



ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO PARA DESCONTAMINAR LOS RIOS ACELHUATE, RIO SUCIO, RIO SUQUIAPA Y GRANDE DE SAN MIGUEL



- ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO PARA DESCONTAMINAR LOS RIOS ACELHUATE, RIO SUCIO, RIO SUQUIAPA Y GRANDE DE SAN MIGUEL

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
El Salvador, Centro América

Elaboración
Unidad Ejecutora de Programas Hídricos
Gabinete Técnico

Edición, diseño y diagramación
Unidad de Comunicaciones, MARN

San Salvador, Abril de 2016

Derechos reservados. Prohibida su comercialización
Este documento puede ser reproducido todo o en parte, reconociendo los derechos del
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).
El Salvador, Centro América

Tel.: (503) 2132 6276
Sitio web: www.marn.gob.sv
correo electrónico: medioambiente@marn.gob.sv
Facebook: www.facebook.com/marn.gob.sv
Twitter: @MARN_Oficial_SV

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	7
1. INTRODUCCION.....	14
2. ANTECEDENTES Y NORMATIVA APLICABLE.....	16
3. RECURSOS DE INFORMACION GENERADOS POR EL MARN	18
4. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO ESTUDIADAS:.....	21
4.1 FILTROS PERCOLADORES: Descripción de la tecnología	22
TIPOS DE FILTROS PERCOLADORES	22
4.2 REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE: UASB	23
4.3 Eficiencias de Cada Alternativa:	25
4.4 Comparación de Alternativas de Tratamiento:	26
4.5 Costos Unitarios de las dos alternativas:	27
4.5.1 Sistema UASB-Filtro Percolador:	28
4.5.2 Sistema Clarificador Primario-Filtro Percolador – Clarificador Secundario:.....	31
4.5.4 Matriz de Selección de Alternativas:.....	34
5. DINAMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS CUENCAS ACELHUATE, SUCIO, SUQUIAPA Y GRANDE DE SAN MIGUEL	36
5.1 DINAMICA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL RIO ACELHUATE Y SU APTITUD DE USO	36
5.1.1 FUENTES CONTAMINANTES	41
5.1.1.1 Presiones Poblacionales:.....	41
5.1.1.2 Presiones Industriales y Comerciales:	48
5.1.2 Distribución de las cargas Industriales/poblacionales:.....	49
5.1.3 Seccionamiento del Río Acelhuate:.....	50
5.1.4 Estimación de Caudales Futuros:.....	51
5.1.5 Descontaminación del Río Acelhuate:.....	55
5.1.5.1 Planta de Tratamiento Soyapango:	55
5.1.5.2 PLANTA DE TRATAMIENTO SAN SALVADOR:.....	58
5.1.5.3 REACTIVACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO TRAMO MEDIO Y BAJO DEL RIO LAS CAÑAS:.....	60
5.1.5.4 CUMPLIMIENTO AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ANTIGUO CUSCATLAN:.....	61
5.2 DINAMICA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL RIO SUCIO Y SU APTITUD DE USO.....	62
5.2.1 FUENTES CONTAMINANTES.....	64
5.2.2 DINAMICA DE LA CONTAMINACION DEL RIO SUCIO:	70
5.2.3 Descontaminación del Río Sucio.....	74
5.2.3.1 PLANTA DE TRATAMIENTO SANTA TECLA-SUCIO.....	74
5.2.3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO CASCO URBANO DE QUEZALTEPEQUE	75
5.2.3.3 REACTIVACION DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LOURDES COLON	76
5.2.3.4 CUMPLIMIENTO INDUSTRIAL DE LAS AGUAS:.....	77
5.3 DINAMICA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL RIO SUQUIAPA Y SU APTITUD DE USO	78
5.3.1 FUENTES CONTAMINANTES	78
5.3.2 Descontaminación del Río Suquiapa.	87
5.4 DINAMICA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL Y SU APTITUD DE USO	88
5.4.1 FUENTES CONTAMINANTES	90
5.4.1.1 Fuentes generadas por usos Ordinarios.	90
5.4.1.2 Fuentes Generadas Por Usos Industriales y Agrícolas.	90
5.4.2 Comportamiento de la Calidad del Agua a lo largo del Río Grande de San Miguel	93
5.4.2.1 Comparación de Cargas Totales en el Río.....	93
5.4.2.2 Efecto de los vertidos sobre la calidad de Agua del Río.....	95
5.4.2.3 Área Potencial de Uso del Agua:.....	97

Conclusiones y Recomendaciones:	97
5.4.3 Descontaminación del Rio Grande de San Miguel.....	98
6 ESTIMACION DE COSTOS DE IMPLEMENTACION:	99
GLOSARIO.....	108
SIGLAS Y ACRONIMOS	112

Tablas:

Tabla 1: Normas deseables de Aguas Crudas que solamente requieren medios convencionales de potabilización.....	17
Tabla 2: Normas de Calidad de Agua deseables para Irrigación.....	17
Tabla 3: Normas de Calidad de Agua para Actividades Piscícolas.....	18
Tabla 4: Clasificación de los niveles de contaminación utilizados en el modelo de Calidad	19
Tabla 5: Remociones promedio esperadas por las diferentes tecnologías	25
Tabla 6: Comparación de sistemas de Tratamiento	27
Tabla 7: Precios Unitarios Planta con Reactor UASB + Filtro Percolador	29
Tabla 11: Precios Unitarios Planta con Reactor Filtro Percolador	32
Tabla 12: Resumen de Costos de las Tras Alternativas Propuestas vs Eficiencias de Remoción	34
Tabla 13: Matriz de Selección de Plantas de tratamiento.....	34
Tabla 14: Población Total según Censo del 2007 de los municipios del AMSS.....	38
Tabla 15: Distribución de la Población Rural y Urbana del AMSS	40
Tabla 16: Tabla Resumen de las Presiones Urbanas en la Cuenca del Río Acelhuate	41
Tabla 17: tipo de Servicios básicos de Agua para el AMSS segun Encuesta de Hogares por tipo de Vivienda 2011	42
Tabla 18: Población Vertiente con acceso y sin acceso a Alcantarillado en el AMSS	43
Tabla 19: Estimación de Cargas DBO/día Vertidas por el AMSS a la cuenca del Río Acelhuate	45
Tabla 20: Estimación de Caudales Vertientes en el Colector Interceptor + CP5 y el CP4	47
Tabla 21: Estimación de Cargas Domésticas, Industriales, Comerciales, Hospitalarias vertidas al Colector Interceptor y al CP-4	49
Tabla 22: Estimación de pérdidas por fracturas en los colectores de Aguas Negras.....	49
Tabla 23: Estimación de Crecimiento de la población AMSS	51
Tabla 24: Estimación de Cargas Futuras hacia el Colector Interceptor y el CP-4.....	52
Tabla 25: Listado de Plantas de Tratamiento Identificadas en Zona Media de la microcuenca del Río las Cañas	53
Tabla 26: Fuentes difusas en la cuenca del Río Sucio.....	64
Tabla 27: Estimación de Aporte de Materia Orgánica por actividad Antrópica, Fuentes Puntuales	64
Tabla 28: Codificación por color de los Ríos Respecto a la contaminación biológica.....	70
Tabla 29: Fuentes difusas en la cuenca del Río Suquiapa	78
Tabla 30: Estimación de Aporte de Materia Orgánica por actividad Antrópica, Fuentes Puntuales	79
Tabla 31: Caudales de descarga de los 12 puntos reportados por ANDA Santa Ana	80
Tabla 32: Aportes de cada una de las descargas reportadas por ANDA Santa Ana	81
Tabla 33: Ríos Tributarios y sus respectivas cargas orgánicas estimadas.....	82
Tabla 34: Codificación por color de los Ríos Respecto a la contaminación biológica.....	83
Tabla 35: Presupuesto General para Fortalecimiento Institucional	100
Tabla 36: Tabla consolidada de Costos para el Caso de utilizar UASB + Filtro Percolador.....	100
Tabla 37: Tabla Consolidada de Costos en el Caso de Utilizar Filtros Percoladores	101
Tabla 38: Proyección del precio del kwh en los próximos 30 años	102
Tabla 39: Proyección de valor futuro de las ventas posibles de energía	103
Tabla 40: Valor futuro de los costos de operación y mantenimiento de las opciones analizadas	104
Tabla 41: Valores futuros consolidados de la opción de reactores UASB+Filtro Percolador.....	105
Tabla 42: Valores futuros consolidados de la opción de Filtros Percoladores	105

Ilustraciones:

Ilustración 1: Base de Datos de Calidad de Aguas Superficiales.....	18
Ilustración 2: Vista del Modelo de Calidad de Aguas Superficiales en la Cuenca del Rio Acelhuate	19
Ilustración 3: Vistas de las herramientas desarrolladas para visualización de la calidad de los aguas superficiales	20
Ilustración 4: Modelo predictivo de los diferentes tramos del Rio Acelhuate.....	20
Ilustración 5: Filtro percolador con distribución móvil.....	22
Ilustración 6: Esquema en sección de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente UASB con el sistema de biogás.....	23
Ilustración 7: Temperatura Vs Velocidad de Crecimiento Bacteriano.....	24
Ilustración 8: Variación Horaria Típica del Caudal y Concentración del Agua Residual de Origen Doméstico. Fuente: Metcalf & Eddy, 1985: Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales.	26
Ilustración 9: Diagrama General de Proceso para un sistema Mixto UASB + FILTROS PERCOLADORES....	28
Ilustración 10: Costos de Implentacion UASB-Filtro Percolador.....	30
Ilustración 11: Costos de OYM UASB-Filtro Percolador	30
Ilustración 12: Estimación de Superficie Necesaria por habitante UASB-Filtro Percolador	31
Ilustración 13: Sistema de Tratamiento Filtros Percoladores de Alta Carga	31
Ilustración 14: Costos de Implentacion por habitante Filtros Percoladores	33
Ilustración 15: Costos OYM Filtros Percoladores	33
Ilustración 16: Estimación de superficie necesaria por habitante Filtros Percoladores	34
Ilustración 17: Delimitación de la Cuenca del Rio Acelhuate	37
Ilustración 18: Delimitación política del Departamento de San Salvador	37
Ilustración 19: Delimitación Política del Municipio de San Salvador.....	38
Ilustración 20: Municipios que Integran del AMSS.....	40
Ilustración 21: Área Rural Vs Área Urbana del AMSS.....	41
Ilustración 22: División Funcional de la Cuenca del Rio Acelhuate	45
Ilustración 23: Descargas Primarias de la Zona Alta de la Cuenca del Rio Acelhuate	46
Ilustración 24: Resultados de los Aforos y Muestréos de los Vertidos principales de la Zona Alta de la Cuenca del Acelhuate	48
Ilustración 25: Relación de las Cargas Industriales vs Cargas Domésticas	50
Ilustración 26: Seccionamiento del Rio Acelhuate en Sub-cuencas Tomayate y Rio las Cañas.....	50
Ilustración 27: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en la zona Media de la Cuenca del Rio Acelhuate	54
Ilustración 28: Ubicación PTAR Soyapango	55
Ilustración 29: Ubicación Propuesta PTAR Soyapango	56
Ilustración 30: Vista de la obra de paso a realizar para la extensión del CP-4	56
Ilustración 31: Proyección de PTAR Soyapango	57
Ilustración 32: Ubicación propuesta PTAR San Salvador.....	58
Ilustración 33: Tramo de Cumplimiento Ambiental en Antiguo Cuscatlán	61
Ilustración 34: Delimitación de la Cuenca del Rio Sucio	62
Ilustración 35: Principales Vertidos Domésticos en la Cuenca del Rio Sucio.....	65
Ilustración 36: Volúmenes de Descarga de las Principales Industrias de la Cuenca del Rio Sucio	66
Ilustración 37: Aportes diarios de DQO y DBO De descargas Ordinarias.....	66
Ilustración 38: Aportes diarios de DQO y DBO De descargas Industriales.....	67
Ilustración 39: Aportes Industriales y Ordinarios Consolidados.....	67
Ilustración 40: Comparación de los aportes de descargas DQO y DBO	68
Ilustración 41: Modelo de Calidad de Agua del Rio Sucio y Sus Tributarios.....	69
Ilustración 42: Esquema de la cuenca del rio Sucio.....	71
Ilustración 43: Posible Ubicación de Planta de Tratamiento Santa Tecla.....	74
Ilustración 44: Posible Ubicación Planta de Tratamiento Quezaltepeque.....	75

Ilustración 45: Reactivación de plantas de Tratamiento Lourdes Colón.....	76
Ilustración 46: Zonas Industriales ubicadas alrededor del Rio Belen, que deben de cumplir las normativas ambientales.	77
Ilustración 47: Delimitación de la Cuenca del Río Suquiapa.....	78
Ilustración 48: Comparación de los aportes reportados en las 12 descargas del Casco Urbano de Santa Ana	81
Ilustración 49: Caudal Medio a lo largo del Rio Suquiapa	84
Ilustración 50: % de Saturación de Oxígeno Disuelto Medio a lo largo del Rio Suquiapa.....	84
Ilustración 51: Modelado de la Calidad de los diferentes tramos del rio Suquiapa	85
Ilustración 52: Zona Proyectada para la instalación de la Planta de Tratamiento Santa Ana.....	87
Ilustración 53: Delimitación de la Cuenca del Rio Grande de San Miguel	88
Ilustración 54: Modelo de Calidad del Rio Grande de SanMiguel	93
Ilustración 55: Vertidos Principales al Rio Grande de San Miguel.....	94
Ilustración 56: Comportamiento del pH a lo largo del Rio Grande de San Miguel.....	95
Ilustración 57: Comportamiento del Oxígeno Disuelto a lo largo del Rio Grande de San Miguel	96
Ilustración 58: Vista de la Invasión de Jacintos en la Laguna el Jocotal	96
Ilustración 59: Proyección de la zona donde se puede instalar la Planta de Tratamiento San Miguel.....	98
Ilustración 60: Evolución de la Agricultura como porcentaje del BID en los últimos 50 años.....	107

RESUMEN EJECUTIVO

Las plantas de tratamiento en los últimos años han sido vistas como la única solución al problema de la contaminación de los cuerpos hídricos de aguas negras municipales, la experiencia en El Salvador ha demostrado ser todo menos una estrategia integral e integrada de los diferentes actores. Diversos vacíos/vicios de ley dejan la papa caliente en manos de todos y en manos de nadie. La ausencia tácita de un ente rector del recurso hídrico es especialmente latente al ver el problema de la contaminación de los ríos, lagos y lagunas. Esfuerzos por rescatar la agricultura son inútiles sino se garantiza el suministro de agua de buena calidad; el país pierde productividad por una población enferma y las posibilidades de crecimiento en turismo se ven restringidas aun haciendo los mejores esfuerzos. En resumidas cuentas, el problema de la contaminación, finalmente es un cinturón de fuerza que no permite al país salir del subdesarrollo. Agua es progreso, cuan cierto es.

Cuando se mide la factibilidad o pre factibilidad de un proyecto se suelen medir o estimar diversos tipos de beneficios al hacer un proyecto, frente al costo de no hacerlo; dependiendo de qué tantos beneficios se puedan obtener por unas determinadas acciones, se comparan con el costo de no hacer dichos cambios y se concluye si un proyecto es factible o no es factible. En ese sentido, hablar de una pre-factibilidad de plantas de tratamiento para las principales cuencas del país, tiene de antemano una respuesta evidente: Sí es factible. ¿Por qué una respuesta tan rápida? Porque la historia ha demostrado una y otra vez que el costo de no dar un adecuado saneamiento a la población es muchísimo más elevado que el costo de hacer, inclusive el mejor tipo de saneamiento posible, los países desarrollados lo saben bien, por eso hacen tratamientos en sus principales centros urbanos que nos dejan asombrados por la tecnología y tecnificación de sus procesos. Las antiguas civilizaciones lo hicieron, aún probablemente sin saber bien qué es lo que hacían o los beneficios que podían recibir. Para ellos, la decisión era mucho más sencilla: Era una cuestión de vida o muerte; el costo de no hacer dichas acciones era la muerte. En una era sin antibióticos y toda nuestra medicina moderna, una simple enfermedad gastrointestinal era una sentencia muerte. No obstante lo que podamos pensar o dar por hecho, hoy en día no es muy distinto en nuestro país para la gran mayoría de las personas ubicadas en las cuencas hidrográficas bajas, quienes deben de beber aguas de cuencas altamente contaminadas que vienen de las ciudades. Hoy por hoy 18.5 niños mueren por cada mil en nuestro país y más de la tercera parte de estas muertes, casi el 40%, son muertes por infecciones gastrointestinales, es decir, 6-7 muertes por cada mil nacimientos, eso significa aproximadamente 320 niños que mueren anualmente debido a esta sola causa ¿Cómo le ponemos valor a esos niños que año con año mueren por enfermedades gastrointestinales en nuestro país?, casi uno por día. ¿Acaso vale para los padres \$100, \$1,000, \$10,000, \$100,000 o más?, ¿cuánto valen para la sociedad? Ante tales preguntas, la única respuesta que

hemos dado es el silencio al no saber qué decir, que con los años se ha transformado en indiferencia y actualmente simplemente pensamos que nada se puede hacer.

Ahora bien, cualquiera pudiese pensar que esta argumentación no es válida debido a que no es cuantificable, porque no es posible ponerle valor a una vida, moralmente hablando; sin embargo, esta sociedad no actúa de forma moral, sino de acuerdo al mercado de la oferta y la demanda, por lo que habrá que demostrar que adicionalmente a ser moral esta decisión, tiene un beneficio económico que si es cuantificable en los costos del Sistema de Salud Nacional y Privado por enfermedades Gastrointestinales, las pérdidas de productividad por incapacidades y las pérdidas en turismo. Las estimaciones en estos campos van desde los \$500 millones de dólares al año hasta los \$1,000 millones al año o inclusive más. Nótese que estos valores son anuales y si los proyectamos a 30 años con una modesta tasa de interés del 3% podríamos tener un ingreso desde los 25,000 a 50,000 millones de dólares. Esto es altamente significativo, al tomar en cuenta que la deuda pública total de El Salvador a mayo del año 2016 es de 16,883.7 millones de dólares.

Como se dijo anteriormente, el proyecto desde el principio es factible debido al enorme beneficio que esto implica. Sin embargo hay que hacer notar que en este documento sólo se abordan 4 cuencas, probablemente las más contaminadas, cada una con una dinámica distinta a las otras y para poder ver todos los beneficios el saneamiento debe de ser equitativo en todo el país.

El Salvador, es tan pequeño en términos territoriales, que casi toda el agua lluvia se va rápidamente en escorrentía superficial. La ausencia de planificación es latente al vernos incapaces de almacenar suficiente agua para mantener una agricultura sostenible durante todo el año. Y si a todo esto le sumamos los problemas sociales en torno al agua, nos encontramos ante un problema medular de grandes proporciones, que durante muchos años ha sido mejor ignorar y se ha asumido como un mal necesario. Decenas de estudios se han hecho por diferentes entes en los últimos 40 años, señalando una y otra vez lo que es evidente: Pronto, nos quedaremos sin agua apta para consumo humano y/o riego. Se han propuesto diversos tipos de soluciones y es aquí, donde usualmente se dice, “la planta de tratamiento”, la solución a todos los problemas o lo que se suele llamar, “el final del tubo”. Sin embargo, el tiempo nos ha enseñado que instalar plantas de tratamiento por sí mismas, no soluciona ningún problema.

Diversas plantas de tratamiento se hicieron en los años 90’s, la tecnología: Filtros percoladores – Clarificadores Dourmount. A la fecha, prácticamente todas estas plantas se encuentran colapsadas, inhabilitadas, abandonadas; funcionando únicamente como un by-pass de las aguas residuales, descargándose al cuerpo receptor en estado prácticamente crudo. Sin nadie que les de mantenimiento, sin nadie que

finalmente se dé cuenta que toda esa inversión se tiró a la basura, literalmente millones de dólares tirados a la basura, que si los llevamos a valor presente, serían cientos de millones. Sin embargo, para llegar a este punto, debimos pasar por todas las equivocaciones pasadas. Es por eso que es importante reflexionar nuevamente en este tema y no darlo por sentado.

En aquel entonces nos vendieron las “bacterias”, como las soluciones de última tecnología, rivalizando únicamente con la tecnología espacial; nos vendieron al ser más antiguo y más común sobre la faz de la tierra, que está presente literalmente en todos lados. Nos vendieron, nuevamente espejos. Los nombres de las bacterias entre más complejos, más caros: aeróbicas, anaeróbicas, facultativas, comenzaron a formar parte del acervo cultural. En aquel entonces, todos los entes rectores, al igual que hoy, creyeron que las soluciones empaquetadas iban a ser realmente funcionales y que finalmente ponían punto final a un problema de centenas de años. Con una sola medida quisieron solucionar un problema medular que requiere más, mucho más. El tiempo ha demostrado que una sola medida, no es capaz de cambiar todo un sistema. Lo más problemático a este punto es que parece que no hemos aprendido de nuestros errores, y aun hoy por hoy, existe una deficiencia muy grande de conocimiento técnico de plantas de tratamiento en nuestro país. Es posible que hoy, caigamos nuevamente como se hizo en el pasado en confiar en las “últimas tecnologías” que finalmente solo terminan enriqueciendo a unos cuantos y sin solucionar ningún problema. La solución real, exige un compromiso de país, de la población, pero principalmente de las instituciones públicas, y es precisamente esta última la más difícil de poder concretar.

Hace 30 años, tan poca era nuestra especialización en esa área que nos vendieron las propias piedras volcánicas, como el material más maravilloso para la depuración de aguas residuales. **Ojo: nuestras propias piedras volcánicas.** Quién sabe quién fue el “genio” en aquel entonces que se le ocurrió la brillante idea de vendernos piedras volcánicas como medio de relleno para el filtro percolador, pero estamos seguros que esa misma persona es capaz de vender hielo en el polo norte, arena en el desierto y sal en el mar. Los entes rectores, no alcanzaron a vislumbrar lo frágil de este material, lo rápido que el golpe hidráulico lo destrozaría y finalmente terminaría tapando todo el filtro, dejándolo totalmente inservible. Debido a esa sola idea los filtros percoladores, Filtros Anaeróbicos de Flujo Ascendente que se han construido con este material han colapsado en pocos años. Y aun así, después de décadas de saber esto, se han seguido construyendo plantas con este material de relleno (ej.: PTARI Hospital Zacatecoluca-Usulután). Se han seguido aprobando por las diversas instituciones y se ha seguido tapando el problema.

Entonces, de nuevo pensemos en si la planta de tratamiento es la solución: la respuesta: en parte, únicamente. Y a nuestra humilde opinión, la menor de las partes.

¿Entonces cuál es la solución? La institucionalidad, la planeación, la ingeniería: esa es la verdadera solución: Las preguntas Qué, Cómo, Cuándo, Cuánto y Por qué, deben ser resueltas antes de realizar un planteamiento serio: La idea de un Plan Hídrico engloba todos los esfuerzos de un país por lograr salir del Tercer Mundo: Sin agua, no hay desarrollo. Escuchando esto, la lógica de pensamiento nos diría que somos un país rico, sin embargo, esto, es verdad sólo en parte. La realidad es que en nuestro pequeño e inundado país, no hay suficiente agua disponible para consumo humano, agricultura y actividades recreativas, que reúna los requisitos de calidad necesarios para sacarnos del subdesarrollo. Por eso es lógico tener una institución como ANDA, supliendo insuficiente cantidad y calidad de agua a la población, aunque el recurso sea más que suficiente; Un MITUR haciendo un sobresaliente aunque irresponsable trabajo queriendo promover el turismo con Ríos, Lagos, Playas altamente contaminadas; un MINSAL teniendo que lidiar con una población enferma; un CEL lidiando con embalses azolvados y un MAG dando agua y permisos de riego a diestra y siniestra, muchas veces con aguas que queman los cultivos y con la menor productividad de los últimos 50 años. Todos los organismos, actuando, ciegamente.

Ahora, después de años de estudios, al menos sabemos ya el **porqué** de hacer las plantas de tratamiento: **Asegurar tener agua suficiente para consumo humano, riego y actividades recreativas, de buena calidad para poder hacer turismo y no enfermar a la población. Agua que asegure nuestro desarrollo.** Hacer plantas de tratamiento, sólo por hacer, no soluciona nada, simplemente encarece un recurso innecesariamente.

La pregunta de Cómo hacerlo es más difícil de realizar si no se analiza el problema desde una perspectiva global. Es en este punto donde el MARN por medio de la Unidad Ejecutora de Programas Hídricos, desea contribuir para responder esta pregunta del Cómo hacer.

La Unidad Ejecutora de Programas Hídricos del Ministerio de Medio Ambiente se encuentra en una posición de perspectiva global de la situación hídrica del país. Se analiza de forma integral todos los suministros, calidades, escorrentías, evaporaciones, transpiraciones, precipitaciones del agua en nuestro pequeño país, es decir, se genera el balance hídrico. De esta forma, se reúne la información más relevante de los estudios hechos en los últimos años y las diversas propuestas que han existido para poder descontaminar los principales ríos de nuestro país.

Toda esa riqueza de información nos ha llevado a concluir lo siguiente:

Antes de construir cualquier planta de tratamiento, debemos de ordenar el quehacer institucional:

ANDA: Ente rector del agua y por tanto, debe fortalecer su actuación en las siguientes áreas:

- A. Encargado de dar el servicio de tratamiento de aguas ordinarias en las áreas urbanas,
- B. Experticia de sus técnicos en el manejo de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales,
- C. Escuela de Operarios y plan de Certificación de Operarios de Sistemas de Tratamiento,

MARN: Ente rector protector, de conservación y recuperación del medio ambiente, y su uso racional. Este debe fortalecer las siguientes áreas:

- A. Certificación de su laboratorio y de todos sus análisis,
- B. Fortalecimiento de la división de cumplimiento, donde se les dote de suficiente personal y herramientas para ejercer su mandato de proteger el Medio Ambiente,
- C. Fortalecimiento de la Red de Monitoreo Ambiental, pudiendo de esta forma verificar si las acciones llevadas a cabo tienen o no impacto sobre las cuencas y/o cuerpos hídricos.

MINSAL: Ente rector protector de la salud humana. Este debe de fortalecerse:

- A. Labor de Contraloría institucional de la efectividad de las actuaciones de los entes ANDA y MARN.

Las instituciones públicas MAG, MITUR y CEL, deben de verse ampliamente beneficiadas de la labor de las tres instituciones arriba mencionadas. El primero será capaz de ofrecer racionalmente agua para riego en calidad y cantidad suficiente, el segundo, desarrollar proyectos donde la contaminación ambiental no sea un riesgo para la salud de los turistas nacionales y extranjeros; y CEL podrá reducir sus costos de mantenimiento de los embalses con lo cual debería de pagar también el respectivo canon de uso del agua que utiliza.

Ahora bien, es necesario notar que sí se necesitan las Plantas de Tratamiento y es en este punto donde se centra este documento, donde se realiza el planteamiento de la instalación de las siguientes depuradoras:

- I. Río Acelhuate: Se propone la instalación de tres plantas de Tratamiento:
 - a. PTAR Soyapango, Con capacidad de 60,000 m³/d,

b. PTAR San Salvador, Con Capacidad de 109,000 m3/d

Adicionalmente se deben de hacer tres acciones paralelas:

- i. Reactivar las PTARS Abandonadas del tramo medio del rio las Cañas (ANDA-MARN-MINSAL)
- ii. Hacer una fuerte labor de cumplimiento ante las industrias de Soyapango-Ilopango – San Bartolo (MARN-MINSAL).
- iii. Hacer una fuerte labor de cumplimiento con las industrias y Centros Comerciales que descargan a la quebrada el Piro en Antigua Cuscatlán (MARN-MINSAL).

Todas estas Acciones, nos darán una calidad de agua del Río Acelhuate apta para Riego a la altura de Apopa-Aguilares. Estimamos una depuración de un 80% en la carga orgánica total. Se mejorará grandemente la vida urbana dentro de San Salvador, recuperando espacios perdidos, que aunque no sean aptos para actividades recreativas, sí mejorarán el aspecto y la calidad de vida de la población.

2. Río Sucio: Su cuenca sostiene dos Distritos de Riego, cerca de trece municipios, fuertes intereses industriales y fuertes intereses medioambientales.

- a. PTAR Santa Tecla-Sucio, Un planta con Capacidad de 5,000 m3/d
- b. PTAR Municipio de Quezaltepeque, una planta con una capacidad de 15,000 m3/d
- c. Reactivación de las Plantas de Tratamiento de Lourdes, Colón (ANDA-MARN-MINSAL),
- d. Hacer una fuerte labor de Cumplimiento ante las industrias de Sitio del Niño, Colon, San Juan Opico (MARN-MINSAL),

Los objetivos para esta cuenca permitirán que los distritos de Riego de Zapotitlán y Atiocoyo Sur, tengan suficiente agua para uso de Riego, Que El Rio Sucio a la altura de Quezaltepeque pueda potabilizarse, y que adicionalmente San Pablo Tacachico pueda desarrollar aún más la Acuicultura.

3. Río Suquiapa: Esta cuenca soporta todas las descargas de la Ciudad de Santa Ana y de su Industria: Principalmente Beneficios y Tenerías. Se propone:

- a. PTAR Santa Ana, con capacidad de 35,000 m3/d,
- b. Hacer una fuerte labor de Cumplimiento ante las industrias de la zona: Beneficios y Tenerías (MARN-MINSAL)

Los objetivos para esta cuenca permitirán mejorar la calidad de agua en Atiocoyo Norte, promover el turismo y aumentar el agua de riego.

4. Río Grande de San Miguel: Esta cuenca soporta las descargas de la Ciudad de San Miguel. Se propone la instalación de una planta de tratamiento de las siguientes Características:
 - a. PTAR San Miguel, con capacidad de depuración de 20,000 m³/dLos objetivos para esta cuenca es contar con agua de calidad de riego para poder reactivar el sector de la agricultura especialmente ante los años de sequía.

La instalación de todas estas plantas de tratamiento depuran sus respectivas sub-cuencas en un 70%-80% del total de contaminación orgánica y como consecuencia se reduce la carga total de contaminación vertida en todos los ríos del país en un 60%.

La Población urbana que tendría un tratamiento de sus aguas residuales sería de 1.5 millones de habitantes, que constituye cerca del 60% del total de la población urbana del país con acceso a alcantarillado público. El mejoramiento de la calidad de vida de la población, aumento de turismo, posibilidad de uso de agua para riego, podría cuantificarse en miles de millones de dólares para las próximas décadas. El mantener una estrategia integral de gestión del recurso hídrico, es sin duda un negocio rentable para el país.

La inversión a realizar ronda los 100 – 120 millones de dólares (dependiendo del tipo de tecnología a utilizar), del cual un 20% se destina a fortalecimiento de las instituciones anteriormente mencionadas. Es necesaria esa inversión para poder mantener las inversiones realizadas funcionando al menos unos 30 años.

Se proponen dos tipos de tratamiento: Uno con posibilidad de poder vender la energía y el otro sin dicha posibilidad. Ambas alternativas tienen ventajas y desventajas, sin embargo, cualquiera de ellas que se escoja traerá beneficios al país que superarán con creces los costos que se puedan tener.

El abordaje de las soluciones aquí expuestas debe de ser consensuada y validada por los diferentes actores involucrados. El esfuerzo por la implementación de este plan debe de considerarse un esfuerzo de nación que nos dará una posibilidad real de desarrollar nuestra agricultura, turismo y país.

I. INTRODUCCION

Con el pasar del tiempo y la evolución de las ciudades en metrópolis se generó desde los tiempos antiguos problemas graves a la salud pública. Usualmente se nos viene a la memoria los alcantarillados de Grecia, Atenas y Corinto de hace unos 3700 años (1700 AC), sin embargo, se han encontrado referencias a sistemas tan antiguos como de hace 5750 años (3750 AC) en Nippur (India), lo que nos lleva a pensar de que la solución de separar las excretas y desechos ordinarios o industriales de las fuentes de agua potable ha sido durante miles de años un servicio público deseable y necesario.

Una red de alcantarillado se considera un servicio básico en las ciudades modernas, no obstante, en ciudades de países en desarrollo este servicio es ínfimo en relación con la cobertura de las redes de agua potable. Esto genera importantes problemas sanitarios que terminan costando mucho más dinero del que ahorran por no tener dicho servicio. La miopía política en nuestro país durante décadas ha llevado a preocuparse en construir redes de agua potable y ampliar la cobertura, dejando para un futuro incierto la construcción de redes de alcantarillado.

ANDA es el proveedor principal de agua potable para el país, sirviendo alrededor del 40% de la población y concentrando sus esfuerzos de abastecimiento principalmente en el AMSS, al cual proporciona cerca del 60% de toda su producción de Agua Potable (el resto: 15% para occidente, 15% zona central y 10% zona Oriental), según su boletín estadístico, ANDA, 2007. El Resto del país se abastece por medio de las municipalidades, servicios descentralizados, desarrollos de viviendas y cooperativas rurales. Actualmente ANDA de mantenimiento y operación a algunas Plantas de Tratamiento dentro del AMSS y algunas en otras ciudades, mientras que existen muchas plantas de tratamiento que son operadas por municipalidades o entes privados urbanizadores, sin embargo, la dispersión de criterios respecto a los tratamientos empleados, hace que estos sean muy poco efectivos.

En principio la solución más evidente sería el colocar una planta de tratamiento al final del “desagüe” y simplemente “tratar” el 100% de las aguas residuales ordinarias e industriales tratadas. Para esta solución se tendría que comenzar por desenmarañar toda la red de alcantarillado de estas ciudades o construir uno donde no lo hay para poder conducir las aguas residuales hasta su respectivo tratamiento. La complejidad de esta alternativa nos hace fácilmente pensar que es una labor imposible para algunas ciudades, especialmente para el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS). Sin embargo, no es tan difícil para algunas ciudades que han

crecido de forma menos desordenada como en el caso de la Ciudad de Santa Ana o la Ciudad de San Miguel.

El análisis y comprensión de las redes de drenaje y su efecto en la calidad de agua de los micro-cuencas en el país es la base para las soluciones planteadas en este momento. Para cada uno de los casos se ha delimitado las cuencas vertientes y su efecto en la calidad del cuerpo receptor, así como el efecto del tratamiento sobre dichos vertidos.

Los objetivos planteados de este estudio de pre-factibilidad son los siguientes:

1. Identificar y ubicar las Plantas de Tratamiento que tendrán el mayor efecto en la calidad de agua de los distintos cuerpos receptores.
2. Delimitar los Tramos de los ríos en mención que producen la mayor cantidad de contaminación.
3. Verificar si en los tramos delimitados existen áreas donde es factible instalar una planta de tratamiento.
4. Hacer una comparación de diferentes alternativas de tratamiento, así como una estimación de sus respectivos costos.
5. Estimar los impactos generados aguas abajo posteriores a las acciones de tratamiento propuestas.
6. Verificar que los impactos generados de las acciones en mención contribuyen a cambiar la aptitud de uso de los diferentes cuerpos de agua, pudiendo llegar a tener aptitudes de uso de riego o actividades recreativas.

Para dar cumplimiento a estos seis objetivos se ha seguido una metodología que permita fácilmente identificar las ventajas y desventajas de cada una de las opciones planteadas.

A partir de este estudio de pre-factibilidad se puede avanzar hacia un diseño de detalle, posteriormente a validar los datos de campo del cual se han partido o realizar un estudio de campo de factibilidad correspondiente antes del diseño de detalle. De cualquier forma, debido a que los datos son de varios años y de varios autores, estos necesitan validarse en campo.

2. ANTECEDENTES Y NORMATIVA APLICABLE

Han existido diversas propuestas para realizar el saneamiento de los ríos Acelhuate, Sucio, Suquiapa y Grande San Miguel. Todos los planteamientos concuerdan en la gran necesidad de la colocación de plantas de tratamiento en lugares específicos y cada uno, a su forma, hace estimaciones y mediciones de campo que validan sus datos. Entre los estudios que más resaltan tenemos:

1. Medidas de Control de la Contaminación en los Ríos Tomayate y las Cañas, Biotec, 2011,
2. Diagnóstico y Monitoreo de la Calidad del Agua del Río Sucio en la Zona del Valle San Andrés, ITCA-FEPADE, 2011
3. Propuesta de Descontaminación del Canal Principal de los Ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa, SNET, 2002,
4. Actualización del Catastro de Vertidos, Evaluación sobre la aplicación, Cumplimiento y Verificación del Marco Teórico y Jurídico de las Aguas Residuales de la Sub-cuenca del Río Acelhuate, Ambientec, 2010

El correcto entendimiento de las normativas aplicables es clave para entender las opciones y metas que debemos de cumplir para cada uno de los casos. Las leyes y normativas que utilizaremos de referencia son:

1. Decreto 50, REGLAMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, EL CONTROL DE VERTIDOS Y LAS ZONAS DE PROTECCION. Este decreto aunque se encuentre tácitamente derogado, legalmente aun es vigente y aplicable. Retomaremos algunos datos importantes que ahí se resaltan que son los siguientes:

Tabla 1: Normas deseables de Aguas Crudas que solamente requieren medios convencionales de potabilización.

PARÁMETROS	RANGO DE VALORES
DBO ₅ Prom. mensual (mg/lit)	1.5 - 2.5
DBO ₅ /muestra (mg/lit)	3.0 - 4.0
Coliformes Pro. men. (NMP/100)	50 - 5000
OD (mg/lit)	4.0 - 6.5
PH	6.5 - 9.2
Cloruros (mg/lit)	50.0 - 250.0
Color (unidades)	20.0 - 150.0
Turbidez (unidades)	10.0 - 250.0
Fluoruros (mg/lit)	1.5 - 3.0
Compuestos Fenólicos (mg/lit)	0.005

Tabla 2: Normas de Calidad de Agua deseables para Irrigación

PARAMETROS	VALORES 1/
Conductividad (Mmhos x 10 ⁻⁶)	250 - 750
RAS (unidades)	0.0 - 10.0
CRS (meq/lit)	1.25
% Sodio (meq/lit)	30.0 - 60.0
Boro (mg/lit)	0.5 - 2.0
Cloruros (meq/lit)	5.5
Sulfatos (meq/lit)	4.1

Tabla 3: Normas de Calidad de Agua para Actividades Piscícolas.

PARAMETROS	CONCENTRACION
Oxígeno Disuelto (mg/lt)	5.0
PH	6.5 - 8.6
Conductividad (Ninhos x 10 ⁻⁶)	150 - 500
Dióxido de Carbono (cc/lt)	3.0
Amoniaco (mg/lt)	1.5
Sustancias Tóxicas	ausentes
Temperatura	Alteraciones no mayores de 3 grados centigrados.
Sólidos Suspendidos	En tal concentración que permitan el paso de la luz a más de 5 metros de profundidad.

3. NORMA PARA REGULAR CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES TIPO ESPECIAL DESCARGADAS AL ALCANTARILLADO SANITARIO. Esta normativa establece valores límites de DBO5 de 400 mg/l, DQO de 1,000 mg/l y Solidos Suspendidos Totales de 450 mg/l. Para las simulaciones se asume que la industria cumple con estas normativas.
4. NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA: NSO 13.49.01:09, "AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR". Esta normativa establece valores límites para la agroindustria que se encuentre fuera de zonas urbanizadas. Finalmente establece también el limite al cual una planta de tratamiento debe de verter al Cuerpo residual, cuyo valor es: de 60 mg/l de DBO5 mg/l, 150 DQO, 60 mg/l SST.

3. RECURSOS DE INFORMACION GENERADOS POR EL MARN

- A. Base de datos acerca de la calidad de los Ríos de El Salvador: Esta base agrupa temporal y espacialmente todos los resultados obtenidos de los estudios conducidos por el MARN en cuerpos superficiales desde el año 2007 al 2013. La base de datos genera automáticamente el Índice de Calidad

Ilustración I: Base de Datos de Calidad de Aguas Superficiales

de Cada punto muestreado y proporciona automáticamente la aptitud de uso. Agrupa más de 9,000 análisis fisicoquímicos y biológicos. **ESTA INFORMACION SE PRESENTA COMO ANEXO I**

- B. Modelo de Calidad de Ríos: Este modelo es generado en base a la información obtenida de la base de datos de calidad de agua de Ríos y muestra gráficamente mediante la tecnología de Google Earth y capas. Se seccionan los tramos de río en base a la calidad medida de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4: Clasificación de los niveles de contaminación utilizados en el modelo de Calidad

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
$DBO_5 \leq 3$	EXCELENTE No contaminada	AZUL
$3 < DBO_5 \leq 6$	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	VERDE
$6 < DBO_5 \leq 30$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARELLO
$30 < DBO_5 \leq 120$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
$DBO_5 > 120$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	ROJO

Este modelo de calidad está basado únicamente en el parámetro de DBO, sin embargo, se tienen históricos espaciales en diferentes capas de otros parámetros importantes, así como del índice de Calidad. **ESTA INFORMACION SE PRESENTA COMO ANEXO 2.** El modelo se ve de la siguiente

forma:



Ilustración 2: Vista del Modelo de Calidad de Aguas Superficiales en la Cuenca del Río Acelhuate

Ilustración 3: Vistas de las herramientas desarrolladas para visualización de la calidad de los aguas superficiales

C. Modelo predictivo de calidad de agua; En base a la información de la base de datos y del modelo de calidad generado se ha creado un modelo predictivo, que indica los resultados obtenidos al realizar determinadas acciones de saneamiento. Está basado en las condiciones naturales de los ríos que funcionan como estaciones de depuración, en las cuales se dan todos los procesos físicos y químicos que pueden haber en una planta de tratamiento. A la capacidad natural que tiene un río o cuerpo hídrico de absorber y depurar una carga orgánica se le llama capacidad de tratamiento. Bajo el modelo de calidad un río que alcance hasta un máximo de 6 ppm podrá auto depurarse sin mayor problema. ESTE MODELO SE PRESENTA COMO ANEXO 3. El modelo se ve de la siguiente forma:

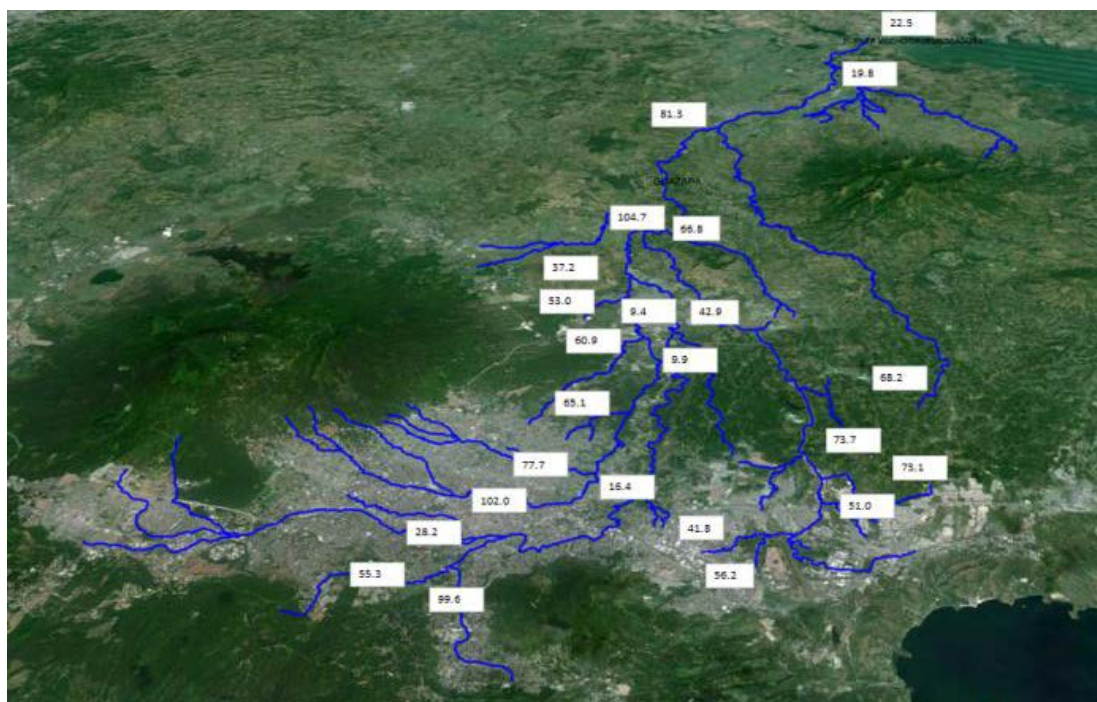


Ilustración 4: Modelo predictivo de los diferentes tramos del Río Acelhuate.

- D. Campaña de muestreo y Aforo llevado a cabo por el MARN en las 4 cuencas estudiadas: Durante los años 2015-2016, el MARN ha llevado a cabo una campaña de aforo y muestreo en 20 puntos clave de estas cuencas. Estos datos han validado los argumentos aquí presentados y se muestran en el **Anexo 4**.
- E. Campaña de Industrias de la Zona del Rio las Cañas: Junto con ANDA el MARN desarrolló una campaña de aforo y muestreo en 40 industrias de la zona del Rio Sumpa (Las Cañas), para demostrar la relación y contaminación industrial en la zona. Estos resultados se muestran en el **Anexo 5**.

4. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO ESTUDIADAS:

El estudio de pre-factibilidad tiene como compromiso especial el evaluar las tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas negras con el objetivo de encontrar la alternativa de proceso que cumpla con requerimientos del proyecto:

1. Cumplir con normatividad vigente (NSO 13.49.01:09, CONACYT).
2. Minimizar los costos operativos.
3. Minimizar la generación de lodos.
4. Ser apropiada para el nivel técnico y administrativo.
5. Ser sostenible.

En Latinoamérica existe mucha experiencia con plantas de bajo impacto, como son los sistemas lagunares, así como también con tecnologías con diverso grado de mecanización y complejidad. A fin de poder comparar las tecnologías, se desarrolló una investigación bibliográfica buscando entender la experiencia en tratamiento de aguas en países en desarrollo. Dentro de los artículos recopilados destaca el escrito por los investigadores brasileños Silvia C. Oliveira y Marcos von Sperling, de título “*Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in developing countries*”, (Evaluación del funcionamiento de diferentes tecnologías de tratamiento de aguas negras en operación en países en desarrollo). Adicionalmente se toma como referencia bibliográfica y conceptual la publicación “RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LA REPUBLICA DE EL SALVADOR”, UNIDAD EJECUTORA DE PROYECTOS HIDRICOS, ENERO 2016,

Ambas publicaciones citadas anteriormente abordan distintos tipos de tecnologías para distintos tipos de casos. Sin embargo, para nuestro estudio únicamente compararemos dos alternativas planteadas: Reactores UASB+Filtro Percolador y Filtros Percoladores. Para los caudales aquí trabajados estas son las tecnologías que más éxito han tenido en latinoamérica. Ambas alternativas utilizarán filtros percoladores, la diferencia es que en la opción de UASB+Filtro Percolador, se sustituye el Clarificador Primario por un reactor UASB. Para entender las tecnologías plantearemos los conceptos:

4.1 **FILTROS PERCOLADORES: Descripción de la tecnología** (tomado de la publicación “RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LA REPUBLICA DE EL SALVADOR”, MARN, 2016)

Los filtros percoladores son procesos de biopelícula en condiciones aerobias. Este tratamiento consiste en pasar el agua residual desde la parte superior del filtro sin inundar, a través de un material de relleno sobre el que crecen los microorganismos, que forman una biopelícula de espesor variable, normalmente de algunos milímetros. El crecimiento progresivo de la biopelícula provoca que, a partir de un cierto espesor, ésta se desprenda arrastrada por el agua circulante. Para separar el agua filtrada del exceso de biopelícula es necesario un proceso de sedimentación posterior.

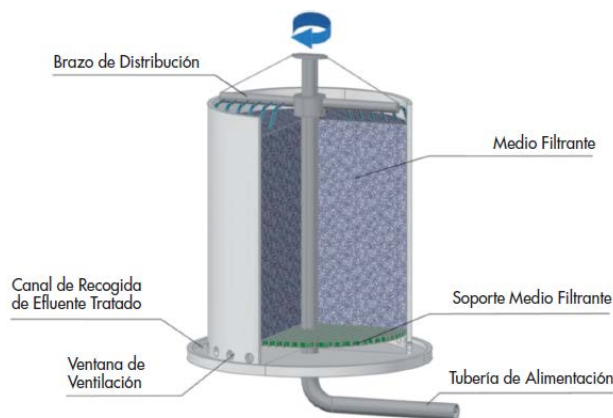


Ilustración 5: Filtro percolador con distribución móvil

TIPOS DE FILTROS PERCOLADORES

Filtros percoladores de baja carga

Tratan cargas por debajo de $0,4 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3.\text{d}$. Suelen tener lecho de piedra de 1,5 a 2,5 m de altura y se alimentan en cortos intervalos de tiempo, a través de sifones que proporcionen la carga hidráulica necesaria.

No precisan de recirculación en condiciones normales de funcionamiento, es decir sin puntas de cargas y con objetivos de rendimiento por debajo del 90%. Generalmente, se mantiene una carga hidráulica constante, no por recirculación sino por medio de control de nivel, o sifones dosificadores, que proporcionan caudales intermitentes cada 5 minutos, o cada 2 min en caso de caudales punta.

El rendimiento que se alcanza en DBO_5 es del orden del 85%, estando los efluentes nitrificados.

Filtros percoladores de media carga

Tratan cargas entre $0,4-0,8 \text{ kg } DBO_5/m^3.d$, con cargas hidráulicas a caudal medio superiores a las que se precisarían si se trabajara a baja carga. Pueden ser lechos de piedra como máximo de 3 m. o de plástico de hasta 5 m, con alimentación en continuo. Para asegurar una buena distribución del efluente sobre el filtro, se suele recircular parte del agua clarificada en el sedimentador secundario, entre 0-1 veces el caudal medio de entrada. El rendimiento que se alcanza en DBO_5 es del orden del 60-70%, estando los efluentes parcialmente nitrificados.

Filtros percoladores de alta carga

Tratan cargas entre $0,8-1,6 \text{ kg } DBO_5/m^3.d$. Este tipo de filtros consiguen rendimientos menores que los anteriores en eliminación de materia orgánica y suelen operar como pre tratamiento de otro proceso, o requerir de una segunda etapa para llegar al 80% de eliminación de DBO_5 . El efluente está poco nitrificado. Trabajan normalmente en continuo, con cargas hidráulicas elevadas, por lo que precisan de una recirculación de entre 1-2 veces el caudal medio de entrada, para mantener estas condiciones. Este tipo de filtros suelen utilizar plástico como relleno al colmatarse menos que el relleno de piedra. Los rendimientos en DBO_5 no superan el 60%.

4.2 REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE: UASB

UASB es una forma de digester anaeróbico que se utiliza en el tratamiento de aguas residuales. El reactor es un digester metano génico (produce gas metano). El proceso anaeróbico de flujo ascendente consiste básicamente de un tanque Imhoff, "al revés", presentando las cámaras de

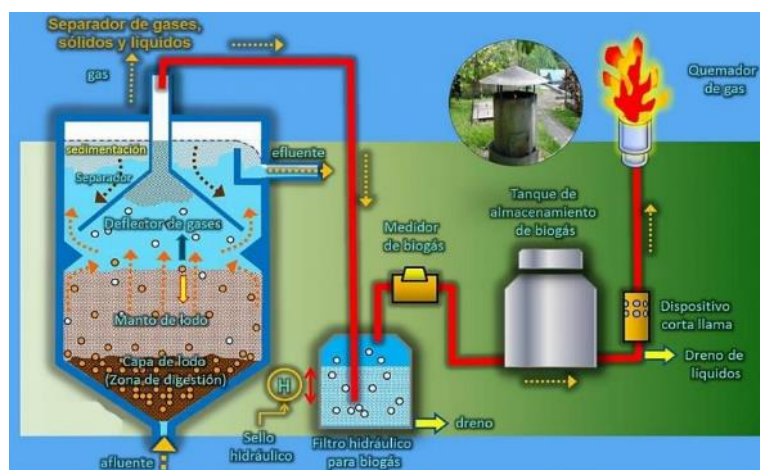


Ilustración 6: Esquema en sección de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente UASB con el sistema de biogás.

decantación y digestión anaeróbica superpuestas, y en la parte superior cuenta con un sistema de separación de gas-líquido-sólido. El gas metano, después de un proceso de purificación, puede ser utilizado para producir energía eléctrica o para cocinar.

El tiempo de retención hidráulica (TRH) es entre 6 y 24 horas, dependiendo de la temperatura del proceso.

Para nuestro caso el TRH puede ser tan bajo como 6-8 horas, lo que implica un costo de obra civil muy bajo ya que no es necesario más que el 25% del volumen a tratar diariamente. La siguiente imagen muestra la estructura interna de un Reactor UASB:

Un reactor tipo UASB se compone de un reactor principal que realiza varias funciones de una misma vez. Funciona como un digestor de lodos, un sedimentador, un reactor de mezcla completa y separador gas-agua. Produce biogás como subproducto que puede ser utilizado para quemarse y generar así calor o generación eléctrica.

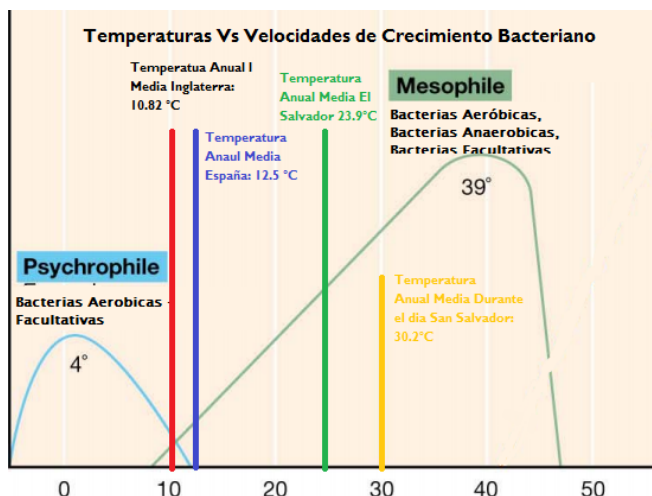


Ilustración 7: Temperatura Vs Velocidad de Crecimiento Bacteriano

Los Tratamientos de Aguas Residuales han sido desarrollados y ampliamente estudiados en países con climas fríos. Estos han desarrollado con éxito tecnologías que permiten que las bacterias aeróbicas y facultativas sobrevivan en temperaturas cercanas o por debajo del punto de congelación. Los procesos aeróbicos tienen la gran ventaja que son exotérmicos, por lo que el agua puede permanecer líquida en plantas de tratamiento, aún en temperaturas bajo Cero.

Procesos de Depuración Anaeróbicos para aguas ordinarias, no son utilizados en países de climas fríos debido a que las bacterias anaeróbicas a bajas temperaturas tienen un muy bajo nivel de crecimiento, por lo que esta tecnología se ha utilizado únicamente en países tropicales, como Cuba, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Mexico, etc.

Un reactor UASB puede depurar por sí solo hasta un 72% del DBO y un 59% del DQO, lo cual en la mayoría

de casos no es suficiente como para cumplir con las normativas locales, ya que para cumplir con el valor de 60 mg/l, el vertido deberá de tener máximo un DBO de entrada de 214 mg/l, lo cual no será cierto en la mayoría de los casos. Ahora bien, el potencial de reducción del 72% para un TRH de 6 horas y con potencial recuperación de Biogas es una alternativa impresionante.

4.3 Eficiencias de las Alternativas propuestas:

La tabla a continuación presenta el promedio de 160 plantas latinoamericanas según el artículo: Performance “Evaluation of Different wastewater Treatment technologies operating in developing countries”, de Silvia C. Oliviera, 2011.

Tabla 5: Remociones promedio esperadas por las diferentes tecnologías

Proceso	% Remoción Promedio		
	DBO ₅	DQO	SST
• Filtro Percolador de alta carga	75	55	48
• Filtro Percolador de carga Media	82	71	62
• Filtro Percolador de Baja Carga	85	81	76
• UASB	72	59	67
• UASB + Filtro Percolador de Baja Carga	88	77	82

Como puede verse en la tabla 5, todas las alternativas de tratamiento tienen buena capacidad de remoción, siendo la alternativa que mejor porcentaje de depuración tiene es la opción de UASB + Filtro Percolador de Baja Carga.

¿Qué alternativa Utilizar?

Para analizar el problema de qué tipo de tratamiento utilizar, sabiendo que el tratamiento combinado de UASB + Filtro percolador es el más caro y buscando cumplir los objetivos planteados, podemos decir los siguientes criterios de selección:

- I. Para Aguas Residuales con bajas cargas orgánicas máximo de 400 mg DBO, es factible utilizar un sistema de Filtro Percolador de baja carga. Y obtener una remoción así del 85%. Adicionalmente esta alternativa es factible en terrenos planos. Por tanto esta sería la alternativa cuando hay mayor presencia de aguas residuales domésticas en relación a las aguas industriales.

- Para Aguas Residuales con cargas máximas mayores a los 400 mg DBO, es recomendable utilizar un sistema de UASB + Filtro Percolador de Baja Carga. Por tanto este sería la alternativa cuando hay mayor presencia de aguas industriales que de aguas domesticas en las aguas residuales (zonas industrializadas)

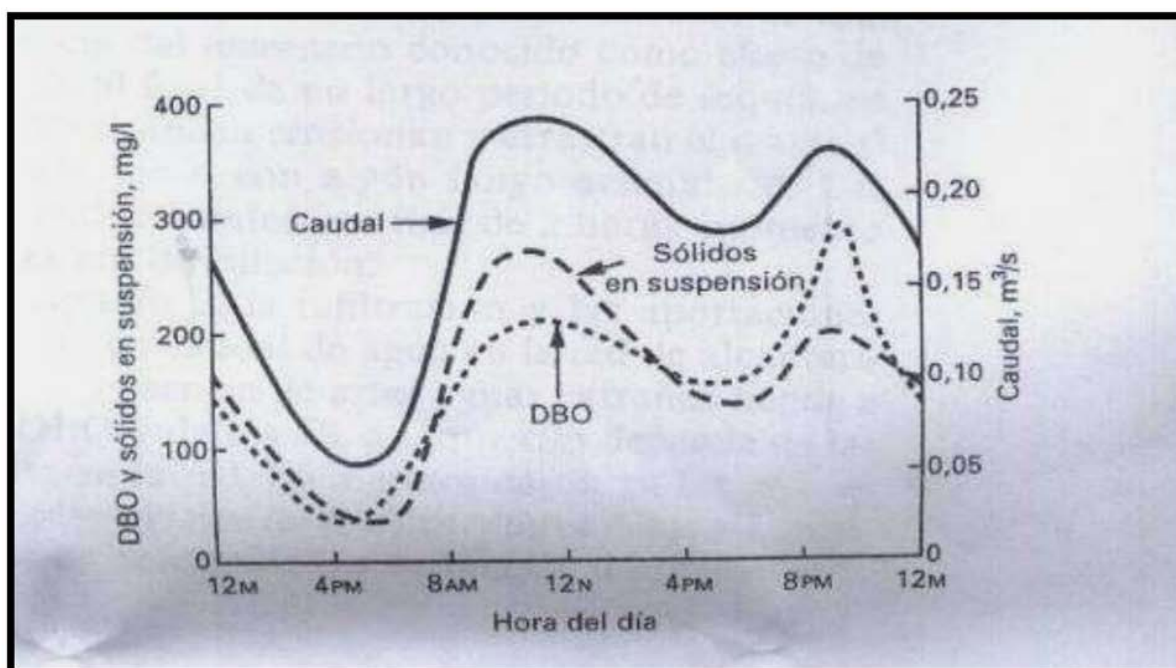


Ilustración 8: Variación Horaria Típica del Caudal y Concentración del Agua Residual de Origen Doméstico. Fuente: Metcalf & Eddy, 1985: Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales.

La imagen superior muestra la variación horaria típica de los valores de DBO, SST y Caudal a lo largo del día. Se puede ver que para este caso los Filtros Percoladores de baja carga son la mejor alternativa, mientras que si hubiese presencia de aguas industriales, aunque estas fuesen tratadas en su origen, habría necesidad de un sistema mixto UASB-Filtro Percolador.

4.4 Comparación de Alternativas de Tratamiento:

Para el tratamiento de las Aguas Municipales de El Salvador existe un consenso general de que las alternativas de tratamiento son Filtros Percoladores, Sistemas Anaeróbicos y Sistemas Mixtos. Sin embargo es necesario delimitar el uso de cada uno de estos sistemas, debido a que las ventajas de uno y otro muchas veces son complementarias.

A continuación se presenta una tabla comparativa de las diferentes alternativas planteadas. Efectivamente un sistema mixto es el más confiable en términos generales, sin embargo, sus costos de implementación son mayores, por lo que es necesario evaluar en qué puntos y bajo qué condiciones debe de instalarse este tipo de tecnología.

Tabla 6: Comparación de sistemas de Tratamiento

Parámetro Proceso Estudiado	Sistema Aeróbicos	Sistemas Anaeróbicos		Sistemas Mixtos	
	Filtro Percolador	Reactor Sólo	UASB	UASB + Filtro Percolador	Filtro
Financiero					
Costo Operativo	Medio	Bajo		Medio	
Costo de Refacciones	Bajo	Medio		Alto	
Costo Químico	Bajo	Bajo		Bajo	
Costo Adquisición de Terreno	Medio	Bajo		Medio	
Administrativo					
Nivel de Capacitación de Operadores	Bajo	Medio		Medio	
Apoyo Administrativo	Bajo	Medio (compras y contratos)		Medio (compras y contratos)	
Técnico					
Complejidad Operativa	Baja	Media		Media	
Muestreo Para Control de Proceso	Bajo	Bajo		Medio	
Potencial de Trastorno por Mala Operación	Bajo	Bajo		Medio	
Controles Operativos	Baja	Medio		Medio	
Calidad de Agua	Media	Media		Alta	
Confiability	Media, pocos elementos de control	Media, pocos elementos de control		Alta, por la combinación de procesos	

Para el análisis de alternativas se considerarán únicamente 2 alternativas: Filtros percoladores y UASB+Filtro Percolador, debido a que las demás alternativas no dan los resultados de calidad deseados.

4.5 Costos Unitarios de las dos alternativas:

El siguiente es un listado de precios unitarios para 2 tipos distintos de plantas de tratamiento estudiadas en los artículos anteriores. El costo propuesto, incluye Costos de Adquisición de terrenos, pero no el pago de

servidumbres o acometidas. Se asume que el ingreso de Aguas Residuales es en el pre tratamiento y la salida es justo después del tanque de desinfección. No incluye ninguna conducción hacia la planta de tratamiento ni desde ella. Se incluye el costeo, de obras de terracería necesarias, tomando en cuenta la instalación en terrenos irregulares. Las condiciones de terreno se consideran estándar, sin manto freático elevado ni estratos rocosos.

Todas las obras Civiles se han considerado bajo las normativas ACI-350, superando las normativas nacionales.

Todas las instalaciones eléctricas cumpliendo las normativas nacionales e internacionales. Se considera tendido eléctrico interior de la planta, Subestaciones y Plantas de Emergencia Eléctrica para mantener funcionando la planta de tratamiento.

Para obras exteriores se ha considerado, estabilización de taludes, calles de acceso balastradas aceras conformadas con cordón-cuneta, manejo de aguas lluvias de calles, taludes y terrazas, iluminación exterior. Estos precios unitarios están validados a diciembre de 2014 por el listado de actividades de precios unitarios publicado por el FISDL al 19 de agosto de 2014.

4.5.1 Sistema UASB-Filtro Percolador:

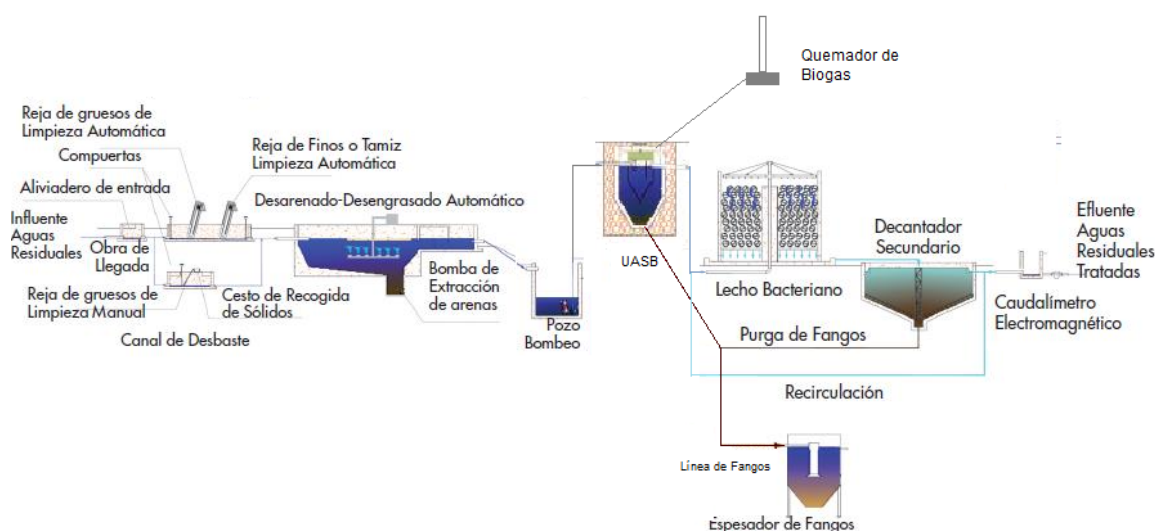


Ilustración 9: Diagrama General de Proceso para un sistema Mixto UASB + FILTROS PERCOLADORES

El sistema UASB está compuesto por diversas operaciones unitarias: pre tratamiento, Reactor UASB con separador Gas-Líquido, Filtro Percolador Circular con brazo rotatorio y media plástica, Clarificador Secundario Circular con brazo rotativo y Recirculación de lodos, Digestor de lodos anaerobio sin recuperación de biogás (por salir del reactor UASB), lechos de secado y tanque de contacto/desinfección.

Tabla 7: Precios Unitarios Planta con Reactor UASB + Filtro Percolador

PRECIOS UNITARIOS PLANTA DE TRATAMIENTO UASB+FILTRO PERCOLADOR (INCLUYE INDIRECTOS DEL 30% E IVA 13%)			
Estructura	De 500-1000 m3/d 5.78-11.57 lps	De 1,000-10,000 m3/d 11.57-115.7 lps	De 10,000 - 50,000 m3/d 115.7– 578.7 lps
	\$/m3*d	\$/m3*d	\$/m3*d
Obras preliminares y Terracería	\$ 12.80	\$ 12.80	\$ 12.80
Pre tratamiento: Desarenador, Trampa de grasas y Rejillas Automáticas	\$ 13.58	\$ 11.32	\$ 9.62
Reactor UASB TRH: 6 horas	\$ 152.95	\$ 127.46	\$ 108.34
Filtro Percolador y Clarificador Secundario	\$ 182.43	\$ 152.02	\$ 129.22
Digestión de lodos	\$ 57.66	\$ 48.05	\$ 40.84
Tanque de Contacto y Cloración y planta de Biogas	\$ 18.15	\$ 15.13	\$ 12.86
Patios de Secado	\$ 8.39	\$ 6.99	\$ 6.64
Laboratorio	\$ -	\$ 5.70	\$ 3.99
Obras Exteriores	\$ 26.38	\$ 26.38	\$ 23.74
Manejo de Aguas Iluvias	\$ 22.59	\$ 22.59	\$ 20.33
Conexiones Hidraulicas dentro de la planta de tratamiento	\$ 3.10	\$ 2.58	\$ 2.19
TOTAL \$/m3*d	\$ 498.04	\$ 431.02	\$ 370.58
TOTAL \$/lps	\$ 43,030.28	\$ 37,240.31	\$ 32,018.23

Para efectos de análisis financiero se utilizarán la proyección de las gráficas expuestas en el Libro RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LA REPUBLICA DE EL SALVADOR, MARN 2016. Debido que en dicho documento se toma en consideración poblaciones de hasta 50,000, extrapolaremos las gráficas de costos. De tal forma que las gráficas quedan de la siguiente forma:

COSTOS DE IMPLEMENTACION PARA ALTERNATIVA UASB-FILTRO PERCOLADOR

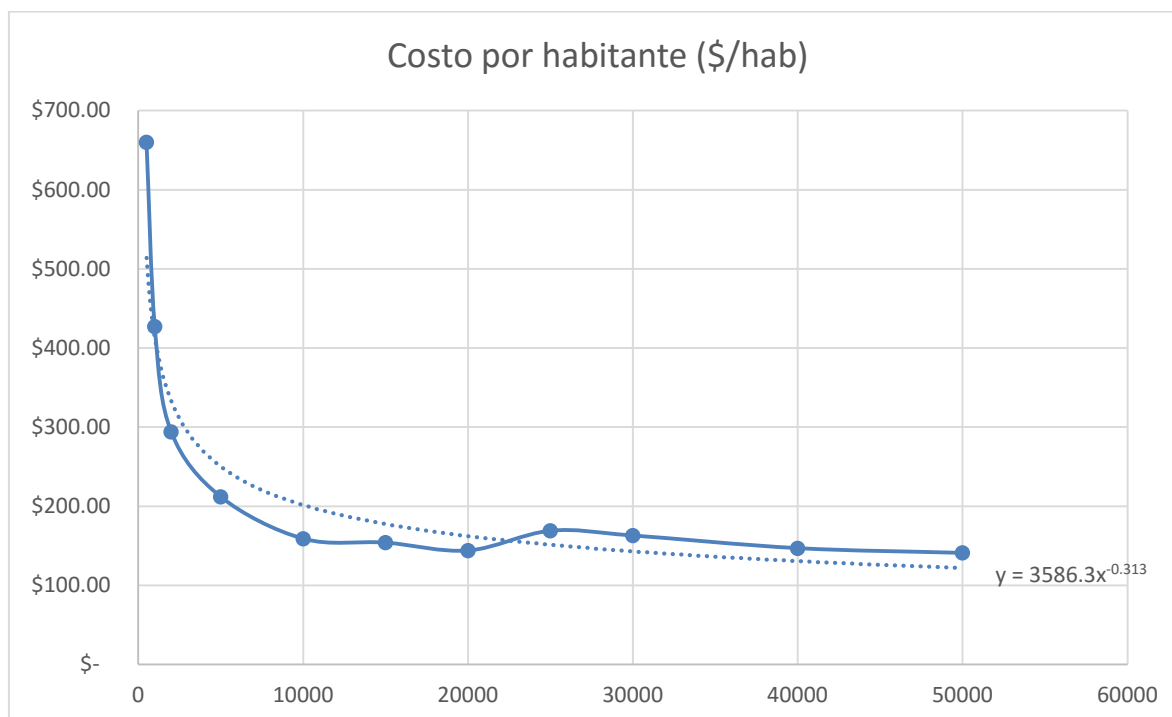


Ilustración 10: Costos de Implantación UASB-Filtro Percolador

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA ALTERNATIVA UASB-FILTRO PERCOLADOR

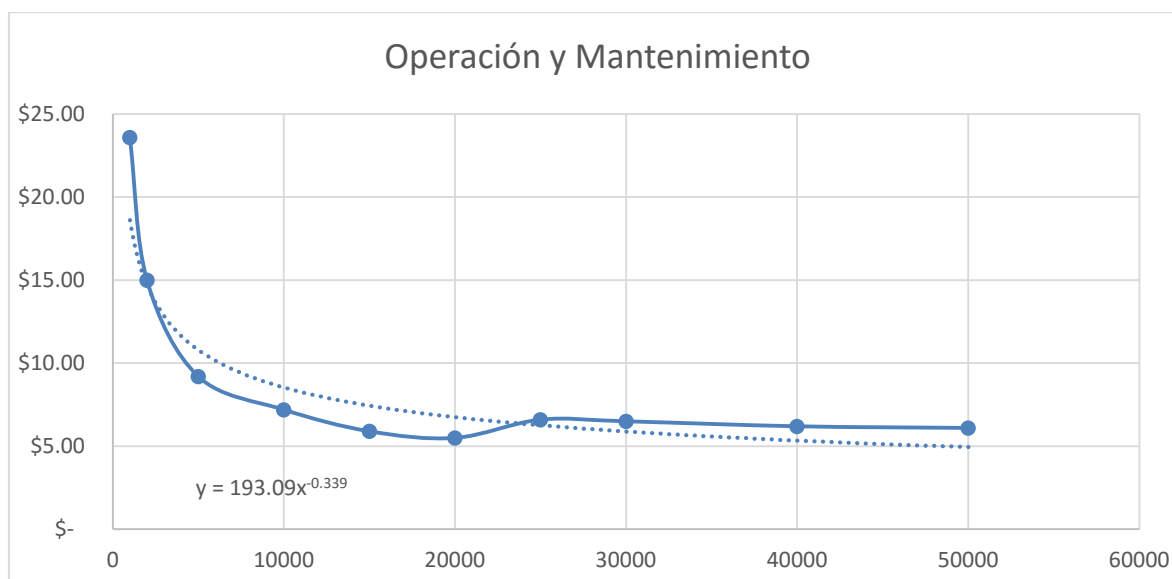


Ilustración 11: Costos de OYM UASB-Filtro Percolador

COSTOS DE REQUERIMIENTOS DE SUPERFICIE PARA ALTERNATIVA UASB-FILTRO PERCOLADOR

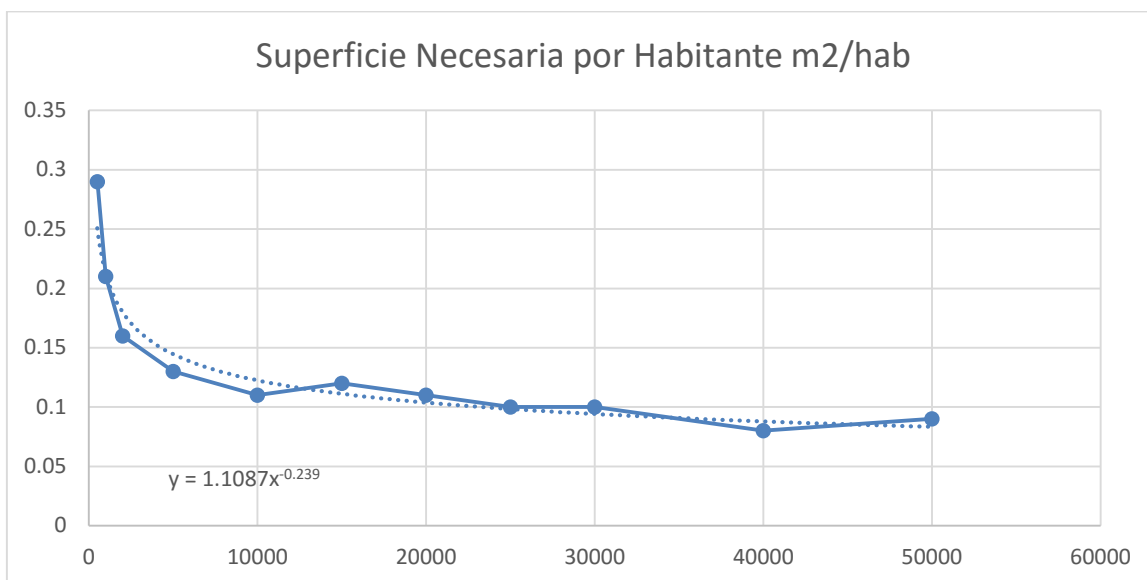


Ilustración 12: Estimación de Superficie Necesaria por habitante UASB-Filtro Percolador

4.5.2 Sistema Clarificador Primario-Filtro Percolador – Clarificador Secundario:

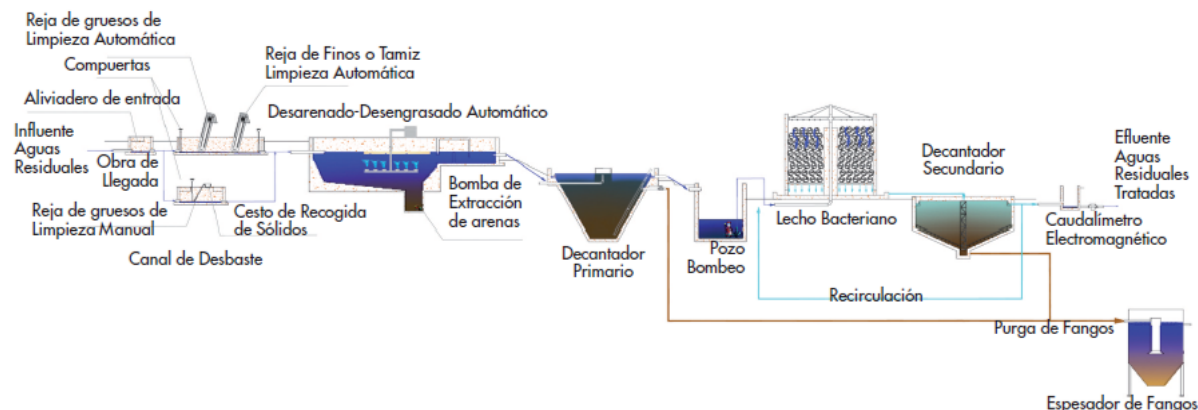


Ilustración 13: Sistema de Tratamiento Filtros Percoladores de Alta Carga

El sistema Basado en Filtros Percoladores está compuesto por diversas operaciones unitarias: pre tratamiento, Clarificador Primario, 2 Filtro Percolador Circular con brazo rotatorio y media plástica, Clarificador Secundario Circular con brazo rotativo y Recirculación de Clarificado, Digestor de lodos

anaerobio sin recuperación de biogás (por salir del reactor UASB), lechos de secado y tanque de contacto/desinfección.

Tabla 8: Precios Unitarios Planta con Reactor Filtro Percolador

PRECIOS UNITARIOS PLANTA DE TRATAMIENTO FILTRO PERCOLADOR (INCLUYE INDIRECTOS DEL 30% E IVA 13%)			
Estructura	De 500-1000 m3/d	De 1,000-10,000 m3/d	De 10,000 - 50,000 m3/d
	\$/m3*d	\$/m3*d	\$/m3*d
Obras preliminares y Terracería	\$12.80	\$12.80	\$12.80
Pretratamiento: Desarenador, Trampa de grasas y Rejillas Automaticas	\$13.58	\$11.32	\$9.62
Clarificador Primario	\$102.00	\$85.00	\$72.25
Filtro Percolador y Clarificador Secundario	\$182.43	\$152.02	\$129.22
Digestión de lodos	\$57.66	\$48.05	\$40.84
Tanque de Contacto y Cloración	\$11.03	\$9.19	\$7.81
Patios de Secado	\$8.39	\$6.99	\$6.64
Laboratorio	\$ -	\$5.70	\$3.99
Obras Exteriores	\$26.38	\$26.38	\$23.74
Manejo de Aguas Iluvias	\$22.59	\$22.59	\$20.33
Conexiones Hidráulicas dentro de la planta de tratamiento	\$3.10	\$2.58	\$2.19
TOTAL \$/m3*d	\$439.96	\$382.62	\$329.43
TOTAL \$/lps	\$38,012.54	\$33,058.37	\$28,462.75

Para efectos de análisis financiero se utilizarán la proyección de las gráficas expuestas en el Libro RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN LA REPUBLICA DE EL SALVADOR. Debido que en dicho documento se toma en consideración poblaciones de hasta 50,000, extrapolaremos las gráficas de costos. De tal forma que las gráficas quedan de la siguiente forma:

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN PARA ALTERNATIVA FILTRO PERCOLADOR

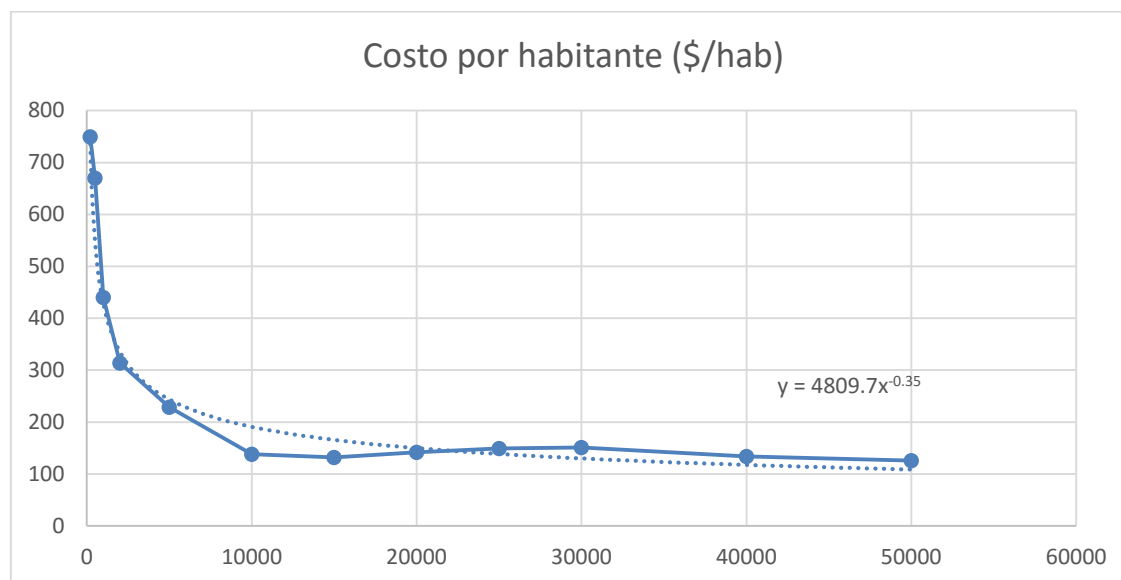


Ilustración 14: Costos de Implantación por habitante Filtros Percoladores

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA ALTERNATIVA FILTRO PERCOLADOR

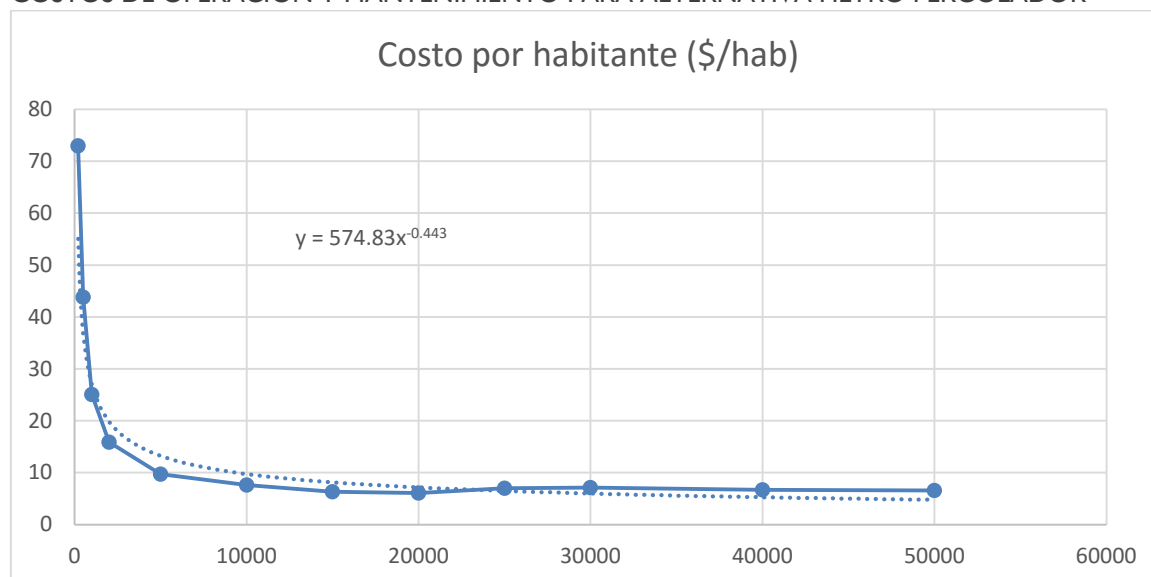


Ilustración 15: Costos OYM Filtros Percoladores

COSTOS DE REQUERIMIENTOS DE SUPERFICIE PARA ALTERNATIVA FILTRO PERCOLADOR

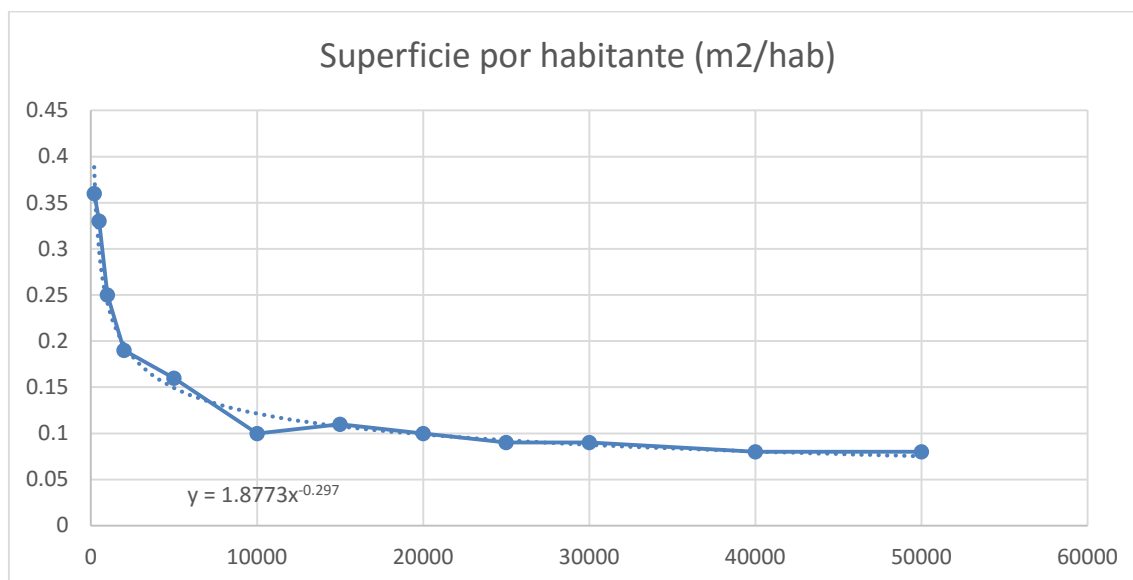


Ilustración 16: Estimación de superficie necesaria por habitante Filtros Percoladores

4.5.4 Matriz de Selección de Alternativas:

A continuación se puede constatar en precios unitarios que efectivamente los sistemas Mixtos de reactores UASB y Filtro Percolador son más caros en la implementación. Efectivamente esta alternativa modifica y tecnifica el Clarificador Primario. No obstante lo anterior, los retornos en venta de energía eléctrica pueden ser atractivos para grandes caudales, por lo tanto se analizará con este énfasis.

Tabla 9: Resumen de Costos de las Tras Alternativas Propuestas vs Eficiencias de Remoción

Alternativa	Costo (500-1,000 m ³ /d)	Costo (1,000-10,000 m ³ /d)	Costo (10,000-50,000 m ³ /d)	Remoción de DBO	Remoción DQO
Filtro Percolador	\$ 439.96	\$ 382.62	\$ 329.43	85%	81%
Reactor UASB + Filtro Percolador	\$ 498.04	\$ 431.02	\$ 370.58	88%	77%

Tabla 10: Matriz de Selección de Plantas de tratamiento

	<1000 m ³ /d	<10000 m ³ /d	<50000 m ³ /d
Carga <400 mg/l DBO	Filtro Percolador	Filtro Percolador	UASB + Filtro Percolador
Carga >400 mg/l DBO	Filtro Percolador	UASB + Filtro Percolador	UASB + Filtro Percolador

5. DINAMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS CUENCAS ACELHUATE, SUCIO, SUQUIAPA Y GRANDE DE SAN MIGUEL

5.1 DINAMICA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL RIO ACELHUATE Y SU APTITUD DE USO

Para poder entender la dinámica de la Calidad de Agua en el Río Acelhuate, hay que primero distinguir varios conceptos que usualmente se tiende a tomar como el mismo concepto, pero que realmente no son lo mismo. Estos conceptos a entender son los siguientes:

- I. Cuenca del Río Acelhuate: territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar o a un lago corriendo a través de un único río, para nuestro caso el Río Acelhuate. El tamaño y forma de la cuenca depende de la topografía de lugar, tipos de suelos y precipitación pluvial, entre otros factores. Tiene un área de 1,072.98 kilómetros cuadrados y una población al año 2007 es de 1,235,451 habitantes. El río Acelhuate, forma parte del sistema hidrográfico del río Lempa, y en su trayecto hacia la desembocadura, recibe el aporte de varios afluentes, entre ellos, la quebrada Montserrat, Arenal de Mejicanos, quebrada Tutunichapa - Tomayate, y los ríos Ilohuapa, Las Cañas, Guazapa y Tasajera.

A pesar que la mayoría de salvadoreños sabe que el río y sus afluentes presentan un alto grado de contaminación, algunos sectores de la población aún utilizan el agua del río para realizar subsanar actividades cotidianas debido a que no cuentan con fuentes de agua potable.

El río excedió su capacidad de cargar en los años de 1950, cuando las comunidades en sus alrededores comenzaron a realizar descargas en forma desordenada y obviando las redes de drenaje. El desorden del crecimiento urbano trajo consigo la muerte de este Río. Casi toda la población salvadoreña sabe que este río tiene un gran grado de contaminación, varias veces se ha propuesto limpiarlo pero, sólo ha quedado como propuesta. El río es contaminado cientos de industrias entre pequeñas, medianas y grandes, además de las colonias y comunidades que están en sus alrededores que vierten basura y aguas residuales sin tratar en el río.

La cuenca del río Acelhuate comprende los siguientes municipios salvadoreños: Antiguo Cuscatlán, San Salvador, Nueva San Salvador, Mejicanos, Soyapango, Ciudad Delgado, Cuscatancingo, Ayutuxtepeque, Tonacatepeque, Guazapa, San Martín, Apopa, Nejapa, Aguilares, San Marcos, Suchitoto, San José Guayabal y Oratorio de Concepción. La cuenca, cuya extensión aproximada es de 1,072.98 km², que constituye el 5.1% del área del país, cuenta 1,235,451 habitantes, correspondiendo al 24.1% del total del país.



Ilustración 17: Delimitación de la Cuenca del Río Acelhuate

2. Departamento de San Salvador: Esto se refiere específicamente a la división política departamental de El Salvador. Se compone de 19 municipios y un área de 886.15 kilómetros cuadrados. Tiene una población estimada de 1,557,761 habitantes.



Ilustración 18: Delimitación política del Departamento de San Salvador

3. Municipio de San Salvador: Esto se refiere específicamente al área política denominada como municipio de San Salvador que es parte del departamento de San Salvador. Tiene un Área de 72.25 kilómetros cuadrados y una población de 316,090 habitantes.

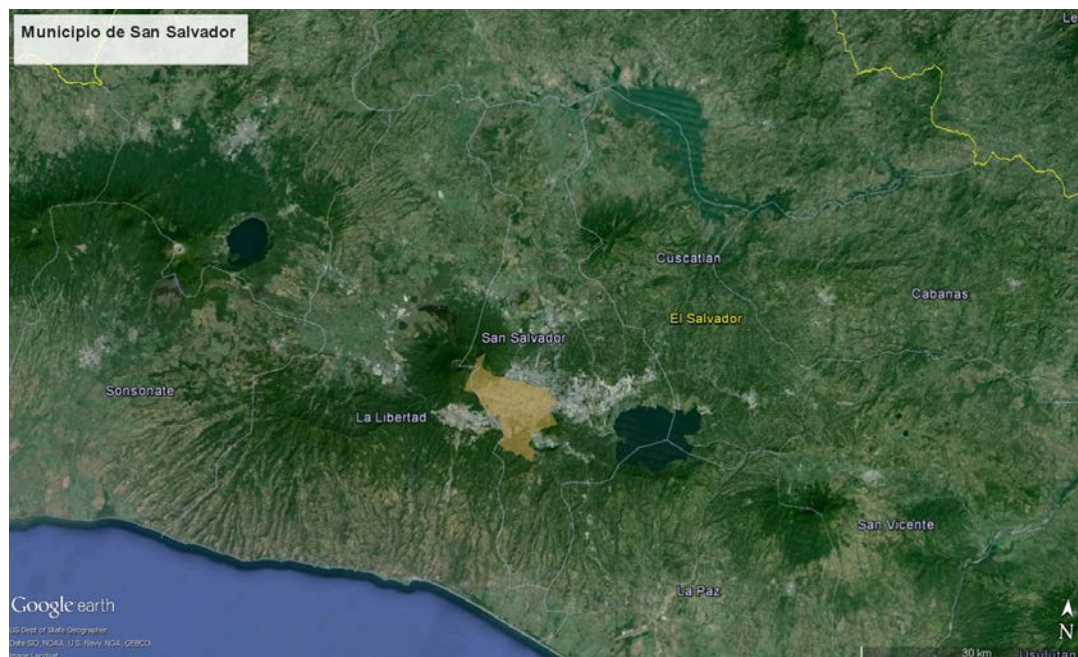


Ilustración 19: Delimitación Política del Municipio de San Salvador

4. Área Metropolitana de San Salvador: Esto se refiere específicamente a la unión política de 14 municipios colindantes de dos departamentos distintos: San Salvador y La Libertad. Tiene un área de 589.91 kilómetros cuadrados y una población al año 2007 de 1,566,629 personas y una población estimada al año 2014 de 1,860,000 habitantes. En términos de población, concentra el 27.3% de la población total del país y posee una densidad de 2,656 Hab/Km².

Tabla II: Población Total según Censo del 2007 de los municipios del AMSS

Municipio	Población
San Salvador	316,090
Soyapango	241,403
Mejicanos	140,751
Apopa	131,286
Santa Tecla (La Libertad)	121,908
Delgado	120,200
Ilopango	103,862

Tonacatepeque	90,896
San Martín	72,758
Cuscatancingo	66,400
San Marcos	63,209
Ayutuxtepeque	34,710
Antiguo Cuscatlán (La Libertad)	33,698
Nejapa	29,458
Total según censo 2007	1,566,629

El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) o la Gran Área Metropolitana de San Salvador (GAMSS) es un conglomerado formado por 14 municipios. Fue instituida en el año 1993, a través del Decreto Legislativo No. 732 de la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños. Dicha ley define que, en función de su desarrollo urbano, estos municipios constituyen una sola unidad urbanística.

El municipio más densamente poblado es Soyapango, el cual tiene en total una población de 241,403 pero por kilómetro cuadrado tiene una población de 8,122.5 esta gran concentración de población en un sólo municipio pequeño es por que es una zona industrial y hay muchas oportunidades de empleo, esto atrajo a mucha gente a vivir en esa zona, comprar casa y hacer una familia.

En los últimos años ha habido un gran crecimiento poblacional, construcciones de carreteras, edificios, casas, calles, puentes, etc. Y también en población, la construcciones de más casas hace que más gente de otras ciudades principales o zonas rurales del país migren hacia el área metropolitana de San Salvador y esto se aumenta año con año. Esto hace que el área urbana del AMSS crezca continuamente aunque la densidad poblacional decrece.

A partir de 1990, se consideraba que el desarrollo urbano del Municipio de San Salvador y de los municipios aledaños estaba teniendo un notable crecimiento, y que incluso se definía como una gran ciudad. Tal situación requería la planificación y control del desarrollo urbano de esos municipios y su conformación como un área metropolitana.

Actualmente, el AMSS o GAMSS e constituye en el centro direccional del país en materia política, financiera, económica y cultural, y donde además se concentra el 36.43% de la población y el 70% de la inversión pública y privada en un 3% del territorio nacional.

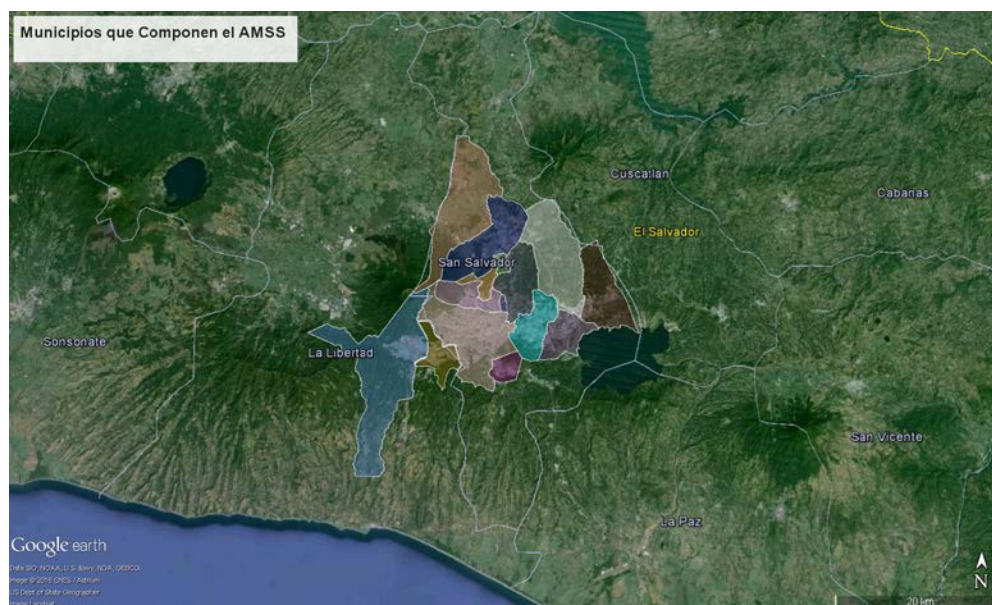


Ilustración 20: Municipios que Integran del AMSS

5. Área URBANA DEL AMSS: Esto se refiere específicamente a las zonas Urbanas dentro de los 14 municipios que componen el AMSS. El área Urbana del AMSS es de 175.28 kilómetros cuadrados y una población al año 2007 de 1,513,102 habitantes, por lo que en dicha área se tiene una densidad poblacional de 8,632.48 habitantes por kilómetro cuadrado.

Tabla 12: Distribución de la Población Rural y Urbana del AMSS

MUNICIPIO	Área Total (Km ²)	Área Urbana (Km ²)	POBLACION	AREA	
				URBANO	RURAL
			TOTAL	TOTAL	TOTAL
Apopa	53.05	13.09	131,286	131,286	0
Ayutuxtepeque	8.83	2.63	34,710	34,710	0
Cuscatancingo	6.49	4.45	66,400	66,400	0
Delgado	33.38	11.32	120,200	112,161	8,039
Ilopango	23.23	11.62	103,862	103,862	0
Mejicanos	19.50	10.48	140,751	140,751	0
Nejapa	83.37	3.96	29,458	16,530	12,928
San Marcos	16.78	5.03	63,209	63,209	0
San Martín	45.95	8.88	72,758	66,004	6,754
San Salvador			316,090	316,090	0

	71.45	54.29			
Soyapango	29.91	18.28	241,403	241,403	0
Tonacatepeque	67.86	5.85	90,896	78,158	12,738
Antiguo Cuscatlán	21.51	10.46	33,698	33,698	0
Santa Tecla	108.60	14.94	121,908	108,840	13,068
TOTAL:	589.91	175.28	1,566,629	1,513,102	53,527

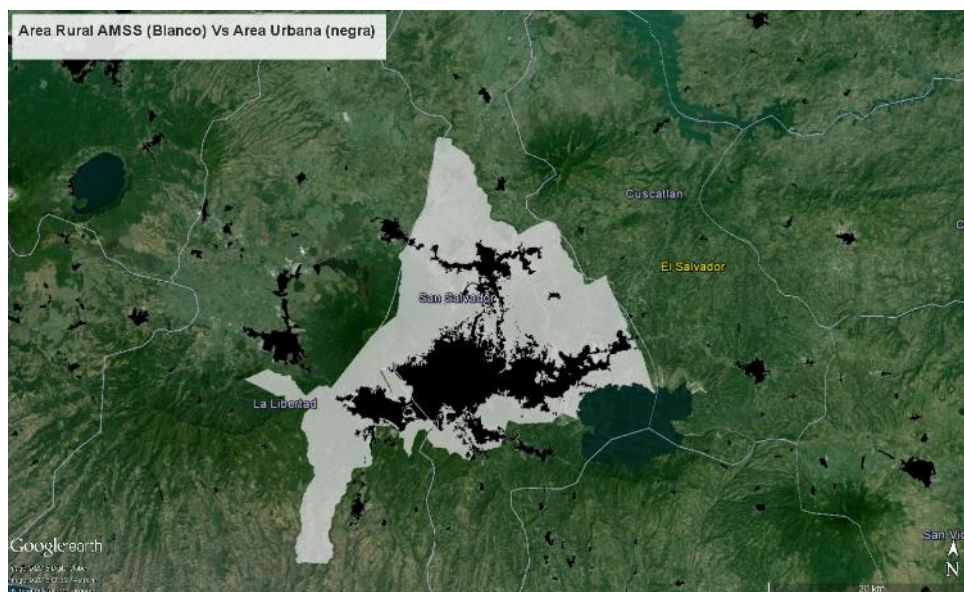


Ilustración 21: Área Rural Vs Área Urbana del AMSS

5.1.1 FUENTES CONTAMINANTES

5.1.1.1 Presiones Poblacionales:

Con toda la información anterior, presentamos la tabla resumen:

Tabla 13: Tabla Resumen de las Presiones Urbanas en la Cuenca del Río Acelhuate

	Área (km ²)	Población (2007)
Cuenca del Río Acelhuate	1,073	1,235,451
Departamento de San Salvador	886	1,557,761
Municipio de San Salvador	72	316,090
AMSS		

	590	1,566,629
Zona Urbana AMSS	175	1,513,102
Zona Urbana AMSS vertiente a Cuenca del Rio Acelhuate	Aprox	1,323.917

Al hablar de cómo se comporta la calidad del Rio Acelhuate hay que decir que tanto la población como actividades industriales incidirán en la calidad de agua del rio. La zona urbana del AMSS que consta de 1,513,102 son el potencial mayor de contaminación hacia el rio Acelhuate. Ahora bien, a esta cantidad hay que restar las zonas urbanas del AMSS que no drenan hacia la Cuenca del Rio Acelhuate. Restando las poblaciones de Santa Tecla, Antiguo Cuscatlan, San Marcos, San Salvador, Soyapango, Iloponago y San Martin. Al restar estas proporciones urbanas, tenemos un valor de población potencial vertiente a la cuenca del Acelhuate de: 1,323,917 Sin embargo, esto, depende de si llega o no llegan las aguas residuales finalmente al Rio, es decir, depende de la red de colectores de aguas negras y su desembocadura y del porcentaje de utilización de fosas sépticas. Para poder estimar este factor en el AMSS se utiliza la encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples del Ministerio de Economía para el año 2011, cuyos valores se muestran a continuación:

Tabla 14: tipo de Servicios básicos de Agua para el AMSS segun Encuesta de Hogares por tipo de Vivienda 2011

CUADRO D02
EL SALVADOR: HOGARES POR TIPO DE VIVIENDA, SEGUN DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS 2011
AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)

DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS	TOTAL	CASA PRIVADA	APARTAMENTO	CONDOMINIO	PIEZA EN UNA CASA	PIEZA EN UN MESÓN	CASA IMPROVISADA
		TOTAL	460,641	425,801	1,340	16,436	5,620
SERV. DE AGUA							
CAÑERÍA DENTRO Y FUERA DE LA VIV.	418,351	385,371	1,340	16,436	4,974	10,169	61
CAÑERÍA DEL VECINO	8,963	8,318	-	-	219	-	426
PILA, CHORRO PÚBLICO O CANTARERA	9,176	9,140	-	-	36	-	-
CAMION, CARRETA O PIPA	6,489	6,268	-	-	101	-	120
POZO CON TUBERÍA	659	659	-	-	-	-	-
POZO PROTEGIDO (CUBIERTO)	3,676	3,563	-	-	113	-	-
POZO NO PROTEGIDO	93	93	-	-	-	-	-
OJO DE AGUA, RIO O QUEBRADA	5,041	4,856	-	-	31	-	154
MANANTIAL PROTEGIDO	70	70	-	-	-	-	-
MANANTIAL NO PROTEGIDO	79	79	-	-	-	-	-
COLECTA AGUA LLUVIA	3,012	2,913	-	-	77	11	11
CHORRO COMÚN	102	102	-	-	-	-	-
ACARREO CAÑERÍA DEL VECINO	4,695	4,134	-	-	69	144	348
OTROS MEDIOS	235	235	-	-	-	-	-
SERV. DE BAÑO							
REGADERA O PILA DENTRO DE LA VIVIENDA	327,393	309,495	1,340	16,436	122	-	-
REGADERA O PILA FUERA DE VIV.							

DENTRO PROPIEDAD	60,835	59,527	-	-	370	898	40
REGADERA O PILA DE BAÑO COMUN.	17,007	3,776	-	-	4,088	9,143	-
RIO, QUEBRADA U OJO DE AGUA	4,040	3,835	-	-	51	-	154
BARRIL O PILA AL AIRE LIBRE	51,366	49,168	-	-	989	283	926
OTROS MEDIOS	-	-	-	-	-	-	-
SERV. SANITARIO							
INODORO A ALCANTARILLADO	361,611	342,939	1,340	16,436	338	558	-
INODORO A FOSA SEPTICA	18,616	18,314	-	-	-	-	302
INODORO COMUN A ALCANTARILLADO	16,813	4,004	-	-	3,769	8,763	277
INODORO COMUN A FOSA SEPTICA	1,063	943	-	-	43	77	-
LETRINA PRIVADA	49,280	49,010	-	-	98	-	172
LETRINA COMUN	11,537	8,923	-	-	1,330	926	358
LETRINA ABONERA PRIVADA	476	476	-	-	-	-	-
LETRINA ABONERA COMUN	104	93	-	-	11	-	-
LETRINA SOLAR PRIVADA	-	-	-	-	-	-	-
LETRINA SOLAR COMÚN	-	-	-	-	-	-	-
NO TIENE	1,141	1,099	-	-	31	-	11

El total de viviendas encuestadas en el AMSS para el año 2011 es de 460,641, de las cuales cuentan con servicio de Alcantarillado únicamente el 361,611 y 16,816 usuarios con inodoro común a alcantarillado, es decir dentro del AMSS el 82.15% de las viviendas cuentan con servicios de alcantarillado, mientras que el resto de usuarios utilizan fosas sépticas u otro sistema de letrina. Al comparar esta información con los datos de población del año 2007, se puede estimar que a dicho año se tuvo 1,243,013 habitantes dentro del AMSS con Servicio de Alcantarillado, por lo que podemos actualizar la tabla resumen de la siguiente forma:

Tabla 15: Población Vertiente con acceso y sin acceso a Alcantarillado en el AMSS

	Area (km2)	Población (2007)
Cuenca del Río Acelhuate	1,073	1,405,451
Departamento de San Salvador	886	1,557,761
Municipio de San Salvador	72	316,090
AMSS	590	1,566,629
Zona Urbana AMSS	175	1,513,102
Población Urbana AMSS Con Acceso a Alcantarillado	ND	1,243,013
Zona Urbana AMSS Con Acceso a Alcantarillado que vierte a la Cuenca del Río Acelhuate.	ND	1,087,598
Población en Zonas Urbanas que no tienen acceso a alcantarillado o utilizan Fosas Sépticas y que tienen potencial de Verter a la Cuenca del Río Acelhuate o son Vertidos Clandestinos	ND	236,319

Teniendo como base esta información, podríamos estimar la cantidad de agua residual que finalmente llega a la cuenca del Río Acelhuate, la cual, utilizando un factor de 150 litros por persona de agua residual. Se estima en 163,140 m³/día (1.89 m³/s) el caudal total de aguas residuales ordinarias, con un estimado de contaminación de 54.38 toneladas/día de DBO (50g/hab).

De acuerdo a los análisis llevados a cabo por el MARN en los últimos años se sabe perfectamente que las descargas de contaminación superan las teóricas 54.38 toneladas/día de DBO, debido a las cargas industriales y comerciales.

Hasta este momento hemos podido definir el total de población vertiente en la zona urbana del AMSS con acceso a Alcantarillado y adicionalmente se ha podido estimar un potencial de vertidos clandestinos de letrinas u otro tipo de disposiciones que llegan directamente al río.

Para efectos de análisis de la calidad del Río Acelhuate y de su red de drenaje, dividiremos su cuenca en 3 zonas: Zona alta: Donde se encuentra la mayor concentración de habitantes y cuentan con alcantarillado casi al 100%, Zona Media: Donde la concentración de habitantes es media y el Alcantarillado es escaso: y Zona Baja: Donde la concentración de habitantes es baja y el alcantarillado es nulo.

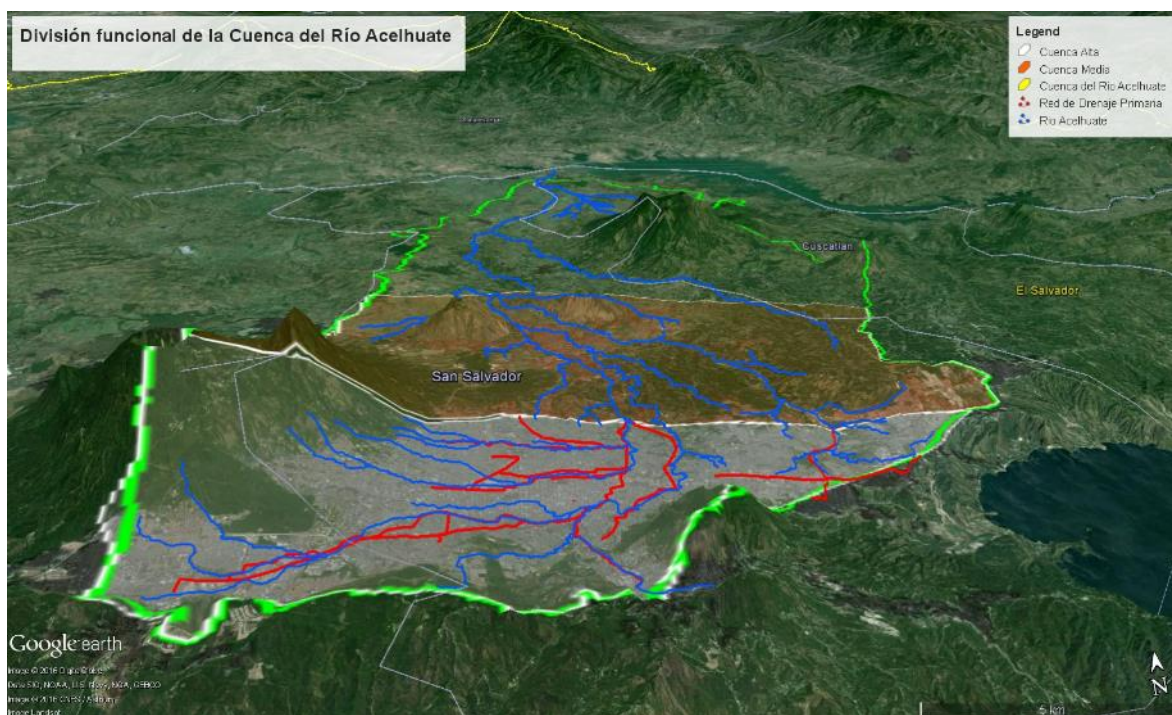


Ilustración 22: División Funcional de la Cuenca del Río Acelhuate

Partiendo de los valores de población analizados anteriormente, encontraremos la cantidad de población que se encuentra dentro de las distintas zonas y que adicionalmente vierten hacia el Río Acelhuate.

Zona Alta incluye la población vertiente de los municipios de: Ayutuxtepeque, Ilopango, Mejicanos, Parte de Delgado, Parte de Cuscatancingo, San Marcos, San Salvador, Soyapango, Antiguo Cuscatlan y Santa Tecla.

Zona Media incluye la población vertiente de los municipios de: Apopa, Parte de Cuscatancingo, Parte de Delgado, Nejapa, San Martín y Tonacatepeque. Zona Baja: Suchitoto, Aguilares, El Pinal y Guazapa. De tal forma que podemos dividir la población vertiente de la siguiente forma:

Tabla 16: Estimación de Cargas DBO/día Vertidas por el AMSS a la cuenca del Río Acelhuate

	Población Vertiente a la Cuenca del Río Acelhuate	Población (hab)	Caudal estimado (m ³ /d)	Caudal Estimado (m ³ /s)	Carga Estimada de DBO (Ton DBO/día)
AMSS	Población Vertiente con Acceso a Alcantarillado Zona	692,879	103932	1.20	34.64

	Alta				
	Población Vertiente con Acceso a Alcantarillado Zona Media	394,720	59208	0.69	19.74
FUERA DEL AMSS	Población Vertiente con Acceso a Alcantarillado Zona Baja	37,474	5621	0.07	1.87

Vertidos de la Zona Alta:

Ahora que hemos podido diferenciar las poblaciones vertientes, nos ocuparemos de la población con acceso a alcantarillado, es decir, la zona que hemos definido como Alta. Existen 5 colectores primarios dentro del AMSS, de los cuales 3 son interceptados por un colector interceptor y los otros dos caen en forma separada. La siguiente imagen muestra los colectores y sus puntos de descarga:



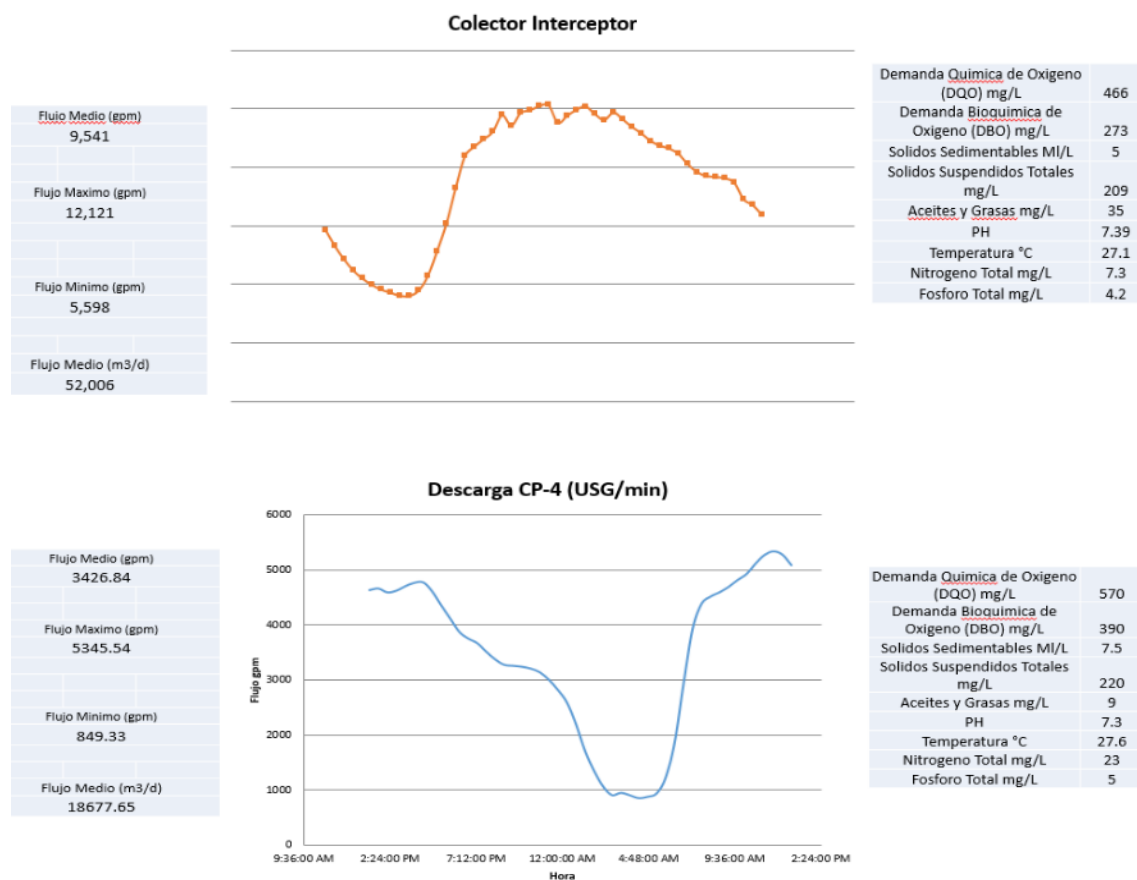
Ilustración 23: Descargas Primarias de la Zona Alta de la Cuenca del Río Acelhuate

Como se tiene estratificada la Población vertiente, con acceso a Alcantarillado en la Zona alta, se puede estimar fácilmente los caudales de descarga por vertidos ordinarios, de la siguiente forma:

Tabla 17: Estimación de Caudales Vertientes en el Colector Interceptor + CP5 y el CP4

Zona	Población (hab)	Caudal Estimado (m3/d)	Caudal Estimado (m3/s)
Población con Acceso a Alcantarillado Zona Alta Cuenca Acelhuate que vierten al Colector Interceptor o CP-5	553,940	83,091	0.96
Población con Acceso a Alcantarillado Zona Alta Cuenca Acelhuate que vierten al CP-4	224,025	33,604	0.39
Población estimada en la zona alta que realiza descargas clandestinas directamente a las cuencas o a drenajes pluviales	236,319	35,448	0.41

Para poder corroborar estos datos, el MARN ha realizado aforos y muestreos de la descarga del Colector Interceptor y CP-4, adicional a un colector secundario en Soyapango. Los Resultados totales se anexan en el Anexo I. Los principales valores a verificar se muestran a continuación:



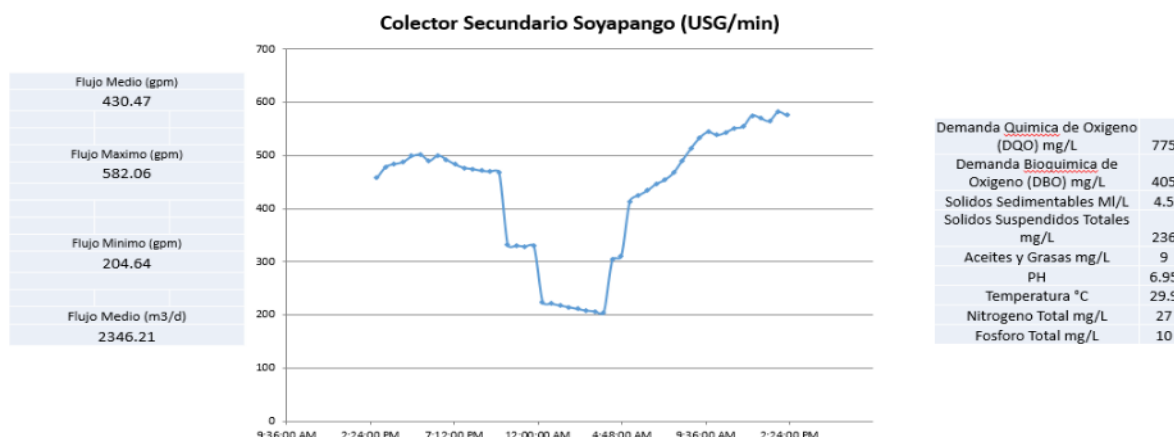


Ilustración 24: Resultados de los Aforos y Muestreos de los Vertidos principales de la Zona Alta de la Cuenca del Acelhuate

Ahora que se han corroborado los datos de campo en las descargas, se pueden estimar las pérdidas en la red. Anda ha reportado al menos 2 quebraduras en cada uno de los colectores, por lo que es razonable pensar que existe una gran cantidad de pérdidas en la red de colectores. Adicional a estas pérdidas es razonable pensar que en la zona del Colector Interceptor hay una gran cantidad de agua generada por actividades Comerciales y en la Zona del Colector Principal 4 hay una gran parte generada por la Industria que puede terminar o no en el Colector Principal 4.

5.1.1.2 Presiones Industriales y Comerciales:

A efectos de análisis, se tomarán en consideración 4 caudales distintos generados por actividades antropogénicas adicional a las actividades ordinarias:

- a. Estimación de Hoteles: La oferta de habitaciones de hotel para la Zona de San Salvador es de unos 1,600 habitaciones, lo que nos da una carga de acuerdo a las NORMAS TECNICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS DE AGUAS NEGRAS, de 800 m3/d.
- b. Para los hospitales se ha tomado en consideración la misma norma Técnica de ANDA cuya dotación por cama de hospital es de 650 l/cama, y se ha considerado una una cantidad total de camas de 4,500 entre hospitales públicos, privados y clínicas.
- c. Para la estimación del comercio, se utiliza la misma norma técnica de ANDA y se ha calculado un total de 563,400 m2 de Área Comercial en el área de influencia del Colector Interceptor y 182,400 m2 en la Área de influencia del CP-4

- d. Para la dotación industrial utilizamos la estimación del Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico: PNGIRH-PRO-006-FA-001-Caminos del Agua- AMSS-Ed01, para las zonas en mención tendríamos: Zona del Colector Interceptor: Dotación industrial de los municipios de San Salvador, Ciudad Delgado, Mejicanos, San Marcos, Santa Tecla y Antiguo Cuscatlan: 14,407 m³/; Dotación Industrial para los municipios de Soyapango, Ilopango y San Marcos: 19,579 m³/d. Sin embargo, debido a que muchas de las industrias en mención descargan directamente a los cuerpos receptores, Solamente utilizaremos el 50% de la dotación industrial, a efectos de lo que podría llegar al Colector Interceptor y CP-4

La tabla Resumen se muestra a continuación con la estimación total de lo que debería de llegar a los puntos de descarga:

Tabla 18: Estimación de Cargas Domésticas, Industriales, Comerciales, Hospitalarias vertidas al Colector Interceptor y al CP-4

Descargas Zona Alta	Caudal estimado Población 2007 (m ³ /d)	Caudal Estimado Hoteles (m ³ /d)	Caudal Estimado Hospitales y Clínicas (m ³ /d)	Caudal Estimado Comercio (m ³ /d)	Caudal Estimado Industria (m ³ /d)	Total Estimado (m ³ /d)
Descarga Colector Interceptor	83,091	800	2500	9014	7,204	102,609
Descarga CP-4 y Colectores Secundarios	33,604	0	450	2918	9,790	46,762
TOTAL	116,695	800	2,950	11,933	16,993	149,371

Ahora si comparamos estos valores con los valores medidos tenemos lo siguiente:

Tabla 19: Estimación de pérdidas por fracturas en los colectores de Aguas Negras

Descargas Zona Alta	Total Estimado (m ³ /d)	Total Medido (m ³ /d)	Pérdidas por fracturas (m ³ /d)
Descarga Colector Interceptor	102608	52,006	50,603
Descarga CP-4 y Colectores Secundarios	46762	21023.65	25,738
TOTAL	149370	73,030	76,341

5.1.2 Distribución de las cargas Industriales/poblacionales:

Tomando en cuenta las cargas estimadas y las medidas, podemos verificar la proporción entre estas:

Distribución de las Cargas totales vertidas en el Río Acelhuate (kg DBO/d)

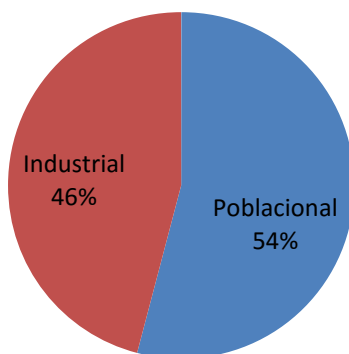


Ilustración 25: Relación de las Cargas Industriales vs Cargas Domésticas

Como puede observarse, la distribución real de las cargas sobre el Río Acelhuate se encuentran desproporcionadas: Las industrias vierten por encima de los valores de norma vigentes.

5.1.3 Seccionamiento del Río Acelhuate:

Se realiza un seccionamiento del Río Acelhuate de acuerdo a los rios y tramos de las cuencas



Ilustración 26: Seccionamiento del Río Acelhuate en Sub-cuencas Tomayate y Río las Cañas

5.1.4 Estimación de Caudales Futuros:

Para poder estimar los caudales a 30 años, ya que se ha utilizado de base el año 2007, se debe de ser la proyección del aumento de la población, el cual nos da como resultado el siguiente calculo:

Tabla 20: Estimación de Crecimiento de la población AMSS

Año	Población Zona CP-4	Población Zona Interceptor
2007	224,025	553,940
2008	225,594	557,818
2009	227,173	561,723
2010	228,763	565,655
2011	230,364	569,614
2012	231,977	573,602
2013	233,601	577,617
2014	235,236	581,660
2015	236,883	585,732
2016	238,541	589,832
2017	240,210	593,961
2018	241,892	598,119
2019	243,585	602,305
2020	245,290	606,522
2021	247,007	610,767
2022	248,736	615,043
2023	250,478	619,348
2024	252,231	623,683
2025	253,996	628,049
2026	255,774	632,445
2027	257,565	636,873
2028	259,368	641,331
2029	261,183	645,820
2030	263,012	650,341
2031	264,853	654,893
2032	266,707	659,477
2033	268,574	664,094
2034	270,454	668,742
2035	272,347	673,424
2036	274,253	678,137
2037	276,173	682,884
2038	278,106	687,665
2039	280,053	692,478
2040	282,013	697,326
2041	283,988	702,207

2042	285,975	707,122
2043	287,977	712,072
2044	289,993	717,057
2045	292,023	722,076
2046	294,067	727,131

Para estos Nuevos datos de población, los caudales estimados a considerar para una Planta de Tratamiento son los siguientes, tomando en consideración la misma tasa de crecimiento para los demás caudales

Tabla 21: Estimación de Cargas Futuras hacia el Colector Interceptor y el CP-4

Descargas Zona Alta de la Cuenca del Acelhuate	Caudal estimado Población año 2046 (m3/d)	Caudal Estimado Hoteles año 2046 (m3/d)	Caudal Estimado Hospitales y Clinicas año 2046 (m3/d)	Caudal Estimado Comercio año 2046 (m3d/)	Caudal Estimado Industria año 2046 (m3d/)	Total Estimado año 2046 (m3/d)
Descarga Colector Interceptor	109,070	984	3075	11088	8,860	133,077
Descarga CP-4 y Colectores Secundarios	44,110	0	553.5	3590	12,041	60,294
TOTAL Estimado año 2046	153,180	984	3,629	14,677	20,901	193,371

DINAMICA DE LA PARTE MEDIA

La parte media del Rio Acelhuate como hemos dicho, no tiene servicio de alcantarillado primario y adicionalmente tiene una importante base de plantas de tratamiento. Existe una población potencial de 394,720 para verter en la cuenca del Rio Acelhuate. Con un potencial de verter 59,208 m3/d o 0.68 m3/s.

El desarrollo de la Ciudad se dio hacia el norte de San Salvador, en dirección al municipio de APOPA, principalmente en proyectos urbanísticos de tipo popular. Debido a la ausencia de alcantarillado en dicha zona, las autoridades competentes en dicha época solicitaron para el desarrollo de estos proyectos plantas de Tratamiento, para evitar de esa forma, verter directamente a los cuerpos receptores. Debido a esto, la gran mayoría de proyectos de esta zona tiene plantas de tratamiento. La mayoría funcionan deficientemente o están abandonadas, sin embargo hay un potencial de rehabilitación.

En la parte media de la micro-cuenca del rio Las Cañas existe una base importante de plantas de tratamiento que han sido construidas durante los últimos 30 años. Muchas de estas plantas de tratamiento se encuentran abandonadas por diferentes circunstancias, entre las que se pueden citar: delincuencia, diseño defectuoso, Falta de mantenimiento, limbo legal sobre la propiedad de dichas plantas de tratamiento, etc. El listado de dichas plantas se encuentra en la Tabla 23

Tabla 22: Listado de Plantas de Tratamiento Identificadas en Zona Media de la microcuenca del Río las Cañas

PLANTA	TIPO DE TRATAMIENTO	POBLACIÓN DE DISEÑO	CAUDAL DE DISEÑO (lps)	PROPIETARIO/ ADMINISTRADOR	ESTADO
PTAR Reparto San Ramon	Sedimentación y filtro percolador	3,645.00	6.33	A.Q.S.A S.A de C.V	ABANDONADA
PTAR Urbanización Santa Teresa de Las Flores	RAFA	9,600.00	16.67	Constructora Tenze S.A	Operando Permanente
PTAR Urbanización La Campanera	Sedimentación y filtro percolador	4,200.00	7.29	Banco Cuscatlán	ABANDONADA
PTAR Urb. San Francisco	Sedimentación y filtro percolador	9,000.00	15.63	Lic. Pedro Herrera	Operando
PTAR Urbanización Distrito Italia	Sedimentación y filtro percolador	9,000.00	15.63	ANDA	Operando Permanente
PTAR Urbanización Cumbres de San Bartolo I	Sedimentación y filtro percolador	16,800.00	29.17	Conar Suprema S.A de C.V	Operando Permanente
PTAR Urbanización Cumbres de San Bartolo II	Sedimentación y filtro percolador	16,775.00	29.12	Conar Suprema S.A de C.V	Operando Permanente
PTAR Urbanización Brisas del Norte	RAFA	6,000.00	10.42	ANDA	Operando Permanente
PTAR Urbanización Altavista II	Sedimentación y filtro percolador	15,000.00	26.00	Inversiones Roble S.A	Operando Permanente
PTAR Urbanización Altavista I	Sedimentación y filtro percolador	21,000.00	36.46	Inversiones Roble S.A	Operando Permanente
PTAR Residencial Regalo de Dios	N/D	9,500.00	15.00	La financiación la Alcaldía	Recien construida
PTAR Urb. Residencial Libertad	Lodos activados	11,868.00	20.60	FUSAL/ANDA	Operando
POBLACION TOTAL DE DISEÑO DE ESTAS PLANTAS		132,388	230 lps		

Adicionalmente en la Zona del Río Tomayate existe una base de plantas de Tratamiento que tratan aproximadamente 150 lps, para una capacidad total entre las plantas de tratamiento de la zona del Tomayate y las cañas de 0.38 lps y una población de diseño de unos 86,340, lo que totalizaría una población servida con Plantas de Tratamiento en toda la zona media de aproximadamente 218,728, que es un poco más de la mitad de la población potencial para verter.

Nuestra consideración en esta zona es que se deben de hacer los esfuerzos para reactivar estas plantas de tratamiento.



Ilustración 27: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en la zona Media de la Cuenca del Río Acelhuate

Para poder tratar las aguas de San Salvador, por tanto, debemos de pensar en al menos dos sistemas de tratamiento de grandes proporciones funcionando al final de los colectores CP-4 y Colector Interceptor. El encontrar un lugar para estos sistemas de tratamiento es gran parte del problema, ya que los criterios a utilizar dependen de muchos factores como son: Economicos, Tecnicos, Legales, Sociales, etc.

Por tanto Nuestro planteamiento para ambas plantas es el siguiente:

1. Encontrar un área relativamente despoblada dentro del AMSS, para cada una de las dos descargas mencionadas, donde se pueda ubicar un terreno lo suficientemente grande para ubicar los sistemas de tratamiento.
2. Extender los colectores como máximo 5 kilómetros, evitando así rebombes.

A partir de esos supuestos hacemos el planteamiento de las siguientes soluciones:

5.1.5 Descontaminación del Río Acelhuate:

Para la descontaminación del Río Acelhuate, se proponen dos plantas de Tratamiento con las siguientes características:

5.1.5.1 Planta de Tratamiento Soyapango:

- Serviría 294,067 personas (proyección al 2046)
- Trataría 44,110 m³/d de aguas ordinarias y 13,158 m³/d de aguas de tipo especial (industriales, comerciales, hospitalarias)
- Se estima un Caudal 60,000 m³/día
- Tratará las Aguas Residuales del CP-4 y sus colectores Secundarios
- Efluente altamente contaminado con DBO cerca de los 400 mg/l
- Capaz de generar 325 kw de energía eléctrica.
- Se necesitaría un volumen de Reactores UASB cercano a los 15,000 m³
- Debido a la topografía del lugar, el terreno indicado aprovecha la altura del colector por medio de un paso elevado del colector que nos evita un bombeo de aguas residuales. El terreno en dicho lugar tiene unas 15 Ha.
- La prolongación del colector incluye una obra de paso de unos 400 metros y 300 metros adicionales, para poder mantener la altura del colector.



Ilustración 28: Ubicación PTAR Soyapango

Área propuesta
para PTAR

Red de Captación de
Aguas Residuales



Ilustración 29: Ubicación Propuesta PTAR Soyapango

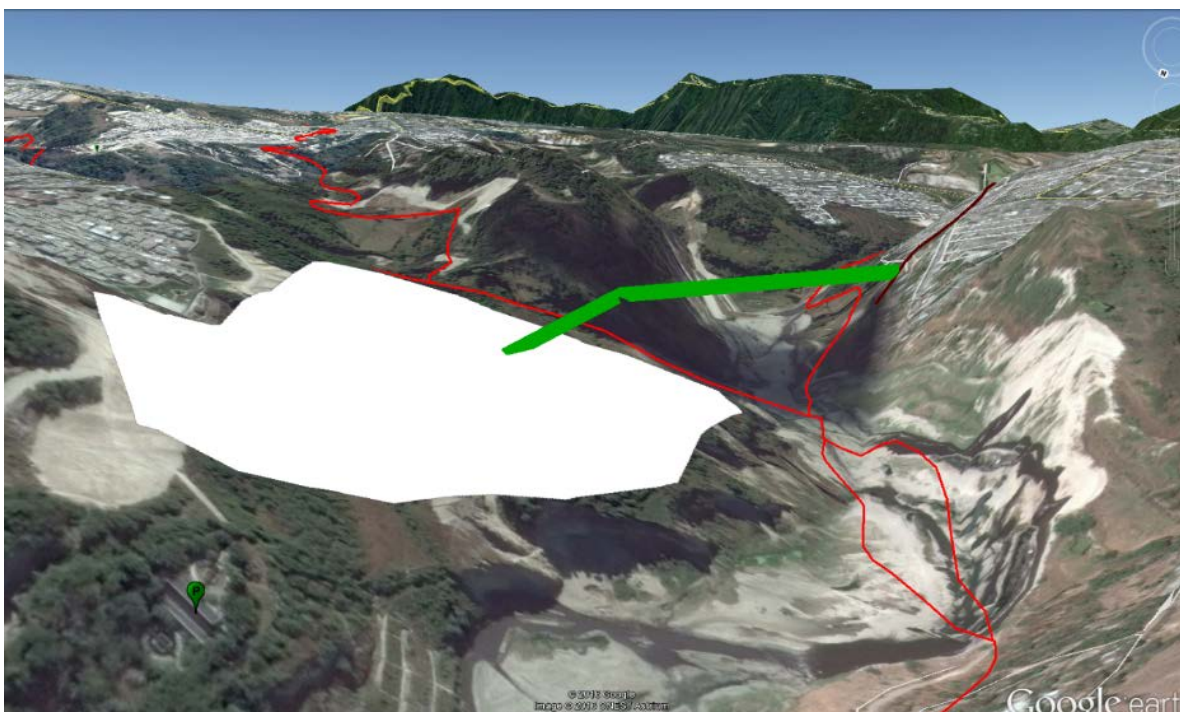


Ilustración 30: Vista de la obra de paso a realizar para la extensión del CP-4

A continuación la proyección de la planta de tratamiento en el sitio propuesto. Para las dimensiones de las unidades de tratamiento se ha tomado como base las dimensiones de la planta de tratamiento de Managua, Nicaragua, para corroborar si es posible instalar la PTAR en la locación propuesta. La proyección es la siguiente:



Ilustración 31: Proyección de PTAR Soyapango

Esta proyección es únicamente para efectos ilustrativos. Sin embargo, si el terreno lo permite, esta parece ser la mejor locación. Más al norte, las montañas y cerros, hace simplemente muy complicado el transporte de las aguas negras.

La caracterización Físicoquímica promedio de estas descargas se estima que es la siguiente:

Tabla 23: Caracterización Físicoquímica del Efluente esperado para la PTAR Sumpa

PARAMETROS ANALIZADOS	CP-4 (21-9-2015)	CP-4 (28-1-2016)	Colector Secundario Soyapango (27-1-2016)	PROMEDIO
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)*mg/L	505	570	775	617
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (OBQ)*mg/L	364	390	405	386
SOLIDOS SEDIMENTABLES* MI/L	<0.1	7.5	4.5	6
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES* mg/L	165	220	236	207
ACEITES Y GRASAS* mg/L	52	9	9	23
pH*	7.3	7.3	6.95	7
TEMPERATURA	27.6 °C	28.6 °C	29.9°C	2 °C
NITROGENO TOTAL mg/L	7.3	23	27	19
FOSFORO TOTAL mg/L	4.2	5	10	6

5.1.5.2 PLANTA DE TRATAMIENTO SAN SALVADOR:

- Serviría 727,131 personas (proyección de población al 2046)
- Tratará 109,070 m³/d de aguas ordinarias y 19,518 m³/d de aguas de tipo especial hospitalaria, hoteles, comercial e industrial.
- Tratará las aguas residuales del Colector Interceptor.
- Concentración de DBO > 400 mg/l
- Tendría una capacidad de Tratamiento de 128,588 m³/d
- Capaz de producir 740 kw de energía eléctrica.
- Volumen de Reactores UASB necesario de aproximadamente 32,145 m³.
- Se deberá prolongar el colector interceptor unos 4.5 km.



Ilustración 32: Ubicación propuesta PTAR San Salvador

Tabla 24: Caracterización Físicoquímica del Efluente esperado para la PTAR San Salvador

PARAMETROS ANALIZADOS	Descarga Colector Interceptor (26-1-2016)
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)*mg/L	566
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)*mg/L	405
SOLIDOS SEDIMENTABLES* MI/L	9
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES* mg/L	100
ACEITES Y GRASAS* mg/L	10
pH*	7.392
TEMPERATURA	27.1°C
NITROGENO TOTAL mg/L	27
FOSFORO TOTAL mg/L	4.2

5.1.5.3 REACTIVACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO TRAMO MEDIO Y BAJO DEL RIO LAS CAÑAS:

Las siguientes plantas de Tratamiento están funcionando de forma operativa y las que se encuentran abandonadas pueden ser reactivadas.

A continuación se presenta el listado de las plantas de tratamiento que pueden rehabilitarse:

PLANTA	TIPO DE TRATAMIENTO	POBLACION DE DISEÑO	CAUDAL DE DISEÑO (lps)	PROPIETARIO/ ADMINISTRADOR	ESTADO
PTAR Reparto San Ramon	Sedimentación y filtro percolador	3,645.00	6.33	A.Q.S.A S.A de C.V	ABANDONADA
PTAR Urbanización Santa Teresa de Las Flores	RAFA	9,600.00	16.67	Constructora Tenze S.A	Operando Permanente
PTAR Urbanización La Campanera	Sedimentación y filtro percolador	4,200.00	7.29	Banco Cuscatlán	ABANDONADA
PTAR Urb. San Francisco	Sedimentación y filtro percolador	9,000.00	15.63	Lic. Pedro Herrera	Operando
PTAR Urbanización Distrito Italia	Sedimentación y filtro percolador	9,000.00	15.63	ANDA	Operando Permanente
PTAR Urbanización Cumbres de San Bartolo I	Sedimentación y filtro percolador	16,800.00	29.17	Conar Suprema S.A de C.V	Operando Permanente
PTAR Urbanización Cumbres de San Bartolo II	Sedimentación y filtro percolador	16,775.00	29.12	Conar Suprema S.A de C.V	Operando Permanente
PTAR Urbanización Brisas del Norte	RAFA	6,000.00	10.42	ANDA	Operando Permanente
PTAR Urbanización Altavista II	Sedimentación y filtro percolador	15,000.00	26.00	Inversiones Roble S.A	Operando Permanente
PTAR Urbanización Altavista I	Sedimentación y filtro percolador	21,000.00	36.46	Inversiones Roble S.A	Operando Permanente
PTAR Residencial Regalo de Dios	N/D	9,500.00	15.00	La financiación Alcaldía	Recien construida
PTAR Urb. Residencial Libertad	Lodos activados	11,868.00	20.60	FUSAL/ANDA	Operando

La estimación de depuración de estas plantas de tratamiento es de 0.228 l/s, equivalentes a 20,000 m³/d, El efecto posterior a la depuración en la PTAR Soyapango es de reducir un 20% la contaminación total del río.

Como se dijo anteriormente, la reactivación de estas plantas es algo sujeto a otro estudio de campo.

5.1.5.4 CUMPLIMIENTO AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ANTIGUO CUSCATLÁN:

La zona de antiguo Cuscatlán es atravesada por la quebrada el Piro en un pequeño trecho de 2.5 kilómetros donde pasa la quebrada el Piro. Durante su paso, recibe vertidos de las zonas industriales de Antiguo Cuscatlán, así como de los Centros Comerciales nuevos de la zona, lo que incrementa la carga orgánica en este punto. En este pequeño tramo es necesario que se realice una labor de cumplimiento ambiental de forma que garantice que las zonas industriales y comerciales traten sus aguas residuales. Se estima que al menos 2-3 Tonelada de DBO5 día son vertidas en este tramo.



Ilustración 33: Tramo de Cumplimiento Ambiental en Antiguo Cuscatlán

5.2 DINAMICA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL RIO SUCIO Y SU APTITUD DE USO

La cuenca del río Sucio tiene una extensión de 833.42 km², y se conforma por el río Sucio y gran número de tributarios. Por la margen derecha destacan los ríos El Obraje, Copapayo, Talnique, Chuchucato, Colón, Belén, y de Palonquilo; por la margen izquierda, los ríos Agua Caliente y Palio.

La dinámica de la contaminación en esta cuenca es totalmente distinta a la del Río Acelhuate. El área urbana ha buscado crecer para esta zona en los últimos 30 años, agrandando



Ilustración 34: Delimitación de la Cuenca del Río Sucio

notablemente la incidencia de proyectos habitacionales y proyectos industriales. En principio lo que movió grandemente el desarrollo industrial para esta zona fue precisamente la riqueza de los mantos acuíferos de la zona. Al comenzar a bajar los niveles freáticos de la zona industrial de Soyapango e Ilopango, rápidamente se pudo inferir que el desarrollo industrial debería de trasladarse a una zona rica en agua. Por tanto, la industria que demanda grandes cantidades de agua opera principalmente en esta zona. Grandes Textileras, Papeleras y Zonas Francas se desarrollaron en esta zona. Junto con el desarrollo industrial, fue inevitable el desarrollo urbanístico. Este desarrollo ha sido distinto a todo lo visto en el resto del país. Esta zona, cuenta con la mayor cobertura de plantas de tratamiento en todo El Salvador. Prácticamente todos los desarrollos urbanísticos poseen algún tipo de tratamiento y Prácticamente toda la industria cuenta con plantas de tratamiento en la zona. Entonces, parecería ser que ya todo está resuelto, y aún así, esta cuenca es la segunda más contaminada del país.

Para poder entender la dinámica de la calidad de agua en esta zona, hay que primeramente entender los actores principales:

- I. Industriales: La industria se encuentra bien instalada en la zona y tiene un alto nivel de organización. Toda la gran industria posee plantas de tratamiento que en su mayoría funciona bien o muy bien. Solamente existe una gran industria que descarga irresponsablemente muy mal.

2. Urbanizadores: en la zona existen al menos unos 10 grandes proyectos de urbanizaciones que se encuentran todavía en expansión. Los Urbanizadores están obligados a tener plantas de tratamiento, sin embargo, la operación o la calidad de los resultados de las mismas, no es una de sus prioridades, sino la de cumplir un requisito para poder terminar su proyecto.
3. Juntas de Vecinos: Los proyectos, una vez han sido terminados por los urbanizadores, les dejan el mantenimiento de las plantas de tratamiento a las Juntas de Vecinos organizadas, quienes debería de velar por la operación y mantenimiento de las mismas. En la practica, sin importar el estrato social de la urbanización y la capacidad de pago, la falta de recursos o de conocimiento hace que estos proyectos fracasen.
4. Distrito de Riego: En medio de todos estos actores se encuentra una de las tierras más fértiles de la zona. El distrito de Riego de Zapotitán, y al final del Rio Sucio, el Distrito de Riego de Atiococho (norte y sur). La principal queja de estos actores es la calidad de las aguas superficiales.
5. Alcaldías: La alcaldía hace varias labores en la zona y coordina muchos de estos actores, pero no todos. Tiene gran incidencia organizativa.
6. Ministerio de Salud: Ante la gran cantidad de denuncias por enfermedades por la mala calidad de las aguas superficiales, el MINSAL se despliega en toda la zona, sin embargo, su incidencia es solamente informativa.
7. ANDA: No tiene incidencia directa en toda la zona, ya que su suministro de agua potable es parcial en la zona. Opera y administra una planta de tratamiento.
8. MARN: Su incidencia en la zona ha sido la de tratar de cohesionar estos distintos grupos y realizar propuestas para mejorar la calidad de agua de la zona. Hasta el momento su incidencia ha sido baja, pero es quien ha llevado la batuta para poder arreglar todos estos problemas.

Cada uno de estos actores tiene motivaciones e intereses distintos y a diferencia de otras cuencas, el éxito aquí estará en poder coordinar todos estos actores.

La cuenca del río Sucio ha sido designada como zona prioritaria, debida a la contaminación generada por las descargas industriales de la zona y del distrito de riego y drenaje de Zapotitán. El río Sucio drena al embalse del Cerrón Grande que es un sitio RAMSAR, el uso de suelos está orientado a urbanización y agrícola; la presión sobre el recurso hídrico es crítica especialmente por las demandas de agua potable del Área Metropolitana de San Salvador (MARN - AECID, Junio 2012).

5.2.1 FUENTES CONTAMINANTES

Las Fuentes Puntuales, son vertidos domésticos o industriales realizados en un solo punto a lo largo del cuerpo receptor, dependen directamente de la actividad domestica e industrial; mientras que las fuentes difusas, son el efecto de actividades realizadas en los suelos de la cuenca, que lavan contaminantes con las lluvias y son depositados “difusamente a lo largo del rio”. En esta categoría se encuentran, las escorrentías y lavados de actividades agropecuarias. La siguiente tabla, nos indica las fuentes contaminantes difusas presentes en el Rio Sucio:

Tabla 25: Fuentes difusas en la cuenca del Rio Sucio

Actividad	Uso de Suelos/tipo de ganado	Porcentaje de Suelo/ Cantidad de Ganado	Área/unidades
Agricultura	Café	31.47%	262 km2
	Granos Básicos	18.23%	152 km2
	Caña de Azucar	10.78%	90 km2
	Pastos y Otros Cultivos	31.24%	260 km2
	Área Urbana	8.28%	69 km2
Ganadería	Ganado Bobino	17,000-47,000	bovinos
	Ganado Avícola	5,000,000-8,000,000	aves

Las fuentes puntuales se desarrollan en su mayoría debido a la generación de aguas residuales ordinarias por parte de la población y su respectiva conducción al rio Sucio a través de sus tributarios. Cada habitante produce en promedio entre 40-70 g de Materia Orgánica Biodegradable presente en sus excretas y como producto de su actividad antrópica. Considerando que la Zona de la Cuenca del Rio Sucio es la que tiene mayor densidad de plantas de tratamiento ordinarias, se ha considerado un valor medio de 44 g/habitante para poder hacer el balance de DBO5. Debido a que tenemos los datos de Calidad de Agua y principalmente de cantidad de DBO en los diferentes tramos del Rio, podemos estimar la carga que no proviene de vertidos ordinarios, sino de vertidos industriales. La tabla se muestra a continuación:

Tabla 26: Estimación de Aporte de Materia Orgánica por actividad Antrópica, Fuentes Puntuales

Municipio	Rio al Que Descarga	Departamento	Porcentaje de cobertura de alcantarillado (%)	Población	Población Vertiente	Carga por Habitante	Descargado
Armenia	Rio Copacayo	Sonsonate	37 %	50926 hab	18588 hab	50 g/hab*día	929 kg DBO/día
Jayaque	Rio Talnique	La Libertad	20 %	17868 hab	3645 hab	50 g/hab*día	182 kg DBO/día
Santa Tecla*	Rio colon	La Libertad	100 %	25000 hab	25000 hab	50 g/hab*día	1250 kg DBO/día
Colón	Rio Colon	La Libertad	9 %	295404 hab	27768 hab	30 g/hab*día	833 kg DBO/día

Zona Industrial que vierte al río Belén	Río Belén	La Libertad	100 %	INDUSTRIAS ESTIMADO			7320 kg DBO/día
Zona Habitacional	Río Belén	Libertad	100 %	20000 hab	20000 hab	30 g/hab*día	600 kg DBO/día
Ciudad Arce	Río Agua Caliente	La Libertad	12 %	80878 hab	9301 hab	50 g/hab*día	465 kg DBO/día
Zona Industrial Que vierte directamente al Río Sucio	Río Sucio	La Libertad	100 %	INDUSTRIAS ESTIMADO			6172 kg DBO/día
San Juan Opico	Río Palio	La Libertad	17 %	53406 hab	9079 hab	60 g/hab*día	545 kg DBO/día
Quezaltepeque	Qda Santa Lucia	La Libertad	80 %	35685 hab	28691 hab	50 g/hab*día	1435 kg DBO/día
TOTALES				579167 hab	142072 hab	44 g/hab*día	19731 kg DBO/día

* Se asume que de Santa Tecla solo vierte el 25% de su población, el otro 75% vierte hacia el Acelhuate

DESCARGAS DE AGUAS ORDINARIAS:

El MARN ha llevado a cabo campañas de aforo y muestreo en las principales urbanizaciones teniendo los siguientes resultados:

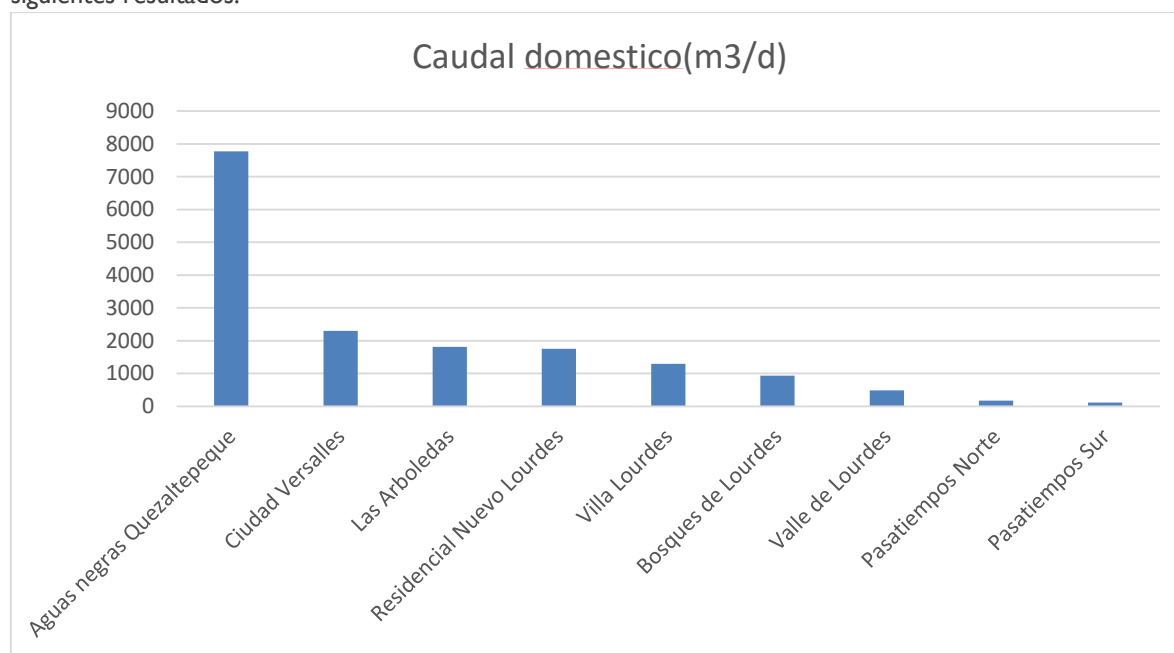


Ilustración 35: Principales Vertidos Domésticos en la Cuenca del Río Sucio

El MARN también ha llevado a cabo campañas en la Industria, teniendo la Calidad y volúmenes de descarga de las principales industrias, las cuales tienen los siguientes resultados:

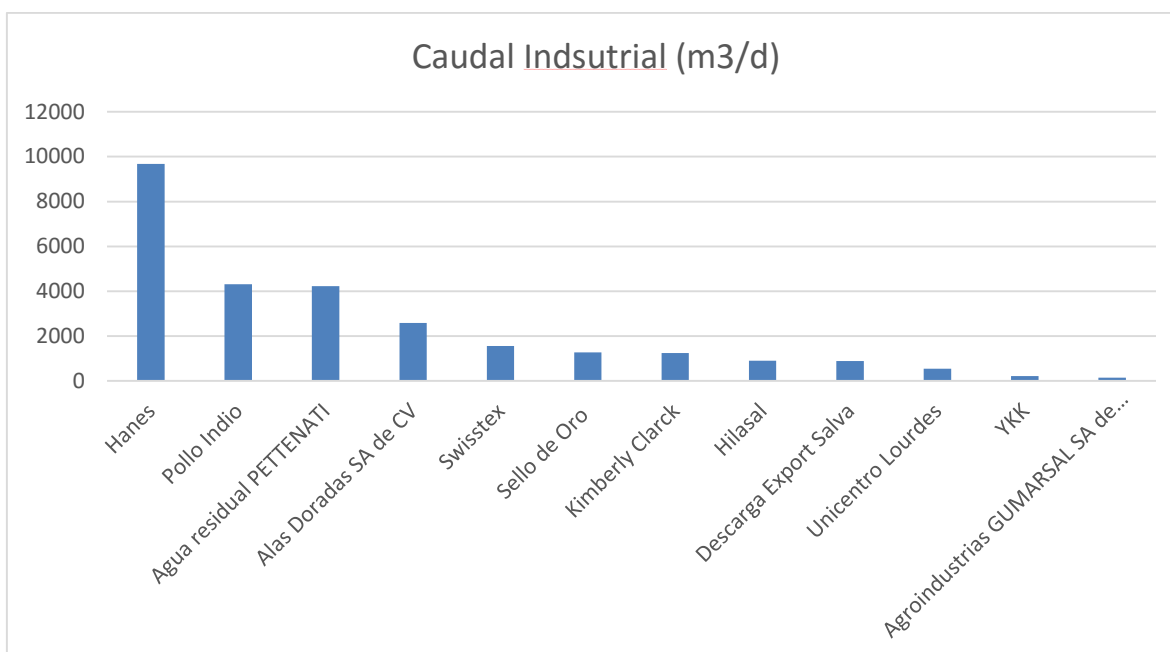


Ilustración 36: Volúmenes de Descarga de las Principales Industrias de la Cuenca del Río SUCIO

En tratamiento de aguas residuales se consideran las aguas ordinarias aguas diluidas, con baja carga orgánica en comparación de las cargas industriales. Para poder hacer una comparación de las cargas que llegan al Río SUCIO, utilizamos la carga total de DBO vertida por cada uno de estos actores y tenemos el siguiente resultado:

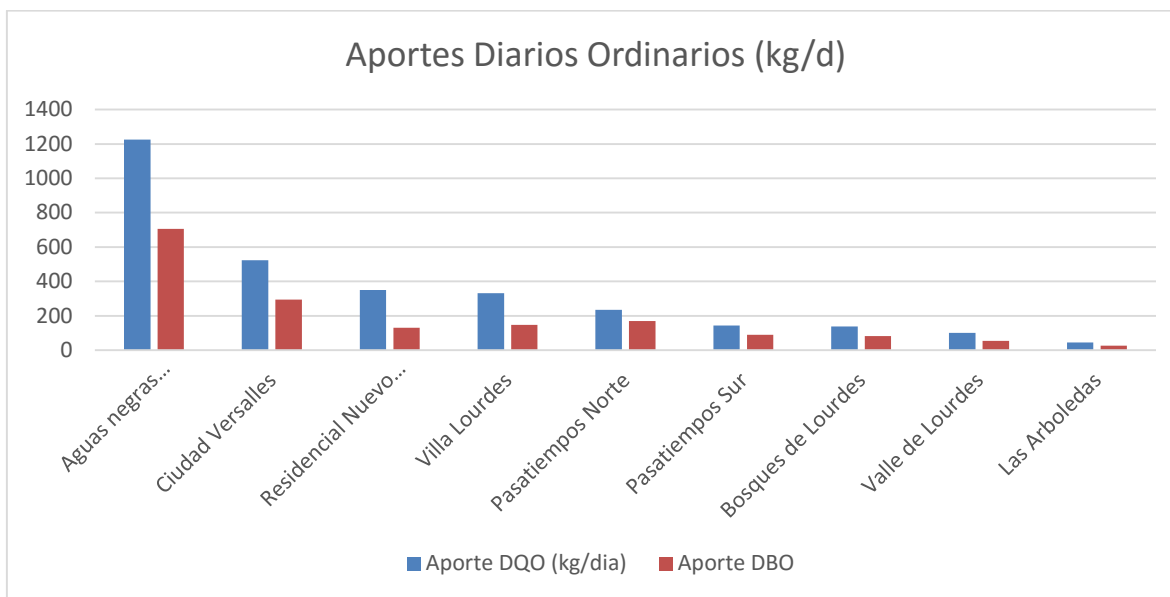


Ilustración 37: Aportes diarios de DQO y DBO De descargas Ordinarias

En la Ilustración 32 puede verse rápidamente que la ausencia de cualquier tipo de tratamiento en las Aguas Negras de Quezaltepeque (municipio) es el mayor aporte de DBO y DQO de aguas Ordinarias. Es necesario notar que el Casco Urbano de Lourdes no tiene alcantarillado, por lo tanto en su mayoría son fosas sépticas.

De igual forma, analizamos las descargas industriales:

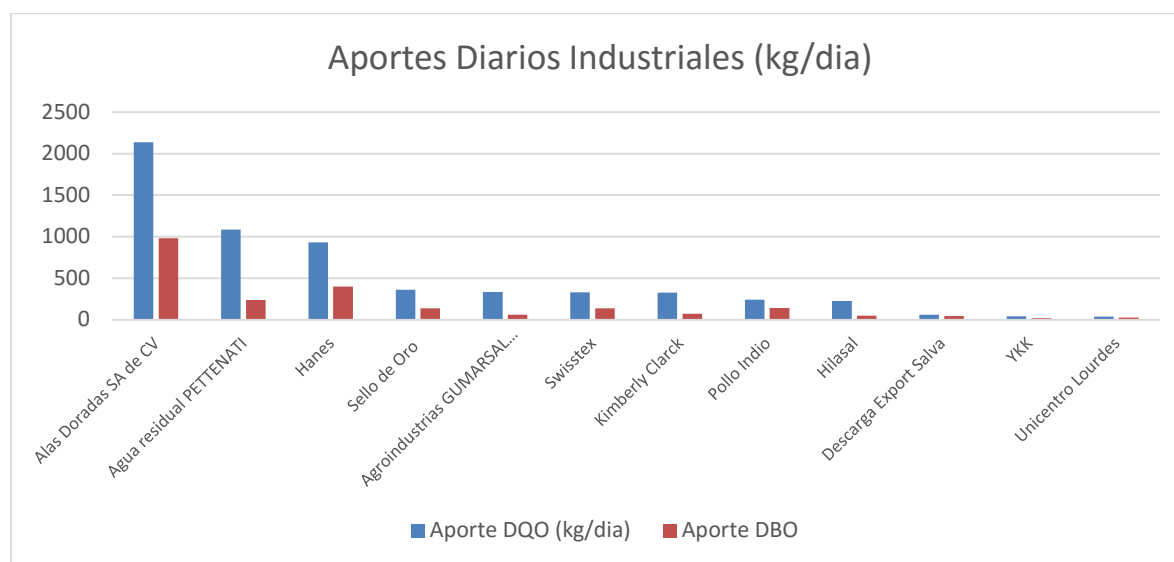


Ilustración 38: Aportes diarios de DQO y DBO De descargas Industriales

Como puede observarse en la Ilustración 22, una industria papelera es la que hace las mayores descargas. Finalmente para hacer una comparación entre estos actores mediremos tanto las cargas ordinarias como industriales:

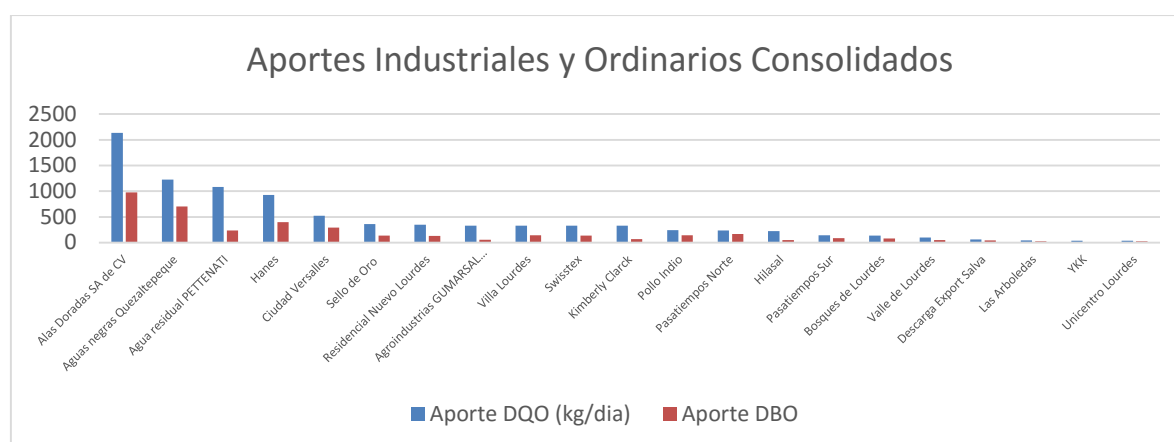


Ilustración 39: Aportes Industriales y Ordinarios Consolidados

Como se puede ver en la tabla comparativa, una sola industria descarga más contaminación que un casco urbano de 36,000 personas.

Finalmente comparemos los aportes de DQO y DBO entre ordinarios e industriales:

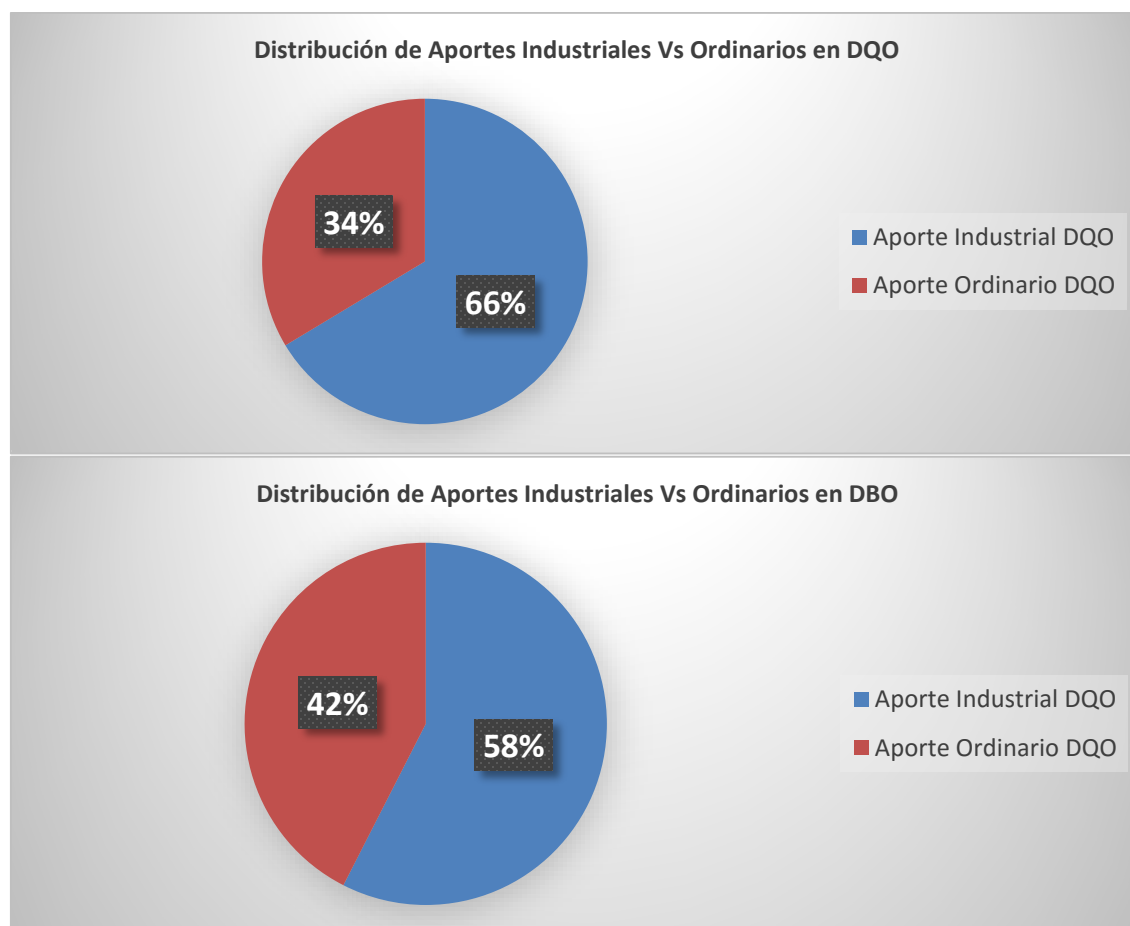


Ilustración 40: Comparación de los aportes de descargas DQO y DBO

Dados todos estos antecedentes, podemos ahora, entender la dinámica de calidad del comportamiento del Río Sucio a lo largo de sus casi 70 km de extensión es relativamente fácil. Este comportamiento se muestra en la Ilustración 36:



Ilustración 41: Modelo de Calidad de Agua del Río Sucio y Sus Tributarios

Para poder determinar la calidad de un tramo del río utilizamos el valor del DBO5. Este valor indica la cantidad de materia orgánica biodegradable en 5 días que ha sido solubilizada. La depuración natural de un río se da en función de la cantidad de oxígeno disuelto en él y es inversamente proporcional al valor del DBO5. El oxígeno disuelto se transfiere al río del aire atmosférico al río por medio de toda la turbulencia que tiene el río a largo de su cauce. El oxígeno actúa de distintas formas para depurar la materia orgánica: Por un lado, oxida la materia fácilmente degradable químicamente, por otro lado, destruye bacterias anaeróbicas (como son los coliformes fecales, que depuran lentamente la materia orgánica y la transforman en metano y otros gases) y propicia la existencia de bacterias aeróbicas (que destruyen la materia orgánica rápidamente transformándola en CO₂ y H₂O). Los elementos una vez han sido oxidados tienden a precipitar y depositarse en el fondo del río.

De tal forma que el Oxígeno actúa en el río como una estación depuradora transformando la contaminación físicamente, químicamente y biológicamente. A continuación se presenta la tabla con el código de colores respecto a la capacidad de autodepuración de un río. Cualquier tramo del río que se encuentre en colores naranja y rojo ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del río.

Tabla 27: Codificación por color de los Ríos Respecto a la contaminación biológica

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
$DBO_5 \leq 3$	EXCELENTE No contaminada	AZUL
$3 < DBO_5 \leq 6$	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	VERDE
$6 < DBO_5 \leq 30$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARILLO
$30 < DBO_5 \leq 120$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
$DBO_5 > 120$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	ROJO

En la Ilustración 36 se puede observar la dinámica de calidad a lo largo del río Sucio, para poder comprender mejor la dinámica del Río lo dividimos en tres tramos en base a los drásticos cambios en su calidad:

Tramo Alto: Parte Alta del Río Sucio hasta la desembocadura del Río Colon. Esta parte engloba los afluentes del Río Talnique, Río Copapayo y Río Obraje (Inicio del río Sucio). El nivel de calidad de agua de todos estos ríos es Aceptable.

Tramo Medio: Posterior a la desembocadura del Río Colon hasta la desembocadura del Río Palio, pasando por el Río Belen y el Río Aguas Calientes. Toda la calidad de este tramo es Fuertemente Contaminada.

Tramo Superior: Posterior a la desembocadura del Río Palio hasta la descarga en el Río Lempa, pasando por el Río El Chorro y las bocatomas del Distrito de Riego. La calidad de agua en este tramo varía entre contaminada y aceptable.

5.2.2 DINAMICA DE LA CONTAMINACION DEL RIO SUCIO:

El Tramo Alto de la cuenca del Río Sucio recibe principalmente aguas ordinarias de los pueblos de Armenia y de Jayaque. Debido a que la población vertiente de este tramo es de 22,233 habitantes con acceso a Alcantarillado, la estimación de carga orgánica vertida en estos tramos es de 1,111 kg de DBO/día. Esta cantidad de Materia orgánica contamina el río a niveles que de acuerdo a su caudal y características en este tramo alto se mantiene dentro del rango de autodepuración.

En el inicio del Tramo medio del Rio Sucio se encuentra el Rio Colon. Este rio recoge las aguas residuales de la parte oeste de Santa Tecla. Se estima que el 25% de la población de Santa Tecla Vierte al Rio Colon. Existe en este tramo una buena cantidad de plantas de tratamiento en grandes urbanizaciones por lo que al menos un tratamiento primario tiene toda esta etapa, por lo que la cantidad de contaminación ordinaria para 52,768 habitantes la estamos en 2,083 kg de DBO/día. Este nivel de contaminación adicionado a los 1,111 kg DBO/día que ya el rio sucio tenia, cambia su calidad a fuertemente contaminado. Posteriormente el Rio Belén sirve a unos 20,000 habitantes de las nuevas urbanizaciones, aportando 600 kg de DBO/día adicionales. Todas estas urbanizaciones tienen sus propias plantas de tratamiento y están en funcionamiento, por lo que la carga por persona debería de ser alrededor de 6 g DBO/persona*día; aun así, como desconocemos las eficiencias de los tratamientos, colocamos sólo una disminución de la carga del 50% y no del 90% como probablemente es. Por lo que a este punto se estimaría que la carga es de 3,794 kg de DBO/día; sin embargo, las

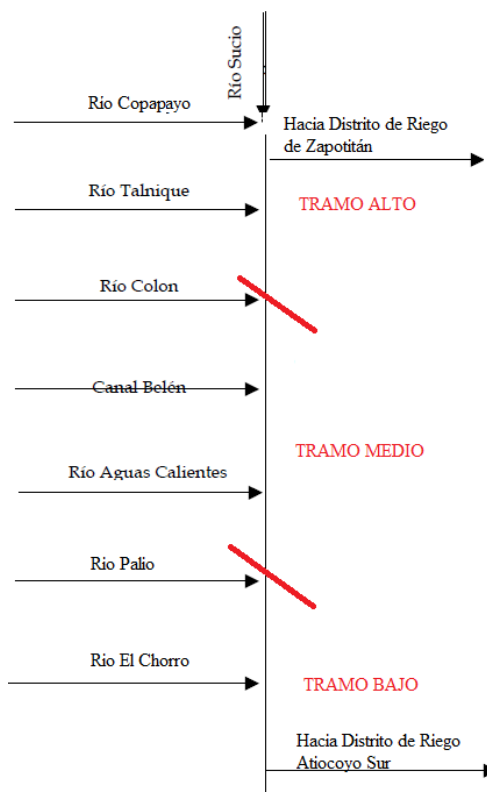


Ilustración 42: Esquema de la cuenca del río Sucio

mediciones de calidad en este punto reportan una carga orgánica de 11,115 kg DBO/día. La estimación de las contribuciones de las industrias que vierten al Rio Belén y Colon, por tanto es de 7,320 kg DBO/día, que a este punto es 66% de toda la carga que el Rio Transporta en estos tramos, esta relación inclusive aumenta levemente en el siguiente subtramo.

Posterior a la desembocadura del Rio Belén, los grandes efluentes industriales vierten en este tramo, 3 Textileras que totalizan más de 30,000 m³/día, 2 papeleras cuyos efluentes son de al menos 10,000 m³/día y otras industrias menores pero con un alto potencial de contaminación. El finalizar este pequeño tramo de unos 5 km de cuenca, la carga orgánica total se incrementa a los 17,752 kg DBO/día. A esto habría que restarle la contaminación generada por la población de Ciudad Arce, que totaliza unos 465 kg DBO/día, por lo que la contaminación industrial orgánica se eleva en este tramo, otros 6,172 kg DBO/día. De aquí en adelante, no hay descargas importantes.

Tramo Bajo: El tramo bajo inicia fuertemente contaminado, pero cambia su calidad a aceptable debido a la dilución del Río Palio con una subcuenca de cerca los 50 km² y muy poca contaminación industrial o habitacional, deja que el Río Sucio entre en una etapa de autodepuración, la cual se extiende en los siguientes 30 km hasta su desembocadura en el Río Lempa. Al llegar el Río al Distrito de Riego de Atiocoyo sur el agua, aunque aún contaminada, llega a niveles aceptables para el riego, excepto por la contaminación de coliformes fecales. Toda la extracción del río, disminuye el total de carga orgánica transportada y su caudal, de tal forma que al llegar a la desembocadura del Río Lempa, solamente transporta 1,043 kg DBO/día. Este valor tan extraordinario se debe a tres razones:

1. Dilución: En este tramo el río duplica su caudal con agua con baja contaminación antrópica.
2. Extracción: El caudal diluido es utilizado para el distrito de riego de Atiocoyo Sur, extrayéndole cerca del 75% de su caudal en ese punto (y por tanto de la contaminación que aquí transporta)
3. Más Dilución: Posterior a la extracción del Distrito de Riego de Atiocoyo Sur, El río aún tiene 10 km de cauce.
4. Depuración Natural: El río es capaz de naturalmente disminuir cierta cantidad de carga orgánica por sus procesos bacteriológicos. Esta reducción se estima que para este tramo del río debería de ser al menos un 50%.

Finalmente, lo que queda del río antes de su desembocadura al Río Lempa es una calidad aceptable y un caudal de 4.4 m³/s (en invierno según Campaña de Muestreo PNGIRH, 2015), pero ver este dato por sí solo, sin analizar las extracciones, recargas y autodepuración del río pueden tender a confundir.

CONCLUSIONES:

- Los ríos con mayor aporte contaminante al Río Sucio son: Río Colón, río Belén y Tramo del Río Sucio entre la Kimberly Klark y Hanes.
- El aporte industrial total de contaminación orgánica se estima que ronda los 13,492 kg DBO/día, mientras que el aporte de aguas ordinarias ronda los 6,239 kg DBO/día. El aporte industrial constituye el 68% de la contaminación total.
- El agua que utiliza el distrito de riego de Zapotitán proviene de las fuentes menos contaminadas: Río Talnique, Río Copacayo, Bombeo, etc. Estas fuentes, aún tienen un fuerte aporte de coliformes fecales, por lo que no tienen aptitud de riego, aunque son

utilizadas para este propósito. El agua tan contaminada de los ríos Colon y Belén no se utiliza para riego, ya que su alto contenido químico y biológico destruye los cultivos.

- El distrito de riego de Atiocoyo Sur absorbe el 75% de toda la contaminación producida por las industrias y la población. En este punto es una gran cantidad de contaminación a una baja concentración.
- El río sucio debido a la mala calidad de sus afluentes, así como a la fuerte contaminación industrial no tiene en ningún punto aptitud para riego, para hacerse potable o para actividades recreativas. Aunque la contaminación biológica disminuye grandemente al final del río; la contaminación bacteriológica aún persiste debido a las bacterias y coliformes fecales.

5.2.3 Descontaminación del Rio Sucio

La descontaminación del Rio Sucio, como se ve en el apartado correspondiente es principalmente de origen industrial, por lo que la labor de cumplimiento debe de ser exhaustiva en esta zona. Se plantea la reactivación de las plantas de Lourdes Colon, la instalación de una planta que trate las aguas de Santa Tecla y el cumplimiento industrial en la zona.

5.2.3.1 PLANTA DE TRATAMIENTO SANTA TECLA-SUCIO

- Serviría 35,000 personas, principalmente los vertidos de la Colonia Quezaltepec, Colonia las Araucarias, Colonia Acovitt.
- Efluente con calidad de agua < 400 mg/l
- 2-4 km de Tuberías de conducción.
- Tendría una capacidad de Tratamiento de 5,000 m³/d.
- Se utilizarían Filtros Percoladores
- La inversión de la planta de tratamiento rondaría los \$4 - \$5 Millones
- Capaz de remover anualmente 550 Toneladas de materia orgánica Anual



Ilustración 43: Posible Ubicación de Planta de Tratamiento Santa Tecla

5.2.3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO CASCO URBANO DE QUEZALTEPEQUE

- Serviría unas 100,000 personas
- Efluente con calidad de agua < 150 mg/l
- 0-1 km de Tuberías de conducción.
- Tendría una capacidad de Tratamiento de 15,000 m³/d.
- Se utilizarían Filtros Percoladores
- La inversión de la planta de tratamiento rondaría los \$8-\$9 Millones de Dólares .
- Capaz de remover anualmente 821 Toneladas de materia orgánica Anual



Ilustración 44: Posible Ubicación Planta de Tratamiento Quezaltepeque

5.2.3.3 REACTIVACION DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LOURDES COLON

La calidad del agua del Rio Colon debido a la PTAR Santa Tecla – Sucio llegará de muy buena calidad. Al entrar a Lourdes es necesario poder reactivar todas las plantas de tratamiento que vierten en el cauce del Rio y asegurar así la calidad a la entrada del distrito de Riego. La baja tasa de alcantarillado hace que estas grandes colonias sean las que vierten sus aguas al Rio. Esta medida podría reducir hasta un 10% la contaminación total del Rio Sucio.

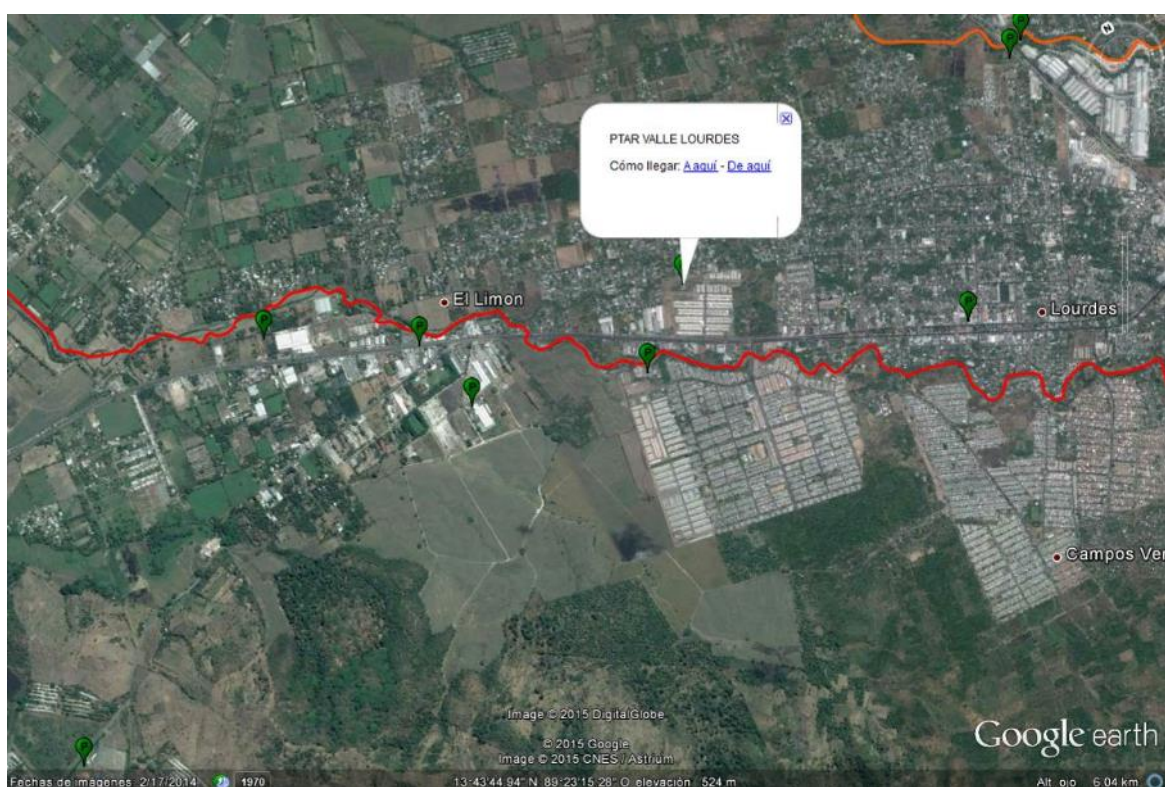


Ilustración 45: Reactivación de plantas de Tratamiento Lourdes Colón

5.2.3.4 CUMPLIMIENTO INDUSTRIAL DE LAS AGUAS:

En la zona de descarga hacia el Río Belén y la parte media alta del Río Sucio, se encuentra localizada una zona industrial de alto volumen de uso de agua. Es a estas industrias que se les atribuye la mayoría de la contaminación del Río Sucio. Todas estas industrias están obligadas a tener plantas de tratamiento y cumplir con las normativas ambientales, sin embargo, no todas las industrias presentan sus informes operacionales anuales, por lo que la certeza en este punto aún es muy baja. El MARN debe fortalecerse para poder enfrentar los retos del Cumplimiento Ambiental.

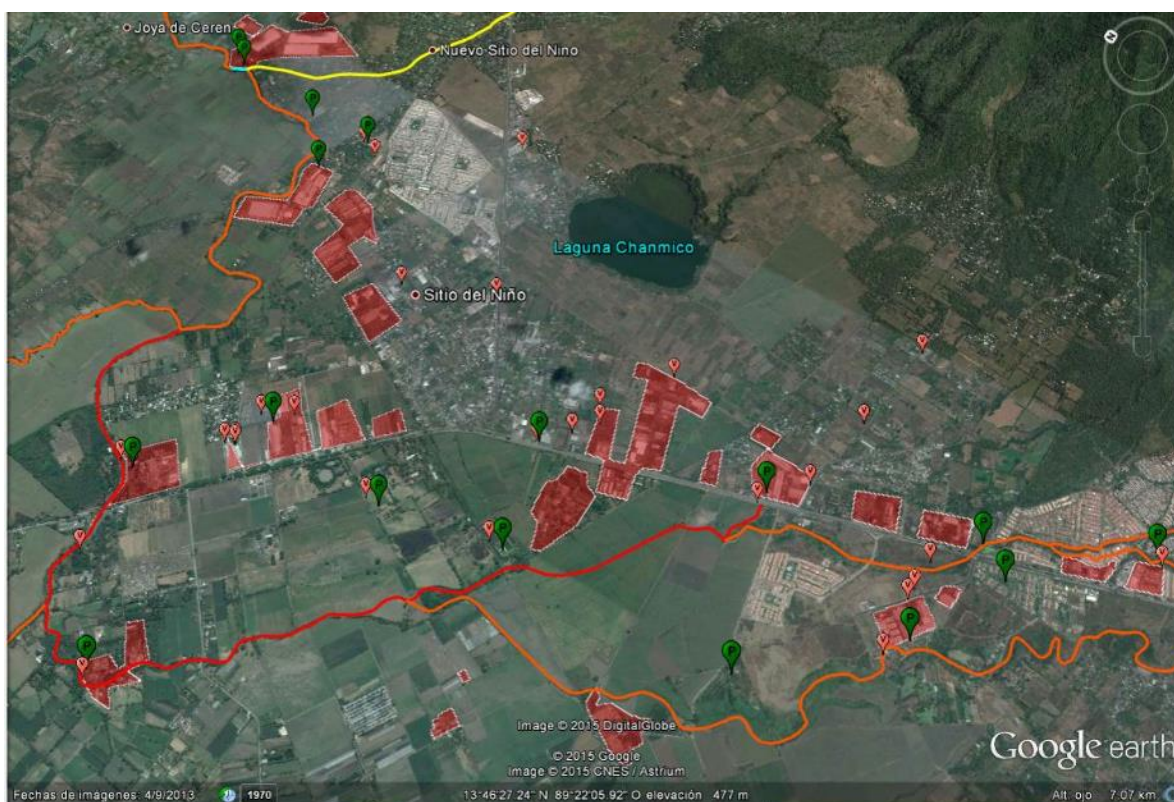


Ilustración 46: Zonas Industriales ubicadas alrededor del Río Belén, que deben de cumplir las normativas ambientales.

La correcta depuración de estas aguas residuales industriales puede disminuir hasta en un 50% la contaminación del Río Sucio, dejando mejores probabilidades de que el río mejore sus condiciones de autodepuración.

5.3 DINAMICA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL RIO SUQUIAPA Y SU APTITUD DE USO

La cuenca del río Suquiapa tiene un área de 425 km² y comprende las subcuencas de los ríos Zarco, Paso Hondo, Copinula, El Molino y Suquiapa (MARN - AECID, Junio 2012).

La cuenca del río Suquiapa ha sido designada como zona prioritaria (Figura 1), debido a la contaminación de las aguas superficiales producto de las descargas de aguas domésticas, de las ciudades de Santa Ana. El río Suquiapa drena al embalse del Cerrón Grande que es un sitio RAMSAR, el uso de suelos está orientado a urbanización y agrícola; la presión sobre el recurso



Ilustración 47: Delimitación de la Cuenca del Río Suquiapa

hídrico es crítica especialmente por las demandas de agua potable de Santa Ana (MARN - AECID, Junio 2012).

5.3.1 FUENTES CONTAMINANTES

Las fuentes contaminantes las podemos dividir en dos grandes categorías: Fuentes puntuales, Fuentes Difusas.

Las Fuentes Puntuales, son vertidos domésticos o industriales realizados en un solo punto a lo largo del cuerpo receptor, dependen directamente de la actividad doméstica e industrial; mientras que las fuentes difusas, son el efecto de actividades realizadas en los suelos de la cuenca, que lavan contaminantes con las lluvias y son depositados “difusamente a lo largo del río”. En esta categoría se encuentran, las escorrentías y lavados de actividades agropecuarias.

La siguiente tabla, nos indica las fuentes contaminantes difusas presentes en el Río Suquiapa:

Tabla 28: Fuentes difusas en la cuenca del Río Suquiapa

Actividad	Uso de Suelos/tipo de ganado	Porcentaje de Suelo/Cantidad de Ganado	Área/unidades
Agricultura	Café	29.83%	126.78 km ²
	Granos Básicos	26.27%	111.65 km ²

	Pastos y Otros Cultivos	21.90%	93.08 km2
	Área Urbana	22.00%	93.49 km2
Ganadería	Ganado Bobino	5,000-25,000	bovinos
	Ganado Avícola	1,000,000 - 2,500,000	aves

Como puede observarse, el mayor efecto de la agricultura lo tendremos como consecuencia directa de la producción de Café, la cual cubre 126.78 km² de la cuenca del Río Suquiapa. Este punto es importante de recalcar debido a que la producción de café a diferencia de granos básicos, pastos y otros cultivos; es en realidad una actividad agroindustrial, en lugar de ser únicamente agricultura. Las fuentes difusas de los cafetales se transformaran en los Beneficios en fuentes puntuales, siendo esta la principal actividad agroindustrial del departamento de Santa Ana y de la Cuenca del Río Suquiapa.

Las fuentes puntuales se desarrollan en su mayoría debido a la generación de aguas residuales ordinarias por parte de la población y su respectiva conducción a la parte alta del río Suquiapa. Cada habitante produce en promedio entre 40-70 g de Materia Orgánica Biodegradable presente en sus excretas y como producto de su actividad antrópica. Para efectos de estimar esta cantidad de materia debido a estas fuentes puntuales hacemos la estimación de la generación de materia orgánica biodegradable en la Ciudad de Santa Ana, la cual se estima a continuación:

Tabla 29: Estimación de Aporte de Materia Orgánica por actividad Antrópica, Fuentes Puntuales

Centro Urbano	Población Servida con Alcantarillado		
Santa Ana	Población	156,824	habitantes
	Carga por habitante	50	g DBO/día
	Carga Estimada	7,841.20	kg DBO/día
Coatepeque	Población	5874	habitantes
	Carga por habitante	50	g DBO/día
	Carga Estimada	293.7	kg DBO/día
San Pablo Tacachico	Población	6980	habitantes
	Carga por habitante	50	g DBO/día
	Carga Estimada	349	kg DBO/día
San Matias	Población	1,167	habitantes
	Carga por habitante	50	g DBO/día
	Carga Estimada	58.35	kg DBO/día

Como puede verse según los datos, el 92% de toda la contaminación orgánica ordinaria generada en la cuenca del Río Suquiapa tiene su origen en la Ciudad de Santa Ana, mientras que el otro 8% se genera en los pueblos de Coatepeque, San Pablo Tacachico y San Matías.

El Río Suquiapa se forma de los aportes de los siguientes ríos Tributarios: Río Sucio, Río Apanteos, Río el Molino, Río Apanchacal, Río Zarco. A lo largo de estos cuatro ríos tributarios se hacen la mayoría de descargas de la ciudad de Santa Ana.

ANDA Santa Ana ha realizado durante el año 2014 aforos y muestreos en las 12 descargas de aguas residuales ordinarias encontradas en el casco Urbano de la Ciudad de Santa Ana, obteniendo lo siguientes resultados para Invierno y Verano:

Tabla 30: Caudales de descarga de los 12 puntos reportados por ANDA Santa Ana

No.	Lugar de vertido	DATOS VERANO D.A. (gpm)			DATOS INVIERNO D.A. (gpm)		
		FLUJO MINIMO	FLUJO MEDIO	FLUJO MAXIMO	FLUJO MINIMO	FLUJO MEDIO	FLUJO MAXIMO
1	MOLINO	145.933	612.245	918.478	288.195	744.783	1,192.071
2	LOTIFICACION ALVAREZ	204.188	247.972	293.908	151.987	192.606	227.145
3	LOTIFICACION SAN ERNESTO	36.027	274.376	336.280	28.031	202.332	423.421
4	LOTIFICACION EL REGADILLO	53.997	120.116	133.912	115.192	151.799	190.596
5	ESCALON	19.290	77.565	160.785	19.543	178.426	624.075
6	FINAL AVE. INDEPENDENCIA	0.352	23.876	53.784	24.088	33.400	64.706
7	LA REALIDAD	32.727	39.394	45.000	35.484	40.374	45.833
8	APANCHACAL	1.879	2.928	4.720	2.895	5.900	13.750
9	APANTEOS	100.324	172.903	256.556	5.669	208.223	789.763
10	COEX	2,245.543	3,143.692	4,531.956	2,806.005	4,871.244	7,456.284
11	LOTIFICACION SAN CARLOS	289.807	676.264	962.918	262.084	597.325	947.372
12	SANTA ANA NORTE	251.286	305.823	355.756	331.431	341.144	351.651
13	FLUJO TOTAL MEDIO (gpm)	3,381.353	5,697.156	8,054.053	4,070.603	7,567.555	12,326.667
14	FLUJO TOTAL MEDIO (m3/día)	18,429.727	31,051.777	43,897.810	22,186.416	41,246.201	67,185.267

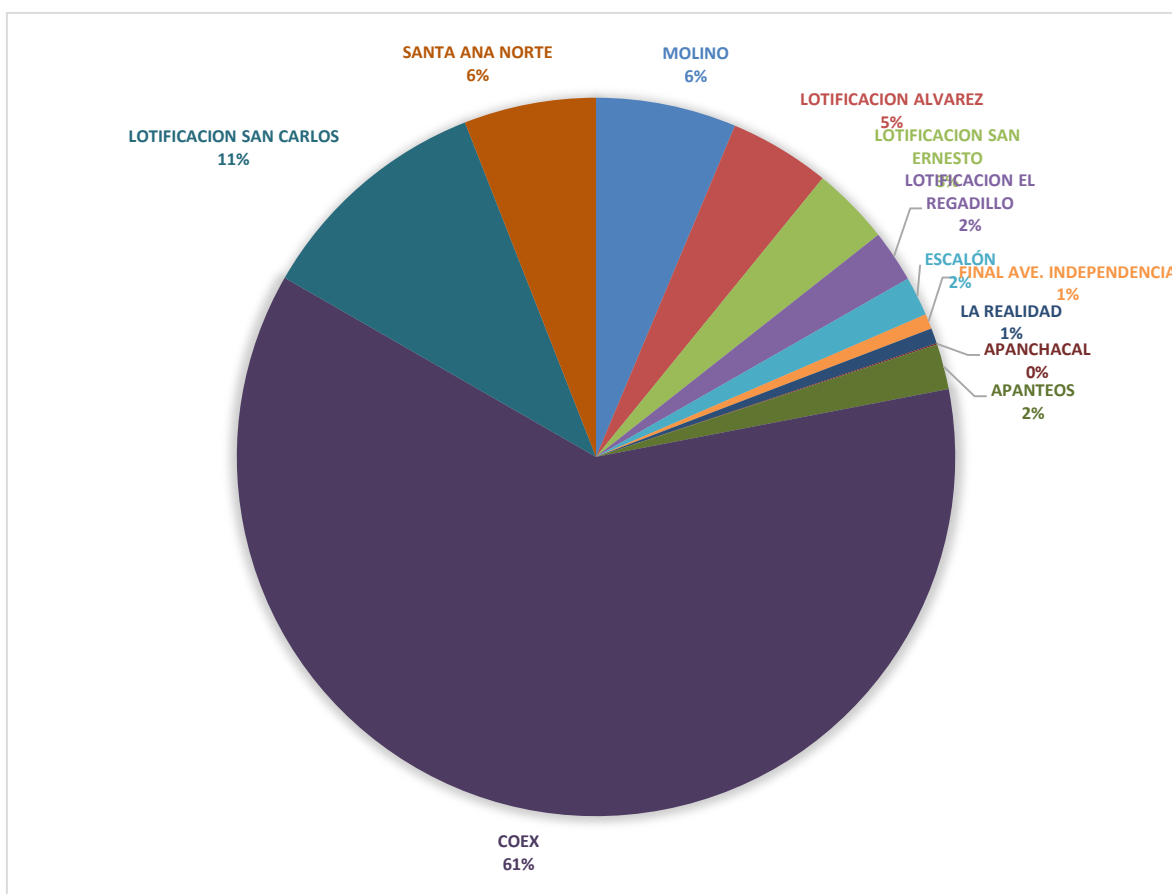


Ilustración 48: Comparación de los aportes reportados en las 12 descargas del Casco Urbano de Santa Ana

Tabla 31: Aportes de cada una de las descargas reportadas por ANDA Santa Ana

No.	PARAMETROS	APORTE DBO VERANO (Kg/día)	APORTE DBO INVIERNO (Kg/día)
4	LOTIFICACION EL REGADILLO	246.81	261.9
5	ESCALÓN	134.02	248.96
6	FINAL AVE. INDEPENDENCIA	99.9	46.78
7	LA REALIDAD	70.61	79.44
8	APANCHACAL	6.04	6.5
9	APANTEOS	206.38	236.06
10	COEX	5,431.60	7,865.79
11	LOTIFICACION SAN CARLOS	1,308.50	1,021.31
12	SANTA ANA NORTE	476.24	812.54

Las descargas de materia orgánica estimadas en cada uno de los ríos tributarios, se listan a continuación:

Tabla 32: Ríos Tributarios y sus respectivas cargas orgánicas estimadas

Tributario	Carga Orgánica
Rio El Molino	2000.00 kg/día
Rio Apanteos	250.00 kg/día
Rio Apanchacal	6500.00 kg/día
Rio Sucio	700.00 kg/día
Rio Zarco	1200.00 kg/día
Total Estimado	10650.00 kg/día
Total Medido en Invierno	12042.00 kg/día
Total Medido en Verano	9635.65 kg/día

Como puede observarse, la carga orgánica biodegradable (DBO5) estimada al inicio del Rio Suquiapa es de 10 Ton DBO/día, mientras que la cantidad de esta carga generada por desechos ordinarios es de 7 Ton DBO/día; por lo que se concluye que el 30% de la carga orgánica proviene de actividades industriales, es decir, 3 Ton DBO/día.

Como explicamos en la tabla I, la actividad predominante de la zona es el Café, y alrededor y dentro de todo el casco urbano se encuentran varios Beneficios de Café y algunas Tenerías. Es razonable estimar que las 3 Ton DBO/día son aportadas mayoritariamente por estas industrias, principalmente cuando se sabe que ambas industrias en la zona en su mayoría no poseen plantas de tratamiento. A esto hay que sumarle que los valores permisibles de descarga para los Beneficios de Café han sido sumamente permisibles con esta industria, y a pesar de que la normativa acota que los límites de descarga dependen de la capacidad de depuración del Cuerpo Receptor, no se han limitado las descargas de estas industrias.

Dados todos estos antecedentes, podemos ahora, entender la dinámica de calidad del comportamiento del Rio Suquiapa a lo largo de sus casi 50 km de extensión.

Para poder determinar la calidad de un tramo del rio utilizamos el valor del DBO5. Este valor indica la cantidad de materia orgánica biodegradable en 5 días que ha sido solubilizada. La depuración natural de un río se da en función de la cantidad de oxígeno disuelto en él y es inversamente proporcional al valor del DBO5. El oxígeno disuelto se transfiere al rio del aire atmosférico al rio por medio de toda la turbulencia que tiene el rio a largo de su cauce. El oxígeno actúa de distintas formas para depurar la materia orgánica: Por un lado, oxida la materia fácilmente degradable químicamente, por otro lado, destruye bacterias

anaeróbicas (como son los coliformes fecales, que depuran lentamente la materia orgánica y la transforman en metano y otros gases) y propicia la existencia de bacterias aeróbicas (que destruyen la materia orgánica rápidamente transformándola en CO₂ y H₂O). Los elementos una vez han sido oxidados tienden a precipitar y depositarse en el fondo del río.

De tal forma que el Oxígeno actúa en el río como una estación depuradora transformando la contaminación físicamente, químicamente y biológicamente. A continuación se presenta la tabla con el código de colores respecto a la capacidad de autodepuración de un río. Cualquier tramo del río que se encuentre en colores naranja y rojo ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del río.

Tabla 33: Codificación por color de los Ríos Respecto a la contaminación biológica

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
$DBO_5 \leq 3$	EXCELENTE No contaminada	AZUL
$3 < DBO_5 \leq 6$	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	VERDE
$6 < DBO_5 \leq 30$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARILLO
$30 < DBO_5 \leq 120$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
$DBO_5 > 120$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	ROJO

En la Ilustración 2 se puede observar la dinámica de calidad a lo largo del río Suquiapa: Para efectos de análisis dividiremos al río Suquiapa en 3 tramos: Tramo alto, desde su nacimiento del Río Apanchacal con el Río Zarco, hasta la desembocadura del Río El Matazano; Tramo medio: Desde el Río El Matazano hasta la desembocadura del Río Paso Hondo; Tramo bajo: Desde el Río Paso Hondo hasta la desembocadura del Río Lempa.

Tramo Alto: Este tramo recoge la contaminación de la Ciudad de Santa Ana, Todos los Ríos Tributarios a Excepción del Río Zarco se encuentran altamente contaminados en este tramo, la concentración de DBO del Río Apanchacal sobrepasa los 120 mg/l de DBO₅ en este punto, convirtiéndolo en el tramo más contaminado de toda la cuenca del Río Suquiapa. Hay que tomar en cuenta que las aguas residuales ordinarias usualmente tienen una contaminación de 250 mg/l de DBO₅. Diferentes tributarios con mucha menor contaminación "diluyen" a lo largo del río Suquiapa esta contaminación (Ver Ilustración 2)

Tramo Medio: Todo este tramo recibe nuevamente un aporte importante de tributarios de buena calidad de agua con muy baja contaminación, por lo que la calidad del Río Suquiapa mejora notablemente llegando a niveles aceptables.

Tramo Bajo: Este último tramo mejora aún más la calidad del Río Suquiapa, volviéndolo de Buena Calidad.

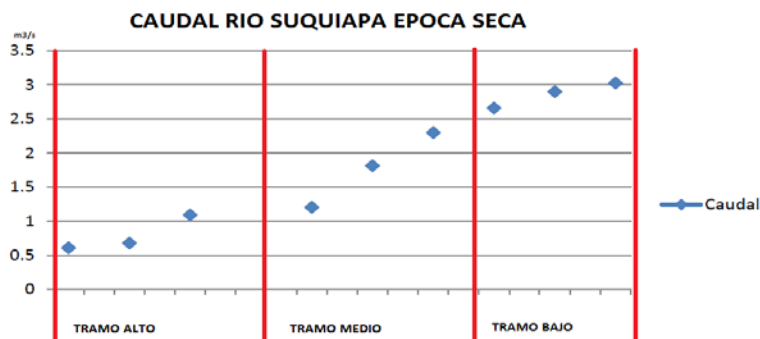


Ilustración 49: Caudal Medio a lo largo del Río Suquiapa

Los valores de Oxígeno Disuelto a lo largo del Río Suquiapa se muestran a continuación. Como puede verse, el primer tramo mantiene un promedio de saturación de oxígeno menor al 30%, el segundo tramo un promedio del 65% y el tercer tramo, un promedio de 85%, llegando al 100% de saturación.

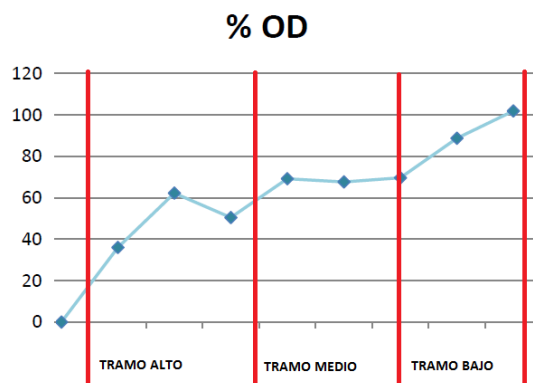


Ilustración 50: % de Saturación de Oxígeno Disuelto Medio a lo largo del Río Suquiapa

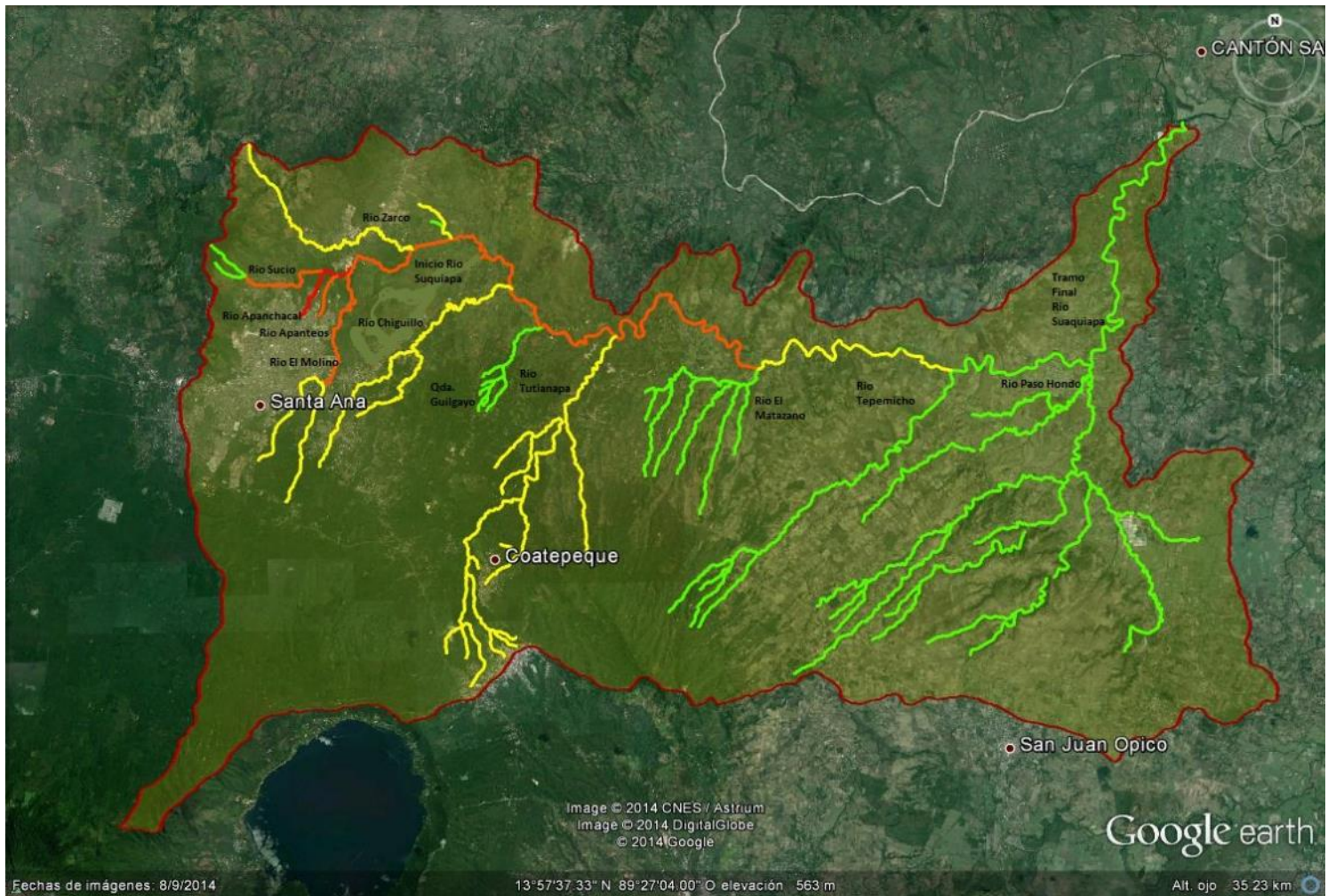


Ilustración 51: Modelado de la Calidad de los diferentes tramos del rio Suquiapa

CONCLUSIONES:

- Toda la parte alta del Rio Suquiapa se encuentra altamente contaminada, siendo incapaz por acción biológica del río la autodepuración. Los niveles de contaminación disminuyen en este tramo debido a la dilución y no a la acción bacteriana.
- El tramo medio vuelve a diluirse en agua de mejor calidad de los ríos tributarios, triplicando su volumen y mejorando la calidad de este tramo sustancialmente. En esta etapa el Río si entra en su capacidad de Autodepuración, lo cual se acentúa grandemente en el tramo final.
- El Tramo bajo, finalmente el río ya en condición de autodepuración es capaz de mejorar notablemente la calidad. Este proceso no es en esta etapa por dilución, como fue en las etapas anteriores sino por acción biológica. El Oxígeno Disuelto aumenta del 65% hasta el 100% como evidencia de la mejor calidad del río; adicionalmente su caudal aumenta menos del 10% en volumen.
- Aun con el mejoramiento de la calidad a lo largo del cauce del río, este mantiene en todo su cauce restricciones para potabilización, para riego y actividades recreativas; permitiéndose únicamente la aptitud de riego y potabilización en el tramo final del río, pero no de actividades recreativas, por la persistencia de Coliformes Fecales.
- La calidad del Río mejoraría notablemente si se restringieran las descargas de los beneficios y adicionalmente se colocara una planta de tratamiento en en la descarga de la canaleta de COEX del Río Apanchacal. Estas dos acciones, permitirían reducir la carga orgánica total en cerca de un 80%, permitiendo que la calidad del río en todo el Río pase a ser aceptable en la parte alta, de buena calidad en la parte media y excelente en la parte baja.

5.3.2 Descontaminación del Rio Suquiapa.

La descontaminación del Rio Suquiapa toma en cuenta el tratamiento puntual de las aguas residuales generadas en la canaleta de aguas negras que atraviesa COEX. La configuración específica hace razonable el poder depurar fácilmente hasta el 80% de las aguas residuales. Se plantea la instalación de una planta de tratamiento de las siguientes características:

- Serviría 150,000 personas
- Efluente con calidad de agua < 400 mg/l
- 5 km de Prolongación de Alcantarillados.
- Tendría una capacidad de Tratamiento de 35,000 m³/d.
- Se utilizarían Filtros Percoladores
- La inversión de la planta de tratamiento rondaría los \$11 - \$13 Millones de dólares.
- Removería el 90% de toda la carga orgánica del río Suquiapa.

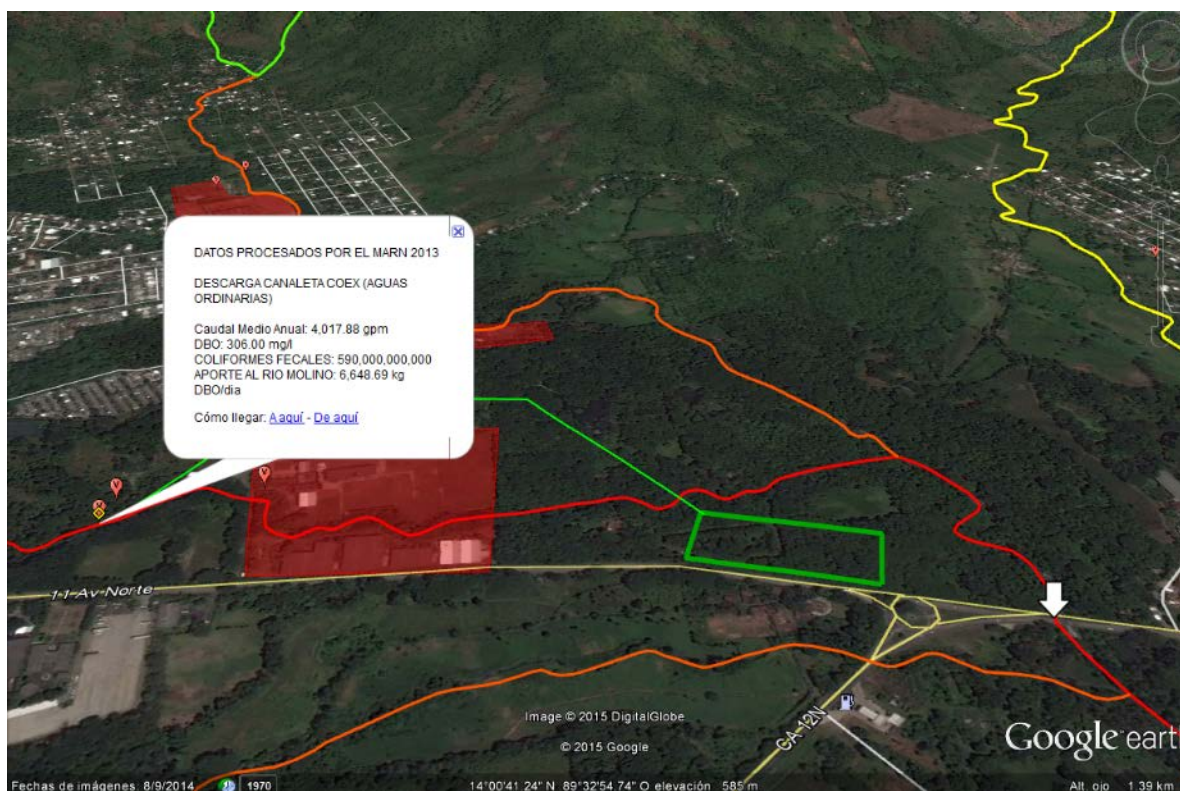


Ilustración 52: Zona Proyectada para la instalación de la Planta de Tratamiento Santa Ana

5.4 DINAMICA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA EL RIO GRANDE DE SAN MIGUELY SU APTITUD DE USO

La cuenca del Rio Grande es una de las más grandes del país, abarca parte de los cuatro departamentos del oriente del país. La mayor incidencia es la contaminación generada por el municipio de San Miguel, que es una ciudad de una población que ronda los 247,000 habitantes (proyección al 2014), con una población urbana de 140,000 habitantes y una baja cobertura de

alcantarillado que ronda el 52%, vierte diariamente alrededor de 3.2

toneladas de DBO5/día. A esto hay que sumar los vertidos de otros 3 centros urbanos importantes en la cuenca: San Francisco Gotera, Chapeltique (Rio Grande de San Miguel) y zona este de Chapeltique (rio Los Amates). La presencia de industrias que vierten al rio es bastante baja en esta zona. A excepción de ingenios azucareros y algunos Beneficios (café), la incidencia industrial puede considerarse muy baja.

El principal uso del agua del rio antes de ser descargada al mar en la Bahía de Jiquilisco es el riego agrícola. Esta zona está localizada en la parte oriental de la Meseta Central y abarca aproximadamente 53600 hectáreas de terrenos cultivables situados alrededor de los 105 metros sobre el nivel del mar. Limita al sur con la Cadena Costera, al este con las elevaciones de la Cordillera Central, cuya principal característica es el volcán de San Miguel, al norte con la Cordillera Septentrional y al este por las elevaciones de la Cadena Central. Comprende gran parte de los municipios del departamento de San Miguel, entre los que se encuentran los de San Miguel, Chirilagua, Quelapa, Moncagua, Chapeltique, Lolotique, Nueva Guadalupe y Chinameca. Comprende, además, parte de los municipios de Buenaventura, Jucuapa y Nueva Granada, del departamento de Usulután, y parte del municipio de El Carmen, del departamento de La Unión.

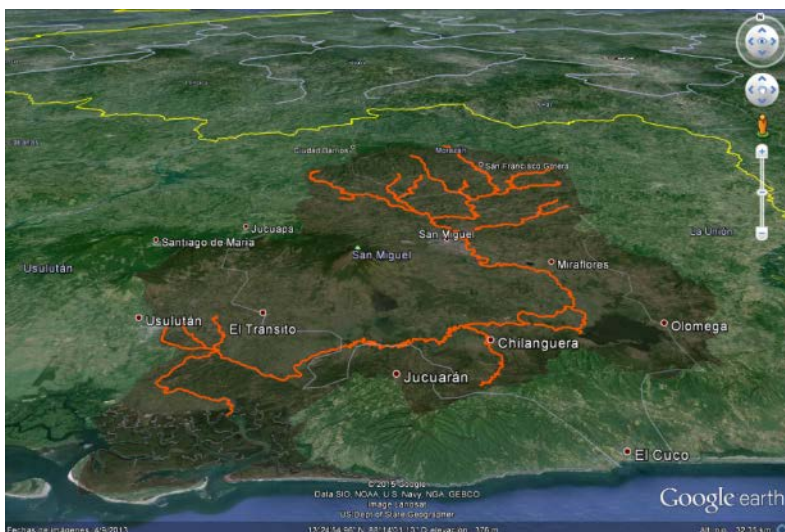


Ilustración 53: Delimitación de la Cuenca del Río Grande de San Miguel

Las prácticas de cultivo varían desde las primitivas hasta los métodos más modernos, aunque dependen, mayormente, de la extensión de las propiedades. Hay muchas fincas pequeñas, del tipo de subsistencia, que producen diversas cosechas para el consumo local. En ellas el cultivo se lleva a cabo por medio de métodos manuales anticuados, y los niveles de producción son muy bajos.

El régimen actual de las cosechas está limitado a una cosecha por año, debido, principalmente, al largo período seco que se extiende desde noviembre hasta cerca de mayo. Los escasos cultivos de algodón y los más amplios cultivos de caña de azúcar ocupan la tierra hasta bien entrada la estación seca, agotando la humedad del suelo, lo que hace imposible una segunda cosecha. El maíz se siembra dos veces en algunas ocasiones, pero los rendimientos de la segunda cosecha son casi siempre bajos; con respecto al frijol, frecuentemente se hace una segunda siembra, y a veces se siembra también después de haber cosechado maíz.

El clima y los suelos son favorables para la siembra de una amplia variedad de cultivos en las zonas medias y bajas de la cuenca, sin embargo, la producción está restringida durante la estación lluviosa por la falta de drenaje (inundaciones) y en el estío por la escasez de agua.

Durante la época de lluvias las inundaciones limitan casi el 90 por ciento de la tierra a los pastos nativos. En los potreros se pasta sólo unos cuantos meses al año. Cerca del 10 por ciento de la tierra se cultiva en la época lluviosa. Las cosechas dobles se practican poco y alcanzan aproximadamente a un tres por ciento. Los cultivos principales son algodón, maíz, y maicillo asociados con maíz o arroz.

La ganadería es actualmente una industria importante en el valle de San Miguel. La mayor parte de la leche se transforma en queso. En la mayor parte la vegetación virgen fue probablemente de bosques tropicales semihúmedos caducifolios, variando a bosques húmedos perennifolios en las planicies de inundaciones y a sabanas secas (morrales) en las áreas con suelos negros pesados y lentamente permeables.

Actualmente la vegetación natural está compuesta principalmente por un conjunto de zacates, arbustos y malas hierbas.

5.4.1 FUENTES CONTAMINANTES

5.4.1.1 Fuentes generadas por usos Ordinarios.

Las fuentes contaminadas de uso ordinario son las que efectiva y directamente llegan al cuerpo receptor. Esto implica que la cantidad total de biomasa vertida al Rio Grande de San Miguel es función directa de la población urbana y el porcentaje de Alcantarillado que se tenga en la zona.

Municipio	Departamento	Población Urbana (2007)	% Alcantarillado (Boletín Estadístico ANDA 2010)	Aporte Estimado por Segmento de población (g/d)	Carga diaria (kg/d)
Ciudad de San Miguel	San Miguel	158136	52%	35	2,878.08
Chapeltique	San Miguel	2372	52%	30	37.00
El Transito	San Miguel	7612	52%	30	118.75
Ciudad de Usulután	Usulután	66065.2	25%	30	495.49
Ciudad de San Francisco Gotera	Morazan	11313	22%	30	74.67
TOTAL		245498.2			3,603.90

En total se estima que puede haber una carga total de hasta 3.6 toneladas de materia orgánica como producto de la actividad antropica a todo lo largo de su cauce.

5.4.1.2 Fuentes Generadas Por Usos Industriales y Agrícolas.

La presencia de grandes procesos industriales dentro de la zona es muy baja. Las industrias que pudiesen hacer las mayores descargas, son industrias estacionales: Ingenio Chaparrastique y Beneficio San Luis. Existen dentro de San Miguel pequeñas industrias que producen vertidos de tipo especial. Algunos Hospitales privados y otros nacionales o autónomo. A continuación un listado depurado del Ministerio de Economía:

FERRETERIA EVEREST	Fabricación de artículos y productos de lámina (hojalatería)
FRIENDS MANUFACTURING	FABRICACIÓN DE ROPA PARA NIÑOS
CONCRETO Y ASFALTOS DE ORIENTE S.A. DE C.V.	FABRICACIÓN DE CONCRETO (CONCRETERA)
PANADERIA LA INDIA , S. A. DE C. V.	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS
D ORIENTE , S. A. DE C. V.	Fabricación de pan y galletas
INGENIO CHAPARRASTIQUE, S. A. DE C. V.	FABRICACIÓN Y REFINACIÓN DE AZÚCAR DE CAÑA Y OTROS SUBPRODUCTOS (INGENIOS AZUCAREROS)
COPROLECHE DE ORIENTE, S. C. DE R. L. DE C. V.	Fabricación de productos lácteos (excepto sorbetes y quesos sustitutos)
PASTELERIA RHINELE 'S	Fabricación de pan y galletas
INDUSTRIAS METALURGICAS DE ORIENTE, S.A. DE C.V.	FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS Y PARTES DE ESTRUCTURAS DE HIERRO, ACERO O ALUMINIO: VARILLAS, ÁNGULOS, PERFILES, SECCIONES, TUBERÍAS, PLANCHAS ETC.
ESTRUCTURAS METALICAS SANCHEZ	Fabricación de partes y piezas de carpintería para edificios y construcciones
COSMOS WOODWORK.	FABRICACIÓN DE MUEBLES DE DIVERSOS MATERIALES (EXCEPTO PIEDRA DE HORMIGÓN Y CERÁMICA) Y PARA OTROS USOS NO CLASIFICADOS EN ÉSTA CLASE (EXCEPTO MUEBLES PARA EQUIPO CIENTÍFICO, MÉDICO Y DE LABORATORIO)

EL CONSTRUCTOR	FABRICACIÓN DE LADRILLO DE CEMENTO PARA PISO, CON O SIN INCORPORACIÓN DE POLVO DE MÁRMOL, COLORANTES, PORCELANA Y OTROS MATERIALES
ENVASADORA EL JORDAN	FABRICACIÓN Y ENVASADO DE AGUA PURIFICADA
TALLER SAN NICOLAS	Fabricación de portones, puertas, marcos de puertas y ventanas de hierro, acero y aluminio etc.
MATERIALES DE CONSTRUCCION AREVALO ARAUJO	FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS DE YESO, CEMENTO O CONCRETO Y OTROS ARTÍCULOS SIMILARES
ENVASADORA LA ESTRELLA	Fabricación de bebidas refrescantes
VARIIDADES CRISTINA	Fabricación de ropa para ambos sexos
MODAS E INVERSIONES DELMY	FABRICACIÓN DE ROPA PARA AMBOS SEXOS
FUNERARIA LA NUEVA GUATEMALA	Fabricación de cajas mortuorias
HA ASCENCIO, S. A. DE C. V.	Fabricación de uniformes
PANADERIA SAN JOSE	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS
CIELOS GALAXIA , S.A DE C.V.	FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS Y UTENSILIOS DE METAL (ALUMINIO ETC.) PARA LA COCINA Y EL HOGAR
PANADERIA "GARCILAZO"	Fabricación de pan y galletas
NEGOCIOS PEREIRA	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CEMENTO O CONCRETO
FABRICA LA ORIENTAL	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CEMENTO O CONCRETO
AGUA ELECTROPURA	FABRICACIÓN Y ENVASADO DE AGUA PURIFICADA
PANIFICADORA LA MERCED	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS
ACONSA , S.A. DE C.V.	FABRICACIÓN DE CAMISAS (CAMISERÍA)
AGROPECUARIA LA LAGUNA	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS (EXCEPTO SORBETES Y QUESOS SUSTITUTOS)
ENVASADORA EL JORDAN	FABRICACIÓN DE AGUAS GASEOSAS
DE TODO EN MADERA	FABRICACIÓN DE MUEBLES DE MADERA
COLCHONES EL REY	FABRICACIÓN DE COLCHONES DE CUALQUIER MATERIAL
LABORATORIO J. P. C.	FABRICACIÓN DE PREPARADOS FARMACÉUTICOS PARA USO MÉDICO INCLUYENDO JABONES MEDICINALES, VACUNAS, VITAMINAS, ETC.
INVERSIONES EL LEON, S.A. DE C.V.	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CEMENTO O CONCRETO
AMBIENTE Y DISEÑO, S.A. DE C.V.	FABRICACIÓN DE MUEBLES DE MADERA
AGROCAMPESTRE	FABRICACIÓN DE ALIMENTOS PARA GANADO Y OTROS ANIMALES DE GRANJAS
TALLER DE MECANICA Y FUNDICION JOSE BENJAMIN DIAZ	FUNDICIÓN DE HIERRO Y ACERO (EXCEPTO FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS DE HIERRO Y ACERO)
PAN Y CAKES LIZ	Fabricación de pan y galletas
INDUSTRIAS MEJIA	FABRICACIÓN DE ROPA DE VESTIR PARA HOMBRES PANTALONES Y OTROS
LA VAQUITA DE ORIENTE, S.A DE C.V.	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS (EXCEPTO SORBETES Y QUESOS SUSTITUTOS)
PANADERIA SINAI	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS
PASTELERIA LORENA	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS
PASTELERIA JOSUE	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS
PANADERIA SONIA	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS

NOSTHAS Y CIA	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CEMENTO O CONCRETO
LABORATORIOS ARGUELLO, S.A DE C.V	Fabricación de preparados farmacéuticos para uso médico incluyendo jabones medicinales, vacunas, vitaminas, etc.
PRO BLOCK, .S A DE C.V	Fabricación de productos de cemento o concreto
INDUSTRIA JOYERA R & H. S, A DE C.V	FABRICACIÓN DE JOYAS PLATERÍAS Y JOYERÍAS
PANADERIA SANTA CECILIA	Fabricación de pan y galletas
CARROCERIA EL BUEN AMIGO	FABRICACIÓN Y MONTAJE DE CARROCERÍAS , CONTENEDORES, REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES ELABORADOS PRINCIPALMENTE DE MADERA
PANADERIA JOSE	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS
MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION MARTINEZ MARTINEZ	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CEMENTO O CONCRETO
DISTRIBUIDORA JOSUE	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CEMENTO O CONCRETO
PANADERIA CUSCATLECA	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS
LA CASA DEL DEPORTE.	Fabricación de ropa para deporte de tejido de punto
PRODEMAD DE EL SALVADOR	FABRICACIÓN DE MUEBLES DE MADERA
PASTELERIA FRANCESA	FABRICACIÓN DE PAN Y GALLETAS

Se estima debido al área cultivada una presión sobre el cuerpo hídrico de origen difuso y escorrentías.

5.4.2 Comportamiento de la Calidad del Agua a lo largo del Rio Grande de San Miguel



Ilustración 54: Modelo de Calidad del Rio Grande de SanMiguel

5.4.2.1 Comparación de Cargas Totales en el Rio

Las cargas industriales son menos del 10% de las cargas totales. Se podría tomar como industriales algunas panaderías grandes con grandes cantidades de grasas y azúcares que son vertidas al Río Grande de San Miguel.

V645	3ª Descarga de aguas negras del Municipio de San Miguel	Ordinarias con posible mezcla de especiales (descarga de alcantarillado a cuerpo receptor)	
V646	4ª Descarga de aguas negras del Municipio de San Miguel	Ordinarias con posible mezcla de especiales (descarga de alcantarillado a cuerpo receptor)	
V647	5ª Descarga de aguas negras del Municipio de San Miguel	Ordinarias con posible mezcla de especiales (descarga de alcantarillado a cuerpo receptor)	

Estos 9 Vertidos contaminan en un 85% la cuenca del Rio Grande de San Miguel.

5.4.2.2 Efecto de los vertidos sobre la calidad de Agua del Rio.

Las siguientes gráficas muestran la variabilidad del rio antes durante y después del área de vertidos sobre el rio Grande de San Miguel. El rio se acidifica debido a los vertidos y baja el pH.

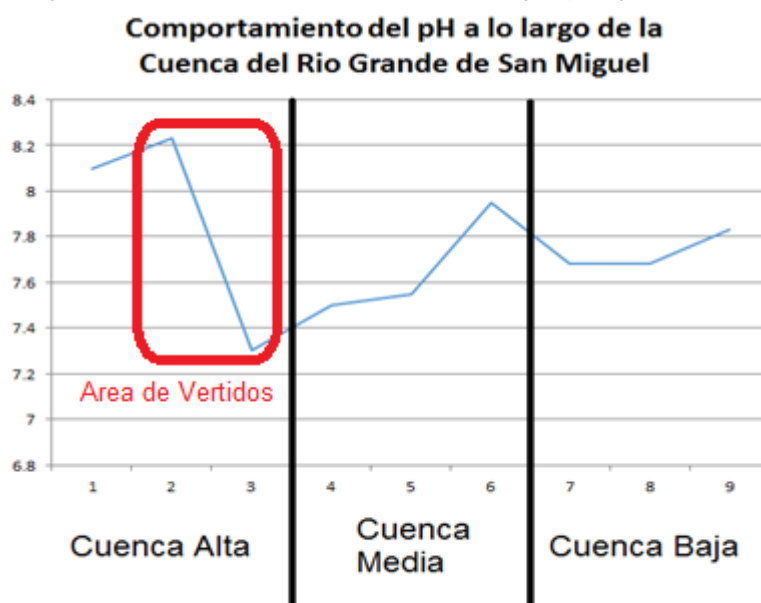


Ilustración 56: Comportamiento del pH a lo largo del Rio Grande de San Miguel

El Comportamiento del Oxígeno Disuelto es un comportamiento más lento a lo largo de la cuenca debido a la serie de procesos biológicos que se dan a lo largo del Cuerpo Receptor. Ahora bien, el efecto es totalmente visible y cuantificable y puede observarse que en la cuenca media se da el mayor efecto de las descargas de San Miguel, bajando de un Oxígeno Disuelto de 9 a 5 ppm. Es necesario notar que los vertidos no afectan tan marcadamente la calidad del rio como para volverlo de mala calidad. En el tramo medio llega a regular calidad y todos los demás tramos es de buena calidad.

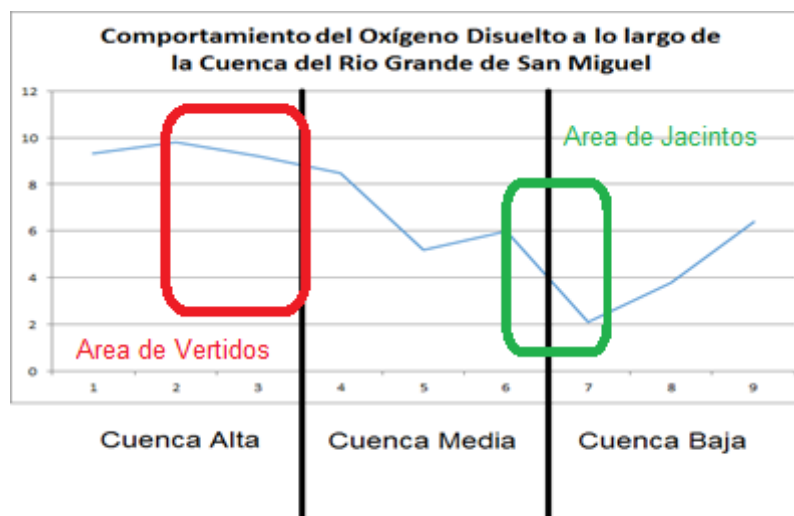


Ilustración 57: Comportamiento del Oxígeno Disuelto a lo largo del Rio Grande de San Miguel

Ahora bien, como puede observarse en la gráfica de oxígeno disuelto, en la cuenca baja se da el fenómeno de una segunda disminución en el oxígeno disuelto, sin embargo, en este punto no hay ya vertidos importantes, y los vertidos difusos, no deberían de causar una baja tan grande. Sin embargo al observar la zona se puede apreciar que a partir de la Laguna el Jocotal, el oxígeno disuelto disminuye.

Al realizar una visita se puede constatar la invasión de Jacinto en la laguna el Jocotal, y desde ese punto hacia abajo en el Rio Grande de San Miguel.



Ilustración 58: Vista de la Invasión de Jacintos en la Laguna el Jocotal

El Jacinto impone una carga orgánica adicional sobre el río y los ecosistemas existentes. La calidad de agua se mantiene desde el tramo medio apta para riego a excepción del valor de coliformes.

La carga orgánica se aumenta dentro del río debido a la misma biomasa del Jacinto cuando mueren sus hojas y se degradan dentro del río.

5.4.2.3 Área Potencial de Uso del Agua:

En El Salvador se explotan alrededor de 15,000 a 20,000 Ha anualmente. En el Área de San Miguel menos de 1,000 Ha se cultivan y riegan anualmente. Al realizar una gestión hídrica efectiva tanto en mantener la calidad del agua del río así como la prevención de inundaciones y obras de contingencia, dará un potencial de crecimiento en esta área de al menos 15,000 Ha, es decir duplicar el total de área regada del país.

Conclusiones y Recomendaciones:

1. La cuenca del Río Grande, presenta las características de poder ser un polo de desarrollo de El Salvador.
2. La calidad de Agua es aceptable en los tramos medios y bajos del río Grande de San Miguel. Siempre es necesario el control de Coliformes.
3. Un rápido aumento en la cobertura de alcantarillado de San Miguel alteraría grandemente la calidad del río. De hacer estos cambios, que son necesarios, deberá considerarse un sistema de tratamiento adecuado.
4. La proliferación de Jacinto de Agua desde la laguna el Jocotal presenta tanto una oportunidad como un reto. Este Jacinto puede transformarse en biomasa y/o pulpa para papel, de forma que constituye una materia prima muy barata para esos procesos. O bien, podría buscar erradicarse para mantener los ecosistemas intactos. Sin embargo, este escenario es muy poco probable, ya que para evitar la proliferación de esta plaga, debe reducirse sustancialmente los nutrientes en el río, y eso no se encuentra legislado.
5. Es necesario saber la cantidad de nutrientes en los tramos del río para poder estimar su reducción de ser necesaria.

5.4.3 Descontaminación del Rio Grande de San Miguel

La descontaminación del Rio Grande de San Miguel toma en cuenta el tratamiento puntual de las aguas residuales generadas y recolectadas de las cinco descargas principales

- Serviría 75,000 personas
- Efluente con calidad de agua < 350 mg/l
- 2-5 km de Tuberías de conducción.
- Tendría una capacidad de Tratamiento de 20,000 m3/d.
- Se utilizarían Filtros Percoladores
- Permitiría la creación de otro distrito de Riego.
- Capaz de remover unas 2,500 Toneladas de DBO/año
- Un costo estimado de \$12-14 Millones (dependiendo de la Tecnología)

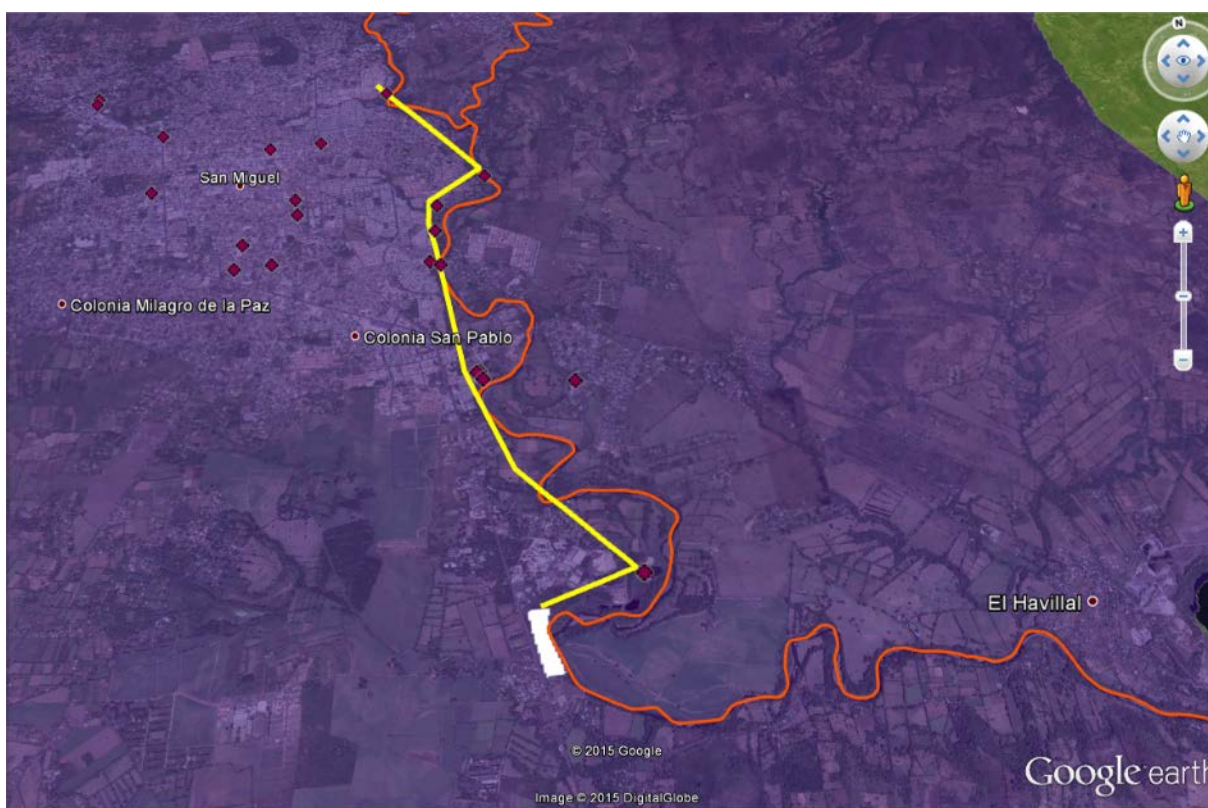


Ilustración 59: Proyección de la zona donde se puede instalar la Planta de Tratamiento San Miguel

6 ESTIMACION DE COSTOS DE IMPLEMENTACION:

Los costos de implementación de esta propuesta van orientados en 4 campos:

- I. Fortalecimiento de las Capacidades institucionales de ANDA, MARN Y MINSAL.
 - a. ANDA:
 - i. Creación de unidad de Diseño y Aprobación de plantas de Tratamiento,
 - ii. Creación de Escuela de operarios de Plantas de Tratamiento,
 - b. MARN:
 - i. Certificación de su laboratorio analítico y sus análisis individuales,
 - ii. Creación de Red de Monitoreo de Ríos/Lagos/Lagunas,
 - iii. Fortalecimiento de su unidad de Cumplimiento,
 - c. MINSAL:
 - i. Fortalecimiento de su unidad de Inspectores de Campo.

2. Estudios específicos y diseño de detalle para cada planta de tratamiento propuesta, donde se pueda verificar los trazos y factibilidades de la conducción de tuberías en las zonas señaladas por esta pre-factibilidad. Todos los estudios de ingeniería deben de desarrollarse. En la planta de Tratamiento puede hacerse un diseño estándar modular de 2,500 o 5,000 m³/d que simplemente se replique de acuerdo a las necesidades.

3. Obra Física: Planta de Tratamiento en sí, así como la línea de conducción de aguas residuales hacia las plantas de tratamiento.

4. Verificación de la efectividad de las obras: Por medio de las estaciones de monitoreo, la implementación de las medidas debe de monitorearse.

Para el Fortalecimiento Institucional se plantea el siguiente presupuesto:

Tabla 34: Presupuesto General para Fortalecimiento Institucional

INSITUCION	PRESUPUESTO	OBJETIVO
ANDA	\$ 10,000,000	Creación de Unidad de Diseño y Aprobación de Plantas de Tratamiento y de Escuela de Operarios de Plantas de Tratamiento.
MARN	\$10,000,000	Certificación de su laboratorio Analítico, Creación de Red de Monitoreo y Fortalecimiento de Su unidad de Cumplimiento.
MINSAL	\$ 3,000,000	Fortalecimiento de Sus capacidades de inspección de campo.

Para realizar la estimación de los costos se hará tomando en cuenta lo descrito en el apartado de estimación de costos de este documento, el cual tiene como base las “Recomendaciones para la Selección de Tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas en la República de El Salvador”, del MARN 2016.

Se tomarán como comparación dos escenarios: Escenario 1, Depuración con Reactores UASB + Filtro Percolador Plástico y Escenario 2, Depuración con Filtros Percoladores Plásticos con Recirculación. Los resultados son los siguientes:

Tabla 35: Tabla consolidada de Costos para el Caso de utilizar UASB + Filtro Percolador

Rio	PLANTAS DE TRATAMIENTO	Caudal a Tratar m3/d	Area Necesaria Proyectada (m2)	Población Proyectada	Costo por Habitante para UASB	Costo de Implenetación Total UASB	Costos de Operación y Mantenimiento Anual UASB
Rio Acelhuate	Planta de Tratamiento Soyapango	60,000.00	16,080.58	294,067.00	\$69.67	\$20,486,568.40	\$795,065.27
	Planta de Tratamiento San Salvador	109,070.00	32,025.97	727,133.33	\$52.48	\$38,157,109.76	\$1,446,394.20
Rio Sucio	Planta de Tratamiento Santa Tecla -Sucio	5,000.00	3,183.10	35,000.00	\$135.63	\$4,747,023.29	\$194,710.23
	Planta de Tratamiento Quezaltepeque	15,000.00	7,076.43	100,000.00	\$97.64	\$9,764,423.70	\$389,726.36
Rio Suquiapa	Planta de Tratamiento Santa Ana	35,000.00	9,634.29	150,000.00	\$86.01	\$12,900,938.69	\$509,513.98
Rio Grande De San Miguel	Planta de Tratamiento San Miguel	20,000.00	10,106.79	133,333.33	\$89.24	\$11,898,161.73	\$471,350.06
TOTAL		244,070.00	78,107.15	1,439,533.67		\$ 97,954,225.58	\$ 3,806,760.10

En el caso de Utilizar Sistemas UASB se tendría un costo total de \$98 Millones y \$3.8 Millones de Costos de Operación y Mantenimiento Anual. Se tiene la oportunidad de generación para este total de Caudal alrededor de 7.8 MW/h, con un potencial de venta anual de \$10,932,480, al vender a \$0.16/kW/h.

Para el caso de Utilizar Filtros Percoladores, tendríamos los siguientes Resultados:

Tabla 36: Tabla Consolidada de Costos en el Caso de Utilizar Filtros Percoladores

Rio	PLANTAS DE TRATAMIENTO	Caudal a Tratar m3/d	Area Necesaria Proyectada (m2)	Población Proyectada	Costo por Habitante para Reactor Filtro Percolador	Costo de Implementación Total Filtro Percolador	Costos de Operación y Mantenimiento Anual Filtro Percolador
Rio Acelhuate	Planta de Tratamiento Soyapango	60,000.00	13,120.52	294,067.00	\$ 58.64	\$ 17,242,811.39	\$ 638,945.79
	Planta de Tratamiento San Salvador	109,070.00	24,794.07	727,133.33	\$ 42.71	\$ 31,057,545.04	\$ 1,057,933.71
Rio Sucio	Planta de Tratamiento Santa Tecla -Sucio	7,500.00	2,938.41	35,000.00	\$ 123.51	\$ 4,322,770.88	\$ 195,247.43
	Planta de Tratamiento Quezaltepeque	15,000.00	6,146.57	100,000.00	\$ 85.53	\$ 8,552,990.48	\$ 350,380.09
Rio Suquiapa	Planta de Tratamiento Santa Ana	35,000.00	8,173.82	150,000.00	\$ 74.21	\$ 11,132,105.33	\$ 439,159.47
Rio Grande De San Miguel	Planta de Tratamiento San Miguel	20,000.00	8,926.43	133,333.00	\$ 77.34	\$ 10,311,659.11	\$ 411,273.55
TOTAL		246,570.00	64,099.82	1,439,533.33		\$ 82,619,882.23	\$ 3,092,940.04

En el caso de Utilizar Filtros Percoladores se tendría un costo total de \$82.6 Millones y \$3.1 Millones de Costos de Operación y Mantenimiento Anual. No se tiene oportunidad de generar Biogas en esta alternativa.

ANALISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS

Para hacer un análisis de las alternativas tomaremos el valor futuro a 30 años, utilizando una tasa de interés del 3% (i) y una tasa de aumento del costo de la energía eléctrica dada por la proyección de los últimos 15 años.

Se utilizará la fórmula general:

Valor Futuro Total = Valor Futuro del costo de implementación + Valor Futuro de los costos de Operación y Mantenimiento – Valor futuro de Ventas de subproductos (si existiesen).

Los resultados son los siguientes:

Para Estimar el costo del Kwh en el tiempo utilizaremos la siguiente tabla que es una proyección de la evolución futura de los precios como base la evolución de los precios de los últimos 5 años:

Tabla 37: Proyección del precio del kwh en los próximos 30 años

Año	Precio kw/h
2016	\$ 0.16
2017	\$ 0.16
2018	\$ 0.17
2019	\$ 0.18
2020	\$ 0.18
2021	\$ 0.19
2022	\$ 0.19
2023	\$ 0.20
2024	\$ 0.21
2025	\$ 0.21
2026	\$ 0.22
2027	\$ 0.23
2028	\$ 0.23
2029	\$ 0.24
2030	\$ 0.25
2031	\$ 0.26
2032	\$ 0.27
2033	\$ 0.27
2034	\$ 0.28
2035	\$ 0.29
2036	\$ 0.30
2037	\$ 0.31
2038	\$ 0.32
2039	\$ 0.33
2040	\$ 0.34
2041	\$ 0.35
2042	\$ 0.37
2043	\$ 0.38
2044	\$ 0.39
2045	\$ 0.40
2046	\$ 0.42

La siguiente tabla muestra el precio de venta proyectado de los 7 MWh generados a futuro y son proyectados a un valor futuro del año 2046

Tabla 38: Proyección de valor futuro de las ventas posibles de energía

AÑO	Precio kw/h	Valor en el Año Facturado de Energía Eléctrica	Valor futuro de lo facturado en energía eléctrica al 2046
2016	\$ 0.16	\$10,932,480.00	\$26,535,998.42
2017	\$ 0.16	\$11,234,852.71	\$26,475,666.35
2018	\$ 0.17	\$11,602,902.06	\$26,546,600.74
2019	\$ 0.18	\$11,982,817.21	\$26,617,300.12
2020	\$ 0.18	\$12,374,974.53	\$26,687,762.01
2021	\$ 0.19	\$12,779,762.16	\$26,757,983.96
2022	\$ 0.19	\$13,197,580.33	\$26,827,963.51
2023	\$ 0.20	\$13,628,841.75	\$26,897,698.24
2024	\$ 0.21	\$14,073,971.98	\$26,967,185.70
2025	\$ 0.21	\$14,533,409.86	\$27,036,423.46
2026	\$ 0.22	\$15,007,607.84	\$27,105,409.12
2027	\$ 0.23	\$15,497,032.48	\$27,174,140.26
2028	\$ 0.23	\$16,002,164.84	\$27,242,614.48
2029	\$ 0.24	\$16,523,500.93	\$27,310,829.39
2030	\$ 0.25	\$17,061,552.16	\$27,378,782.61
2031	\$ 0.26	\$17,616,845.81	\$27,446,471.76
2032	\$ 0.27	\$18,189,925.55	\$27,513,894.48
2033	\$ 0.27	\$18,781,351.88	\$27,581,048.42
2034	\$ 0.28	\$19,391,702.69	\$27,647,931.22
2035	\$ 0.29	\$20,021,573.77	\$27,714,540.56
2036	\$ 0.30	\$20,671,579.37	\$27,780,874.10
2037	\$ 0.31	\$21,342,352.74	\$27,846,929.53
2038	\$ 0.32	\$22,034,546.73	\$27,912,704.55
2039	\$ 0.33	\$22,748,834.36	\$27,978,196.85
2040	\$ 0.34	\$23,485,909.48	\$28,043,404.15
2041	\$ 0.35	\$24,246,487.35	\$28,108,324.18
2042	\$ 0.37	\$25,031,305.33	\$28,172,954.67
2043	\$ 0.38	\$25,841,123.50	\$28,237,293.36
2044	\$ 0.39	\$26,676,725.44	\$28,301,338.02
2045	\$ 0.40	\$27,538,918.84	\$28,365,086.41
2046	\$ 0.42	\$28,428,536.30	\$28,428,536.30

Tabla 39: Valor futuro de los costos de operación y mantenimiento de las opciones analizadas

AÑO	Períodos a estimar	Valor Futuro de los Costos de Operación y Mantenimiento para los UASB	Valor Futuro de los Costos de Operación y Mantenimiento para los Filtros Percoladores
2016	30	\$9,240,005.92	\$7,507,377.29
2017	29	\$8,970,879.54	\$7,288,715.82
2018	28	\$8,709,591.78	\$7,076,423.12
2019	27	\$8,455,914.35	\$6,870,313.71
2020	26	\$8,209,625.59	\$6,670,207.49
2021	25	\$7,970,510.28	\$6,475,929.60
2022	24	\$7,738,359.49	\$6,287,310.29
2023	23	\$7,512,970.38	\$6,104,184.75
2024	22	\$7,294,146.00	\$5,926,392.96
2025	21	\$7,081,695.15	\$5,753,779.57
2026	20	\$6,875,432.18	\$5,586,193.76
2027	19	\$6,675,176.88	\$5,423,489.09
2028	18	\$6,480,754.25	\$5,265,523.39
2029	17	\$6,291,994.42	\$5,112,158.63
2030	16	\$6,108,732.44	\$4,963,260.80
2031	15	\$5,930,808.20	\$4,818,699.81
2032	14	\$5,758,066.21	\$4,678,349.33
2033	13	\$5,590,355.54	\$4,542,086.73
2034	12	\$5,427,529.65	\$4,409,792.94
2035	11	\$5,269,446.27	\$4,281,352.37
2036	10	\$5,115,967.25	\$4,156,652.78
2037	9	\$4,966,958.49	\$4,035,585.23
2038	8	\$4,822,289.80	\$3,918,043.91
2039	7	\$4,681,834.76	\$3,803,926.13
2040	6	\$4,545,470.64	\$3,693,132.16
2041	5	\$4,413,078.29	\$3,585,565.20
2042	4	\$4,284,542.03	\$3,481,131.27
2043	3	\$4,159,749.54	\$3,379,739.09
2044	2	\$4,038,591.79	\$3,281,300.09
2045	1	\$3,920,962.90	\$3,185,728.24
2046	0	\$3,806,760.10	\$3,092,940.04

PARA LOS REACTORES UASB

Valor futuro de la inversión a 30 años:

Tabla 40: Valores futuros consolidados de la opción de reactores UASB+Filtro Percolador

Valores Futuros	(Costo) o Utilidad
Valor Futuro de la implementación	\$(237,760,615.65)
Valor Futuro de la Operación y Mantenimiento	\$(190,348,200.10)
Valor Futuro de las Ventas de Subproductos (Energía Eléctrica)	\$850,641,886.93
Utilidad o (costo) total	\$422,533,071.18 *

* A esta utilidad habría restarle el costo de las subestaciones eléctricas y su respectivo mantenimiento, así como las líneas eléctricas de construcción. Este costo podría rondar los 20 a 50 Millones de dólares (en valor presente), o inclusive más dependiendo de cada lugar.

PARA LOS FILTROS PERCOLADORES

Tabla 41: Valores futuros consolidados de la opción de Filtros Percoladores

Valores Futuros	(Costo) o ganancia
Valor Futuro de la implementación	\$(200,540,139.51)
Valor Futuro de la Operación y Mantenimiento	\$(154,655,285.57)
Valor Futuro de las Ventas de Subproductos	\$-
Utilidad o (costo) total	\$(355,195,425.09)

En los casos analizados, a pesar de que la opción de Filtros Percoladores tiene un precio de inversión y un costo de mantenimiento menor al de los Reactores UASB, finalmente proyectado a 30 años tomando en cuenta que se puede generar energía eléctrica en los reactores UASB, Esta opción es ampliamente más factible que la de filtros percoladores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- A. Los beneficios de tratar las aguas residuales en los puntos mencionados, supera por mucho los costos que esto puede llevar en términos de salud, productividad y turismo.
- B. En términos de una actividad autosustentable, la opción de reactores UASB parece ser la mejor opción, inclusive, es posible pensar en la concesión de estos efluentes a una empresa privada o público-privada.
- C. La Cuenca del Rio Acelhuate es la cuenca más contaminada del país, sin embargo, es posible obtener una depuración en toda la cuenca de un 70%
- D. La Cuenca del Rio Sucio es la que requiere la mayor intervención de parte de las instituciones públicas para poder mediar entre los intereses de los distintos actores. De querer obtener una depuración mayor al 60% es necesario la modificación de las normativas de descarga para la industria.
- E. La Cuenca del Rio Suquiapa es la que tiene las más altas posibilidades de tener una depuración mayor: Todos los vertidos están identificados, cuantificados y cualificados; además de encontrarse a una corta distancia. Aquí se podría reducir la contaminación en un 90%.
- F. La Cuenca del Rio Grande de San Miguel tiene una gran capacidad de depuración, mayor a la de los demás ríos. Debido a la baja cobertura de alcantarillado, el tratar los vertidos actuales es relativamente fácil. Las acciones propuestas reducen la contaminación de la cuenca en un 80%
- G. La reducción de la contaminación en estos 4 ríos es equivalente a reducir la contaminación total sobre los ríos del país en un 70%.
- H. Todo esfuerzo a fin de ser sostenible y medible debe de fortalecer las capacidades institucionales de ANDA, MARN, MINSAL.
- I. La población final beneficiada por estas acciones puede alcanzar indirectamente a toda la población del país. Beneficios de mejor Salud, Mayor Turismo, Menor costo de mantenimiento de Embalses, entre otros; fácilmente repercuten en toda la nación.

- J. Se puede asegurar el abastecimiento de agua para los distritos de riego de Zapotitan, Atiocoyo Norte, Atiocoyo Sur y la creación de un nuevo distrito de Riego en San Miguel.
- K. Los beneficios para el país, fácilmente superan los \$1,000,000,000:
- Posibilidad del Aumento del ingreso del PIB de la agricultura, pasando del actual 3% a un horizonte de un 10% en menos de 10 años (ver figura 55)
 - Los ingresos por turismo rondan los \$1,000,000,000 al 2014. El mejoramiento de la calidad de los cuerpos superficiales de nuestro país fácilmente podría mantener la tendencia de crecimiento actual (10%-15% anual) de este sector en los próximos 10 años.
 - Los gastos del Ministerio de Salud, podrían reducirse en un 10% por el incremento de la salud de la población.

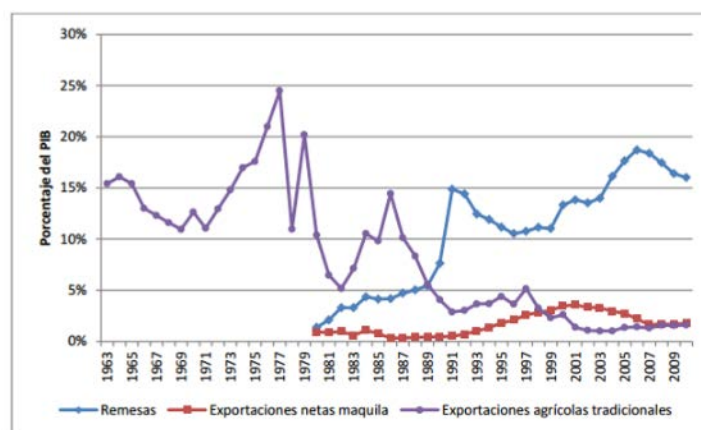


Ilustración 60: Evolución de la Agricultura como porcentaje del BID en los últimos 50 años

- L. Finalmente decir que este esfuerzo debe de contar con el consenso y compromiso de los diferentes actores involucrados directamente e indirectamente. Este es un esfuerzo de nación, no el esfuerzo de una institución, sociedad civil o industria. Este esfuerzo nos puede permitir mejorar la calidad de toda la población en el corto y largo plazo.

GLOSARIO

Acuífero	Cuerpo de agua subterránea existente en formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las cuales circulan o se almacenan las aguas del subsuelo.
Aguas continentales	Masas de agua en cualquier estado, sean éstas superficiales, subsuperficiales, subterráneas y atmosféricas, existentes en la porción continental del país que se almacenan en corrientes de agua superficial continuas y discontinuas, embalses, cuerpos de agua subterránea libres o confinadas.
Aguas del subsuelo	Aguas existentes bajo la superficie terrestre en el territorio nacional.
Aguas marinas	Aguas comprendidas en el mar territorial y que incluyen golfos y bahías.
Aguas residuales	Aguas desechadas provenientes de las actividades de diferentes usos: público urbano, público rural, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. Su composición puede ser variada y presentar sustancias contaminantes disueltas o en suspensión.
Calidad del agua	Son las características fisicoquímicas y biológicas que presentan las aguas superficiales y subterráneas en determinado punto geográfico, en un momento específico y para un uso determinado.
Carga contaminante	Cuantificación de aquellas sustancias de origen antrópico que contiene el agua y que cambian las condiciones físicas, químicas o biológicas, ya sea en forma individual o asociada.
Cauce	Canal natural o artificial que cuenta con la capacidad hidráulica necesaria para que las aguas correspondientes a la creciente o avenida máxima ordinaria escurran sin derramarse.
Caudal	Cantidad de agua expresada en unidad de tiempo que conduce o transporta una corriente, en una sección determinada del cauce.
Contaminación del agua	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 degradación de su calidad en relación con usos posteriores y la preservación del ambiente en el medio acuático. La contaminación del agua incluye la degradación de su entorno.
Contaminante	Sustancia que daña las condiciones físicas, químicas o biológicas del agua, ya sea en forma individual o asociada.
Efluente	Caudal de aguas residuales que sale de la última unidad de conducción o tratamiento.
Embalse	Es la retención de aguas superficiales dentro de un cauce natural a través de la construcción de obras hidráulicas, cuyas aguas pueden ser utilizadas para diversos aprovechamientos.
Gestión integral de los recursos hídricos	Conjunto de acciones y desarrollo de instrumentos destinados a garantizar su calidad, regular los diferentes usos y aprovechamientos del agua y su interacción con otros recursos naturales, con la intervención de la autoridad competente, compartiendo responsabilidades administrativas y financieras con actores sociales usuarios de los recursos hídricos.
Humedales	Extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.
Medio receptor	Corriente o depósito natural o artificial de aguas superficiales y subterráneas, incluyendo ríos, lagos, lagunas, embalses, cauces, acuíferos, esteros, humedales, marismas, zonas marinas u otros bienes comprendidos en el dominio público hídrico, en los cuales se vierten o descargan aguas.

Recursos hídricos	Comprenden tanto las aguas lluvias, superficiales y las subterráneas, así como los compuestos orgánicos e inorgánicos, vivos o inertes que dicho líquido contiene.
Reservorio	Es una obra de captación de aguas lluvias o de escorrentías superficiales, el cual puede ser de condición natural o artificial.
Río	Corriente de agua continua, de caudal variable y que desemboca en otro cuerpo de agua o en el mar.
Vertido	Descargas de aguas residuales a un medio receptor, las cuales pueden contener sustancias contaminantes disueltas o en suspensión.
Zona hidrográfica	Demarcación geográfica que contiene regiones, cuencas y micro-cuencas hidrográficas, cuya delimitación y denominación compatibiliza el componente natural con el político con el objetivo de facilitar la aplicación de la presente Ley
Área natural protegida	Conceptos de la Ley de Medio Ambiente de El Salvador Aquellas partes del territorio nacional legalmente establecida con el objeto de posibilitar la conservación, el manejo sostenible y restauración de la flora y la fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genético, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera que preserven el estado natural de las comunidades bióticas y los fenómenos geomorfológicos únicos.
Capacidad de carga	Propiedad del ambiente para absorber o soportar agentes externos, sin sufrir deterioro tal que afecte su propia regeneración o impida su renovación natural en plazos y condiciones normales o reduzca significativamente sus funciones ecológicas.
Conservación	Conjunto de actividades humanas para garantizar el uso sostenible del ambiente, incluyendo las medidas para la protección, el mantenimiento, la rehabilitación, la restauración, el manejo y el mejoramiento de los recursos naturales y ecosistema.
Contaminación	La presencia o introducción al ambiente de elementos nocivos a la vida, la flora o la fauna, o que degraden la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general, conforme lo establece la ley.
Contaminante	Toda materia, elemento, compuesto, sustancias, derivados químicos o biológicos, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos en cualquiera de sus estados físicos que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier otro elemento del ambiente, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad, poniendo en riesgo la salud de las personas y la preservación o conservación del ambiente.
Control ambiental	La fiscalización, seguimiento y aplicación de medidas para la conservación del ambiente.
Desarrollo sostenible	Es el mejoramiento de la calidad de vida de las presentes generaciones, con desarrollo económico, democracia política, equidad y equilibrio ecológico, sin menoscabo de la calidad de vida de las generaciones venideras.
Desechos	Material o energía resultante de la ineficiencia de los procesos y actividades, que no tienen uso directo y es descartado permanentemente.
Desechos peligrosos	Cualquier material sin uso directo o descartado permanentemente que por su actividad química o por sus características corrosivas, reactivas, inflamables, tóxicas, explosivas, combustión espontánea, oxidante, infecciosas, bioacumulativas, ecotóxicas o radioactivas u otras características, que ocasionen peligro o ponen en riesgo la salud humana o el ambiente, ya sea por sí solo o al contacto con otro desecho.
Ecosistema	Es la unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados.
Impacto ambiental	Cualquier alteración significativa, positiva o negativa, de uno o más de los componentes del ambiente, provocadas por acción humana o fenómenos naturales en un área de influencia definida.
Medio Ambiente	El sistema de elementos bióticos, abióticos, socioeconómicos, culturales y estéticos que

Niveles permisibles de concentración	interactúan entre sí, con los individuos y con la comunidad en la que viven, determinando su relación y sobrevivencia, en el tiempo y el espacio. Valores o parámetros que establecen el máximo grado de concentración de contaminantes que pueden ser vertidos en una fuente, ducto o chimenea, en lugares en donde se efectúa un monitoreo o control de los contaminantes durante el proceso de producción o la realización de una actividad.
Niveles permisibles de exposición	Valores de un parámetro físico, químico o biológico, que indican el máximo o mínimo grado de concentración, o los períodos de tiempos de exposición a determinados elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia en un elemento ambiental puede causar daños o constituir riesgo para la salud humana.
Normas técnicas de calidad ambiental	Aquellas que establecen los valores límite de concentración y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, derivados químicos o biológicos, radiaciones, vibraciones, ruidos, olores o combinaciones de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueden constituir un riesgo para la salud o el bienestar humano, la vida y conservación de la naturaleza.
Sustancias peligrosas	Todo material con características corrosivas, reactivas, radioactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o con actividad biológica.
Zona costero-marina	Es la franja costera comprendida dentro de los primeros 20 kilómetros que va desde la línea costera tierra adentro y la zona marina en el área que comprende al mar abierto, desde cero a 100 metros de profundidad, y en donde se distribuyen las especies de organismos del fondo marino. Ley de Medio Ambiente de El Salvador.
Zona de recarga acuifera	Lugar o área en donde las aguas lluvias se infiltran en el suelo, las cuales pasan a formar parte de las aguas subterráneas o fráticas.
Demanda de agua	Otros Volumen de agua, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo. Este volumen será función de factores como el precio de los servicios, el nivel de renta, el tipo de actividad, la tecnología u otros. Definición de acuerdo a la normativa española (Fuente: Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica).
Especies alóctonas	Especies de plantas o animales originarios de un lugar distinto de aquél en que viven, y han sido por tanto introducidas.
Especies autóctonas	En biogeografía, una especie nativa, especie indígena o autóctona es una especie que pertenece a una región o ecosistema determinados. Su presencia en esa región es el resultado de fenómenos naturales sin intervención humana.
Objetivo medioambiental	
Presión	Cualquier actividad humana que incida sobre el estado de las aguas
Presión significativa	Una presión significativa es aquella que supera un umbral definido a partir del cual se puede poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos medioambientales en una masa de agua (artículo 3 del Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH), aprobado mediante el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio)
Regiones Hidrográficas	El territorio nacional de la República de El Salvador en C.A. ha sido organizado o dividido por el MARN (2012) en 10 regiones hidrográficas que agrupan diversas cuencas hidrográficas según criterios de homogeneidad geomorfológica
Vertido de agua residual de tipo especial	Agua residual generada por las actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.
Vertido de agua residual de tipo ordinario	Agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropo y otras similares.

Estado de las aguas subterráneas	Expresión general del estado de una masa de agua subterránea, determinado por el peor valor de su estado cuantitativo y de su estado químico
Estado de las aguas superficiales	Expresión general del estado de una masa de agua superficial, determinado por el peor valor de su estado ecológico y de su estado químico.
Lago	Una masa de agua continental superficial quieta.
Masa de agua subterránea	Un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos.
Masa de agua superficial	Una parte diferenciada y significativa de agua superficial, como un lago, un embalse, una corriente, un río o canal, parte de una corriente, río o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras.

SIGLAS Y ACRONIMOS

ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
BLGA	Borrador de la Ley General de Aguas de El Salvador de 2012
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DDT	Dicloro Difencil Tricloroetano
DGOA	Dirección General del Observatorio Ambiental
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
LC	Límite de Cuantificación
LMP	Límite Máximo Permisible
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MASub	Masa de agua subterránea
NSO	Norma Salvadoreña Obligatoria
OMS	Organización Mundial de la Salud
PNGIRH	Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Esta es la sigla correcta según escrito del MARN de 13 de mayo de 2013.
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TDS	Sólidos Totales Disueltos
MINSAL	Ministerio de Salud
AMSS	Área Metropolitana de San Salvador