

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Análisis y Propuesta de Ampliación del Alcantarillado Sanitario y Planta
de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Liberia –
Guanacaste**

Trabajo de Graduación

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Viviana Valverde Marín

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Paola Vidal Rivera

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Director del Trabajo Final de Graduación

Ing. Paola Vidal Rivera

Estudiante

Viviana Valverde Marín

Tribunal de graduación

Ing. Paola Vidal Rivera

Ing. Álvaro Araya García, M.Sc.

Ing. José Pablo Bonilla, M.Sc

Ing. Jose Antonio Sánchez, M.S

Fecha: 22 de mayo del 2012

El suscrito, Viviana Valverde Marín, cédula 1-1304-0697, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné A55844, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación Análisis y Propuesta de Ampliación del Alcantarillado Sanitario y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Liberia – Guanacaste, bajo la Dirección del Ing. Paola Vidal, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6638, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

Primero que todo me gustaría agradecerle a Dios, por darme la oportunidad de estudiar, la fuerza y determinación para llevar a cabo esta meta y por llenarme de grandes bendiciones y oportunidades a lo largo de estos años.

A mi familia, mis papás y hermanos, porque nunca me faltó nada, sobretodo apoyo, guía y consejo. Gracias por siempre tener una palabra de aliento.

A Diego, por compartir conmigo estos años, por todo el apoyo y consejo brindado.

A todos mis amigos y compañeros tanto de la universidad como de otros lugares, la universidad no hubiera sido lo mismo sin ustedes. Gracias por las experiencias vividas estos años, las compañías y los recuerdos que siempre llevaré conmigo. En mí siempre encontrarán a una amiga.

A mi directora y asesores, por el interés demostrado y la guía dada durante la realización de este trabajo.

Finalmente a todo el departamento de Desarrollo Físico del AyA, por toda la colaboración e interés que me brindaron durante todo el proyecto y al departamento de Zona III del AyA por todas las facilidades brindadas para culminar esta meta.

Valverde Marín, Viviana

Análisis y Propuesta de Ampliación del Alcantarillado Sanitario y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Liberia – Guanacaste.

Proyecto de graduación-Ingeniería Civil, San José, Costa Rica:

V. Valverde M., 2012

xvii, 138,[65]:ils.col. – 21 refs.

Resumen

En la ciudad de Liberia, Guanacaste, las disponibilidades de agua han disminuido en los últimos años, esto debido a que tanto el alcantarillado sanitario como la planta de tratamiento de aguas residuales, no dan abasto para el mercado creciente de la zona. Esta situación impacta negativamente a la ciudad porque disminuye su desarrollo, lo cual es vital al ser una de las principales ciudades turísticas de la zona.

Igualmente el aspecto ambiental en la zona es de gran importancia; al ubicarse la ciudad sobre los acuíferos que abastecen a la población del lugar, se necesita que la recolección sea por medio de un buen alcantarillado sanitario y no tanques sépticos; además el tratamiento dado debe ser eficiente y evitar la contaminación.

Este trabajo propone un sistema nuevo de recolección y disposición de las aguas residuales de la ciudad de Liberia, el cual tenga capacidad para la gran demanda poblacional de la zona.

En este trabajo se realiza un análisis cualitativo del sistema de recolección y disposición actual, así como de la calidad del efluente existente. Se analiza el crecimiento poblacional para determinar el área de cobertura del alcantarillado sanitario a proponer, se dimensionan los colectores principales del nuevo alcantarillado, así como la ubicación de las estaciones de bombeo.

Finalmente se analizan tres tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, y por medio de un análisis multicriterio se escoge la más recomendada.

PALABRAS CLAVES: LIBERIA, ALCANTARILLADO SANITARIO, ANÁLISIS MULTICRITERIO

CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	2
1.1 JUSTIFICACIÓN	2
1.1.1 EL PROBLEMA ESPECÍFICO	2
1.1.2 IMPORTANCIA	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3 MARCO TEÓRICO	5
1.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	5
1.3.2 ALCANTARILLADO SANITARIO	7
1.3.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES	10
1.3.4 TRATAMIENTO LAGUNAR	12
1.3.5 LODOS ACTIVADOS	15
1.3.6 FILTRO PERCOLADOR	16
1.3.7 REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)	17
1.3.8 FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)	19
1.3.9 PARÁMETROS DE CALIDAD	19
1.3.10 ANÁLISIS MULTICRITERIO	23
1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.4.1 ALCANCE	24
1.4.2 LIMITACIONES	25
1.5 METODOLOGÍA	25
CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE LIBERIA-GUANACASTE	30
2.1 RESEÑA HISTÓRICA	30
2.2 UBICACIÓN	31
2.3 CLIMA	32
2.4 GEOLOGÍA	34
2.5 HIDROLOGÍA	35
2.6 HIDROGEOLOGÍA	38
2.7 PLAN REGULADOR	40
2.8 CARACTERIZACIÓN POBLACIONAL	42
2.9 ESTRUCTURA SOCIECONÓMICA	43
2.9.1 SALUD	43
2.9.2 EDUCACIÓN	45
2.9.3 TELECOMUNICACIONES	45

2.9.4 VÍAS DE COMUNICACIÓN	46
2.10 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	46
2.11 DISPOSICIÓN RESIDUOS SÓLIDOS	48
<u>CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES</u>	50
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED ALCANTARILLADO SANITARIO ACTUAL	50
3.1.1 COBERTURA ACTUAL	50
3.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA RED	54
3.2 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL	55
3.2.1 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR ACTUAL	55
3.3 ESTADO DE LA ESTRUCTURA	61
3.3.1 ALCANTARILLADO	61
3.3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO	64
3.4 PROBLEMAS OPERATIVOS	69
3.4.1 ALCANTARILLADO SANITARIO	69
3.4.2 PLANTA DE TRATAMIENTO	69
3.5 CALIDAD Y CONTROL	71
<u>CAPÍTULO IV: ESTUDIO POBLACIONAL</u>	84
4.1 POBLACIÓN ACTUAL	84
4.2 POBLACIÓN MÁXIMA PERMITIDA POR EL PLAN REGULADOR	88
4.3 PROYECCIONES	90
4.4 DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL	92
<u>CAPÍTULO V: CÁLCULO DE CAUDALES Y DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE ALCANTARILLADO.</u>	94
5.1 CÁLCULO DE CAUDALES	94
5.1.1 DOMÉSTICO	94
5.1.2 EMPRESARIAL, GUBERNAMENTAL Y PREFERENCIAL	95
5.1.3 INFILTRACIÓN POR TRAMO	96
5.1.4 INFILTRACIÓN POR POZO	96
5.1.5 INFILTRACIÓN POR ORIFICIOS DE TAPAS	97
5.1.5 INFILTRACIÓN POR RED	97
5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	98
5.2.1 COLECTORES Y POZOS	98
5.2.2 DISEÑO	99

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO. 114

6.1 COMPARACIÓN LITERARIA	114
6.1.1 ANÁLISIS ECONÓMICO	114
6.1.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN	116
6.1.3 PRODUCTOS FINALES	117
6.1.4 OPERACIÓN	119
6.1.5 COMPARACIÓN FINAL SEGÚN LA LITERATURA	120
6.2 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS	121
6.2.1 ANÁLISIS ECONÓMICO	123
6.2.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN	124
6.2.3 PRODUCTOS FINALES	125
6.2.4 OPERACIÓN	126
6.2.5 ESCOGENCIA FINAL ANÁLISIS MULTICRITERIO	127
6.3 SELECCIÓN FINAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	129

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 132

7.1 CONCLUSIONES	133
7.2 RECOMENDACIONES	135

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 137

Índice de cuadros

Cuadro 1: Principales residuos de las aguas residuales	5
Cuadro 2: Ventajas y desventajas de los lodos activados	15
Cuadro 3: Ventajas y desventajas del filtro percolador	17
Cuadro 4: Ventajas y desventajas del uasb	18
Cuadro 5: Frecuencia mínima para el muestreo y análisis	20
Cuadro 6: Principales microcuencas	35
Cuadro 7: Caracterización poblacional según edades	42
Cuadro 8: Centros educativos en la zona	45
Cuadro 9: Caudal disponible	47
Cuadro 10: Kilómetros de alcantarillado actual por diámetro y tipo de material.	54
Cuadro 12: Porcentajes de servicios por sector	87
Cuadro 13: Desglose de cálculo de población de saturación	89
Cuadro 14: Valores de población de censos pasados para el distrito de liberia	90
Cuadro 15: Resultados de proyecciones	91
Cuadro 16: Distribución geográfica de la población de diseño	92
Cuadro 17: Descripción de colectores y pozos	99
Cuadro 18: Diámetros y longitudes del nuevo alcantarillado sanitario	102
Cuadro 19: Costo total del alcantarillado sanitario propuesto	103
Cuadro 20: Inversión inicial, costo de operación y costo de mantenimiento per cápita.	115
Cuadro 21: Comparación económica entre sistemas de tratamiento	116
Cuadro 22: Comparación de eficiencia de remoción entre sistemas de tratamiento propuestos	117
Cuadro 23: Comparación de productos finales entre sistemas de tratamiento propuestos	118
Cuadro 24: Comparaciones en operación entre los sistemas de tratamiento propuestos	119
Cuadro 25: Porcentajes otorgados por los entrevistados	122
Cuadro 26: Pesos otorgados por la entrevistada	123
Cuadro 27: Análisis multicriterio, sección del análisis económico	123
Cuadro 28: Análisis multicriterio, sección eficiencia de remoción	124
Cuadro 29: Análisis multicriterio, sección productos finales o impactos ambientales	125
Cuadro 30: Análisis multicriterio, sección operación	126

Cuadro 31: Totales del análisis multicriterio	127
---	-----

Índice de figuras

Figura 1: Partes del tratamiento de aguas residuales	11
Figura 2: Esquema del Sistema de Tratamiento de Lagunaje	13
Figura 3: Tipos de lodos activados	16
Figura 4: Tipos de filtros percoladores	17
Figura 5: Esquema del UASB	19
Figura 6: Desglose de los sólidos totales	21
Figura 7: Metodología	26
Figura 8: Ubicación del distrito de Liberia.	31
Figura 9: Climograma de Liberia	32
Figura 10: Resumen de temperaturas y precipitaciones mensuales	33
Figura 11: Evapotranspiración	33
Figura 12: Brillo Sola	34
Figura 13: Mapa geológico de Costa Rica	36
Figura 14: Principales afluentes de las cuencas del cantón de Liberia	37
Figura 15: Extracto del Mapa de Estudios realizados por SENARA, zona pacífica.	38
Figura 16: Zonificación del primer distrito de Liberia.	40
Figura 17: Caracterización poblacional según sexo	42
Figura 18: Trabajadores reportados por actividades ocupacionales. Año 2006	43
Figura 19: Asegurados activos directos	44
Figura 20: Ruta más utilizada para trasladarse de San José a Liberia, Guanacaste	46
Figura 21: Esquema de acueducto actual de Liberia	47
Figura 22: Alcantarillado Sanitario actual en Liberia	51
Figura 23: Propuestas de áreas de cobertura del alcantarillado sanitario de Liberia, Costa Rica	52
Figura 24: Área de cobertura final del alcantarillado sanitario de Liberia, Costa Rica	56
Figura 25: Diámetros actuales del alcantarillado sanitario, Liberia Costa Rica	57
Figura 26: Diámetros del Alcantarillado Sanitario actual de Liberia	57
Figura 27: Tipo de material del alcantarillado sanitario de Liberia, Costa Rica	58
Figura 28: Esquema del a PTAR actual de la ciudad de Liberia	61
Figura 29: Colector Final actual	62
Figura 30: Colector final actual, a la izquierda y colector final antiguo a la derecha.	62
Figura 31: Protección del Colector Final actual	63
Figura 32: Rotura expuesta en el colector final viejo	63
Figura 33: Abertura expuesta en una unión en el colector final viejo	64
Figura 34: Caja de entrada	65
Figura 35: Rejillas.	65
Figura 36: Primera cámara de distribución de caudales	66

Figura 37: Segunda cámara de distribución de caudales	66
Figura 38: Lagunas primarias, se observan tres entradas.	67
Figura 39: Lagunas primarias	67
Figura 40: Lagunas secundarias	68
Figura 41: Lagunas secundarias, se observa una salida.	68
Figura 42: Problemática del mantenimiento de la PTAR.	70
Figura 43: DBO a la salida de la planta de tratamiento.	71
Figura 44: DQO a la salida de la planta de tratamiento	73
Figura 45: Sólidos Sedimentables a la salida de la planta	74
Figura 46: Sólidos Suspendedos Totales a la salida de la planta de tratamiento.	75
Figura 47: Crecimiento del consumo domiciliario del 2005 al 2011	76
Figura 48: Crecimiento del consumo no domiciliario del año 2005 al 2011	76
Figura 49: DBO Total vrs Sólidos Suspendedos Totales	77
Figura 50: Grasas y aceites a la salida de la planta de tratamiento.	78
Figura 51: Concentración de Sustancias Activas al Azul Metileno en el efluente	79
Figura 52: Comparación de la concentración de DBO, 100 m antes de verter el efluente y 400 m después.	80
Figura 53: Comparación de la concentración de DQO, 100 m antes de verter el efluente y 400 m después.	80
Figura 54: Comparación de la concentración de SST, 100 m antes de verter el efluente y 400 m después.	81
Figura 55: Distribución espacial de la población actual	85
Figura 56: Ubicación de colectores y pozos, Liberia, Costa Rica	101
Figura 57: Colector noroeste Liberia, costa rica	105
Figura 58: Colector Central Liberia, Costa Rica	106
Figura 59: Colector noreste Liberia, Costa Rica	107
Figura 60: Colector sur Liberia, Costa Rica	108
Figura 61: Colector central Liberia, Costa Rica, operación	109
Figura 62: Colector noreste Liberia, Costa Rica, operación	110
Figura 63: Colector noroeste Liberia, Costa Rica, operación	111
Figura 64: Colector sur Liberia, Costa Rica, operación	112
Figura 65: Comparación final de los parámetros analizados entre los sistemas de tratamiento propuestos	120

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

Para argumentar la escogencia de este tema para la tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, se dividió la justificación en: el problema específico, la importancia del tema y los antecedentes teóricos y prácticos del problema.

1.1.1 EL PROBLEMA ESPECÍFICO

En la ciudad de Liberia se ha dado un aumento en las construcciones, en los últimos cinco años, todos estos nuevos desarrollos necesitan contar con disponibilidad de agua potable, recolección y tratamiento de aguas residuales servicios brindados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Para poder construir, el problema principal reside en que a pesar de contar con disponibilidades de agua potable, no se están otorgando las disponibilidades de recolección y tratamiento de aguas residuales.

La principal razón por la que el AyA no está concediendo las disponibilidades de recolección y tratamiento de aguas residuales, es porque la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Liberia, está operando a máxima capacidad y el alcantarillado sanitario actual también.

Otra necesidad que tiene la ciudad de Liberia, ante su constante crecimiento, es el aumento en la extensión de la red de alcantarillado sanitario. En la actualidad, solamente el 23% de los servicios de agua potable poseen alcantarillado sanitario, lo cual deja a un 77% sin recolección y tratamiento de aguas residuales (por parte del AyA). Además al considerar que el suelo en Liberia dificulta la infiltración de las aguas residuales al subsuelo, se les solicita a cada desarrollo urbanístico realizar su propia red de recolección y planta de tratamiento, lo que encarece los costos de los proyectos.

No obstante, la red de alcantarillado sanitario no se ha aumentado todavía, por la misma razón por la que no se están otorgando las disponibilidades de recolección y tratamiento de aguas residuales: la falta de capacidad de la PTAR de Liberia. Si la red de alcantarillado se aumentara, la actual planta de tratamiento no tendría la capacidad suficiente para tratar debidamente esta cantidad de agua.

Por lo tanto, el crecimiento de la ciudad, de la red de alcantarillado y el tratamiento de un mayor caudal de aguas residuales, se ven frenados directamente por la poca capacidad y eficiencia de la planta de tratamiento.

1.1.2 IMPORTANCIA

La importancia de realizar este proyecto se basa en tres aspectos: 1) las enfermedades por contacto con aguas residuales crudas, 2) la problemática ambiental al no tratar las aguas residuales y 3) el crecimiento e importancia de la ciudad de Liberia.

Como se mencionó, el porcentaje de usuarios con alcantarillado sanitario, es apenas el 23% del total de los usuarios que cuentan con un servicio de agua potable; además la actual planta de tratamiento está trabajando a máxima capacidad. Por lo tanto, si no se realiza un diagnóstico del estado actual y una mejora pertinente, existe la posibilidad de que la población se vea afectada por enfermedades tales como: infección parasitaria (al contacto con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales como cólera y tifoidea, al entrar la materia fecal en contacto con las fuentes de agua.

Por otro lado, Costa Rica es un país donde el turismo es una de las actividades económicas más importantes, se promociona además como un país verde, por lo que debería ser consecuente con sus políticas y tratar la mayor cantidad de aguas residuales y evitar contaminar los cuerpos receptores de dichas aguas. Al no asegurar la eficiencia de la PTAR, el efluente puede causar daños ambientales en el cuerpo receptor, como muerte de animales por falta de oxígeno disuelto, malos olores, problemas estéticos por las espumas, limitación de uso (en aspectos de recreación y riego).

Finalmente, es de suma importancia que se realice este proyecto, para disminuir la gran cantidad de aguas negras que no son tratadas; para que el efluente de la planta de tratamiento cumpla con las normas de vertido y finalmente, para que la ciudad de Liberia no vea restringido su crecimiento y desarrollo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diagnosticar el estado, funcionamiento, operación y propuesta de mejoramiento del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Liberia.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la capacidad actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Liberia.
- Plantear la nueva red de colectores del alcantarillado sanitario futura.
- Proponer mejoras para la planta de tratamiento de aguas residuales de Liberia.

1.3 MARCO TEÓRICO

1.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales se conocen como aquellas aguas portadoras de residuos, que proceden de una comunidad y que han sido contaminadas a través de todos los diferentes usos para los cuales fueron empleadas. (Metcalf & Eddy, 1996)

Los principales residuos o contaminantes presentes en las aguas residuales se exponen en el siguiente cuadro. Se detalla la procedencia, caracterización y el efecto de dicho contaminante en la naturaleza, si se vierte sin ser tratado.

Cuadro 1: Principales residuos de las aguas residuales

Contaminante	Caracterización	Procedencia	Efecto en la naturaleza
Sólidos en suspensión	Partículas de tamaño pequeño. El 60% son sedimentables y el 75% son de origen orgánico	Muy variada	Pueden crear depósitos de fango y condiciones anaerobias
Materia orgánica biodegradable	Grasas, proteínas, carbohidratos	Doméstica e industrial	Puede agotar los recursos naturales de oxígeno y desarrollar condiciones sépticas
Patógenos	Bacterias, protozoarios, helmitos o virus	Doméstica e industrial	Transmiten enfermedades contagiosas
Nutrientes	Nitrógeno, Fósforo y Carbono. Debido a la presencia de detergentes y fertilizantes	Doméstica e industrial	Pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada y contaminar aguas subterráneas

Fuente: Ingeniería Aguas Sanitarias, Metcalf & Eddy, 1996 y Manual de Depuración de Aguas Urbanas

Las aguas residuales, que son transportadas por el alcantarillado sanitario, están constituidas por cuatro tipos: aguas residuales domésticas, residuales industriales, agua de lluvia e infiltraciones.

- Las aguas residuales domésticas proceden de zonas residenciales así como zonas comerciales y públicas. Proviene de inodoros, lavaderos, cocinas, baños y presentan materias fecales, jabón, papel, restos de alimento, entre otros. Algunos residuos se mantienen en suspensión, entran en solución o se vuelven coloides. (Fair, Geyer, & Okun, 1976)

- Las aguas residuales industriales proceden de procesos industriales o manufactureros, su composición depende del tipo de proceso industrial que se lleve a cabo, sin embargo, normalmente estas aguas poseen elementos tóxicos como plomo, mercurio, níquel, cobre, los cuales deben ser removidos antes de ser vertidos al alcantarillado sanitario. (López Cualla, 2000)
- Las aguas de lluvia, provienen de la precipitación y de la escorrentía superficial. Cuenta con sólidos suspendidos, hidrocarburos y agroquímicos. (López Cualla, 2000)
- Las infiltraciones es agua que penetra por medio de juntas defectuosas, fracturas y grietas del alcantarillado. (Metcalf & Eddy, 1996)

Existen además las conexiones ilícitas, este es el caso cuando las aguas pluviales de las casas son descargadas al alcantarillado sanitario en vez de al alcantarillado pluvial (Metcalf & Eddy, 1996). No obstante, en este trabajo no se considerará dicho aporte.

El conocimiento de los caudales de las aguas residuales es básico para el diseño del sistema de recolección y tratamiento, es por eso que se presentan los tipos de caudales y los factores que los afectan.

El caudal del agua residual generado por una comunidad, se obtiene por el consumo de agua potable que se da en los distintos usos, (López Cualla, 2000):

- Caudal Doméstico: obtenido del consumo de agua potable de cada habitante por día.
- Caudal Industrial: depende del tipo de industria, por lo que se debe estudiar individualmente.
- Caudal Comercial: se obtiene del consumo promedio de agua potable de los comercios.
- Caudal Institucional: se obtiene del consumo promedio de agua potable de las diferentes instituciones públicas.

Se menciona, en las Normas de Diseño del AyA 2001, que el porcentaje del agua potable que es consumido y devuelto al alcantarillado sanitario es de un 80%, este se conoce como factor de retorno.

Es importante mencionar que a la hora de estimar el caudal, se consideren los factores que afectan directamente el comportamiento del consumo de una población. Estos factores son los siguientes:

- Temperatura: se estima que en lugares con temperaturas altas, el consumo de agua potable es mayor que en zonas con temperaturas más bajas. (Metcalf & Eddy, 1996)
- Existencia de medidores de agua: se ha observado que en lugares en los cuales existe una factura por el consumo de agua potable, el consumo es mucho menor que en lugares en los cuales no hay medidores. (Metcalf & Eddy, 1996)
- Calidad del agua: el consumo es mayor cuando la calidad del agua es buena. (López Cualla, 2000)
- Características socioeconómicas: en lugares desarrollados como ciudades, el consumo de agua potable es mayor que en pueblos. (López Cualla, 2000)
- Administración del acueducto: al haber una buena administración, se reducirán las fugas así como se mejorarán las mediciones de los consumos, los cobros de las facturas y se disminuirán las conexiones ilícitas, por lo que el consumo es menor. (López Cualla, 2000)

Además, las aguas residuales siguen una variación diaria, la cual refleja el comportamiento en el consumo de agua potable de la población. Durante la media mañana y las primeras horas de la noche, se observan los caudales más altos, debidos a que a esas horas son las horas de mayor consumo de agua potable, (Alianza por el agua, 2008). Estos picos de caudal pueden afectar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales si no se consideran a la hora del diseño.

1.3.2 ALCANTARILLADO SANITARIO

La primera parte del sistema de tratamiento de aguas residuales es el alcantarillado sanitario. Se menciona que un alcantarillado sanitario es definido como "el sistema de recolección diseñado para llevar exclusivamente aguas residuales domésticas e industriales" (López Cualla, 2000). Es por esta definición de alcantarillado sanitario que no se considerará el alcantarillado combinado (transporta aguas residuales y aguas de pluviales) y por lo tanto, no se considerarán las conexiones ilícitas.

Las tuberías que conforman los alcantarillados sanitarios están clasificadas en cinco, según el caudal que transporten (López Cualla, 2000):

- Laterales o iniciales: son aquellas que reciben los desagües de las casas.
- Secundarias: las que reciben el agua de dos o más tuberías iniciales.
- Colector secundario o subcolector: recibe las aguas de dos o más tuberías secundarias.
- Colector principal: recibe el agua de dos o más subcolectores.
- Emisario final: recibe las aguas de todos los colectores principales y las conduce al lugar de tratamiento.

Las tuberías iniciales son las que transportan menor cantidad de caudal, porque transportan únicamente las aguas de una casa o industria, mientras que el emisario final transporta la mayor cantidad de caudal, porque recolecta todas las aguas residuales que se van a tratar. En consecuencia, los diámetros de las tuberías del alcantarillado sanitario van aumentando al acercarse al emisario.

Los alcantarillados sanitarios trabajan normalmente por gravedad; se ubica la estructura de tratamiento en las zonas más bajas para que el alcantarillado trabaje por gravedad y disminuir costos. Sin embargo, existen casos en los que no se puede transportar el caudal por medio de gravedad, por lo que se debe incluir un sistema de bombeo.

Además de las tuberías, el alcantarillado sanitario está conformado por otros elementos que garantizan el buen funcionamiento del alcantarillado. A continuación se nombran dichos elementos (López Cualla, 2000):

- Pozos de inspección o de registro: se utilizan para realizar cambios de dirección en las tuberías, y la transición de un colector a otro. Son estructuras cilíndricas las cuales cuentan con una tapa en la superficie para poder realizar la limpieza obligatoria y poder darle ventilación al sistema.
- Cámaras de caída: son estructuras creadas para contrarrestar los grandes cambios de pendiente en el terreno, (López Cualla, 2000) se utilizan cuando hay una diferencia mayor de 0,75 m entre las cotas de batea de las tuberías de entrada y salida. Con estas cámaras se logra cumplir con los requerimientos de pendiente y velocidad máxima.
- Conexiones domiciliarias: son las estructuras en las que se unen las aguas residuales de las casas o industrias al alcantarillado sanitario público.

- Estaciones de bombeo: en zonas donde la pendiente es casi nula o negativa, se utilizan estaciones de bombeo para transportar el agua hasta la zona de tratamiento.

Para diseñar un alcantarillado sanitario se debe realizar el cálculo de caudales (doméstico, comercial, industrial, institucional), con el fin de determinar la cantidad y calidad de agua que se tratará. (Metcalf & Eddy, 1996)

Asimismo se deben realizar proyecciones y distribución de población para establecer la población que utilizará el servicio y dónde estará ubicada. Existen cinco métodos de proyección. (López Cualla, 2000)

- Método de comparación gráfica: consiste en comparar la población estudiada con otras tres, las cuales se suponen tienen el mismo crecimiento que la población estudiada.
- Crecimiento lineal: se utiliza cuando el crecimiento de la población es lineal y no depende de esta.
- Crecimiento geométrico: se utiliza cuando el crecimiento de la población depende de la misma.
- Crecimiento logarítmico: cuando el crecimiento es de tipo exponencial.
- Métodos estadísticos: se utiliza para ajustar los resultados obtenidos con los métodos anteriores.

Finalmente, en el diseño del alcantarillado sanitario se deben respetar las siguientes normas: (Reglamento de Normas Técnicas del AyA, 2007)

- Velocidad mínima: 0.6 m/s a tubo lleno, para evitar que en el alcantarillado sedimenten sustancias y logren obstruirlo.
- Velocidad máxima: 6 m/s para evitar abrasión en la tubería.
- El alcantarillado debe ir mínimo a 1,30 m de profundidad de la rasante terminada a la corona del tubo, paralelo al terreno y máximo a 3,85 m de profundidad.
- Diámetro mínimo en tramos es de 150 mm y en previstas de 100 mm.

- Diámetro de diseño: se utiliza la ecuación de Manning

$$v = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (1)$$

Donde,

v = velocidad (m/s)

R =radio (m)

S =pendiente

n =rugosidad del material

1.3.3 TIPOS DE TRATAMIENTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES

La segunda parte del sistema de tratamiento de aguas residuales consiste en la reducción de los contaminantes presentes en las aguas residuales, esto se logra con diferentes tipos de tratamiento.

Según el Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas de la Alianza con el Agua (2008) "el tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores" (pág 26).

El proceso para tratar las aguas residuales se inicia por un pretratamiento, seguido de un tratamiento primario, un tratamiento secundario y un tratamiento terciario. En cada fase se eliminan contaminantes de menor tamaño. A continuación se presentará una figura con la descripción de cada parte del tratamiento.



Figura 1: Partes del tratamiento de aguas residuales

Fuente: Metcalf & Eddy 1996 ingeniería sanitaria, Centeno, 2011, Manual de depuración de aguas residuales urbanas

Los tipos de tratamiento se describen a continuación (Alianza por el Agua, 2008):

- Físico: por medio de la gravedad se logra que partículas de cierto diámetro sedimenten.
- Químico: al agregar una sustancia química, se unen unas partículas con otras formando elementos de mayor diámetro hasta que logran tener suficiente tamaño como para sedimentar.
- Biológico: proceso en el cual se utilizan microorganismos como bacterias que actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales. Parte de la materia orgánica se oxida por la biomasa, de esta manera la bacteria obtiene la energía necesaria para sobrevivir y producir más biomasa.

Existen además otras clasificaciones para los tratamientos de aguas residuales, según el tratamiento biológico y el sistema de crecimiento utilizado para las bacterias. Según el tratamiento biológico se pueden clasificar en: anaerobias, facultativas y aerobias y según

el sistema de crecimiento de las bacterias se clasifican en: crecimiento, suspensión o de película fija. (Metcalf & Eddy, 1996)

- Los procesos de cultivo en suspensión son aquellos en los que los microorganismos responsables de la transformación de la materia orgánica en gas y tejido celular se encuentran en suspensión en el líquido.
- Los procesos de cultivo fijo o película fija son aquellos en donde los microorganismos responsables de la transformación de la materia orgánica en gas y tejido celular están fijos en un medio inerte tales como piedras.
- Los procesos aerobios son aquellos procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno.
- Los procesos anaerobios son aquellos procesos de tratamiento biológico que se dan en ausencia de oxidantes.
- Los procesos facultativos son aquellos procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno.

A continuación, se describen cinco de los tratamientos de aguas residuales más utilizados: las lagunas, los lodos activados, el filtro percolador y anaerobio y el reactor anaerobio.. En el capítulo 6 se presentarán con mayor detalle otros tipos de tratamientos.

1.3.4 TRATAMIENTO LAGUNAR

En el tratamiento lagunar el agua se hace pasar por un conjunto de estanques dispuestos, ya sea en serie o en paralelo, y de profundidad decreciente. Los procesos que se dan en el tratamiento de lagunaje pueden ser aerobios, anaerobios, facultativos o de maduración. Después de un tiempo de retención de varios días se descarga un efluente depurado.

El esquema de funcionamiento del sistema de lagunaje es: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y en ciertos casos tratamiento terciario. El tratamiento primario se puede obtener con las lagunas anaerobias ubicadas al inicio del tratamiento, el tratamiento secundario con las lagunas anaerobias que preceden a las facultativas y el tratamiento terciario con las lagunas de maduración, ubicadas al final de tratamiento. (Alianza por el agua, 2008)

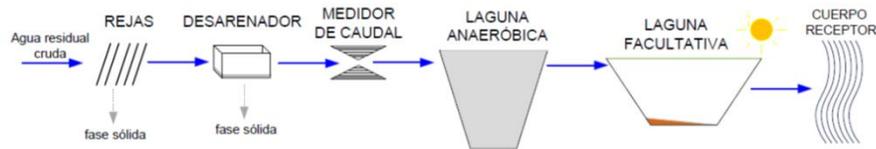


Figura 2: Esquema del Sistema de Tratamiento de Lagunaje

Fuente: Erick Centeno Mora, 2011

Las lagunas anaerobias se usan para el tratamiento de agua residual de alto contenido orgánico que contenga además una gran concentración de sólidos. Estos estanques se caracterizan por tener profundidades de hasta 5 m y con presencia casi exclusivamente de bacterias anaerobias. Los objetivos básicos de este tipo de lagunas son la retención de la mayor cantidad de sólidos sedimentables y flotantes, así como la estabilización de los lodos que se acumulan en el fondo. ((Metcalf & Eddy, 1996) y Alianza por el Agua, 2008)

En las lagunas facultativas se lleva a cabo la estabilización de las aguas residuales mediante la combinación de bacterias aerobias, anaerobias y facultativas. Este tipo de lagunas se caracterizan por ser de poca profundidad, alrededor de 1 y 2 m de profundidad. En estas lagunas se observan tres zonas: en el fondo se presentan condiciones anaerobias, por lo que solamente se cuenta con bacterias anaerobias que colaboran con la descomposición de los sólidos acumulados. En la superficie se presentan condiciones aerobias, se cuenta solamente con bacterias aerobias que debido a la actividad fotosintética de las mircoalgas y algunos fenómenos de reaireación superficial producidos por el viento, se les suministra oxígeno a las bacterias aerobias que lo utilizan para la degradación de la materia orgánica. En la zona intermedia se presentan condiciones variables (aerobias y anaerobias), por lo que se cuenta con bacterias facultativas. En esta zona es donde se presenta la mayor descomposición de los residuos orgánicos ((Metcalf & Eddy, 1996) y Alianza por el Agua, 2008). Existen factores que afectan el espesor de estas zonas:

- El momento del día: durante la noche la zona anaerobia aumenta de espesor y la zona aerobia disminuye de espesor, porque la actividad fotosintética cesa.
- El nivel de carga orgánica aplicada a la laguna: al sobrecargarse la laguna, la zona anaerobia puede aumentar de espesor.

El objetivo básico de la laguna facultativa es la biodegradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Las lagunas de maduración son de poca profundidad, de 0,8 m a 1 m de profundidad. Poseen cargas orgánicas muy bajas, son aguas claras y poco profundas por lo que se propicia la penetración solar adecuada para el desarrollo de microalgas y el desarrollo de bacterias aerobias. El principal objetivo de estas lagunas es conseguir un elevado grado de desinfección mediante la disminución de un gran número de organismos patógenos presentes.

Cuadro 2: Ventajas y desventajas de las lagunas facultativas

Ventajas	Desventajas
Eficiencia satisfactoria para la remoción de DBO	Alto requerimiento de área
Eficiencia razonable de la remoción de patógenos	Dificultad para satisfacer parámetros de descarga
Construcción, operación y mantenimiento simples	La operación es sencilla pero se debe dar un buen mantenimiento (vegetación)
Bajos costos de construcción y operación	Se debe realizar la remoción de algas del efluente para cumplir con estándares de descarga
Ausencia de equipo mecánico	Eficiencia variable dependiendo de las condiciones climáticas
Prácticamente no necesita energía	Posible crecimiento de insectos
Resistencia satisfactoria a las variaciones de cargas	
La remoción de los lodos se realiza cada 20 años	

Fuente: UNESCO-IHE

1.3.5 LODOS ACTIVADOS

Los lodos activados es un tratamiento aerobio en suspensión. Existen dos tipos: Lodos Activados Convencionales (LAC) y los Lodos Activados con Aireación Extendida (LAE), sin embargo, en esta trabajo solamente se evaluará el primer tipo.

El sistema de tratamiento LAC consiste en un pretratamiento con rejillas y un desarenador, seguido por un sedimentador primario, un reactor y un sedimentador secundario; para un tratamiento terciario se debe incluir una laguna anaerobia o anóxica para eliminar nitratos y sulfatos. En el sedimentador primario se realiza la parte física del proceso donde sedimentan partículas de un diámetro específico, en el reactor se encuentra la biomasa suspendida la cual estabiliza los residuos. Para crear el ambiente aerobio en el reactor, se utilizan difusores o aireadores mecánicos. En el sedimentador secundario sedimentan los flóculos formados en el reactor. Una parte de las células sedimentadas en el sedimentador secundario se recirculan al reactor para mantener la concentración de células deseadas. ((Metcalf & Eddy, 1996); (Metcalf & Eddy, Ingeniería de aguas residuales, 2003); (Centeno, 2011))

Se presentan las ventajas y desventajas:

Cuadro 3: Ventajas y desventajas de los lodos activados

Ventajas	Desventajas
Alta eficiencia de remoción de DBO	Baja eficiencia de remoción de coliformes
Usualmente se obtiene la nitrificación	Altos costos de construcción y operación
Se puede realizar la remoción de N y P	Alto consumo de energía
Requiere de poca área	Se requiere de operadores capacitados
Proceso confiable, siempre y cuando sea supervisado	Sensible a descargas tóxicas
Bajas posibilidades de malos olores e insectos	Requiere un tratamiento total y disposición de los lodos producidos
Flexibilidad en la operación	Problemas ambientales con ruido y gases.

Fuente: UNESCO-IHE

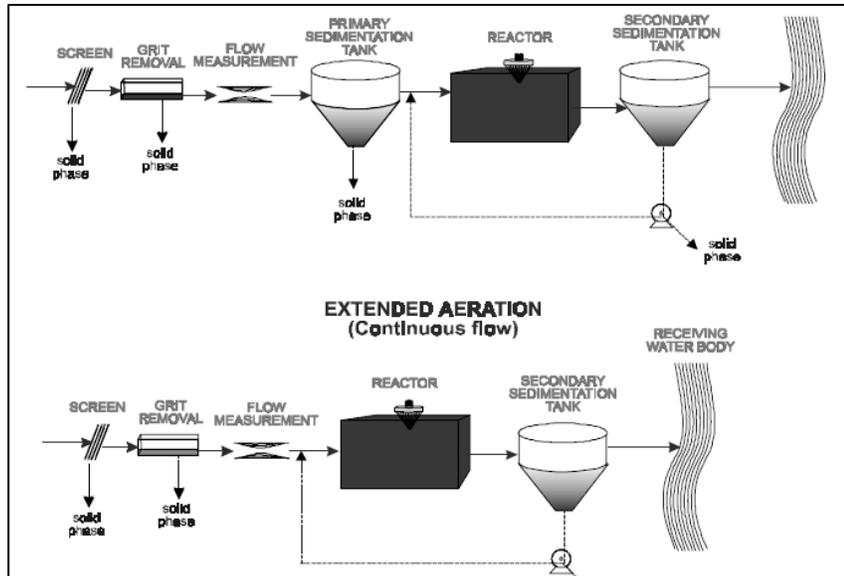


Figura 3: Tipos de lodos activados
Fuente: Sperling, 2007

1.3.6 FILTRO PERCOLADOR

El sistema de tratamiento en el cual se utiliza un filtro percolador, es un proceso aerobio de cultivo fijo. El filtro percolador consiste en un estanque formado por un medio sumamente permeable, los microorganismos se adhieren a ese medio y el agua residual fluye a través del estanque.

Existen dos tipos de medios filtrantes: piedras y materiales plásticos de relleno. Los filtros percoladores con un medio filtrante de piedra, tienen una profundidad de 0,9 m a 2,5 m, las piedras tienen un diámetro de 2,5 cm a 10 cm. Los filtros de piedra suelen ser circulares y el agua residual se distribuye por la parte superior del filtro mediante un distribuidor rotatorio. (Metcalf & Eddy, 1996). Los filtros de material plástico pueden tener diversas formas, circulares, cuadrados y de profundidades entre los 4 m y los 12 m.

Los filtros poseen un sistema de drenaje inferior que recoge el líquido tratado, así como los sólidos que se hayan desprendido del medio. El líquido recogido pasa a un tanque de sedimentación en donde se separan los sólidos del agua residual.

Se presentan las ventajas y desventajas según:

Cuadro 4: Ventajas y desventajas del filtro percolador

Ventajas	Desventajas
Alta eficiencia de remoción de DBO	Baja eficiencia de remoción de coliformes
Frecuentemente se da nitrificación	Baja flexibilidad de operación en comparación con los lodos activados
Requiere de poca área	Altos costos de construcción
Más simple de operar que los lodos activados	Dependencia de la temperatura del entorno
Equipo mecánico simple	Sensible a descargas tóxicas
Digestión de los lodos dentro del filtro	Posibles problemas con moscas

Fuente: UNESCO-IHE

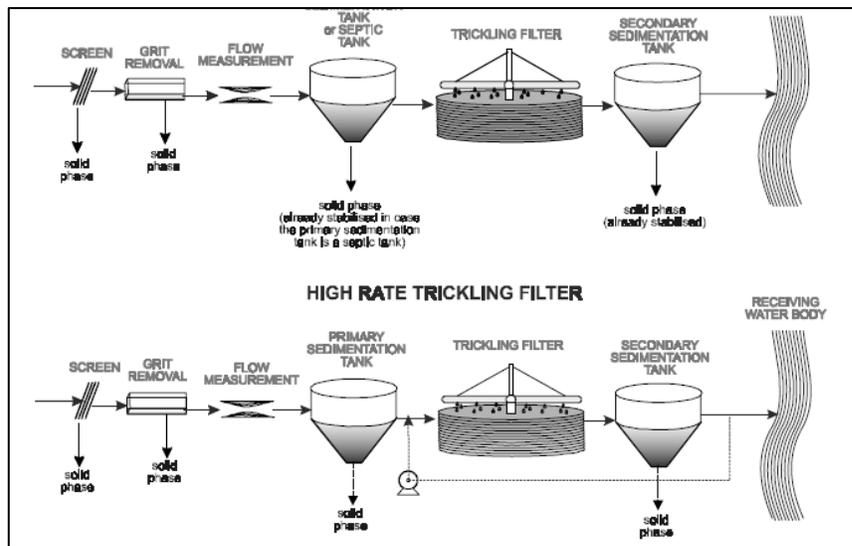


Figura 4: Tipos de filtros percoladores

Fuente: Sperling, 2007

1.3.7 REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB), es un tratamiento anaerobio en suspensión, consiste en un tratamiento primario (rejillas y sedimentador), seguido del reactor, y finalmente se vierte el efluente al cuerpo receptor. El reactor se caracteriza por poseer un manto de lodos o fango constituido por gránulos o partículas formadas biológicamente, que estabilizarán la materia. El agua es introducida en la parte inferior del reactor y fluye hacia arriba. El tratamiento se lleva a cabo al entrar en contacto el agua con las partículas presentes en el reactor.

Una vez que empieza el tratamiento, se produce gran cantidad de gas en el reactor, el cual es recolectado en una bóveda para ser aprovechado; los sólidos sedimentan en el mismo reactor, mientras que el agua tratada continúa ascendiendo hasta entrar a unos canales (que se encuentran en la parte superior del reactor), los cuales transportan el agua hacia el cuerpo receptor. (Metcalf & Eddy, 1996, Metcalf & Eddy, 2003)

Cuadro 5: Ventajas y desventajas del uasb

Ventajas	Desventajas
Eficiencia razonable de remoción de DBO	Dificultad para cumplir con normas de descargas estrictas
Requiere de poca área	Baja eficiencia de remoción de coliformes
Bajos costos de construcción y operación	Prácticamente ninguna remoción de N y P
Prácticamente no consume energía	Genera una apariencia desagradable del efluente
Posibilidad de utilizar el biogás	Genera malos olores
Construcción, operación y mantenimiento simple	El inicio del proceso puede ser lento
Poca producción de lodos	Sensible a componentes tóxicos y picos de caudal
Estabilización de los lodos en el mismo reactor	Necesita un post-tratamiento
El tratamiento de los lodos es solamente la deshidratación y la disposición	Riesgos de taponamiento/obstrucciones

Fuente: UNESCO-IHE

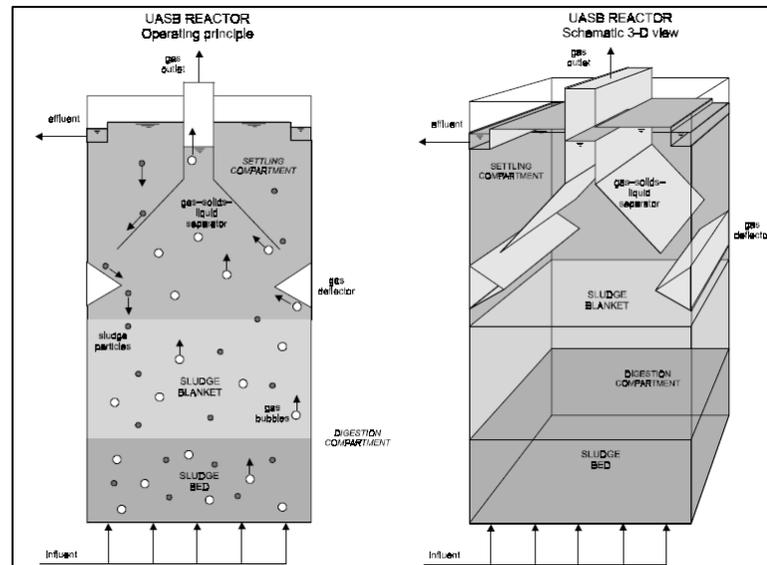


Figura 5: Esquema del UASB

Fuente: Sperling, 2007

1.3.8 FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)

Otro sistema de tratamiento es el Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA), es anaeróbico y de película fija. Este sistema se compone de un tratamiento primario (rejillas y sedimentador primario), un filtro y finalmente el agua es vertida al cuerpo receptor. El filtro está conformado por una columna rellena de diversos tipos de sólidos, los cuales se utilizan para el tratamiento de la materia biológica contenida en las aguas residuales. Las bacterias que se encuentran en el filtro, están adheridas a los cuerpos sólidos, por lo que cuando el agua fluye por el filtro de abajo hacia arriba, es purificada por estas bacterias, sin ser arrastradas. (Metcalf & Eddy, 1996)

1.3.9 PARÁMETROS DE CALIDAD

Finalmente, la última parte del proceso de tratamiento de aguas residuales es tomar muestras del efluente para realizar un análisis de su calidad, compararla con la normativa y corroborar que cumpla con los parámetros establecidos.

Las técnicas de muestreo utilizadas deben asegurar la obtención de muestras representativas. Existen dos tipos de muestreos, el simple y el compuesto. El simple es "aquella muestra tomada en un corto período, de tal forma que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario" (Reglamento de Reúso y Vertido de Aguas Residuales, 2007). El muestreo compuesto "son dos o más muestras

simples que se han mezclado en proporciones conocidas y apropiadas para obtener un resultado promedio de sus características. Las proporciones se basan en mediciones de tiempo o de flujo” (Reglamento de Reúso y Vertido de Aguas Residuales, 2007).

Para no alterar las muestras tomadas en campo, se deben seguir las siguientes pautas:

- La muestra debe ser tomada en el sitio de mayor turbulencia.
- Las partículas con diámetros mayores a 6.3 mm deben ser eliminadas de la muestra.
- Los materiales filtrantes o espumas deben ser eliminados de las muestras.

Según el “Reglamento de Reúso y Vertido de Aguas Residuales” la frecuencia mínima de muestreo y análisis para aguas residuales de tipo ordinario es la siguiente:

Cuadro 6: Frecuencia mínima para el muestreo y análisis

Parámetro	Caudal (m ³ /día)		
	<50	50 a 100	>100
pH, Sólidos sedimentables, Caudal	Mensual	Semanal	Diario
DBO_{5,20} Sólidos Suspendidos Totales Coliformes fecales	Anual	Semestral	Trimestral

Fuente: Reglamento de Reúso y Vertido de Aguas Residuales.

Las muestras tomadas en campo se deben trasladar lo más rápido posible al laboratorio en donde se realizará el análisis para evitar que sus características físicas, químicas y biológicas, se alteren y la muestra ya no sea representativa. (Metcalf & Eddy, 1996)

Una vez que se establecen los cuidados para realizar los muestreos, se definen y caracterizan los parámetros de calidad de las aguas residuales, los cuales son de dos tipos: físicos y químicos:

Los parámetros físicos son:

- **Sólidos:** los sólidos son impurezas presentes en el agua que no sean gases, ni líquidos. Se clasifican según su tamaño en filtrables o no filtrables. El primer caso se divide a su vez en sedimentable o no sedimentables y el segundo caso en coloides o

disueltos. A continuación se muestra la clasificación de los sólidos y las características de cada categoría.

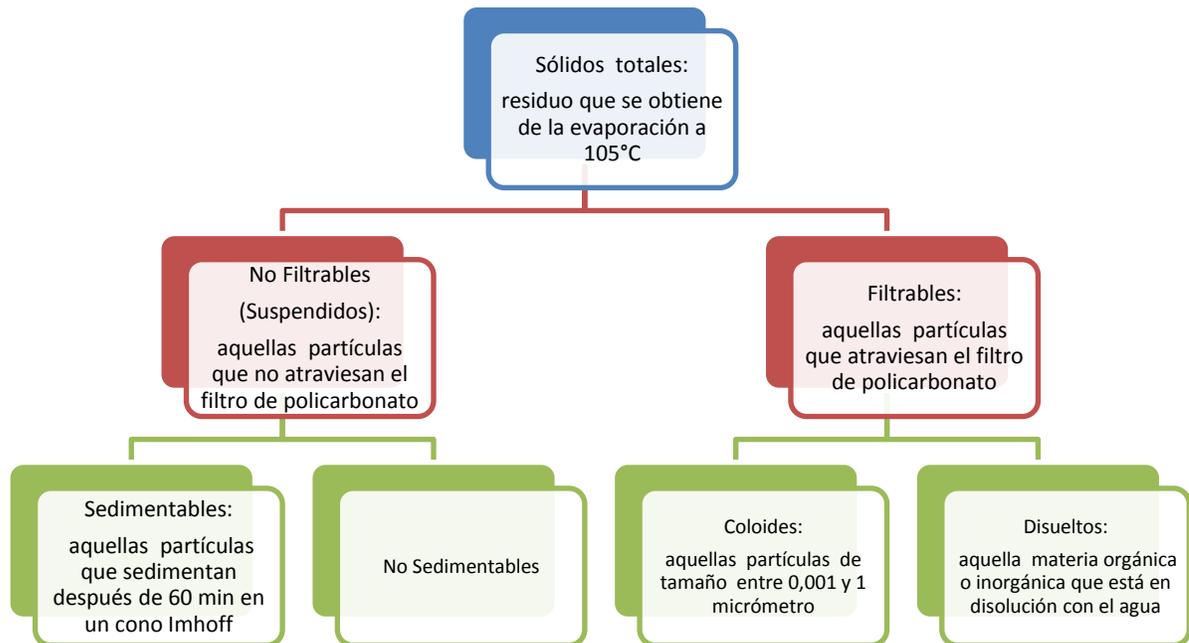


Figura 6: Desglose de los sólidos totales

Fuente: Ingeniería de aguas sanitarias, Metcalf & Eddy, 1996 y Centeno, 2011.

- **Color:** el color del agua residual está directamente relacionado con la presencia de sólidos disueltos, ya sea materia orgánica o algunos residuos industriales. Además el color del agua da una idea de la edad del agua residual, las aguas residuales recientes tienden a tener un color grisáceo y al aumentar el tiempo en el alcantarillado tienden a tener un color gris oscuro hasta negro, en el cual ya se trata de aguas sépticas (Metcalf & Eddy, 1996 y Centeno, 2011).
- **Turbiedad:** se refiere a la resistencia del medio líquido al paso de la luz. Este parámetro está relacionado con los sólidos suspendidos. (Centeno, 2011).
- **Olor:** se debe a los gases liberados durante la descomposición de la materia orgánica y a los compuestos volátiles disueltos. El olor del agua residual reciente es desagradable pero más tolerable que el olor de las aguas sépticas. La problemática de

los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales en poblados. (Metcalf & Eddy, 1996).

- Temperatura: la temperatura de las aguas residuales normalmente es más elevada que la del agua del cuerpo receptor. Esta influye directamente en el desarrollo de la vida acuática, en las reacciones químicas y en los procesos biológicos de los tratamientos de las aguas residuales. Además el oxígeno es menos soluble en agua caliente, lo que implica costos mayores para la aireación en los procesos de tratamiento. (Metcalf & Eddy, 1996 y Centeno, 2011).

Los parámetros químicos son:

- Oxígeno disuelto (OD): es el oxígeno que se encuentra presente en el agua. Este parámetro es de suma importancia para el desarrollo de la flora y fauna acuáticas y para los microorganismos aerobios de los sistemas de tratamiento aerobios. Los peces son incapaces de vivir en aguas con OD menores a 2 mg/L. (Centeno, 2011)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar o estabilizar biológicamente la materia orgánica biodegradable presente en el agua. La prueba se realiza dejando la muestra a una temperatura de 20°C por 5 días. Este parámetro es de gran importancia para el dimensionamiento de las instalaciones de la estructura de tratamiento de aguas residuales, para medir la eficiencia de dichos tratamientos y corroborar que los efluentes cumplan con las normas de vertidos. (Metcalf & Eddy, 1996 y Centeno, 2011)
- Demanda química de oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno equivalente requerido para oxidar la materia orgánica por medio de un químico. Se utiliza para estimar la cantidad de materia orgánica, tanto en aguas naturales como en aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1996).
- Nutrientes: los más importantes son el fósforo y el nitrógeno. Son sustancias nutritivas para plantas y animales, sin embargo, una gran concentración de estas sustancias puede fomentar la eutrofización (aumento desproporcionado de algas) en lagos y lagunas. (Centeno, 2011)
- Coliformes fecales: parámetro microbiológico, es una bacteria que proviene del tracto intestinal humano. Se utiliza para detectar la presencia de organismos patógenos en el agua. Como los organismos patógenos se presentan en cantidades muy pequeñas y

resultan además difíciles de aislar, se utiliza el organismo coliforme como indicador de la presencia de organismos patógenos porque se presentan en cantidades mayores y son más fáciles de identificar. (Metcalf & Eddy, 1996)

- Grasas y aceites: provienen en su mayoría de desperdicios alimenticios tales como carnes, semillas, nueces, lácteos, entre otros. Son inmiscibles con el agua y son un parámetro de la calidad de los vertidos en el alcantarillado sanitario. (Metcalf & Eddy, 1996 y Centeno, 2011)
- Alcalinidad y pH: el primer parámetro consiste en la capacidad del agua para amortiguar un cambio en el pH al agregársele algún tipo de ácido. El segundo parámetro determina si el agua es ácida o básica. Tiene una escala logarítmica, con valores menores a 7, implica que la sustancia es ácida y mayores a 7, implica que la sustancia es básica. El valor de 7 significa que la sustancia es neutra. Es importante controlar estos dos parámetros en los sistemas de tratamiento de aguas residuales con procedimientos biológicos, porque para estos tratamientos se recomienda un pH cercano al 7, neutro. (Centeno, 2011)

Para corroborar que los valores obtenidos sean aceptables o no, se comparan con las normas de vertidos del país, el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, las cuales dan valores recomendados para estos parámetros, así como valores mínimos y máximos.

1.3.10 ANÁLISIS MULTICRITERIO

Finalmente, para seleccionar el método de tratamiento a utilizar en un proyecto, se utiliza el análisis multicriterio. El análisis multicriterio “constituye en un instrumento racional y objetivo tanto para mejorar la comprensión de los procesos de decisión (...) como para ayudar a los centros decisores a abordar la necesaria comparación entre alternativas” (Romero, 1996), por lo tanto, el análisis multicriterio es un proceso en el cual se realizan comparaciones de alternativas de manera objetiva, considerando diferentes atributos, con el fin de tomar una decisión.

El primer paso para el análisis multicriterio es la normalización de las unidades de los distintos atributos a comparar; esto porque una comparación de atributos con diferentes unidades carece de significado. Para normalizar los atributos existen distintos métodos, sin

embargo, el más utilizado es cuando se dividen los valores entre el valor "mejor", ya sea el más bajo o el más alto dependiendo del tipo de atributo.

El segundo paso del análisis multicriterio es el de asignarle pesos a las preferencias del centro decisor o la persona(s) encargadas de decidir, esto se realiza porque los parámetros relevantes pueden tener diferente importancia para el centro decisor. La manera más sencilla de obtener los pesos es solicitando al centro decisor que clasifique los atributos por orden de importancia, seguidamente se obtienen los pesos utilizando las siguientes fórmulas:

$$W_j = \frac{\frac{1}{r_j}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}} \quad (2)$$

$$W_j = \frac{(n-r_j+1)}{\sum_{i=1}^n (n-r_i+1)} \quad (3)$$

Donde r_j es el lugar que ocupa el criterio j -ésimo en la clasificación establecida por el centro decisor. Con este enfoque se tiene en cuenta cuál criterio i -ésimo es preferido al criterio j -ésimo, se pueden comparar los atributos y tomar una decisión.

1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 ALCANCE

Los alcances de este proyecto son:

- El diagnóstico de la planta de tratamiento y del alcantarillado sanitario actual abarca un análisis de los parámetros de calidad facilitados por el Laboratorio Nacional de Aguas y un análisis cualitativo del estado de las instalaciones.
- El diseño del alcantarillado sanitario nuevo consistirá en un dimensionamiento preliminar del colector final y de algunos colectores principales.
- La propuesta de un nuevo sistema de tratamiento consistirá en la comparación entre varias tecnologías y la escogencia de uno.
- No se realizará el diseño del sistema de tratamiento propuesto.
- Las proyecciones de población se realizarán para un período de diseño de 20 años.

- Delimitar el área de estudio
- Se considera mayoritariamente aguas residuales domésticas

1.4.2 LIMITACIONES

La importancia de establecer, desde un inicio del proyecto, cuáles son las limitaciones que tiene este, radica en poder delimitar adecuadamente su alcance, así como detectar posibles dificultades durante la elaboración del proyecto. Las limitaciones de este proyecto fueron:

- La topografía facilitada de la zona.
- Realización de nuevas pruebas a la calidad del agua por el laboratorio del AyA.
- Los planos del alcantarillado desactualizados.
- La sustitución del sistema de tratamiento se debió proyectar en el terreno con el que cuenta el AyA.
- El presupuesto es solamente preliminar.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología a seguir para la elaboración del proyecto propuesto se muestra en la figura 7.

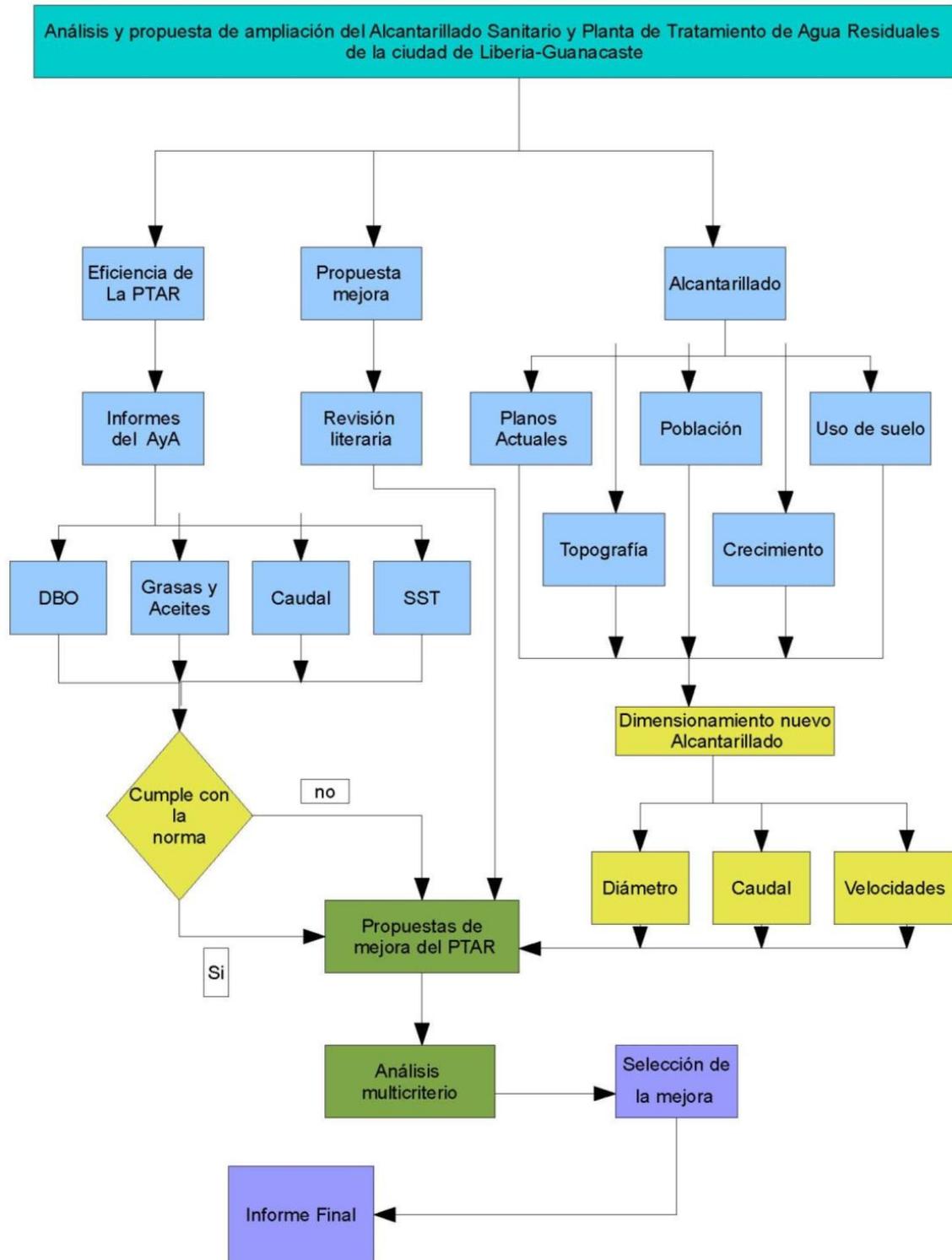


Figura 7: Metodología
Fuente: Autor, 2011

La metodología se divide en tres fases. La primera consiste en la recopilación de información, la segunda en el dimensionamiento de la nueva red de colectores principales del alcantarillado y la comprobación del cumplimiento de la PTAR actual con las normas de vertidos del país, la tercera fase en el estudio y análisis de las tres propuestas de mejora para la planta y la escogencia de una.

Fase 1: Recopilación de información

En la primera fase se recopila información tanto de fuentes secundarias como de fuentes primarias. Esta fase se subdivide en tres: 1) información para el análisis de la calidad de la PTAR, 2) información para el aumento en la cobertura de la red de alcantarillado sanitario e 3) información para propuestas de mejoras de la PTAR.

Para la primera parte, se utilizan los informes trimestrales del LNA, que cuenta con información sobre:

- Demandan Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Grasas y Aceites
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Temperatura
- Coliformes fecales
- Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)
- Potencial de hidrógeno (pH)

Para la segunda parte, se investiga en las instituciones pertinentes sobre información como: la población de la ciudad de Liberia, el uso de suelo, el crecimiento de la población. Además se utilizan los planos actuales de la red de alcantarillado y la topografía existente en el AyA. Toda esta recopilación de información es necesaria para la proyección de las zonas futuras de mayor densidad de construcción y así que la nueva red de alcantarillado abarque dichas zonas.

Por último, en esta fase, se recopila información sobre métodos para mejorar la capacidad de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Fase 2: Dimensionamiento de la nueva red de alcantarillado y análisis de la capacidad de la PTAR

En esta segunda fase se analiza toda la información recopilada anteriormente.

Con la información de crecimiento poblacional así como de la cobertura actual, se determina la nueva extensión de la red de alcantarillado sanitario. Una vez establecida esta nueva cobertura, se dimensiona la red de colectores principales del alcantarillado, se calculan los diámetros de la tubería, las pendientes y los caudales que transportará.

También se analizan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en campo por el LNA, con el fin de caracterizar el funcionamiento de la planta de tratamiento, así como caracterizar la calidad del efluente para comprobar si cumple con las normas de vertidos del país o no.

Fase 3: Selección de la propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

En la primera fase se recopila la información suficiente para proponer tres métodos de mejora. En esta fase se realiza una descripción de funcionamiento de cada método y se realiza un análisis multicriterio. Estos parámetros se comparan para escoger la opción óptima.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE LIBERIA-GUANACASTE

CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DE LA CIUDAD DE LIBERIA-GUANACASTE

2. 1 RESEÑA HISTÓRICA

La zona del cantón de Liberia, en la época precolombina, estaba habitada por los indígenas Chorotega, cuyos territorios abarcaban desde el Golfo de Nicoya hasta Nicaragua. (Municipalidad de Liberia, 2012)

El área fue descubierta por don Gil González Dávila en el año 1522 en su viaje para conquistar los dominios del cacique Nicarao, lo que se conoce hoy como Nicaragua.

Durante el siglo XVII se comenzaron a establecer las primeras haciendas en el valle del Río Tempisque, debido a la gran importancia de estos terrenos para las actividades de ganadería. Asimismo, durante el año 1751 comenzó a crearse el primer poblado en la intersección entre los caminos que conducían a Rivas desde Bagaces y Nicoya, el cual recibió el nombre de El Guanacaste, lo cual después recibiría el nombre de Liberia. Este poblado se fue creando gracias al incipiente comercio que se estaba dando en la zona. (Municipalidad de Liberia, 2012)

En el año 1821 se declaró la independencia de Centroamérica y Nicaragua comenzó a ejercer influencia sobre los nicoyanos, sin embargo, a causa de los problemas internos de esa Nación, se realizó un cabildo abierto en donde se declaró el deseo de Nicoya de anexarse a Costa Rica, en el año 1824 Nicoya pasó a ser parte del Estado de Costa Rica. (Municipalidad de Liberia, 2012)

Durante el año 1831, bajo la administración de Juan Mora Fernández, se le otorgó el título de Villa al pueblo de El Guanacaste. Además en 1836 don Braulio Carrillo Colina le confiere a la villa, el nombre de Ciudad.

Posteriormente, en el año 1848 la ciudad El Guanacaste pasó a ser el cantón primero de la provincia de Guanacaste, finalmente en el año 1854 se convirtió en la cabecera de la provincia de Guanacaste y recibió el nombre de Liberia.

2.2 UBICACIÓN

El cantón de Liberia se ubica en la provincia de Guanacaste, en las coordenadas geográficas $10^{\circ}41'38''$ latitud norte y $85^{\circ}29'40''$ longitud oeste; en las hojas cartográficas 058 Monteverde, 054 Curubandé y 004 Ahogados. Está conformado por los distritos de: Liberia, Cañas Dulces, Nacascolo, Curubandé y Mayorga. Tiene un área total de $1\,442,34\text{ km}^2$ y limita al norte con el cantón de La Cruz, al sur-este con el cantón de Bagaces, al sur-oeste con el cantón de Carrillo, al este con el cantón de Upala y al oeste con el Golfo de Papagayo. El centro urbano del distrito de Liberia se encuentra a una altura de 144 m.s.n.m. A continuación se muestra una figura con la ubicación del distrito de Liberia.

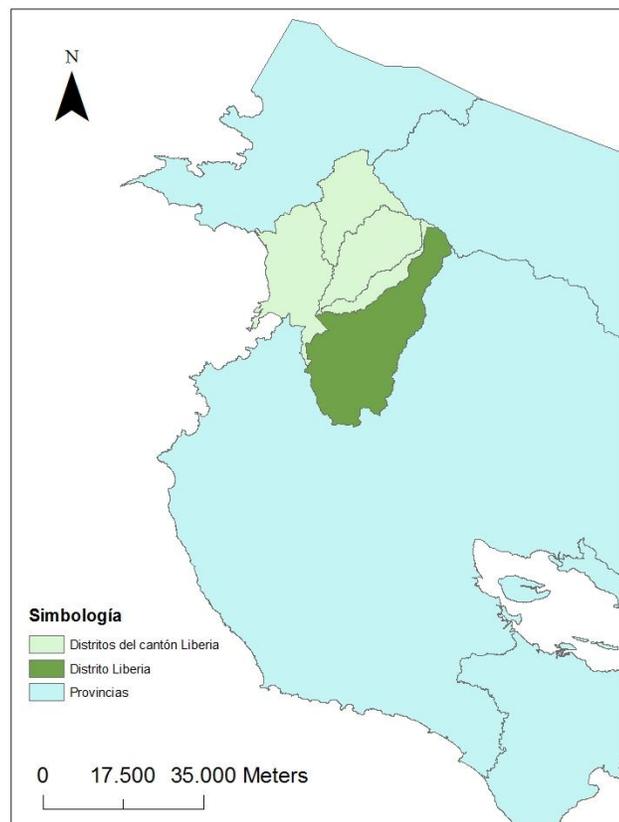


Figura 8: Ubicación del distrito de Liberia.

Fuente: Autor, 2011.

2.3 CLIMA

Según los climogramas del Atlas del Instituto Meteorológico Nacional del año 2009, la zona de Liberia se caracteriza por tener cinco meses de nula o poca precipitación y siete meses de precipitación mayor a los 100 mm de lluvia. Los meses de época seca comprenden entonces de diciembre a abril, mientras que los meses época lluviosa serán de mayo a noviembre, siendo setiembre el mes de mayor precipitación con cerca de 350 mm de lluvia.

Igualmente, utilizando los climogramas se tiene que las temperaturas medias en la zona varían entre los 26°C y los 30°C. La temperatura media máxima se da en el mes de abril.

Se presenta a continuación el climograma de Liberia, cuyos datos fueron tomados en la estación del aeropuerto internacional Daniel Oduber:

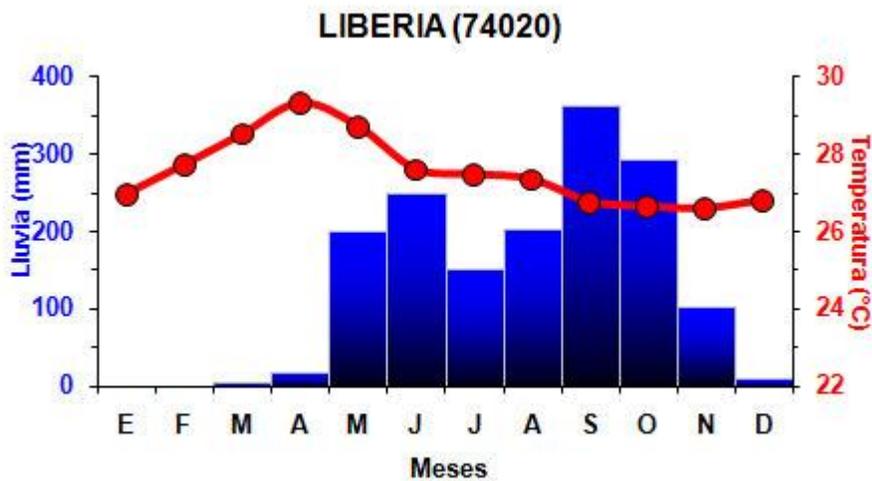


Figura 9: Climograma de Liberia

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal de Liberia vigente (2008-2012) para el cantón de Liberia, se tiene que la temperatura mínima diaria es de 20.6 °C en el mes de enero y la máxima de 36°C en el mes de abril. Por otro lado, mientras que en los meses de febrero y marzo no hay un día con precipitación, y en el mes de setiembre hay 28 días con precipitación. A continuación se presenta una figura resumen:

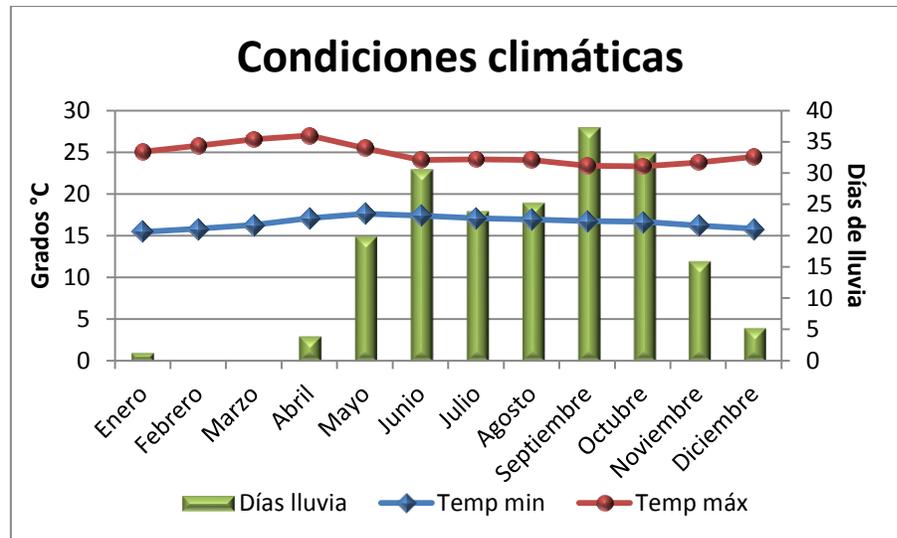


Figura 10: Resumen de temperaturas y precipitaciones mensuales
Fuente: Datos del Plan de Desarrollo del cantón de Liberia (2008-2012)

Con respecto al brillo solar y a la evapotranspiración en esta zona se presentan las siguientes figuras:

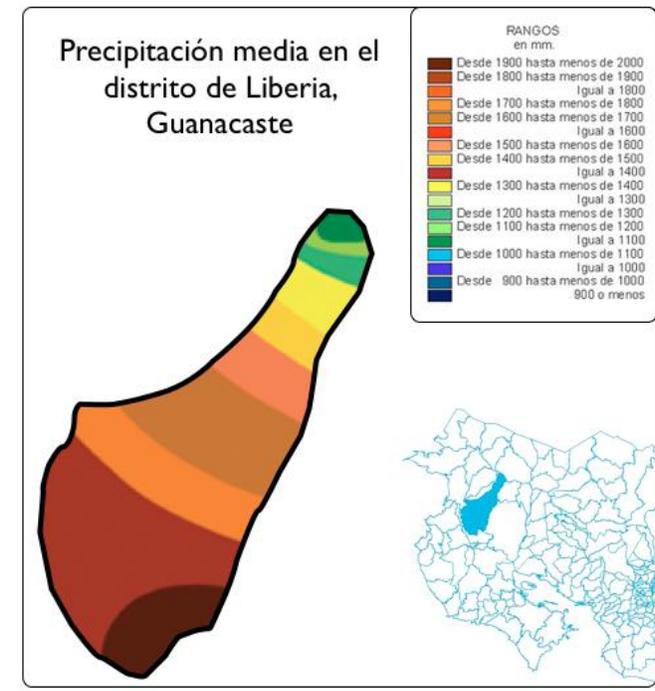


Figura 11: Evapotranspiración
Fuente: Atlas climatológico del IMGN del 2008, adaptado por Autor, 2011

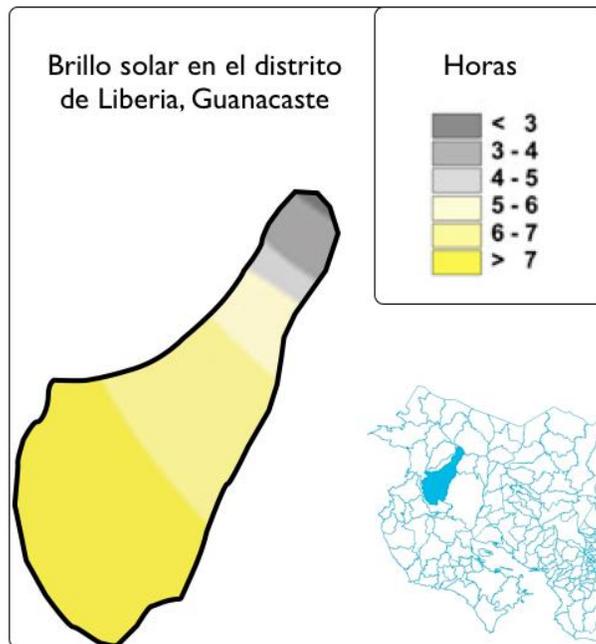


Figura 12: Brillo Sola

Fuente: Atlas climatológico del IMGN del 2008, adaptado por Autor, 2011

2.4 GEOLOGÍA

Según el artículo de Percy Denver & Olman Arias, Geología del Norte de la Península de Nicoya, Costa Rica; el cantón de Liberia está conformado geológicamente por materiales de los períodos Cretácico, Terciario y Cuaternario; sin embargo, las rocas volcánicas del Cuaternario son las que predominan en la región.

De manera general, del período Cretácico se encuentran rocas de origen sedimentario y volcánicas. Las primeras se encuentran en las cercanías de cerro Cabuyal, las rocas volcánicas están agrupadas con el nombre de Complejo de Nicoya y se ubican en pequeños sectores al oeste del cantón, próximo al litoral.

Del período Terciario se observan rocas, igualmente de origen sedimentario y volcánico. Las rocas de origen volcánico se encuentran bajo el nombre de Grupo Aguacate, conformada por andesita y basalto, y se ubican en una franja del sector noroeste a sureste, desde el cerro Casa Teja hasta las nacientes del río Liberia. Las rocas de origen sedimentario son de las épocas del Eoceno, Paleoceno y Mioceno. De la primera época se

obtiene la Formación de Brito ubicada al noroeste de la región, por el Parque Nacional Santa Rosa y del Mioceno, se cuenta con la formación de Montezuma localizada en la ladera sur del cerro Cambuyal.

Del período Cuaternario se observan igualmente rocas sedimentarias y volcánicas. Las rocas volcánicas son de las épocas del Pleistoceno y Holoceno y de estas se desprenden las formaciones Bagaces y Liberia. La primera se llama Toba gris, está conformada por tobas e ignimbritas de composición dacítica y se localizan en la zona al sureste del Parque Nacional Santa Rosa, el cerro Carbonal, los sitios El Muerto y Las Burras. La Formación Liberia se conoce como Toba Blanca, está compuesta por ignimbritas, arcilla, arena gruesa con fragmentos de cuarzo, mica y material piroclástico; se ubica en el sector aledaño a la carretera Interamericana entre el poblado Irigaya y la Hacienda Pelón de Altura y el límite este del cantón. En la figura 13 se muestra la geología de la zona.

2.5 HIDROLOGÍA

El cantón de Liberia se ubica en la Vertiente del Pacífico y en la cuenca del río Tempisque. El río Tempisque se forma por la unión de los ríos Tempisquito y Los Ahogados, los cuales nacen en las faldas de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, principalmente de los volcanes Rincón de la Vieja y Orosi. La cuenca presenta también otros principales afluentes: río Liberia, el Salto, Colorado, Quebrada Grande y Quebrada Los Piches (Plan de Desarrollo de Liberia, 2008). En la figura 14 se presentan los principales afluentes de la cuenca.

Además, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), mencionado en el Plan de Desarrollo Actual de Liberia, el cantón cuenta con siete microcuencas especiales que se presentan a continuación

Cuadro 7: Principales microcuencas

Microcuencas	Extensión (Ha)
Quebrada Grande	2025
Agua Fría	15
Río Liberia	5000
Quebrada Cacao	5000
La Nagua Negra	600
Santa Inés	1000

Fuente: Plan de Desarrollo del cantón de Liberia (2008-2012)

Figura 13:

Mapa N°1: Geología Guanacaste, Costa Rica

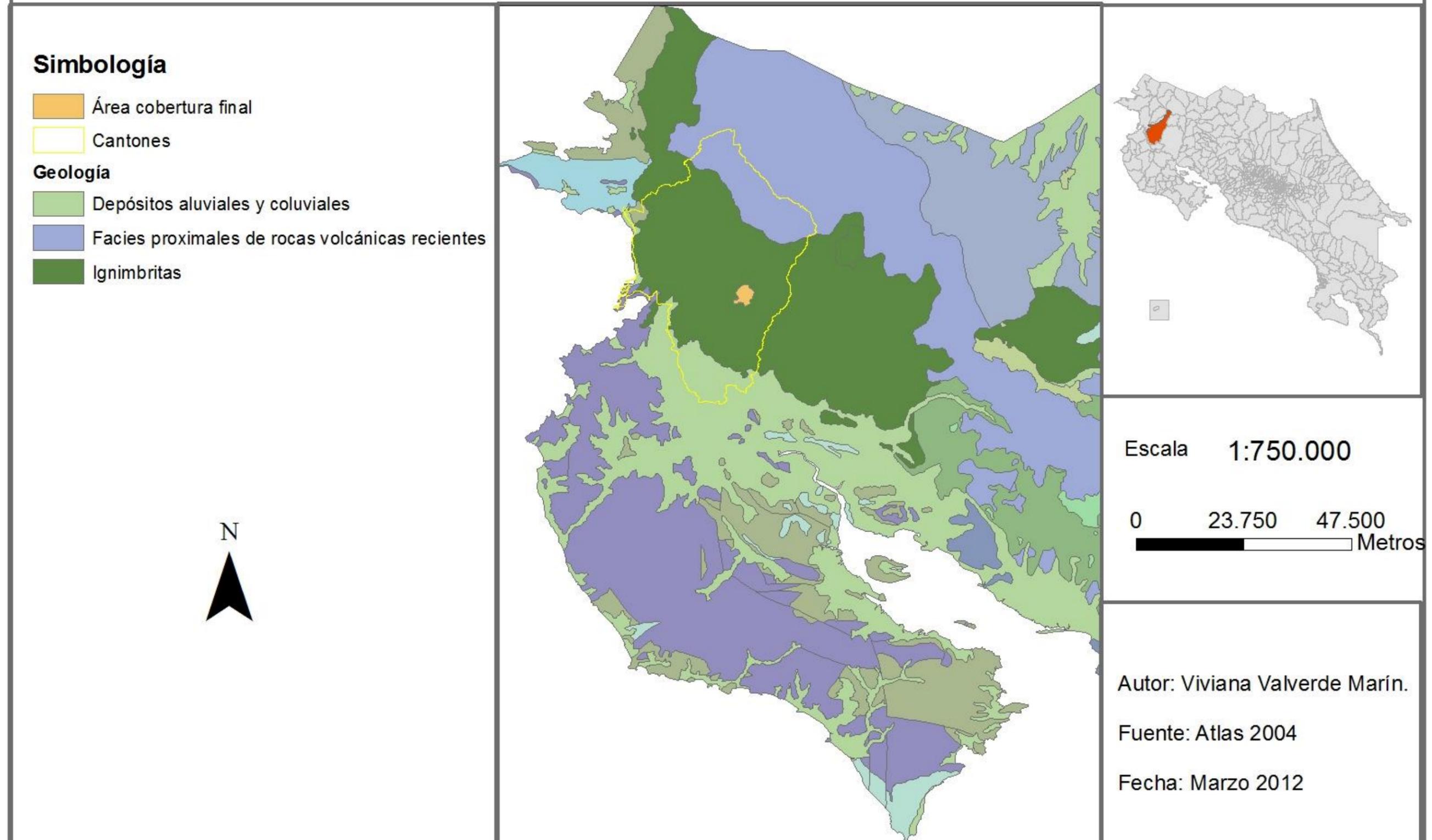
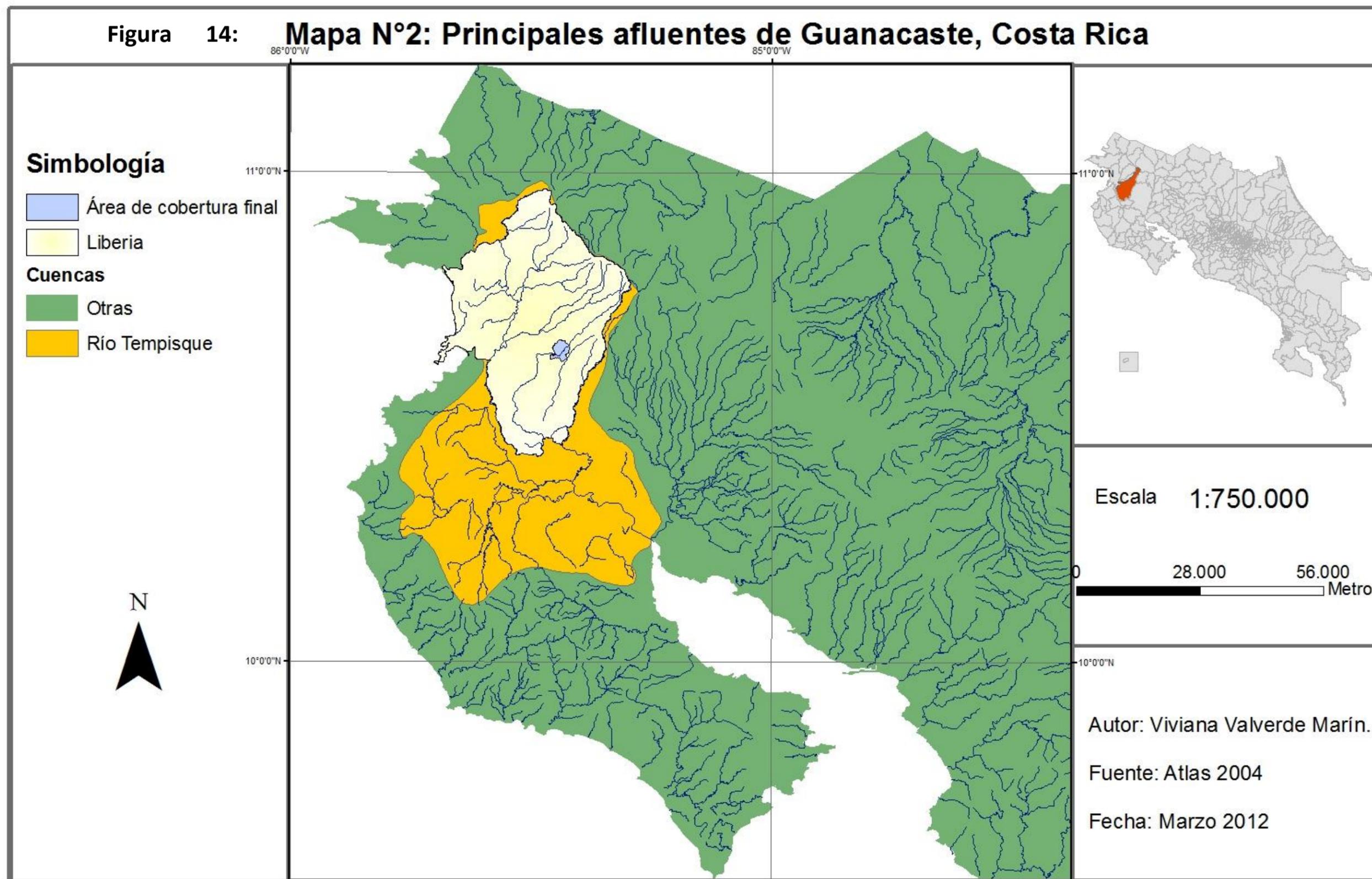


Figura 14: Mapa N°2: Principales afluentes de Guanacaste, Costa Rica



2.6 HIDROGEOLOGÍA

Para caracterizar la hidrogeología de la zona, se utilizó la información del Plan de abastecimiento de agua para Guanacaste, generado en julio del 2008 por instituciones tales como: AyA, MINAE, ICE, SENARA.

En la elaboración de dicho Plan, se utilizó el mapa de estudios realizados por SENARA, zona pacífica, en el cual se ubican los acuíferos existentes de la zona. Según este mapa, en la ciudad de Liberia se localizan dos acuíferos: el de Liberia y el de Bagaces. A continuación se presenta dicho mapa.

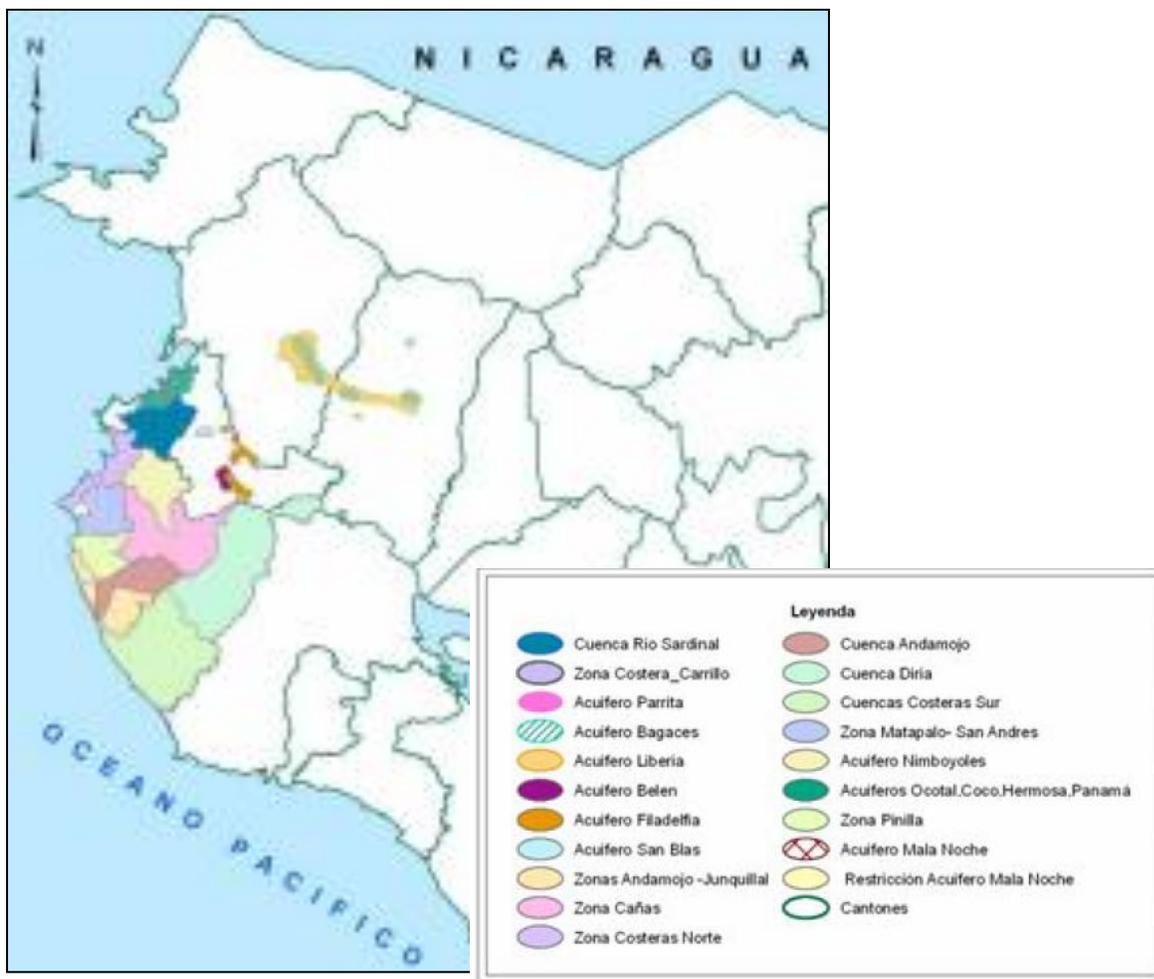


Figura 15: Extracto del Mapa de Estudios realizados por SENARA, zona pacífica.

Fuente: Plan de abastecimiento de agua para Guanacaste, generado en julio del 2008

El acuífero de Bagaces se caracteriza por estar constituido geológicamente por tres unidades: Bagaces superior con tobas aglutinadas, soldadas y material heterogéneo; Bagaces medio con ignimbritas, lavas y tobas aglutinadas; y Bagaces inferior con sedimentos lacustres y fluviolacustres, (Losilla, et al, 2001).

El movimiento del flujo en el acuífero es de NE a SO, descargando en el río Tempisque y en los acuíferos de Tempisque, Liberia, El Salto, Ahogados, Colorado, entre otros. La recarga de este acuífero se da por infiltración directa de lluvia y posiblemente el área de la cordillera es la principal zona de recarga. (Losilla, et al, 2001).

Este acuífero es el más rico de la zona, con un caudal de extracción por medio de pozos, para ese momento de 295 l/s. Abarca un área de 1 300 km², se ubica debajo de las ciudades de Liberia, Cañas, Bagaces y La Cruz y su producción es utilizada para abastecimiento público, riego y agropecuario, (Plan de Abastecimiento de Agua para Guanacaste, 2008).

El acuífero de Liberia está conformado por tobas de aspecto granular, en una matriz arcillosa de cenizas, los principales componentes son cuarzo, biotita, fragmentos líticos de la formación Bagaces y el cemento. (Losilla, et al, 2001).

El acuífero de Liberia se caracteriza por tener una muy baja permeabilidad a causa de la cantidad de material arcilloso que se encuentra en el acuífero. Este material areno-arcilloso absorbe de manera muy lenta el agua, por lo que se da una infiltración muy lenta y esta depende de la duración de la lluvia y no tanto de su intensidad. (Losilla, et al, 2001).

Este acuífero presenta una extensión de 430 km² y tiene una topografía muy plana, es de muy baja producción y se caracteriza por cargarse con las últimas lluvias de la época lluviosa. La descarga de dicho acuífero se da drenando hacia los causes de los ríos, infiltración vertical hacia el acuífero Bagaces y descarga por extracción de pozos. Sus caudales máximos de pozos no superan 6 l/s. (Losilla, et al, 2001).

Se dividen las zonas en 6:

- Zona Residencial (Z-R): se permiten todos los usos urbanos y se excluyen industrias, talleres, bodegas, aserraderos. Existen tres tipos de lote: R-155: Superficie mínima de lote 155 m², cobertura de edificación máxima de 60%, R-280: Superficie mínima de lote 420 m², cobertura de edificación 60%, R-420: Superficie mínima de lote 420 m², cobertura de edificación 40%; para todos los tipos de lotes la altura máxima es de 10 m.
- Zona Comercio Central (Z-CC): área comercial de mayor intensidad de uso en la ciudad. Se aceptan viviendas en un segundo piso y se excluyen los usos industriales. La superficie mínima de lote para máximo dos pisos es de 140 m² y para mayores a 2 pisos 280 m². Cobertura del edificio de un 80% y altura máxima no es mayor a 20 m o 5 pisos.
- Zona de usos Públicos (Z(Z-UP)): áreas para uso público, las cuáles fomentan actividades culturales, educativas y recreativas y para oficinas administrativas.
- Zona Industrial (Z-I): se permiten industrias que cuenten con el permiso de la Municipalidad, el Ministerio de Salud y la Dirección de Urbanismo. Se prohíbe la construcción de residenciales. El lote mínimo es de 600 m², la cobertura máxima de 60%
- Zona Rural (Z-RU): área para intensificar el uso agrícola, pecuario y forestal. Se permite la construcción de comercio y servicio minorista, granjas; se prohíbe la construcción de residenciales.
- Zona de Control Especial (Z-CE): área para preservar y proteger la zona alrededor de la Iglesia de la Agonía. Todas las construcciones alrededor deben llevar fachada con el estilo arquitectónico de la Iglesia y la altura máxima es de 6 m o 2 pisos.

- Comercio Especial (Co-E): dentro de los usos permitidos están estaciones de gasolina, venta por menor de materiales de construcción, hoteles, restaurantes, boutiques, servicios de tipo turístico. No se permite la construcción de viviendas.

2.8 CARACTERIZACIÓN POBLACIONAL

Para la caracterización poblacional, se clasificará desde el punto de vista de: edad, sexo, población económicamente activa y principales actividades económicas. Todos los datos presentados a continuación se toman del Plan de Desarrollo Municipal del cantón de Liberia para los años 2008-2012.

Para el año 2007, el Instituto Nacional de Estadística y Censo había proyectado una población de 54 813 habitantes en el cantón de Liberia, de los cuales el 84.46% vivían en el distrito primero (Liberia). La población total del cantón, acorde a los datos de la dirección actuarial de la CCSS para el año 2006, según la edad se divide en:

Cuadro 8: Caracterización poblacional según edades

Edad (años)	Porcentaje
0-14	28.80%
15-64	65.57%
≥ 65	5.6%

Fuente: Datos de la CCSS tomados del Plan de Desarrollo Municipal del cantón de Liberia (2008-2012)

Además la población por sexo para el año 2007 se divide en lo siguiente, según el Instituto de Estadísticas y Censos:

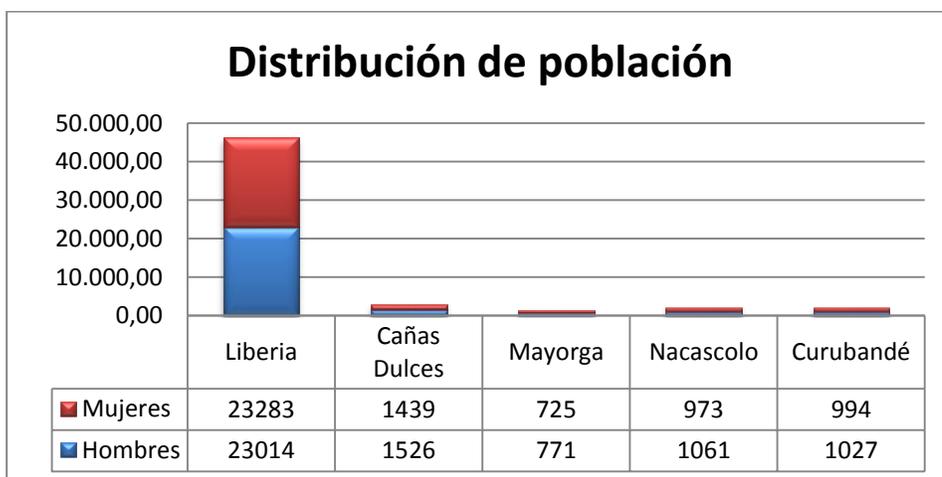


Figura 17: Caracterización poblacional según sexo

Fuente: Datos del INEC tomados del Plan de Desarrollo Municipal del cantón de Liberia (2008-2012)

Del cuadro anterior se observa que el distrito de Liberia está conformado por 50,29% mujeres y 49,70% hombres.

Por otro lado, se tiene que para el 2006 la población económicamente activa (PEA) era de 22 287 personas. De los 12 121 trabajadores que se les conoce la actividad, las principales actividades ocupacionales son: hotelería y restaurantes, actividad ignorada, administración pública, agricultura y ganadería y caza y silvicultura, industrias manufactureras, comercio, construcción, inmobiliarias, pesca, transporte, otras actividades de servicio, enseñanza, hogares privados con servicio doméstico, servicios sociales, electricidad y gas y agua, intermediación financiera y explotación minas y canteras. A continuación se presenta el desglose de las actividades ocupacionales del cantón, según el Plan de Desarrollo Municipal de Liberia, 2008:



Figura 18: Trabajadores reportados por actividades ocupacionales. Año 2006

Fuente: Datos de la CCSS tomados del Plan de Desarrollo Municipal del cantón de Liberia (2008-2012)

2.9 ESTRUCTURA SOCIECONÓMICA

2.9.1 SALUD

El área de salud está integrada por nueve EBAIS, los cuales atienden a diversas comunidades. A continuación se presenta los nombres de los EBAIS:

- Corazón de Jesús
- Nazareth
- San Roque
- Moracia

- Condega
- La Victoria
- Guadalupe
- Guardia
- Los Ángeles

Entre los nueve EBAIS, se trata a un total de 51 244 habitantes, para el 2007, según datos del Área de Salud.

Asimismo, según el Plan de Desarrollo Municipal del cantón de Liberia, para junio del 2006 había 12 121 trabajadores activos con seguro de salud directo, de los cuales 7345 trabajan para la empresa privada, 2336 en gobierno central, 1787 por cuenta propia y 555 en instituciones autónomas. A continuación se presenta el desglose:



Figura 19: Asegurados activos directos

Fuente: Datos de la CCSS, año 2006. Tomados del Plan de Desarrollo Municipal del cantón de Liberia

Entre las principales enfermedades de la zona, según la Oficina de Vigilancia Epidemiológica de Liberia, Ministerio de Salud, se encuentran: las infecciones respiratorias agudas (IRAS), las enfermedades diarreicas, los accidentes laborales, el dengue clásico, el hemorrágico, los accidentes de tránsito, los casos de hipertensión, diabetes y los casos por violencia doméstica. Se debe mencionar también que durante el 2006 no se reportaron casos de Shigellosis, infección en los intestinos que provoca diarrea, fiebre, náuseas o vomitos; sin embargo, hasta octubre del 2007 hubo siete casos.

Con respecto a la natalidad y la mortalidad, en el 2006 se dieron 1270 nacimientos, de estos 53,07% fueron hombres y el 17,48% fueron de madres solteras. Por otro lado, en el 2006, el 63,98% de las muertes eran hombres, las principales causas fueron enfermedades cardiovasculares, tumores malignos y enfermedades respiratorias crónicas. Se tiene además que la zona presenta un índice de mortalidad infantil de 14.17

2.9.2 EDUCACIÓN

Para el año 2007, el cantón contaba con:

Cuadro 9: Centros educativos en la zona

Tipo de centro educativo	Cantidad total	Privados	Especiales
Preescolar	4	2	
Primaria	37	2	1
Secundaria	11	3	
Universidad	3	1	

Fuente: Datos tomados del Plan de Desarrollo Municipal del cantón de Liberia

Algunos de los colegios son:

- Colegio Santa Ana
- Colegio Científico Costarricense
- Colegio de Guardia
- Colegio Técnico Profesional Agropecuario
- Liceo Laboratorio de Liberia

Algunas universidades son:

- Universidad de Costa Rica
- Universidad Nacional
- Universidad de San José

En el 2007 la matrícula total fue de 22 489 estudiantes, de los cuales el 50.49% fueron hombres.

2.9.3 TELECOMUNICACIONES

Con respecto a las telecomunicaciones existen mayormente tres empresas encargadas.

Para las líneas telefónicas, la institución encargada es el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Del internet se encarga la empresa Cabletica y el ICE. Últimamente la empresa AMNET ha ingresado en el mercado como proveedor del servicio.

El servicio de televisión ha sido facilitado los últimos años por la empresa Cabletica, sin embargo, en los últimos meses la empresa AMNET ha ingresado como nuevo proveedor del servicio.

2.9.4 VÍAS DE COMUNICACIÓN

Uno de los beneficios de la ubicación de este cantón, es que existen varias rutas de acceso.

Las dos rutas principales hacia Liberia desde San José son: la Interamericana Norte (Ruta 1), la ruta 27 hasta Puntarenas donde se toma la Interamericana Norte. A continuación se presenta la ruta más utilizada (Ruta 1) para llegar a Liberia.

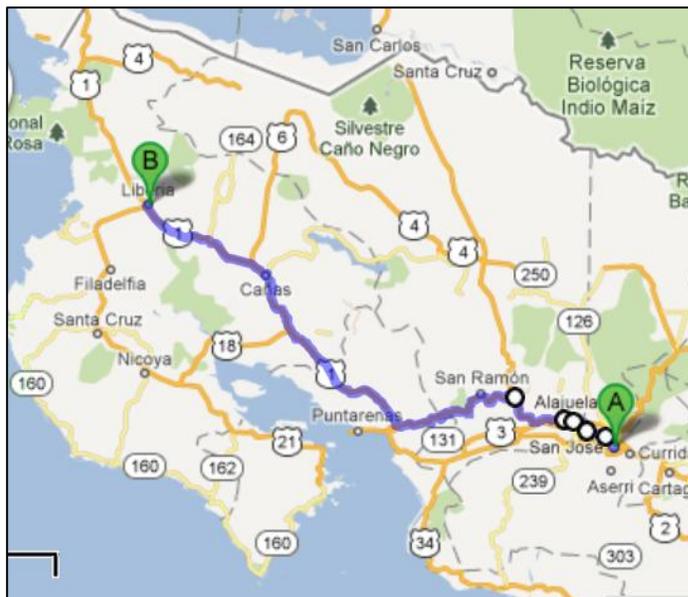


Figura 20: Ruta más utilizada para trasladarse de San José a Liberia, Guanacaste
Fuente: Autor, 2011 adaptado de Google Maps.

2.10 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

El sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Liberia, que está a cargo del AyA, abarca toda el área urbana del distrito de Liberia, y le ofrecía el servicio a un 92,5% de la población para el año 2005, según un estudio realizado en el año 2011 por el AyA.

El acueducto actual cuenta con siete pozos, distribuidos en todo el distrito, una planta de tratamiento para tratar el agua de la toma y dos tanques de almacenamiento metálicos de 1000 m³ y 2700 m³. A continuación se presenta un esquema del acueducto actual de Liberia.

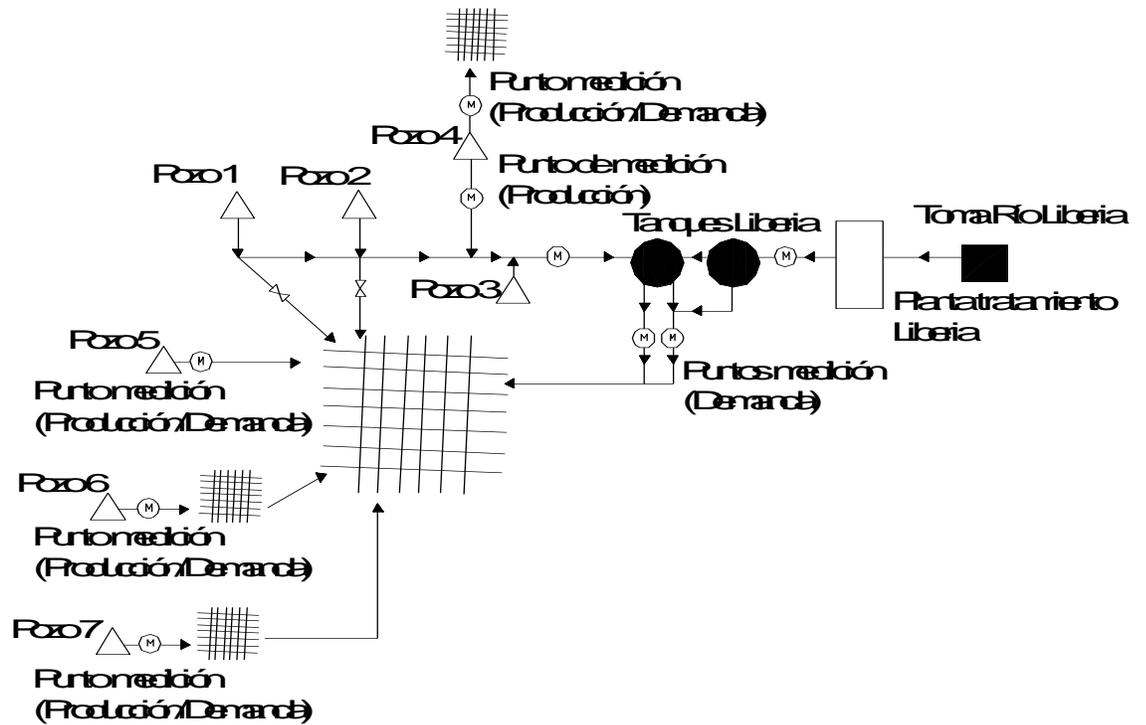


Figura 21: Esquema de acueducto actual de Liberia
Fuente: Mejoras acueducto de Liberia, BCIE, AyA 2011

Los pozos 1,2 y 3 se ubican en San Roque, el 4 en Nazareth y el quinto en Capulín. La capacidad nominal de las fuentes ronda los 23,2 l/s y la planta potabilizadora tiene una capacidad nominal de 100 l/s. A continuación se presenta un cuadro con la descripción

Cuadro 10: Caudal disponible

Nombre	Caudal (L/s)
San Roque 1	23,2
San Roque 2	23,2
San Roque 3	23,2
Nazareth	23,2
Capulín	23,2
Planta	100
Total	216

Fuente: Mejoras acueducto de Liberia, BCIE, AyA 2011

La planta de tratamiento consiste en una Planta de Filtros Rápidos que incluye los procesos de: mezcla rápida, floculación, sedimentación laminar, filtración en medio mixto compuesto por antracita, arena y grava. La desinfección se realiza utilizando cloro gaseoso.

La red de agua potable está compuesta por los siguientes materiales: PVC, hierro dúctil, algunos tramos viejos de hierro galvanizado y diámetros de 300 mm hasta 50 mm con algunos ramales de 37 mm en tuberías viejas y de hierro galvanizado. La red requiere la sustitución de algunos tramos de tuberías que están en mal estado y unos que tienen diámetros insuficientes.

En términos generales, la producción cubre la demanda actual, aunque hay limitaciones para otorgar disponibilidad de agua para nuevos desarrollos urbanísticos de vivienda. En el mediano plazo se plantea la ejecución de un proyecto para aprovechar la producción de dos pozos adicionales, optimizar la red mediante la sectorización por zonas de presión y el aumento en el almacenamiento. Esta opción se está analizando en vista de que con el esquema actual, no se puede atender el incremento de la demanda de los próximos años.

La calidad del agua desde hace muchos años se cataloga potable, de acuerdo con las normas nacionales para agua potable.

2.11 DISPOSICIÓN RESIDUOS SÓLIDOS

La disposición de los residuos sólidos está a cargo de la Municipalidad de Liberia y se recogen dos veces a la semana, los días lunes y jueves. Tiene una cobertura de apenas el 6% de la población. (Entrevistas)

Según el Plan de Residuos Sólidos: Diagnóstico y áreas prioritarias Marzo 2007, realizado por Cegesti, Ambero y IPConsult, la municipalidad deposita sus desechos en el "Relleno Sanitario" ubicado en Carrillo. Sin embargo, desde el 2007 se está promoviendo rescatar un sitio para utilizarse como relleno sanitario de Liberia, por medio de un financiamiento con IFAM.

CAPÍTULO III:
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE MANEJO DE AGUAS
RESIDUALES

CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED ALCANTARILLADO SANITARIO ACTUAL

3.1.1 COBERTURA ACTUAL

El alcantarillado sanitario que existe actualmente en Liberia fue construido en el año 1973 y se diseñó para abastecer al sector central de la ciudad, el cual era el más densamente poblado (Céspedes, 1983).

Actualmente, el alcantarillado sanitario cuenta con 29,676 km de longitud y abarca un área de 158 Ha. En la figura 22 se muestra la ubicación del alcantarillado sanitario actual y el área que abarca.

La ciudad de Liberia se ha extendido sin que paralelamente se ampliara el alcantarillado sanitario, lo que implica que solamente el 23% de los servicios de agua potable cuentan también con alcantarillado sanitario, por lo que se ha vuelto necesaria la ampliación en el área de cobertura de dicho alcantarillado.

Para determinar la nueva área de cobertura se contemplan tres áreas:

- El área del alcantarillado actual, el cual en la figura 23 está representado por las líneas rojas.
- El área determinada por el AyA, la cual establece que en dicha zona no se puede utilizar tanques sépticos y drenajes como tratamiento y disposición de aguas residuales, porque debajo se encuentran dos acuíferos importantes como lo son el de Liberia y Bagaces. Por lo tanto, en esta área se debe utilizar alcantarillado sanitario y está representada en la figura 23 por la zona entre el borde de color morado.
- El área hacia donde se proyecta que se expandirá la ciudad dentro de los próximos 20 años. Esta proyección se obtiene de información proporcionada por el AyA la cual indica las solicitudes de nuevos servicios que se han realizado en los últimos 3 años, están representados en la figura 23 por los puntos de color negro con verde.

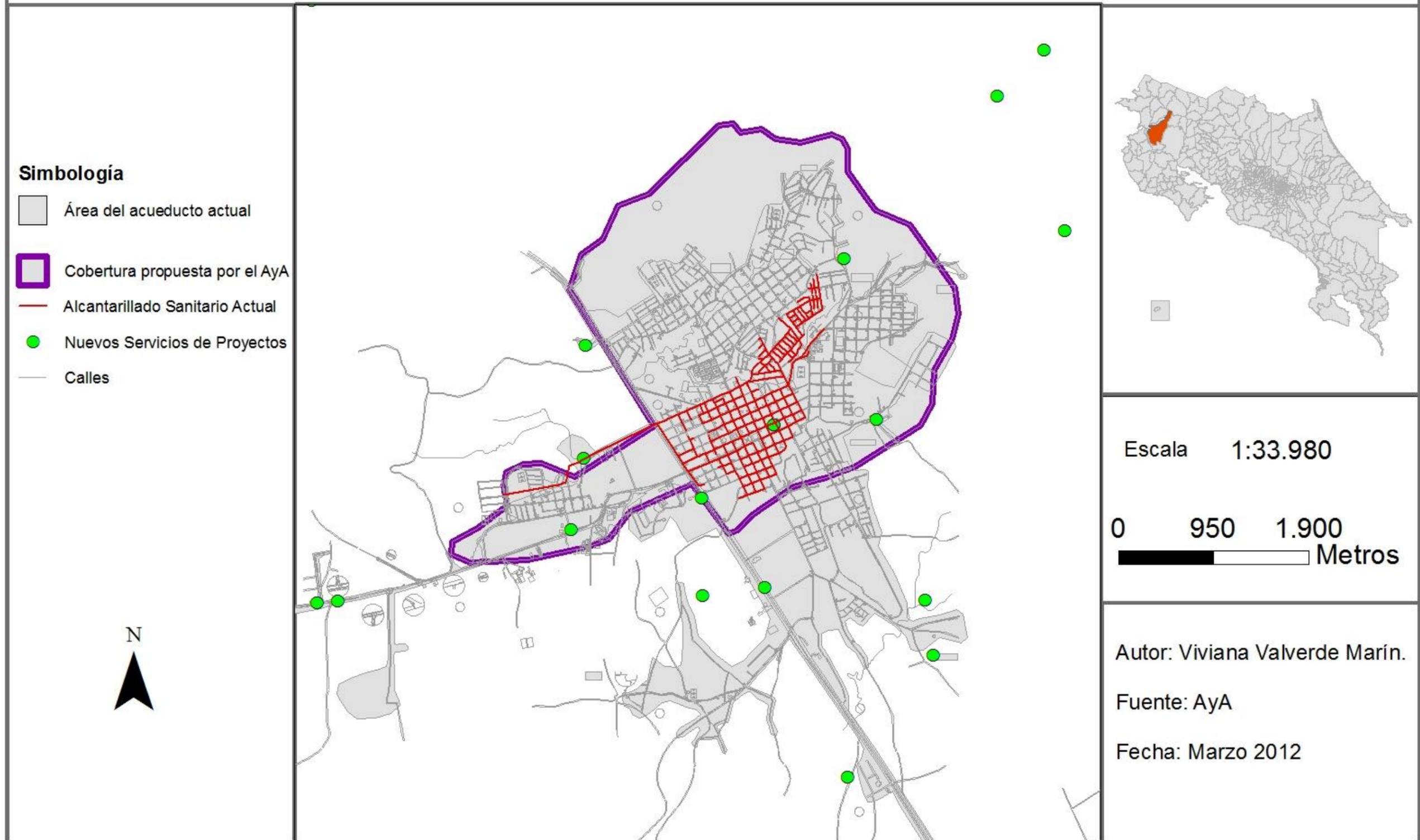
En la figura 23 se muestran las tres áreas de cobertura.

Figura 22: Mapa N°3: Alcantarillado sanitario actual de Liberia, Costa Rica



Figura 23:

Mapa N°4: Propuestas de áreas de cobertura del alcantarillado sanitario de Liberia, Costa Rica



En la figura anterior se observan dos áreas, una morada y otra gris, el alcantarillado sanitario actual en rojo y los puntos de ubicación de los nuevos servicios. El área morada es la zona recomendada por el AyA, esta abarca toda la zona noreste del distrito, en la cual se encuentra la mayor densidad poblacional, la parte central y la parte suroeste. Dentro de ella se encuentra el alcantarillado sanitario actual, sin embargo, al comparar ambas áreas se nota que la cobertura del alcantarillado sanitario actual es muy pequeña y las zonas más densamente pobladas se encuentran por afuera.

El área en gris muestra la cobertura del acueducto actual y con esto delimita exactamente las zonas hasta donde existen asentamientos actualmente. La cobertura del acueducto es mucho mayor que la cobertura, tanto del alcantarillado sanitario actual como del área recomendada por el AyA, esta situación implica que la ciudad se está expandiendo más allá de lo proyectado y se están habitando zonas cada vez más lejanas. La densidad de población en esas zonas es la menor en todo el distrito, por lo que su inclusión total al alcantarillado sanitario se deberá considerar en un proyecto futuro.

Para determinar las zonas de expansión en los próximos 20 años, se ubicaron las solicitudes de los nuevos servicios. La mayor cantidad de nuevos servicios se han solicitado en la parte sur de la ciudad, tanto al este de la carretera Interamericana como al lado oeste. Estas zonas sí se considerarán dentro de la cobertura del nuevo alcantarillado, puesto que son zonas cercanas al sistema existente y donde la población ha aumentado en los últimos años. Igualmente, camino al aeropuerto y al norte de la ciudad se ubican nuevos servicios, sin embargo, estos no se considerarán dentro del área de cobertura final, porque los primeros se encuentran lejos de la planta y a un nivel menor, por lo que habría que considerar una estación de bombeo y los segundos se encuentran por fuera de la zona propuesta por el AyA y muy lejos de los centros poblacionales actuales.

Finalmente, se determinó la cobertura del alcantarillado sanitario a diseñar. El sector de cobertura seleccionado es: el área propuesta por el AyA (área morada), al este la zona del Capulín hasta la planta de tratamiento y al sur la zona comprendida hasta el sector barrio La Cruz. Esta área cuenta con 1342 Ha aumentando su área de cobertura en 1189 Ha, tiene un perímetro de 18,53 km y abarca desde el sector de los INVUS, desde barrio La Cruz y hasta el barrio Capulín. Se presenta en la figura 24 el área de cobertura final.

3.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA RED

La red actual cuenta con 29,676 km de extensión, los cuales están conformados de distintos materiales y diámetros. En el siguiente cuadro se detallan los distintos materiales que componen el alcantarillado, con su longitud y distintos diámetros.

Cuadro 11: Kilómetros de alcantarillado actual por diámetro y tipo de material.

	Asbesto Cemento (km)	Concreto (km)	Novafort (km)	PVC (km)	Total general (km)	Porcentaje
150 mm	468	6449		2011	8928	30,09%
200 mm		9378	232	8085	17695	59,62%
250 mm		457		431	888	2,99%
300 mm				333	333	1,12%
380 mm				1787	1787	6,02%
75 mm			47		47	0,16%
Total general (km)	468	16284	278	12647	29677	100,00%
Porcentaje	1,58%	54,87%	0,94%	42,61%		

Fuente: AyA, adaptado por autor, 2011

Como se observa en el cuadro anterior, el 59,6% del alcantarillado sanitario tiene un diámetro de 200 mm, mientras que el restante 40,4% se divide entre los siguientes diámetros: 75 mm, 150 mm, 250 mm, 300 mm y 380 mm. Para el caso del material, el 54,8% del alcantarillado sanitario está colocado en concreto y un 42,6% en PVC; el 2,6% restante en Asbesto Cemento y Novafort.

Se presentan dos figuras, la figura 25 con la distribución espacial del alcantarillado, según el diámetro de las tuberías y la figura 26 con la distribución espacial del alcantarillado y el tipo de material.

Como se observa en la figura 25, el alcantarillado sanitario no cuenta con una estructura en la cual se distingan el colector principal, los colectores secundarios y los subcolectores, sino que se observa una combinación de diámetros. Se estima que el colector final está compuesto de hierro dúctil y se extiende desde la ruta 1 hasta la planta de tratamiento, tiene una longitud de 1700 m aproximadamente y un diámetro de 380 mm. Los colectores secundarios se podría decir que son dos: uno de 380 mm que pasa a lo largo de la ruta 1 y tiene una longitud de 571,51 m y uno de 250 mm que pasa por la avenida 7 y tiene una longitud de 403 m. Las pendientes del alcantarillado actual van de 0,35% a 2,48%.

De la figura 26 se observa que en el sector central el material del alcantarillado es concreto, mientras que en el sector más alto de la cobertura y los colectores secundarios, el material es PVC. El colector final se cambió hace tres años, anteriormente era de concreto y actualmente es de hierro. El cambio de material en el colector final no aparece en la figura 25, porque la información suministrada para realizar la figura no está actualizada.

3.2 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL

3.2.1 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR ACTUAL

La planta de tratamiento de Liberia se construyó en dos etapas, la primera se construyó en el año 1973 y consistía de dos lagunas de estabilización facultativas. La segunda se construyó en el año 1998 y consistió en otras dos lagunas facultativas. Finalmente, se unieron las dos etapas y actualmente la planta de tratamiento cuenta con dos lagunas primarias y dos lagunas secundarias.

Figura 24:

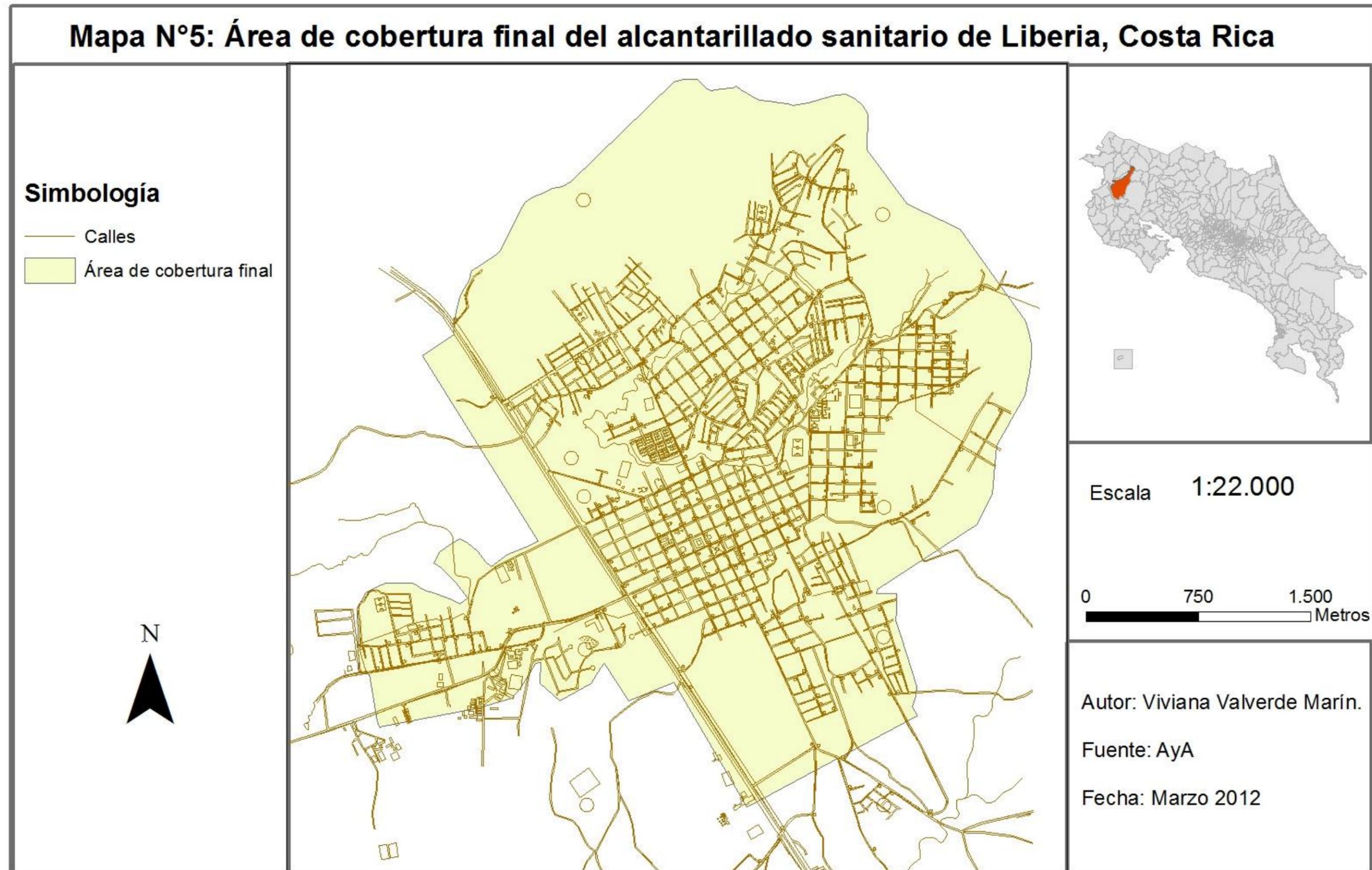


Figura 25:

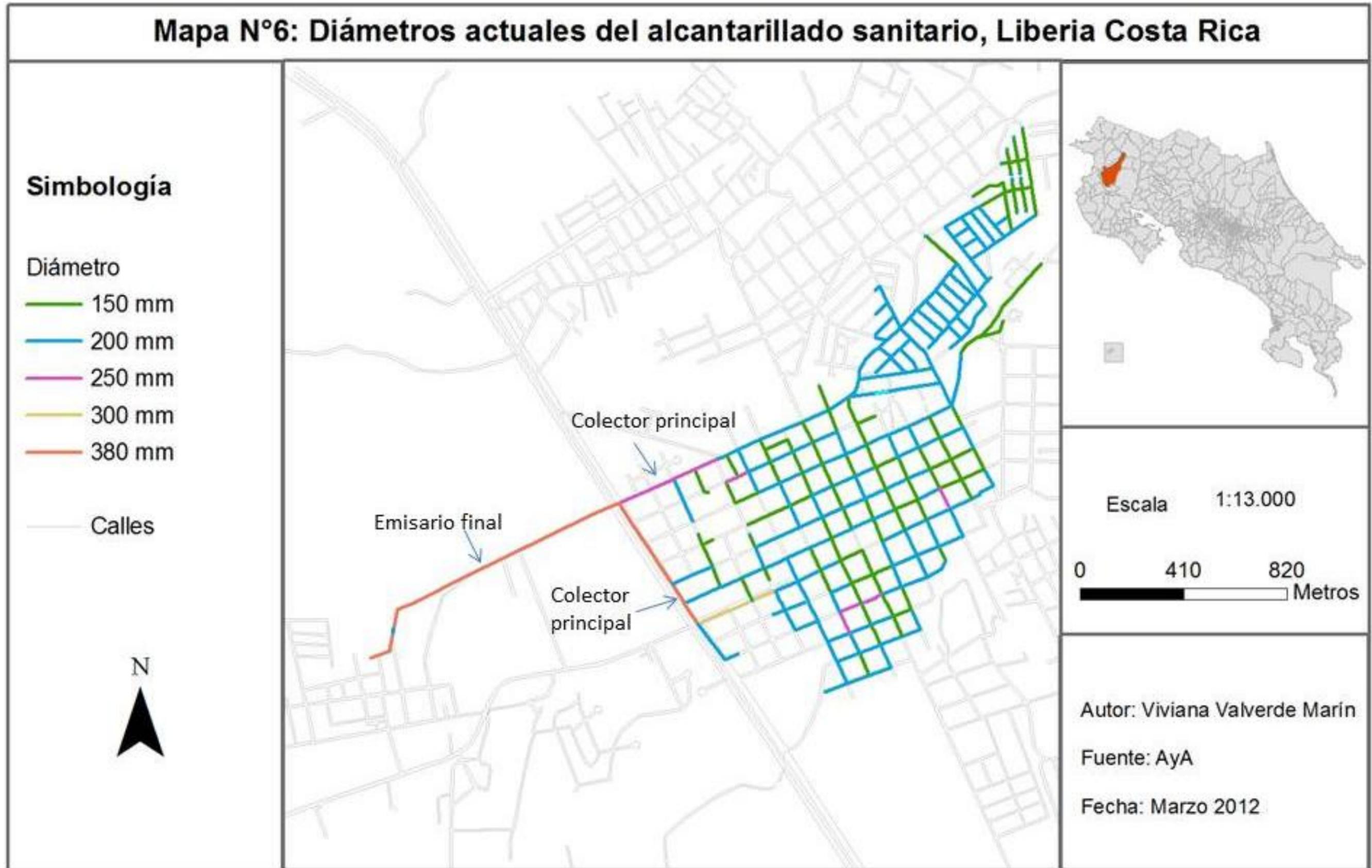
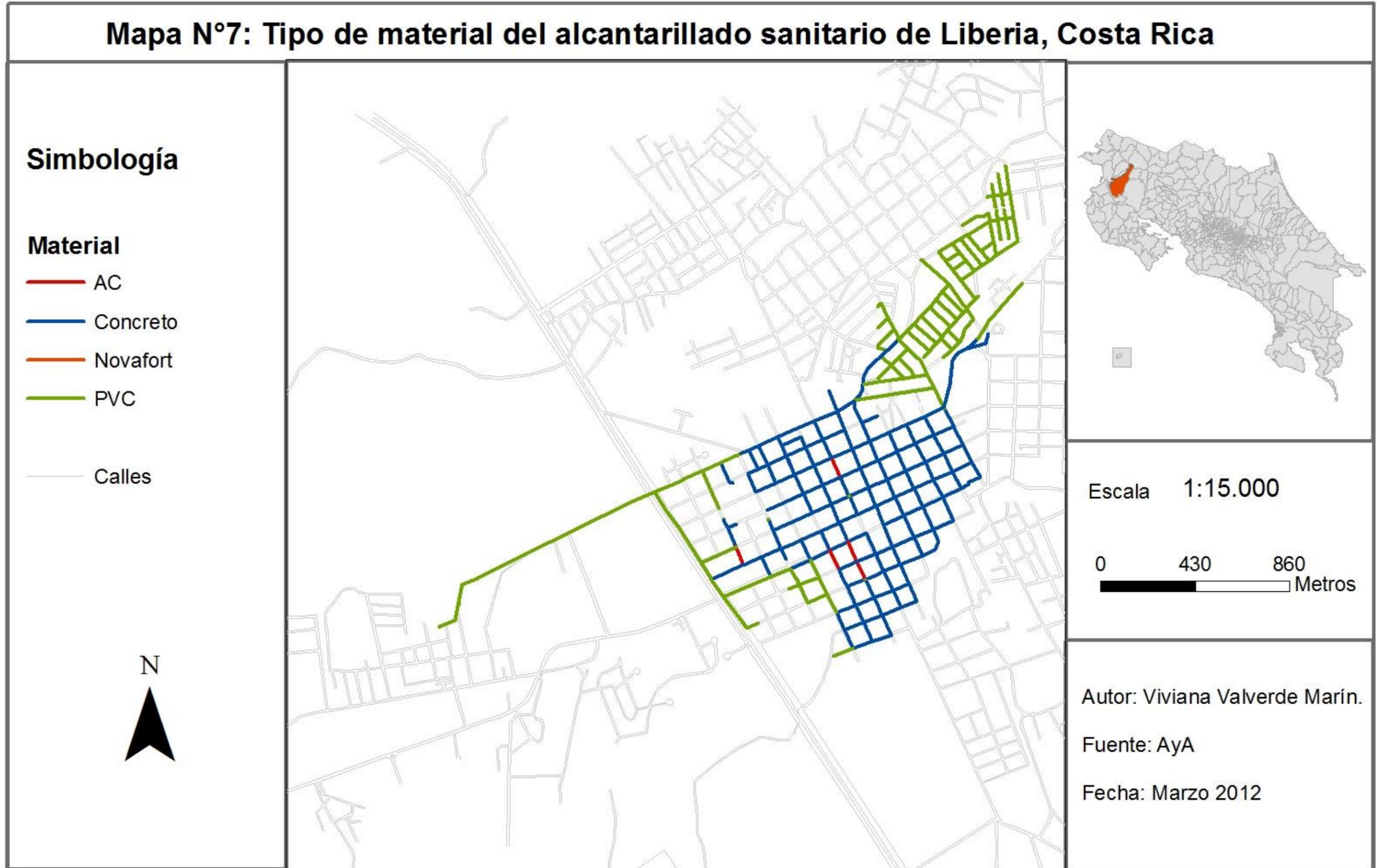


Figura 27:



El proceso que llevan las aguas residuales en esta planta de tratamiento es el siguiente: el agua entra a la planta por medio de un colector principal, pasa primero por dos parrillas, las cuales evitan el paso de objetos de gran tamaño tales como bolsas de basura, botellas, empaques y se utilizan además para deshidratar; seguidamente el caudal de entrada pasa a la primera cámara de distribución de caudal y lo divide en dos, una mitad se dirige a la primera laguna primaria y la otra mitad a la segunda laguna primaria. Antes de entrar a las lagunas primarias, el caudal pasa por otra cámara de distribución de caudal que lo divide en tres, de tal manera que a cada laguna primaria el caudal entra dividido en tres y por tres tuberías, las cuales están ubicadas en los extremos y el centro del ancho de la laguna.

Esta disposición del caudal en la laguna se realiza así para mejorar la hidráulica, una sedimentación gradual a lo largo de la laguna, y así, evitar zonas muertas en las que se dé una mayor sedimentación y acumulación de natas; además de evitar un flujo irregular.

Las lagunas primarias son aquellas que reciben el agua cruda y en donde se lleva a cabo el primer tratamiento, el cual es tanto físico como biológico. El tratamiento físico consiste en que el agua entra a la laguna, disminuye su velocidad y en el lapso de tiempo que se encuentre en la laguna, se sedimentan partículas gracias a la acción de la gravedad. Las dimensiones de las lagunas se diseñan dependiendo de la carga orgánica superficial. Las lagunas primarias de la planta de tratamiento de Liberia tienen unas dimensiones de 235 m de largo por 65 m de ancho en la parte superior, 50 m en la parte inferior y 2,5 m de profundidad y funcionan de manera paralela, por lo que se pueden limpiar sin detener el tratamiento de las aguas residuales. Cuentan con un tiempo de retención hidráulico teórico de 14 días. Sus taludes están cubiertos en la parte superior con concreto y alrededor de las lagunas no existe ningún objeto que obstaculice la entrada de luz solar a las lagunas. En estas lagunas primarias se sedimentan materiales tales como arcillas, arenas, sólidos sedimentables.

Después de que se realiza el tratamiento en las lagunas primarias, el agua es llevada a las lagunas secundarias, donde se continúa con el tratamiento biológico. El agua tratada de la primera laguna primaria es trasladada a la segunda laguna secundaria y el agua de la segunda laguna primaria es transportada a la primera laguna secundaria. Al final del

tratamiento, todas las aguas son recolectadas y vertidas al río Liberia que se encuentra a 100 m de distancia de las lagunas, por medio de una estructura de desfogue.

En las lagunas secundarias también se lleva a cabo el tratamiento biológico. Las lagunas secundarias, al igual que las primarias, son del tipo facultativas, esto implica que dentro de la laguna existen tres tipos de interacciones: en la parte inferior se encuentran las bacterias anaerobias, las cuales no necesitan el oxígeno para sobrevivir, en la parte superior se encuentran las bacterias aerobias que necesitan el oxígeno para funcionar, y en el intermedio se da la fase facultativa, donde existen las bacterias que sobreviven con o sin oxígeno. Las bacterias son las responsables de estabilizar la materia orgánica presente en las lagunas. Las lagunas secundarias de la planta de tratamiento de Liberia, tienen unas dimensiones de 236 m de largo por 89 m de ancho para la primera laguna y 63,53 m de ancho para la segunda laguna en la sección más angosta y 95 m de ancho en la parte más ancha y 2,5 m de profundidad, funcionan de manera paralela. Sus taludes no están cubiertos con concreto e igualmente alrededor de las lagunas no existe ningún objeto que obstaculice la entrada de luz solar a las lagunas.

Al terminar el tratamiento, el efluente cuenta con menos sustancias contaminantes como lo son: patógenos, grasas, sólidos. A continuación se presenta una figura con la descripción del funcionamiento de la PTAR.

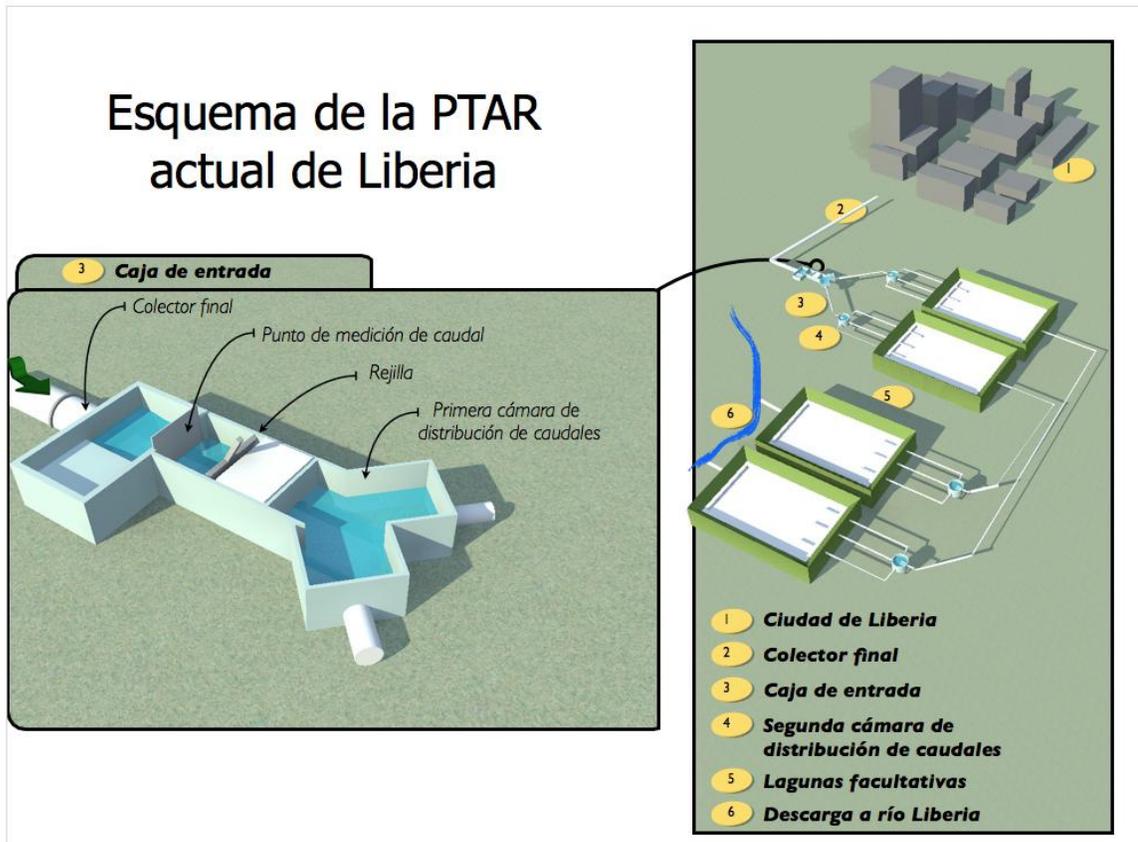


Figura 28: Esquema del a PTAR actual de la ciudad de Liberia
Fuente: Autor, 2011

3.3 ESTADO DE LA ESTRUCTURA

3.3.1 ALCANTARILLADO

El alcantarillado sanitario se construyó en el año 1973; está compuesto de concreto, asbesto cemento y PVC.

Este alcantarillado no cuenta con mantenimiento por aspectos como falta de equipo, mano de obra y profundidad de la línea; por lo que su estructura se encuentra bastante deteriorada.

En el colector final antiguo, que se encuentra totalmente expuesto, se encuentra ubicado en paralelo del colector final actual, su concreto está agrietado con aberturas de casi un centímetro, las juntas están ligeramente sueltas y los rellenos realizados para sostener la tubería se encuentran erosionados y en algunos sectores, el colector va ligeramente en el aire.

A causa del estado del colector, este se cambió hace tres años por una tubería de igual tamaño, que pasa por los mismos sectores pero de hierro fundido. Actualmente, la tubería nueva, se observa en buen estado, sin embargo, el estado del colector antiguo, da una buena idea del estado en el que debe estar la estructura de los otros colectores que no han sido reemplazados. A continuación se muestran varias figuras que ilustran lo comentado anteriormente:



Figura 29: Colector Final actual
Fuente: Autor, 2011



Figura 30: Colector final actual, a la izquierda y colector final antiguo a la derecha.
Fuente: Autor, 2011



Figura 31: Protección del Colector Final actual
Fuente: Autor, 2011



Figura 32: Rotura expuesta en el colector final viejo
Fuente: Autor, 2011



Figura 33: Abertura expuesta en una unión en el colector final viejo
Fuente: Autor, 2011

3.3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO

La primera parte construida de la planta de tratamiento tiene 38 años desde su construcción; la caja de entrada y las cámaras y distribución de caudal se realizaron en concreto, por lo que actualmente se encuentra un poco desgastada y con falta de pintura que la proteja de la corrosión de las aguas negras. Las parrillas del pretratamiento se encuentran corroídas y desgastadas.

A continuación se presentan las figuras 34, 35, 36 y 37, las cuales ilustran respectivamente, el estado en el que se encuentran la caja de entrada, las parrillas y las dos cámaras de distribución de caudales que existen. Las primeras cámaras de distribución de caudal lo distribuyen en dos y lo transportan a cada laguna primaria y las segundas cámaras de distribución de caudal lo distribuyen en tres para que a cada laguna el caudal entre en tres puntos. Se observa como el concreto, la pintura y el estado de las parrillas se encuentran muy deteriorados, le hace falta mantenimiento y además muestra como la tecnología utilizada es muy rudimentaria.



Figura 34: Caja de entrada
Fuente: Autor, 2011



Figura 35: Rejillas.
Fuente: Autor, 2011



Figura 36: Primera cámara de distribución de caudales
Fuente: Autor, 2011



Figura 37: Segunda cámara de distribución de caudales
Fuente: Autor, 2011

Asimismo las lagunas primarias cuentan con protección en las partes altas de los taludes, esto con el fin de proteger los taludes de la erosión del oleaje que se presenta. Sin embargo, en la parte inferior de los taludes y al fondo de las lagunas no cuenta con ningún tipo de protección, ya sea una cobertura de concreto; ni geotextiles que impermeabilicen el fondo. A continuación se ilustra las lagunas primarias.



Figura 38: Lagunas primarias, se observan tres entradas.

Fuente: Autor, 2011



Figura 39: Lagunas primarias

Fuente: Autor, 2011

Las lagunas secundarias no cuentan con una estructura propiamente, los taludes y el fondo de las lagunas no tienen ningún tipo de cobertura ya sea de concreto o geotextil. Por el contrario, los taludes se encuentran cubiertos por vegetación, lo que facilita su erosión y que las dimensiones de las lagunas vayan variando con el paso del tiempo. A continuación se ilustran las lagunas secundarias:



Figura 40: Lagunas secundarias

Fuente: Autor, 2011



FIGURA 41: Lagunas secundarias, se observa una salida.

Fuente: Autor, 2011

3.4 PROBLEMAS OPERATIVOS

3.4.1 ALCANTARILLADO SANITARIO

El alcantarillado sanitario cuenta con varios problemas operativos que se mencionarán a continuación:

- No se conocen los diámetros, pendientes ni tipo de material de ciertos tramos de la red.
- No se conoce la ubicación de todos los pozos porque la Municipalidad al asfaltar cubre las tapas de registro, además el AyA no las descubre una vez cubiertas.
- No se cuenta con el equipo y personal necesario para dar mantenimiento.
- En el sector del centro de Liberia se observa obstrucciones por la alta carga hidráulica que llega a la zona, la pendiente tan reducida que hay entre pozos y el mal manejo de las grasas y aceites que hay por parte de los restaurantes y sodas de la zona.

3.4.2 PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento cuenta con varios problemas operativos que se mencionarán a continuación:

- El método para limpiar la basura atascada en las rejillas de pre-tratamiento es manual, por lo que se requiere que siempre haya una persona a cargo, para evitar dificultar la entrada del caudal en la planta de tratamiento.
- A la entrada de las lagunas primarias se da un exceso de caudal en la tubería central, lo que altera el la hidráulica en las lagunas y permite la creación de zonas muertas, el aumento de la sedimentación en la parte inicial de la laguna y no a lo largo de ella, la disminución del tiempo de retención, lo que reduce a su vez la cantidad de material sedimentado y baja su eficiencia.
- Presencia de lagartos en las lagunas, lo que implica que se requiera de al menos dos personas a la hora de realizar la limpieza de las lagunas, para evitar accidentes.
- A la salida de las lagunas solo se cuenta con una tubería de salida, lo que fomenta la creación de zonas muertas y acumulación de natas.

- A la hora de enterrar el material orgánico para su descomposición, en muchas ocasiones lo entierran junto con la basura que se recoge en las rejillas, lo que impide la descomposición del material orgánico.
- Las conexiones ilícitas aumentan el caudal, lo que ocasiona un incremento en la velocidad en la planta que disuelve el material orgánico, por lo que el tiempo de retención y la carga hidráulica para las que fueron diseñadas las lagunas no se cumple y la eficiencia de la planta baja.

La figura 42 ilustra la problemática en el mantenimiento de la PTAR de Liberia. En esta figura se observa las grandes zonas muertas que se fomentan debido al flujo preferencial en la entrada del centro y a la existencia de una salida de caudal en la planta, en vez de tres para continuar, situaciones que evitan el flujo pistón; además al crear estas zonas muertas se da una gran acumulación de natas que no son retiradas continuamente, lo cual produce a su vez problemas de malos olores.



Figura 42: Problemática del mantenimiento de la PTAR.
Fuente: Autor, 2011

3.5 CALIDAD Y CONTROL

Para comprobar la eficiencia de la planta de tratamiento y la calidad del efluente, cerca de cada tres meses se realizan pruebas de carácter bacteriológico y químico, llevadas a cabo por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA).

Las pruebas se realizan en cuatro sectores de la planta de tratamiento: al inicio de la planta antes del tratamiento; al final de la planta una vez que esta ha sido tratada y va a ser vertida al río, 100 m aguas arriba del lugar de vertido del efluente y 400 m aguas abajo. El método utilizado para tomar las muestras es el muestreo compuesto, el cual consiste en tomar muestras simples en el mismo punto a varias horas del día y mezclar las muestras de manera homogénea conformando una única muestra compuesta que será analizada. Las muestras simples o submuestras se tomaron de las 8:00 am a las 11:40 am, cada una conformada de 1 litro, para una muestra final de 3,5 litros. Los resultados se muestran a continuación.

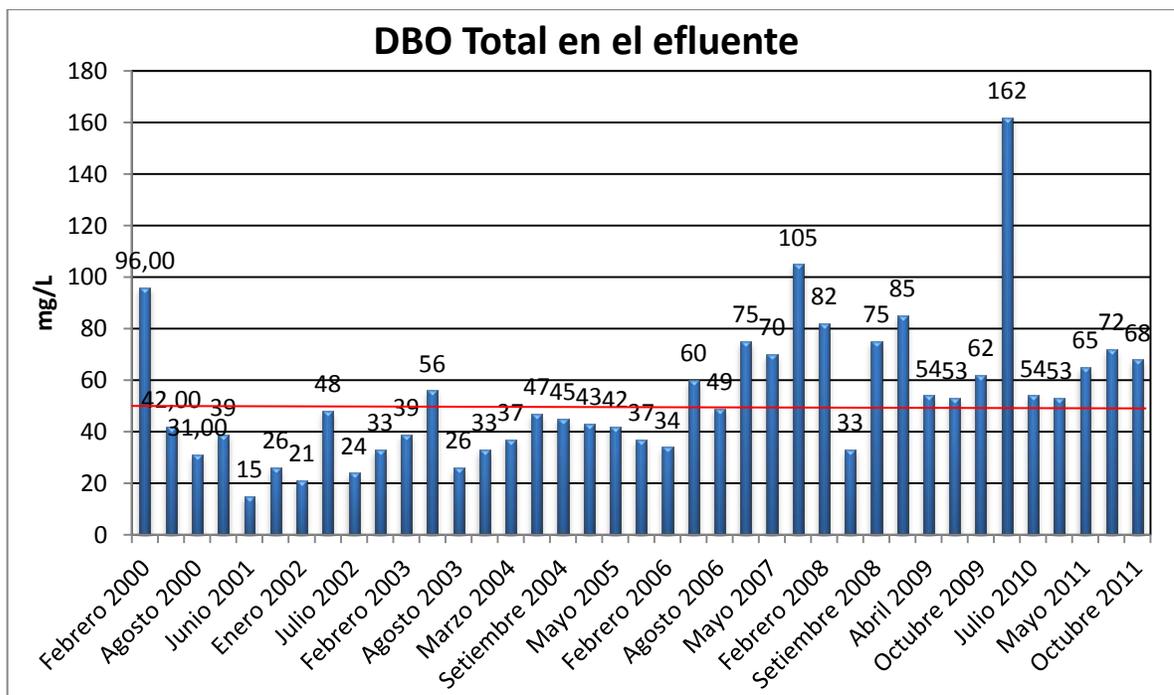


Figura 43: DBO a la salida de la planta de tratamiento.

Fuente: Laboratorio Nacional de Agua, adaptado por autor, 2011

En la figura anterior se observa que el DBO en el efluente tiende a aumentar con el paso de los años. Entre el 2000 y 2003 los valores de DBO rondaban los 20 mg/L, en donde el

valor menor es de 15 mg/L y el mayor de 39 mg/L, con dos excepciones de 96 mg/L y 48 mg/L. A partir del 2004 y hasta el 2006, la concentración de DBO va aumentando con un rango de valores entre 33 mg/L y 47mg/L. Antes del 2006, aunque los valores iban aumentando, el agua del afluente cumplía con la norma de vertido para la concentración de DBO permitida en un efluente. Dicha concentración es de 50 mg/L, sin embargo, a partir del 2007 los valores aumentaron de tal manera que ya no se cumple con la norma de vertido. Desde el 2007 hasta el 2011, los rangos de valores de concentración de DBO se encuentran entre 53 mg/L hasta 105 mg/L, con una excepción de 162 mg/L. En promedio, desde el 2007 la concentración de DBO en el efluente de la planta de tratamiento se está sobrepasando de la norma en un 46% del valor límite permitido.

Estos resultados implican que el agua vertida al río Liberia cuenta con gran cantidad de materia orgánica, ésta todavía no ha sido degradada completamente, lo cual afecta la vida silvestre en el cuerpo receptor. Se necesita de una cantidad de tratamiento mayor para poder realizar la estabilización de dicha materia y evitar un impacto permanente en el cuerpo receptor.

Al comparar los valores de entrada con los de salida de las pruebas realizadas desde el 2000, se tiene que el porcentaje promedio de remoción para el DBO es de un 80,92 %, en los último 11 años, un valor de remoción alto, por lo que se concluye que los procesos biológicos en la planta se llevan a cabo de la manera esperada y que el problema reside, principalmente, en que el caudal que llega a la planta es mucho mayor que el caudal que puede tratar eficientemente, por lo que la carga orgánica que entra a la planta es mucho mayor que la carga para la que fue diseñada.

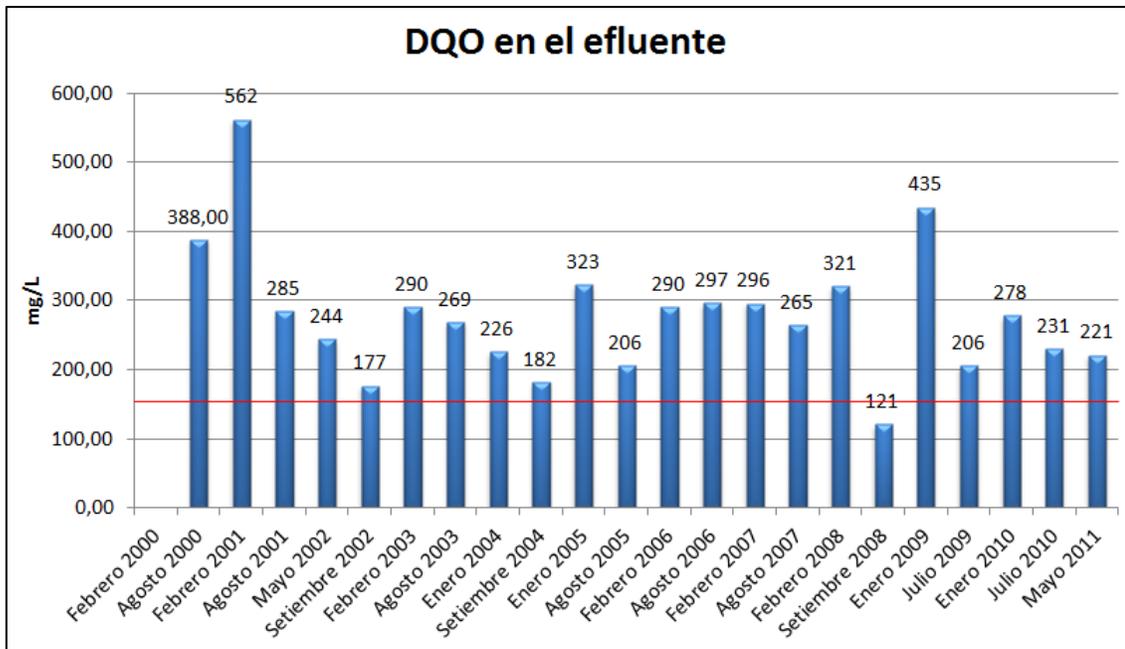


Figura 44: DQO a la salida de la planta de tratamiento

Fuente: Laboratorio Nacional de Agua, adaptado por autor, 2011

Con respecto al DQO, en la figura anterior se observa que sobrepasa el límite permitido de 150 mg/L. En todos los casos, las pruebas realizadas sobrepasan este límite con valores de 562 mg/L, casi cuatro veces el límite, hasta 177 mg/L. A lo largo de los diez años se observa un comportamiento similar, la concentración no tiende a aumentar ni disminuir, y se observa además que en los meses de enero y febrero de cada año se encuentran los valores pico de concentración, esto se puede deber a la disminución del caudal que se da en época seca. Igualmente, en setiembre de cada año se obtienen las concentraciones menores, esto se puede deber al aumento del caudal por la época lluviosa. En promedio, la eficiencia de la PTAR para remover la concentración de DQO es de 60,95%, la cual es muy baja y se debe mejorar.

Los sólidos suspendidos totales, son aquellos cuyo diámetro es mayor a 1,2 μm . Los sólidos suspendidos se dividen en: los sólidos sedimentables (cuya densidad es mayor a la del agua=1) y los sólidos no sedimentables (cuya densidad es menor a la del agua). Una alta presencia de estos sólidos en el agua indica contaminación, puesto que implica que la materia orgánica no fue totalmente descompuesta. Según los análisis del laboratorio, en los años en los que se realizan los análisis, se remueve en un 99% los sólidos

sedimentables. A continuación se muestra una figura con el comportamiento de los sólidos suspendidos sedimentables en el efluente.

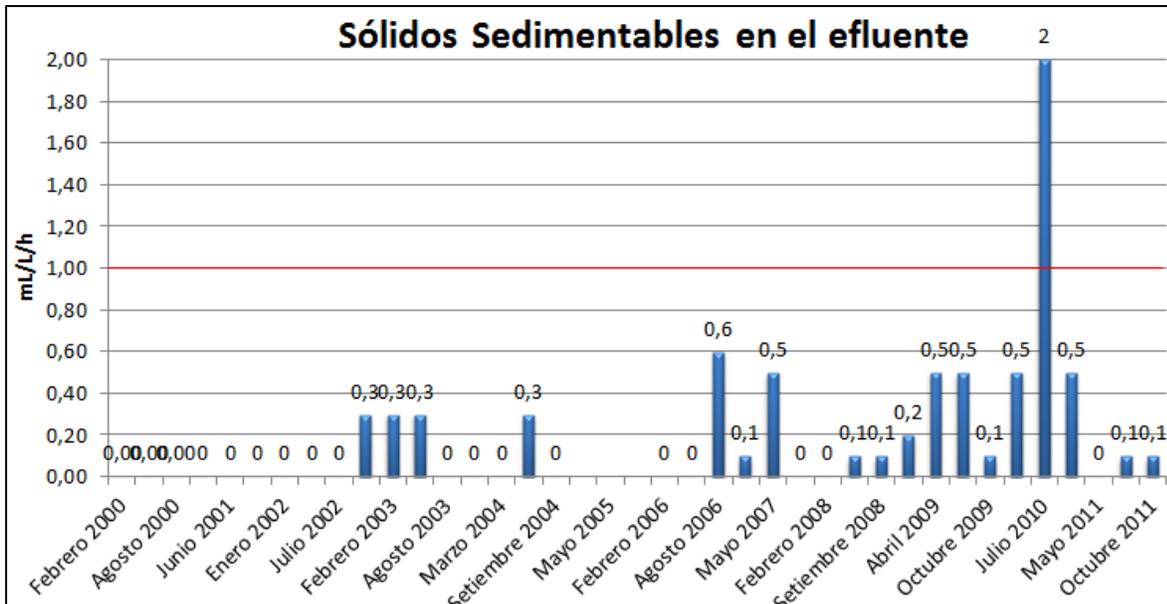


Figura 45: Sólidos Sedimentables a la salida de la planta
Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas, adaptado por autor, 2011

En la figura anterior se observa que los sólidos sedimentables han cumplido siempre con la norma, porque los valores mayores son de 0,5 ml/L a excepción de agosto del 2010 donde la concentración superó el límite permitido de 1 ml/L con una concentración de 2 ml/L.

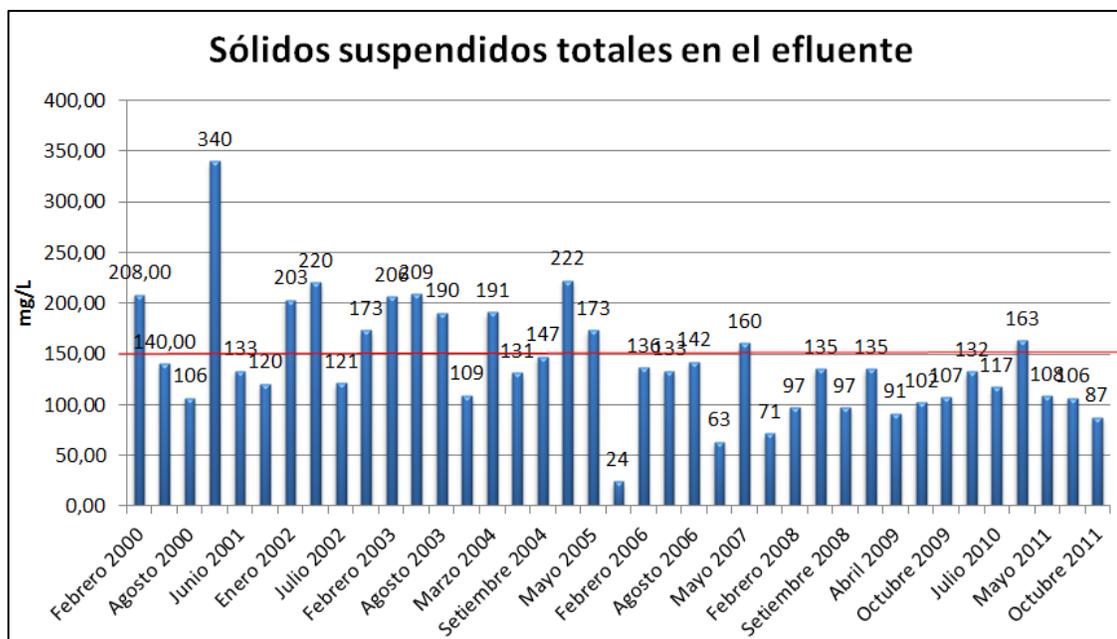


Figura 46: Sólidos Suspendidos Totales a la salida de la planta de tratamiento.

Fuente: Laboratorio Nacional de Agua, adaptado por autor, 2011

En la figura 46 se observa que antes de mayo del 2005 las concentraciones de sólidos suspendidos totales sobrepasaban el límite permitido por la ley de 150 mg/L. Sin embargo, a partir del 2006 la tendencia ha sido una disminución en las concentraciones, las cuales se encuentran en un rango entre 63 mg/L a 142 mg/L, con dos excepciones en mayo del 2007 y en julio del 2010, del año 2000 al 2005 la concentración promedio de sólidos suspendidos es de 175,89 mg/L y a partir del 2006 hasta el 2011 la concentración es de 114,84mg/L. Se debe mencionar que para cualquier otro método de tratamiento de aguas residuales, el límite para la concentración de sólidos suspendidos totales es del 50 mg/L sin embargo, para lagunas facultativas se permite una concentración de 150 mg/L, según el artículo 24 del Reglamento de Vertido y Reuso de aguas Residuales.

Se debe mencionar que del 2005 al 2010 el consumo, tanto domiciliario y comercial (comercio pequeños y comercios reproductivos), aumentaron en un 18%, 32% y 69% respectivamente, con respecto al 2005. A continuación se muestran las figuras 47 y 48, con el crecimiento de los servicios del 2005 al 2011.

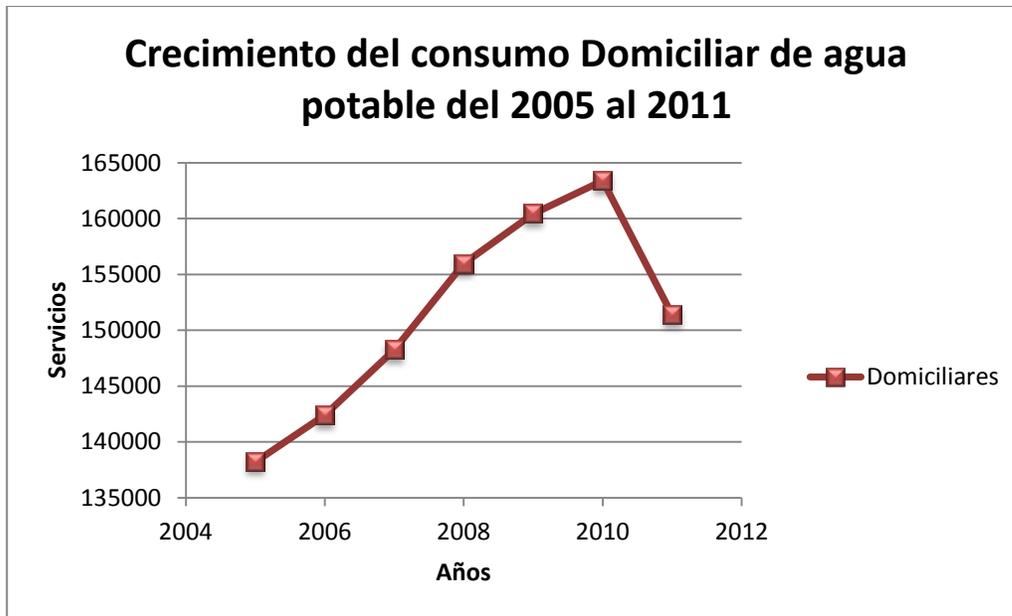


Figura 47: Crecimiento del consumo domiciliar del 2005 al 2011

Fuente: Autor, 2012

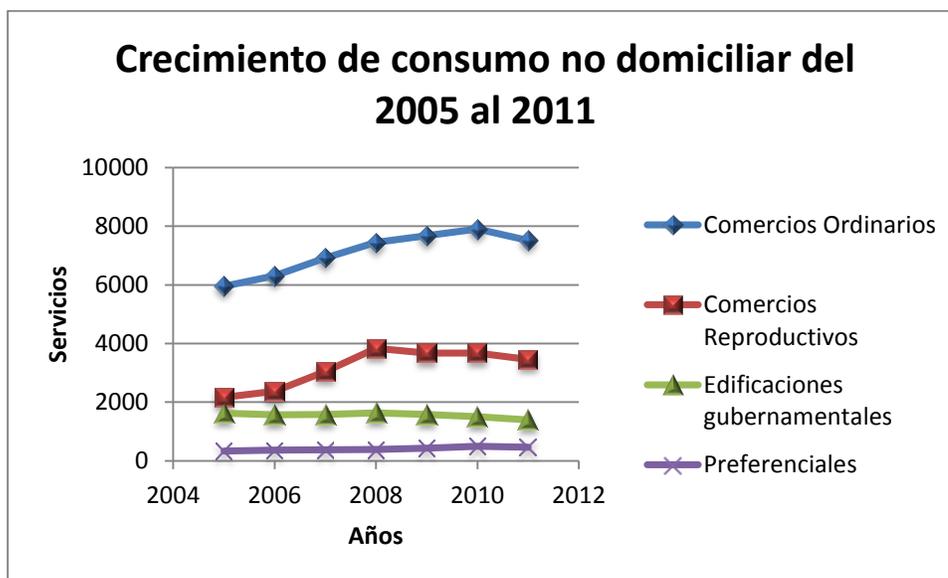


Figura 48: Crecimiento del consumo no domiciliar del año 2005 al 2011

Fuente: Autor, 2012

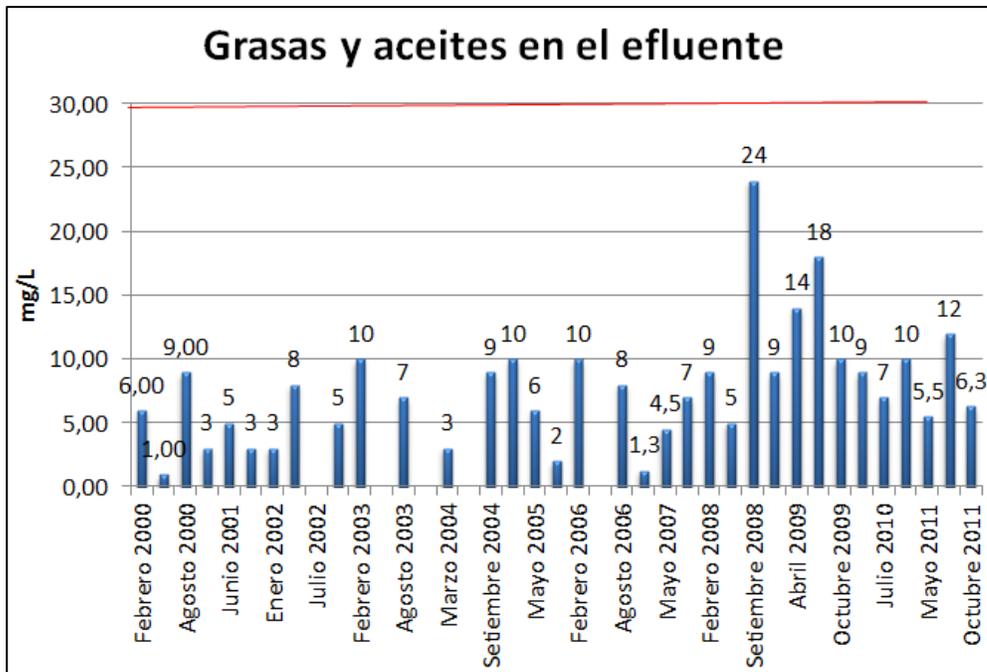


Figura 50: Grasas y aceites a la salida de la planta de tratamiento.
Fuente: Laboratorio Nacional de Agua, adaptado por autor, 2011

Aun cuando la concentración de grasas y aceites cumple con la norma, se observa que su concentración ha aumentado con los años. Entre el 2000 y el 2004 la concentración se encontraba entre 0 mg/L y 10 mg/L. Sin embargo, a partir del 2005 ha ido en aumento, de tal manera que, la concentración mínima es de 5 mg/L y la máxima de 24 mg/L. Este aumento en la concentración se debe al incremento en los comercios como restaurantes o sodas, y al mal mantenimiento que se les da a las trampas de grasas de dichos lugares.

Las Sustancias Activas al Azul Metileno (SAAM) son aquellas que contienen surfactantes aniónicos que al mezclarse con el Azul Metileno reaccionan creando una sal de color azul (Detergentes orgánicos, sintéticos y ambiente, 2006). Los detergentes orgánicos y sintéticos poseen dichas sustancias, por lo que su presencia y concentración se determina con el Azul Metileno. A continuación se muestra la figura de la concentración de SAAM en el efluente de la PTAR de Liberia.

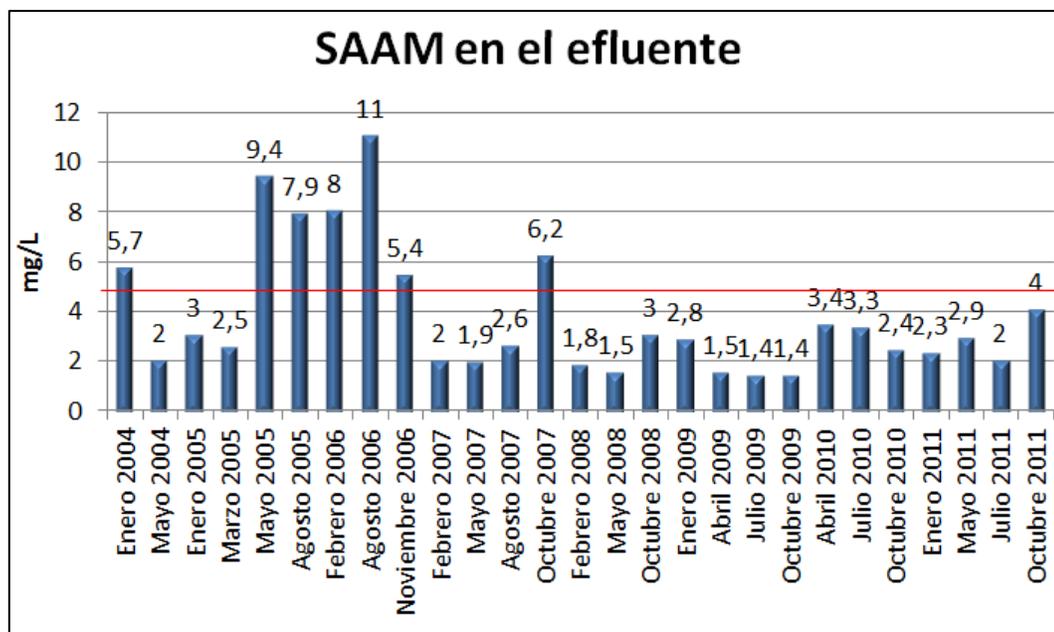


Figura 51: Concentración de Sustancias Activas al Azul Metileno en el efluente

Fuente: Autor, 2011 con datos del AyA

Según se observa en la figura anterior, el efluente de la PTAR actual cumple con el límite máximo permitido por la legislación, el cual es de 5 mg/L. En los años 2005 y 2006 se dieron las mayores concentraciones de SAAM con valores de hasta 11 mg/L, el doble de veces el valor límite; sin embargo a partir del 2007 las concentraciones de SAAM andan en un rango entre 1,4 mg/L y 4 mg/L, por lo que la concentración de detergentes en el efluente ha bajado considerablemente, pero, todavía están muy cercanas al valor permitido por la ley y se podrían disminuir.

Finalmente, los valores de pH se mantienen dentro del rango aceptado (5-9) con valores de 6,67 como el más bajo y 8,39 como el más alto. Estos valores no varían significativamente en la entrada como en la salida del agua.

Con respecto a los coliformes fecales se obtiene un porcentaje de remoción bajo de 98,13%. Se vierte gran cantidad de coliformes al cuerpo receptor, valores entre 240 NMP/100 mL y 24 000 000 NMP/100 mL..

Se analizaron los datos tomados por el LNA 100 m aguas arriba de la descarga del efluente y 400 m aguas debajo de la descarga del efluente para determinar el efecto que este tiene sobre el cuerpo receptor.

El DBO en el río Liberia, como se observa en la figura 52, aumenta después de la descarga, entre el año 2000 y 2007, en siete veces su valor, mientras que a partir del 2007 al 2011 su concentración aumenta en 2,69 veces su valor. Aun cuando el aumento en la concentración es alto, se observa que ninguno de los valores sobrepasa la norma de 50 mg/L, lo cual indica que el río posee un gran potencial de asimilación de materia orgánica.

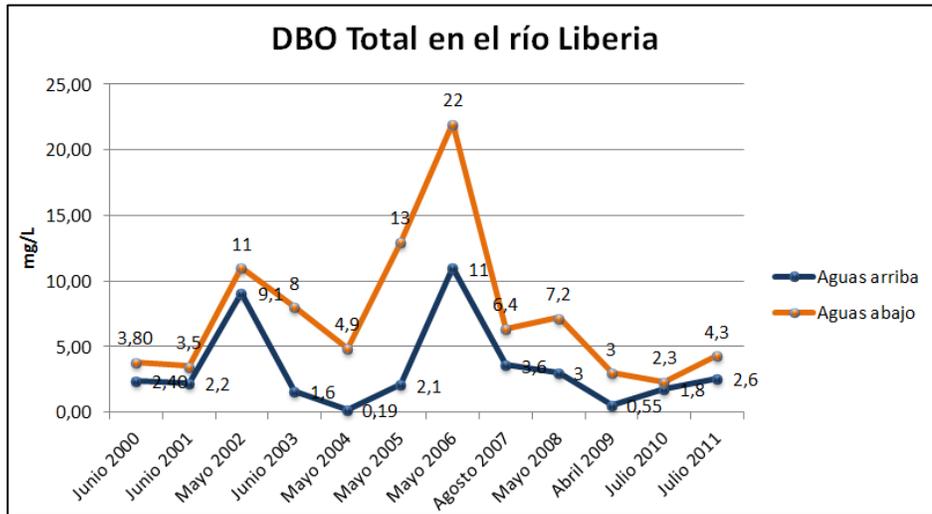


Figura 52: Comparación de la concentración de DBO, 100 m antes de verter el efluente y 400 m después.
Fuente: Autor, 2011 con datos del AyA

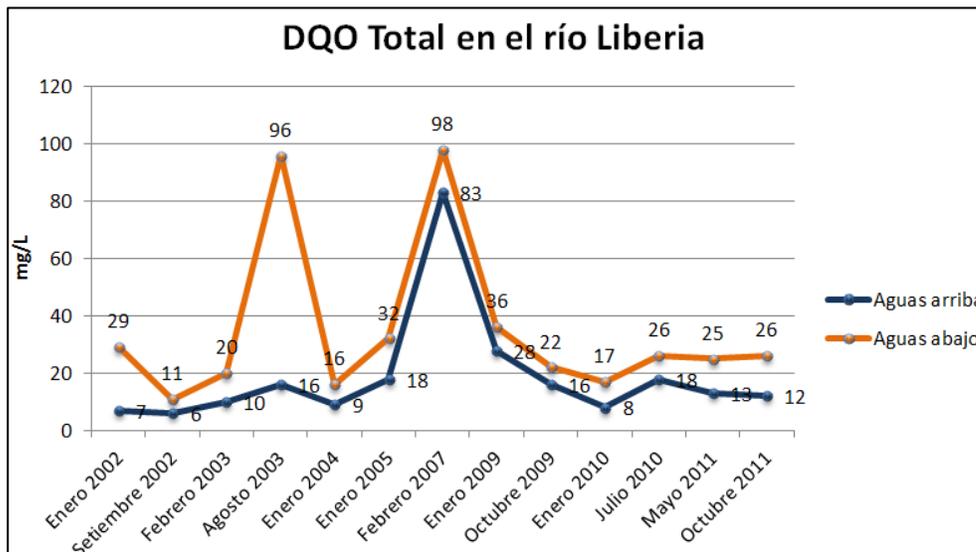


Figura 53: Comparación de la concentración de DQO, 100 m antes de verter el efluente y 400 m después.
Fuente: Autor, 2011, con datos de AyA

El comportamiento del DQO en el río experimenta un cambio a partir de enero del 2004. Antes de esta fecha, la concentración de DQO en el río después del vertido del efluente, aumentaba en un 83% del valor aguas arriba, antes del vertido del efluente, contaminando el río, sin embargo, a partir de esa fecha la concentración de DQO aguas arriba y aguas abajo no varía considerablemente.

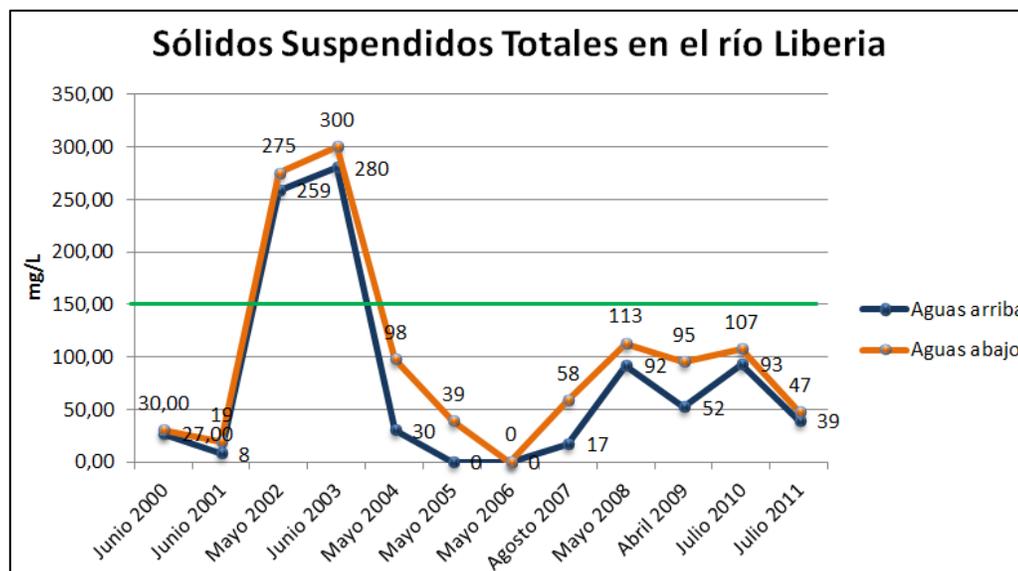


Figura 54: Comparación de la concentración de SST, 100 m antes de verter el efluente y 400 m después.
Fuente: Autor, 2011 con datos del AyA

Igualmente, al comparar la concentración de los sólidos suspendidos totales, esta aumenta en promedio 1,77 veces su valor. Sin embargo, lo que se debe recalcar, es que los valores antes de mayo del 2004 están por encima de lo que indica la norma de vertido, al obtenerse valores entre 259 mg/L y 300 mg/L, mientras que a partir de dicha fecha, todas las concentraciones medidas antes y después del vertido cumplen con la norma establecida, y están por debajo en un 28%, del valor límite permitido.

Otro parámetro importante es el caudal de entrada. Para calcularlo se obtuvo el consumo de los servicios de alcantarillado actuales (23% de los servicios de agua potable actuales), se distribuyeron en consumos domiciliarios, empresariales, gubernamentales y preferenciales y se obtuvieron los caudales respectivos. El caudal que entra actualmente a la planta de tratamiento es de 25,78 l/s.

CAPÍTULO IV
ESTUDIO POBLACIONAL Y CÁLCULO DE CAUDALES

CAPÍTULO IV: ESTUDIO POBLACIONAL

4.1 POBLACIÓN ACTUAL

Para estimar la población actual en la zona de estudio en Liberia, se utilizaron dos métodos y se compararon entre sí, se utilizó la información de población del Censo del 2011 y el AyA facilitó el número de servicios domiciliarios con los que cuentan para el acueducto, con esta información de servicios se obtiene la cantidad de hogares en la zona, si se considera un valor de hacinamiento facilitado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se adquiere la población actual en la zona.

Según las Cifras Preliminares de Población y Vivienda del Censo del 2011, el distrito de Liberia cuenta con 53 381 personas y con un factor de hacinamiento de 3,7 personas por vivienda.

Según la información facilitada por el AyA, en el acueducto de Liberia hay 13 432 servicios domiciliarios, si se considera que el valor de hacinamiento dado por el INEC para la zona de Liberia es de 3,7; entonces la población actual en el área de estudio del distrito de Liberia es de 49 698 personas.

Para la población actual se seleccionó el método del AyA, con el número de servicios y el número de hacinamiento. Se seleccionó esta población, porque aunque el área de estudio de este trabajo (la ciudad de Liberia), es apenas un 2,37% del área total de todo el distrito de Liberia, en la ciudad se concentra el 93,10% de la población del distrito, por lo que el uso de la cantidad de servicios de AyA en esa zona, es un valor bastante cercano a la realidad. Por lo tanto la población actual de la zona de estudio en el distrito de Liberia es de 49 698 personas.

Para distribuir la población geográficamente dentro del distrito, se ubicaron los servicios en los sectores correspondientes, según información facilitada por el AyA. A continuación se presenta la figura 55 con la distribución espacial de la población actual.

Figura 55:

Mapa N°8: Distribución espacial de la población en Liberia, Costa Rica

Simbología

Sectores

Población domiciliar

0-500

501 - 2000

2001 - 4000

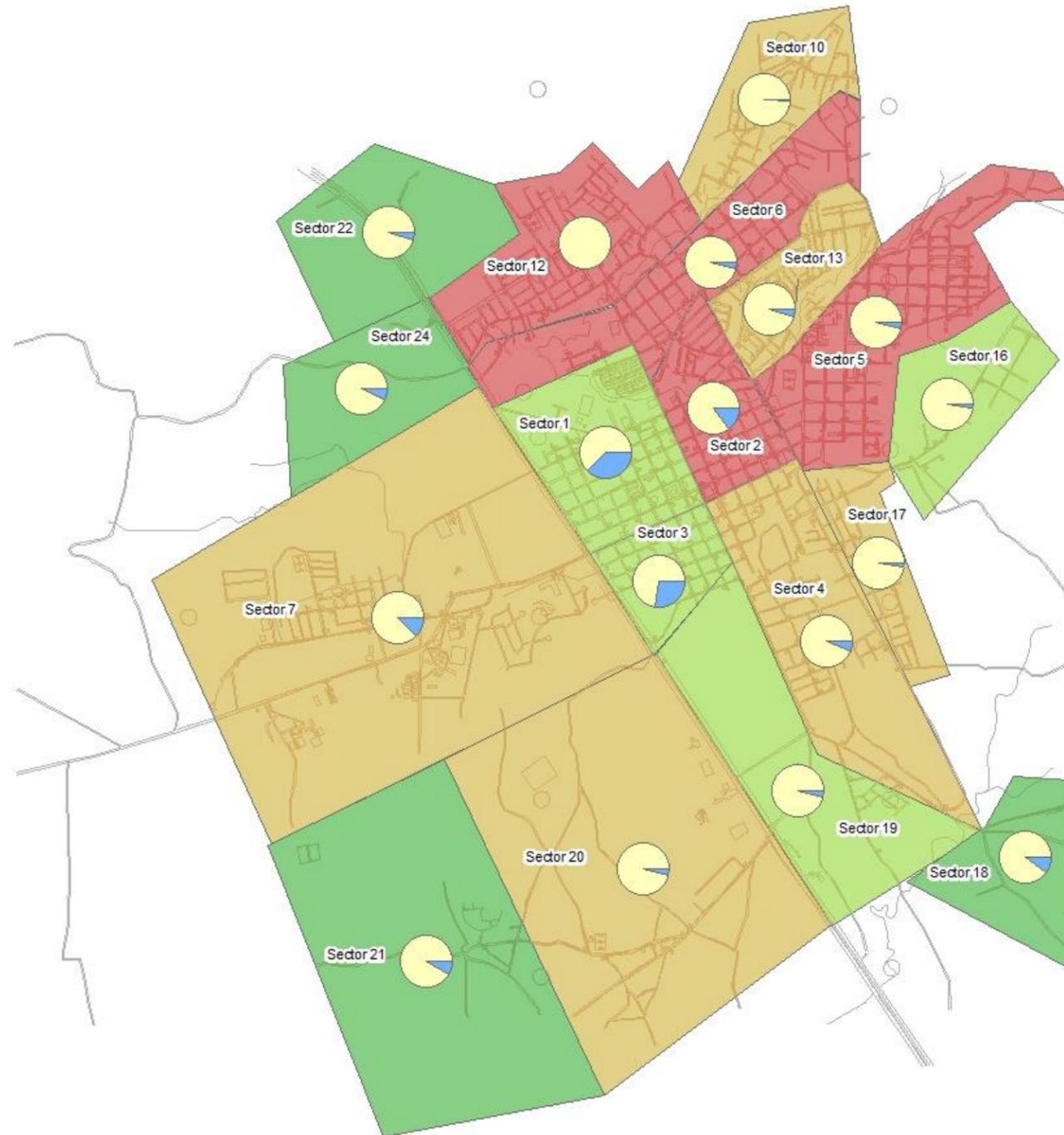
4001 - 6384

Calles



Población domiciliar

No domiciliar



Escala 1:28.000

0 800 1.600 Metros

Autor: Viviana Valverde Marín.

Fuente: AyA

Fecha: Marzo 2012

En la figura 55 se observa que la mayoría de la población se ubica en los sectores 12, 13, 6, 2 y 5, los cuales se ubican al norte del distrito, en las partes más altas y con valores entre 4420-6384 personas. Asimismo, el sector 7, que consiste en la población al este de la interamericana, el sector 17, 4, 13 y 10, al sureste y noreste del centro, cuentan con una población entre las 2104 y 4420 personas, mientras que el centro de Liberia (sectores 2 y 3) posee una población entre 520 y 2104. Finalmente, los sectores más alejados del centro (sectores 18, 21,22 y 24), cuentan con la menor población del distrito con valores entre los 108 y 520 personas.

Además de la distribución espacial de la población, se realizó una distribución espacial de servicios. Para realizarla, se solicitó al AyA la cantidad de servicios por tipo de tarifa, por sector, para ubicarlos y compararlos. En el AyA existen cuatro tipo de tarifas: domiciliar, empresarial, gubernamental y preferencial. La tarifa domiciliar se aplica a las viviendas; la empresarial se aplica a empresas, tanto comerciales (pulperías, restaurantes, oficinas) como a industrias (en las que al agua es una materia prima); la tarifa gubernamental aplicada a instituciones públicas, escuelas y de zonas públicas; y la preferencial se aplica a iglesias y hospitales

Además de la figura anterior, se distingue que el distrito está conformado en su gran mayoría por viviendas. En todos los sectores que rodean al centro de Liberia se nota que la presencia de servicios gubernamentales, empresariales y preferenciales es pequeña, en comparación con la cantidad de viviendas, se observan en la zona algunas sodas, pulperías, parques pero en un porcentaje muy pequeño en comparación las residencias. En los sectores 7, 1, 2 y 3 (el centro de Liberia), la presencia de servicios empresariales, gubernamentales y preferenciales es alta, esto puesto que ahí se concentra la mayor cantidad de comercios como tiendas y supermercados, oficinas gubernamentales, y centros de recreo como parques, canchas de fútbol y beisbol, así como el hospital de Liberia. A continuación se presenta un cuadro con los porcentajes de tipo de servicio por sector.

CUADRO 12: Porcentajes de servicios por sector

Sector	Cantidad Total de servicios	Porcentaje total	Composición de servicios por sector				Total
			Domiciliar	Empresarial	Gubernamental	Preferencial	
1	795	5,45%	62,01%	33,08%	3,65%	1,26%	100,00%
2	1.568	10,74%	85,65%	13,33%	0,19%	0,83%	100,00%
3	573	3,93%	72,77%	26,00%	0,35%	0,87%	100,00%
4	1.158	7,93%	93,26%	5,79%	0,00%	0,95%	100,00%
5	1.526	10,46%	96,53%	2,42%	0,13%	0,92%	100,00%
6	1.654	11,33%	96,49%	2,72%	0,00%	0,79%	100,00%
7	940	6,44%	87,34%	10,64%	0,32%	1,70%	100,00%
10	1.024	7,02%	98,83%	0,39%	0,00%	0,78%	100,00%
12	1.564	10,72%	99,49%	0,26%	0,00%	0,26%	100,00%
13	1.159	7,94%	95,34%	4,06%	0,09%	0,52%	100,00%
16	500	3,43%	97,40%	2,00%	0,00%	0,60%	100,00%
17	825	5,65%	97,33%	1,94%	0,00%	0,73%	100,00%
18	30	0,21%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%	100,00%
19	424	2,91%	95,99%	3,30%	0,00%	0,71%	100,00%
20	548	3,75%	95,99%	3,47%	0,18%	0,36%	100,00%
21	86	0,59%	91,86%	8,14%	0,00%	0,00%	100,00%
22	137	0,94%	94,89%	3,65%	0,00%	1,46%	100,00%
24	83	0,57%	92,77%	6,02%	0,00%	1,20%	100,00%
Total	14.594	100,00%					

Fuente: Autor, 2011

En el cuadro 11 se observa que de los 19 sectores solamente 6 (los azules), tienen un porcentaje representativo, mayores al 8%, de otros servicios distintos a los domiciliarios. En el sector 1 se observa que el 33,08% es empresarial, igualmente en el sector 2 el 26% es empresarial. La cantidad de servicios gubernamentales y preferenciales son prácticamente despreciables en todos los sectores del distrito de Liberia.

Estos porcentajes son importantes a la hora de calcular los caudales, puesto que estos porcentajes serán los mismos que se utilizarán por sector, para cada tipo de caudal, domiciliario, empresarial, gubernamental y preferencial.

4.2 POBLACIÓN MÁXIMA PERMITIDA POR EL PLAN REGULADOR

Para obtener la población de saturación, se utiliza la zonificación presentada en el Plan Regulador, facilitada por la Municipalidad de Liberia. En dicho plan se establece el tipo de actividad permitida según las zonas, así como el tamaño mínimo y la cantidad de pisos aprobados para los lotes. El detalle del plan regulador con sus distintas zonas se explicó en el capítulo dos.

Para determinar la población, se necesitan solamente aquellas zonas del Plan Regulador en las que se permiten residencias, estas zonas son la Zona Residencial (Z-R) y la Zona de Comercio Central (Z-CC). Para la Zona Residencial se aceptan lotes mínimos de 155 m² y de 420 m², para la zona de Comercio Residencial se aceptan lotes mínimos de 140 m² con residencias en el segundo piso y de 280 m² con residencias en cuatro pisos. El área total de la Zona Residencial es de 6,94 km² y la de la Zona de Comercio Central es de 0,207 km², a estas áreas se les aplica una reducción del 30% que incluirían el área de calles y zonas verdes, en las cuales no hay viviendas, por lo tanto, el área reducida de la Zona Residencial es de 4,85 km² y el área total de la Zona de Comercio Central es de 0,14 km².

Para obtener la población, se divide el área reducida de cada zona entre los tamaños de los lotes y se obtiene la cantidad de hogares, con el hacinamiento se obtiene la población. Como en ambas zonas, el Plan Regulador da dos tamaños de lotes mínimos distintos, se decide hacer una combinación de ambos utilizando porcentajes para cada uno. Para obtener los porcentajes para cada tipo de lote, se realizó una estimación geográfica en la que se aproximó el área de la zona más urbana (lotes con un área menor a 400 m²), y la de la zona más rural (lotes mayores a 400 m²). Los porcentajes obtenidos según la estimación realizada son: 65% del área tiene lotes mayores a 400 m² y el 35% del área tiene lotes menores a 400 m². Considerando que en un futuro esta proporción varíe, se decide usar 60% del área para lotes mayores a 400 m² y un 40% del área para lotes menores a 400 m². Esta proporción se tomó pensando en que un caso más crítico sería que los lotes de menor extensión aumenten, sin embargo también se consideró que las personas que actualmente emigran a Liberia, lo hacen a condominios horizontales o lotes independientes, ambos casos con lotes de gran extensión, por lo que la variación no sería muy brusca.

Considerando que la zona residencial y la zona de comercio central propuestas por el Plan Regulador tienen un área de 4,85 km² y 0,14 km² respectivamente, y los porcentajes comentados anteriormente, se obtiene el siguiente cuadro con la población de saturación.

CUADRO 13: Desglose de cálculo de población de saturación

Zona residencial		Zona comercial	
Área total (km ²):	4,85	Área total (km ²):	0,14
Área de lotes menores a 400 m ² (km ²)	Área de lotes mayores a 400 m ² (km ²)	Área de lotes menores a 280 m ² (km ²)	Área de lotes mayores a 280 m ² (km ²)
1,94	2,91	0,05	0,08
Cantidad de lotes menores a 400 m ²	Cantidad de lotes mayores a 400 m ²	Cantidad de lotes menores a 280 m ²	Cantidad de lotes mayores a 280 m ²
12 536	6 940	414	310
Población en áreas de lotes menores a 400 m ² (hab)	Población en áreas de lotes mayores a 400 m ² (hab)	Población en áreas de lotes menores a 280 m ² (hab)	Población en áreas de lotes mayores a 280 m ² (hab)
46 386	25 678	1 531,8	4 595,2
Población total en área residencial (hab)		Población total en área comercial (hab)	
72 064		6 127	
Población total (de saturación) (hab)			
78 191			

Fuente: Autor, 2011

En el cuadro 12 se observa el cálculo para la obtención de la población de saturación. Se aproximó el área para las zonas residenciales y comerciales. Para las zonas residenciales se permiten lotes mayores/menores de 400 m², y para las zonas comerciales se permiten lotes mayores/menores de 280 m²; por lo que se calculó un porcentaje de ocupación para cada tipo de lote en cada zona, y con esto el área, estos valores son los siguientes: 2,91 km²/1,94 km² y 0,08 km²/0,05 km², para la zona residencial y la comercial, respectivamente. Al dividir esa área por el área de los lotes permitido en cada zona (para la zona residencial se permiten lotes de 155 m² y 420 m² y para el caso de la zona

comercial, los lotes mínimos permitidos son de 140 m² y 280 m²), se obtuvo la cantidad de lotes para la zona residencial y la comercial, los cuales son: 2,91 km²/1,94 km² y 0,08 km²/0,05 km², respectivamente. Finalmente con el factor de hacinamiento se obtuvo la población por zona y después la total.

Finalmente, para obtener la población de saturación se suman las poblaciones de cada zona que se obtuvieron de multiplicar la cantidad de lotes por el hacinamiento de 3,7 dado por el INEC en el censo del 2011. Se debe considerar que según el Plan Regulador, para los lotes mayores a 280 m² de la zona comercial se permiten cinco pisos con cuatro de residencias en el caso más extremo, por lo que se multiplicaron los lotes por el hacinamiento por cuatro, para obtener la población de ese caso.

La población de saturación permitida por la Municipalidad de Liberia, según el Plan Regulador, es de 78 191 habitantes.

4.3 PROYECCIONES

Con el fin de obtener la población de diseño, se realizan proyecciones de población, éstas se deben comparar con la población de saturación, y en caso de que no la sobrepase, se debe escoger la proyección que se considere represente mejor el escenario a diseñar.

Para realizar las proyecciones se utilizaron los valores de población de los censos de 1973, 1984, 2000 y 2011 que se encuentran en la página oficial del INEC. A continuación se presenta un cuadro con los valores de los censos.

Cuadro 14: Valores de población de censos pasados para el distrito de Liberia

Censo 2011	53 381 habitantes
Censo 2000	39 242 habitantes
Censo 1984	22 525 habitantes

Fuente: Adaptado de datos tomados del INEC

Se utilizaron tres métodos de proyección: el lineal, el geométrico y el logarítmico. Las fórmulas para cada método de proyección se presentan a continuación:

- Lineal:
$$P_f = P_{uc} + k_a * (T_f - T_{uc}) \quad (4)$$

- Geométrico: $P_f = P_{uc} * (1 + k_a)^{(T_f - T_{uc})}$ (5)
- Logarítmico: $\ln P_f = \ln P_{uc} + \bar{k}_a * (T_f - T_{uc})$ (6)

En donde,

P_f = es la población a futuro

P_{uc} = es la población del último censo

k_a = es el crecimiento poblacional

T_f = es el año de la población a futuro

T_{uc} = es el año del último censo

Para obtener los valores de crecimiento, se sustituyen valores de los censos del 2011 y 2000 y se despeja el valor del crecimiento. Una vez que se sustituyen los valores para proyectar la población para el 2030, se obtienen los siguientes resultados:

Cuadro 15: Resultados de proyecciones

	2011	2015	2030
Método lineal (hab):	53 381	54 839	74 120
Método geométrico (hab):	53 381	55 582	84 560
Método logarítmico (hab):	55 391	56 334	90 135

Fuente: Autor, 2011

Con los tres diferentes métodos se obtuvieron valores entre 74 120 habitantes con el método lineal, hasta 90 135 habitantes con el método logarítmico. Se compararon los tres resultados con la población de saturación según el Plan Regulador y para el 2030 la población de saturación se sobrepasa con los métodos geométrico y logarítmico y con el método lineal la población de saturación, está muy cercana a alcanzarse.

Se decide utilizar como población de diseño la población de saturación establecida según el Plan Regulador de la Municipalidad de Liberia.

4.4 DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL

Para distribuir la población de diseño en el área estudiada, se utilizaron los porcentajes de distribución actual según el cuadro 15, en la columna Porcentajes de servicios domiciliarios. Por lo que la distribución geográfica de la población de diseño es la siguiente:

CUADRO 16: Distribución geográfica de la población de diseño

Sector	Porcentaje de servicios domiciliarios	Población actual (hab)	Población futura (hab)
1	3,67%	1824	2870
2	10,00%	4969	7818
3	3,10%	1543	2427
4	8,04%	3996	6287
5	10,97%	5450	8575
6	11,88%	5905	9291
7	6,11%	3038	4779
10	7,53%	3744	5891
12	11,58%	5757	9058
13	8,23%	4088	6432
16	3,63%	1802	2835
17	5,98%	2971	4674
18	0,20%	100	157
19	3,03%	1506	2369
20	3,92%	1946	3062
21	0,59%	292	460
22	0,97%	481	757
24	0,57%	285	448
Total	100,00%	49 698	78 191

Fuente: Autor, 2011

CAPÍTULO V:
CÁLCULO DE CAUDALES Y DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE
ALCANTARILLADO.

CAPÍTULO V: CÁLCULO DE CAUDALES Y DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE ALCANTARILLADO.

5.1 CÁLCULO DE CAUDALES

Para poder realizar el diseño del alcantarillado sanitario, se deben conocer los caudales que transportará, en un horizonte de 20 años. En vista de que la cantidad de agua que retorna al alcantarillado sanitario depende directamente del uso que se le dé al agua potable, se divide el caudal del alcantarillado sanitario en cuatro: el caudal doméstico, empresarial, gubernamental y preferencial. Además se deben incluir los aportes por infiltración en: pozo, tramo del colector, red y en los orificios de las tapas.

5.1.1 DOMÉSTICO

Por caudal doméstico se entiende aquel que proviene de una casa de habitación, lo cual incluye las provenientes de inodoros, lavaderos, cocinas y duchas.

Para obtener el caudal doméstico que sería captado en cada pozo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CR * C * D * A}{86400} \quad (7)$$

En donde,

CR= coeficiente de retorno

C= consumo de agua potable (L/Hab-d)

D= densidad

A= área de drenaje de la zona (Ha)

Para obtener el consumo de las casas en la zona de Liberia, se consultó con el departamento del AyA en Liberia, el cual facilitó la información. El consumo doméstico de agua potable en la ciudad de Liberia es de 184 L/d-Hab, en el acueducto de Liberia hay un 100% de medición, por lo tanto, este dato es muy confiable.

El coeficiente de retorno según el Reglamento de Normas Técnicas del AyA, 2007 es de 0,8, lo cual implica que el 80% del agua potable que ingresa en una vivienda es devuelta al alcantarillado sanitario.

Para obtener el área de drenaje de cada pozo, se utilizó la topografía obtenida por medio de un análisis de elevaciones en ArcGis, a partir de las curvas de nivel facilitadas por el AyA.

Finalmente, para obtener la densidad de población del área que drena a cada pozo, se distribuyó la población en cada sector comercial en la misma proporción en la que se encuentra actualmente y se obtuvo el porcentaje de cobertura de cada sector en el área que drena al pozo.

En los anexos se encuentran los caudales domésticos para cada pozo.

5.1.2 EMPRESARIAL, GUBERNAMENTAL Y PREFERENCIAL

Por caudal empresarial se entiende los desechos de comercios, procesos industriales o manufactureros, se incluyen todos los comercios como sodas, restaurantes, industrias, entre otros. Igualmente, por caudal gubernamental se entiende aquel que proviene de instalaciones de oficinas gubernamentales así como escuelas, colegios y el riego de plazas, entre otros. Asimismo, por caudal preferencial se entiende aquel que proviene de instalaciones como iglesias, hospitales, entre otros.

Para obtener el caudal empresarial, gubernamental y preferencial que sería captado en cada pozo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CR * C * CS}{86400} \quad (8)$$

En donde,

CR= coeficiente de retorno

C= consumo de agua potable (L/Servicio-d)

CS= cantidad de servicios

Para obtener el consumo de las instalaciones gubernamentales, empresariales y preferenciales en la zona de Liberia, se consultó con el departamento del AyA en Liberia, el cual facilitó la información. El consumo empresarial de agua potable en la ciudad de Liberia es de 1049 L/d-servicio, el consumo gubernamental de agua potable es de 5913 L/d-servicio y el consumo preferencial de agua potable es de 3261 L/d-servicio.

El coeficiente de retorno, según el Reglamento de Normas Técnicas del AyA es de 0,8, lo cual implica que el 80% del agua potable en a una vivienda, comercio, industria o instalaciones públicas, es devuelta al alcantarillado sanitario.

Finalmente, para obtener la cantidad de servicios empresariales, gubernamentales y preferenciales que se encuentran en el área de drenaje de cada pozo, se distribuyeron los servicios en cada sector comercial en la misma proporción en la que se encuentran actualmente y se obtuvo el porcentaje de cobertura de cada sector en el área que drena al pozo.

En los anexos se encuentran los caudales empresariales, gubernamentales y preferenciales para cada pozo.

5.1.3 INFILTRACIÓN POR TRAMO

La infiltración por tramo es aquella que se da en la tubería a lo largo de esta.

Para obtener el caudal de infiltración por tramo del colector, se utiliza el valor de infiltración dado por el Reglamento de Normas Técnicas de AyA. Este valor es el siguiente: 0,25 L/s-Km.

Se obtiene para cada colector la distancia total, se divide entre la cantidad de pozos en el colector y al multiplicarla por el valor de infiltración se obtiene la infiltración por tramo en el colector.

En los anexos se encuentran los caudales de infiltración por tramo para cada tramo.

5.1.4 INFILTRACIÓN POR POZO

La infiltración por pozo es aquella que se da en cada pozo a través de las paredes.

Para obtener la infiltración por pozo se utiliza el valor de infiltración dado por el libro López Cualla, 2000, el cual es de 2,6 m³/d-pozo. Al multiplicar este valor por la cantidad de pozos se obtiene el caudal de infiltración por pozo.

En los anexos se encuentran los caudales de infiltración por pozo para cada pozo.

5.1.5 INFILTRACIÓN POR ORIFICIOS DE TAPAS

La infiltración por los orificios de las tapas es aquella que en un evento de lluvia entra al pozo a través de los orificios de las tapas de los pozos.

Para obtener el caudal de infiltración por los orificios de las tapas de los pozos, se utiliza la tabla facilitada en las Notas de Clase del curso Ambiental II, impartido por el Ing. Saúl Torres en el año 2011.

Para obtener el caudal, se escoge una duración del evento y la lámina según un período de retorno. En el caso de Liberia se escogió una duración de treinta minutos porque el sector se caracteriza por tormentas de poca duración y alta intensidad.

Con respecto a la lámina, se utilizó la fórmula obtenida por Dr. Wilhelm-Günther Varson, Lic Marvin Alfaro y la Lic. Ileana Araúz de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, con un período de retorno de 20 años, la fórmula es la siguiente:

$$I_{Liberia} = 200,56 - 35,92 * \ln dur * (44,13 - 7,5 * \ln dur) * \ln tn \quad (9)$$

Donde,

dur= duración=30 min

tn= período de retorno= 20 años

Con estos valores se entra a la tabla y se obtiene un caudal de 1,32 l/s.

5.1.5 INFILTRACIÓN POR RED

La infiltración por la red es un aporte importante de caudal. Consiste en la infiltración que se lleva a cabo a lo largo de la red, se acumula y llega finalmente a un pozo de los colectores.

Para obtener el caudal de infiltración por red, se utiliza el valor de infiltración del Reglamento de Normas del AyA de 0,25 l/km-s. Se necesita los kilómetros de tubería de la red que convergen en un pozo, sin embargo, existen zonas en Liberia, donde actualmente no hay red ni calles, por lo que la manera utilizada para calcular los kilómetros de red, fue

calcular una relación entre el área de un sector actual y la longitud de tubería. Se seleccionó un sector intermedio en población y carreteras, para que fuera más representativo.

Finalmente, esta relación se multiplica en el área de drenaje de cada pozo. En los anexos se encuentran los caudales de infiltración por red para cada pozo.

5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

5.2.1 COLECTORES Y POZOS

Para poder determinar la ubicación y la cantidad de colectores a dimensionar, se realizó un análisis de elevaciones seguido de un análisis de áreas de drenajes, dicho análisis determinó que dentro del área de cobertura del proyecto, establecida en el capítulo anterior, se encuentran seis áreas de drenaje; por lo tanto, se determinó que se iban a diseñar cinco colectores. Para la sexta área de drenaje no se diseñó colector porque no se tiene información digital de carreteras ni de viviendas, por lo que la ubicación y diseño de este colector quedaría para una etapa posterior a este trabajo.

Los colectores se ubicaron en las zonas más bajas de cada área de drenaje, con el fin de que por medio de la red de alcantarillado, el agua residual de las casas llegara por gravedad al colector principal.

Según el Reglamento de Normas de Diseño del AyA, los pozos de registro deben ir ubicados en cada cambio brusco de dirección, en cada intersección de redes y en rectas debe ir un pozo a cada 80 m. En vista de que el requisito del pozo a cada 80 m es por un aspecto operativo y que el diseño del alcantarillado que se va a llevar a cabo en este trabajo es preliminar, los pozos se colocaron en los cambios de dirección y en las zonas en donde se recoge gran cantidad de agua. Se colocaron en total 84 pozos y las distancias entre ellos se encuentran entre 68 m y 382 m.

A continuación se presenta un cuadro con la información de colectores y pozos.

Cuadro 17: Descripción de colectores y pozos

	Longitud (km)	Pozos	Ubicación
Colector 1	2,35	29	Sector NW
Colector 2	2,35	9	Sector N
Colector 3	3,99	28	Sector E
Colector 4	1,62	12	Sector S
Colector 5	0,90	5	Sector Central

Fuente: Autor, 2011

En la figura 53 se presenta la ubicación de los colectores y los pozos.

5.2.2 DISEÑO

Para el diseño del alcantarillado sanitario, se utiliza el procedimiento presentado en el libro Diseño de Acueductos y Alcantarillados de López Cualla.

Para el diseño del alcantarillado, se diseña cada tramo del colector, de pozo a pozo. El caudal de diseño utilizado es la suma de los caudales domésticos, empresariales, gubernamentales, preferenciales y los de infiltración. La pendiente del tramo se toma de las elevaciones de los pozos inicial y final y la distancia entre ellos.

Para obtener el diámetro nominal se utiliza la ecuación de Manning que se presenta a continuación:

$$D = 1,548 * \left(\frac{n*Q}{S^2} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (10)$$

En donde,

n=coeficiente de rugosidad de Manning, depende del material; para PVC= 0,01

S= pendiente

Q=caudal

Para un alcantarillado sanitario se tiene que revisar que los parámetros de velocidad y el número de Froude se cumplan. Las velocidades no deben ser ni mayores a 6 m/s ni

menores a 0,6 m/s, en el primer caso, para evitar que no se dé la abrasión en la tubería y en el segundo caso, para evitar la sedimentación en la tubería que logre obstruirla.

Para comprobar que las velocidades mínimas y las velocidades máximas se cumplan, se utilizan los siguientes criterios:

$$0,6 \frac{m}{s} < V_{tubo\ lleno} = \pi * \left(\frac{D}{4}\right)^2 * \frac{1}{n} * \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} < 6 \text{ m/s} \quad (11)$$

Asimismo, para comprobar que el flujo uniforme se mantenga y por lo tanto, la fórmula de Manning se pueda utilizar, se utiliza el siguiente criterio:

$$NF = \frac{V_{real}}{\sqrt{9,81 * H}} < 0,9 \quad (12)$$

$$1,1 < NF = \frac{V_{real}}{\sqrt{9,81 * H}} \quad (13)$$

Si estos parámetros no se cumplen, se itera hasta encontrar la solución. En los anexos se presentan los cálculos realizados. A continuación se presenta un cuadro resumen con los diámetros obtenidos.

Figura 53: Mapa N°11: Ubicación de colectores y pozos, Liberia, Costa Rica



Cuadro 18: Diámetros y longitudes del nuevo alcantarillado sanitario

Material	Diámetro	Longitud (m)
PVC	150 mm	391,790
PVC	200 mm	5495,37
PVC	250 mm	3745,64
PVC	300 mm	2673,80
Novafort	375 mm	2993,78

Fuente: Autor, 2011

Del cuadro anterior se observa que el alcantarillado nuevo estará constituido por los siguientes diámetros: 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 375 mm; todos en PVC, excepto la tubería de diámetro de 375 mm. Además el diámetro más utilizado es el de 200 mm con 5,50 km de alcantarillado y el diámetro menos utilizado es el de 150 mm con apenas 392 m. En las figuras 57, 58, 59 y 60 se presentan los cinco colectores con la indicación de los nuevos diámetros.

Se obtuvo el costo total del alcantarillado propuesto con los diámetros obtenidos, se consideraron los costos del material, que incluyen la compra de la tubería y el transporte, el costo de construcción que incluye excavación, colocación, relleno y compactación, no incluye la reposición de la capa de pavimento dañado, la profundidad promedio utilizada es de 1,5 m. La información fue facilitada por el Departamento de Diseño del AyA. A continuación se presenta un cuadro con los respectivos costos.

Igualmente se obtuvo el costo de los pozos, se consideraron pozos de 2 metros de profundidad, por lo que se solicitó el precio del costo de material para el metro básico de un pozo y el metro adicional, tanto del material como de mano de obra. Además se aproximó el costo de las estaciones de bombeo. La información fue facilitada por el Departamento de Diseño del AyA. A continuación se presenta un cuadro con los respectivos costos.

Cuadro 19: Costo total del alcantarillado sanitario propuesto

Tuberías						
Material	Diámetro	Longitud (m)	Costo material por m de tubería (miles de colones/m)	Costo construcción por m de tubería (miles de colones/m)	Costo total tuberías (miles de colones)	
PVC	150 mm	93,083	¢10.726,00	¢8.884,00	¢1.825.349,84	
PVC	200 mm	991,839	¢19.100,00	¢9.700,00	¢28.564.954,73	
PVC	250 mm	2840,044	¢31.108,00	¢10.500,00	¢118.168.567,15	
PVC	300 mm	7544,097	¢39.688,00	¢11.400,00	¢385.412.832,64	
Novafort	375 mm	3831,315	¢24.480,00	¢12.500,00	¢141.682.021,67	
Total					¢675.653.726,04	

Pozos							
Cantidad de pozos de registro	Metro básico (mL)	Metro adicional (mL)	Costo de material para metro básico para un pozo de 1,40 m (miles de colones)	Costo de material para metro adicional para un pozo de 1,40 m (miles de colones)	Costo de mano de obra para el metro básico para un pozo de 1,40 m (miles de colones)	Costo de mano de obra para el metro adicional para un pozo de 1,40 m (miles de colones)	Costo total de pozos (miles de colones)
84	1	1	¢529.947,45	¢189.522,77	¢176.649,00	¢63.174,00	¢80.580.630,48

Estaciones de bombeo		
Cantidad	Costo por estación de bombeo	Total
2	¢20.000.000,00	¢40.000.000,00

Costo total tuberías	¢675.653.726,04
Costo total pozos	¢80.580.630,48
Costo total estaciones de bombeo	¢40.000.000,00
Total	¢796.234.356,52
Administración e imprevistos (10%)	¢79.623.435,65
Utilidad del contratista (15%)	¢119.435.153,48
Total	¢995.292.945,65

Fuente: Autor, 2012

En el cuadro anterior, se observa el costo total de la construcción del alcantarillado según las dimensiones recomendadas. Se consideran los costos de construcción y operación de las tuberías y los pozos. Se observa que el rubro con costos más altos es la instalación de las tuberías, esto porque la mayoría de los diámetros es de 300 mm y 375 mm.

En las figuras 57 y 60 se representa también la ubicación de las dos estaciones de bombeo que habría que construir para poder transportar el agua hasta el punto de inicio del colector final. La primera estación de bombeo se encuentra al noroeste y debe llevar el caudal de una altura de 127,37 m.s.n.m hasta una elevación de 133,4 m.s.n.m. Igualmente, la segunda estación de bombeo se ubica en la sección oeste y debe llevar el caudal de una elevación de 119,3 m.s.n.m hasta 133,4 m.s.n.m. La selección del sistema de bombeo y el diseño de las tuberías de impulsión se encuentran fuera del alcance de este trabajo.

El dimensionamiento anterior del alcantarillado sanitario, cumple en aspectos hidráulicos, sin embargo los alcantarillados sanitarios deben construirse de diámetros menores a diámetros mayores; esto con el fin de que no existan obstrucciones en la tubería al quedar atascado algún sólido en un cambio de diámetro mayor a uno menor. Es por esta razón que en las figuras 61, 62, 63 y 64 se presentan el dimensionamiento del alcantarillado sanitario contemplando su operación.

Se debe mencionar que el caudal final que transporta el colector final hacia la planta de tratamiento es de 136,67 L/s.

El dimensionamiento anterior del alcantarillado sanitario, cumple en aspectos hidráulicos, sin embargo los alcantarillados sanitarios deben construirse de diámetros menores a diámetros mayores; esto con el fin de que no existan obstrucciones en la tubería al quedar atascado algún sólido en un cambio de diámetro mayor a uno menor. Es por esta razón que en las figuras 61, 62, 63 y 64 se presentan el dimensionamiento del alcantarillado sanitario contemplando su operación.

Se debe mencionar que el caudal final que transporta el colector final hacia la planta de tratamiento es de 136,67 L/s.

Figura 57: Mapa N°7: Colector noroeste Liberia, Costa Rica

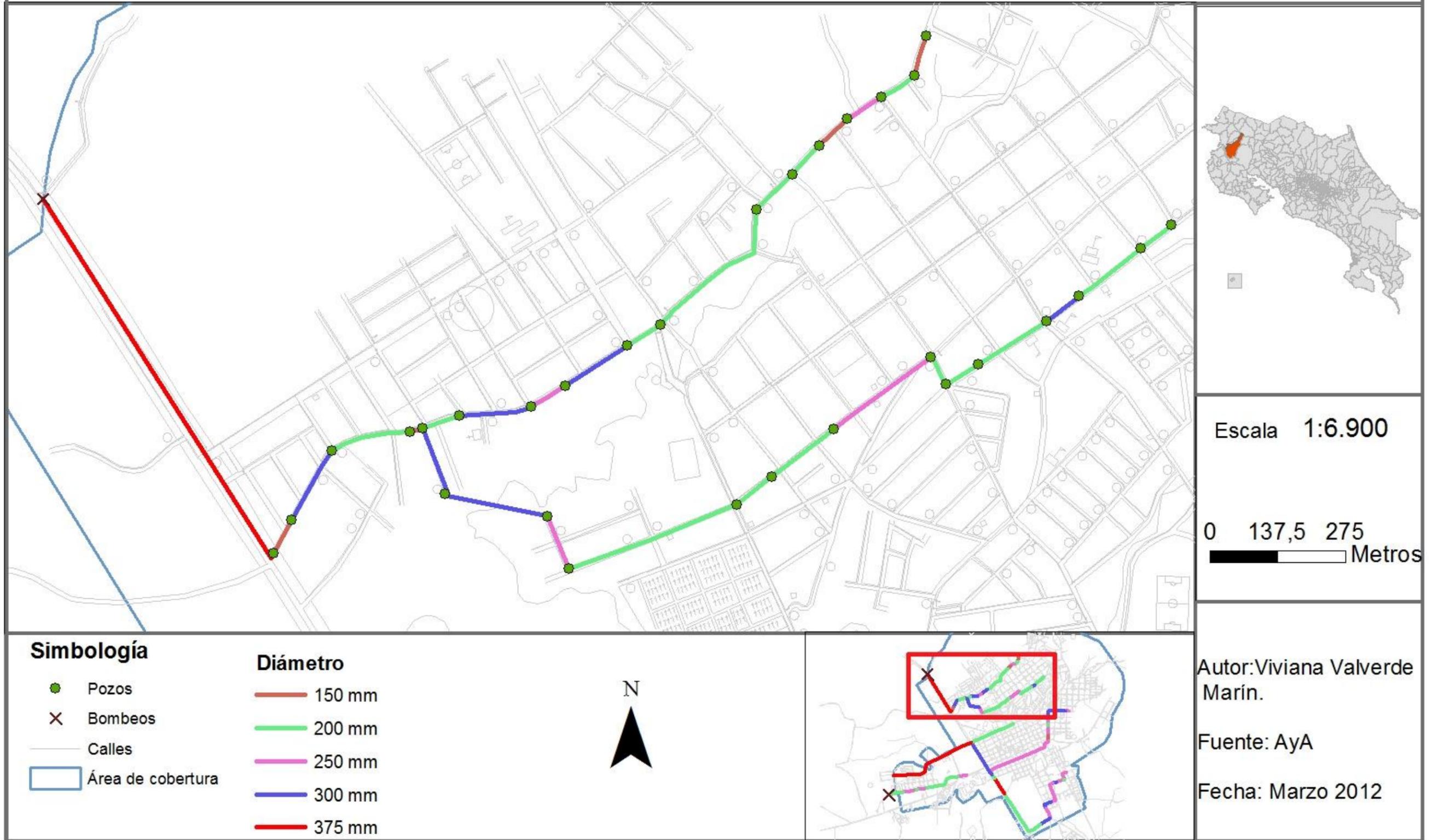


Figura 58: Mapa N°8: Colector central Liberia, Costa Rica



Figura 59: Mapa N°9: Colector noreste Liberia, Costa Rica

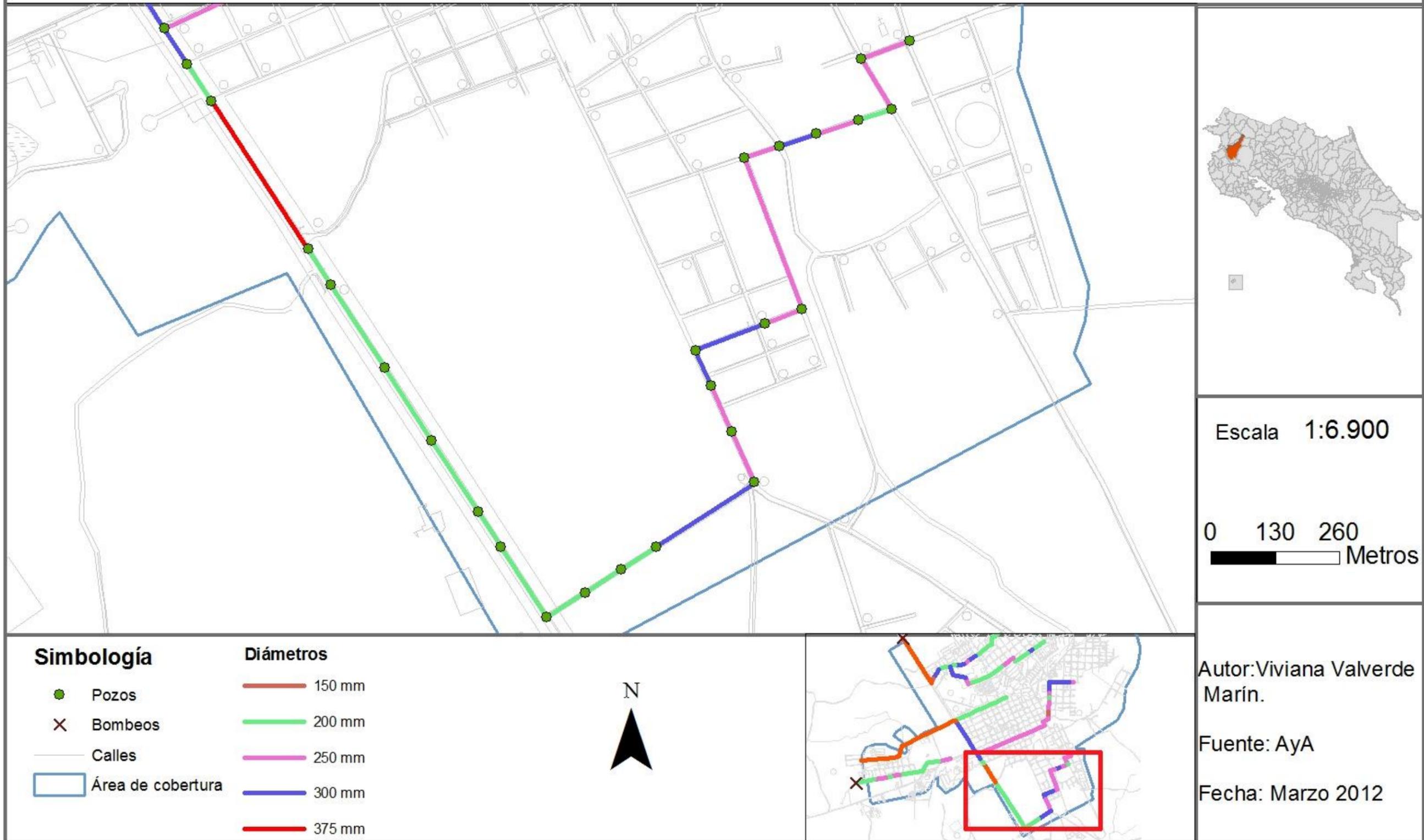


Figura 60: Mapa N°10: Colector sur Liberia, Costa Rica

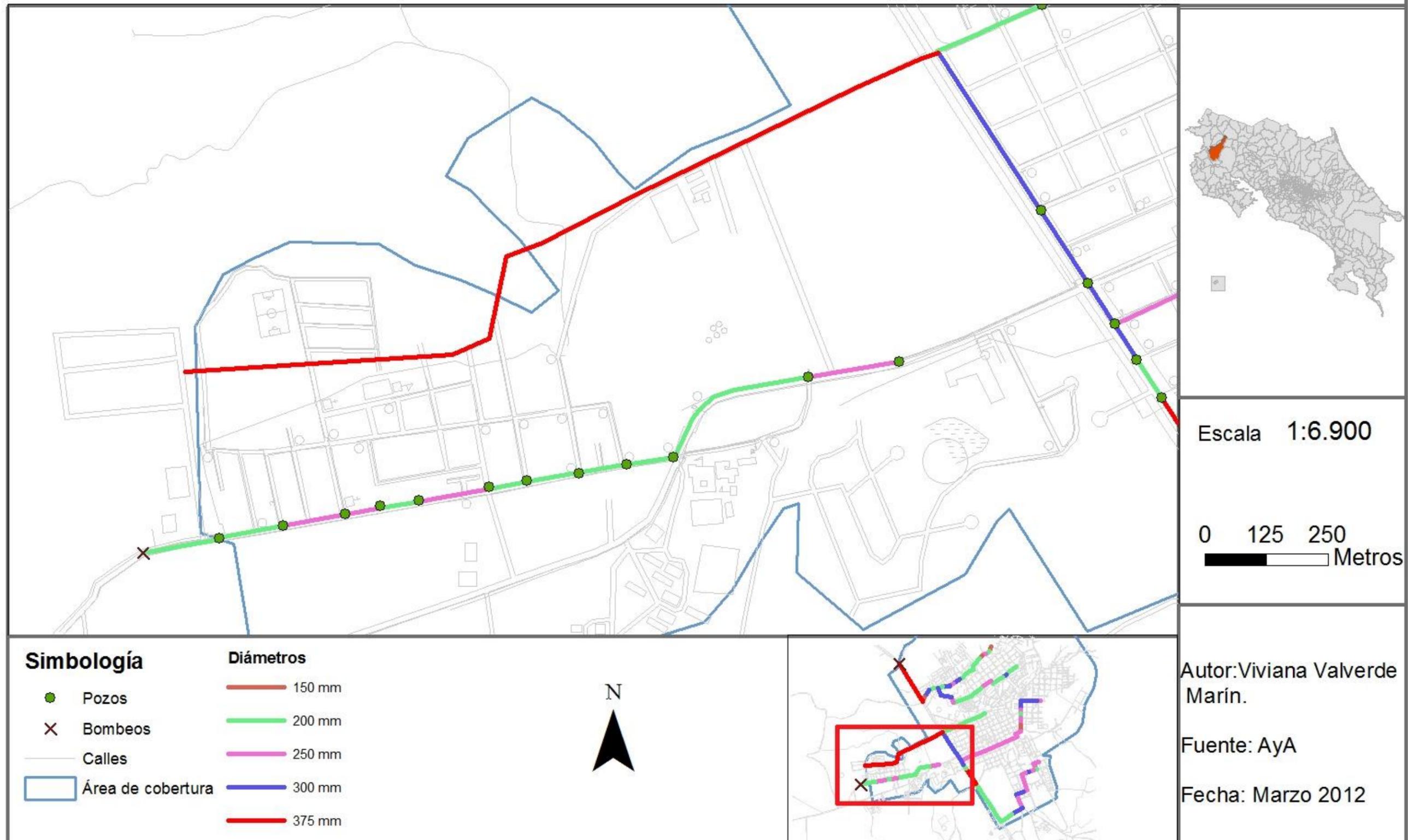


Figura 61: Mapa N° 11: Colector central Liberia, Costa Rica, Operación

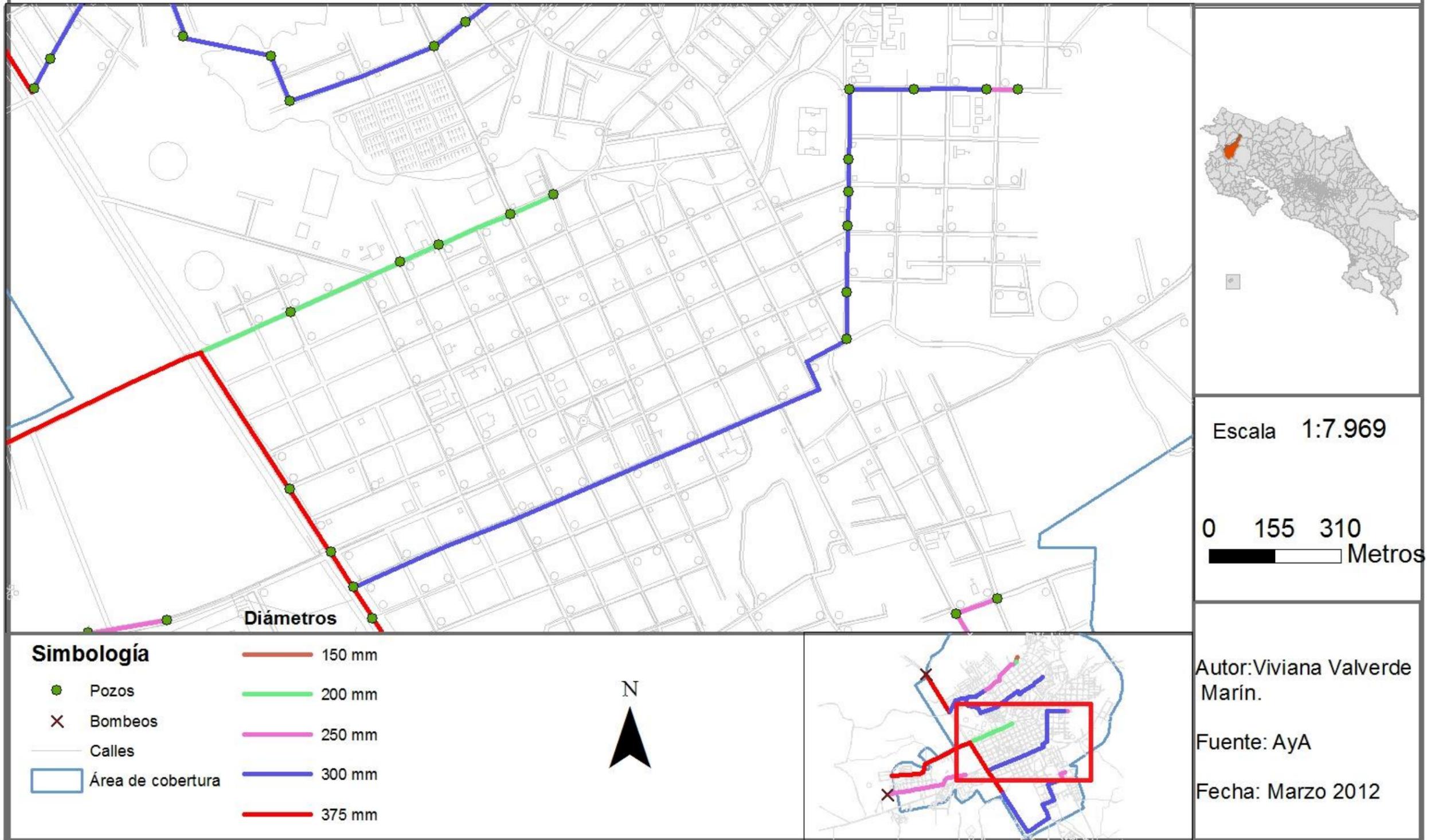


Figura 62: Mapa N°12: Colector noreste Liberia, Costa Rica

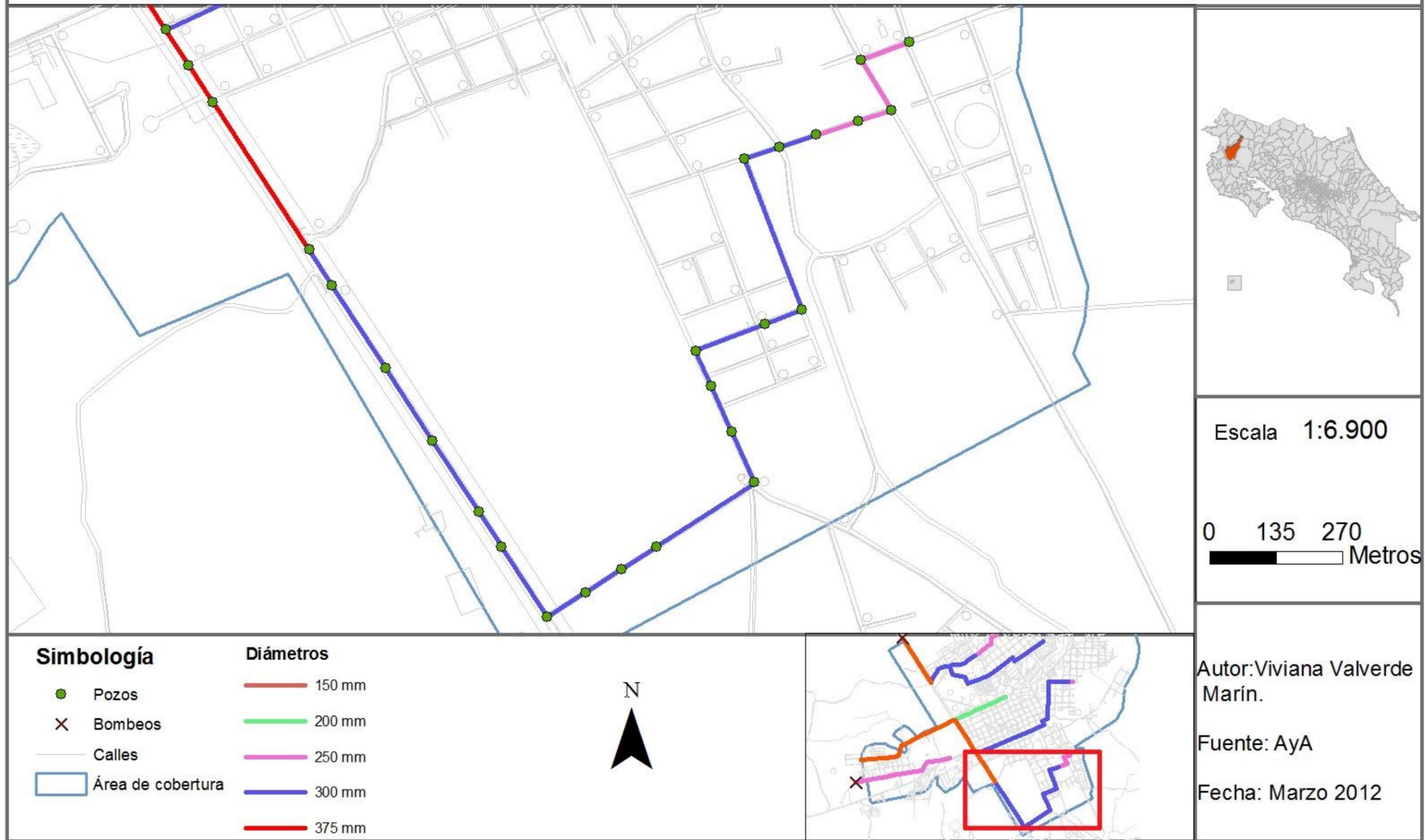


Figura 63: Mapa N°13: Colector noroeste Liberia, Costa Rica

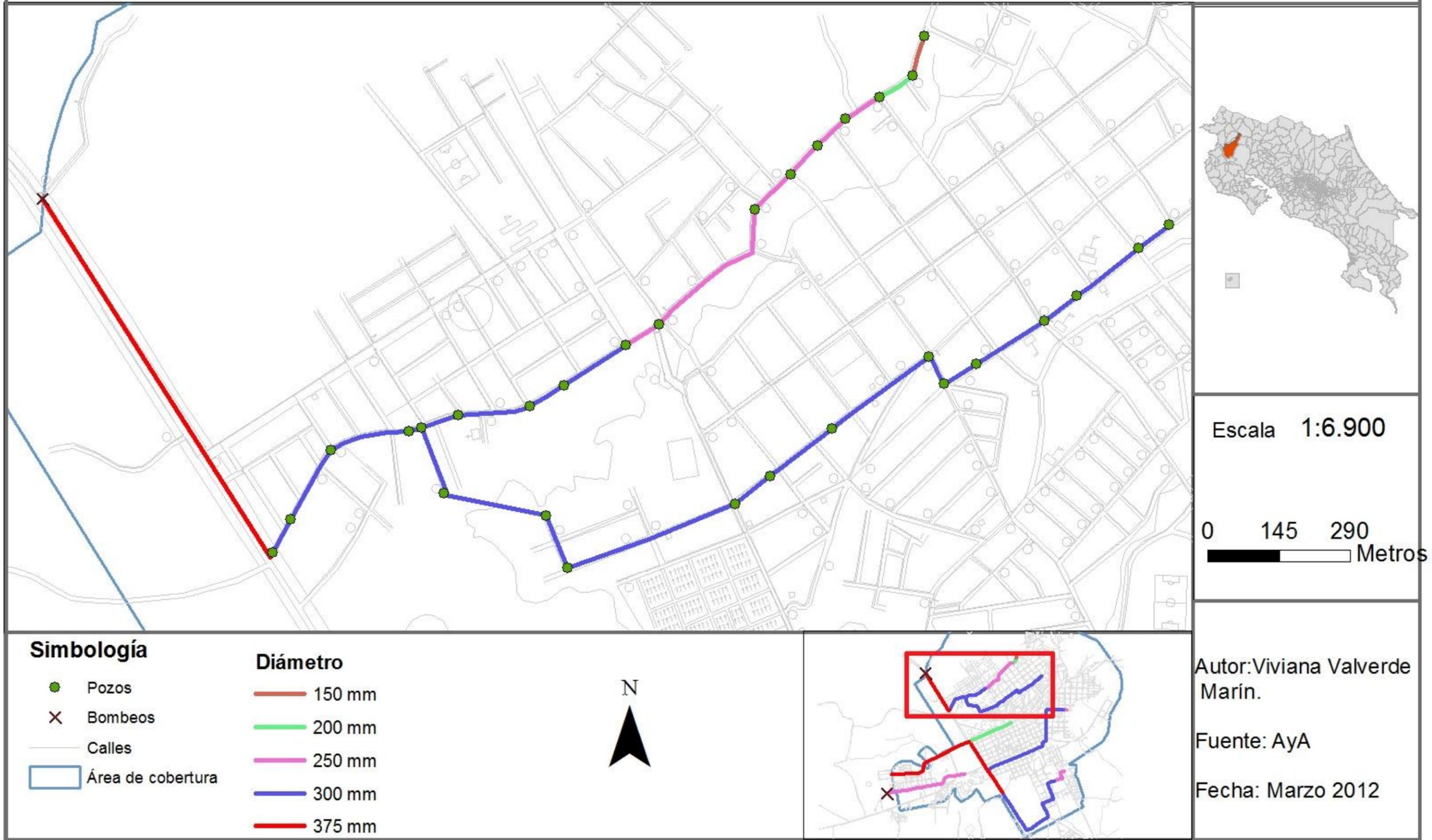
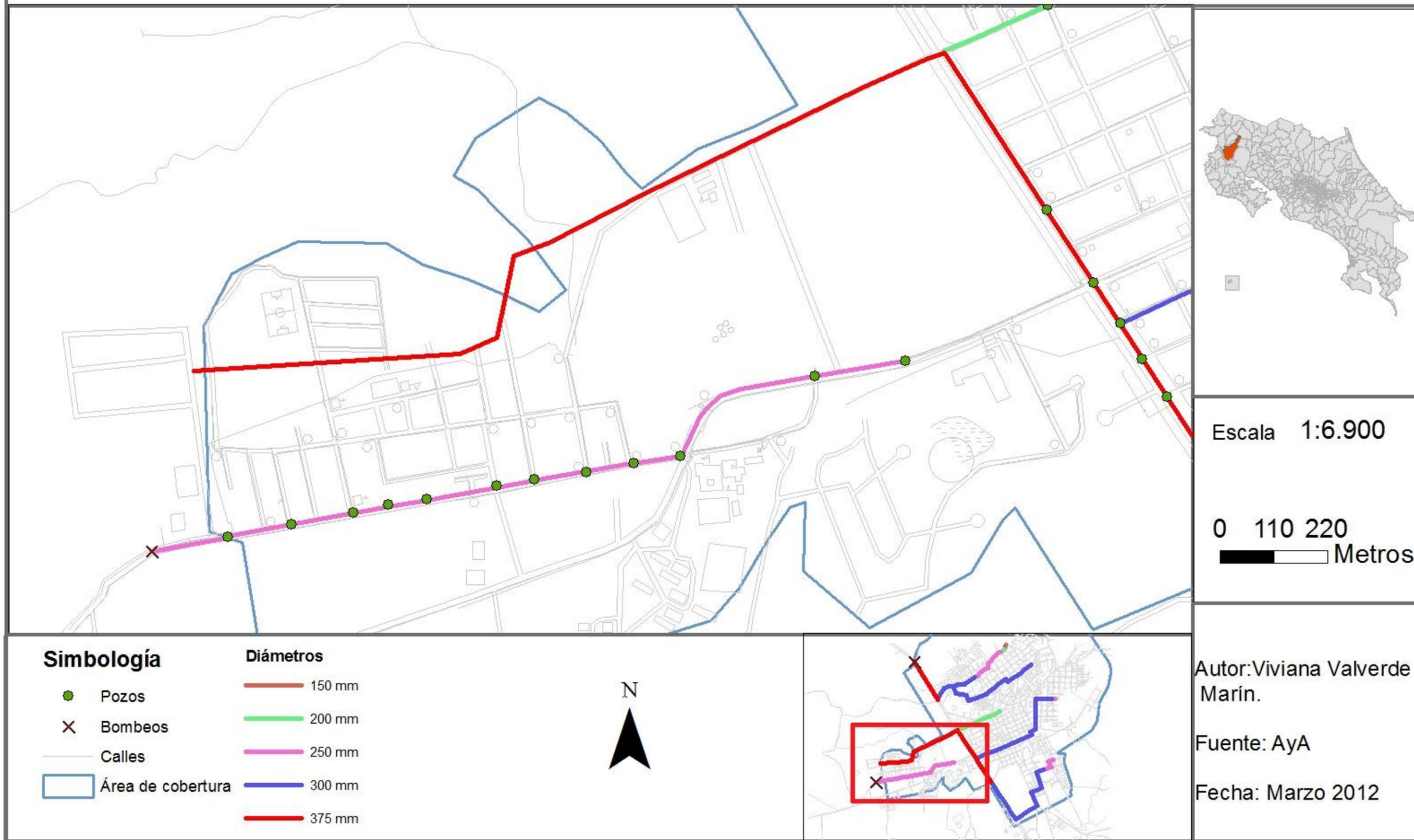


Figura 64: Mapa N°14: Colector sur Liberia, Costa Rica



CAPÍTULO VI
ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

En este capítulo se analizan y comparan los siguientes sistemas de tratamiento de aguas residuales: Lodos Activados, Filtro Percolador y Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB). Finalmente, se escoge el sistema de tratamiento de aguas residuales más apto para las características poblacionales, económicas, territoriales y climatológicas de la zona de Liberia, así como las características del caudal a tratar.

En los siguientes apartados se describe la comparación que realiza la literatura entre estos sistemas de tratamiento y se presenta un análisis multicriterio, en el cual se considera el criterio profesional de varios profesionales con respecto a los sistemas de tratamiento considerados, se comparan y finalmente se escoge un sistema de tratamiento.

6.1 COMPARACIÓN LITERARIA

Para realizar un mejor análisis, los parámetros a comparar se dividieron en cuatro categorías: análisis económico, eficiencia de remoción, productos finales y operación. Cada una de estas categorías se divide a su vez en diferentes componentes.

6.1.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el análisis económico se analiza y compara los siguientes aspectos: inversión inicial, costo de operación y costo de mantenimiento de cada sistema.

Para obtener la inversión inicial, así como el costo de operación y mantenimiento de cada sistema, se utilizaron las fórmulas obtenidas en el Trabajo Final de Graduación de Erick Centeno Mora del 2011 y se dividieron entre la población para obtener el costo per cápita. Las fórmulas utilizadas se obtuvieron con el diseño de cada sistema de tratamiento, asumiendo que los parámetros del efluente cumplían con los límites legales. Además los costos de operación y mantenimiento se obtuvieron con precios del 2011 y de un listado de empleados y actividades a realizar establecidas en Von Sperling, 2004. A continuación se muestra un cuadro con los resultados, para la población de diseño de 78 191 habitantes:

Cuadro 20: Inversión inicial, costo de operación y costo de mantenimiento per cápita.

Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB)
Inversión promedio máxima por habitante (dólares /hab)		
34,34	38,34	27,15
Costo promedio mensual de operación por habitante (dólares/hab)		
3,79	0,87	0,52
Costo promedio mantenimiento anual por habitante (dólares/hab)		
0,27	0,31	0,19

Fuente: Autor, 2011

Como se observa en el cuadro anterior, el método UASB es el más barato en todos los aspectos analizados. Es un 30% más barato en la inversión inicial que el filtro percolador y un 20% más barato que los lodos activados. Igualmente, en el caso de los costos de operación, la diferencia entre el UASB y el filtro percolador es de un 40% y entre el UASB y los lodos activados es de un 86%. Mientras que en los costos de mantenimiento, la diferencia entre el tratamiento UASB y el filtro percolador es de 40% y entre el tratamiento UASB y los lodos activados es de un 30%.

Se debe mencionar que los costos a pagar por persona para el mantenimiento y operación de los distintos tratamientos son muy bajos (menos de un dólar por persona), a excepción del costo de operación para los lodos activados.

A continuación se presenta un cuadro resumen que indica cuál sistema de tratamiento es menos caro y cuál es más caro, con el fin de poder compararlos. Los valores verdes son los menos caros y los negros los más caros, pasando por amarillo y rojo.

Cuadro 21: Comparación económica entre sistemas de tratamiento

		Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB)
Análisis económico	Inversión inicial	●	●	●
	Costo operación	●	●	●
	Costo mantenimiento	●	●	●
<i>Total de análisis económico</i>		●	●	●

Fuente: Autor, 2011

En el cuadro anterior se presenta de una manera más cualitativa la comparación de los costos, entre los sistemas de tratamiento analizados. Se observa que el sistema de tratamiento UASB es el menos costoso en todos los parámetros, mientras que el filtro percolador es el segundo menos costoso y los lodos activados es el más costoso. Se aprecia también que la mayor diferencia entre los costos de los sistemas se presenta en los costos de operación.

Finalmente, se puede concluir que según las fórmulas utilizadas y las consideraciones tomadas para la creación de estas fórmulas en el Trabajo de Graduación Final de Erick Centeno, el sistema de tratamiento más barato, según el análisis económico es el UASB, seguido por el filtro percolador y los lodos activados.

6.1.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN

En el apartado de eficiencia de remoción se analiza y compara la eficiencia en remoción de: DBO, Nutrientes y Coliformes.

Para obtener la comparación entre sistemas de tratamiento en el apartado de eficiencia de remoción, se estudió el texto de Sperling, 2004, el cual propone una comparación. A

continuación se presenta el cuadro con los resultados. El color verde son los más eficientes y el rojo los menos eficientes.

Cuadro 22: Comparación de eficiencia de remoción entre sistemas de tratamiento propuestos

		Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB)
Eficiencia de remoción	DBO	●	●	●
	Nutrientes	●	●	●
	Coliformes	●	●	●
<i>Total de eficiencia de remoción</i>		●	●	●

Fuente: Spelding, 2004; adaptado por autor.

Del cuadro anterior se observa que los sistemas de tratamiento de lodos activados y el filtro percolador tienen la misma eficiencia de remoción en DBO, Nutrientes y Coliformes; mientras que el sistema de tratamiento UASB, tiene la misma eficiencia de remoción de DBO y Coliformes, pero una menor eficiencia de remoción de nutrientes.

6.1.3 PRODUCTOS FINALES

En el apartado de productos finales se analiza y compara el impacto ambiental de los siguientes productos finales: olores, lodos, gases, ruidos, área, distancia a linderos y apariencia del efluente. El color verde implica que existe menos impacto, mientras que el color negro implica mayor impacto.

Cuadro 23: Comparación de productos finales entre sistemas de tratamiento propuestos

		Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB)
Productos finales	Olores	●	●	●
	Lodos	●	●	●
	Gases	●	●	●
	Ruido	●	●	●
	Distancia a linderos	●	●	●
	Apariencia del efluente	●	●	●
	Área	●	●	●
<i>Total de productos finales</i>		●	●	●

Fuente: Sperling, 2004; adaptado por el autor, 2011

En el cuadro anterior se observa que el filtro percolador es el sistema de tratamiento, cuyos productos finales afectan de menor manera al ambiente, es el sistema que produce menos olores, lodos y gases en comparación a los otros sistemas de tratamiento analizados. En este caso el tratamiento UASB es el que produce los olores más fuertes y la mayor cantidad de gases; produce una mayor cantidad de lodos que el filtro percolador pero menos que los lodos activados.

Con respecto al ruido y a la apariencia del efluente, los lodos activados producen mayor ruido, seguido por el filtro percolador y el UASB. Por el contrario, el tratamiento UASB es el que tiene una peor apariencia del efluente, mientras que los lodos activados y el filtro percolador tienen la mejor apariencia del efluente.

Con respecto al área y a la distancia de los linderos, el filtro percolador es el tratamiento que abarca mayor cantidad de área y que necesita más distancia a los linderos. Mientras que los lodos activados y el UASB abarcan un área y una distancia a los linderos similar.

6.1.4 OPERACIÓN

En el apartado de operación se analiza y compara los siguientes aspectos: amortiguamiento de picos y simplicidad. El color verde significa mayor facilidad o el negro menor facilidad.

Cuadro 24: Comparaciones en operación entre los sistemas de tratamiento propuestos

		Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB)
Operación	Amortiguamiento de picos	●	●	●
	Simplicidad	●	●	●
Total de operación		●	●	●

Fuente: Sperling, 2004; adaptado por autor, 2011

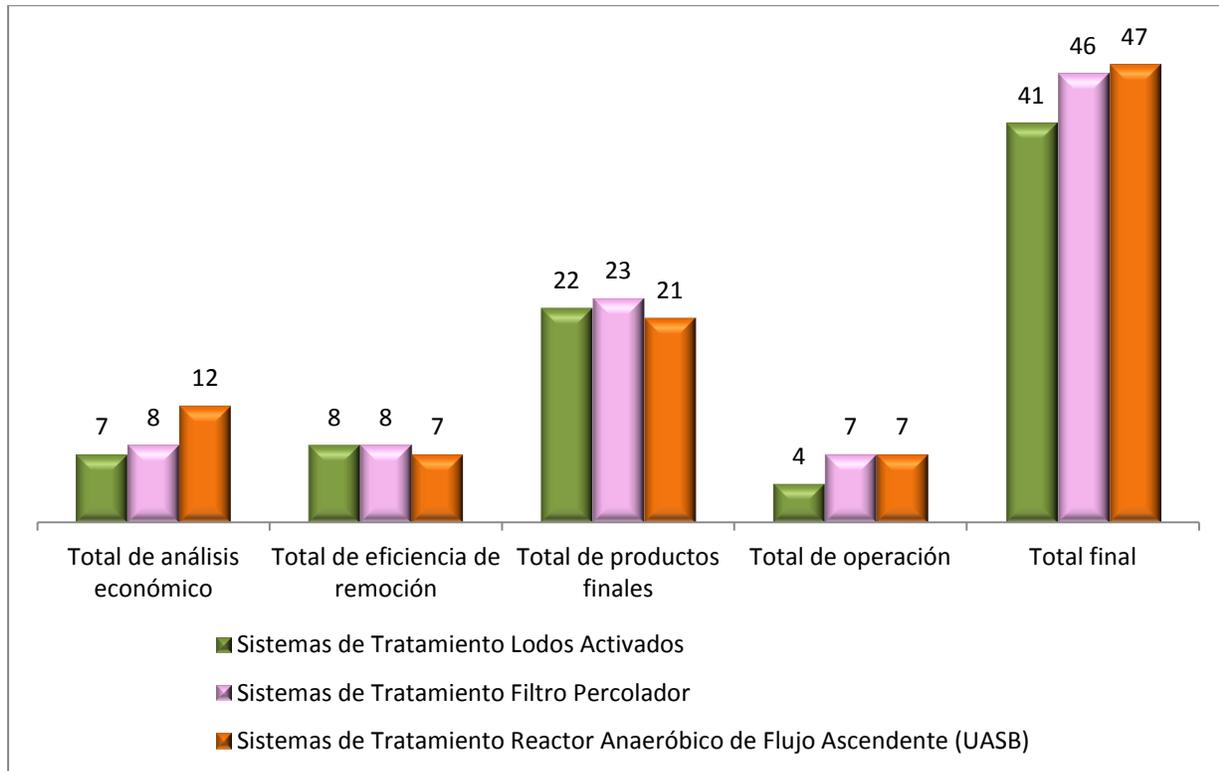
En el cuadro anterior se observa que el filtro percolador es el sistema que amortigua los picos de caudal de la mejor manera. Mientras que los lodos activados y el UASB los amortiguan de manera media.

Con respecto a la simplicidad de operación, el UASB es el sistema de tratamiento que se opera con mayor facilidad, seguido por el filtro percolador y los lodos activados, a los cuales hay que estarles monitoreando la aireación en el reactor y el reflujos de la biomasa al reactor.

El problema con un sistema que no amortigua bien los picos de caudal, es que la eficiencia en ese momento se ve comprometida. En estos eventos se pueden remover cantidades considerables de biomasa, lo cual afecta el tratamiento; igualmente puede disminuir el tiempo de retención, por lo que el efluente no tiene la calidad que debería tener después del tratamiento.

6.1.5 COMPARACIÓN FINAL SEGÚN LA LITERATURA

FIGURA 65: Comparación final de los parámetros analizados entre los sistemas de tratamiento propuestos



Fuente: Autor, 2011

Para la figura anterior se sumaron los valores otorgados en los parámetros analizados anteriormente, estos valores se obtuvieron de Sperling 2004. En la figura anterior se observa que en el aspecto económico, considerando ya la inversión inicial, el costo de mantenimiento y operación, el sistema de tratamiento UASB es considerablemente el más económico, mientras que los lodos activados y el filtro percolador tienen un costo similar.

En el aspecto de la eficiencia de remoción, los tres sistemas presentan una eficiencia similar; el tratamiento UASB tiene una eficiencia menor en comparación que los lodos activados y el filtro percolador. Por otro lado, estos dos tratamientos presentan una eficiencia de remoción muy similar.

En el apartado de productos finales, se comienzan a observar las diferencias entre los lodos activados y el filtro percolador. El filtro percolador es el sistema que tiene menos impacto en el ambiente, puesto que produce menor cantidad de productos finales. Los lodos activados son el siguiente tratamiento menos contaminante y el UASB es el sistema más contaminante de los tres analizados en este trabajo.

Con respecto a la operación, el filtro percolador y el UASB son los tratamientos más sencillos de operar, mientras que los lodos activados son los más complejos de operación.

Finalmente, al analizar y comparar todos los parámetros considerados, la literatura presenta que el mejor sistema de tratamiento de agua residuales es el UASB. Sin embargo, existe una diferencia de un punto entre el UASB y el filtro percolador. Este criterio es teórico y no considera particularidades del sitio y de la población en donde se ubicará dicho sistema, por lo que la selección final del sistema de tratamiento de aguas residuales debe analizar estos aspectos. En el siguiente apartado se analizan estas particularidades.

6.2 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS

Para realizar la selección del tratamiento a utilizar, se hace un análisis multicriterio. Para que el análisis sea objetivo, se entrevista a cinco profesionales en el área, para que con su criterio se coloquen pesos a cada factor.

Entre los ingenieros entrevistados, se encuentran un diseñador de plantas de tratamiento de aguas residuales, un operador, un actual diseñador de plantas quién también ejerció como operador y un ingeniero civil con conocimiento en planificación y selección de proyectos; este último entrevistado no forma parte del AyA.

A estos cuatro ingenieros se les solicitó que colocaran, según su criterio, el porcentaje de importancia que debería tener cada factor a la hora de escoger un sistema de tratamiento. Se presentan los factores analizados:

- Análisis financiero
- Eficiencia
- Operación
- Productos finales /Ambiental

A continuación se exponen los porcentajes seleccionados por cada entrevistado.

Cuadro 25: Porcentajes otorgados por los entrevistados

	Diseñador 1	Operador 1	Diseñador 2	Operador 2	Total
ANÁLISIS ECONÓMICO	40%	20,00%	50,00%	25,00%	34%
EFICIENCIA	10%	10,00%	5,00%	25,00%	13%
ROBUSTEZ/ OPERACIÓN	20%	30,00%	15,00%	15,00%	20%
AMBIENTAL/ ENTORNO/ IMPACTOS	30%	40,00%	30,00%	35,00%	34%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100%

Fuente: Entrevistados, 2011

Es importante observar que en el caso de ambos diseñadores, se le dio más importancia al análisis económico, que a la eficiencia y a la operación del sistema. Por otro lado, todos le otorgaron porcentajes altos a los productos finales o impactos ambientales. Finalmente, los porcentajes utilizados fueron los siguientes: 34%, 13%, 20%, y 34% estando empatados en importancia el análisis económico y los productos finales o impactos ambientales, la eficiencia obtuvo el menor porcentaje de importancia y en medio se encuentra la operación.

También se le otorgaron pesos a los aspectos que integran cada factor analizados en el cuadro anterior. Para obtener estos pesos se entrevistó a una ingeniera civil encargada de diseños y selección de plantas de tratamiento de aguas residuales. Los pesos se seleccionaron siendo 1 el valor que indica la menor importancia y 10 el que indica la mayor importancia. A continuación se presentan la importancia seleccionados por ella.

Cuadro 26: Pesos otorgados por la entrevistada

FINANCIERO		EFICIENCIA		ROBUSTEZ/ OPERACIÓN		AMBIENTAL/ ENTORNO/ IMPACTOS			
Inversión inicial	6	DBO	10	Simplicidad	7	Ruido	4	Lodos	8
Costo operación	8	Nutrientes	10	Tolerancia a picos	5	Olor	8	Gases	6
Costo mantenimiento	8	Coliformes fecales	10			Color	5	Área	7
								Distancia a linderos	7

Fuente: Entrevistada, 2012

Con estos pesos y los porcentajes obtenidos, se construye la tabla multicriterio para seleccionar el mejor tratamiento. Para diferenciar las fortalezas y debilidades de cada tratamiento se utilizaron los valores obtenidos en Spelding, 2004.

6.2.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación se presenta la sección del análisis económico, del análisis multicriterio. Se debe mencionar que los valores comparativos entre las diferentes tecnologías se tomaron de la tesis de Erick Centeno, el cual hace referencia al libro de texto Spelling, cuyos valores se analizaron en la sección anterior 6.1 Comparación literaria.

Cuadro 27: Análisis multicriterio, sección del análisis económico

		Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)
Análisis económico	34%			
Inversión inicial	6	3	3	4
Costo operación	8	1	2	4
Costo mantenimiento	8	4	3	4
Total		20	20	30

Fuente: Entrevistados, 2012 y Centeno, 2011

En el cuadro anterior se observa que se le da un mayor peso al costo de operación y mantenimiento que a la inversión inicial.

En los tres rubros, el tratamiento UASB es el más económico de todos, mientras que el filtro percolador es el más caro en el costo de mantenimiento y los lodos activados es el menos económico en el costo de operación.

Como total, el tratamiento UASB calificó en este rubro un valor de 30, siendo el más beneficioso y económico. Los lodos activados y el filtro percolador obtuvieron un valor de 20, por lo tanto este, rubro no es significativo para determinar cuál de estos dos métodos es mejor.

6.2.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN

A continuación se presenta la sección de eficiencia de remoción, en el análisis multicriterio. Se debe mencionar que los valores comparativos entre las diferentes tecnologías se tomaron de la tesis de Erick Centeno, el cual hace referencia al libro de texto Sperling, cuyos valores se analizaron en la sección anterior 6.1 Comparación literaria.

Cuadro 28: Análisis multicriterio, sección eficiencia de remoción

		Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)
Eficiencia	13%			
DBO	10	4	4	4
Nutrientes	10	2	2	1
Coliformes fecales	10	2	2	2
Total		10,00	10,00	8,75

Fuente: Entrevistados, 2012 y Centeno, 2011

En el cuadro anterior se observa que la entrevistada le dio la máxima importancia (10) a la eficiencia de remoción de DBO, nutrientes y coliformes fecales. Sin embargo, los ingenieros entrevistados le otorgaron un porcentaje bajo a la eficiencia.

Considerando estos pesos, los lodos activados y el filtro percolador obtuvieron una calificación de 10, mientras que el UASB obtuvo una calificación menor de 8,75. De estos

resultados se entiende que el UASB presenta una menor eficiencia en la remoción de nutrientes y una eficiencia igual para el DBO y la remoción de los coliformes fecales.

Igualmente, el factor de la eficiencia no resulta un rubro importante para diferenciar los tratamientos de lodos activados y el filtro percolador, más sí para determinar una eficiencia menor del UASB en comparación a los otros tratamientos.

6.2.3 PRODUCTOS FINALES

A continuación se presenta la sección de productos finales o impactos ambientales, del análisis multicriterio. A continuación se presenta la sección de eficiencia de remoción, en el análisis multicriterio. Se debe mencionar que los valores comparativos entre las diferentes tecnologías se tomaron de la tesis de Erick Centeno, el cual hace referencia al libro de texto Sperling, cuyos valores se analizaron en la sección anterior 6.1 Comparación literaria.

Cuadro 29: Análisis multicriterio, sección productos finales o impactos ambientales

		Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)
Productos finales/ Impactos ambientales	34%			
Ruido	4	1	3	4
Olor	8	4	4	2
Color	5	4	4	3
Lodos	8	1	4	2
Gases	6	4	4	2
Área	7	4	2	4
Distancia a linderos	7	4	2	4
Total		62	63	54

Fuente: Entrevistados, 2012 y Centeno, 2011

En el cuadro anterior se observa que el sistema de tratamiento que produce menos productos finales que generen impactos ambientales es el filtro percolador. Este sistema es el que produce menos lodos, poco olor y pocos gases, posee el mejor color de efluente

(junto con los lodos activados), por lo tanto, es el sistema de tratamiento que ejerce menos impacto en el ambiente. Los punto más débiles de este tratamiento, identificados, son el área que requiere y las distancia a linderos. En ambos casos es el sistema de tratamiento que peor puntuó, aunque se debe considerar que para los lodos activados se debe considerar un área para el tratamiento de los lodos producidos. Además este tratamiento produce más ruido que el sistema UASB.

Por otro lado, el sistema de tratamiento UASB origina la mayor cantidad de productos finales. Este tratamiento crea fuertes olores, gran cantidad de lodos y gases y vierte el efluente con el peor color final o apariencia. Por otro lado este sistema es el que necesita la menos cantidad de área y la menor distancia a los linderos (junto con los lodos activados) y es el sistema que produce menos ruido.

Se debe mencionar que en esta sección los parámetros con mayor peso fueron los lodos y los olores producidos, seguidos por el área y la distancia a los linderos requerida.

Para esta sección, el sistema de tratamiento recomendado es el filtro percolador.

6.2.4 OPERACIÓN

A continuación se presenta la sección de operación, del análisis multicriterio. A continuación se presenta la sección de eficiencia de remoción, en el análisis multicriterio. Se debe mencionar que los valores comparativos entre las diferentes tecnologías se tomaron de la tesis de Erick Centeno, el cual hace referencia al libro de texto Sperling, cuyos valores se analizaron en la sección anterior 6.1 Comparación literaria.

Cuadro 30: Análisis multicriterio, sección operación

		Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)
Operación	20%			
Simplicidad	7	1	3	4
Tolerancia a picos	5	3	4	3
Total		4,4	8,2	8,6

Fuente: Entrevistados, 2012 y Sperling 2011

En el cuadro anterior se observa que el factor que tiene más peso es la simplicidad de operación, mientras que la tolerancia a picos tiene una importancia media.

Para esta sección, el filtro percolador y el UASB tienen pesos muy similares, la diferencia reside en que el UASB es más sencillo de operar que el filtro percolador y el filtro percolador posee una mejor tolerancia a picos que el UASB.

Por otro lado, el sistema de tratamiento de los lodos activados tiene el peor puntaje, siendo el sistema más difícil de operar y con una tolerancia a picos media.

6.2.5 ESCOGENCIA FINAL ANÁLISIS MULTICRITERIO

El resultado final del análisis multicriterio se presenta a continuación.

Cuadro 31: Totales del análisis multicriterio

	Porcentaje	Lodos Activados	Filtro Percolador	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)	Mejor Tratamiento
Análisis económico	34%	20	20	30	UASB
Eficiencia	13%	10,00	10,00	8,75	Lodos Activados y Filtro Percolador
Operación	20%	4,4	8,2	8,6	UASB y Filtro Percolador
Productos finales/ Impactos Ambientales	34%	62	63	54	Filtro Percolador
Total	100%	96	101	101	

Fuente: Entrevistados, 2012

En el cuadro anterior se observan las cuatro secciones en las que se dividió el análisis multicriterio y el puntaje que recibió cada tratamiento en cada sección.

Se observa que diferentes sistemas de tratamiento obtuvieron las puntuaciones más altas en las secciones con los porcentajes más altos. Para el análisis económico (con un 34%) lo

ganó el sistema de tratamiento UASB, mientras que la sección de productos finales, el sistema de filtro percolador tuvo la mayor puntuación.

Las otras secciones del análisis multicriterio, con porcentajes menores, los ganaron los lodos activados y el filtro percolador para la sección de la eficiencia y el UASB y el filtro percolador para la sección de operación.

En vista de que el sistema de tratamiento del filtro percolador ganó tres de las cuatro secciones analizadas, se esperaría que fuera la opción con mayor puntuación y por lo tanto, la recomendada. Sin embargo, el tratamiento UASB obtuvo la misma puntuación final (101), esto en vista de que tuvo el mayor puntaje en la sección del análisis económico con una diferencia significativa de 10 puntos.

Por lo tanto los resultados del análisis multicriterio son que el sistema de tratamiento de lodos activados es el menos recomendado con la menor puntuación, los sistemas de filtro percolador y UASB se encuentran empatados con la misma puntuación, con la diferencia de que el filtro percolador presenta mejores resultados en aspectos como eficiencia, operación y productos finales, mientras que el UASB presenta mejores resultados solamente en el análisis económico y presenta debilidades en los productos finales del sistema y la eficiencia.

A continuación se presenta una figura con los resultados del análisis multicriterio.

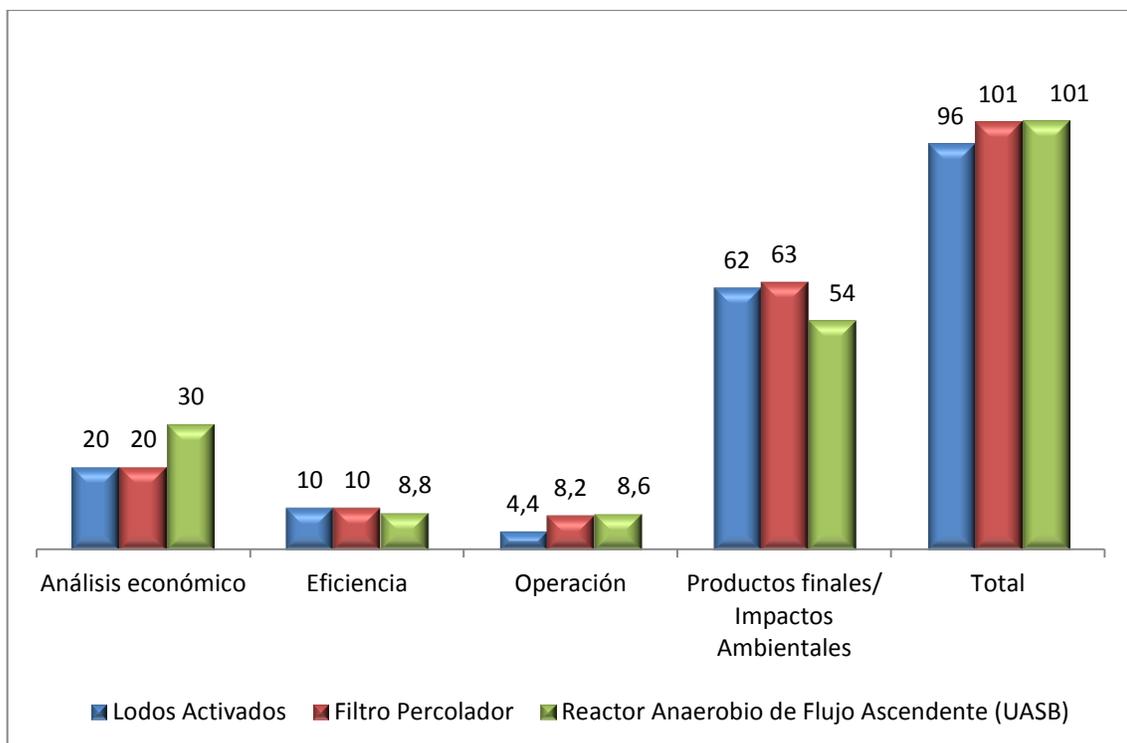


Figura 66: Resultados totales del análisis multicriterio

Fuente: Autor, 2012

6.3 SELECCIÓN FINAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para realizar la selección final del sistema de tratamiento que se recomendará, se deben considerar los resultados de la investigación literaria y los resultados del análisis multicriterio.

En la revisión literaria, el sistema de tratamiento recomendado es el UASB. Sin embargo, la diferencia entre el UASB y el filtro percolador es solamente de 1 punto.

En el análisis multicriterio, los sistemas de tratamiento UASB y el filtro percolador quedaron empatados con una puntuación de 101.

Por lo tanto, los dos sistemas de tratamiento se encuentran empatados en la puntuación total.

En ambos casos, los lodos activados tuvieron la menor puntuación, por lo que es el sistema de tratamiento menos recomendado.

Al observar la igualdad en puntuación de los sistemas recomendados, se analizan los dos diferentes tipos de filtro percolador: tasa alta y tasa baja; y dos tipos de UASB: UASB con un post tratamiento de lodos activados y UASB y un post tratamiento de filtro percolador.

Al comparar los cuatro sistemas de tratamiento, se observa que todos cuentan con eficiencias similares, entre el 80% y el 90% en los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Ninguno de los sistemas propuestos utiliza energía, a excepción del tratamiento UASB + lodos activados, el cual utiliza gran cantidad de energía, aunque menor que solamente lodos activados.

Con respecto a los impactos ambientales, el sistema de tratamiento UASB+ filtro percolador es el que produce menor cantidad de lodos, además dicho lodo ya se obtiene estabilizado, por lo que su tratamiento solamente consistiría en depositarlo.

El área requerida para los filtros percoladores de baja y alta tasa, es mayor, que el área requerida para un UASB con lodos activados o filtro percolador. Igualmente el área requerida para un UASB con lodos activados o un filtro percolador requieren la misma cantidad de área, la cual es alrededor de $0,2 \text{ m}^2/\text{hab}$.

Finalmente para los costos tanto de construcción, como de operación, el sistema de tratamiento de UASB+filtro percolador es el más económico con costos de 25-35\$/hab para la construcción y 2-3\$/hab/año.

Considerando los parámetros anteriores analizados, se obtiene que el sistema de tratamiento de UASB+ filtro percolador es el más económico, el que produce menos impactos ambientales como los lodos, necesita la menor área, no utiliza energía y tiene una eficiencia similar al resto de tratamientos. Por lo tanto el sistema de tratamiento propuesto para el tratamiento de las aguas negras de la ciudad de Liberia es el UASB con un post tratamiento de tipo filtro percolador.

CAPÍTULO VII:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 CONCLUSIONES

1. El alcantarillado sanitario presenta varios problemas operativos además de que no se le da el mantenimiento debido, esto debido mayormente a la falta de mano de obra y equipo. El mayor de los problemas son las obstrucciones de las tuberías debido a las grasas que vierten los comercios de la zona.
2. Las lagunas presentan problemas operativos porque existe un flujo preferencial en la segunda cámara de distribución de caudales. Un caudal mayor entra a la laguna por la tubería central, por lo que no se da el flujo recomendado en estos tratamientos, para garantizar el mismo tiempo de retención y por ende, el mismo tratamiento para todas las partículas. Además, otro problema operativo es que existe en las lagunas, solamente una salida en vez de tres, por lo que se fomenta la creación de zonas muertas en las que se genera la proliferación de las natas.
3. Existe además problema de mantenimiento, el cual está contratado a una empresa privada, la cual tiene pocos empleados, con escasa preparación en el mantenimiento de las lagunas, por lo que la recolección de natas no se lleva a cabo de manera periódica.
4. Las lagunas cumplen con el límite de concentración para los sólidos suspendidos totales, los sólidos sedimentables, las grasas y aceites y las sustancias activas al azul metileno. Sin embargo, en el caso de los sólidos suspendidos totales, la concentración promedio se encuentra apenas en un 23% por debajo del límite permitido por ley. Asimismo, las grasas y aceites han aumentado su concentración en los últimos cinco años, antes del 2006 su concentración promedio era de 4,6 mg/L, mientras que a partir del 2007 a la fecha la concentración promedio es de 9 mg/L, el doble. Por el contrario, las SAAM han disminuido su concentración, antes del 2008 se vertía una concentración de 5,2 mg/L mientras que después del 2008 su concentración es de 2,4 mg/L.
5. Las lagunas no cumplen con el límite de concentración para el DBO y el DQO. Para el primer parámetro la concentración límite permitida por la ley es de 50 mg/L, y la concentración vertida por las lagunas es de 69 mg/L. Asimismo, para el DQO la concentración permitida por la ley es de 150 mg/L y la concentración vertida por las lagunas es de 277 mg/L, un 60% más de lo permitido.

6. Los porcentajes de remoción en la laguna son altos, entre el 70% y 80%, por lo que la razón por la que las concentraciones después del tratamiento sigan siendo altas, se debe a que las lagunas están tratando mayor caudal y mayor carga orgánica de la que fueron diseñadas a tratar. Por lo tanto, si la finalidad del proyecto es aumentar el área de cobertura del alcantarillado sanitario, las lagunas actuales en Liberia no darán abasto para tratar el nuevo caudal.
7. La cobertura propuesta del alcantarillado sanitario comprende un área de 1342 Ha, abarca desde los INVUS hasta el barrio La Cruz y El Capulín.
8. El alcantarillado sanitario propuesto cuenta con cinco colectores y un colector final, 15,30 km de tubería, 84 pozos y 2 estaciones de bombeo. Todos los tramos tienen velocidades mayores de 0,6 m/s y menores de 6 m/s, por lo que no debería haber problemas de sedimentación ni abrasión en las tuberías. Igualmente, todos los tramos cumplen con el número de Froude, de tal manera que, ninguno se encuentra en la fase de transición.
9. El alcantarillado sanitario se dimensionó con PVC y para diámetros mayores de 300 mm con Novafort. Los diámetros de los colectores varían de los 150 mm a los 375 mm.
10. No se consideró el caudal de ilícitas porque encarece de gran manera el proyecto. Además estos picos de caudal causan un lavado de la biomasa en la planta, por lo que durante las semanas siguientes se estaría vertiendo agua sin tratar, mientras se recupera la biomasa.
11. En la revisión literaria y el análisis multicriterio, los lodos activados es el sistema menos recomendado. Esto se debe por la gran cantidad de lodos que produce, así como su dificultad para operar, puesto que para que opere de manera eficiente se necesita de un operador más calificado que controle la aireación en el reactor y el reflujos de biomasa que se da hacia el reactor.
12. El tratamiento UASB es el más recomendado en la revisión literaria, en gran parte por su economía, tanto en la inversión inicial, como en el costo de operación y mantenimiento. En el análisis multicriterio el UASB y el filtro percolador están empatados como los sistemas de tratamiento recomendados. Igualmente, en este caso, el beneficio del UASB es su economía y su facilidad de operación, mientras que

el filtro percolador es el mejor tratamiento en términos de eficiencia, operación y productos finales o impactos ambientales.

13. Se debe tener presente que el análisis multicriterio depende de los pesos que cada entrevistador otorga a cada factor. En este caso los diseñadores indicaron porcentajes sumamente altos al análisis económico, sacrificando la eficiencia, operación y el impacto ambiental. Por otro lado, los operadores le indicaron un porcentaje mayor a los impactos y la eficiencia que al análisis económico. Esto se puede justificar de tal manera, que los primeros son los encargados de proponer un sistema rentable para la institución (ambos trabajan para el AyA) mientras que los segundos son los encargados de operar diariamente los sistemas que los diseñadores propusieron, son los responsables de garantizar el cumplimiento de las concentraciones vertidas en el efluente.
14. Por lo tanto, el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto para la ciudad de Liberia es el UASB con un post-tratamiento de filtro percolador

7.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda colocar un desarenador en la PTAR de Liberia actual, ubicado antes de las lagunas.
2. Se debería realizar un mantenimiento semestral de la estructura en la planta de tratamiento de Aguas Residuales de Liberia. Pintar las estructuras de concreto, cambiar las rejillas oxidadas y mantener los taludes de las lagunas secundarias para que se encuentren en zacate recortado.
3. Se debe exigir una limpieza regular de natas.
4. Se debe dar un mantenimiento al alcantarillado sanitario, limpiar los pozos por lo menos cada dos o tres meses para evitar obstrucciones en el alcantarillado.
5. Para lograr el mantenimiento y la operación esperada, se debería aumentar el personal encargado y otorgarles equipo necesario, así como exigir el uso del equipo de seguridad.
6. Se debe construir un laboratorio en la planta de Liberia, para evitar que las muestras se deban trasladar hasta San José y se atrasen los resultados.
7. Se debería comenzar una campaña por parte del AyA y el Ministerio de Salud, para informar a los dueños de restaurantes y sodas sobre los peligros y las consecuencias de no tener trampas de grasa adecuadas.

8. Los tramos del alcantarillado sanitario actual que se encuentran en asbesto cemento, se deberían de ir sustituyendo puesto que ya no existen en el mercado este tipo de tubería ni accesorios para asbesto cemento, lo cual dificulta el mantenimiento. Igualmente, se debería sustituir poco a poco las tuberías del alcantarillado sanitario viejo, para darle más vida útil al alcantarillado actual.
9. En un futuro se debe proponer un tratamiento para las zonas que no se incluyeron en el área de cobertura recomendada para el alcantarillado. Aunque sean zonas con baja densidad de población, se deben considerar tratamientos acordes a la cantidad de habitantes.
10. Para las futuras redes de alcantarillado que conectan con los colectores principales dimensionados, se deben dimensionar tratando de crear la estructura de redes secundarias, primarias, colectores principales y colectores finales.
11. Se debe realizar la selección de las bombas para las dos estaciones de bombeo recomendadas y el diseño de las estaciones de bombeo. Igualmente, diseñar los colectores que salen de los bombeos hasta el colector final.
12. Para la selección del sistema de tratamiento a utilizar se recomienda realizar un diseño y un análisis económico específico para el caso de la ciudad de Liberia, así como el análisis multicriterio específico para la ciudad de Liberia, consultando a más profesionales de distintas áreas para obtener un resultado todavía más objetivo.
13. En vista de que no se consideró el caudal de ilícitas, se debe realizar una campaña fuerte por parte del AyA, para detectar las conexiones ilícitas y removerlas. Igualmente se debe crear una conciencia en la población de que las aguas pluviales no se deben conectar al alcantarillado sanitario, porque evita el tratamiento correcto de estas aguas.
14. Igualmente, a causa de los picos de caudal por las conexiones ilícitas, se deben colocar vertedores de excedencia, en zonas donde el río tenga la capacidad para degradar la sustancia vertida al río.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centeno Mora, E. (2011). Trabajo Final de Graduación para optar por la Licenciatura de Ingeniería Civil: Análisis comparativo de distintas tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales para Municipalidades de Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Céspedes Mora, M. M. (1983). Trabajo Final de Graduación para optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil: Evaluación preliminar de la operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización de Liberia, Guanacaste. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Cifras preliminares de Población y Vivienda. (2011). Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Cualla, R. L. (2000). Diseño de Acueductos y Alcantarillados. Colombia: Alfaomega.
- Denver, P., & Arias, O. (1993). Geología del norte de la Península de Nicoya, Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Fair, G., Geyer, J., & Okun, A. (1976). Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales. México: LIMUSA.
- Informe Anual Aguas Residuales. (2011). Costa Rica: AyA.
- Kuyper, J. C. (2007). Química del medio ambiente (2a ed.). México, D. F.: Alfaomega.
- Losilla, M., Rodríguez, H., Schosinsky, G., Stimson, J., & Bethune, D. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Manual de depuración de aguas residuales urbanas. (2008). Centroamérica: Alianza por el Agua.
- Metcalf & Eddy (1996). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización (1a ed.). México: McGraw-Hill.
- Mora, E. C. (2011). Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura de Ingeniería Civil: Análisis comparativo de distintas tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales para Municipalidades de Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Plan de abastecimiento de agua para Guanacaste: Informe general de los mantos acuíferos en Guanacaste. (2008). Costa Rica: AyA; MINAE; ICE; SENARA.
- Plan de desarrollo municipal del cantón de Liberia. (2008). Costa Rica: Municipalidad de

Liberia.

Plan de residuos sólidos, Costa Rica. (2007). Costa Rica: CEGESTI, CONSULT, AMBERO.

Ramírez Corrales, J. M. (2006). Detergentes orgánicos, sintéticos y ambiente. Costa Rica: AyA.

Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos. (2007). Costa Rica: AyA.

Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. (2007). Costa Rica: República de Costa Rica.

Reglamento de zonificación de la ciudad de Liberia. (2002). Costa Rica: Municipalidad de Liberia.

Romero, C. (1996). Análisis de las de decisiones Multicriterio. Madrid: Isdefe.

Sperling, M. v. (1996). Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

Sperling, M. v. (1997). Lodos ativados. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.