIAL	U pH	4.6	7.9	8.2
CONCENTRACIÓN	%	10	10	10
DOSIS ÓPTIMA	ml	1	2	2
TURBIEDAD REMANENTE	UNT	1	4	1
REMOCIÓN	%	95.2	85.7	95.8
pH FINAL	U pH	6.4	7.3	7.6
TIEMPO FORMACION FLOC	s	1	1	3

*Fuentes: Aproximaciones a los parámetros diseño y operación de un sistema de tratamiento de las aguas de lavado de naranja 2009.*

En esta tabla se muestra como es el comportamiento de la turbiedad y el pH, además se analiza la dosis óptima de coagulante químico que permite la precipitación de la carga contaminante del agua, en cuanto a los indicadores de contaminación se puede decir que estos se ajustan a los valores arrojados por aguas residuales industriales utilizada en el procesamiento de cítricos.

De esta caracterización de aguas utilizadas en la industria de procesamiento de frutas se puede concluir que es necesario el tratamiento de los efluentes antes de que el agua sea vertida a los desagües, según los valores arrojados el sistema de tratamiento debe ser suficiente para que pueda cumplir con la reglamentación exigida en cuanto al vertimiento.

*Se han identificado y clasificado los residuos contaminantes de las aguas industriales generadas por las empresas de jugos cítricos en Bogotá, que son los que deben ser tratados para lograr que los vertimientos de estas empresas cumplan con los límites máximos permitidos por la normatividad, a la vez que contribuyen con un agua más limpia que llega a los alcantarillados y posteriormente a los ríos ayudando con el cuidado del medio ambiente. Se clasifican estos residuos como inorgánicos, orgánicos y químicos.*

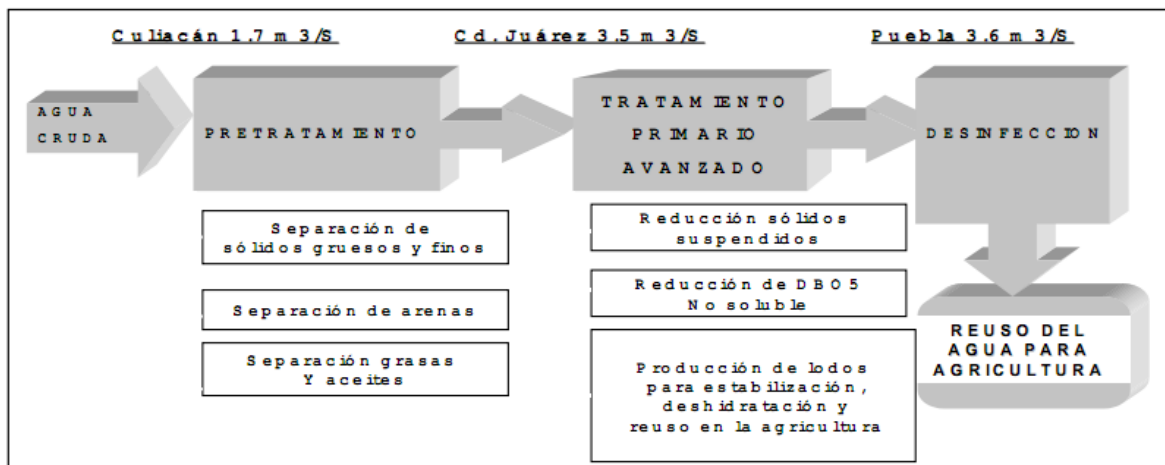
### 3 TECNOLOGÍA EXISTENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

En este capítulo se revisan todo tipo de tecnologías existentes para el tratamiento de aguas residuales, incluyendo lo más avanzado en esta materia así como lo aplicable a pequeñas empresas. También se presentan las empresas productoras de plantas de tratamiento en Latinoamérica.

#### 3.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Es importante conocer el proceso de tratamiento de las aguas residuales. En el siguiente gráfico se muestra paso a paso el proceso de tratamiento que comienza con la entrada de agua cruda (vertimiento), seguida de un pre tratamiento y un tratamiento avanzado junto con la desinfección; el resultado mínimo esperado es el de agua de re uso para agricultura, pero de igual manera se puede aplicar para otros procesos productivos, en cada proceso del diagrama se describe el tratamiento aplicado al agua para su purificación.

**Gráfico 02. Proceso de tratamiento de aguas para uso agrícola**



*Fuente: Keime Patrice. Esquema innovador para el tratamiento de aguas negras y su reuso en México, 2002.*

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

- a. Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
- b. Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado.
- c. Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (coagulación-floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.
- d. Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

### **3.2 TECNOLOGÍA DE PUNTA USADA EN EL TRATAMIENTO DE AGUA**

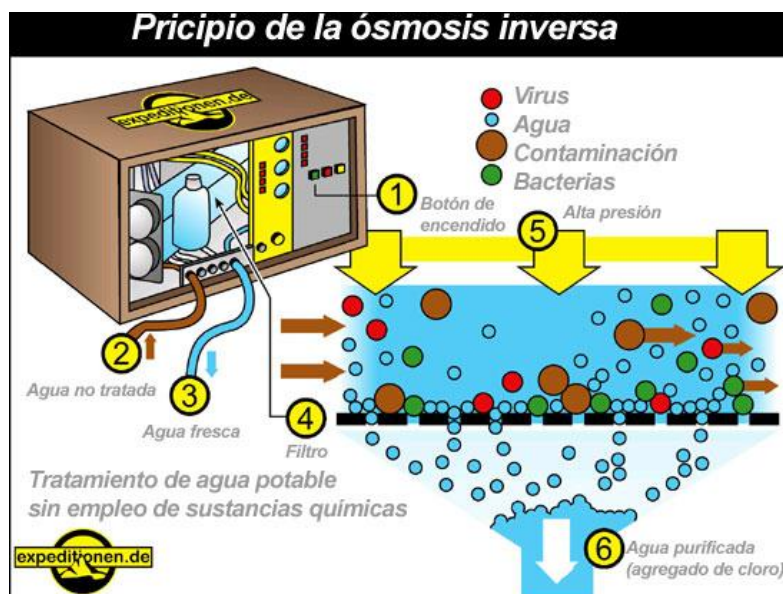
En cuanto a la tecnología de punta utilizada para el tratamiento de agua existe una diversidad importante que se ha desarrollado en los últimos años, el desarrollo tecnológico ha permitido en esta área un significativo crecimiento que ha mejorado los estándares en la calidad de vida. Sea cual sea la tecnología que se use para el tratamiento del agua se debe tener en cuenta un pre tratamiento, tratamiento primario o físico, tratamiento secundario o biológico y tratamiento terciario que normalmente implica una cloración. A continuación se presentan las principales tecnologías de punta existentes para el tratamiento del agua:

#### **3.2.1 Osmosis Inversa.**

Es una de las tecnologías más novedosas y destacables dado que su aplicación es amplia en cuanto al tratamiento del agua, esta tecnología se basa en la aplicar presión en un cilindro rodeado de una membrana que permite el paso del agua, es un proceso muy eficiente.



**Gráfico 03. Esquema de funcionamiento de la osmosis inversa**



Fuente: Expeditionen 2008




Como se puede ver en el esquema anterior el agua contaminada con diversos elementos como virus y sólidos totales es pasada por una membrana donde se aplica una presión y esta membrana contiene pequeños orificios que van desde micras a mili micras, esto es lo que permite la eficiencia porque solamente deja pasar el agua limpia, esta tecnología se utiliza en plantas de tratamiento de países desarrollados y también se ha diseñado en pequeños equipos que permiten la purificación del agua en zonas distantes o rurales.

### 3.2.2 Sistemas de Filtrado Eficiente.

Existen diversos tipos de filtros que permiten también la purificación del agua, entre estos se encuentran los filtros de cartucho, arena y filtros lentos de arena principalmente. En esencia filtrar es remover partículas sólidas que contiene el agua. Los filtros de cartucho generalmente están dentro de un envase fabricado a partir de un polímero o un metal, este contiene un material que puede ser de polipropileno, cerámica, de celulosa o poliéster, su vida útil es limitada dependiendo de la calidad del agua y de la cantidad que se filtra a través de este medio.

Según su utilidad y características se pueden encontrar varios tipos de filtros, estos son<sup>23</sup>:

**Tabla 05. Sistemas de Filtrado Eficiente**

<p>Filtros de malla: su elemento filtrante es una malla metálica o plástica. Sobre esta se van depositando las partículas que tienen un tamaño mayor al orificio que dejan las rejillas. Existen filtros que se pueden lavar con retro lavado, estos se pueden cambiar según el tiempo de uso o caudal del agua filtrada.</p>	
<p>Filtros de arena: se utiliza arena de cuarzo o sílice principalmente, estos filtros tienen gran capacidad de retener impurezas dependiendo de la granulometría de la arena, pueden ser usados para grandes volúmenes de agua bien sea a presión o por gravedad.</p>	
<p>Discos (anillas): es la unión de filtros de arena y malla, este posee bajo volumen de filtrado, con una alta eficiencia en la separación de sólidos dependiendo del número de capas filtrantes, este permite escoger el tamaño de los pasos de agua y determinar las dimensiones de los sólidos cuyo paso se pretende impedir.</p>	
<p>Filtros de carbón activado: el carbón activado es un material que permite la retención de diversos contaminantes del agua, permitiendo entre otras cosas retirar el mal olor y sabor del agua.</p>	

<sup>23</sup> Empresas Olivos. ¿Qué tipos de filtros existen? 2008. Consultado el 16 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.olivos.cl/blog/%C2%BFque-tipos-de-filtros-existen/>

Nano filtración: la nano filtración es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular (1000 daltons) son retenidos. Esto provee un rango de selectividad entre las membranas de Ultrafiltración y Osmosis Inversa, permitiendo simultáneamente concentración y desalado de solutos orgánicos. Esto permite la eliminación de metales pesados, eliminación de pesticidas, ablandamiento de aguas y eliminación de nitratos.<sup>24</sup>



Lecho Bacteriano: el lecho bacteriano es un proceso de tratamiento ampliamente conocido y que ha sido utilizado tanto en procesos de tratamiento de aguas urbanas como industriales, su efectividad es conocida, este proceso es de bajo costo y por esto se plantea como una alternativa en cuanto al tratamiento de aguas residuales industriales.



*Fuente: Empresas Olivos. ¿Qué tipos de filtros existen? 2008. Consultado el 16 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.olivos.cl/blog/%C2%BFque-tipos-de-filtros-existen/>*

### **3.2.3 Sistemas Avanzados de Desinfección del Agua.**

En cuanto a la desinfección del agua existen varios métodos que permiten eliminar del agua posibles bacterias que puedan ser nocivas para la salud, estas tecnologías se pueden simplificar en tres principalmente:

<sup>24</sup> ACS Medio Ambiente. Nanofiltración 2012.

**Tabla 06. Sistemas Avanzados de Desinfección del Agua**

Luz Ultravioleta: esta luz proviene de radiación electromagnética emitida por la región del espectro que ocupa la posición intermedia entre la luz visible y los rayos X. Este designa tres áreas que son: UV-A, UV-B y UV-C. En ésta última se encuentra la mayor acción germicida, lo cual corresponde a una longitud de onda entre 200 y 300 nanómetros. La longitud de onda con mayor poder germicida es de 254 nanómetros. Cuando la luz UV hace contacto con los microorganismos que contiene el agua, penetra su membrana exterior y destruye el DNA (ácido nucleico), material genético esencial para todo organismo viviente<sup>25</sup>.



Ozonización del agua: el tratamiento de agua con ozono se viene utilizando desde hace más de 100 años, en la actualidad este método se ha desarrollado gracias a la tecnología, el ozono actúa como el agente oxidante natural más rápido y efectivo que existe. Es un poderoso bactericida, virulicida y fungicida. El ozono destruye los microorganismos rompiendo por oxidación su capa protectora (lípidos). El uso del ozono en el tratamiento del agua es ampliamente utilizado tanto a nivel industrial como domestico. La acción oxidante del ozono puede presentarse de tres formas diferentes<sup>26</sup>: como oxidante primario, fijando uno de sus átomos de oxígeno, como oxidante secundario, fijando sus tres átomos de oxígeno en un enlace doble o triple y como catalizador del oxígeno, acelerando la velocidad de las reacciones de oxidación en el aire ozonizado.



<sup>25</sup>N&F Ingeniería en Agua. Equipos de Esterilización Ultravioleta para Agua 2012.

<sup>26</sup>RILIZE. El ozono 2012.

Cloración del agua: la cloración del agua es el método más utilizado de desinfección del agua, este permite eliminar las bacterias que pueden causar enfermedades, la mayor parte de los acueductos utilizan el proceso de cloración por ser más económico y poseer una eficiencia significativa.

La desinfección del agua por cloración se logra mediante la adición de hipoclorito de sodio (conocido comúnmente como cloro) al agua, el cual elimina la mayoría de bacterias, hongos, virus, esporas y algas presentes en el agua.

Es importante mantener un residual no mayor a 0.5 partes por millón (ppm).<sup>27</sup>



*Fuente: Aquarent, S.A. Cloración y Desinfección del Agua 2012.*

### 3.3 TECNOLOGÍA APLICABLE A PEQUEÑAS EMPRESAS<sup>28</sup>

La tecnología aplicable a pequeñas empresas puede variar dependiendo de las necesidades para cumplir con la normatividad exigida, sin embargo dependiendo de los costos de la inversión y del mantenimiento es más probable implementar tecnología de bajo costo. Para esto hay dos alternativas: la primera se relaciona con un montaje a partir de procesos ampliamente conocidos como coagulación, floculación y filtración, tecnologías convencionales para el tratamiento del agua; y la segunda corresponde a tecnología intermedia, es decir, tecnología que se combina entre convencional y de punta.

Algunas tecnologías de tratamiento de aguas residuales aplicables a pequeñas empresas son:

<sup>27</sup> Aquarent, S.A. Cloración y Desinfección del-agua 2012.

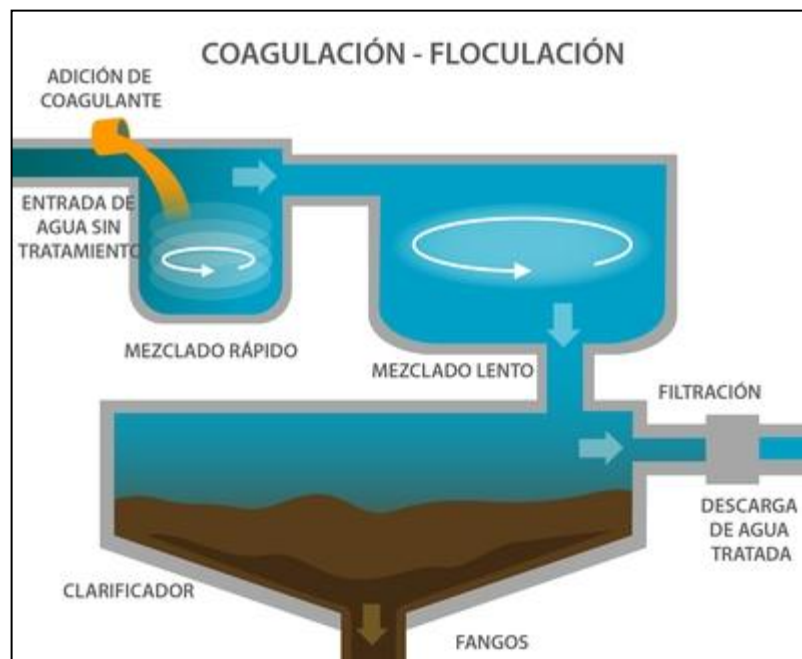
<sup>28</sup> MARSILLI ALEJANDRO, Tratamiento de aguas residuales. [en línea] <<http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>>

### 3.3.1 Coagulación y Floculación.

Es importante tener en cuenta que para que un tratamiento de aguas residuales industriales sea efectivo es necesario combinar diferentes tecnologías, en tal sentido el proceso de coagulación y floculación es uno de los más eficientes que combinado con otros procesos puede arrojar resultados significativos en coordinación con los parámetros exigidos por la normatividad ambiental.

Los procesos de coagulación-floculación facilitan el retiro de los Sólidos Totales y de las partículas coloidales. Esto permite retirar la carga contaminante y además mejorar en parte la calidad del agua, lo cual favorece los ecosistemas y cuerpos de agua cuando el agua es vertida en éstos. La coagulación se define como la desestabilización de la suspensión coloidal causada por la adición de un reactivo químico llamado coagulante, mientras que la Floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración. La coagulación-floculación permite la reducción del DBO y la DQO lo cual es significativo para obtener un agua de mejor calidad.<sup>29</sup>

**Gráfico 04. Floculación y Coagulación del Agua**



*Fuente: Drinking Water 2011*

<sup>29</sup> FONAN Fondo Nacional del Ambiente- Perú. Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú 2010.

Como se puede ver en la figura anterior mediante un dosificador se adiciona el coagulante al agua y luego entra en el sistema o tanque de coagulación que mediante una agitación permanente permite la sedimentación de la carga contaminante, así el agua se separa y puede salir a un medio filtrante mientras que los fangos son recolectados por otra salida.

### 3.3.2 Lechos Biológicos.

Los lechos biológicos son métodos ampliamente conocidos que han sido utilizados en procesos de tratamiento del agua tanto domestica como industrial, este proceso es de bajo costo siempre que su instalación y mantenimiento no demanden una gran capacidad. A continuación se muestra un estanque con materiales plásticos que pueden contener el lecho bacteriano.

**Gráfico 05. Lecho biológico**



*Fuente: Carrión Osorno, Bayardo 2010.*

El lecho bacteriano es un sistema biológico aerobio de cultivo fijado a un medio soporte o relleno que puede ser de material plástico o natural, las aguas residuales son vertidas a este sistema lentamente, el agua al pasar por el lecho bacteriano sufre un proceso de tratamiento en el cual se retira la carga contaminante de las aguas residuales, este proceso se desarrolla a través de una biopelícula que es una capa de microorganismos que crecen adhiriéndose al material soporte. El lecho bacteriano debe funcionar aireado y

no saturado de agua, este proceso requiere de un sistema de ventilación pero es importante mantener una temperatura que permita el funcionamiento del lecho en óptimas condiciones. A este proceso se puede agregar la recirculación que es el paso del agua varias veces por el sistema. Este proceso presenta algunos problemas, como son: la puesta en marcha puede tardar más de 8 días, el lecho bacteriano es susceptible a cambios y esto puede causar su pérdida, debido a partículas de granulometría elevada y altas cargas para depurar, los olores del filtro pueden causar proliferación de moscas y formación de espumas en el drenaje debido a los tensoactivos de detergentes. (Cisneros, 2008) Este método no es muy eficiente y no permite cumplir con la totalidad de la normatividad exigida.

### **3.3.3 Tanques de Lodos Activos.**

El tratamiento se proporciona mediante difusión de aire por medios mecánicos en el interior de tanques. Durante el tratamiento los microorganismos forman flóculos que posteriormente se dejan sedimentar en un tanque, denominado tanque de clarificación. El sistema básico comprende, pues, un tanque de aireación y un tanque de clarificación por los que se hacen pasar los lodos varias veces.

### **3.3.4 Tratamiento Microbiológico Anaerobio y Aerobio.**

Consiste en una serie de procesos microbiológicos, dentro de uno o varios recipientes que puede ser hermético o no, dirigidos a la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Es un proceso en el que pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos pero que está dirigido principalmente por bacterias.

Los objetivos del tratamiento microbiológico son tres:

- Reducir el contenido de materia orgánica de las aguas
- Reducir su contenido en nutrientes
- Eliminar los patógenos y parásitos

Estos objetivos se logran por medio de procesos aerobios y anaerobios, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas.



### **3.3.5 Humedales Artificiales.**

Este sistema consiste en la reproducción controlada de las condiciones existentes en los sistemas lagunares someros o de aguas lentas los cuales, en la naturaleza, efectúan la purificación del agua. Esta purificación involucra una mezcla de procesos bacterianos aerobios-anaerobios que suceden en el entorno de las raíces de las plantas hidrófilas, las cuales a la vez que aportan oxígeno consumen los elementos aportados por el metabolismo bacterial y lo transforman en follaje.

## **3.4 TECNOLOGÍA EXISTENTE EN LATINOAMÉRICA**

La tecnología de tratamiento del agua se ha expandido por todo el mundo, en la actualidad se puede encontrar tecnología de punta como la osmosis inversa y la desinfección del agua a través de luz UV.

### **3.4.1 Principales Proveedores de Tecnología para Tratamiento de Aguas en la Región.**

En Latinoamérica existen varias empresas que ofrecen y desarrollan tecnología acorde con las necesidades de las industrias, a continuación se hace una descripción de algunas empresas con el fin de saber que tecnologías y soluciones ofrecen.

- **JESCO Aguas Latinas México.**

Jesco es una empresa reconocida en México y de trayectoria internacional, que ofrece la dosificación de químicos y cloración para el tratamiento de agua. Entre sus productos están cloradores y bombas dosificadoras para adición de cloro en plantas de tratamiento de agua potable o aguas residuales.

## Gráfico 06. JESCO Aguas Latinas México



Fuente: Aguaslatinas.com 2012.

- **Plantas de Tratamiento de Aguas y Servicios Ltda.**

Plantas de Tratamiento de Aguas y Servicios Ltda. es una empresa Colombiana que ofrece soluciones en diferentes áreas como domestica e industrial, a través de tecnología convencional como floculación, coagulación y desinfección con cloro básicamente. La innovación de sus productos se da en la utilización de tanques de almacenamiento en fibra de vidrio reforzado con otros materiales especiales.

## Gráfico 07. Plantas de Tratamiento de Aguas y Servicios Ltda.



Fuente: Plantas de Tratamiento de Aguas y Servicios Ltda. 2012.

- **UNITEK**

Esta es una empresa multinacional con sedes en Argentina, Brasil y Perú, que ofrece tecnologías de punta como osmosis inversa, nano filtración y generadores de ozono.

**Gráfico 08. UNITEK**



Fuente: UNITEK 2012.

- **LENNTECH**

LENNTECH es una empresa internacional con sedes en Holanda, España, México, Estados Unidos, Chile, Perú y Argentina, ampliamente reconocida que ofrece soluciones integrales tanto de plantas de tratamiento como de tecnología de punta a partir de osmosis inversa, generación de ozono y ultrafiltración, esto permite dar soluciones a grades industrias con alta eficiencia en sus procesos de tratamiento.

**Gráfico 09. LENNTECH**



Fuente: LENNTECH 2012.

### 3.4.2 Tecnologías Aplicadas en algunas Empresas de Bogotá.

A continuación se muestra una recopilación de diferentes experiencias en cuanto al montaje de plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Bogotá<sup>30</sup>:

**Tabla 07. Diferentes Montajes de Plantas de Tratamiento en Bogotá**

	<p>Tratamiento de Agua Industrial</p> <p>Textiles Lafayette – Planta de tratamiento de agua con capacidad para 700 gpm (159 m<sup>3</sup>/h) con clarificación, filtración y desinfección.</p> <p>Bogotá, Colombia.</p>
	<p>Tratamiento de Agua Industrial</p> <p>Guirnaldas S.A – Planta de tratamiento de agua con capacidad para tratar 50 gpm (11 m<sup>3</sup>/h) con aireación, clarificación, filtración y suavización.</p> <p>Bogotá, Colombia.</p>

*Fuente: EDOSPINA. Tecnología del agua. Tratamiento de agua potable e industrial 2012.*

Si bien estas experiencias y plantas para el tratamiento de aguas industriales han sido hasta ahora la solución aplicada en diferentes sectores productivos uno de los principales problemas que se presenta se relaciona con los costos de inversión y operación, además del espacio físico que se requiere para su instalación, por lo tanto sólo las grandes empresas pueden realizar este montaje por la infraestructura y capacidad financiera, lo cual deja por fuera a las pequeñas industrias de distintos sectores como en este caso de la industria de jugos cítricos.

<sup>30</sup> EDOSPINA. Tecnología del agua. Tratamiento de agua potable e industrial 2012.

*Se puede observar que la tecnología tradicional sigue vigente brindando resultados positivos que permiten cumplir con la normatividad de vertimiento de aguas residuales industriales. No obstante, las tecnologías de punta aplicadas en el proceso de tratamiento de aguas ofrecen resultados superiores a los mínimos exigidos por la normatividad.*

*El tema de conocimiento de tecnología para el tratamiento de aguas residuales presenta vacíos en las pequeñas empresas de jugos cítricos ya que como se puede ver en la encuesta casi la mitad de las empresas dice no conocerla, y las que conocen algunos tipos de tecnología se limitan a sistemas de filtración que no son suficientes para disminuir la contaminación de las aguas residuales y poder verterlas a los alcantarillados cumpliendo con la normatividad.*

## **4 NORMATIVIDAD SOBRE EL VERTIMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES EN COLOMBIA**

La utilización del agua en procesos productivos plantea la necesidad de alternativas de disminución de la contaminación en torno al marco de legislación, en este punto juegan un papel importante las entidades que dictan la regulación como la Corporación Autónoma Regional (CAR) y el Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAMA) que son las encargadas de vigilar a las empresas en cuanto al vertimiento de aguas industriales y su óptima disposición.

La normatividad en la regulación ambiental tiene como finalidad proporcionar a las organizaciones los elementos de un Sistema De Gestión Ambiental (SGA) eficaz que pueda ser integrado con otros requisitos de gestión, para ayudar a las organizaciones a lograr metas ambientales y económicas. Estas normas y el SGA pueden estar representados en el desarrollo tecnológico dirigido a los sistemas para tratamiento de aguas industriales, es decir, las normas y los sistemas de normatividad delimitan el marco legal del vertimiento de aguas industriales, dado que las organizaciones desarrollan sistemas a partir de las exigencias en la normatividad.

### **4.1 NORMAS AMBIENTALES DE VERTIMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

A partir de la ley 373 de 1997 del Ministerio de Medio Ambiente, con el programa de uso eficiente y ahorro del agua, que fue actualizada para efectos técnicos de tratamiento de aguas industriales a través del decreto 3930 de 2010 que se refiere a “Usos del recurso hídrico y vertimientos” dictado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual expide la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico, dicta que las autoridades ambientales competentes pueden aplicar los modelos de simulación existentes que permitan determinar la capacidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas y la capacidad de dilución de sustancias no biodegradables, utilizando, por lo menos los siguientes parámetros<sup>31</sup>:

---

<sup>31</sup> El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3930 de 2010 en la edición N° 47.873 del Diario Oficial (25 de octubre de 2010) – Usos del recurso hídrico y vertimientos.

1. DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno a cinco (5) días.
2. DQO: Demanda química de oxígeno.
3. SS: Sólidos suspendidos.
4. pH: Potencial del ion hidronio, H<sup>+</sup>
5. T: Temperatura.
6. OD: Oxígeno disuelto.
7. Q: Caudal.
8. Datos Hidrobiológicos. (especies vivas que habitan los cuerpos de agua)
9. Coliformes Totales y Coliformes Fecales. (bacterias que pueden causar enfermedades)

Los anteriores términos son utilizados como criterios para establecer la regulación de los vertimientos de aguas industriales, además sirven para analizar la medición de la efectividad de la innovación y la tecnología.

En Colombia las industrias en general están sujetas al cumplimiento de la normatividad en cuanto al tratamiento de las aguas residuales producidas, esta normatividad se ha diseñado de manera general, es decir, se toma todo el conjunto de empresas y no se discriminan según el sector productivo ni la actividad económica. La legislación aplica las normas según los parámetros de regulación de la calidad del agua, el tratamiento del agua residual por su parte debe estar sujeto a esta normatividad.

En la siguiente tabla están contenidas las principales normas que regulan el recurso hídrico en Colombia:

**Tabla 08. Normatividad sobre el Recurso Hídrico en Colombia**

Decreto 2811 de 1974, libro II parte III	Art. 77 a 78 Clasificación de aguas. Art. 80 a 85: Dominio de las aguas y cauces. Art. 86 a 89: Derecho a uso del agua. Art.134 a 138: Prevención y control de contaminación. Art. 149: aguas subterráneas. Art.155: Administración de aguas y cauces.
Decreto 1449 de 1977	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática
Decreto 1541 de 1978	211 a 219: Control de vertimientos, Art. 220 a 224: Vertimiento por uso doméstico y municipal, Art. 225:

	Vertimiento por uso agrícola, Art. 226 a 230: Vertimiento por uso industrial, Art. 231: Reglamentación de vertimientos.
Decreto 1681 de 1978	Sobre recursos hidrobiológicos
Ley 09 de 1979	Código sanitario nacional Art. 51 a 54: Control y prevención de las aguas para consumo humano. Art. 55 aguas superficiales. Art. 69 a 79: potabilización de agua
Decreto 2858 de 1981	Modifica el Decreto 1541 de 1978
Decreto 2105 de 1983	Reglamenta parcialmente la Ley 09 de a 1979 sobre potabilización y suministro de agua para consumo humano
Decreto 1594 de 1984	Normas de vertimientos de residuos líquidos Reglamenta la eficiencia mínima en la remoción de la carga orgánica en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Art. 1 a 21 Definiciones. Art. 22-23 Ordenamiento del recurso agua. Art. 29 Usos del agua. Art. 37 a 50 Criterios de calidad de agua Art. 60 a 71 Vertimiento de residuos líquidos. Art. 72 a 97 Normas de vertimientos. Art. 142 Tasas retributivas. Art. 155 procedimiento para toma y análisis de muestras
Decreto 79 de 1986	Conservación y protección del recurso agua
Decreto 1700 de 1989	Crea Comisión de Agua Potable
Ley 99 de 1993	Art. 10,11,24,29: Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas.
Documento CONPES 1750 de 1995	Políticas de manejo de las aguas
Decreto 605 de 1996	Reglamenta los procedimientos de potabilización y suministro de agua para consumo humano
Decreto 901 de 1997	Tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a cuerpos de agua
Ley 373 de 1997	Uso eficiente y ahorro del agua Establece el programa para el uso eficiente del agua, haciendo énfasis en el re uso obligatorio.
Decreto 3102 de 1998	Instalación de equipos de bajo consumo de agua
Decreto 475 de 1998	Algunas normas técnicas de calidad de agua



Decreto 1311 de 1998	Reglamenta el literal G del artículo 11 de la ley 373 de 1997
Resolución 3957 de 2009	Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital

*Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, Normatividad Ambiental y Sanitaria. [en línea]*  
 <[http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm#B M2\\_8\\_Normatividad\\_sobre\\_el\\_recurso\\_hidr](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm#B M2_8_Normatividad_sobre_el_recurso_hidr)>

En Bogotá concretamente se han determinado algunas normas dictada por los Ministerios de Agricultura, Ambiente y el DAMA principalmente. A continuación se presentan las normas que regulan el vertimiento de aguas de las diferentes industrias.

**Tabla 09. Normatividad Aplicable**

<b>Decreto 3440 de 2004</b>	MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL	Por medio del cual se modifica parcialmente el decreto 3100 de 2003, y se dictan otras disposiciones respecto al <b>cobro de tasas retributivas por los vertimientos puntuales</b> realizados a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción.
<b>Resolución 1074 de 1997</b>	DAMA	<b>Por la cual el DAMA establece estándares ambientales en materia de vertimientos</b>
<b>Resolución 339 de 1999</b>	DAMA	Por la cual se adopta el sistema de clasificación empresarial por el impacto sobre el recurso hídrico denominado " <b>Unidades de Contaminación Hídrica - UCH-</b> " para la jurisdicción del DAMA.
<b>Resolución 1596 de 2001.</b>	DAMA	<b>Por la cual se modifica la resolución 1074 de 1997 en el parámetro de tensoactivos a Tensoactivos (SAAM) (mg/l) 20</b>

*Fuente: Secretaría de Ambiente, 2005*

En estas tablas se muestra como han venido evolucionando las normas de vertimiento desde el Decreto 2811 de 1974 hasta el decreto 3930 de 2010, tiempo durante el cual se hacen más exigentes en cuanto al vertimiento de las aguas provenientes de las industrias o comercios. Esta regulación ha venido planteando una necesidad en las empresas para aplicar mínimo un pre tratamiento a las aguas antes de ser vertidas al sistema alcantarillado.

La normatividad vigente que corresponde a las resoluciones 3956 y 3957 de 2009 de la Secretaria Distrital de Ambiente indica los usuarios que deben cumplir con los requisitos contenidos en estas normas, los cuales son<sup>32</sup>:

- a) Usuario generador de vertimientos de agua residual industrial que efectúe descargas líquidas a la red de alcantarillado público del Distrito Capital.
- b) Usuario generador de vertimientos no domésticos que efectúe descargas líquidas al sistema de alcantarillado público del Distrito Capital y que contenga una o más sustancias de interés sanitario.

Estas resoluciones también hacen referencia a los límites máximos permitidos para los vertimientos industriales, los cuales se presentan a continuación:

**Tabla 10. Normatividad en cuanto a los límites máximos permitidos para los vertimientos industriales**

Parámetro	Unidades	Valor
Color	Unidades Pt-Co	50 Unidades en dilución 1 / 20
DBO5	mg/L	800
DQO	mg/L	1500
Grasas y Aceites	mg/L	100
pH	Unidades	5,0 - 9,0
Sólidos Sedimentables	mL/L	2
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	600
Temperatura	°C	30
Tensoactivos (SAAM)	mg/L	10

*Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente Normatividad Ambiental Distrital en el Tema de Vertimientos 2010.*

Estos son los valores de referencia que se presentan para las descargas de aguas industriales, según estos parámetros las empresas deben cumplir con el pre tratamiento requerido para ajustarse a la normatividad.

<sup>32</sup> Secretaria Distrital de Ambiente Normatividad Ambiental Distrital en el Tema de Vertimientos Bogotá – 2010 Resoluciones 3956 y 3957 de 2009.

Además es importante tener en cuenta los criterios de contaminación de las aguas industriales que pueden determinar su concentración y a partir de esto se le asigna un rango, estos rangos pueden ser asignados de acuerdo a la actividad de cada industria y la carga contaminante en el vertimiento.

**Tabla 11. Criterios de Contaminación de las Aguas Industriales**

Bajo	DBO <sub>5</sub> total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado).
Medio	DBO <sub>5</sub> total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado).
Medio alto	DBO <sub>5</sub> total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, fósforo (soluble y particulado), aceites, detergentes, grasas y nitrógeno total Kjeldahl.
Alto	DBO <sub>5</sub> total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado), aceites y grasas, fósforo, metales pesados: Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Hg, Cu, Ag, y sustancias orgánicas volátiles, cloruros, detergentes.

*Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente Normatividad Ambiental Distrital en el Tema de Vertimientos Bogotá – 2010*

En el caso de la industria de alimentos, estas se pueden clasificar en los dos primeros rangos dado que la carga contaminante por lo general no es alta y esto representa una ventaja en cuanto al tratamiento para el cumplimiento de la norma.

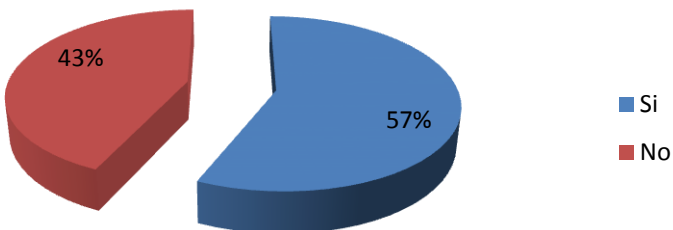
## 4.2 CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD V/S SU APLICACIÓN EN PEQUEÑAS EMPRESAS

Para evaluar este cumplimiento se revisan algunas preguntas de la encuesta realizada.

**¿Conoce usted la normatividad sobre vertimiento de aguas industriales?**

<b>Sí</b>	17
<b>No</b>	13
<b>Total</b>	<b>30</b>

**¿Conoce usted la normatividad sobre vertimiento de aguas industriales?**

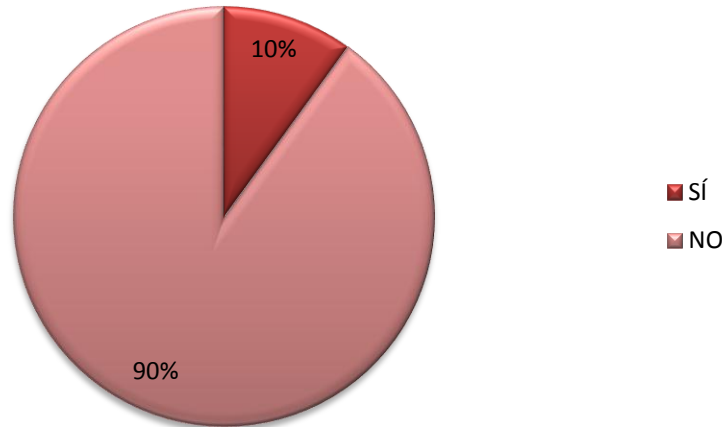


Uno de los aspectos importantes se refiere al conocimiento de la normatividad en cuanto vertimiento de aguas industriales, según la encuesta el 57% de las empresas sí conoce por lo menos la existencia de la normatividad y con esto la idea de que el agua debe ser tratada antes de ser vertida. El 43% dice no conocer la norma en cuanto vertimiento de aguas industriales, se denota una falta de difusión de información necesaria para conocer la normatividad.

**¿Tiene algún sistema de tratamiento de agua para cumplir con la normatividad ambiental relacionada con el vertimiento de aguas?**

<b>Sí</b>	3
<b>No</b>	27
<b>Total</b>	<b>30</b>

**¿Tiene algún sistema de tratamiento de agua para cumplir con la normatividad ambiental relacionada con el vertimiento de aguas?**

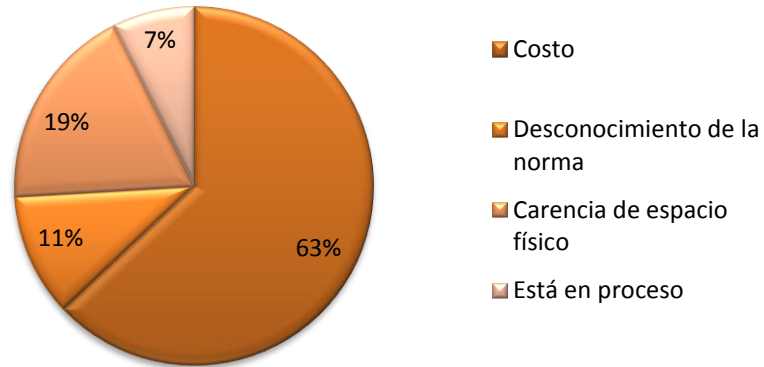


Según la encuesta el 10% dice tener un sistema para cumplir con la normatividad, mientras que el 90% dice no tener un sistema de tratamiento de agua, es importante aclarar que el conocimiento de la normatividad no implica que las empresas tengan implementado un sistema de tratamiento que les permita cumplir con ésta. Se evidencia un serio problema de incumplimiento de la normatividad.

**Si la respuesta anterior fue No, indique la razón por la cual no ha implementado algún sistema de tratamiento?**

a) Costo	17
b) Desconocimiento de la norma	3
c) Carencia de espacio físico	5
d) Está en proceso	2
<b>Total</b>	<b>27</b>

**Si la respuesta anterior fue No, indique la razón por la cual no ha implementado algún sistema de tratamiento?**



El incumplimiento de la normatividad en las pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá no solo se da por el desconocimiento de ésta, que de hecho no es tan alto sino también por otros factores de peso. Como se puede ver en el gráfico la mayoría de las empresas no tiene implementado un sistema de tratamiento de vertimientos por falta de recursos económicos. He aquí la importancia de diseñar un sistema o módulo de tratamiento de aguas residuales para estas empresas que les permita cumplir con la normatividad existente y contribuir con el mejoramiento del medio ambiente en lo que a vertimientos se refiere.

*Colombia cuenta con suficiente normatividad en cuanto al tratamiento de aguas residuales industriales aunque presenta una carencia de regulación para el cumplimiento de las mismas. También se evidencia un desconocimiento de esta normatividad por parte de las pequeñas empresas de jugos cítricos y una imposibilidad de cumplirla principalmente por razones económicas y de espacio físico para poder implementar sistemas de tratamiento de agua.*

## **5 PROPUESTAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA**

Para poder entrar a adoptar sistemas de tratamiento de aguas residuales para plantas productoras de pulpa y jugos cítricos es necesario conocer dos factores importantes, a saber: la composición físico-química de los vertimientos y el caudal de éstos producido por la empresa. El primer aspecto fue bien definido en la investigación bibliográfica que se realizó al comienzo de este trabajo. Y el caudal fue determinado directamente de las fábricas en la encuesta realizada. El 90% de las empresas encuestadas tienen un caudal de vertimiento menor a 80 m<sup>3</sup>/mes, lo que representaría 2.667 litros/día. Para efectos de este trabajo se considerará como caudal de diseño 3.000 litros/día.

Para plantear un sistema de tratamiento de agua residual acorde con las necesidades de la industria citrícola es necesario hacer un comparativo entre las diferentes tecnologías evaluando su operación, mantenimiento y costos de inversión, esto permitirá hacer una mejor elección para cumplir con la normatividad exigida para los vertimientos provenientes de esta industria.

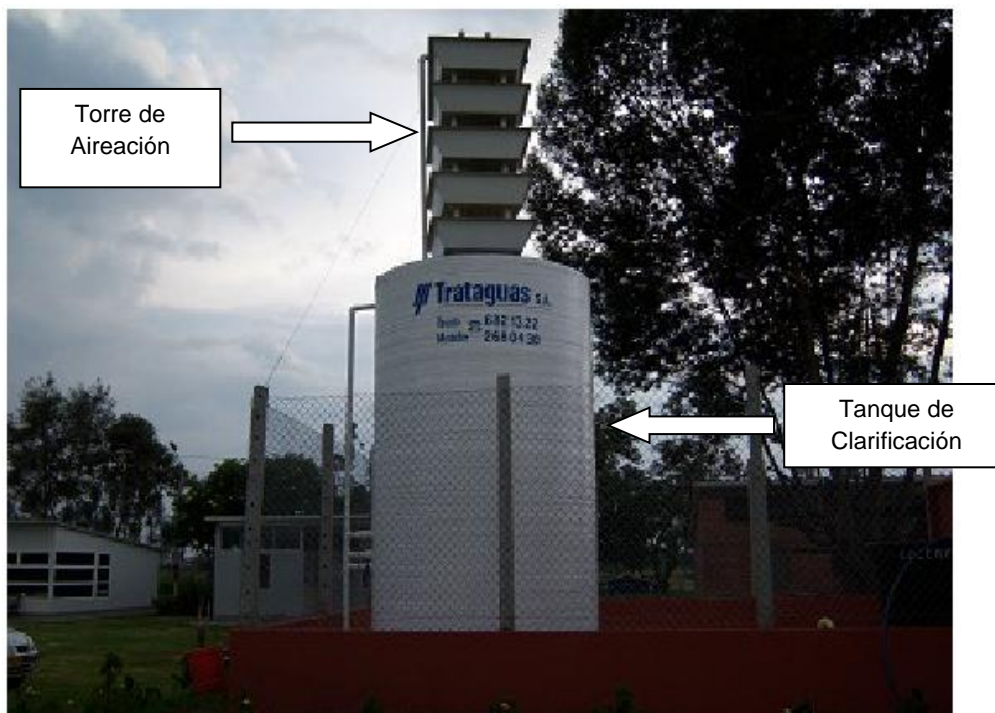
### **5.1 ALTERNATIVAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA**

Como resultado final de este proyecto se analizan las propuestas viables para cumplir con la normatividad existente sobre vertimientos de la industria de jugos cítricos en Bogotá. Después de lo planteado hasta ahora, se estudian y posteriormente se comparan tres alternativas viables para su implementación por la pequeña industria citrícola de Bogotá, estas son:

#### **5.1.1 Alternativa 1 - Planta de Tratamiento Industrial Compacta.**

Esta solución se ha seleccionado a partir de las ventajas y capacidad que ofrece para una industria, este tipo de plantas de tratamiento representa una capacidad importante que junto con los materiales de construcción pueden hacer más eficiente el proceso de tratamiento del agua, a continuación se presenta esta alternativa con sus características técnicas y costos de inversión.

**Gráfico 10. Planta de Tratamiento de Aguas Compacta**



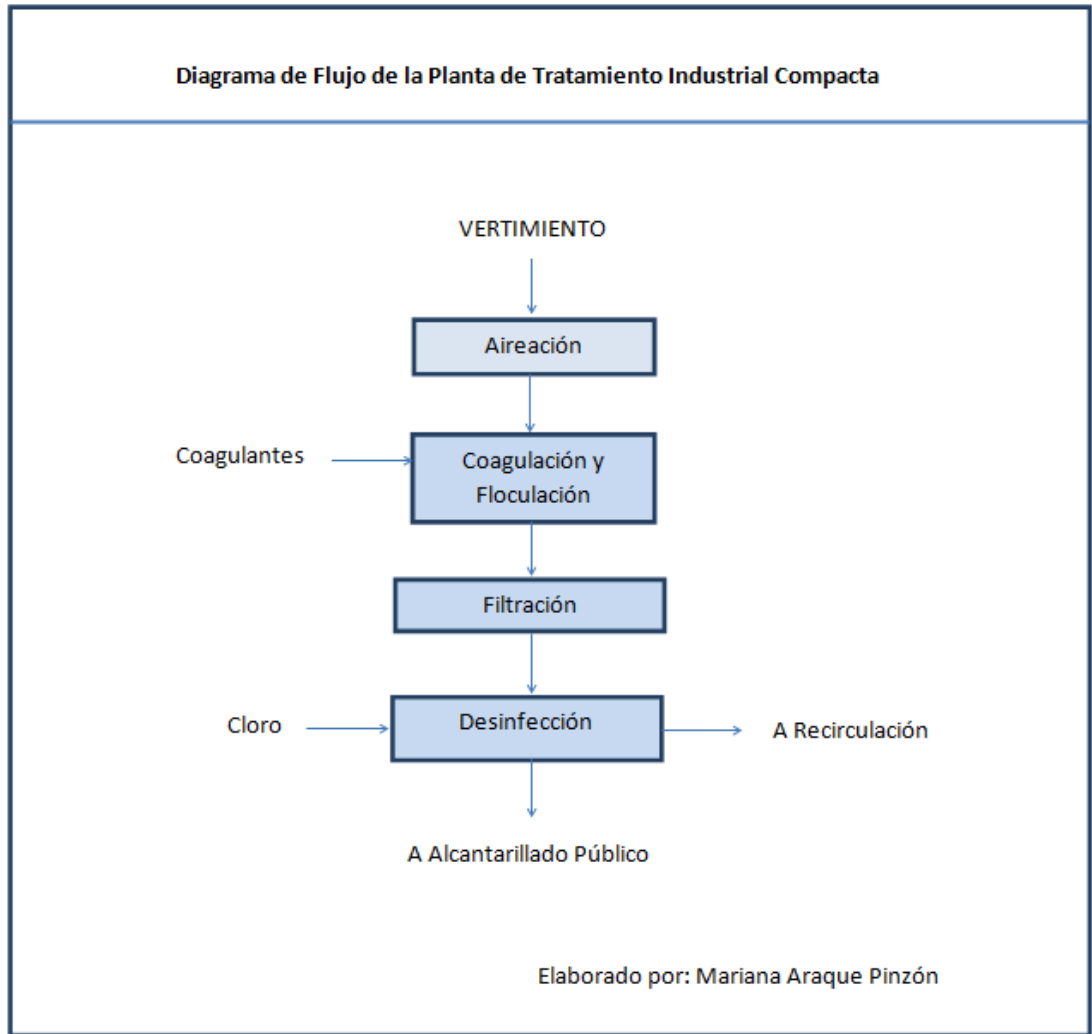
*Fuente: Trataguas 2012.*

**Descripción de la planta de tratamiento:**

1. Torre de aireación.
2. Tanque de Clarificación:
  - Unidad de coagulación y floculación.
  - Unidad de sedimentación.
  - Unidad de filtración
  - Sistema de desinfección.
3. Vertimiento:
  - A alcantarillado público.
  - Recirculación.



**Gráfico 11. Diagrama de Flujo Alternativa 1**



Esta planta de tratamiento es muy eficiente dado que integra diferentes procesos en un mismo módulo. A partir de la torre de aireación se inicia el proceso de tratamiento y se comienzan a mejorar los indicadores DBO y DQO, proceso que se hace más eficaz junto con la coagulación y la floculación que unido a la unidad de filtración permite una descontaminación muy importante, ésta supera los estándares del agua exigidos por la normatividad existente para ser vertida a los desagües.

**Tabla 12. Principales características de la planta de tratamiento de agua**

<p><b>Características de funcionamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio.</li> <li>- Método de fabricación cilindro: Hilo Continuo</li> <li>- Diseño robusto</li> <li>- Manejo sencillo</li> <li>- Bajo nivel de ruido</li> <li>- Conexión 220 V</li> <li>- Potencia 4 HP</li> <li>- Funcionamiento continuo</li> </ul>	<p><b>Porcentajes de mejoramiento del agua tratada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>: 85% - 90%</li> <li>- Demanda Química en Oxígeno DQO: 85% - 90%</li> <li>- Sólidos en suspensión (SST) 95%</li> </ul>
<p><b>Dimensionamiento de la instalación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura del módulo 6 mts</li> <li>- Diámetro 2 mts</li> <li>- Espacio útil requerido: 16 mts<sup>2</sup></li> <li>- Capacidad 10,000 litros</li> <li>- Caudal de tratamiento: 8.000 litros/día</li> </ul>	<p><b>Operación y mantenimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Operación automática</li> <li>- Limpieza de lodos una vez por semana</li> <li>- Cambio y retro lavado de filtros de tres a seis meses</li> <li>- Instalación hidráulica mantenimiento preventivo</li> </ul>
<p><b>Costos de operación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Insumos químicos para floculación: \$120,000 mensuales</li> <li>- Consumo energía eléctrica: \$180,000 mensuales</li> <li>- Operación y control: ½ SMMLV al mes</li> </ul>	<p><b>Costos de la planta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo: Entre 70 y 80 millones (depende de las modificaciones necesarias)</li> <li>- Costo mantenimiento anual: 1 a 2 SMMLV al año</li> </ul>

*Fuente: Trataguas 2012.*

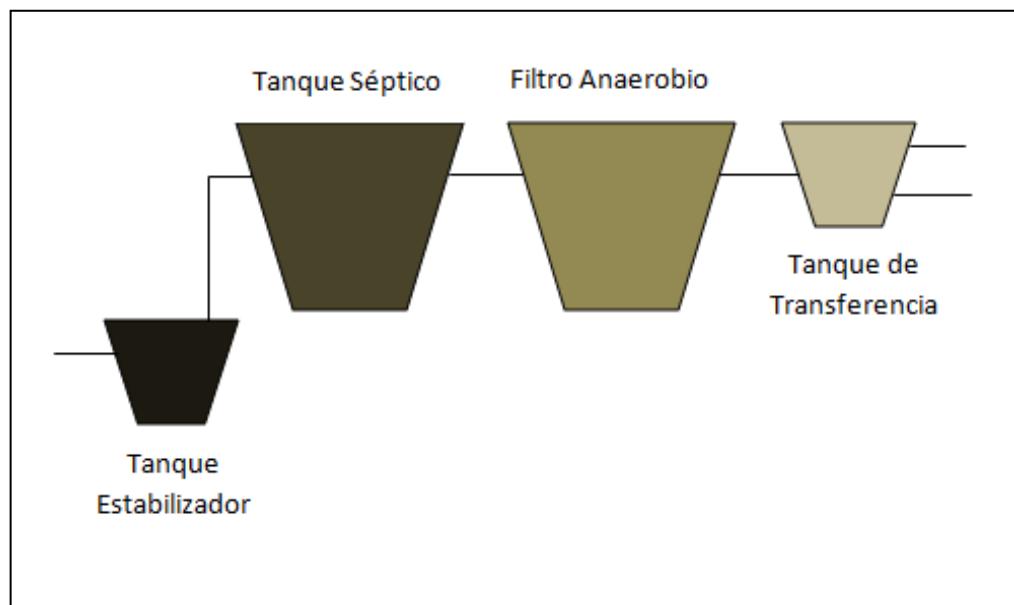
Este tipo de plantas es completamente prefabricado, son dimensiones estándar y es suministrado e instalado por proveedores especializados. Como desventaja de este sistema se puede considerar que requiere de un espacio físico importante para una pequeña empresa y su inversión es considerable para el tipo de empresas a las que se quiere solucionar el problema de vertimientos, adicionalmente la capacidad de tratamiento mínima de estas plantas es de 8.000 litros/día lo que representa más del 100% de las necesidades de la pequeña industria que queremos solucionar, por lo tanto estaría sobredimensionada para estas empresas.

### 5.1.2 Alternativa 2 – Planta de Tratamiento Modular.

En esta alternativa se adoptan tanques prefabricados convencionales para adaptarlos a un sistema de pre tratamiento de aguas residuales que cumpla con las normas mínimas exigidas.

Para definir el tamaño de los tanques a utilizar se trabaja con un caudal diario de 3.000 litros, lo que genera un pequeño caudal adicional para asumir picos de producción.

**Gráfico 12. Planta de Tratamiento de Modular**

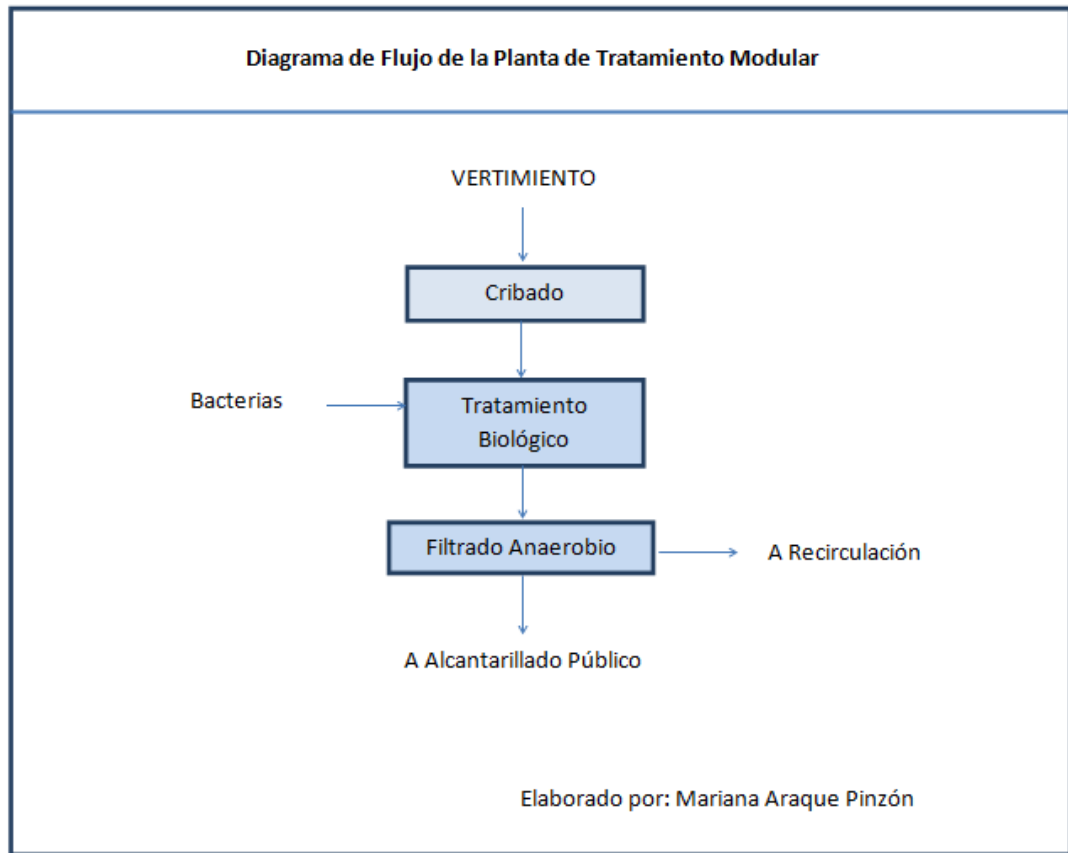


*Elaborado por: Mariana Araque Pinzón*

#### **Descripción de la planta de tratamiento:**

1. Cribado a través de rejillas a la entrada de los desagües en las diferentes aéreas de la planta para la retención de sólidos de gran tamaño (se efectúa antes de que el vertimiento llegue al sistema de tratamiento)
2. Tanque séptico
3. Filtro anaerobio ascendente
4. Vertimiento:
  - A alcantarillado público.
  - Recirculación.

**Gráfico 13. Diagrama de Flujo Alternativa 2**



**Tabla 13. Principales características de la planta de tratamiento de agua**

<p><b>Características de funcionamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: Polietileno de media densidad.</li> <li>- Método de fabricación tanques: Inyección</li> <li>- Manejo sencillo</li> <li>- Cero nivel de ruido</li> <li>- Funcionamiento continuo</li> </ul>	<p><b>Porcentajes de mejoramiento del agua tratada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>: 80% - 85%</li> <li>- Demanda Química en Oxígeno DQO: 80% - 85%</li> <li>- Sólidos en suspensión (SST) 90%</li> </ul>
<p><b>Dimensionamiento de la instalación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura del módulo 1.55 mts</li> <li>- Diámetro 1.88 mts</li> <li>- Espacio útil requerido: 0 mts<sup>2</sup> (instalación subterránea)</li> </ul>	<p><b>Operación y mantenimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Operación continua</li> <li>- Limpieza de lodos una vez al año</li> <li>- Cambio y retro lavado de filtros una vez al año</li> </ul>

- Capacidad 3,000 litros - Caudal de tratamiento: 3,000 litros/día	- Instalaciones físicas mantenimiento rutinario anual
<b>Costos de operación:</b> - Insumos: Suministro de bacterias: \$26,000 anuales - Consumo energía eléctrica: \$52,891 anuales - Operación y control: 1 SMDLV al año	<b>Costos de la planta:</b> - Costo: 7,361,500 millones - Costo mantenimiento anual: 100,000 pesos

*Fuente: Colombit, Sistema de tratamiento de aguas residuales. 2012*

Esta planta difiere de la anterior en que los materiales que se usan para la fabricación son de bajo costo y fácil adquisición.

### 5.1.3 Alternativa 3 - Planta de Tratamiento Industrial Electromecánica.

Esta alternativa también posee características importantes que garantizan un modelo de calidad y eficiente para el tratamiento de aguas provenientes de la industria productora de pulpa y jugos cítricos. Esta planta es compacta y está construida con materiales de fibra de vidrio reforzado y posee un sistema de floculación que garantiza la sedimentación de una gran parte de los sólidos suspendidos, esta característica hace que este tipo de plantas se pueda instalar en empresas que deben cumplir con la normatividad en cuanto al vertimiento de aguas industriales.

**Gráfico 14. Planta de tratamiento de aguas industriales Electromecánica**



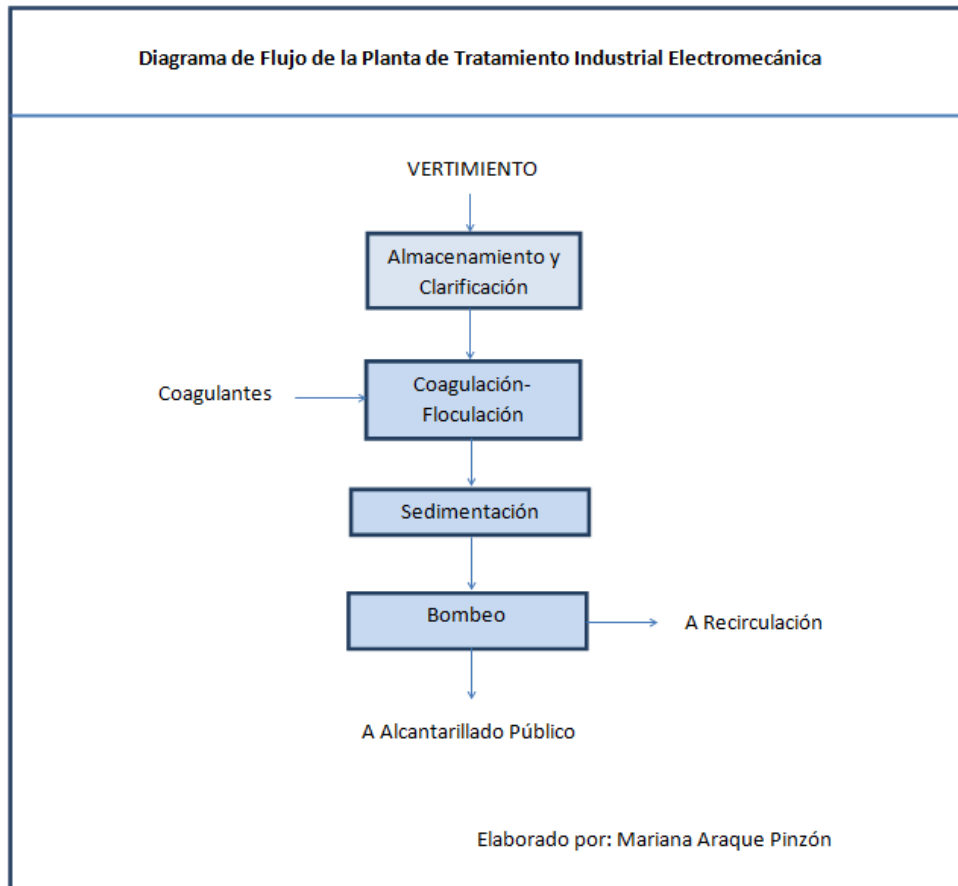
*Fuente: Ptas. Plantas de Tratamiento de Aguas y Servicios Ltda.*

Esta opción consta de un tanque de almacenamiento y un módulo sedimentador que permite desarrollar un óptimo tratamiento de los vertimientos industriales.

**Descripción de la planta de tratamiento:**

1. Tanque de almacenamiento y clarificación
2. Tanque de coagulación-floculación y sedimentación
3. Unidades electromecánicas:
  - Motobomba
  - Red hidráulica en tuberías metálicas
4. Vertimiento:
  - A alcantarillado público.
  - Recirculación.

**Gráfico 15. Diagrama de Flujo Alternativa 3**



**Tabla 14. Principales características de la planta de tratamiento de agua**

<p><b>Características de funcionamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: Fibra de Vidrio reforzado.</li> <li>- Método de fabricación: Tanques cilíndricos</li> <li>- Diseño compacto y robusto</li> <li>- Manejo sencillo</li> <li>- Bajo nivel de ruido</li> <li>- Conexión 110 V</li> <li>- Potencia 1 HP</li> <li>- Funcionamiento continuo</li> </ul>	<p><b>Porcentajes de mejoramiento del agua tratada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>: 75% - 85%</li> <li>- Demanda Química en Oxígeno DQO: 65% - 75%</li> <li>- Sólidos en suspensión (SST) 90%</li> </ul>
<p><b>Dimensionamiento de la instalación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura de la estructura: 2.80 mts.</li> <li>- Diámetros: 1.40 y 0.90 mts.</li> <li>- Espacio útil requerido: 14.62 mts<sup>2</sup></li> <li>- Capacidad 4.000 litros</li> <li>- Caudal de tratamiento: 6.000 litros/día</li> </ul>	<p><b>Operación y mantenimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es supervisado por un operario</li> <li>- Limpieza: Mensual</li> <li>- Lavado de filtros: Cada 4 meses</li> <li>- Instalaciones electrohidráulicas: Mantenimiento preventivo</li> </ul>
<p><b>Costos de operación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Insumos químicos para floculación: \$120,000 mensuales</li> <li>- Consumo energía eléctrica: \$120,000 mensuales</li> <li>- Operación y control: ½ SMMLV al mes</li> </ul>	<p><b>Costos de la planta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo: Entre 40 y 45 millones (depende de las modificaciones necesarias)</li> <li>- Costo mantenimiento anual: 1 a 2 SMMLV al año</li> </ul>

*Fuente: Ptas. Plantas de Tratamiento de Aguas y Servicios Ltda.*

## **5.2 ESCOGENCIA DE LA PROPUESTA QUE MEJOR SE ADAPTE**

Una vez evaluadas las opciones de plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en el mercado colombiano, que cumplan con las necesidades y exigencias para los vertimiento de las empresas productoras de jugos cítricos en Bogotá se han escogidos 3 alternativas.

La primera opción se refiere a una planta que aplica un proceso integral de última tecnología que es muy eficiente pero implica altos costos de inversión, mantenimiento y operación, además requiere de la disponibilidad de un espacio importante dentro de la fábrica. La segunda opción se refiere al desarrollo de una planta de tratamiento consistente en el ensamblaje de varios módulos provenientes de diferentes tecnologías, la cual requiere de una inversión inicial razonable para el tamaño de estas empresas y además tiene unos costos de operación y mantenimiento muy reducidos. La tercera alternativa propuesta se refiere a una planta de tratamiento electromecánica de tecnología avanzada, tiene unos costos de inversión, operación y mantenimiento no tan elevados como la primera pero que siguen siendo elevados para las pequeñas empresas productoras de jugos cítricos.

A continuación se presenta el cuadro comparativo de las alternativas propuestas:

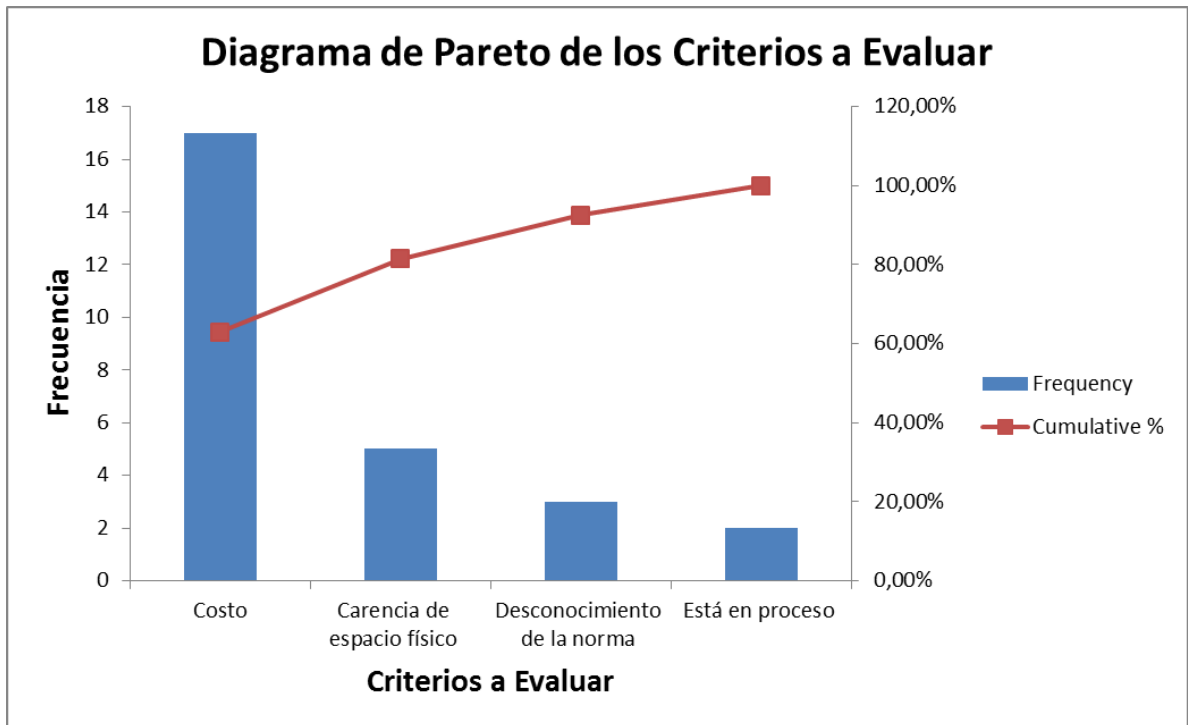
ALTERNATIVAS PROPUESTAS		FACTORES DE COMPARACIÓN					
		Costo de Inversión	Costo de Operación (Anual)	Costo de Mantenimiento (Anual)	Espacio Útil Requerido	Especialización de los operarios	Eficiencia del tratamiento
1	Planta de Tratamiento Industrial Compacta	\$ 80.000.000	\$ 7.000.200	\$ 1.133.400	16 M2	Tecnólogo	90%
2	Planta de Tratamiento Modular	\$ 8.000.000	\$ 97.781	\$ 100.000	0 M2 (Subterránea)	Obrero	85%
3	Planta de Tratamiento Industrial Electromecánica	\$ 40.000.000	\$ 6.280.200	\$ 850.050	14.62 M2	Tecnólogo	85%

Las cotizaciones correspondientes se encuentran en el Anexo 3.

Para determinar qué tipo de planta de tratamiento se adecua técnica y financieramente a las necesidades de estas empresas, se evalúan los siguientes aspectos: Costo de Inversión, Costo de Operación, Costo de Mantenimiento y Espacio Útil Requerido; los cuales son el resultado de la elaboración de un diagrama de Pareto, donde se evalúan las razones por las cuales estas pequeñas empresas no han implementado sistemas de tratamiento para sus vertimientos y se toma el Pareto de éstas para ser evaluadas como criterios de selección de la alternativa adecuada.

A continuación se encuentra el diagrama de Pareto de las principales causas por las que las pequeñas empresas no tienen implementados sistemas de tratamiento de agua.





En el diagrama se puede observar que el 25% de las causas representan el 62,96% de las empresas y el 50% de las causas representan el 81,48% de éstas. Se toman entonces como criterios de selección para ser analizados los costos de las plantas y el espacio útil requerido para la implementación de éstas.

Estos aspectos deben tenerse en cuenta en la valoración del sistema y de acuerdo a cada una de sus características se da un puntaje que determina aquella que mejor logre engranar los aspectos aquí mencionados y de esta forma seleccionar la mezcla correcta de tecnología que se adecue mejor a las necesidades de las empresas productoras de jugos cítricos en Bogotá.

Esta ponderación se realiza desde el punto de vista de la autora.

Estos criterios son valorados en una matriz de priorización que determina aquellos sistemas de tratamiento que ofrecen las mejores condiciones para estas empresas desde el punto de vista económico y de cumplimiento de la normatividad.

Cada uno de los aspectos es evaluado de acuerdo con la siguiente tabla. Se descartan las opciones poco atractivas o inviables, en este caso aquellas que obtengan el menor puntaje en la ponderación.

**Tabla 15. Explicación de Criterios a Evaluar**

<b>CRITERIO</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>	<b>CALIFICACIÓN (Según su peso)</b>
Costo de Inversión	Se refiere a los costos totales necesarios para la correcta implementación de un sistema de tratamiento de vertimientos que cumpla con las normas mínimas existentes.	1 - Muy Alto 2 - Alto 3 - Medio 4 - Bajo
Costo de Operación (Anual)	Mide los costos en que incurre la empresa para operar el sistema de tratamiento de vertimientos adoptado	1 - Muy Alto 2 - Alto 3 - Medio 4 - Bajo
Costo de Mantenimiento (Anual)	Corresponde a los costos por manteniendo de la infraestructura de que consta el sistema de tratamiento	1 - Muy Alto 2 - Alto 3 - Medio 4 - Bajo
Espacio Útil Requerido	Se trata del espacio físico necesario dentro de la empresa para la construcción de la infraestructura del sistema de tratamiento escogido	1 - Muy Alto 2 - Alto 3 - Medio 4 - Bajo

*Fuente: La autora.*

Por lo anterior los resultados obtenidos son los que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 16. Ponderación de los Criterios Evaluados**

		20%		30%		30%		20%		100%
ALTERNATIVAS PROPUESTAS		Costo de Inversión		Costo de Operación (Anual)		Costo de Mantenimiento (Anual)		Espacio Útil Requerido		Ponderación total
1	Planta de Tratamiento Industrial Compacta	1	0,20	1	0,30	1	0,30	1	0,20	<b>1,00</b>
2	Planta de Tratamiento Modular	4	0,80	4	1,20	4	1,20	4	0,80	<b>4,00</b>
3	Planta de Tratamiento Industrial Electromecánica	2	0,40	1	0,30	3	0,90	2	0,40	<b>2,00</b>

*Fuente: La autora.*

Después de analizar los cuadros anteriores, se concluye que la planta de tratamiento para los vertimientos provenientes de las pequeñas empresas productoras de pulpa y jugos cítricos en la ciudad de Bogotá, que satisfaga los requerimientos de la normatividad existente sobre contaminación de cuerpos de agua y que esté dentro de la capacidad económica y física de estas empresas es la alternativa número 2 Planta de Tratamiento Modular.

*Escogida la alternativa número 2 como la más apropiada para estas empresas, en el resto de este trabajo se desarrolla la propuesta de diseño de este modulo de tratamiento de aguas residuales para pequeñas empresas de la industria de jugos cítricos en Bogotá propiamente dicha.*

### **5.3 DESARROLLO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ESCOGIDA**

Para hacer el desarrollo de esta planta de tratamiento se cuenta con la siguiente asesoría: en las especificaciones para la construcción de la infraestructura civil con la asesoría del ingeniero civil Pablo Felipe Araque Gómez, en el diseño de la parte hidrosanitaria con la asesoría del ingeniero hidráulico Jorge Iván Ramírez Duque y en la revisión del sistema

de tratamiento propiamente dicho con la asesoría del ingeniero sanitario Carlos Alberto López Herrera.

La planta de tratamiento de la alternativa escogida conserva los componentes técnicos requeridos para tratar aguas industriales y su diseño se concentra en el cumplimiento de las necesidades de la industria citrícola en cuanto al cumplimiento de la normatividad exigida. Esto representa un cambio en el diseño y funcionamiento original de un sistema preconcebido y prefabricado por las empresas fabricantes de plantas de tratamiento, ya que éstas diseñan y fabrican soluciones para la industria en general y no se hace una discriminación según la actividad industrial dentro de las empresas productoras de alimentos.

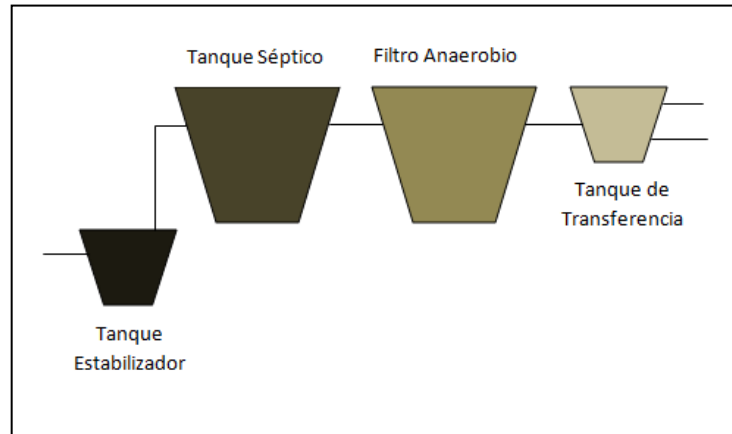
Otro de los elementos que representa una diferencia se refiere a los materiales que se utilizan para la fabricación de estas plantas dado que algunos componentes especializados incrementan los costos, en este caso se utilizan materiales de más bajo costo pero que de igual manera se emplean en la construcción de módulos de almacenamiento y tratamiento de aguas.

Este sistema de tratamiento requiere de 24 horas para que se desarrolle todo el proceso anaerobio. El caudal calculado a tratar de 3000 Lts. es el vertimiento producido por un turno de trabajo de 8 hrs. Si se implementan turnos adicionales el sistema no sufrirá alteración siempre y cuando el caudal no supere el de diseño.

### **5.3.1 Descripción de la Planta de Tratamiento.**

El siguiente es el esquema del sistema escogido, el diseño definitivo se presenta en el plano contenido en el Anexo 2 donde están incluidos todos los elementos que lo constituyen, la infraestructura necesaria para su instalación y los requerimientos hidráulicos y eléctricos debidamente dimensionados y acotados.

**Gráfico 16. Planta de Tratamiento de Modular**



**Elaborado por: Mariana Araque Pinzón**

Como ilustración la planta de tratamiento escogida opera de la siguiente manera:

1. Se debe verificar que todos los desagües de la planta tengan sus respectivas rejillas que impidan el paso de sólidos muy grandes al sistema de alcantarillado. Esto es el correcto cribado de las aguas de lavado de la fruta y de la planta.
2. En el área de acopio de fruta, esto es entrando a las instalaciones de la planta, se intercepta la salida del alcantarillado y se instala un tanque subterráneo llamado estabilizador, cuya función es permitir el bombeo mediante una bomba sumergible que lleve los vertimientos a un punto más alto donde empieza el proceso de tratamiento.
3. Los vertimientos llegan a un tanque llamado tanque séptico donde mediante un proceso bacteriano se elimina un porcentaje muy alto de los residuos contaminantes.
4. Del tanque anterior pasa el agua a otro tanque llamado filtro anaerobio ascendente, el cual contiene elementos sólidos como piedra de 1 ½" a 2" ó suncho plástico (1000 metros aproximadamente) que sirven para darle sustento a las bacterias anaerobias las cuales se adhieren a estos elementos mientras hacen el proceso de tratamiento final de los vertimientos.
5. Después de pasar por el filtro anaerobio ascendente el vertimiento ya ha adquirido un grado muy bueno de descontaminación, lo que permite reutilizar esta agua en el proceso inicial de lavado de fruta y en el aseo de la infraestructura física de la empresa y en los sanitarios. Para este efecto el agua pasa del filtro anaerobio ascendente a un tanque de menor tamaño llamado tanque de transferencia. De este tanque y mediante un sistema de motobomba el agua va a un tanque elevado llamado tanque de almacenamiento donde por gravedad sale para la recirculación del agua para ser utilizada en lo mencionado y lo que no se utilice en estas actividades va al alcantarillado público.

- **Características Esperadas del Agua Tratada:** De acuerdo a la experiencia del ingeniero sanitario Carlos Alberto López Herrera en el diseño y construcción de innumerables sistemas de tratamiento de vertimientos industriales y domésticos, y en experiencias de plantas de tratamiento de aguas servidas con condiciones similares a éstas, la caracterización de los vertimientos producidos por estas pequeñas empresas productoras de jugos cítricos es la siguiente:

### Caracterización del Agua

Parámetros	Entrada	Salida
Demanda química de oxígeno (DQO)	1536	230,4
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	463	69,5
Sólidos suspendidos	4080,6	612,1
Sólidos disueltos	318	47,7
Nitrito mg/l	< 0,005	< 0,0008
Nitrato mg/l	2,202	0,7
Fosfato mg/l	0,3	0,1
PH	5,2	6,0

*Fuente: Ingeniero Sanitario Carlos Alberto López Herrera*

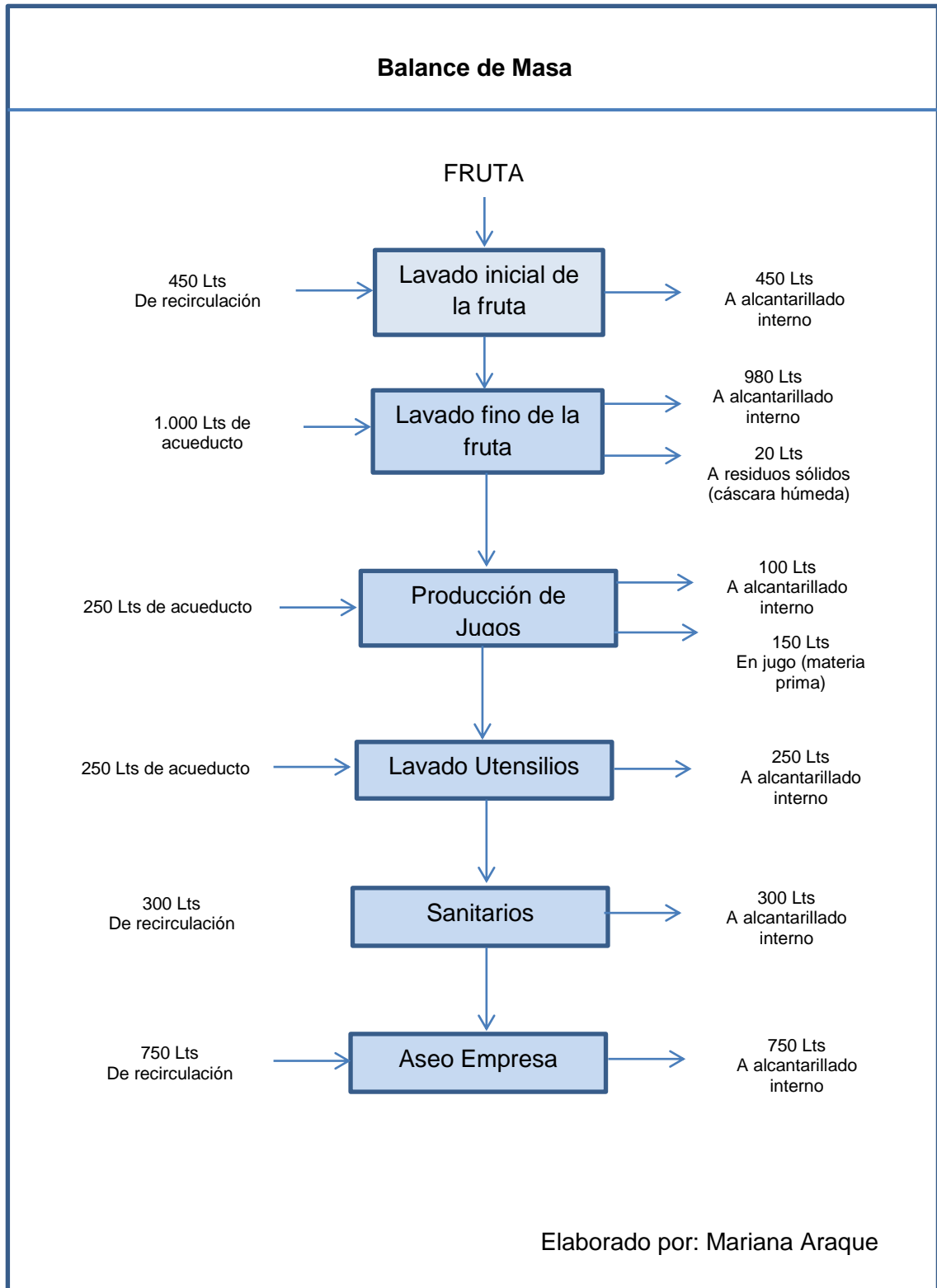
Se presenta también el consumo de energía de la planta proveniente de las dos bombas y el valor de éste teniendo en cuenta el costo del KWh industrial:

BOMBA SUMERGIBLE			BOMBA EXTERNA		
MOTOR	1/3 hp		MOTOR	1/2 hp	
Q	38 gpm	9.120 L/Hr	Q	30 lpm	1.800 L/Hr

POTENCIA		CAUDAL DE LA BOMBA	CAUDAL (L) A BOMBEAR DIA	TIEMPO DE BOMBEO (Hr/Dia)	CONSUMO ELECT. DIARIO (Wh)	CONSUMO ELECT. MES (Wh)	CONSUMO MES EN KWh	VALOR CONSUMO MES
HP	W							
1/3	250	9.120 L/Hr	3.000,00	0,329	82,25	2.467,50	2,468	\$ 918,65
1/2	375	1.800 L/Hr	1.500,00	0,833	312,38	9.371,25	9,371	\$ 3.488,92
								<b>\$ 4.407,57</b>

		KW/Hr =	\$ 372,30	
		TIEMPO DE BOMBEO (Hr/Dia) =	Q a bombear / Q de la bomba	
		CONSUMO ELECT. DIARIO (Wh) =	Potencia bomba x Tiempo de bombeo diario	
		CONSUMO ELECT. MES (Wh) =	Consumo elect. Diario x 30 días	
		CONSUMO MES EN KWh =	Consumo elect. Mes en W / 1000	

A continuación se presenta el balance de masa del agua en el proceso:

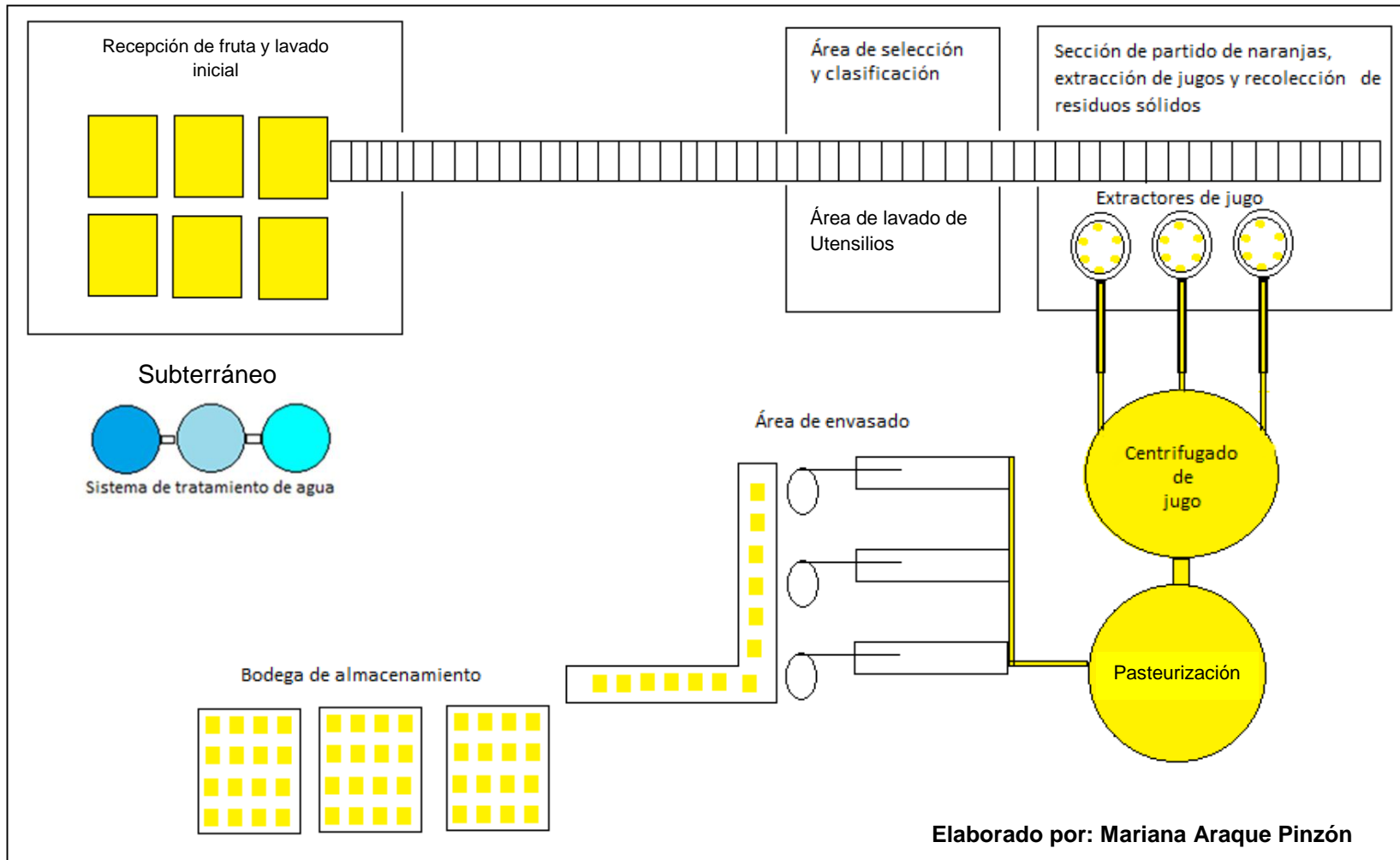


### **5.3.2 Espacio Útil Requerido.**

La otra gran ventaja por la que se adoptó esta alternativa es que no requiere de espacio físico ya que la totalidad del sistema es subterráneo, solo se requiere de unas tapas para su inspección y mantenimiento, procesos estos que se hacen eventualmente permitiendo utilizar toda el área para la recepción y almacenamiento de fruta.

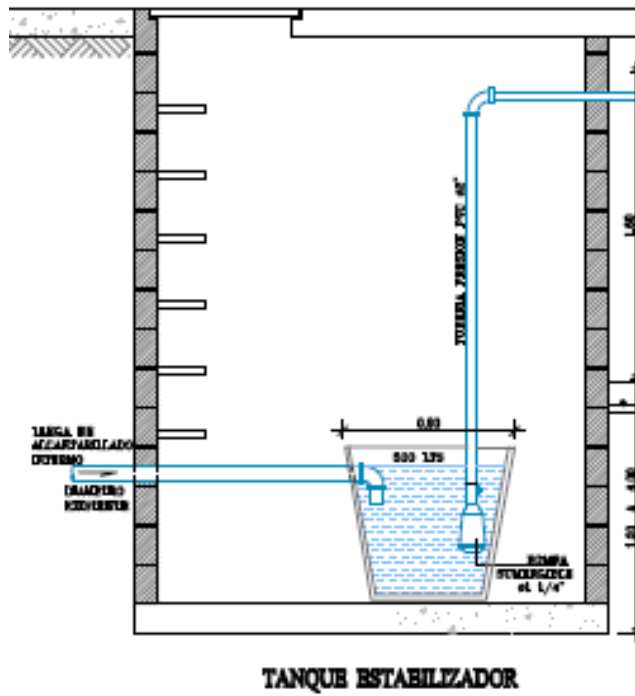


### 5.3.3 Ubicación de la Planta de Tratamiento dentro de la Empresa.

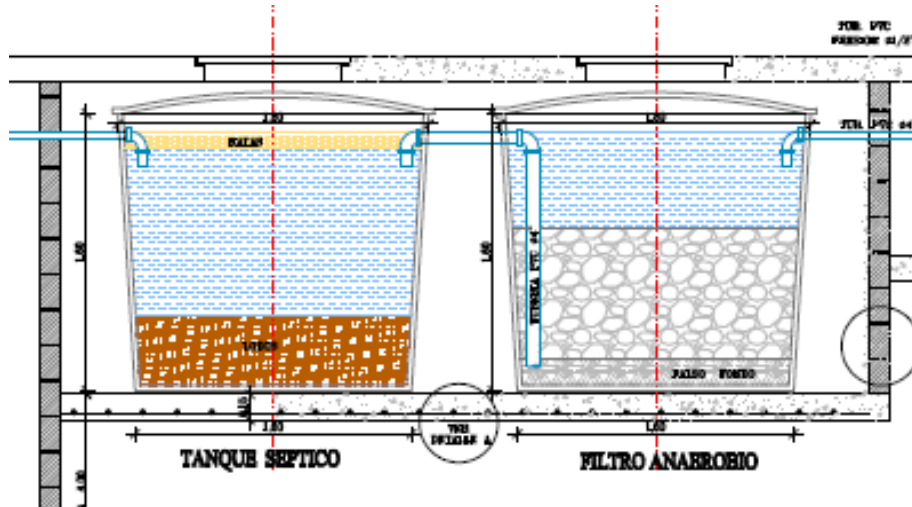


### 5.3.4 Especificaciones de Diseño y Método Constructivo

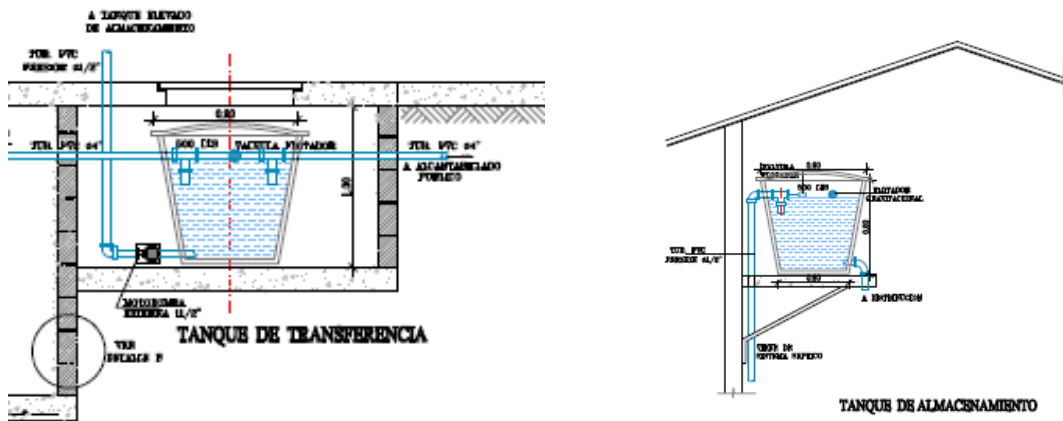
Una vez escogido el sitio de ubicación de la planta se procede a hacer la demolición del piso y las excavaciones requeridas para ubicar los tanques. Se llega hasta encontrar el alcantarillado existente para instalar allí el tanque de estabilización con capacidad para 500 Lts. Como el alcantarillado existente está en una cota muy bajita, se usa una bomba sumergible con caudal máximo de 38 Gl/min para subir estas aguas al tanque séptico y de ahí por gravedad hacer el proceso de tratamiento y volver al alcantarillado público.



A continuación y a una profundidad menor se instalan el tanque séptico y el filtro anaerobio, ambos tanques con capacidad de 3000 Lts cada uno.



Paso seguido y a una profundidad menor que los tanques anteriores de instala el tanque de transferencia con capacidad para 500 Lts. De este tanque y por medio de una bomba convencional con caudal máximo de 30 Lts/min se envía el agua al tanque de almacenamiento elevado para su recirculación.



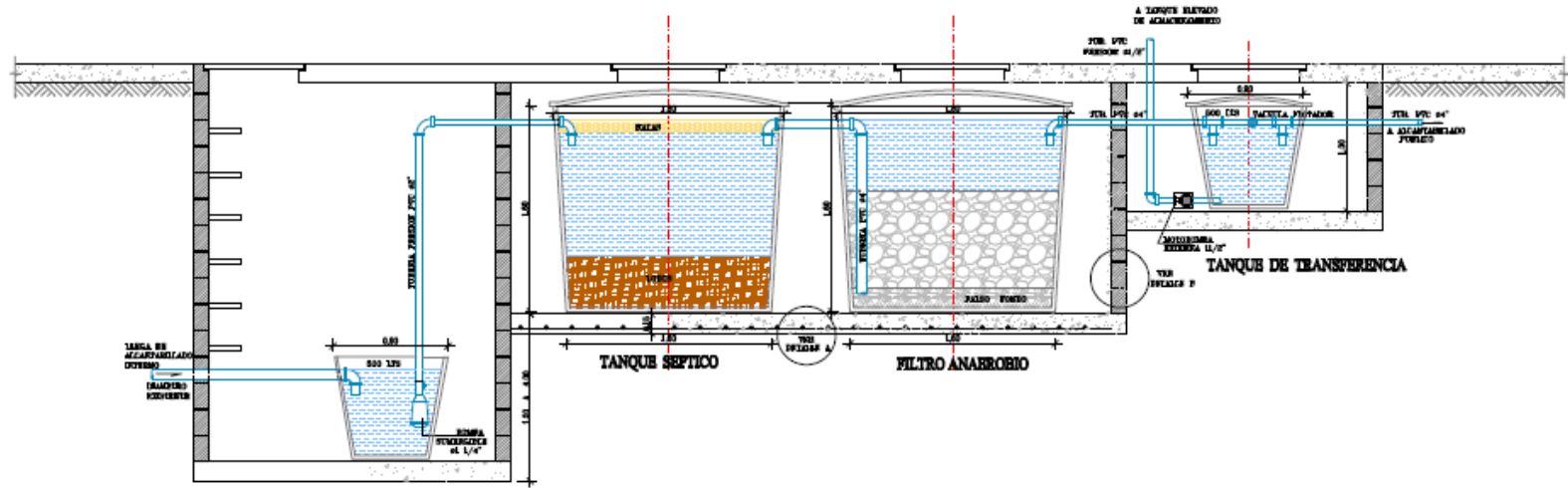
Para la construcción se deben emplear materiales de primera calidad con las especificaciones que se indican a continuación:

<b>TUBERIAS HIDROSANITARIAS</b>		
<b>UBICACIÓN</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>DIAMETRO</b>
Entrada tanque Estabilizador	Existente	Existente
Entre tanque Estabilizador y tanque Séptico	PVC Presión (Bombeo)	2"
Entre tanque Séptico y Filtro Anaerobio	PVC Sanitaria	4"
Entre Filtro Anaerobio tanque de Transferencia	PVC Sanitaria	4"
Entre tanque de Transferencia y alcantarillado público	PVC Sanitaria	4"
Entre tanque de Transferencia y tanque de Almacenamiento	PVC Presión (Bombeo)	1/2"

<b>OBRAS CIVILES</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>ESPECIFICACION</b>
Concretos	Premezclados de 3000 p.s.i.
Refuerzo concretos	Malla electrosoldada Q5
Mamposteria	Muros en ladrillo farol de 12x20x30
Soporte tante de almacenamiento elevado	Mensula metalica en angulo de 3" x 3/16" x 3/16"

A continuación se muestra el plano general de distribución que contiene las especificaciones de diseño, de materiales, medidas y cotas y todo lo necesario para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales:

# Plano General



TANQUE ESTABILIZADOR

TANQUE SEPTICO

FILTRO ANAEROBIO

TANQUE DE TRANSFERENCIA

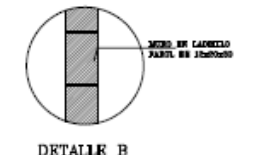
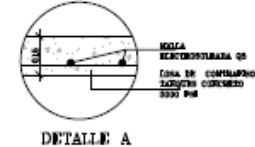
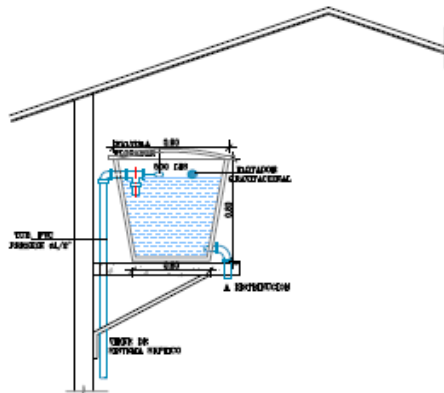
TANQUE DE ALMACENAMIENTO

**TUBERIAS HIDROBANTILLAS**

UBICACION	MATERIAL	DIAMETRO
ENTRADA TANQUE ESTABILIZADOR	ACERADO	2"
ENTRADA TANQUE SEPTICO Y TANQUE ANAEROBIO	PVC BONDURA (60MM)	4"
ENTRADA TANQUE SEPTICO Y FILTRO ANAEROBIO	PVC BONDURA	4"
ENTRADA TANQUE SEPTICO Y TANQUE DE TRANSFERENCIA	PVC BONDURA	4"
ENTRADA TANQUE DE TRANSFERENCIA Y ALMACENAMIENTO ELEVADO	PVC BONDURA	4"
ENTRADA TANQUE DE TRANSFERENCIA Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO ELEVADO	PVC BONDURA (60MM)	10"

**OBRAS CIVILES**

MATERIAL	DESCRIPCION
CONCRETO	FUNDACIONES, PAREDES
ACERADO	REINFORZAMIENTO
MAZUFADO	MEMBRANA DE AISLAMIENTO
ALACRILADO	MEMBRANA DE AISLAMIENTO



### 5.3.5 Manual de Funcionamiento y Mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Vertimiento de Aguas Residuales<sup>33</sup>.

- **Método de Inspección**

La inspección del sistema tiene por objeto determinar los espesores de las capas de natas y lodos que se encuentran depositados al interior del tanque séptico.

Los tanques deben inspeccionarse cada tres meses.

Los métodos para verificar el estado y mantener el sistema se describen a continuación:

a) Para Natas:

Se procede a realizar una inspección visual, verificando que el nivel de las natas esté 5 cm por debajo del orificio de ventilación de la Tee de salida. Si este nivel es superado, debe procederse con el retiro de las natas.

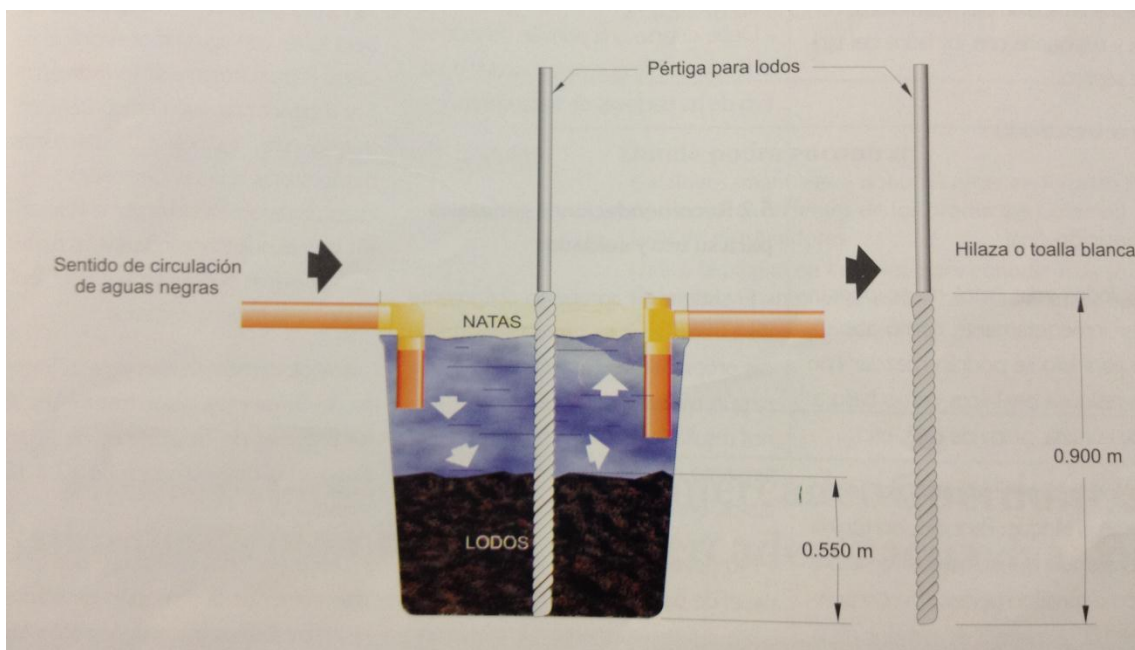
b) Para Lodos:

- ✓ Se prepara una pértiga de 2.50 m de largo aproximadamente a la cual se envuelve en el extremo inferior una toalla blanca o hilaza hasta una altura de 90 cm.
- ✓ Se introduce la pértiga hasta que toque el fondo, esperando unos minutos.
- ✓ Se retira cuidadosamente la pértiga observando la zona de marcado.
- ✓ Si la medición es mayor a 55 cm se deben extraer los lodos.
- ✓ Debe dejarse una porción de lodo en el fondo del tanque para inocular el cultivo de las bacterias de tratamiento.

---

<sup>33</sup> Colombit, Sistema de tratamiento de aguas residuales, Línea Ambiental. 2012

**Gráfico 17. Inspección de Natas y Lodos**



*Fuente: Colombit, Sistema de tratamiento de aguas residuales. 2012*

El filtro anaerobio debe ser sometido a mantenimiento cada vez que el tanque séptico lo requiera. Para tal fin se recomienda realizar los siguientes procedimientos:

- ✓ Introducir una barra metálica de 2.50 m de longitud, en el medio filtrante hasta tocar el fondo del tanque.
- ✓ Sacudir el medio filtrante realizando movimientos circulares con la barra de manera que la biocapa de bacterias anaerobias se desprenda y pueda flotar.
- ✓ Introducir por la Tee de entrada una manguera con agua a presión hasta el fondo del tanque, para realizar un flujo ascendente de agua limpia a través de tanque.
- ✓ Retirar la capa de biomasa flotante y disponerla con los lodos del tanque séptico.

- **Manejo de los Lodos Producidos**

Este sistema de tratamiento produce unos lodos y natas que deben ser removidos. Éstos deben ser correctamente empacados para su posterior recolección por parte de la empresa prestadora del servicio público correspondiente.

- **Recomendaciones Generales**

Antes de poner en funcionamiento un sistema de tratamiento de este tipo recién construido, el tanque séptico se debe llenar con agua hasta el orificio de salida. Posteriormente se vacían entre 5 y 8 paladas de lodo activo (bacterias biodigestoras), con el objeto de inocular las bacterias necesarias para iniciar la descomposición de los residuos contaminantes.

Se deben utilizar bacterias biodigestoras que pueden aumentar la remoción de sólidos del 80 al 95% mejorando la efectividad del sistema.

*Se han propuesto tres alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales que podrían implementar las pequeñas empresas de jugos cítricos de la ciudad de Bogotá y se han analizado desde varios criterios teniendo en cuenta principalmente los costos de operación y mantenimiento de las plantas y el espacio útil requerido, ya que son las principales razones por las que estas empresas no han implementado sistemas de tratamiento. Como resultado de lo anterior se escoge y desarrolla la alternativa 2 que consta de una planta de tratamiento modular que es de bajo costo, no requiere de espacio útil ya que es subterránea y es muy eficiente en cuanto a tratamiento de agua.*



## 6 EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera se refiere a los costos de construcción, mantenimiento y operación que se requieren para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales que permita a la industria frutícola cumplir con la normatividad en cuanto al vertimiento de aguas industriales. Además contiene la viabilidad financiera que hace factible la implementación del sistema.

### 6.1 EVALUACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Para cuantificar los costos de construcción se definen las actividades necesarias a ejecutar y a cada una de estas se le realiza el respectivo Análisis de Precios Unitarios (APU). Para hacer los APU se tiene como base las cotizaciones de proveedores especializados.

#### 6.1.1 Valor del Sistema de Tratamiento.

Para calcular el valor del sistema de tratamiento se cuenta con la siguiente asesoría: para la construcción de la infraestructura civil con la asesoría del ingeniero civil Pablo Felipe Araque Gómez, para la construcción de la parte hidrosanitaria con la asesoría del ingeniero hidráulico Jorge Iván Ramírez Duque y en la revisión del sistema de tratamiento propiamente dicho con la asesoría del ingeniero sanitario Carlos Alberto López Herrera.

Las cotizaciones respectivas e encuentran en el Anexo 3.

#### VALOR DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

ITEM	DESCRIPCION	UN.	CANT.	Vr. UNITARIO	VR. PARCIAL
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1,1	Reubicación temporal fruta	GL	1,00	57.412,00	57.412,00
1,2	Localización y replanteo	M2	16,00	575,00	9.200,00

<b>2 DEMOLICIONES Y EXCAVACIONES</b>					
2,1	Demolición pavimentos	M2	16,00	7.099,00	113.584,00
2,2	Excavación en tierra	M3	35,20	12.441,00	437.923,00
2,3	Retiro de escombros	M3	37,12	14.500,00	538.240,00
<b>3 CONCRETOS Y MAMPOSTERIA</b>					
3,1	Placa de contrapiso	M2	15,30	30.970,00	473.841,00
3,2	Tapas en concreto	UN	4,00	50.500,00	202.000,00
3,3	Muros en mampostería	M2	42,50	28.408,00	1.202.396,00
<b>4 TANQUES Y EQUIPOS</b>					
4,1	Sumin. e instal. Tanque estabilizador	UN	1,00	238.245,00	238.245,00
4,2	Sumin. e instal. Tanque séptico	UN	1,00	877.464,00	877.464,00
4,3	Sumin. e instal. Filtro anaerobio	UN	1,00	1.182.885,00	1.182.885,00
4,4	Sumin. e instal. Tanque de transferencia	UN	1,00	229.390,00	229.390,00
4,5	Sumin. e instal. Tanque distribución	UN	1,00	386.396,00	386.396,00
4,6	Sumin. e instal. Bomba Sumergible	UN	1,00	672.508,00	672.508,00
4,7	Sumin. e instal. Motobomba externa	UN	1,00	258.422,00	258.422,00
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>6.879.906,00</b>
	Imprevistos	%	7	6.879.906,00	481.594,00
<b>VALOR TOTAL DEL SISTEMA</b>					<b>7.361.500,00</b>

## 6.1.2 Análisis de Precios Unitarios.

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ITEM	DESCRIPCION	UN.	CANT.	Vr. UNITARIO	VR. PARCIAL	VR. TOTAL
<b>1 PRELIMINARES</b>						
<b>1,1</b>	<b>Reubicación temporal fruta</b>	<b>GL</b>				
	M de O - No calificada	Jornal	2,00	26.446,00	52.892,00	
	Elementos de aseo	Gl	1,00	4.520,00	4.520,00	
<b>COSTO DIRECTO</b>						<b>57.412,00</b>

<b>1,2</b>	<b>Localización y replanteo</b>	<b>M2</b>			
	Hilos, cimbras, plomos	Gl	1,00	20,00	20,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,007	26.446,00	185,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,007	52.892,00	370,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>575,00</b>
<b>2,1</b>	<b>Demolición pavimentos</b>	<b>M2</b>			
	Equipo de demolición	Hr	0,10	48.500,00	4.850,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,041	26.446,00	1.084,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,020	52.892,00	1.058,00
	Herramienta menor	%	5,00	2.142,00	107,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>7.099,00</b>
<b>2,2</b>	<b>Excavación en tierra</b>	<b>M3</b>			
	Madera entibado - Telera	Un	0,10	12.500,00	1.250,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,333	26.446,00	8.807,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,035	52.892,00	1.851,00
	Herramienta menor	%	5,00	10.658,00	533,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>12.441,00</b>
<b>2,3</b>	<b>Retiro de escombros</b>	<b>M3</b>			
	Retiro en volqueta	M3	1,00	10.000,00	10.000,00
	Cargue manual	M3	1,000	4.500,00	4.500,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>14.500,00</b>
<b>3</b>	<b>CONCRETOS Y MAMPOSTERIA</b>				
<b>3,1</b>	<b>Placa de contrapiso</b>	<b>M2</b>			
	Concreto 3000 psi (Premezclado)	M3	0,08	268.500,00	21.480,00
	Formaleta y curado	M2	1,00	875,00	875,00
	Desperdicios	%	5,00	22.355,00	1.118,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,090	26.446,00	2.380,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,090	52.892,00	4.760,00
	Herramienta menor	%	5,00	7.140,00	357,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>30.970,00</b>
<b>3,2</b>	<b>Tapas en concreto</b>	<b>UN</b>			
	Concreto 3000 psi (Premezclado)	M3	0,10	268.500,00	26.850,00
	Acero de refuerzo	Kg	1,60	2.455,00	3.928,00
	Formaleta y curado	M2	1,00	1.450,00	1.450,00
	Desperdicios	%	5,00	32.228,00	1.611,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,300	26.446,00	7.934,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,150	52.892,00	7.934,00

	Herramienta menor	%	5,00	15.868,00	793,00	
	<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>50.500,00</b>
<b>3,3</b>	<b>Muros en mampostería</b>	<b>M2</b>				
	Ladrillo farol 10x20x30	Un	15,50	1.050,00	16.275,00	
	Mortero de pega	M3	0,02	241.500,00	4.830,00	
	Desperdicios	%	5,00	21.105,00	1.055,00	
	M de O - No calificada	Jornal	0,075	26.446,00	1.983,00	
	M de O - Calificada	Jornal	0,075	52.892,00	3.967,00	
	Herramienta menor	%	5,00	5.950,00	298,00	
	<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>28.408,00</b>
<b>4</b>	<b>TANQUES Y EQUIPOS</b>					
<b>4,1</b>	<b>Sumin. e instal. Tanque estabilizador</b>	<b>UN</b>				
	Tubería PVC Sanit. 2"	Un	5,60	7.749,00	43.394,00	
	Codo PVC Sanit. 2"	Un	3,00	4.139,00	12.417,00	
	Soldadura PVC	1/64 G	0,10	6.540,00	654,00	
	Limpiador PVC	1/64 G	0,10	2.828,00	283,00	
	Desperdicios	%	5,00	56.748,00	2.837,00	
	Tanque de polietileno de 500 Lts	UN	1,00	162.000,00	162.000,00	
	M de O - No calificada	Jornal	0,200	26.446,00	5.289,00	
	M de O - Calificada	Jornal	0,200	52.892,00	10.578,00	
	Herramienta menor	%	5,00	15.867,00	793,00	
	<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>238.245,00</b>
<b>4,2</b>	<b>Sumin. e instal. Tanque séptico</b>	<b>UN</b>				
	Tubería PVC Sanit. 2"	Un	1,50	7.749,00	11.624,00	
	Codo PVC Sanit. 2"	Un	1,00	4.139,00	4.139,00	
	Tubería PVC Sanit. 4"	Un	1,20	16.131,00	19.357,00	
	Codo PVC Sanit. 4"	Un	1,00	8.165,00	8.165,00	
	Soldadura PVC	1/64 G	0,25	6.540,00	1.635,00	
	Limpiador PVC	1/64 G	0,25	2.828,00	707,00	
	Desperdicios	%	5,00	45.627,00	2.281,00	
	Tanque séptico de 3000 Lts	UN	1,00	800.400,00	800.400,00	
	M de O - No calificada	Jornal	0,350	26.446,00	9.256,00	
	M de O - Calificada	Jornal	0,350	52.892,00	18.512,00	
	Herramienta menor	%	5,00	27.768,00	1.388,00	
	<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>877.464,00</b>

<b>4,3</b>	<b>Sumin. e instal. Filtro anaerobio</b>	<b>UN</b>			
	Tubería PVC Sanit. 2"	Un	0,80	7.749,00	6.199,00
	Codo PVC Sanit. 2"	Un	1,00	4.139,00	4.139,00
	Tubería PVC Sanit. 4"	Un	2,35	16.131,00	37.908,00
	Codo PVC Sanit. 4"	Un	1,00	8.165,00	8.165,00
	Soldadura PVC	1/64	0,25	6.540,00	1.635,00
	Limpiador PVC	1/64	0,25	2.828,00	707,00
	Desperdicios	%	5,00	58.753,00	2.938,00
	Tanque séptico de 3000 Lts	UN	1,00	800.400,00	800.400,00
	Falso fondo para tanque 3000 Lts	UN	1,00	245.146,00	245.146,00
	Piedra filtro (ó suncho plástico)	M3	0,50	38.000,00	19.000,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,680	26.446,00	17.983,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,680	52.892,00	35.967,00
	Herramienta menor	%	5,00	53.950,00	2.698,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>1.182.885,00</b>
<b>4,4</b>	<b>Sumin. e instal. Tanque de transferencia</b>	<b>UN</b>			
	Tubería PVC Sanit. 2"	Un	3,90	7.749,00	30.221,00
	Codo PVC Sanit. 2"	Un	2,00	4.139,00	8.278,00
	Tee PVC Sanit. 2"	Un	2,00	4.439,00	8.878,00
	Soldadura PVC	1/64	0,10	6.540,00	654,00
	Limpiador PVC	1/64	0,10	2.828,00	283,00
	Desperdicios	%	5,00	48.314,00	2.416,00
	Tanque de polietileno de 500 Lts	UN	1,00	162.000,00	162.000,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,200	26.446,00	5.289,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,200	52.892,00	10.578,00
	Herramienta menor	%	5,00	15.867,00	793,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>229.390,00</b>
<b>4,5</b>	<b>Sumin. e instal. Tanque distribución</b>	<b>UN</b>			
	Tubería PVC Pres. 1/2"	Un	26,40	2.400,00	63.360,00
	Codo PVC Pres. 1/2"	Un	9,00	398,00	3.582,00
	Unión PVC Pres. 1/2"	Un	3,00	255,00	765,00
	Soldadura PVC	1/64	0,32	6.540,00	2.093,00
	Limpiador PVC	1/64	0,32	2.828,00	905,00
	Desperdicios	%	5,00	70.705,00	3.535,00
	Tanque de polietileno de 500 Lts	Un	1,00	162.000,00	162.000,00
	Ménsula de soporte del tanque	Un	1,00	121.000,00	121.000,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,350	26.446,00	9.256,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,350	52.892,00	18.512,00
	Herramienta menor	%	5,00	27.768,00	1.388,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>386.396,00</b>

<b>4,6</b>	<b>Sumin. e instal. Bomba Sumergible</b>	<b>UN</b>			
	Accesorios PVC	Juego	1,00	18.456,00	18.456,00
	Válvula de pie de 1 1/4"	Un	1,00	40.000,00	40.000,00
	Motobomba sumergible SSC 27-1	Un	1,00	567.400,00	567.400,00
	Paquete eléctrico incluido	Un	1,00	0,00	0,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,560	26.446,00	14.810,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,560	52.892,00	29.620,00
	Herramienta menor	%	5,00	44.430,00	2.222,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>672.508,00</b>
<b>4,7</b>	<b>Sumin. e instal. Motobomba externa</b>	<b>UN</b>			
	Accesorios PVC	Juego	1,00	12.056,00	12.056,00
	Válvula de pie de 1"	Un	1,00	25.000,00	25.000,00
	Motobomba CORCELL QB60	Un	1,00	95.000,00	95.000,00
	Válvula flotador de 1/2"	Un	1,00	18.479,00	18.479,00
	Válvula Red White de 1/2"	Un	1,00	26.235,00	26.235,00
	Flotador gravitacional	Un	1,00	35.000,00	35.000,00
	Paquete eléctrico incluido	Un	1,00	0,00	0,00
	M de O - No calificada	Jornal	0,560	26.446,00	14.810,00
	M de O - Calificada	Jornal	0,560	52.892,00	29.620,00
	Herramienta menor	%	5,00	44.430,00	2.222,00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>258.422,00</b>

## 6.2 VIABILIDAD FINANCIERA

A partir del costo de la planta de tratamiento para aguas industriales se desarrolla un análisis financiero con el fin de examinar el retorno de la inversión para una empresa que realice el montaje de una planta de este tipo. A continuación se muestra el valor del cargo fijo (como información), las tarifas de acueducto y alcantarillado para usuarios industriales según datos de la EAAB<sup>34</sup> y el valor del consumo de acueducto y alcantarillado para las empresas con un consumo como el evaluado.

<sup>34</sup> Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Servicios cargo fijo 2012.

	<b>Cargo fijo</b>	<b>Costo M<sup>3</sup></b>	<b>Consumo</b>	<b>Total consumo</b>
Acueducto	\$ 24.916,00	\$ 3.526,00	80	\$ 282.080,00
Alcantarillado	\$ 16.916,00	\$ 1.936,00	80	\$ 154.880,00
<b>Total</b>	<b>\$ 41.832,00</b>	<b>\$ 5.462,00</b>	<b>160</b>	<b>\$ 436.960,00</b>

Según los resultados de la encuesta, estas empresas pueden recircular el 50% del agua tratada para ser utilizada en el lavado inicial de la fruta y en el lavado de las instalaciones de la empresa y sanitarios. A continuación se muestra la simulación de consumir un 50% menos de agua en el proceso productivo.

	<b>Cargo fijo</b>	<b>Costo M<sup>3</sup></b>	<b>Consumo</b>	<b>Total consumo</b>
Acueducto	\$ 24.916,00	\$ 3.526,00	40	\$ 141.040,00
Alcantarillado	\$ 16.916,00	\$ 1.936,00	40	\$ 77.440,00
<b>Total</b>	<b>\$ 41.832,00</b>	<b>\$ 5.462,00</b>	<b>80</b>	<b>\$ 218.480,00</b>

Según esta simulación el ahorro sería de:

Ahorro mensual	<b>\$ 218.480,00</b>
----------------	----------------------

Con base en estas cifras se puede desarrollar un análisis financiero que permita saber en cuánto tiempo la empresa puede recuperar su inversión y cuál sería la tasa de esta inversión. Para poder hacer este cálculo es necesario tener en cuenta un costo de oportunidad, es decir, que la empresa para invertir \$7,361,500 debe tener en cuenta una tasa de oportunidad que en este caso sería del 9.35% calculada por medio del WACC, dado que los recursos que se invierten en esta planta de tratamiento podrían ser utilizados en inversión para materia prima o para mejoramiento de la infraestructura de la planta, esta inversión se compara contra el ahorro que obtiene la empresa cuando utiliza la planta de tratamiento para recircular el agua y obtener un beneficio.

Así, lo que se hace es comparar la inversión con la disminución en el servicio de agua potable y alcantarillado, es importante recordar que si se disminuye el consumo de agua por tanto disminuye el costo de alcantarillado y esto es importante cuando se habla de recirculación y de un sistema que permita el tratamiento del agua.

A continuación se muestra un análisis financiero a través de la TIR (Tasa Interna De Retorno), tasa que permite evaluar el proyecto, si la Tasa Interna de Retorno es mayor

que la tasa de descuento o tasa de oportunidad, el proyecto se puede implementar pues se estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo.<sup>35</sup>

Se realiza el flujo de caja libre teniendo en cuenta un tiempo de vida del proyecto de 5 años, ingresos correspondientes al ahorro en acueducto y alcantarillado por la recirculación de agua, gastos operacionales correspondientes a los costos de operación, mantenimiento y energía de la planta de tratamiento y se tuvo en cuenta la depreciación de la misma y el ahorro en impuestos. Se plantea la posibilidad de que estas pequeñas empresas de jugos cítricos puedan financiar la mitad del costo total de la planta de tratamiento por medio de un préstamo a un banco y la otra mitad con recursos propios.

#### Flujo de Caja Libre

		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	\$ -	\$ 2.621.760	\$ 2.752.848	\$ 2.890.490	\$ 3.035.015	\$ 3.186.766
Gastos Operacionales	\$ -	\$ 197.781	\$ 207.670	\$ 218.054	\$ 228.956	\$ 240.404
Gastos Financieros		\$ 588.920	\$ 503.286	\$ 403.949	\$ 288.720	\$ 155.053
Depreciación	\$ -	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300
Resultado ant impuestos	\$ -	\$ 362.759	\$ 569.592	\$ 796.187	\$ 1.045.039	\$ 1.319.008
Impuestos	\$ -	\$ 123.338	\$ 193.661	\$ 270.704	\$ 355.313	\$ 448.463
Rdo desp impuestos	\$ -	\$ 239.421	\$ 375.931	\$ 525.484	\$ 689.726	\$ 870.546
Depreciación	\$ -	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300
inversiones	\$ 7.361.500					
FLUJO DE CAJA	\$ (7.361.500)	\$ 1.711.721	\$ 1.848.231	\$ 1.997.784	\$ 2.162.026	\$ 2.342.846

A continuación se encuentra la tabla de amortización del préstamo que haría la empresa al banco para financiar la mitad del costo de la planta que es de \$ 3.680.750, se tiene en cuenta una tasa del 16% correspondiente a la tasa de préstamos del Banco Agrario para PYMES a 5 años.

#### Tabla de Amortización del Préstamo

Periodo	Saldo Inicial	Intereses	Abono a Capital	Cuota	Saldo Final
0					\$ 3.680.750,00
1	\$ 3.680.750,00	\$ 588.920,00	\$ 535.215,58	\$ 1.124.135,58	\$ 3.145.534,42
2	\$ 3.145.534,42	\$ 503.285,51	\$ 620.850,07	\$ 1.124.135,58	\$ 2.524.684,34
3	\$ 2.524.684,34	\$ 403.949,50	\$ 720.186,09	\$ 1.124.135,58	\$ 1.804.498,26
4	\$ 1.804.498,26	\$ 288.719,72	\$ 835.415,86	\$ 1.124.135,58	\$ 969.082,40
5	\$ 969.082,40	\$ 155.053,18	\$ 969.082,40	\$ 1.124.135,58	\$ -

<sup>35</sup> Vaquiro c. José Didier. Pymes Futuro. Tasa interna de retorno TIR. 2012.



La tasa de oportunidad se calcula por medio del WACC, para el cálculo de éste se tiene en cuenta la rentabilidad del mercado o del sector según la Superintendencia de Sociedades, la tasa libre de riesgo correspondiente a un CDT de Bancolombia para PYMES, un Beta para productos alimenticios según un estudio de la Universidad del Valle, una tasa de interés correspondiente a la tasa del Banco Agrario de un préstamo para PYMES a 5 años, y el valor del impuesto sobre la renta para empresas en Colombia. A continuación se encuentra el cálculo del WACC:

#### Cálculo del WACC

Rm	7,7%		
Rf	7%	Tasa	16,00%
Beta	1,62	Tx	34%
Ke	8,13%	Kd	10,56%
Activo Total	\$ 7.361.500,00	Inversión Inicial	
Pasivo Total	\$ 3.680.750,00	Wd	0,5
Patrimonio Total	\$ 3.680.750,00	We	0,5
	WACC		9,35%

Por medio del WACC se obtiene una tasa de oportunidad o descuento para la evaluación financiera del 9,35%.

Con base en el flujo de caja libre se calculan la TIR y el VPN y se obtienen los siguientes resultados:

#### Resumen de los Indicadores

VPN =	\$ 288.645
TIR =	11%
B/C =	1,13
TRI =	3,01 años

En este caso la TIR es del 11% que estaría por encima de la tasa de descuento del 9,35%, el VPN (valor presente neto) es de \$ 288.645 y la relación beneficio costo es de 1,13, los indicadores arrojan como resultado un beneficio. Es importante tener en cuenta que se debe esperar un periodo de 3,01 años para recuperar la inversión y a partir de allí la empresa empezará a recibir una ganancia adicional, además hay que tener en cuenta que con esta inversión la empresa no puede ser multada o cerrada por las autoridades ambientales.

A pesar de que según la encuesta la posibilidad de reutilizar agua proveniente de este sistema de tratamiento es del 50%, para efectos del análisis se consideran 2 escenarios adicionales, uno optimista donde se recircule el 60% del agua tratada y otro pesimista donde la recirculación solo sea del 40%.

- **Escenario Optimista**

A continuación se muestra la simulación de consumir un 60% menos de agua en el proceso productivo:

	<b>Cargo fijo</b>	<b>Costo M<sup>3</sup></b>	<b>Consumo</b>	<b>Total consumo</b>
Acueducto	\$ 24.916,00	\$ 3.526,00	32	\$ 112.832,00
Alcantarillado	\$ 16.916,00	\$ 1.936,00	32	\$ 61.952,00
<b>Total</b>	<b>\$ 41.832,00</b>	<b>\$ 5.462,00</b>	<b>64</b>	<b>\$ 174.784,00</b>

Según esta simulación el ahorro sería de:

Ahorro mensual	<b>\$ 262.176,00</b>
----------------	----------------------

### Flujo de Caja Libre

		<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Ingresos	\$ -	\$ 3.146.112	\$ 3.303.418	\$ 3.468.588	\$ 3.642.018	\$ 3.824.119
Gastos Operacionales	\$ -	\$ 197.781	\$ 207.670	\$ 218.054	\$ 228.956	\$ 240.404
Gastos Financieros		\$ 588.920	\$ 503.286	\$ 403.949	\$ 288.720	\$ 155.053
Depreciación	\$ -	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300
Resultado ant impuestos	\$ -	\$ 887.111	\$ 1.120.162	\$ 1.374.285	\$ 1.652.042	\$ 1.956.362
Impuestos	\$ -	\$ 301.618	\$ 380.855	\$ 467.257	\$ 561.694	\$ 665.163
Rdo desp impuestos	\$ -	\$ 585.493	\$ 739.307	\$ 907.028	\$ 1.090.348	\$ 1.291.199
Depreciación	\$ -	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300
inversiones	\$ 7.361.500					
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>\$ (7.361.500)</b>	<b>\$ 2.057.793</b>	<b>\$ 2.211.607</b>	<b>\$ 2.379.328</b>	<b>\$ 2.562.648</b>	<b>\$ 2.763.499</b>

Con base en el flujo de caja libre se calculan la TIR y el VPN y se obtienen los siguientes resultados:

### Resumen de los Indicadores

<b>VPN =</b>	<b>\$ 1.750.181</b>
<b>TIR =</b>	<b>18%</b>
<b>B/C =</b>	<b>1,36</b>
<b>TRI =</b>	<b>2,48 años</b>

- **Escenario Pesimista**

A continuación se muestra la simulación de consumir un 40% menos de agua en el proceso productivo:

	<b>Cargo fijo</b>	<b>Costo M<sup>3</sup></b>	<b>Consumo</b>	<b>Total consumo</b>
Acueducto	\$ 24.916,00	\$ 3.526,00	48	\$ 169.248,00
Alcantarillado	\$ 16.916,00	\$ 1.936,00	48	\$ 92.928,00
<b>Total</b>	<b>\$ 41.832,00</b>	<b>\$ 5.462,00</b>	<b>96</b>	<b>\$ 262.176,00</b>

Según esta simulación el ahorro sería de:

Ahorro mensual	<b>\$ 174.784,00</b>
----------------	----------------------

#### Flujo de Caja Libre

		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	\$ -	\$ 2.097.408	\$ 2.202.278	\$ 2.312.392	\$ 2.428.012	\$ 2.549.413
Gastos Operacionales	\$ -	\$ 197.781	\$ 207.670	\$ 218.054	\$ 228.956	\$ 240.404
Gastos Financieros		\$ 588.920	\$ 503.286	\$ 403.949	\$ 288.720	\$ 155.053
Depreciación	\$ -	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300
Resultado ant impuestos	\$ -	\$ (161.593)	\$ 19.023	\$ 218.089	\$ 438.036	\$ 681.655
Impuestos	\$ -	\$ (54.942)	\$ 6.468	\$ 74.150	\$ 148.932	\$ 231.763
Rdo desp impuestos	\$ -	\$ (106.651)	\$ 12.555	\$ 143.939	\$ 289.104	\$ 449.893
Depreciación	\$ -	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300	\$ 1.472.300
inversiones	\$ 7.361.500					
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>\$ (7.361.500)</b>	<b>\$ 1.365.649</b>	<b>\$ 1.484.855</b>	<b>\$ 1.616.239</b>	<b>\$ 1.761.404</b>	<b>\$ 1.922.193</b>

#### Resumen de los Indicadores

<b>VPN =</b>	\$ -1.172.890
<b>TIR =</b>	3%
<b>B/C =</b>	0,91
<b>TRI =</b>	3,79 años

Estos resultados son negativos ya que es un escenario pesimista que contempla menos agua la que realmente se puede recircular.

A pesar de que los dos primeros escenarios arrojan resultados financieros positivos, debe quedar muy claro que el objeto principal de este proyecto no es este, pues lo que se busca es ayudar a estas pequeñas empresas a cumplir con la normatividad de tratamiento de aguas existente y así evitar sanciones económicas que pueden ser de tal magnitud que lleven a la inviabilidad de estas empresas y su consiguiente cierre. Además el problema ambiental en Bogotá por contaminación es tan grande que si cada una de estas pequeñas empresas contribuye a su solución llegaríamos a lograr la solución definitiva a este problema en corto tiempo.

*La evaluación financiera demuestra los beneficios que recibe la empresa a través de la disminución de riesgos de posibles sanciones y al mismo tiempo por la optimización del proceso productivo al reutilizar el agua tratada para las actividades que lo permiten. Por otro lado está la disminución de las externalidades en cuanto a la responsabilidad ambiental de las empresas y los posibles beneficios tributarios por adopción de tecnologías o reconversión tecnológica. Si se comparan los costos de inversión con las posibles multas que puede imponer la autoridad ambiental se puede concluir que la empresa debe desarrollar este sistema.*

## CONCLUSIONES

- Al identificar un claro problema de contaminación en los cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá producida por los vertimientos no tratados por parte de las empresas, nace el interés por el tema objeto de este proyecto. Luego de revisar el tema más a fondo y encontrar que las pequeñas empresas de jugos cítricos en la ciudad no poseen sistemas para el tratamiento de sus vertimientos no sólo por desconocimiento de la normatividad sino también por la incapacidad económica y carencia de espacio físico para adoptar estos sistemas, surge el interés por encontrar una solución de bajo costo y fácil implementación que les permita además de cumplir con la normatividad existente en cuanto a vertimientos y no ser sancionadas, contribuir con el cuidado del medio ambiente y de un recurso tan importante como el agua que tanto necesita nuestro país y la humanidad.
- Se han identificado y clasificado los residuos contaminantes de las aguas industriales generadas por las empresas de jugos cítricos en Bogotá, que son los que deben ser tratados para lograr que los vertimientos de estas empresas cumplan con los límites máximos permitidos por la normatividad, a la vez que contribuyen con un agua más limpia que llega a los alcantarillados y posteriormente a los ríos ayudando con el cuidado del medio ambiente. Se clasifican estos residuos como inorgánicos, orgánicos y químicos.
- El tema de conocimiento de tecnología para el tratamiento de aguas residuales presenta vacíos en las pequeñas empresas de jugos cítricos ya que casi la mitad de las empresas dice no conocerla, y las que conocen algunos tipos de tecnología se limitan a sistemas de filtración que no son suficientes para disminuir la contaminación de las aguas residuales y poder verterlas a los alcantarillados cumpliendo con la normatividad. Se hace una revisión de la tecnología de punta utilizada para el tratamiento de aguas y aquella aplicable a pequeñas empresas que consta de métodos tradicionales relativamente sencillos y muy eficientes como lo son los procesos bacterianos y los físico-químicos como la coagulación y floculación.
- Colombia cuenta con suficiente normatividad en cuanto al tratamiento de aguas residuales industriales aunque presenta una carencia de regulación para el cumplimiento de las mismas. También se evidencia un desconocimiento de esta normatividad por parte de las pequeñas empresas de jugos cítricos y una imposibilidad de cumplirla principalmente por razones económicas y de espacio físico para poder implementar sistemas de tratamiento de agua.

- Se han propuesto tres alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales que podrían implementar las pequeñas empresas de jugos cítricos de la ciudad de Bogotá y se han analizado desde varios criterios teniendo en cuenta principalmente los costos de operación y mantenimiento de las plantas y el espacio útil requerido, ya que son las principales razones por las que estas empresas no han implementado sistemas de tratamiento. Como resultado de lo anterior se escoge y desarrolla la alternativa 2 que consta de una planta de tratamiento modular que es de bajo costo, no requiere de espacio útil ya que es subterránea y es muy eficiente en cuanto a tratamiento de agua.
- La propuesta de planta de tratamiento modular que puede ser implementada por las pequeñas empresas de jugos cítricos de Bogotá no solo tiene un bajo costo correspondiente a \$ \$ 7.361.000 asequible a estas empresas, sino que permite recircular el agua tratada que puede ser utilizada nuevamente en el lavado inicial de la fruta y en el lavado de las instalaciones de la empresa y sanitarios presentando un ahorro mensual a las empresas en el consumo de agua.
- Se plantea y analiza la viabilidad financiera de tres escenarios de recirculación de agua, uno normal donde se recircula el 50% del agua tratada que corresponde al porcentaje del consumo que emplean estas empresas para actividades que pueden ser realizadas con este tipo de agua, un escenario optimista donde se recircule el 60% del agua y uno pesimista con una recirculación del 40%. Los resultados de estos tres escenarios son los siguientes: Escenario Optimista (VPN: \$ 1.750.181, TIR: 18%, B/C: 1,36 y TRI: 2,48 años), Escenario Normal (VPN: \$ 288.645, TIR: 11%, B/C: 1,13 y TRI: 3,01 años) y Escenario Pesimista (VPN: \$ - 1.172.890, TIR: 3%, B/C: 0,91 y TRI: 3,79 años).
- A pesar de que los dos primeros escenarios arrojan resultados financieros positivos, debe quedar muy claro que el objeto principal de este proyecto no es éste, pues lo que se busca es ayudar a estas pequeñas empresas a cumplir con la normatividad de tratamiento de aguas existente y así evitar sanciones económicas que pueden ser de tal magnitud que lleven a la inviabilidad de estas empresas y su consiguiente cierre. Además el problema ambiental en Bogotá por contaminación es tan grande que si cada una de estas pequeñas empresas contribuye a su solución llegaríamos a lograr la solución definitiva a este problema en corto tiempo.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## INTERNET

Acercar (2009), Normatividad ambiental en Colombia. Consultado el 20 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.acercar.org.co/>

ACS Medio Ambiente. Nano filtración 2012. Consultado el 20 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.acsmedioambiente.com/equipos/nanofiltracion.htm>

Alfaro Vives Orlando G., Sánchez Camps Idalmis, Calderón Zapata Hamlet, Miralles Annia San Pedro 2002. Caracterización de las Aguas Residuales de la Fábrica de Computas Caney. Centro de Investigaciones de Energía Solar. Consultado el 20 de febrero de 2012. Disponible en: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/article/viewFile/2015/1565>

Alcaldía Mayor De Bogotá Secretaria Distrital de Ambiente Dirección de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental – DECSA. Vertimientos Industriales. Consultado el 20 de febrero de 2012. Disponible en:

Aproximaciones a los parámetros diseño y operación de un sistema de tratamiento de las aguas de lavado de banano octubre de 2009. Consultado el 20 de marzo de 2012. Disponible en: [http://www.augura.com.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=117&tmpl=component&format=raw&Itemid=95](http://www.augura.com.co/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=117&tmpl=component&format=raw&Itemid=95)

Aquarent, S.A. Cloración y Desinfección del-agua 2012. Consultado el 20 de febrero de 2012. Disponible en: [http://www.living-water.org/cloracion\\_o\\_desinfeccion\\_del\\_agua.htm](http://www.living-water.org/cloracion_o_desinfeccion_del_agua.htm)

Bello U. Marco Antonio & Pino Q. María Teresa 2000. Medición de presión y caudal. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Consultado el 1 de abril de 2012. Disponible en: <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25635.pdf>

Carrión Osorno, Bayardo (2010). Tecnologías no convencionales o de bajo costo. Consultado el 20 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.slideshare.net/jose1001/tratamiento-agua-tecnologias-blandas>

Cerón Salazar, Ivonn y Cardona Alzate, Carlos. Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cascara de naranja. 20 de noviembre de 2009, p 3 y 4. Consultado el 20 de marzo de 2012. Disponible en: [publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/.../401/401](http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/.../401/401)

Cisneros Graña, Miguel Ángel 2008. Lechos Bacterianos. Consultado el 02 de marzo de 2012. Disponible en:

<http://prueba2.aguapedia.org/master/ponencias/pdf/lechos.pdf>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Servicios cargo fijo 2012. Consultado el 20 de marzo de 2012. Disponible en: <http://www.acueducto.com.co>

JESCO. Aguas Latinas 2012. Consultado el 15 de febrero de 2012. Disponible en:

<http://www.aguaslatinas.com/jesco.html>

NYF de Colombia 2012. Aguas residuales - reciclaje de aguas residuales. Consultado el 15 de marzo de 2012. Disponible en:

Eduardoño. Plantas de tratamiento de aguas residuales – PTAR 2012. Consultado el 2 de marzo de 2012. Disponible en:

<http://www.eduardono.com/site/Ambiental/Sistemasdetratamientodeaguaresidual/PlantasdetratamientodeaguasresidualesPTAR/tabid/208/Default.aspx>

Eduardoño. Planta de tratamiento de agua potable presurizada 2012. Consultado el 2 de marzo de 2012. Disponible en:

<http://www.eduardono.com/site/Ambiental/Plantasdetratamientodeaguapotable/Plantasdetratamientodeaguapotable/tabid/204/Default.aspx>

El agua potable (2009), El tratamiento del agua, disponible desde Internet en: [http://elaguapotable.com/tratamiento\\_del\\_agua.htm](http://elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm), recuperado el 16 de marzo de 2012.

Empresas Olivos. ¿Qué tipos de filtros existen? 2008. Consultado el 16 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.olivos.cl/blog/%C2%BFque-tipos-de-filtros-existen/>

Expeditionen. Unidad móvil de agua potable para el campamento alemán de expedición 2008. Consultado el 16 de febrero de 2012. Disponible en:

<http://www.expeditionen.de/adventure/reisen/51.html>

Filpagua, 2012. Cotización Planta de tratamiento. Disponible en: <http://filpuagua.com/>

Franco Daniel, 2008. Diagramas de Proceso. Para Entender Mejor. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Consultado el 27 de marzo de 2012. Disponible en:

[http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/52/productos/r52\\_10\\_Diagramas.pdf](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/52/productos/r52_10_Diagramas.pdf)

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Representación del IICA en Nicaragua, 2007 p 5. Consultado el 26 de marzo de 2012. Disponible en:

[http://www.iica.int.ni/GuiasTecnicas/Cultivo\\_Naranja.pdf](http://www.iica.int.ni/GuiasTecnicas/Cultivo_Naranja.pdf)



Itzincab L., Chan M., Domínguez R. Utilización de los residuos de vegetales tropicales como materia prima para biorefinerías. Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Yucatán 2004, p 5. Consultado el 28 de marzo de 2012. Disponible en: [congresos.cio.mx/3\\_enc\\_mujer/files/extensos/.../S1-BCA03.doc](http://congresos.cio.mx/3_enc_mujer/files/extensos/.../S1-BCA03.doc)

LENTECH 2012. Water Treatment Solutions. Consultado el 20 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.lenntech.es/>

Mapsa 2012. Catalogo de productos. Consultado el 20 de marzo de 2012. Disponible en: <http://mapsacatalogo.com/>

Martínez Juan y Elizalde Solorio, 2003. Diseño de un tren de tratamiento Terciario Avanzado para Obtener Agua Embotellada. Consultado el 11 de marzo de 2012. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/34531902/Tratamiento-y-Purificacion-de-Agua>

METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales. Mc Graw Hill. 3ª Edición (1995). Consultado el 21 de marzo de 2012. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/ProcesosEDAR.htm>

N&F Ingeniería en Agua. Equipos de Esterilización Ultravioleta para Agua 2012. Consultado el 18 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.nyfdecolombia.com/uvagua.html>

Ptas Plantas de Tratamiento de Aguas y Servicios Ltda. 2012. Consultado el 20 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.unitek.com.ar/productos.php>

RILIZE. El ozono 2012. Consultado el 16 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.ozo3.com/tratamiento-agua-ozono.html>

Secretaria Distrital de Ambiente. Normatividad Ambiental Distrital en el Tema de Vertimientos Bogotá – 2010. Consultado el 16 de febrero de 2012. Disponible en: [http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/494\\_Normatividad\\_Ambiental\\_Distrital\\_Vertimientos.pdf](http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/494_Normatividad_Ambiental_Distrital_Vertimientos.pdf)

Secretaria Distrital de Ambiente Normatividad Ambiental Distrital en el Tema de Vertimientos Bogotá – 2010 Resoluciones 3956 y 3957 de 2009. Consultado el 16 de marzo de 2012. Disponible en: [http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/494\\_Normatividad\\_Ambiental\\_Distrital\\_Vertimientos.pdf](http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/documentos/494_Normatividad_Ambiental_Distrital_Vertimientos.pdf)

Trataguas, 2012. Cotización planta de tratamiento. Consultado el 16 de marzo de 2012. Disponible en: <http://www.trataguassa.com/>

UNIDO. Manual de producción Más Limpia para el Sector Industrial Citrícola 2007. P 6 y 7. Consultado el 15 de febrero de 2012. Disponible en:  
[http://www.unido.org/fileadmin/user\\_media/Publications/Pub\\_free/Manual\\_de\\_produccion\\_mas\\_limpiar\\_para\\_el\\_sector\\_industrial\\_citricola.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Publications/Pub_free/Manual_de_produccion_mas_limpiar_para_el_sector_industrial_citricola.pdf)

Universidad de Sevilla (2007). Riego por Goteo-Cabezal de riego. Consultado el 3 de abril de 2012. Disponible en:  
[http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_06.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_06.htm)

UNITEK 2012. Consultado el 16 de febrero de 2012. Disponible en:  
<http://www.unitek.com.ar/productos.php>

Rotoplast 2012. Catalogo de productos. Consultado el 16 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.rotoplast.com.co/catalogo/>

Vaquiro c. José Didier. Pymes Futuro. Tasa interna de retorno TIR. 2012. Consultado el 20 de marzo de 2012. Disponible en:  
<http://www.pymesfuturo.com/tiretorno.htm>

## **FOLLETOS TÉCNICOS**

Colombit, Sistema de tratamiento de aguas residuales, Línea Ambiental. 2012

## **ARTÍCULOS**

Blanco Myrian. AQUAVITAE REVISTA. Agua reciclada ahorro hacia el futuro. 2007 edición No 4

## **LIBROS**

Hoof Bart van, Monroy Néstor y Saer Alex. Producción Más limpia, paradigma de la gestión ambiental 2008. Alfaomega Colombiana S.A.

Ríos José, Vizán Antonio, Jesús M<sup>a</sup> Pérez y Márquez Juan J. Ingeniería Concurrente en el Diseño de Moldes de Inyección. Universidad Politécnica de Madrid - ETSII. Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación.

Salvador Capuz Rizo Tomas Gómez Navarro. Ecodiseño Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles. México ; Bogotá : Alfaomega, 2004

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **ENCUESTA SOBRE VERTIMIENTOS**

## **ANEXO 2**

### **PLANO DEL DISEÑO DEFINITIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PROPUESTA**

## **ANEXO 3**

### **COTIZACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS**