

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**“Selección de un sistema de saneamiento para el manejo de aguas residuales en el  
asentamiento informal Bajo Los Anonos”**

Máryeluz Gabriela Rueda Morales

Cartago, diciembre 2017







**“Selección de un sistema de saneamiento para el manejo de aguas residuales en el  
asentamiento informal Bajo Los Anonos”**

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como  
requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

**Miembros del tribunal**

  
MS. Eng. Diana A. Zambrano P.  
Director

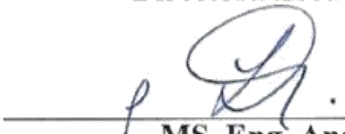
  
MSc. Alma Deloya Martínez  
Lector 1

\_\_\_\_\_  
Dra. Diana Paola Bernal  
Lector 2

  
MS. Eng. Diana A. Zambrano P.  
Coordinador COTRAFIG

  
Dra. Floria Roa

Directora Escuela de Química

  
MS. Eng. Ana Lorena Arias  
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental



## **DEDICATORIA**

Este Trabajo Final de Graduación se lo dedico muy especialmente a mis amados abuelitos, Luz Marina Ugarte y Oscar Morales, quienes siempre han estado apoyándome a lo largo de mi vida y a quienes les agradezco sus enseñanzas.

A mis padres, Karen Morales y Luis Briceño, quienes han sido parte importante de este proceso, brindándome siempre su amor incondicional. A mi amado hermano, Geovanny Briceño, a quien admiro y espero que logre cumplir todas sus metas al igual que yo estoy cumpliendo una de las mías.

“Tus actuales circunstancias no determinan donde puedes ir;  
se limitan a determinar por dónde empezar”.

Nido Qubein

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por ayudarme a tomar las mejores decisiones, las cuales hoy me tienen acá. A mis padres y hermano, por su apoyo y amor. A mis abuelitos y al resto de mi familia por ser mi soporte a lo largo de mi vida.

A la profesora MSc. Diana Zambrano, quien desde el inicio me brindó todo su apoyo. Gracias por enseñarme, aconsejarme y guiarme a lo largo de este proceso. Mi total reconocimiento por ser una fuente de inspiración para todos quienes hemos sido sus estudiantes.

A mis queridos colegas y amigos que hice durante mi paso por el TEC. Gracias por compartir conmigo las risas, las horas de estudio, las palabras de aliento en momentos difíciles. A todos ellos les deseo siempre mucho éxito en sus vidas.

A la fundación Lifting Hands por abrirme sus puertas para realizar las encuestas. A Diana Madrigal por brindarme su ayuda para ingresar a la comunidad y por sus recomendaciones en el proyecto. A doña July por acompañarme a hacer recorridos a la comunidad y por ser tan gentil conmigo. A todas las personas del Bajo los Anonos que me brindaron su ayuda y a quienes espero retribuirles con esta investigación.

Al Centro para la Sostenibilidad Urbana y a su directora Andrea San Gil por ser quienes propusieron este proyecto, por el apoyo, aportes y seguimiento brindado durante el proceso. A la profesora Alma Deloya y a Diana Bernal por ser mis lectoras y por ayudarme a mejorar esta investigación con sus recomendaciones.

Finalmente, a todos los profesores y demás funcionarios de la Escuela de Química y de la Carrera de Ingeniería Ambiental, por sus enseñanzas, su calidad humana y por contribuir a mi excelente formación como Ingeniera Ambiental.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
2.1.1	Objetivo general .....	2
2.1.2	Objetivos específicos .....	2
<b>3</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
3.1	<i>SANEAMIENTO EN ZONAS MARGINALES</i> .....	3
3.2	<i>RELACIÓN ENTRE SANEAMIENTO Y SALUD PÚBLICA</i> .....	4
3.3	<i>SANEAMIENTO SOSTENIBLE</i> .....	5
3.4	<i>SISTEMAS DE SANEAMIENTO PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS</i> .....	6
3.4.1	Tratamiento centralizado .....	7
3.4.2	Tratamiento descentralizado .....	7
3.5	<i>SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES</i> .....	8
<b>4</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
4.1	<i>LUGAR DE ESTUDIO</i> .....	10
4.2	<i>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</i> .....	11
4.2.1	Entrevista a autoridades del Gobierno Local .....	12
4.2.2	Encuestas a los habitantes de la comunidad .....	12
4.2.2.1	Selección de la población a encuestar .....	12
4.2.2.2	Composición de la encuesta .....	12
4.2.2.3	Análisis de resultados de las encuestas.....	13
4.2.3	Caracterización ambiental.....	13
4.2.4	Muestreo de aguas residuales.....	13
4.3	<i>IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS</i> .....	14
4.4	<i>PRESELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO</i> .....	15
4.5	<i>SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO</i> .....	16
<b>5</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>21</b>
5.1	<i>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</i> .....	21
5.1.1	Entrevista a autoridades del Gobierno Local .....	21
5.1.2	Encuestas a los habitantes de la comunidad.....	21
5.1.2.1	Información general .....	21
5.1.2.2	Acceso a servicios básicos .....	24
5.1.2.3	Manejo de aguas residuales .....	25
5.1.2.4	Operación y mantenimiento del sistema.....	27
5.1.2.5	Condiciones de saneamiento en la comunidad .....	28
5.1.2.6	Apreciación del ambiente.....	29
5.1.2.7	Prioridades de los habitantes de la comunidad .....	31
5.1.3	Caracterización ambiental.....	32
5.1.4	Muestreo de aguas residuales.....	34
5.2	<i>IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS</i> .....	35
5.2.1	Captura de la excreta .....	36
5.2.1.1	Inodoro con descarga de agua .....	37
5.2.1.2	Inodoro con descarga de agua y separación de orina .....	38
5.2.1.3	Inodoro seco con separación de orina.....	40
5.2.1.4	Inodoro de bajo caudal .....	42

5.2.2	Almacenamiento y tratamiento individual .....	43
5.2.2.1	Cámaras de compostaje .....	44
5.2.2.2	Cámaras de deshidratación .....	47
5.2.2.3	Tanque séptico .....	49
5.2.2.4	Filtro anaerobio .....	52
5.2.2.5	Tanque de almacenamiento de orina .....	54
5.2.2.6	Zanjas de infiltración.....	56
5.2.2.7	Trampa de grasas .....	58
5.2.3	Evacuación .....	59
5.2.3.1	Alcantarillado libre de sólidos.....	60
5.2.3.2	Alcantarillado simplificado .....	62
5.2.3.3	Alcantarillado convencional.....	65
5.2.3.4	Vaciado y transporte manual .....	67
5.2.3.5	Vaciado y transporte motorizado.....	69
5.2.4	Tratamiento semi-centralizado.....	70
5.2.4.1	Sedimentador .....	71
5.2.4.2	Tanque Imhoff.....	73
5.2.4.3	Reactor anaerobio con deflectores.....	75
5.2.4.4	Lechos de secado de lodos .....	77
5.2.4.5	Biojardineras o humedales artificiales con flujo horizontal.....	79
5.3	<i>SISTEMAS DE SANEAMIENTO PARA ZONAS MARGINALES.....</i>	<i>81</i>
5.4	<i>PRESELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO.....</i>	<i>83</i>
5.5	<i>SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO.....</i>	<i>87</i>
5.5.1	Definición y cálculo de los criterios e indicadores de selección .....	87
5.5.1.1	Criterio económico.....	89
5.5.1.2	Criterio ambiental .....	90
5.5.1.3	Criterio técnico.....	93
5.5.1.4	Criterio social.....	94
5.5.2	Aplicación del método GRA-AHP.....	96
5.5.2.1	Pesos de criterios e indicadores de selección.....	96
5.5.2.2	Sistema jerarquizado de selección de sistemas de saneamiento.....	97
5.5.2.3	Análisis relacional gris con jerarquización .....	98
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>108</b>
<b>9</b>	<b>APÉNDICES .....</b>	<b>121</b>
	<i>APÉNDICE 1. ENCUESTA REALIZADA EN LA COMUNIDAD .....</i>	<i>122</i>
	<i>APÉNDICE 2. RESULTADOS CUALITATIVOS DE LAS ENCUESTAS .....</i>	<i>127</i>
	<i>APÉNDICE 3. RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES.....</i>	<i>128</i>
	<i>APÉNDICE 4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y COSTOS DE TECNOLOGÍAS DE SANEAMIENTO .....</i>	<i>130</i>
	<i>APÉNDICE 5. COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL Y O&amp;M DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO .....</i>	<i>168</i>
	<i>APÉNDICE 6. BENEFICIOS ECONÓMICOS POR AHORRO DE AGUA Y COMERCIALIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS .....</i>	<i>173</i>
	<i>APÉNDICE 7. PESOS DE CRITERIOS DE SELECCIÓN.....</i>	<i>176</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Cadena de servicios de saneamiento. ....	5
Figura 3.2 Definición de excreta, aguas marrones y aguas pardas. ....	6
Figura 3.3 Niveles de tratamiento de la descentralización. ....	8
Figura 4.1 Ubicación del área de estudio. ....	10
Figura 4.2 Asentamiento Informal Bajo Los Anonos. ....	11
Figura 4.3 Sitios donde se realizó el muestreo de aguas residuales. ....	14
Figura 4.4 Sistema de jerarquización para la selección de alternativa de tratamiento de aguas residuales. ....	17
Figura 5.1 Edades de las personas encuestadas. ....	22
Figura 5.2 Ocupación de las personas encuestadas. ....	23
Figura 5.3 Cantidad promedio de habitantes por vivienda. ....	23
Figura 5.4 Tenencia de las viviendas en el Bajo los Anonos. ....	23
Figura 5.5 Forma en la que se eliminan los residuos sólidos. ....	24
Figura 5.6 Separación en la disposición final de aguas pardas y grises. ....	25
Figura 5.7 Manejo de aguas pardas en la vivienda. ....	25
Figura 5.8 Manejo de aguas grises en la vivienda. ....	26
Figura 5.9 Aguas residuales estancadas en la comunidad. ....	26
Figura 5.10 Aguas residuales evacuadas mediante alcantarillado en Calle Bajo Anonos y dirigidas al río. ....	26
Figura 5.11 Conocimientos sobre O&M del sistema de saneamiento. ....	28
Figura 5.12 Opinión sobre ayuda ofrecida por parte de alguna Institución. ....	29
Figura 5.13 Percepción de las personas respecto a si viven en un ambiente saludable. ....	29
Figura 5.14 Percepción de las personas respecto a si el ambiente en el que viven ha afectado su salud. ....	29
Figura 5.15 Frecuencia con la que se enferman en el hogar anualmente. ....	30
Figura 5.16 Manejo de aguas pardas en los hogares donde nunca se enferman durante el año. ....	31
Figura 5.17 Manejo de aguas pardas en los hogares donde se enferman seis veces al año o más. ....	31
Figura 5.18 Prioridad respecto a soluciones para tratar problemas en la comunidad. ....	32
Figura 5.19 Mapa de estabilidad del terreno considerando el efecto de la actividad sísmica, Bajo Anonos, Escazú, San José. Fuente: (Mora, 2009) ....	33
Figura 5.20 Sistemas propuestos para el manejo de aguas residuales en asentamientos informales o precarios. ....	82
Figura 5.21 Sistemas de saneamiento preseleccionados para ser sometidos al modelo de decisión de jerarquización. ....	85
Figura 5.22 Modelo de decisión de jerarquización para la selección de sistema de saneamiento. ....	97
Figura 5.23 Resultados obtenidos en la selección del sistema de saneamiento con el método de jerarquización. ....	102
Figura 5.24 Esquema del sistema de saneamiento seleccionado para el manejo de aguas residuales en el Bajo Los Anonos ....	103



## LISTA DE CUADROS

Cuadro 5.1 Conceptos utilizados para la reclasificación del mapa de estabilidad considerando el efecto de la actividad sísmica, Bajo Anonos, Escazú, San José. ....	34
Cuadro 5.2 Resultados de la determinación de DBO5 en tres puntos distintos de la comunidad Bajo los Anonos. ....	34
Cuadro 5.3 Resumen de las tecnologías de saneamiento propuestas para el manejo de las aguas residuales en asentamientos informales. ....	36
Cuadro 5.4 Características generales de las tecnologías de saneamiento usadas en la etapa de captura. ....	37
Cuadro 5.5 Características generales de las tecnologías de saneamiento usadas en la etapa de almacenamiento y tratamiento individual. ....	44
Cuadro 5.6 Características generales de las tecnologías de saneamiento usadas en la etapa de evacuación. ....	59
Cuadro 5.7 Características generales de las tecnologías de saneamiento usadas en la etapa de tratamiento semi-centralizado. ....	71
Cuadro 5.8 Características de los sistemas de saneamiento preseleccionados. ....	86
Cuadro 5.9 Criterios e indicadores para la selección de sistemas de manejo de aguas residuales en asentamientos informales. ....	87
Cuadro 5.10 Criterios e indicadores usados en el proceso de selección. ....	89
Cuadro 5.11 Costos de inversión inicial de los sistemas de saneamiento. ....	90
Cuadro 5.12 Costos de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento. ....	90
Cuadro 5.13 Costos de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento. ....	91
Cuadro 5.14 Concentración de DBO y SST de aguas residuales domésticas. ....	92
Cuadro 5.15 Indicador de concentración de DBO y SST de aguas residuales domésticas. ....	92
Cuadro 5.16 Nivel de complejidad según la capacitación y concientización requeridas. ....	93
Cuadro 5.17 Indicador de nivel de complejidad para cada sistema de saneamiento propuesto. ....	93
Cuadro 5.18 Indicador de requerimiento de espacio para cada sistema de saneamiento propuesto. ....	94
Cuadro 5.19 Indicador de aceptación de la tecnología por parte de los habitantes de la comunidad. ....	95
Cuadro 5.20 Indicador de ahorro por consumo de agua. ....	95
Cuadro 5.21 Indicador de ingresos obtenidos por la comercialización de biosólidos. ....	96
Cuadro 5.22 Matriz de indicadores para la selección de sistema de saneamiento en la comunidad Bajo los Anonos. ....	97
Cuadro 5.23 Indicadores normalizados de cada sistema de saneamiento propuestos. ....	98
Cuadro 5.24 Primer coeficiente correlacional gris de sistemas de saneamiento propuestos. ....	99
Cuadro 5.25 Vector ponderado del primer coeficiente relacional gris de sistemas de saneamiento propuestos. ....	99
Cuadro 5.26 Normalización del vector ponderado del primer coeficiente relacional gris de sistemas de saneamiento propuestos. ....	99
Cuadro 5.27 Segundo coeficiente relacional gris de sistemas de saneamiento propuestos. ....	100
Cuadro 5.28 Segundo coeficiente relacional gris ponderado de sistemas de saneamiento propuestos. ....	100

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AHP	Proceso de Jerarquía Analítica, por sus siglas en inglés
APHA	Asociación Estadounidense de Salud Pública, por sus siglas en inglés
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
AWWA	Asociación Estadounidense de Sistemas de Abastecimiento de Agua, por sus siglas en inglés
C	Carbono
°C	Grados Celsius
CEQIATEC	Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CNE	Comisión Nacional de Emergencias
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
EPA	Agencia de Protección Ambiental, por sus siglas en inglés
GAM	Gran Área Metropolitana
GRA	Análisis Relacional Gris, por sus siglas en inglés
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
N	Nitrógeno
NBI	Necesidades Básicas Insatisfechas
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU-HABITAT	Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, por sus siglas en inglés
OPS	Organización Panamericana de la Salud
O&M	Operación y Mantenimiento
PET	Tereftalato de Polietileno
PMAGAM	Plan para el Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana
PNSAR	Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales
PVC	Policloruro de Vinilo
SST	Sólidos Suspendedos Totales
TRH	Tiempo de Retención Hidráulico

UCR	Universidad de Costa Rica
UDDT	Inodoro Seco con Separación de Orina, por sus siglas en inglés
UN	Naciones Unidas, por sus siglas en inglés
UN-Water	Naciones Unidas por el Agua, por sus siglas en inglés
VPN	Valor Presente Neto
WEFC	Mujeres en Europa por un Futuro Común, por sus siglas en inglés
WHO	Organización Mundial de la Salud, por sus siglas en inglés
WWAP	Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, por sus siglas en inglés
WEF	Federación Ambiental del Agua, por sus siglas en inglés

## RESUMEN

El saneamiento inadecuado es una problemática presente en asentamientos informales. Aunque en Costa Rica se han hecho esfuerzos para mejorar la calidad de las aguas residuales, estas zonas aún siguen sin tener soluciones concretas. Esta investigación propone una metodología de selección de sistemas de saneamiento adecuados para asentamientos informales, tomando en cuenta criterios económicos, ambientales, técnicos y sociales. Se desarrolló la aplicación de la metodología en un estudio de caso, desarrollado en el Bajo Los Anonos, un asentamiento informal ubicado en San José. Se realizó la caracterización del sitio mediante encuestas a los habitantes, muestreo de aguas residuales y conocimiento de la perspectiva del Gobierno Local. Mediante revisión bibliográfica, se identificaron tecnologías de saneamiento adecuadas para su implementación en este tipo de lugares. Se encontró que en la comunidad hay una cobertura total en cuanto a servicios de agua potable y electricidad. Respecto al tratamiento de aguas pardas, el 43% utiliza tanque séptico seguido de un 33% que tiene salida directa al río. En el lugar existe un riesgo muy alto de deslizamiento a causa de un sismo o por la saturación de los suelos por las lluvias. Usando el método de selección multicriterio que incluye indicadores sociales, ambientales, económicos y técnicos, se obtuvo que el sistema de saneamiento más adecuado para la comunidad son tanques sépticos individuales complementados con filtros anaerobios semicentralizados. Este presentó ventajas en el criterio económico, el ambiental, y el técnico. Siguiendo el orden de selección, en segundo lugar, se ubicó el sistema de cámaras de deshidratación de heces y separación de orina, y en tercer lugar el sistema de compostaje con inodoros secos y separación de orina. Ambos sistemas mostraron tener mayores ventajas en cuanto al criterio social. Esos hallazgos reflejan que la selección de tecnologías de saneamiento es un proceso que incluye muchas variables, las cuales deben ser tomadas en cuenta para garantizar la sostenibilidad de un proyecto.

**Palabras clave:** Sistemas de Saneamiento, Tecnologías de Saneamiento, Asentamientos Informales, Selección de Tecnologías, Bajo Los Anonos, Criterios de Selección, Método Multicriterio.

## ABSTRACT

Poor sanitation is a problem in informal settlements. Although some efforts have been done in Costa Rica to improve the quality of wastewater, these areas still have a lack of actual solutions. This research presents a sanitation systems selection appropriate for slums, considering economic, environmental, technical and social criteria. The study was developed in Bajo Los Anonos, an informal settlement located in San José. This was through a characterization of the place with surveys made to the inhabitants, sampling of wastewater and knowledge of the perspective of the city hall. In addition, through bibliographic review, suitable sanitation technologies were identified for their implementation in this sort of places. It was found that exists a total coverage in terms of potable water and electricity services in the settlement. Regarding black water treatment, 43% use septic tanks followed by 33% that have direct discharge in the river. Also, there is a very high risk of landslide due to an earthquake or the soil saturation by the rains. Using the selection method, it was obtained that the most suitable sanitation system for the community is the improved septic tank. Which presented clear advantages in the economic, environmental, and technical criteria. The systems located in second and third place showed greater advantages in terms of social criteria. These findings reflect that the selection of sanitation technologies is a process that includes many variables, which must be considered to guarantee the sustainability of a project.

**Key words:** Sanitation Systems, Sanitation Technologies, Informal Settlements, Technology Selection, Bajo Los Anonos, Selection Criteria, Multicriteria Method.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el mundo, 2.4 billones de habitantes carecen de instalaciones de saneamiento mejoradas, incluyendo 946 millones de personas que aún practican la defecación al aire libre (Cronk & Bartram, 2015; United Nations [UN], 2015). Quienes se ven más afectadas por esta problemática son las personas que viven en zonas marginales, donde el inadecuado saneamiento resulta en la transmisión de enfermedades y baja productividad (Katukiza et al., 2012). Como un esfuerzo para enfrentar esa problemática a nivel mundial, el sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) propone para el 2030 “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” (Bárcena & Prado, 2016).

A partir del compromiso de Costa Rica en el cumplimiento de los ODS, se constituye la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales (PNSAR), cuyo fin es lograr para el año 2045, el manejo seguro del total de las aguas residuales generadas en el país (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados [AyA], Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], & Ministerio de Salud [MS], 2016). Uno de los proyectos de la PNSAR es el “Plan para el Mejoramiento Ambiental del Gran Área Metropolitana de San José” (PMAGAM), que busca mejorar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales al poner en funcionamiento el sistema de alcantarillado y mediante la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos (Madrigal, 2015).

Sin embargo, el proyecto PMAGAM abarca un porcentaje muy pequeño de asentamientos informales (Madrigal, 2015), donde, por la condición de ilegalidad de estas zonas, la falta de apoyo institucional, las malas prácticas y falta de concientización sobre saneamiento, hacen que estos lugares vean reducidas las posibilidades de tener acceso a condiciones adecuadas de saneamiento, lo cual conlleva al incumplimiento del principal objetivo de la PNSAR.

Por tanto, con el objetivo de ofrecer alternativas a esta problemática, el presente trabajo plantea la identificación de diferentes sistemas de saneamiento aptos para asentamientos informales, estudiando el caso del Bajo Los Anonos, para lo cual se hizo una caracterización del sitio mediante encuestas, revisión bibliográfica de tecnologías de saneamiento, para finalmente, seleccionar el sistema más adecuado para esta comunidad.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1.1 Objetivo general**

Contribuir a una gestión sostenible de las aguas residuales en asentamientos informales mediante una propuesta de un modelo de selección de tecnología.

### **2.1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la gestión de las aguas residuales en el asentamiento informal Bajo Los Anonos.
- Identificar tecnologías de bajo costo para la gestión de las aguas residuales en asentamientos informales.
- Seleccionar un sistema de saneamiento para la gestión de las aguas residuales en el asentamiento informal Bajo los Anonos

### 3 REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 SANEAMIENTO EN ZONAS MARGINALES

El saneamiento representa un pilar fundamental de las políticas de salud pública y de la mejora de la calidad de vida (United Nations Human Settlements Programme [ONU-HABITAT], 2012). Con la expansión de asentamientos informales en los países en vías de desarrollo, surgen desafíos relacionados con la generación de aguas residuales. Estas zonas varían en tipo, forma y densidad de población, sin embargo, la mayoría se caracterizan por la ausencia de caminos pavimentados, viviendas en buen estado, e infraestructura de saneamiento y drenaje (World Water Assessment Programme [WWAP], 2017). Esa situación provoca que la materia fecal y los residuos sólidos sean eliminados al ambiente sin el tratamiento adecuado, potenciando el esparcimiento de enfermedades (Isunju et al., 2011) y dando como resultado efectos negativos en la salud de las personas y el ambiente (Katukiza et al., 2012).

Proveer soluciones de saneamiento que sean aceptadas por los habitantes de estos lugares representa un desafío. Entre los principales factores que afectan estas medidas se listan los siguientes (Isunju et al., 2011; Katukiza et al., 2010; Maksimović & Tejada-Guibert, 2001; Paterson et al., 2007):

- a).** Mala accesibilidad: Las calles y pasajes se vuelven cada vez más estrechos, lo que dificulta el ingreso de camiones recolectores de residuos sólidos y de los camiones cisternas para el vaciado de anques sépticos y pozos.
- b)** Ausencia de condición legal de la zona: Los asentamientos informales generalmente se forman por la invasión de tierras propiedad del gobierno y los propietarios de viviendas no están dispuestos a invertir en estructuras que en un momento dado pueden ser demolidas.
- c)** Falta de interés de los habitantes de invertir en instalaciones de saneamiento debido a que suelen alquilar en lugar de ser propietarios de las viviendas.
- d)** Falta de espacio: A medida que se construyen más casas disminuye el espacio disponible para construir una tecnología de tratamiento o para su reemplazo.



Resulta importante mencionar que, en muchos casos, las razones que motivan a las personas a mejorar sus condiciones de saneamiento están poco relacionadas con las preocupaciones de las autoridades encargadas del desarrollo. Para que una persona demande mejoras en las condiciones de saneamiento requiere incentivos como el sentido de peligro y repugnancia por los malos olores y la suciedad, y no la conciencia por la salud pública, la degradación del ambiente y la necesidad de reciclar los recursos naturales (de Bruijne, Geurts, & Appleton, 2007).

### 3.2 RELACIÓN ENTRE SANEAMIENTO Y SALUD PÚBLICA

Salud pública es la ciencia encargada de organizar y dirigir los esfuerzos colectivos a la protección, promoción y restauración de la salud de los habitantes. Su desarrollo se basa en la responsabilidad colectiva de la salud, la cual debe ser dirigida a la población, siempre haciendo énfasis en la prevención, atención de los factores de riesgo y determinantes socioeconómicos de la salud (Vargas & Piédrola, 2009).

El concepto de salud pública en urbanizaciones y zonas marginales se ve afectado por la prevalencia de enfermedades transmitidas por vectores (dengue, chikungunya, zika , entre otros) e infecciones bacterianas, la contaminación del agua potable y el reúso de productos de desecho contaminados (Mara et al., 2010; Nakawaga et al., 2006; Sidhu & Toze, 2009).

Cuando el tratamiento de las aguas residuales no es adecuado, el resultado es la presencia de enfermedades como el cólera, disentería, diarrea y malaria (World Health Organization [WHO], 2017), además de criaderos de moscas y mosquitos (Cubillo & Gómez, 2017). Según datos de la (WHO, 2016), “las enfermedades transmitidas por vectores representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas, y provocan cada año más de 1 millón de defunciones”.

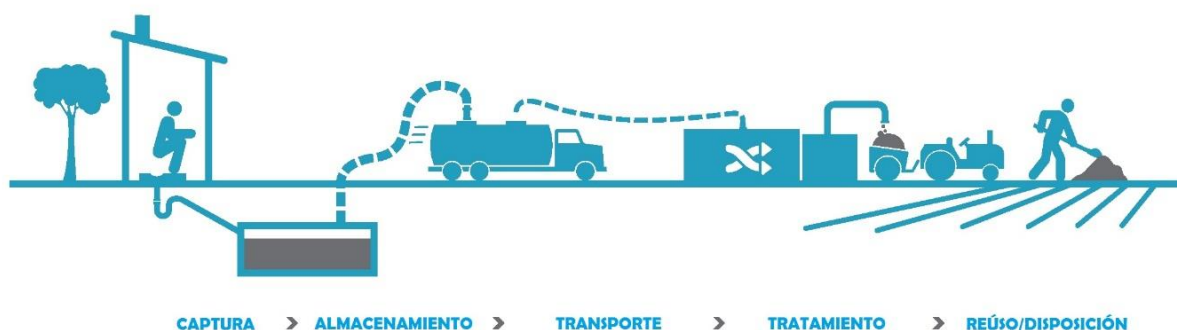
La clave para garantizar la salud pública en estas zonas es mediante el manejo de la excreta humana, ya que la mayoría de patógenos tienen como origen la materia fecal. Por eso, para lograr la mejora en el bienestar de los habitantes de zonas marginales, es importante

complementar facilidades de saneamiento y adecuadas prácticas de higiene como el correcto lavado de manos (Katukiza et al., 2012).

### 3.3 SANEAMIENTO SOSTENIBLE

Según se menciona en Bernal y Cardona (2003), un sistema sostenible, debe ser capaz de asegurar un nivel apropiado de beneficios durante un largo periodo de tiempo, incluso después de que la asistencia financiera, técnica y administrativa haya concluido. En zonas marginales, el saneamiento sostenible debe estar enfocado no solo en la implementación de la tecnología, sino que se deben tomar en cuenta aspectos como el costo, propiedad del terreno y espacio, ser técnicamente factible, aceptado por los usuarios, contribuir al mejoramiento de la salud y a la protección ambiental (Katukiza et al., 2012).

La sostenibilidad implica que el sistema de saneamiento cumpla con la llamada “Cadena de Valor de Saneamiento” (Figura 2.1), que consiste en abarcar las etapas de captura, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición o reúso de las excretas humanas (Madrigal, 2015; United Nations Water [UN-Water], 2015).



**Figura 3.1 Cadena de servicios de saneamiento.**  
(Adaptado de Bill and Melinda Gates Foundation (2010))

La sostenibilidad del saneamiento en zonas marginales se ve afectada por factores como los bajos ingresos en los hogares, falta de incentivos financieros y regulación para los proveedores de servicios, accesibilidad limitada a las zonas, falta de títulos de propiedad y

reconocimiento municipal (Katukiza et al., 2012). Para poder lograr la sostenibilidad se requiere que en el proceso de selección de tecnologías se involucre a todas las partes interesadas, y se dé un enfoque interdisciplinario que colabore en la toma de decisiones; adoptando métodos que incluyan las condiciones locales (Katukiza et al., 2010; D Mara et al., 2010). Además, se requiere de la participación institucional, así como de complementar la colección, tratamiento, reúso y disposición segura de los desechos (Katukiza et al., 2012).

### 3.4 SISTEMAS DE SANEAMIENTO PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales domésticas son las que se generan diariamente en las viviendas. Están constituidas por aguas pardas y aguas grises, las primeras se refieren a la mezcla de orina, heces, agua de descarga de los inodoros así como el material seco de limpieza (papel higiénico) (Tilley, Lüthi, Morel, Zurbrügg, & Schertenleib, 2014), en cambio las aguas grises incluyen las aguas generadas en bañeras, duchas, fregaderos de cocina, lavamanos, lavadoras y lavaplatos. Representan aproximadamente el 65% de aguas residuales producidas en casas que poseen inodoros con descarga de agua (Morel & Diener, 2006; Tilley et al., 2014), además poseen un bajo contenido de patógenos y nutrientes (WHO, 2006). Como se observa en la Figura 2.2, también existen otros términos como aguas marrones o cafés; que son la mezcla de heces y agua de descarga de los inodoros sin la presencia de orina, y excretas; que es la combinación de heces y orina sin la presencia del agua de descarga.



**Figura 3.2** Definición de excreta, aguas marrones y aguas pardas.  
(Adaptado de Tilley et al., (2014))

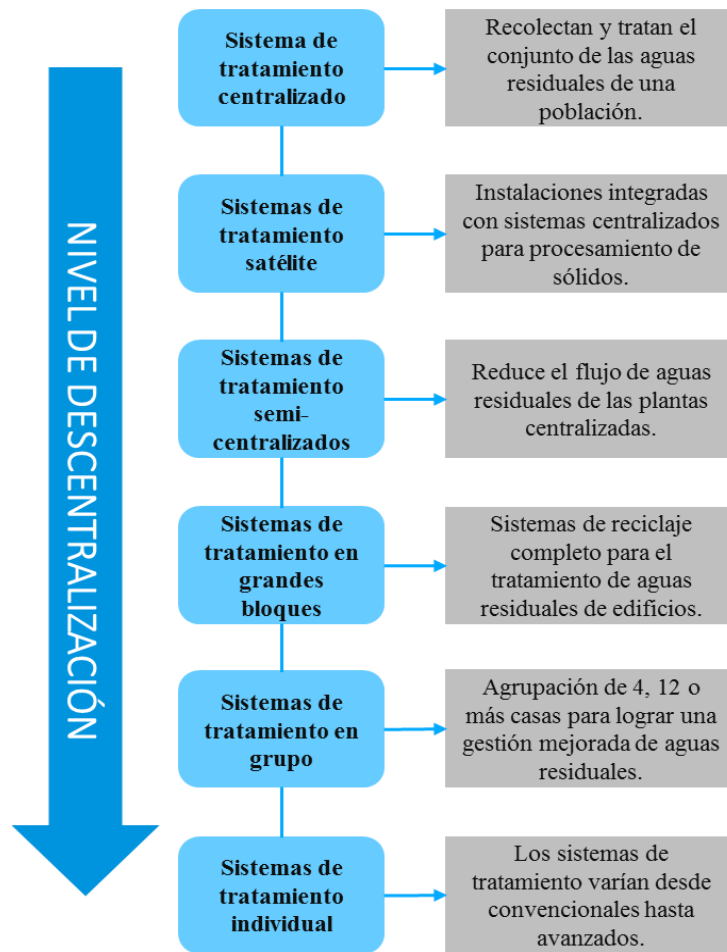
Para brindar un tratamiento adecuado a las aguas residuales se requieren sistemas de saneamiento, los cuales, constituyen un conjunto de tecnologías que en combinación, permiten manejar las aguas pardas y grises desde que son generadas hasta su disposición final o reúso (Maurer, Bufardi, Tilley, Zurbrügg, & Truffer, 2012; Tilley et al., 2014). Estos sistemas además incluyen el manejo, la operación y el mantenimiento requeridos para asegurar su funcionamiento y sostenibilidad (Tilley et al., 2014). Según el alcance del tratamiento se pueden dividir en centralizados y descentralizados. Dichos términos se detallan a continuación:

### **3.4.1 Tratamiento centralizado**

Estos sistemas de tratamiento se basan en la filosofía de “al final del tubo” (Schertenleib, 2001), cuyo enfoque es la recolección de las aguas residuales a través de un alcantarillado hacia una planta de tratamiento de aguas residuales que generalmente se ubica en las afueras de la ciudad (Libralato, Volpi Ghirardini, & Avezzù, 2012). Son sistemas cuya construcción y operación es costosa, principalmente en lugares con bajas densidades de población (Massoud, Tarhini, & Nasr, 2009), aunque estos problemas también se presentan en zonas muy pobladas cuando no hay una adecuada planeación ni apoyo institucional para su implementación (Caicedo, 2014).

### **3.4.2 Tratamiento descentralizado**

El concepto básico de la descentralización es que el tratamiento de aguas residuales se realice lo más cerca de su lugar de generación (Abbassi & Al Baz, 2008). Son una solución adecuada en comunidades sensibles y con densidades de población bajas (Abbassi & Al Baz, 2008; WWAP, 2017). Estos sistemas permiten la reducción de costos al evitar el uso extensivo de tuberías y lo relacionado con trabajos de excavación (Libralato et al., 2012), además permiten tratar volúmenes menores de aguas residuales y muchas veces haciendo uso de tecnologías de bajo costo (Abbassi & Al Baz, 2008; WWAP, 2017). Pueden ser implementados tanto a nivel de vivienda o bien para un conjunto de casas en una comunidad (UN-Water, 2015), y si son diseñados e implementados adecuadamente pueden generar resultados satisfactorios en cuanto a la calidad del efluente (WWAP, 2017). En la Figura 2.2 se muestran los diferentes sistemas descentralizados que se proponen (Libralato et al., 2012).



**Figura 3.3 Niveles de tratamiento de la descentralización.**  
(Adaptado de Libralato et al., (2012))

### 3.5 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES

La selección de tecnología es una de las decisiones más importantes que se deben tomar al planificar un proyecto de saneamiento, ya que la selección de un sistema inadecuado pone en riesgo su sostenibilidad, llevando al desperdicio de recursos y al descontento de la comunidad (Bernal & Cardona, 2003; Caicedo, 2014). Es por esto que debe ser un proceso participativo, en el que la comunidad sea la protagonista desde el inicio, y donde la persona o grupo enfrentado ante la selección del sistema de tratamiento de aguas residuales, considere

soluciones que incluyan aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013; Villega, Obregón, Lara, Méndez, & Vargas, 2009).

Para que la tecnología sea ambientalmente sostenible, en su concepción y características se debe considerar el menor uso de recursos, que se adapte adecuadamente a las condiciones sociales y económicas que le rodea, y que genere el menor impacto al ambiente (Noyola et al., 2013). En este contexto, la tecnología debe estar en armonía con la cultura local y acorde a la capacidad financiera y técnica de la comunidad, haciendo uso de los insumos y recursos locales en la medida de lo posible, principalmente en lo que respecta a operación y mantenimiento (Aragón, 1999, citado por Caicedo (2014)). Además, debería generar el menor impacto al ambiente al controlar sus residuos y emisiones; preferiblemente transformándolos en subproductos que puedan ser aprovechados en el entorno (Noyola et al., 2013).

En los procesos de selección es necesario implementar múltiples criterios e indicadores que permitan hacer un análisis comparativo entre las diferentes alternativas, con la finalidad de elegir la más conveniente para una localidad (Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, 2010). Un criterio puede ser definido como una medida que contrasta opciones que son ejecutadas y evaluadas a lo largo del tiempo y hasta cierto punto, desde que inician los objetivos hasta que son cumplidos. Los indicadores, en cambio, son una medida o medidas del nivel con el que el criterio es satisfecho (Makropoulos et al., 2006 citado por Makropoulos, Natsis, Liu, Mittas, & Butler, (2008)).

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 LUGAR DE ESTUDIO

El asentamiento informal Bajo Los Anonos se ubica en Distrito San Rafael, Cantón de Escazú, Provincia de San José (Figura 4.1). En la comunidad habitan alrededor de 800 personas (Madrigal, 2015), que conforman más de 600 familias (Cantero & Alfaro, 2009; Mora, 2010; Municipalidad de Escazú, s.f.) en un total de 216 viviendas (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2011).

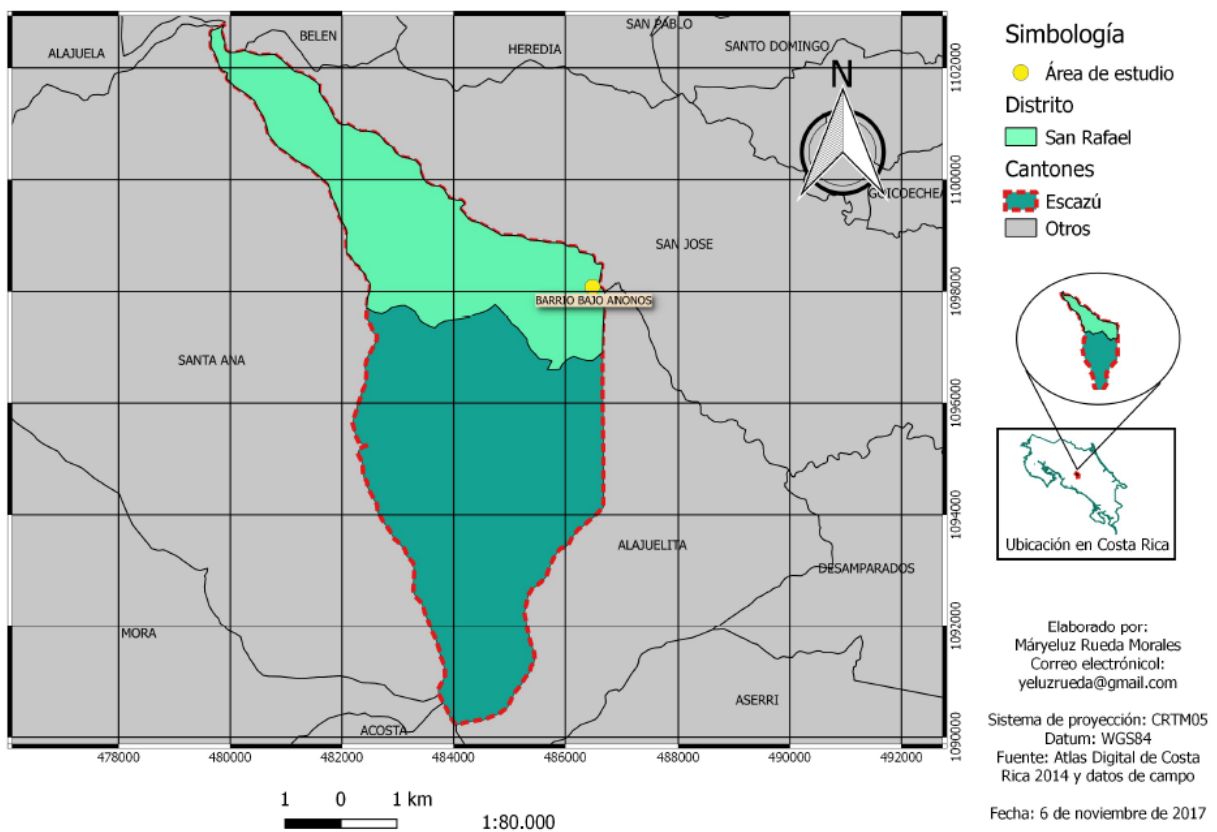
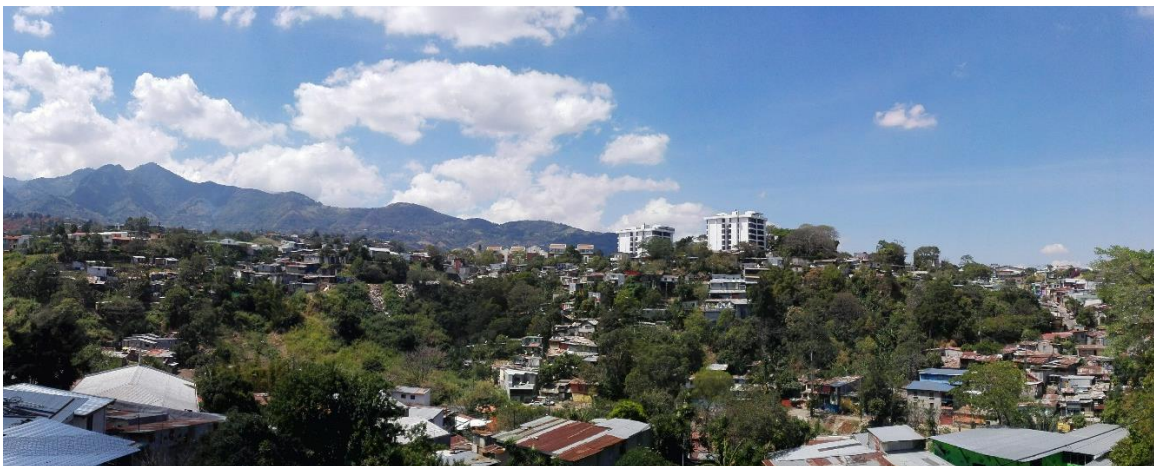


Figura 4.1 Ubicación del área de estudio.

Según se menciona Madrigal (2015), esta comunidad no inició como un asentamiento informal. En la década de los 40's la comunidad tenía una calle muy transitada, la cual unía dos distritos mediante el conocido "Puente Los Anonos". Este puente colapsó hace 20 años, por lo que se construyó uno nuevo en la parte superior de la comunidad. Este hecho hizo que el tráfico disminuyera notablemente, permitiendo a diversas familias asentarse de manera

ilegal en las márgenes del río. Las viviendas ubicadas a lo largo de Calle Bajo Anonos, o también Calle Principal (grupo de viviendas a la derecha de la Figura 4.2), tienen título de propiedad y muchos de sus habitantes tienen más de 60 años de vivir ahí, mientras que las ubicadas en Calle Los Mangos y Calle Quebrada no los poseen.



De izquierda a derecha, se observa en la parte superior y el centro Calle Los Mangos, esta fila de casas en el centro se une con Calle Quebrada; ubicada en la parte inferior y que colinda con el río Tiribí, y finalmente la línea de casas a la derecha es Calle Bajo Anonos.

**Figura 4.2 Asentamiento Informal Bajo Los Anonos.**

## 4.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Mediante la caracterización se define las condiciones en las que se encuentra la comunidad en el tema de saneamiento, así como la manera en que se aborda el tema por parte de los vecinos y de la municipalidad. Se consultó a las autoridades del Gobierno Local sobre la situación actual y planes a futuro en el asentamiento informal. Se realizaron encuestas a los habitantes del lugar para determinar su grado de conocimiento respecto al tema. Se hizo una caracterización ambiental para determinar aspectos geológicos de la zona y el nivel de riesgo al que están expuestos los vecinos. Se hicieron muestreos de aguas residuales en tres puntos distintos de la comunidad, para presentar una noción de la calidad del agua que transita por las calles.



#### **4.2.1 Entrevista a autoridades del Gobierno Local**

El Gobierno Local juega un papel crucial en lo que respecta a la planificación del cantón y al manejo de la problemática que se vive en los asentamientos informales. Para conocer la perspectiva de la Municipalidad de Escazú, se realizaron visitas con el fin de obtener información sobre la comunidad, estudios realizados en la zona, planes a futuro y la situación relacionada con la legalidad de los terrenos. El acceso a la información fue difícil, sin embargo, se entrevistó a los Gestores Ambientales. Además, mediante la consulta en la página web del cantón se logró obtener otros aportes relacionados con la situación que se vive en la comunidad.

#### **4.2.2 Encuestas a los habitantes de la comunidad**

##### ***4.2.2.1 Selección de la población a encuestar***

Se realizaron 51 encuestas mediante muestreo estratificado a los lados de manzanas en los tres sectores principales del Bajo Los Anonos: Calle Los Mangos, Calle Quebrada y Calle Principal. La aplicación de las encuestas se llevó a cabo con la ayuda de estudiantes voluntarios del Tecnológico de Costa Rica, quienes fueron capacitados previamente para hacer las preguntas y recolectar la información de la forma más adecuada. También se realizaron encuestas en la Fundación *Lifting Hands* a la cual llegan adultos y niños a recibir apoyo académico, psicológico y de salud. Esta fundación, ubicada en el área de estudio, facilitó sus instalaciones para aplicar encuestas a las personas que llegaban al sitio. La encuesta se aplicó a personas de distintas edades, para tener una visión amplia de las perspectivas sobre saneamiento en la comunidad.

##### ***4.2.2.2 Composición de la encuesta***

En la elaboración de las encuestas se usó como base documentos como la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales (AyA et al., 2016) el Informe del Catastro Nacional de Asentamientos en Condición de Pobreza 2013 (TECHO, 2014), y el Censo realizado a nivel nacional por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2011), con la finalidad de realizar preguntas que fueran aptas para las características del lugar. La encuesta (ver Apéndice 1), se divide en tres secciones con preguntas de carácter cualitativo y cuantitativo

(preguntas abiertas y cerradas). De la primera sección con 31 preguntas, con información general como la ocupación de las personas encuestadas, la cantidad de habitantes por vivienda, acceso a los servicios básicos, manejo de las aguas residuales en cada vivienda y la respectiva operación y mantenimiento, el nivel de saneamiento en la comunidad y la apreciación del ambiente. La segunda sección proporcionaba soluciones que podrían ser implementadas para enfrentar problemáticas en la comunidad, con lo cual se quería determinar las prioridades de las personas y las mejoras que consideraban debían aplicarse a un corto plazo. La tercera sección orientada a determinar el grado de aceptación de tecnologías de saneamiento que podrían ser implementadas en el lugar. Para ello se utilizaron fichas informativas, donde se explicó a cada persona en qué consistía la alternativa de saneamiento y algunas implicaciones relacionadas con su uso. Se consultó sobre la solución que consideraban más adecuada para tratar el problema de aguas residuales.

#### ***4.2.2.3 Análisis de resultados de las encuestas***

Se levantó una base de datos en el programa Microsoft Excel con las respuestas de la población encuestada. Posteriormente se realizaron tablas dinámicas para hacer el análisis estadístico de la información, y finalmente se elaboraron gráficos para mostrar el comportamiento de las respuestas.

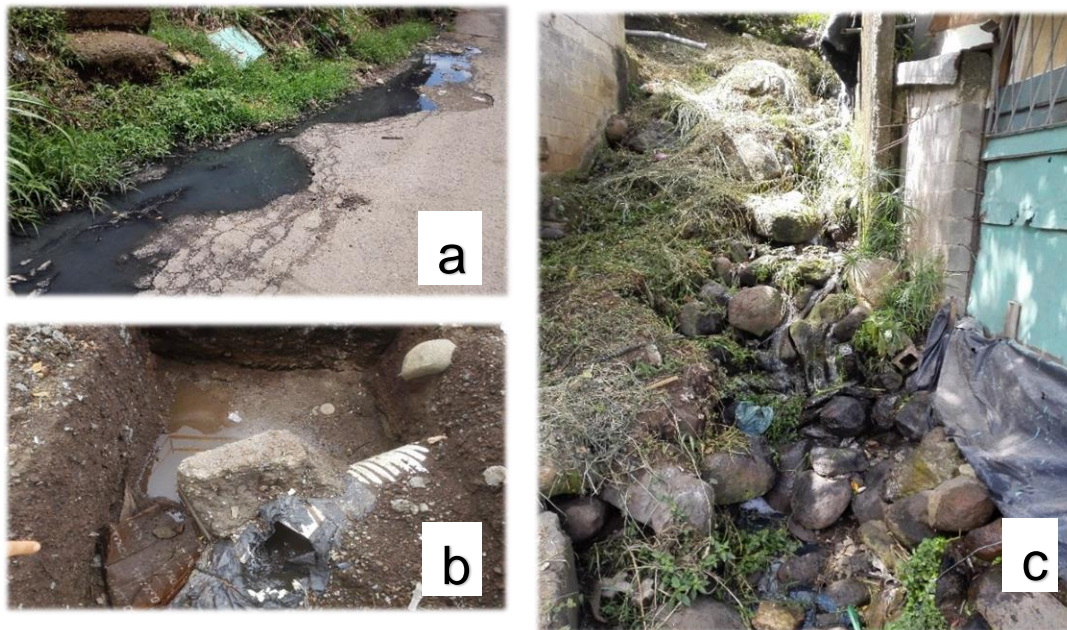
#### **4.2.3 Caracterización ambiental**

La caracterización ambiental del Bajo Los Anonos se realizó a partir de revisión de literatura, entre la que se encuentra: noticias en periódicos nacionales sobre la problemática en la zona, tesis sobre estudios realizados en el sitio e información en la página web de la Municipalidad de Escazú, así como un estudio geológico hecho por la Universidad de Costa Rica (UCR) unos años atrás.

#### **4.2.4 Muestreo de aguas residuales**

Con el propósito de conocer las características del agua residual que transita en la comunidad, se realizó un muestreo simple en tres puntos distintos. El primer punto de muestreo fue en el sitio conocido como Calle Los Mangos, al agua que se encontraba estancada en la calle. El segundo muestreo se realizó en una tubería en la Calle Principal, donde caen las aguas de la

comunidad que viajan mediante alcantarillado, y posteriormente van al río. El tercer sitio fue en Calle Quebrada, al agua residual que es descargada a cielo abierto, atraviesa una parte de la comunidad debido a la pendiente del terreno y finalmente terminar en el río (Figura 4.3). En cada punto se tomó una muestra y posteriormente se determinó la DBO<sub>5</sub> mediante el método 5210-B (American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA], & Water Environment Federation [WEF], 2012), en el laboratorio CEQIATEC del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).



**Figura 4.3 Sitios donde se realizó el muestreo de aguas residuales.**  
a). Calle Los Mangos, b). Calle Principal, c). Calle Quebrada.

### 4.3 IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS

La identificación de las alternativas de tratamiento de aguas residuales se realizó a partir de revisión de literatura, entre las que se mencionan: libros, tesis, informes, publicaciones en revistas indexadas, donde se reportan experiencias a nivel internacional y nacional.

Posteriormente se realizó una clasificación de las características particulares de cada tecnología, sus principios de funcionamiento, los requerimientos de operación y mantenimiento, así como las ventajas y desventajas. Además, cada tecnología debía cumplir con una serie de rasgos que les permitieran ser implementadas en zonas marginales, entre ellos, que fueran de bajo costo, que no dependieran de electricidad para su funcionamiento,

que no requirieran mucha área y que pudieran ser construidas con mano de obra y materiales locales.

Las tecnologías se ordenaron en cuatro grupos o etapas. El primero es la captura, que corresponde a la interfaz de usuario donde es depositada la excreta (inodoros), el segundo se compone de tecnologías usadas para el almacenamiento y tratamiento individual (a nivel de vivienda), el tercero se relaciona con tecnologías usadas para la evacuación y transporte de aguas residuales a sistemas de tratamiento fuera de la vivienda, así como el transporte de subproductos generados en las tecnologías individuales. Finalmente, el último grupo se compone de tecnologías de tratamiento semi-centralizado. Cabe mencionar que la etapa de disposición final o reuso es parte importante de un sistema de tratamiento, sin embargo, por ser un tema complejo con otras variables para su implementación no se enfatizó en esta investigación.

Para generar las diferentes propuestas de los sistemas de manejo de aguas residuales que podrían ser usados en asentamientos informales, se realizaron combinaciones con las tecnologías identificadas en cada etapa de la cadena de saneamiento.

La combinación de las tecnologías de saneamiento se basó en diferentes estudios, donde se propone de una manera técnica las unidades de tratamiento por las que debe estar compuesto cada sistema. Entre ellos, la Guía Práctica para el Tratamiento Descentralizado de Aguas Residuales (Gutterer, Sasse, Panzerbieter, & Reckerzügel, 2009), el Compendio de Tecnologías y Sistemas de Saneamiento (Tilley et al., 2014), el Procedimiento para Generar Potenciales Alternativas de Saneamiento Compatibles (Maurer et al., 2012), entre otros. En total, se obtuvieron 14 sistemas de tratamiento o trenes de tratamiento.

#### 4.4 PRESELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO

La preselección de los sistemas de saneamiento consistió en identificar, a partir de los 14 sistemas previamente propuestos, los que mejor se adaptaran a la comunidad y que cumplieran condiciones que eventualmente posibilitaran su implementación según los requerimientos técnicos y las características locales.

#### 4.5 SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO

La selección de los sistemas de saneamiento propuestos se apoyó en un modelo multicriterio desarrollado por (Zeng, Jiang, Huang, Xu, & Li, 2007) para la selección de óptimas alternativas de tratamiento de aguas residuales. Se basa en la aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP por sus siglas en inglés) y análisis relacional gris (GRA por sus siglas en inglés), para la identificación de un orden de elegibilidad de las tecnologías de tratamiento analizadas (Zambrano, 2012).

AHP es útil para el manejo de diversos objetivos y criterios durante el proceso de decisión, haciendo posible considerar objetivos ambientales, socioculturales y económicos en la selección de la alternativa más óptima para el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, depende excesivamente de los pesos subjetivos de cada índice de desempeño según la experiencia, dejando de lado la complicada interrelación entre las múltiples características de desempeño. Por otra parte, GRA resulta muy útil para lidiar con información pobre, incompleta e incierta. En ese contexto, GRA puede ser usado para solucionar la complicada interrelación entre las múltiples características de desempeño. Al integrar AHP y GRA se pueden resolver una serie de problemas inexactos, que contienen múltiples criterios y objetivos involucrados en procesos de toma de decisiones (Zeng et al., 2007).

El modelo de Zeng et al. (2007) se presenta como una estructura de varios niveles, donde el primer nivel representa el objetivo principal o meta, continuando con los niveles posteriores que pueden representar factores, criterios, criterios secundarios y así sucesivamente, hasta que finalmente se llega al último nivel de alternativa (Pérez, 2010). La Figura 4.4 ilustra un típico sistema de jerarquización para la selección de una alternativa de tratamiento de aguas residuales.

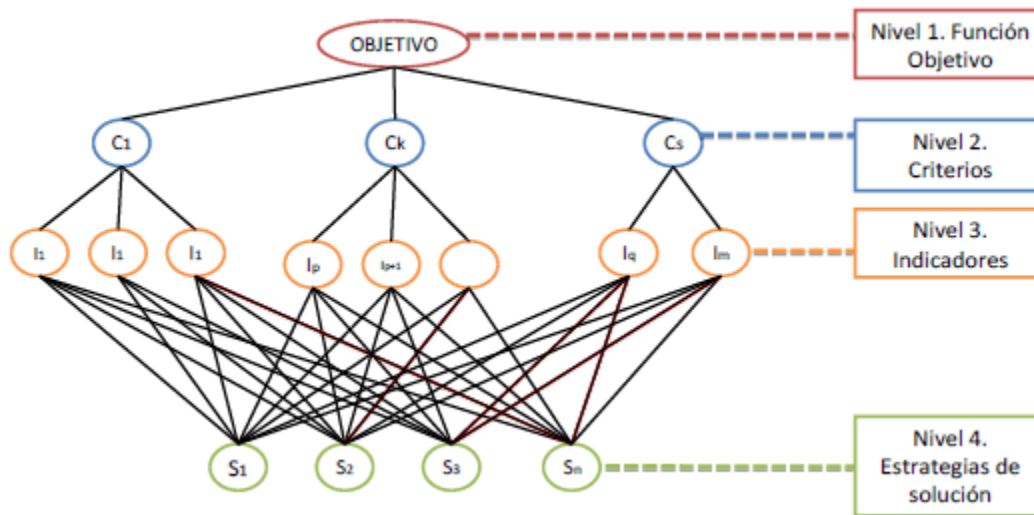


Figura 4.4 Sistema de jerarquización para la selección de alternativa de tratamiento de aguas residuales.  
Fuente: (Zeng et al., 2007)

El principal objetivo del modelo de decisión se encuentra en la parte superior del diagrama (Nivel 1), y los criterios, indicadores y alternativas están en los niveles inferiores (Nivel 2, Nivel 3, y Nivel 4 respectivamente) (Zeng et al., 2007).

Los criterios e indicadores para la selección de alternativa de tratamiento de aguas residuales fueron identificados a partir de revisión de literatura; relacionada con el tema de selección de tecnologías para el manejo de aguas residuales. Estos se filtraron eligiendo los asociados a procesos de selección en asentamientos informales. Posteriormente, se hizo una clasificación de los indicadores más aptos para ser considerados en el asentamiento informal Bajo Los Anonos, los cuales permitieran tomar en cuenta características propias del lugar y al mismo tiempo fueran factibles de cuantificar.

Según la bibliografía, los criterios más importantes a tomar en cuenta para la selección de sistemas de saneamiento son sociales, técnicos, económicos y ambientales (Bernal & Cardona, 2003; Caicedo, 2014; Noyola et al., 2013; Rodríguez, García, & Pardo, 2015; Zambrano, 2012). La relevancia o peso de los criterios fue obtenida a partir de consulta a 7 profesionales de Costa Rica que laboran en el campo de aguas residuales, relacionado con el diseño, operación, mantenimiento y académico. Para la consulta se aplicó la metodología propuesta por Saaty (1977) (Pacheco & Contreras, 2008; Romero, 1997; Zeng et al., 2007).

Una vez obtenidos los pesos de los criterios de selección, se definieron los indicadores de cada uno de ellos, los cuales se presentan en el Cuadro 4.1. El peso de cada indicador dentro de cada criterio se calculó considerando la misma relevancia, distribuyendo la unidad entre el número de indicadores propuestos. A excepción del criterio ambiental, donde se le asignó más relevancia a la calidad del efluente en comparación con la generación de olores e insectos, teniendo en cuenta la importancia que tiene la generación de un efluente de buena calidad.

**Cuadro 4.1 Indicadores y pesos usados en el proceso de selección**

Económico		Ambiental		Técnico		Social	
Indicador	Peso	Indicador	Peso	Indicador	Peso	Indicador	Peso
Costos de inversión inicial	$\frac{1}{2} = 0.50$	Producción de olores e insectos	0.30	Complejidad de la tecnología	$\frac{1}{2} = 0.50$	Aceptación de la tecnología	$\frac{1}{3} = 0.33$
Costos de operación y mantenimiento (O&M)	$\frac{1}{2} = 0.50$	DBO del efluente	0.35	Requerimiento de espacio	$\frac{1}{2} = 0.50$	Ahorro por consumo de agua	$\frac{1}{3} = 0.33$
		SST del efluente	0.35			Comercialización de biosólido	$\frac{1}{3} = 0.33$

Los costos de inversión inicial se calcularon a partir del pre diseño de las tecnologías de saneamiento, la cuantificación de las cantidades de obra de los ítems principales de construcción, y los precios de mercado, tanto de los materiales como de servicios (excavación, movimiento de suelo, mano de obra).

Los costos de operación y mantenimiento se determinaron a partir de las actividades necesarias para el correcto funcionamiento de los sistemas y los costos locales de mano de obra y servicios asociados. Se estimó el flujo de caja en un horizonte 25 años. El resultado de flujo de caja es traído a valor presente neto utilizando una tasa de descuento social de 12% reportada por Campos, Serebrisky, y Suárez-Alemán (2016) para proyectos de saneamiento.

Los indicadores ambientales se obtuvieron a partir de revisión de literatura y del dimensionamiento de las tecnologías de saneamiento, donde se estimó la calidad del efluente esperada.

Los indicadores técnicos fueron determinados a partir de revisión de literatura y con el dimensionamiento de las tecnologías de saneamiento, donde se obtuvo el requerimiento de espacio de cada una.

En el caso de los indicadores sociales, la aceptación de la tecnología fue determinada a partir de las encuestas realizadas en la comunidad descritas en el la sección 4.2.2. El ahorro por consumo de agua se estimó tomando en cuenta el consumo promedio de agua en los inodoros y la tarifa por el servicio de agua potable definida por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). Los beneficios económicos por comercialización de biosólidos se calcularon revisando los precios en el mercado de fertilizantes, compost, urea y de esta manera se le asignó un valor a la cantidad de producto generado en los sistemas de tratamiento propuestos. Tanto el ahorro económico del agua como la comercialización de los biosólidos se llevaron a un flujo caja en un horizonte 25 años y se trajo a valor presente neto utilizando una tasa de descuento social de 12% (Campos et al., 2016).

Con los datos calculados para cada indicador en los sistemas de tratamiento propuestos se genera una matriz multicriterio de selección. Cada dato es normalizado utilizando las ecuación 1 y ecuación 2 (Zeng et al., 2007):

<p>Para indicadores que se pretende minimizar:</p> $X_{ij} = \frac{\min_i s_i(j)}{s_i(j)} \quad \text{Ecuación 1}$ <p>Donde:</p> <p><math>X_{ij}</math> = Valor normalizado de alternativa i en el criterio j.</p> <p><math>s_i(j)</math> = Dato de la alternativa i en el criterio j.</p> <p><math>\min_i s_i(j)</math> = Mínimo valor de beneficio en el criterio j entre las alternativas.</p>	<p>Para indicadores que se pretende maximizar:</p> $X_{ij} = \frac{s_i(j)}{\max_i s_i(j)} \quad \text{Ecuación 2}$ <p>Donde:</p> <p><math>X_{ij}</math> = Valor normalizado de alternativa i en el criterio j.</p> <p><math>s_i(j)</math> = Dato de la alternativa i en el criterio j.</p> <p><math>\max_i s_i(j)</math> = Máximo valor de beneficio en el criterio j entre las alternativas.</p>
---	---



A partir de los datos normalizados se genera otra matriz, a cuyos datos se les calcula el primer coeficiente correlacional gris a través de la ecuación 3 (Zeng et al., 2007):

$$\xi_{0i}(j) = \frac{0.5 \max_i \left\{ \max_j |x_{0j} - x_{ij}| \right\}}{|x_{0j} - x_{ij}| + 0.5 \max_i \left\{ \max_j |x_{0j} - x_{ij}| \right\}},$$

$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n.$

**Ecuación 3**  
i = sistemas de saneamiento propuestos  
j = indicadores

Cada coeficiente calculado fue ponderado por el peso del indicador correspondiente. Posteriormente, se sumaron los indicadores de cada criterio para generar un vector de los datos ponderados. Esta matriz resultante fue normalizada para posteriormente calcular un segundo coeficiente relacional gris con la Ecuación 3, la cual fue ponderada con los pesos pertenecientes a cada criterio. Para cada uno de los sistemas de saneamiento se realizó la sumatoria de los valores calculados en cada indicador. Los valores obtenidos en cada sistema permitieron identificar la jerarquía para la selección del sistema acorde a los criterios identificados.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 5.1.1 Entrevista a autoridades del Gobierno Local

El acceso a información por parte de la Municipalidad fue difícil, y no se logró obtener una respuesta clara sobre el futuro del asentamiento, sin embargo, mediante enlace con el Gestor Ambiental, se dio a conocer que la Municipalidad no tiene planes en la comunidad, debido a que está a la espera de una resolución de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), la cual se refiere a este lugar con respecto al riesgo. Además, se mencionó que la entidad se encontraba en una reorganización, y que de momento no se había tratado el tema de manera formal. El funcionario también dijo que parte de la problemática que tiene la comunidad es el agua de escorrentía, que satura los suelos y provoca el riesgo de deslizamientos, por lo que una manera de mitigar el problema sería logrando un adecuado manejo de esas aguas.

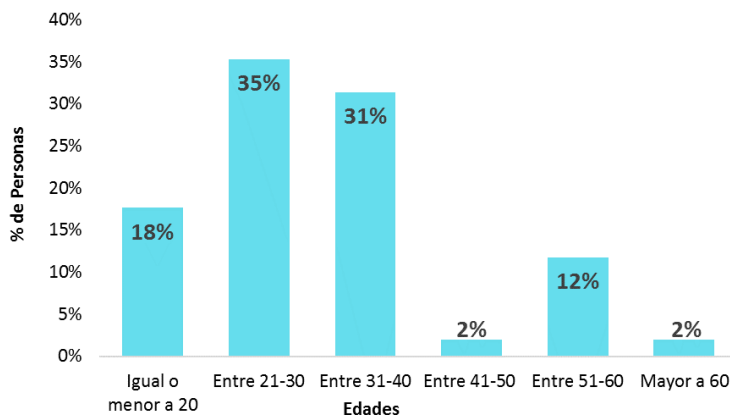
Según información obtenida del sitio web de la Municipalidad de Escazú, en el 2007, como parte del Plan Regulador del cantón, se creó la Oficina de Renovación Urbana, y se desarrolló un Proyecto de Erradicación de Tugurios en Bajo Los Anonos, mediante el cual se han realizado 3 desalojos desde el año 2010 (Municipalidad de Escazú, 2016a, 2017). A pesar de eso, Mora (2010) menciona que esas familias han regresado debido a la falta de empleo en el lugar que fueron reubicadas. Además, desde el 2010 el Ministerio de Salud y la CNE declararon inhabitables los sectores de Calle Los Mangos y Calle Quebrada por problemas de deslizamientos, sin embargo, aunque se han dado nuevas invasiones, al año 2016 no existía ninguna acción de desalojo por parte de la entidad ni ninguna otra institución (Municipalidad de Escazú, 2016b, 2017).

#### 5.1.2 Encuestas a los habitantes de la comunidad

##### 5.1.2.1 Información general

Del total de personas encuestadas, el 88 % era del género femenino y un 12% masculino. Las edades de las personas se presentan en la Figura 5.1, la mayor población encuestada se

encontró en edades entre 21-30 años; representando un 35%, seguido de un 31% entre 31-40 años.



**Figura 5.1 Edades de las personas encuestadas.**

Respecto a la ocupación de los encuestados (Figura 5.2), el 49% de las personas se encuentra desempleada, un 33% trabaja y el restante 18% estudia. Cabe destacar que la mayoría de las encuestas se realizaron en horas laborales, por lo tanto, el número de personas desempleadas representan un mayor porcentaje, ya que son quienes tenían una mayor disponibilidad en ese momento.

En la Figura 5.3, se observa la cantidad promedio de habitantes por vivienda. Sobresale un 31% donde viven más de 5 personas y un 27% donde viven 4 personas. Lo anterior demuestra que en asentamientos informales es común que habite un número abundante de personas en una misma vivienda, provocando hacinamiento en espacios muy reducidos y que en la mayoría de los casos no cuentan con condiciones adecuadas (INEC, 2014), como acceso a servicios básicos, adecuadas instalaciones eléctricas, buen estado de las viviendas, entre otros. Es importante mencionar que las personas no viven necesariamente en una vivienda, según la información brindada, varios de ellos alquilan cuartos donde habitan con sus familias; lo que comúnmente se conoce como “cuartería”. En muchos casos en una misma vivienda pueden habitar varias familias, lo que provoca que todos utilicen las mismas instalaciones, como por ejemplo los sanitarios (Madrigal, 2015).

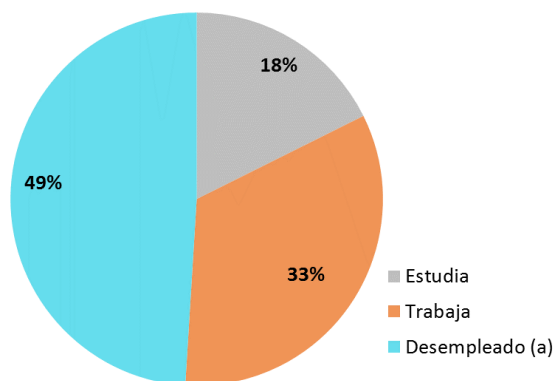


Figura 5.2 Ocupación de las personas encuestadas.

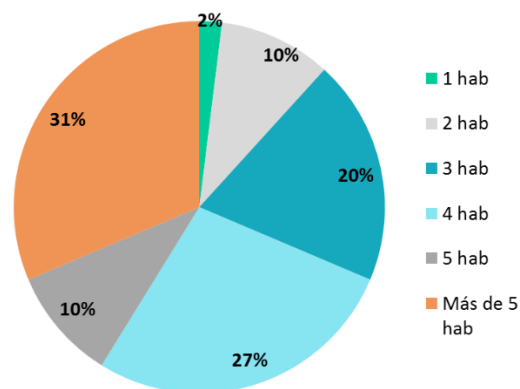


Figura 5.3 Cantidad promedio de habitantes por vivienda.

Antes de abordar el tema relacionado con la tenencia de la vivienda, es necesario aclarar algunas definiciones para entender la complejidad que este representa. Comúnmente para referirse al asentamiento informal se suelen utilizar los términos precario y tugurio, lo cual aunque en ciertos contextos significan lo mismo, en sentido estricto, tienen un concepto diferente (INEC, 2014). Según se define en INEC (2014), el término precario o asentamiento informal, en realidad corresponde a viviendas que son habitadas de manera ilegal y no cuentan con título de propiedad. En cambio, la palabra tugurio, hace referencia a la parte estructural, es decir, casas que fueron construidas con materiales de desecho y no son aptas para la convivencia humana, las cuales podrían estar ubicadas en lugares donde los habitantes son dueños del terreno.

Como se observa en la Figura 5.4, el 43% de las personas encuestadas respondió que viven en asentamiento informal, un 31% alquila, un 14% vive en casa propia y un 12% habita en una vivienda prestada. Al realizar la pregunta, varias de las personas que mencionaron vivían en casa propia cambiaron su respuesta al preguntarles si contaban con el título de propiedad. Esa

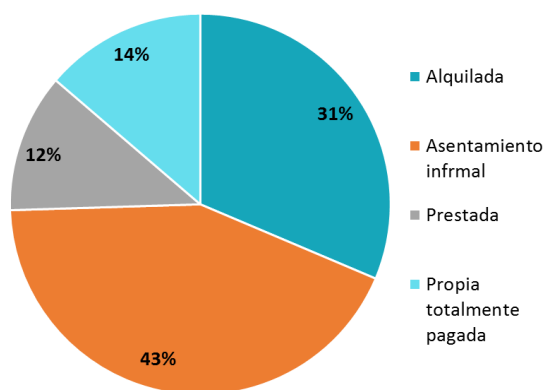


Figura 5.4 Tenencia de las viviendas en el Bajo los Anonos.

confusión obligó a modificar la respuesta, por esta razón no es posible saber si las respuestas son fiables, en cuanto a la pregunta si habita en casa propia.

Según menciona el INEC (2014), lo anterior es común en este tipo de asentamientos, ya que las personas adquieren un sentido de pertenencia debido a los años que llevan de vivir en la zona, o quizá por el hecho de haberlas construido ellos mismos. En otros casos, aunque el terreno en el que habiten las personas les pertenezca, por las malas condiciones de la vivienda y por la confusión de los términos, las personas podrían decir que viven en precario en lugar de un tugurio. Lo anterior junto a otras situaciones que suceden en estos sitios, provoca que muchas veces ni los residentes del lugar sepan su verdadera condición.

Es importante mencionar que la informalidad en la tenencia de las tierras, si bien es un indicador de incerteza jurídica sobre las posesiones de las familias, no necesariamente es sinónimo de pobreza. Los asentamientos informales en condición de pobreza son agrupaciones de al menos 7 viviendas contiguas, en donde más del 50% tenga al menos 1 necesidad básica insatisfecha (NBI) (TECHO, 2014). Según datos del INEC (2011), en Costa Rica existen 418 asentamientos informales, de los cuales 394 se encuentran en condición de pobreza, entre ellos el Bajo Los Anonos (TECHO, 2014).

### 5.1.2.2 Acceso a servicios básicos

Según datos del INEC (2011) y como se verificó en la encuesta, el 100% de las personas en la comunidad Bajo Los Anonos cuenta con el servicio de electricidad, y también el 100% tiene acceso a agua. Sin embargo, de las personas encuestadas, un 2% mencionó no tener claro la procedencia del agua y si esta era potable. Por otra parte, el 94% de los encuestados elimina los residuos sólidos de sus viviendas mediante

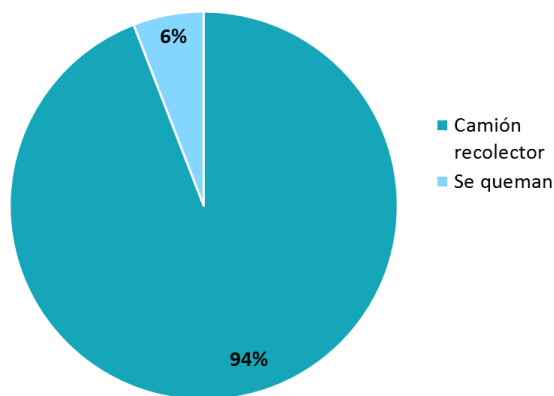


Figura 5.5 Forma en la que se eliminan los residuos sólidos.

un camión recolector, y un 6% de ellos los quema (Figura 5.5).

Mencionaron que el principal motivo de esta práctica es que el camión recolector no ingresa al lugar donde ellos viven debido a las malas condiciones en que se encuentra la calle (no está asfaltada y hay mucho lodo), lo cual les dificulta trasladar los residuos en temporada de lluvias y por eso prefieren quemarlos. Mencionan también, que algunos vecinos optan por depositarlos en lotes baldíos o en el río.

### 5.1.2.3 Manejo de aguas residuales

Al evaluar si las aguas grises y pardas estaban siendo dispuestas en el mismo sitio para su tratamiento, se obtuvo que el 47% tiene la misma conexión para ambas, el 45% las dispone en lugares distintos, y el 8% no sabe qué sucede con ellas (Figura 5.6). Respecto al manejo que se da a las aguas pardas, el 43% lo hace mediante tanque séptico, los cuales muchas veces son artesanales y no cuentan con los requerimientos técnicos necesarios para su uso (TECHO, 2014). Además, un 33% tiene salida directa al río, un 14% va al alcantarillado y un 10% dijo desconocerlo (Figura 5.7). Por otra parte, al preguntar sobre el destino de las aguas grises, se obtuvo que un 47% tenía salida directa al río, un 27% son evacuadas mediante alcantarillado, un 16% se dispone en tanques sépticos y el restante 10% mencionó no saber (Figura 5.8).

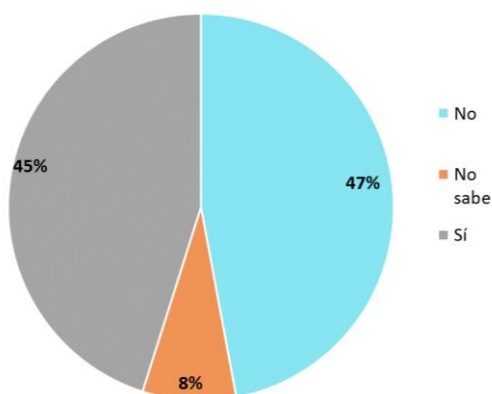


Figura 5.6 Separación en la disposición final de aguas pardas y grises.

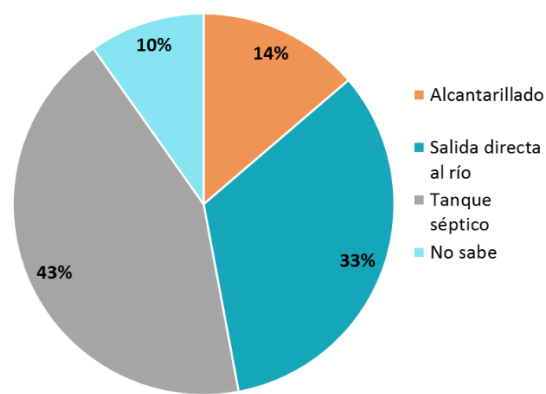
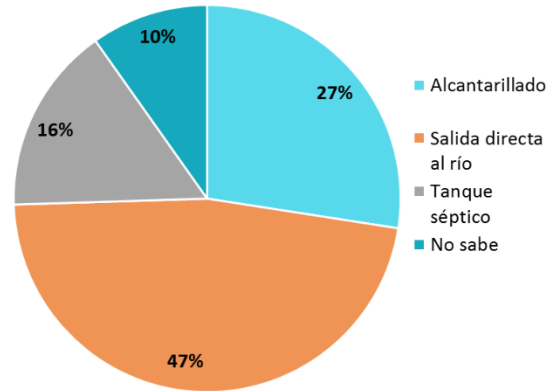


Figura 5.7 Manejo de aguas pardas en la vivienda.



**Figura 5.8 Manejo de aguas grises en la vivienda.**

De la información anterior, es importante recalcar algunos puntos sobre el manejo de aguas residuales. Si bien es cierto, aunque algunas de las aguas residuales son evacuadas mediante el alcantarillado, al no existir en la comunidad planta de tratamiento ni estar conectadas al alcantarillado convencional, estas están siendo dirigidas al río. Lo anterior se comprobó durante recorridos hechos en el sitio, donde tanto las aguas que se descargan directamente en la calle mediante tuberías clandestinas, así como las que viajan a través del alcantarillado, tienen como destino el río o quedan estancadas en la comunidad (Figura 5.9 y Figura 5.10).



**Figura 5.9 Aguas residuales estancadas en la comunidad.**



**Figura 5.10 Aguas residuales evacuadas mediante alcantarillado en Calle Bajo Anonos y dirigidas al río.**

Otro aspecto por considerar son las diferencias encontradas al comparar estos resultados con otras investigaciones. Según el INEC (2011), el 25.6% de las viviendas está conectado al sistema de alcantarillado, aproximadamente el 66.5% usa tanque séptico, y el restante 7.9% dispone sus aguas pardas y grises en el río o tiene letrina. Otra encuesta realizada en la

comunidad a 35 hogares señala que aproximadamente el 57% (20 viviendas) usa tanque séptico como sistema de saneamiento, un 29% (10 viviendas) descarga las aguas en el río y un 9% (1 vivienda) usa alcantarillado (Madrigal, 2015).

Estos dos últimos estudios coinciden con la presente investigación en que el sistema de tratamiento más usado para tratar aguas pardas es el tanque séptico. No obstante, esto no implica que sea el tratamiento más efectivo, ya que muchos han sido construidos de manera inadecuada, también existen malas prácticas en cuanto al manejo de los lodos fecales producidos, y en un gran número de casos, el sistema no da abasto con la cantidad de personas que hacen uso del mismo (Madrigal, 2015). Una diferencia importante es el porcentaje de aguas residuales que se menciona son desechadas directamente en el río, donde para el INEC es solo un 7.9%, en el presente estudio y en el realizado por Madrigal (2015), el valor es considerablemente mayor; siendo un 33% y un 29% respectivamente. Para saber a qué se debe esa diferencia, es importante determinar, como se mencionó antes, si las personas consideran que disponer sus aguas en el alcantarillado es lo mismo que dirigir las directamente al río.

#### ***5.1.2.4 Operación y mantenimiento del sistema***

La operación y el mantenimiento (O&M) que las personas realizan a los sistemas de saneamiento es determinante para asegurar el correcto funcionamiento y la efectividad del tratamiento. Sin embargo, de la información recolectada, un 69% dijo no tener conocimientos sobre operación y mantenimiento de tanques sépticos, o qué hacer en caso de tener que reparar una tubería o cuando estas se obstruyen (Figura 5.11). En el caso del vaciado de los tanques sépticos, las personas dijeron desconocer cada cuánto se debe hacer; mencionaron que su método para saber cuándo contratar el servicio, es si hay presencia de malos olores o cuando el tanque está lleno. Por ejemplo, una persona dijo que hace aproximadamente cinco años realizó la última limpieza del tanque, en cambio otra dijo que realizaba el vaciado cada dos meses y en promedio debía pagar ₡60 000. Madrigal (2015), menciona que los costos de limpieza de tanques sépticos rondan los ₡30 000 a ₡60 000, siendo, por lo general, los montos más altos en zonas de difícil acceso.



A nivel de la vivienda, uno de los principales problemas que afecta a las familias es la presencia de malos olores. Un comportamiento muy común que se pudo observar y que Madrigal (2015) también menciona, es que la mayoría de las personas atribuyen la presencia de malos olores; y en general mucha de la problemática de la comunidad, a hábitos inadecuados por parte de sus vecinos y nunca lo atribuyen a sus propias prácticas.

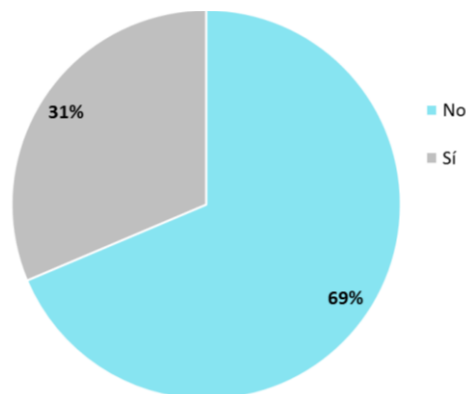


Figura 5.11 Conocimientos sobre O&M del sistema de saneamiento.

#### 5.1.2.5 Condiciones de saneamiento en la comunidad

Cuando se habla de la comunidad, un 82% de las personas coinciden en que el mal manejo de aguas residuales es una de las principales problemáticas. Entre sus quejas, se encuentra la falta de alcantarillas, los malos olores, las aguas residuales que son depositadas en la calle sin tratamiento y que caen en el río. Un aspecto interesante es que, aunque las personas son conscientes del problema, al mismo tiempo no se sienten obligados a hacer algo por cambiar la situación. Lo anterior queda demostrado cuando una de las personas mencionó que, como las industrias vierten las aguas residuales sin tratamiento al río, ella también se sentía con el derecho de hacerlo (Apéndice 2).

Junto al problema de aguas residuales, también existe el del mal manejo de residuos sólidos. Aunque no es el énfasis de esta investigación, es importante mencionar el manejo de residuos sólidos ya que forma parte del correcto saneamiento, y afecta directamente el manejo de aguas residuales en la comunidad. Las personas mencionan que existe la costumbre de depositarlos a cielo abierto; en el río, en la calle o en lotes baldíos. En temporada de lluvias, estos residuos impiden el paso del agua por los caños que hay en ciertas zonas, y provoca que el agua residual se salga a la calle. Al consultarles si alguna institución les ha ofrecido ayuda para tratar el problema de aguas residuales, un 86% dijo que no, mientras que otro 14% mencionó que en algunas ocasiones la municipalidad ha realizado ciertos trabajos

(Figura 5.12). Sin embargo, aunque les han dicho que solucionarán el problema, aún siguen a la espera de acciones por parte de esa entidad.

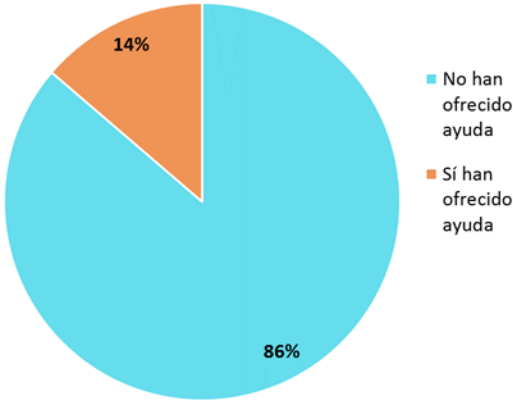


Figura 5.12 Opinión sobre ayuda ofrecida por parte de alguna Institución.

**5.1.2.6 *Apreciación del ambiente***

Por medio de la encuesta se identificó la percepción de las personas respecto a las condiciones en las que se encuentra la comunidad y cómo eso afecta su salud. La Figura 5.13 indica que un 75% considera que el ambiente en el que vive no es saludable. Sin embargo, al hacer la relación entre el grado de saneamiento en la comunidad y la afectación que esto podría causar en la salud de las personas, solo un 43% mencionó que los problemas de salud pueden ser por causa de la falta de saneamiento en la comunidad (Figura 5.14). Lo anterior indica que más de la mitad de las personas no encuentran una relación entre los problemas a nivel de saneamiento en la comunidad y la injerencia de esto en la salud.

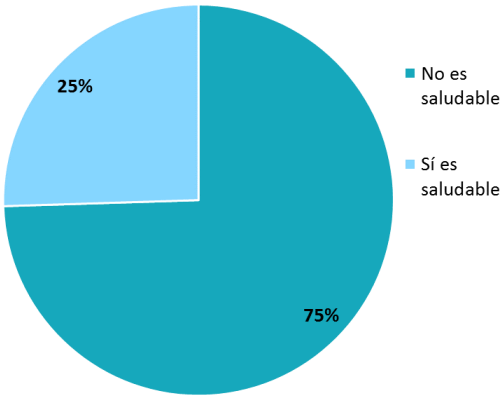


Figura 5.13 Percepción de las personas respecto a si viven en un ambiente saludable.

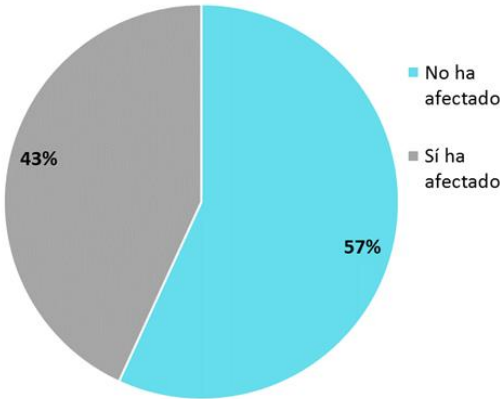
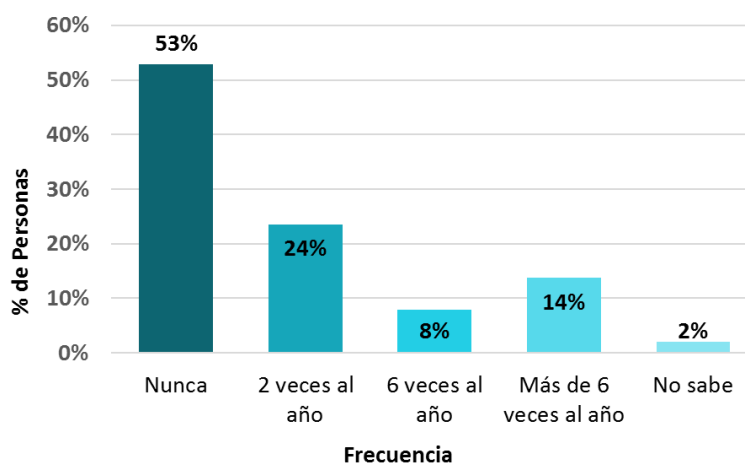


Figura 5.14 Percepción de las personas respecto a si el ambiente en el que viven ha afectado su salud.

Existen numerosas enfermedades relacionadas con el uso del agua, como el cólera, la diarrea, el dengue, la hepatitis, la malaria, etc (WHO, 2017). Uno de los enfoques de la encuesta fue determinar la frecuencia con la que se enferman las personas debido a esta causa. Como se observa en la Figura 5.15, un 53% menciona que durante el año nunca se enferman en su hogar, mientras que para un 24% la frecuencia con la que se enferman es de aproximadamente dos veces al año y para un 22% la frecuencia es de seis veces al año o más; quienes además mencionaron que se enferman principalmente los niños.

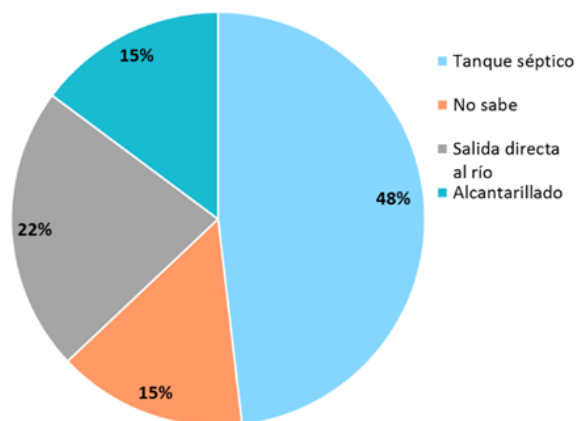


**Figura 5.15 Frecuencia con la que se enferman en el hogar anualmente.**

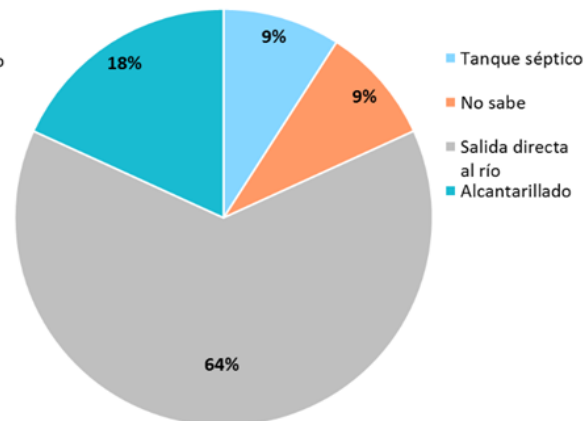
El acceso al servicio de agua en toda la comunidad puede ser un motivo por el cual más de la mitad de las personas menciona que nunca se enferman. Sin embargo, los hábitos de higiene y el manejo de las aguas residuales también juegan un papel importante. Por eso, se hizo una comparación entre el tratamiento de las aguas residuales y la frecuencia con la que se enferman las personas. En la Figura 5.16 se observa que en el caso de la población que nunca se enferma, el 48% trata las aguas pardas mediante el uso de tanque séptico. Por otra parte, del grupo de personas que dijeron enfermarse seis veces al año o más, se obtiene que un 69% no está brindando tratamiento a las aguas pardas, sino que las están enviando directamente al río (Figura 5.17).

A partir de los datos anteriores, se podría decir que el tipo de manejo brindado a las aguas pardas está estrechamente relacionado con la frecuencia en que se enferman las personas. Esto se puede comprobar con las personas que se enferman una mayor cantidad de veces al año, quienes a la vez están eliminando de la vivienda y depositando directamente en el

ambiente las aguas que contienen heces. Esa práctica está provocando que el grado de exposición sea mayor, y las posibilidades de tener contacto con aguas pardas aumenta el riesgo de adquirir enfermedades.



**Figura 5.16** Manejo de aguas pardas en los hogares donde nunca se enferman durante el año.

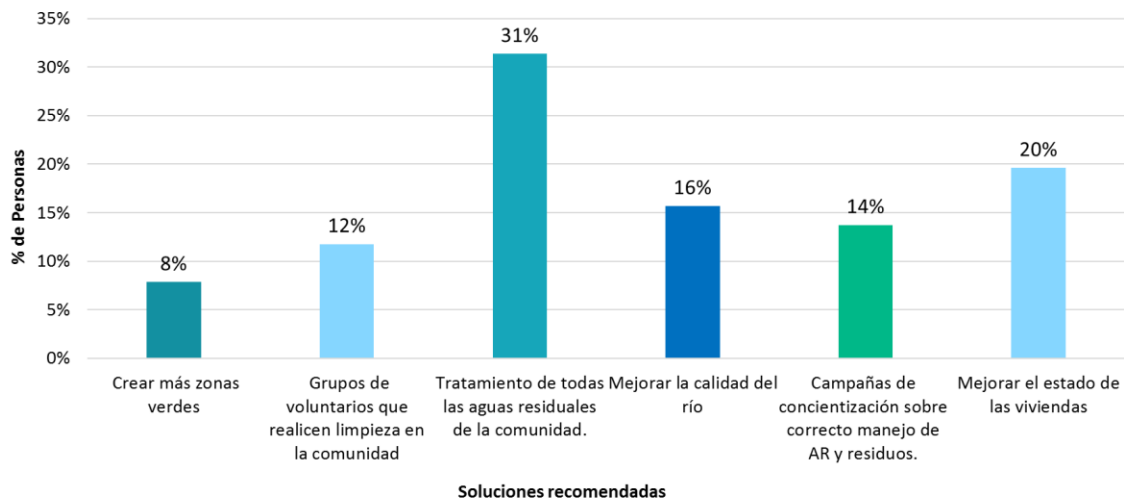


**Figura 5.17** Manejo de aguas pardas en los hogares donde se enferman seis veces al año o más.

Aunque para motivos de esta investigación solo se tomaron en cuenta enfermedades causadas por el agua, es importante mencionar que entre las personas es muy común sufrir de alergias, asma y rinitis. Por lo tanto, se hace también necesario determinar la causa de este problema que está afectando la salud y bienestar de las personas.

### **5.1.2.7 Prioridades de los habitantes de la comunidad**

En la comunidad se viven distintas problemáticas, sin embargo, de las soluciones propuestas, se obtuvo que para el 31% de las personas encuestadas, el tratamiento de aguas residuales es lo primero en lo que se debería intervenir. Un 20% de ellos considera que lo que se debería arreglar con urgencia es el estado de las viviendas. Para un 16% la calidad del río es lo más importante. Un 14% cree que lo más necesario es hacer campañas de concientización en la comunidad respecto al adecuado manejo de aguas residuales y residuos sólidos, el 12% dijo que la creación de grupos de voluntarios para limpiar la comunidad era lo más urgente, mientras que para el restante 8% la creación de zonas verdes donde puedan jugar sus hijos es lo más importante (Figura 5.18).



**Figura 5.18 Prioridad respecto a soluciones para tratar problemas en la comunidad.**

Por las características del lugar se podría pensar que para la mayoría de las personas lo más importante es mejorar el estado de sus viviendas, sin embargo, un gran número menciona que eso es difícil porque en muchas ocasiones no se pueden hacer arreglos a las casas, porque no tienen dinero, no les pertenecen o están conscientes de que en cualquier momento podrían ser desalojados del lugar. Por lo tanto, consideran que el adecuado manejo de aguas residuales al menos les permitiría vivir en un lugar más limpio y agradable.

### 5.1.3 Caracterización ambiental

Según un estudio realizado por geólogos de la UCR (Mora, 2009), las laderas del Bajo Los Anonos se constituyen por rocas bastante competentes (ignimbritas) y depósitos volcánicos (lahares y cenizas), con características mecánicas deficientes. La parte plana, cercana al río, es una terraza fluvial del río Tiribí. Desde el punto de vista de deslizamientos, los suelos volcánicos de la parte superior de la ladera son los que presentan un mayor riesgo, los cuales en caso de sismo se desplazarían hacia la parte baja; donde se ubica la terraza fluvial.

La emergencia por un sismo es el peor escenario que puede afectar a los habitantes del lugar. En la Figura 5.19 se observa el área que abarca la comunidad Bajo Los Anonos, y cada color representa el efecto en caso de presentarse actividad sísmica, donde el 16.1% del área

comprende laderas con una baja probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, el 8.4 representa una probabilidad moderada, el 40.6% representa una probabilidad alta a muy alta y el 43.6% puede ser afectada por flujos de lodo y rocas, inundaciones o la combinación de ambas (Mora, 2009). El Cuadro 5.1 indica detalladamente el significado de cada clase o color presentes en la Figura 5.19, relacionados con la probabilidad de deslizamiento en la comunidad.

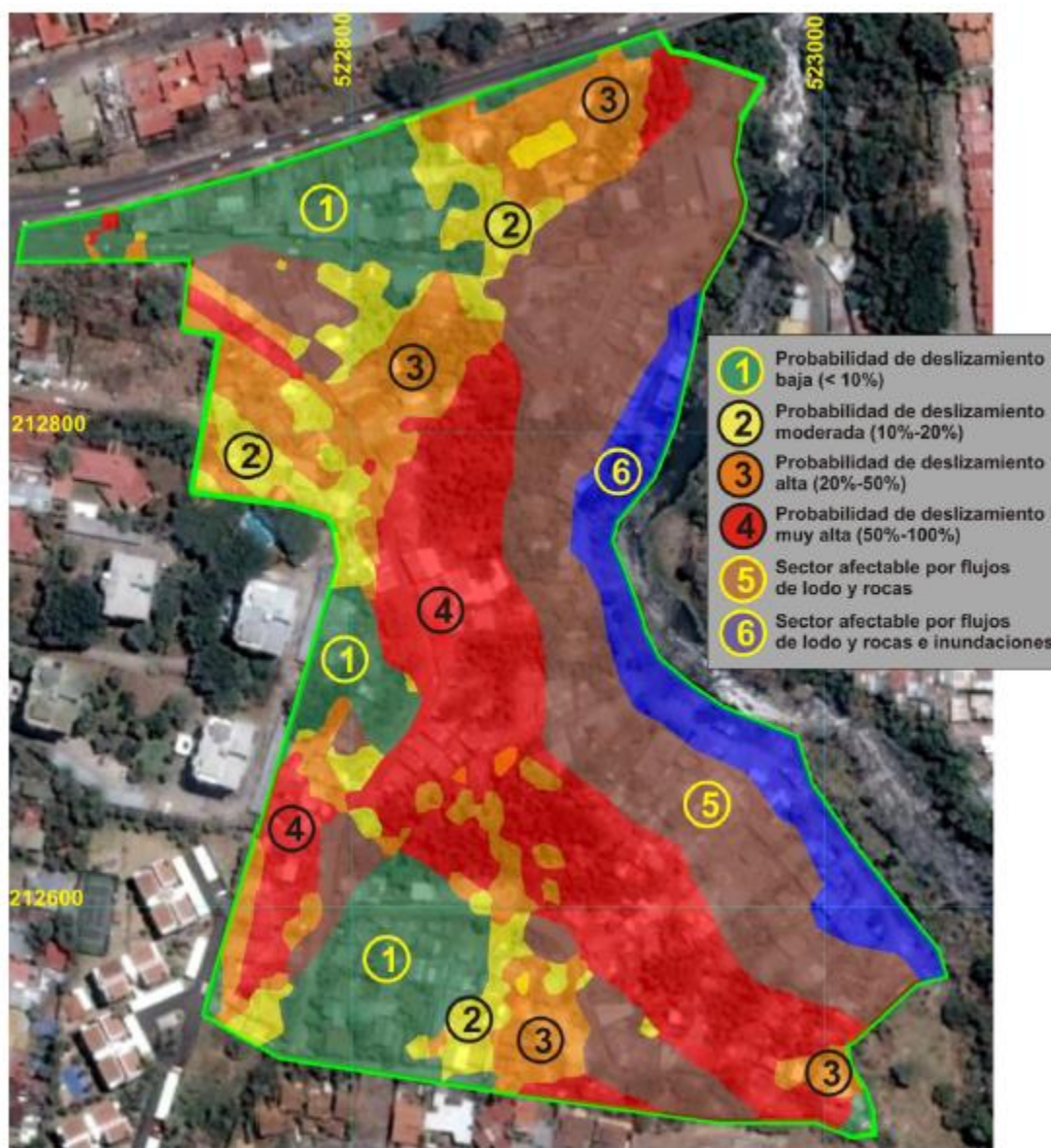


Figura 5.19 Mapa de estabilidad del terreno considerando el efecto de la actividad sísmica, Bajo Anonos, Escazú, San José. Fuente: (Mora, 2009)

**Cuadro 5.1 Conceptos utilizados para la reclasificación del mapa de estabilidad considerando el efecto de la actividad sísmica, Bajo Anonos, Escazú, San José.**

Clase	Probabilidad de ocurrencia de deslizamientos	Probabilidad en términos porcentuales	Comentarios
1	Baja	< 10%	Sin problemas por deslizamientos
2	Moderada	10%-20%	Se deben realizar medidas correctivas menores para asegurar la estabilidad del sector
3	Alta	20%-50%	Potencial alto de deslizamientos, se deben implementar medidas correctivas mayores para asegurar la estabilidad del sector
4	Muy alto	50%-100%	Potencial muy alto de deslizamientos, se deben implementar medidas correctivas mayores para asegurar la estabilidad del sector
5	Sector afectable por flujos de roca y lodos		Posibilidad de ocurrencia de flujos y avalanchas de lodo y rocas, disparadas por deslizamientos en la sección superior de la ladera
6	Sector afectable por flujos de rocas, lodos e inundaciones		Posibilidad de conjugación de eventos de flujos de lodo y rocas e inundaciones

Fuente: (Mora, 2009)

En consecuencia, en caso de que ocurra una emergencia por sismo, un 75% de las 9 hectáreas donde habitan las familias son las más expuestas a deslizamientos. La segunda eventualidad que más pone en riesgo a las familias es el riesgo de derrumbes producto de la saturación de suelos por las lluvias. En caso de ocurrir esta eventualidad, un 30% de las nueve hectáreas pueden sufrir deslizamientos (Cantero & Alfaro, 2009; Mora, 2009).

El estudio realizado por Mora (2009) concluye que, solo poco más de 1/6 del área que compone el Bajo los Anonos puede ser considerada segura para construir infraestructura habitacional. Sin embargo, se concluye también que desde un punto de vista social es muy difícil resolver el problema (Mora, 2010), por lo que la búsqueda de soluciones debe estar orientada a permitir la participación de las personas en la toma de decisiones.

#### 5.1.4 Muestreo de aguas residuales

Los resultados obtenidos del muestreo simple que se realizó en tres puntos distintos de la comunidad se muestran en el Cuadro 5.2.

**Cuadro 5.2 Resultados de la determinación de DBO5 en tres puntos distintos de la comunidad Bajo los Anonos.**

Punto de muestreo	Especificaciones	Valor de DBO obtenido (mg/L)
1. Los Mangos	Agua estancada en la calle.	(123 ± 14)

Punto de muestreo	Especificaciones	Valor de DBO obtenido (mg/L)
2. La Quebrada	Agua descargada a cielo abierto y que baja por desde la parte superior de la comunidad.	(36 ± 3)
3. Calle Principal	Tubería donde se reúnen las aguas que viajan a través del alcantarillado e inmediatamente son vertidas al río	(69 ± 6)

Como se observa en el Cuadro 5.2, el valor de DBO obtenido en el primer punto de muestreo fue de (123 ± 14) mg/L, siendo el mayor de los tres puntos. Esto se debe a que son aguas residuales contenidas en la calle durante mucho tiempo y por lo tanto hay una acumulación de materia orgánica que es vertida ahí constantemente. Adicionalmente, en el segundo punto de muestreo el valor de DBO obtenido fue de (36 ± 3) mg/L mientras que en el tercero fue de (69 ± 6) mg/L (ver Apéndice 3). Es importante mencionar que las aguas residuales de estos dos últimos sitios son descargadas en el río Tiribí.

Un punto importante en este muestreo es que los datos pueden no reflejar lo que realmente pasa en la comunidad. Algunos de los testimonios de las personas dicen que hay momentos donde ciertas viviendas abren sus tanques de almacenamiento de aguas residuales y las dejan correr en la calle, (principalmente en horas de la noche), por lo tanto, cuando se realizó el muestreo no se estaba presentando esta situación. Además, el flujo de agua residual es diferente a lo largo del día; las personas no lavan, cocinan, usan el inodoro o se bañan constantemente, por lo tanto, puede ser necesario un muestreo compuesto para realmente determinar un valor de DBO significativo.

En general los datos de calidad en términos de DBO, presentan que existe un nivel de riesgo y de exposición de la comunidad a las aguas residuales, que son descargadas en la calle sin recibir un tratamiento adecuado.

## 5.2 IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS

La revisión de literatura permitió la identificación de diferentes tecnologías para el manejo de aguas residuales, con características comunes como: ser de bajo costo, poco complejas y que no requieren mucho espacio. Estas características las hacen aptas para ser implementadas



en zonas marginales, donde el tema de saneamiento en muchos casos no está resuelto. En el Cuadro 5.3 se muestra un resumen de las tecnologías propuestas, las cuales serán descritas de una manera más detallada de la sección 5.2.1 a 5.2.4.

**Cuadro 5.3 Resumen de las tecnologías de saneamiento propuestas para el manejo de las aguas residuales en asentamientos informales.**

Etapa	Código	Tecnología
<b>Captura</b>	<b>C1</b>	Inodoro con descarga de agua.
	<b>C2</b>	Inodoro con descarga de agua y separación de orina.
	<b>C3</b>	Inodoro seco con separación de orina.
	<b>C4</b>	Inodoro de bajo caudal.
<b>Almacenamiento y tratamiento individual</b>	<b>A1</b>	Cámaras de compostaje.
	<b>A2</b>	Cámaras de deshidratación.
	<b>A3</b>	Tanque séptico.
	<b>A4</b>	Filtro anaerobio.
	<b>A5</b>	Tanque de almacenamiento de orina.
	<b>A6</b>	Zanjas de infiltración.
	<b>A7</b>	Trampa de grasas.
<b>Evacuación</b>	<b>E1</b>	Alcantarillado libre de sólidos.
	<b>E2</b>	Alcantarillado simplificado.
	<b>E3</b>	Alcantarillado convencional.
	<b>E4</b>	Vaciado y transporte manual.
	<b>E5</b>	Vaciado y transporte motorizado.
<b>Tratamiento semi-centralizado</b>	<b>T1</b>	Sedimentador.
	<b>T2</b>	Tanque Imhoff.
	<b>T3</b>	Reactor anaerobio con deflectores.
	<b>T4</b>	Filtro anaerobio *.
	<b>T5</b>	Lecho de secado de lodos
	<b>T6</b>	Biojardinera

\*Tecnología descrita previamente en la etapa de almacenamiento y tratamiento individual (A4).

### 5.2.1 Captura de la excreta

En esta sección se describen las tecnologías con las cuales el usuario interactúa y que separan la excreta del contacto humano (inodoros). Estas deben garantizar que el manejo de la excreta se lleve a cabo adecuadamente, de manera higiénica y evitando el contacto con materia fecal (Tilley et al., 2014). En el Cuadro 5.4 se muestran algunas características generales de las

tecnologías para la captura de la excreta, así como los productos de entrada y salida. Estos productos, así como la cantidad de agua usada para su evacuación influyen en el posterior tratamiento.

**Cuadro 5.4 Características generales de las tecnologías de saneamiento usadas en la etapa de captura de la excreta.**

Tecnología	Entrada	Salidas
Inodoro con descarga de agua	Heces Orina Agua de descarga (+ agua de limpieza anal, papel higiénico)	Aguas pardas
Inodoro con descarga de agua y separación de orina	Heces Orina Agua de descarga (+ agua de limpieza anal, papel higiénico)	Aguas cafés Orina
Inodoro seco con separación de orina	Heces Orina (+ agua de limpieza anal, papel higiénico)	Heces Orina (+ agua de limpieza anal, papel higiénico)
Inodoro de bajo caudal	Heces Orina Agua de descarga (+ agua de limpieza anal, papel higiénico)	Heces Orina Agua de descarga (+ agua de limpieza anal, papel higiénico)

(Fuente: Tilley et al., (2014))

### 5.2.1.1 Inodoro con descarga de agua

**Generalidades:** El inodoro está hecho generalmente de porcelana y es una interfaz de usuario producida en fábrica. Este consiste en un tanque donde se almacena agua y un recipiente donde la excreta es depositada. El agua contenida en el tanque se libera al tirar de una palanca, corre a través del recipiente, se mezcla con la excreta y finalmente la evacúa. Los inodoros de descarga deben estar conectados a una fuente constante de agua y a una tecnología que permita la colección, almacenamiento, tratamiento o transporte de las excretas. (Tilley et al., 2014).

**Diseño y construcción:** Los inodoros modernos utilizan de 6 a 9 L de agua por descarga, mientras que los modelos más antiguos eran diseñados para trabajar con flujos de 20 L (Tilley et al., 2014). El principal criterio de diseño es la tecnología donde será depositada la excreta, la cual debería estar en proporción a la cantidad de usuarios que usan el inodoro, con el fin de reducir la frecuencia de vaciado (Monvois, Gabert, Frenoux, & Guillaume, 2010). Es

necesario un plomero para la instalación de un inodoro de descarga, el cual garantice que todas las válvulas están conectadas y selladas adecuadamente, y de esta manera evitar fugas (Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Este tipo de inodoros crea un sello de agua que permite mantener lejos la excreta, evitando la presencia de olores y moscas (Monvois et al., 2010). Es seguro y comfortable, siempre que permanezca limpio (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** En general se requiere poco conocimiento para asegurar el mantenimiento de la tecnología. Aunque el inodoro se encarga de evacuar la excreta, este debería ser limpiado con desinfectante para mantener la higiene y evitar la acumulación de manchas o suciedad (Monvois et al., 2010; Tilley et al., 2014). Además, se requiere mantenimiento para reemplazar o reparar partes que se hayan dañado. Los productos de higiene durante la menstruación deberían ser colectados por separado en un recipiente, para evitar bloqueos en las tuberías (Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** La vida útil es de 10-20 años, y presenta una eficiencia alta al evitar la presencia de moscas y olores. Este tipo de inodoros puede ser construido y reparado localmente, además es una interfaz muy amigable con el usuario; al evacuar la excreta lejos se evita la propagación de moscas y olores (Monvois et al., 2010).

**Desventajas:** El uso de este tipo de inodoros requiere grandes cantidades de agua (en promedio 12000 L/año) para evacuar una pequeña porción de excreta (500 L/año de orina y 50 kg/año de heces) (Women in Europe for a Common Future [WEFC], 2015). Además, en muchos países no hay plantas de tratamiento, lo que genera que las excretas sean depositadas directamente en el ambiente y contaminen fuentes de agua superficial (Narain, 2002).

#### ***5.2.1.2 Inodoro con descarga de agua y separación de orina***

**Generalidades:** El inodoro de descarga con separación de orina es similar al inodoro de descarga, excepto porque en el recipiente donde se depositan las excretas hay dos secciones, en las cuales las heces y la orina son separadas. La orina es colectada en un desagüe en la

parte frontal del inodoro, mientras que las heces se colectan en la parte trasera (Winker & Saadoun, 2011). La orina no requiere agua para ser colectada, a excepción de una pequeña cantidad que se usa al descargar el tanque del inodoro y que sirve para limpiar la sección donde se deposita la orina. La orina se almacena en un tanque para su posterior uso, mientras que las heces son evacuadas con el agua para su posterior tratamiento (Tilley et al., 2014).

**Diseño y construcción:** Este tipo de inodoros requiere un suministro seguro de agua las 24 h del día, un sistema de alcantarillado y un proceso de tratamiento para las heces y el agua de descarga (von Münch & Winker, 2011). Adicionalmente, el sistema requiere la instalación de dos tuberías, una para el transporte de la orina y otra para las aguas café (heces, agua de descarga, material seco de limpieza anal). El inodoro se debe instalar cuidadosamente teniendo en consideración cómo y dónde pueden presentarse bloqueos en la tubería, de tal modo que sean evitados o removidos fácilmente. Para la descarga de orina se debe usar tubería plástica para prevenir corrosión. El conocimiento técnico es necesario, principalmente en lo que respecta a la instalación la tubería para evacuar la orina (Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Se requiere preparación por parte de los usuarios, para asegurar el correcto uso y la aceptación del sistema; si ellos entienden por qué la orina es separada, estarán más anuentes a usar el sistema adecuadamente. Una correcta instalación de tuberías evitará la presencia de olores (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** En ocasiones, la válvula colocada en la tubería donde viaja la orina puede bloquearse, y causar que la orina no sea colectada en el tanque de almacenamiento, sino que fluya a la sección de las heces en el inodoro, o que, la válvula no cierre y cause problemas de olores en la habitación. Por eso, se necesita mantenimiento preventivo, agregando, una vez al mes por 24 horas, ácido cítrico diluido (von Münch & Winker, 2011).

**Ventajas:** El inodoro de descarga con separación de orina permite el ahorro de agua, ya que las personas a menudo van al baño solo a orinar, y en este tipo de inodoro el agua consumida

para la lavar la sección de la orina es muy poca (von Münch & Winker, 2011). Al separar la orina es posible su reúso como fertilizante. Cuando el inodoro se usa correctamente no habrá problemas de olores. El aspecto y funcionamiento es muy similar al inodoro de descarga (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Para que funcione correctamente se requiere capacitación y aceptación por parte de los usuarios. Es necesario una fuente constante de agua para su funcionamiento (Tilley et al., 2014)

### **5.2.1.3 *Inodoro seco con separación de orina***

**Generalidades:** Los inodoros secos con separación de orina (UDDT por sus siglas en inglés), son un tipo de tecnología diseñada especialmente para el manejo de la excreta en condiciones secas; es decir, sin el uso del agua de descarga de los inodoros (Rieck, von Münch, & Hoffmann, 2012). Se construyen de tal manera que la orina sea colectada y depositada en el área frontal mientras que las heces caen en un orificio en la zona trasera (Tilley et al., 2014). La finalidad es usar las heces y la orina posteriormente para fines agrícolas (Elizabeth Tilley et al., 2014; WEFC, 2015). Sin embargo, en zonas urbanas puede no haber interés u oportunidad de usar estos productos, por lo que debe considerarse su transporte y disposición final (Tilley et al., 2014). El depósito y tratamiento de las heces se puede hacer mediante el uso de cámaras de deshidratación o con cámaras de compostaje (Fernández, Hock, Dabbah, & Escudero, 2016).

**Diseño y construcción:** En su totalidad, un baño seco con separación de orina está compuesto por ocho elementos básicos: 1.inodoro con separación de orina, 2. una o dos cámaras, generalmente bajo tierra, o un pozo para el almacenamiento de las heces, 3. un sistema de cañerías para transportar la orina al tanque de almacenamiento, 4.una tubería de ventilación para extraer la humedad y olores de la cámara, 5. un área de limpieza anal con drenaje por separado en caso de ser necesario, 6. una superestructura para el baño (si no está en el interior), 7. un balde con material seco para cubrir las heces, 8. una instalación para el lavado de manos con agua y jabón (Fernández et al., 2016).

En el momento de su construcción es importante que las dos secciones estén bien separadas, para evitar que las heces y orina entren en contacto. Se debe evitar el uso de materiales metálicos en las tuberías ya que la orina los puede corroer. Los inodoros pueden ser contruidos con materiales locales como concreto, plástico, así como comprar modelos prefabricados en el mercado (Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** La aceptación exitosa de esta tecnología está relacionada con la motivación y voluntad de los usuarios para cambiar de hábitos y conductas, la situación actual de saneamiento en la zona, normas y tabúes respecto a la reutilización de excretas humanas y la existencia de proveedores que brinden servicio de recolección y mantenimiento. Por eso, es importante una adecuada planificación y compromiso entre todas las partes involucradas (Fernández et al., 2016), así como buen entrenamiento y concientización de los usuarios, para evitar los errores en el uso y que de este modo la tecnología funcione adecuadamente (Tilley et al., 2014)

**Operación y mantenimiento:** Para que el UDDT funcione adecuadamente, no haya malos olores y la excreta sea correctamente desinfectada se debe asegurar desde el diseño, que la orina sea separada directamente de las heces, evitando que entren en contacto. Además, las válvulas deben mantenerse completamente secas, lo cual se logra cubriéndolas con suelo seco, aserrín, ceniza, carbón o cal. Por otra parte, la orina debe ser almacenada en un tanque para tal fin, y se pueden usar sellos para evitar olores. El papel higiénico también puede ser depositado junto con las heces (WEFC, 2015).

Después de la defecación, debe añadirse al menos una taza con una mezcla de tierra preparada (aserrín, cenizas, carbón vegetal o limo) para cubrir las heces. Este material de estructura fina asegura la absorción de humedad, evita la presencia de malos olores y moscas (von Münch & Winker, 2011), y además, permite aumentar el pH, lo cual, junto con el periodo de almacenamiento y temperatura ( $>40^{\circ}$ ), logra la muerte de patógenos presentes en las heces (Fernández et al., 2016). Todas las superficies del inodoro deberían ser limpiadas regularmente para prevenir olores y evitar la formación de manchas. El agua no debe ser

vertida en el inodoro, en lugar de eso se puede usar un paño húmedo para limpiar el asiento y las demás superficies (Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** La eficiencia de esta tecnología es alta cuando se diseña y opera correctamente (no hay presencia de olores ni moscas, tratamiento de la excreta) (Monvois et al., 2010). Por otra parte, no se requiere tener contacto con el suelo para infiltrar líquidos, lo que evita la contaminación de las aguas subterráneas, y hace posible su colocación dentro de la vivienda, permitiendo mayor seguridad, privacidad y el confort del usuario. Adicionalmente, como las heces son colectadas secas; sin presencia de orina y agua, no hay producción de lodos fecales (von Münch & Winker, 2011).

Su uso también es adecuado en lugares con condiciones de suelo inestable o rocoso, y cuando el nivel freático es alto. Además, cuando la disponibilidad de espacio es limitada y la excavación de nuevas letrinas o pozos es restringida (Rieck et al., 2012). El diseño del inodoro puede ser fácilmente adaptable a los diferentes tipos de comunidades, puede ser construido con materiales baratos y producidos localmente, e incluso puede ser colocado dentro de la vivienda (WEFC, 2015).

**Desventajas:** Los modelos prefabricados no están disponibles en todos los lugares. Se requieren arduas labores de capacitación para lograr su correcto uso y aceptación. Es propenso a que sea usado inadecuadamente y se causen obstrucciones con las heces. La cámara donde se recolectan las excretas es visible (Tilley et al., 2014). Además, se requiere de habilidades y conocimientos importantes para su correcta construcción (Monvois et al., 2010).

#### ***5.2.1.4 Inodoro de bajo caudal***

**Generalidades:** Los inodoros de bajo caudal son inodoros de descarga adaptados para funcionar con cantidades de agua considerablemente menores. Estos inodoros utilizan un diseño especial del tanque y el sifón que permite la remoción de la excreta con menos agua (Stauffer, 2011). Existen muchos estilos en el mercado, y algunos modelos pueden funcionar con menos de un litro de agua por descarga (Rosales, 2006).

**Diseño y construcción:** Estos inodoros pueden operar con gravedad o al vacío. Los que funcionan por gravedad tienen requerimientos especiales en cuanto a la colocación e inclinación de la tubería (Stauffer, 2011), siendo entre 2-3° o 45-90° (Lins, 2014). Para evitar obstrucciones se recomienda el uso de tuberías de 3 pulgadas. El tanque de compostaje no debe estar a una distancia horizontal mayor a 4.5 o 6 m del inodoro (Lins, 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Estos inodoros son seguros y cómodos siempre que se mantengan limpios. No presentan problemas con olores si se usan adecuadamente. Pueden ser usados en cualquier clima, solo deben cumplir con dos aspectos: estar conectados a una fuente constante de agua y dar tratamiento a las aguas residuales generadas (Tilley, Lüthi, Morel, Zurbrügg, & Schertenleib, 2008).

**Operación y mantenimiento:** Aunque el agua limpia el recipiente donde la excreta es descargada, es importante limpiarlo regularmente. Se debe vigilar que aparte de las heces y la orina no sean depositados otros objetos en el inodoro, ya que podrían obstruir la tubería y la reparación podría ser costosa (Stauffer, 2011).

**Ventajas:** Es confortable, fácil de usar e higiénico para el usuario (Stauffer, 2011). Este tipo de tecnología aumenta la aceptación social al ser muy parecida a los inodoros convencionales con descarga de agua, con la diferencia de que requieren menos de 1 l para su funcionamiento (Lins, 2014).

**Desventajas:** Requiere una fuente constante de agua, aunque la cantidad requerida sea menor (Stauffer, 2011). La cantidad tan pequeña de agua que usa el inodoro hace que en algunas ocasiones sea necesario vaciar el tanque más de una vez para arrastrar a excreta completamente (Tilley et al., 2008). Además el riesgo de obstrucción está presente (Stauffer, 2011).

## **5.2.2 Almacenamiento y tratamiento individual**

Este es el nivel básico de descentralización, pero con igual importancia que los otros niveles. Varía entre tecnologías de tratamiento convencionales a avanzadas, cuya función es brindar



el tratamiento de las aguas residuales a una sola propiedad o vivienda (Caicedo, 2014). En el Cuadro 5.5 se muestran algunas características generales de dichas tecnologías, entre ellas, el nivel de aplicación, nivel de manejo, los productos de entrada y los que resultan del tratamiento.

**Cuadro 5.5 Características generales de las tecnologías de saneamiento usadas en la etapa de almacenamiento y tratamiento individual.**

Tecnología	Nivel de aplicación	Nivel de manejo	Entrada	Salidas
Cámaras de compostaje	Hogar Comunidad	Hogar Compartido Público	Excreta Heces Orgánicos (+ papel higiénico)	Compost Efluente
Cámaras de deshidratación dobles	Hogar Comunidad	Hogar Compartido Público	Heces (+ papel higiénico)	Heces secas
Tanque séptico	Hogar Comunidad	Hogar Compartido Público	Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises	Efluente Lodo
Filtro anaerobio	Hogar Comunidad	Hogar Compartido Público	Efluente Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises	Efluente Lodo
Tanque de almacenamiento de orina	Hogar Comunidad Ciudad	Hogar Compartido Público	Orina	Orina almacenada
Zanjas de infiltración	Hogar Comunidad	Hogar Compartido	Efluente Aguas grises Orina Orina almacenada	–
Trampa de grasas	Hogar Comunidad	Hogar Compartido Público	Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises Lodos	Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises Lodos Productos del pretratamiento

(Fuente: Tilley et al., (2014))

### 5.2.2.1 Cámaras de compostaje

**Generalidades:** El compostaje es un proceso biológico natural en el cual la excreta y residuos orgánicos de las casas son convertidos en compost (Winblad & Simpson-Hébert, 2004) mediante la acción de bacterias aerobias termofílicas (se desarrollan entre 45° y 80 ° C) y hongos (Berger, 2011). Estos residuos son depositados en una cámara o contenedor bien ventilado, instalado directamente debajo del inodoro. Según WHO, (2006), si el diseño es

adecuado, se puede lograr una reducción entre el 70% - 90% del volumen de la excreta inicial. Los productos finales son CO<sub>2</sub>, calor, agua y compost (Berger, 2011).

**Diseño y construcción:** La cámara de compostaje puede ser construida sobre o debajo del suelo, en el interior de la vivienda o en una estructura en el exterior. Debe ser un recipiente hermético (con entrada y salida de gases en lugares específicos), impermeable y resistente a la intemperie de zonas tropicales (lluvia, sol, temperatura, entre otros) (Rosales, 2006). Para calcular el volumen de la cámara de compostaje se puede usar un valor de 300 L/persona/año (Tilley et al., 2014). Se recomienda que el volumen de la cámara no sea menor a 1m<sup>3</sup>, para garantizar las condiciones óptimas de compostaje. Es posible la construcción de una o dos cámaras de compostaje. En el caso que solo se construya una, el proceso de compostaje es posible siempre y cuando se separe el compost maduro de las heces frescas. Para evitar tal contaminación se pueden colocar dos cámaras de menor tamaño (por ejemplo 4 x 250 l), la cuales deben estar separadas (Berger, 2011; WHO, 2006).

Es posible diseñar las cámaras de compostaje usando inodoros secos con o sin separación de orina (Rieck et al., 2012). Cuando la orina es separada se evita que haya inhibición del proceso biológico por exceso de amonio, además se evitan problemas de lixiviados. Sin embargo, es importante revisar el grado de humedad del compost (no debe ser menor al 40%), ya que puede ser requerido adicionarle agua (Berger, 2011; Fernández et al., 2016; Tilley et al., 2014). Algunos tanques de compostaje también pueden funcionar usando inodoros de bajo caudal para la evacuación de las heces y la orina. Este tipo de tanques, tienen una plataforma cerca del fondo, con perforaciones para permitir el paso de los líquidos, los cuales son evacuados y llevados a un tratamiento posterior, como biojardineras (Rosales, 2006).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Para asegurar una reducción de patógenos satisfactoria, la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) recomienda realizar el compostaje durante un mes entre 55° a 60° C, con un posterior período de maduración de 2 a 4 meses. Sin embargo, la destrucción completa de patógenos no puede ser garantizada por la complejidad para lograr las condiciones óptimas de compostaje. Lo anterior puede mejorarse con un tratamiento secundario fuera de la cámara y agregando residuos sólidos orgánicos (Berger, 2011; WHO, 2006). Para el vaciado manual de las cámaras de compostaje

es importante que las personas usen protección personal como guantes y botas; principalmente si el material no está completamente desinfectado. Adicionalmente, es necesario una higiene adecuada, como el lavado de manos (WHO, 2006).

**Operación y mantenimiento:** Los cuatro factores que aseguran el funcionamiento del sistema son suficiente oxígeno (buena aireación), adecuada humedad (45-70% contenido de humedad), temperatura (40-50°C) y una proporción 25:1 C:N (Berger, 2011; Tilley et al., 2014; Winblad & Simpson-Hébert, 2004). Si el material se vuelve muy compacto y húmedo es necesario agregar material estructural, como astillas de madera, hojas secas, aserrín, papel o ceniza. Un buen suministro de oxígeno es otro aspecto importante, lo cual se logra volteando el material con alguna herramienta adecuada. Por otra parte, en el caso que el material esté muy seco (debido al calor interno o por la separación de la orina) es necesario la adición de agua (Berger, 2011).

Si la cámara de compostaje se diseña y construye adecuadamente, puede permanecer el primer año sin remover el material (Berger, 2011). Además, es posible agregar material orgánico como residuos de la cocina o jardín, el cual permite mantener la humedad y proporción de carbón y nitrógeno requeridos (Fernández et al., 2016).

**Ventajas:** La eficiencia de tratamiento es alta debido a que hay una importante reducción de patógenos, además, el compost generado es estable, inofensivo y puede ser manejado y usado como mejorador de suelo por la cantidad de nutrientes (Monvois et al., 2010). Si se usa y da mantenimiento adecuado no hay problemas de olores ni moscas (se deben cubrir las heces con material absorbente). La tecnología tiene una larga vida útil y si el vaciado del compost se realiza por los usuarios los costos de operación son bajos (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** El tiempo de almacenamiento para producir compost es alto, normalmente entre 6 a 8 meses (Winblad & Simpson-Hébert, 2004). Si el proceso no se controla adecuadamente pueden presentarse problemas de olores y moscas (Monvois et al., 2010). El diseño y construcción de las cámaras de compostaje debe ser realizado por expertos, además, los usuarios deben recibir entrenamiento para que brinden un correcto monitoreo y

mantenimiento. En el caso de generarse lixiviados, estos requieren tratamiento o disposición adecuada. Las personas deben tener contacto con el compost al final del proceso de tratamiento, ya que la remoción es manual (Tilley et al., 2014). El compostaje es visto como tratamiento secundario de las heces a escala o nivel municipal, debido a que a nivel doméstico es difícil lograr procesos eficientes de reducción de patógenos (Fernández et al., 2016).

### **5.2.2.2 Cámaras de deshidratación**

**Generalidades:** Las cámaras de deshidratación permiten recolectar, almacenar y disminuir a menos del 25% el contenido de humedad de la materia fecal, mediante la evaporación y la adición de material seco como ceniza, aserrín, cáscaras, etc (Rieck et al., 2012). Para ello se debe evitar la mezcla de las heces con orina o agua, de este modo el secado es más rápido, se minimizan los olores y se permite la destrucción de patógenos por la ausencia de humedad (Tilley et al., 2014). En el proceso de deshidratación la descomposición del material orgánico es mínima debido al bajo contenido de humedad. Por eso el material resultante del proceso de deshidratación no es compost, si no una especie de humus, con gran cantidad de nutrientes, carbón y material fibroso (Winblad & Simpson-Hébert, 2004).

**Diseño y construcción:** La separación de la orina es esencial para el funcionamiento de las cámaras de deshidratación (Winblad & Simpson-Hébert, 2004). Estas pueden construirse dentro de la vivienda o en una estructura en el exterior. La construcción de cámaras dobles permite mejorar el proceso de secado de las heces. Cuando una de ellas se llena, el inodoro es movido a la segunda cámara para que se empiece a llenar, dejando reposar las heces de la primera cámara y permitiendo que se sequen (Tilley et al., 2014). Según recomendaciones de WHO (2006), el periodo adecuado de almacenamiento de las heces es de 6 meses cuando el material de cobertura es alcalino, 1 año para climas cálidos (>20°C) y de 1,5 a 2 años para climas más fríos.

Las dimensiones de las cámaras de deshidratación dependen del volumen de la materia fecal y del tiempo de almacenamiento. La cantidad de heces generadas depende de factores como la dieta, la edad, el género, entre otros. En promedio, se puede decir que una persona requiere un volumen de 50 l para el almacenamiento de materia fecal en un periodo de 6 meses. (Rieck

et al., 2012). Para el dimensionamiento es importante tomar en cuenta el material de cobertura y el papel higiénico, los cuales en promedio son 0,05 kg/p/día y 8,9 kg/p/año respectivamente, además de la materia fecal extra generada por personas externas que visiten la vivienda (Jönsson, Richert, Vinnerås, & Salomon, 2004).

La base de las cámaras debe estar elevada al menos 10 cm del suelo para evitar el ingreso de agua durante precipitaciones. Adicionalmente, es importante considerar la instalación de tubos de ventilación verticales para garantizar el correcto secado de las heces. Los materiales comunes de construcción son concreto, ladrillos y adobe, sin embargo la madera y el bambú también son opciones ligeras y rentables que pueden ser tomadas en cuenta (Rieck et al., 2012).

**Aspectos de la salud/aceptación:** La deshidratación de la materia fecal tiene como principal objetivo, obtener un material seco, sin olor, inofensivo y parcialmente desinfectado, el cual pueda manejarse de forma segura durante el vaciado de las cámaras y al momento de su disposición o reúso. Si la intención es el reúso de la materia fecal (proveniente de cámaras de deshidratación dobles) el post-tratamiento es opcional pero recomendado para el caso de sistemas individuales y estrictamente necesario para sistemas a gran escala. En cambio, si la materia fecal solo será dispuesta, no es necesario un post-tratamiento. (Rieck et al., 2012). Es importante también que las personas utilicen protección personal durante el vaciado de las cámaras, para evitar el riesgo de exposición a patógenos que puedan no haber sido eliminados (WHO, 2006).

**Operación y mantenimiento:** Para contribuir a deshidratación de las heces es importante agregar material que absorba la humedad. Por su alto pH y baja humedad, la ceniza ha demostrado ser más efectiva que el aserrín en la destrucción de *Escherichia coli*. y *Enterococcus spp*. El papel higiénico también debería ser agregado dentro de las cámaras de deshidratación, ya que actúa como un medio absorbente adicional y beneficia el proceso. Sin embargo, es importante considerar que no se descompone dentro de las cámaras, sino, una vez que el producto es aplicado al suelo en agricultura (Rieck et al., 2012).

El vaciado de las cámaras puede realizarse manual, sin embargo, también existe la posibilidad de que los usuarios contraten un proveedor comercial que brinde el servicio, como sucede con los operadores que vacían tanques sépticos (Rieck et al., 2012).

**Ventajas:** Pueden ser instaladas tanto en zonas rurales como en zonas urbanas densas, debido al pequeño requerimiento de área. Se puede decir que la vida útil es ilimitada debido a que ambas cámaras se alternan. La reducción de patógenos es significativa lo cual posibilita el uso del producto como un mejorador de suelo. Otro factor importante, es que las cámaras de deshidratación pueden ser construidas y reparadas con materiales locales. En general los costos de inversión son bajos, aunque dependen del material con que se construyan. Los costos de operación son nulos o muy bajos si se realiza la extracción manual del producto (Tilley et al., 2014). Este tipo de tecnología puede ser construida en cualquier tipo de terreno, suelo o clima, es adecuada cuando el nivel freático es alto ya que no hay producción de lixiviados (Soria, 2014). Debido al bajo contenido de humedad la presencia olores es baja y no se presentan moscas, lo anterior siempre y cuando se brinde un adecuado uso y manejo (Winblad & Simpson-Hébert, 2004).

**Desventajas:** El uso de válvulas de deshidratación requiere que los usuarios sean bien capacitados, para lograr su aceptación, que comprendan como realmente funciona la tecnología y que conozcan bien sus beneficios. Además, es necesaria una fuente constante de material de cobertura. Por otra parte, se requiere la remoción manual de las heces secas, lo cual puede representar cierto desagrado para los usuarios (Tilley et al., 2014). Si la materia fecal será reusada, se recomienda tratamiento secundario como vermicompost (Soria, 2014), compostaje, secado y almacenamiento, uso de químicos, secado al sol o tratamiento térmico (Rieck et al., 2012).

### **5.2.2.3 *Tanque séptico***

**Generalidades:** Un tanque séptico es una cámara impermeable hecha de concreto, fibra de vidrio, PVC o plástico, a través de la cual ingresan aguas pardas y grises para recibir tratamiento primario. El tanque funciona como un sedimentador en el cual las partículas más pesadas caen en el fondo, mientras que las más livianas y las grasas quedan en la parte

superior (Rosales, 2005b). La sedimentación y las condiciones anaerobias permiten la degradación de los sólidos en el fondo, pero de forma moderada (Tilley et al., 2014). El efluente del tanque séptico debe recibir posterior tratamiento mediante zanjas de infiltración o campos de drenaje, o transportado mediante el alcantarillado a una planta de tratamiento (Monvois et al., 2010; Tilley et al., 2014). Además, es importante la remoción, tratamiento y disposición de los lodos depositados en el fondo del tanque y la nata flotante (Rosales, 2005b).

**Diseño y construcción:** El diseño del tanque depende de factores como el número de usuarios, la cantidad de agua que va a ingresar, la temperatura promedio anual, frecuencia de vaciado y las características del agua residual. Para lograr un tratamiento moderado, el tiempo de retención debería ser de 48 horas. Es recomendable que el tanque séptico tenga al menos dos cámaras; siendo la primera dos tercios del largo total. La mayoría de sólidos sedimentan en la primera cámara (Tilley et al., 2014). Como el tanque sigue los principios de la sedimentación, debe asegurar una relación de 3:1 entre el ancho y el largo, así como una profundidad mínima de 1 m. Además, es importante colocar tuberías de ventilación para extraer los gases acumulados en la parte superior del tanque (Rosales, 2005b). El área mínima requerida para la construcción de un tanque séptico es de 5 m<sup>2</sup> (Monvois et al., 2010).

Cuando se va a infiltrar el efluente es necesario la tecnología sea instalada en terrenos con suficiente capacidad de infiltración (Rosales, 2005b). Para asegurar la protección del agua subterránea, deben existir al menos dos metros de suelo (preferible arena fina o suelo rocoso) entre la parte inferior del drenaje y la tabla de agua (OXFAM, 2008).

La eficiencia de remoción depende de factores como condiciones climáticas, operación y mantenimiento. Algunos autores como Rosales (2005), mencionan que en regiones con climas cálidos los tanques sépticos pueden presentar eficiencias de remoción de 70% para DBO y 80% para SS. En otros casos se mencionan valores de remoción de 50-70% para SST y de 40-62% para DBO (Rodríguez et al., 2015). En el caso de E. coli pueden ser esperados valores de remoción de 1-log. En general se puede decir que los tanques sépticos no son eficientes removiendo patógenos ni nutrientes. (Monvois et al., 2010; Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Esta tecnología es usada principalmente a nivel de vivienda, y es apropiada cuando existe la posibilidad de dispersar o transportar el efluente. Para regiones densamente pobladas no se recomienda la infiltración del efluente ya que el suelo puede saturarse llegando a contaminar las aguas subterráneas, en cambio, debería ser conectado a algún tipo de alcantarillado sanitario para un posterior tratamiento. En condiciones normales, los usuarios no tienen contacto con el influente ni el efluente, sin embargo, en el momento del vaciado hay que tener especial cuidado debido a la presencia de organismos patógenos (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** La mejor manera de que el tanque séptico funcione bien, y a la vez más barata, es haciendo mantenimiento preventivo mediante inspecciones periódicas; al menos 1 vez al año, y el bombeo del contenido; generalmente cada 3 o 5 años (Environmental Protection Agency [EPA], 2002; Rosales, 2005b). De un tanque se debe extraer solo el 80% de su contenido, dejando un 20% (bacterias activas) para permitir que el tratamiento dentro del sistema continúe. La limpieza de los tanques se debe realizar preferiblemente en el periodo seco, para permitir la evaporación del líquido en un posterior tratamiento (Rosales, 2005b). Además, es importante evitar la descarga de químicos peligrosos, ya que el tratamiento biológico dentro del tanque puede verse perjudicado (EPA, 2002; Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** Es una tecnología simple y robusta. No requiere energía eléctrica para su funcionamiento. (Tilley et al., 2014). Esta tecnología no presenta problemas de olores ni moscas. Por otra parte, no se requiere de conocimiento avanzado para realizar el mantenimiento periódico de los tanques. Los costos de operación son relativamente bajos y tiene una vida útil muy larga (10 a 20 años). Puede ser construido y reparado localmente (Monvois et al., 2010).

**Desventajas:** La reducción de patógenos, sólidos y materia orgánica es baja. Se requiere un vaciado regular de los lodos. El efluente y los lodos requieren tratamiento secundario o una descarga adecuada (Tilley et al., 2014). Para su funcionamiento, se requiere una fuente constante de agua. Además, es necesario un grado alto de habilidades conocimiento



específico para su diseño y construcción. No puede ser usado en zonas donde el nivel freático sea alto, a menos que el efluente se descargue en el alcantarillado sanitario (Monvois et al., 2010).

#### **5.2.2.4 Filtro anaerobio**

**Generalidades:** El filtro anaerobio es un reactor inundado de flujo ascendente o descendente, en cuyo interior hay soportes plásticos o piedras de 3 a 5 cm de diámetro promedio. El agua residual viaja a través del lecho empacado, permitiendo la interacción entre el sustrato del agua residual y los microorganismos adheridos al empaque (“biofilm”). Esta tecnología es adecuada para tratar aguas residuales en las viviendas ya que es muy resistente a las variaciones en el caudal (Noyola et al., 2013).

**Diseño y construcción:** Los principales criterios de diseño son la cantidad de agua a ser tratada, el material filtrante, y el tiempo de retención (TRH) del agua residual dentro del filtro (Monvois et al., 2010). Para garantizar un rendimiento adecuado se recomiendan TRH de 12 a 36 horas. Un filtro que funcione adecuadamente debería tener un gran área superficial para el crecimiento de las bacterias y material filtrante con poros suficientemente grandes para prevenir la obstrucción (Tilley et al., 2014).

Algunos materiales filtrantes usados comúnmente son la grava, rocas o ladrillos triturados, piedra pómez o piezas de plástico; dependiendo de la disponibilidad en el lugar, con diámetros que van de los 12 a 55 mm (Tilley et al., 2014). Se recomienda de dos a tres capas de material filtrante, con una profundidad mínima de entre 0.8 a 1.2 m. Adicionalmente, el filtro debería cubrirse con una capa de líquido de al menos 0.3 m. Se estima que la superficie filtrante por persona es de alrededor 0.5 m<sup>2</sup> (Monvois et al., 2010). En promedio, un buen material filtrante provee entre 90 a 300 m<sup>2</sup> de área superficial por 1 m<sup>3</sup> de volumen ocupado en el reactor (Gutterer et al., 2009).

Cuando son bien operados, los filtros anaerobios pueden presentar eficiencias de remoción entre 70 a 90% de DBO (Gutterer et al., 2009; Noyola et al., 2013), aunque los valores típicos son entre 50 y 80%. En el caso del nitrógeno, su remoción es limitada, y normalmente no

excede el 15% del nitrógeno total (Tilley et al., 2014). Cabe mencionar que es fundamental el pretratamiento con tanques sépticos o sedimentadores, para eliminar sólidos grandes y residuos que puedan causar obstrucciones (Gutterer et al., 2009).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Cuando las condiciones de operación se llevan a cabo normalmente el usuario no entra en contacto con los flujos de entrada ni salida. Es importante manipular con cuidado los lodos y el efluente ya que poseen grandes cantidades de organismos patógenos. Es importante realizar el diseño y localizar el filtro en un lugar que no afecte a los vecinos por posibles olores (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** Las principales actividades de operación incluyen la revisión del nivel del agua sobre el filtro una vez al día, limpiar el filtro una vez cada dos años; cuando la capa de microbios se vuelve muy gruesa. Para ello se puede pasar agua en forma contraria al flujo de diseño o removiendo el material filtrante para lavarlo fuera del reactor (Gutterer et al., 2009). Una vez que sea muy difícil la limpieza del material filtrante, este debe ser reemplazado. En promedio, el “biofilm” dura de seis a nueve meses para formarse y ser realmente efectivo en la limpieza del agua residual (Monvois et al., 2010).

**Ventajas:** Es una tecnología robusta, cuya vida útil es larga; de 25 a 50 años en promedio (Monvois et al., 2010). Es fácilmente adaptable y adecuada para lugares donde la disponibilidad de espacio es limitada, ya que puede construirse de manera subterránea y requiere un área pequeña. No es necesario energía eléctrica para su funcionamiento. Los costos de operación son bajos. La remoción de DBO y sólidos es alta, además se generan pocos lodos (el lodo es estabilizado) (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Presencia de malos olores al ser un proceso anaerobio abierto (Ramalho, 1990). La operación de la tecnología requiere de personas con conocimiento y experiencia de su funcionamiento. Lo mismo sucede con el diseño y construcción, que requiere del conocimiento de expertos (Monvois et al., 2010). La reducción de patógenos y nutrientes es baja, por lo que el efluente y los lodos requieren posterior tratamiento y apropiada descarga. Existe el riesgo de obstrucciones dependiendo del pretratamiento que reciban las aguas

residuales. Además, la remoción y limpieza de medio filtrante puede resultar incómoda para los usuarios (Tilley et al., 2014).

#### **5.2.2.5 *Tanque de almacenamiento de orina***

**Generalidades:** El método más común, simple y barato para tratar la orina y eliminar patógenos es mediante su almacenamiento en tanques de almacenamiento. La descomposición de la urea en amonio e hidrogenocarbonato provoca un incremento del pH (alrededor de 9), haciendo que las bacterias, virus, helmintos y parásitos mueran con el tiempo (von Münch & Winker, 2011). La cantidad de orina desechada por el cuerpo depende de factores como la cantidad de líquido consumido, el clima y la dieta, sin embargo, en promedio una persona adulta produce de 1 a 1.5 litros de orina al día, y 500 L al año (Allen & Conant, 2010; Hao, Novotny, & Nelson, 2010; Karak & Bhattacharyya, 2011; WHO, 2006).

Cuando la orina se usa para fertilizar cultivos en la vivienda para consumo propio, no es necesario almacenarla, si no que se puede usar directamente después de la recolección. En cambio, si la orina proviene de diversas viviendas, debería ser almacenada por al menos un mes si se va a aplicar a alimentos posteriormente procesados, o seis meses para un mejor margen de seguridad y uso en cualquier cultivo (von Münch & Winker, 2011; WHO, 2006).

**Diseño y construcción:** Para recolectar la orina se debe planear el tamaño y tipo de tanque anticipadamente, este se puede colocar sobre o bajo el nivel del suelo (WEFC, 2015). Para saber el volumen del tanque de almacenamiento se deben tomar en cuenta factores como el número de usuarios, la cantidad de orina generada, el tiempo de almacenamiento deseado y la fracción de tiempo que los usuarios utilizan las instalaciones donde está el inodoro (von Münch & Winker, 2011). A nivel de la vivienda se pueden usar tanques de almacenamiento de 1 m<sup>3</sup>. Cuando el almacenamiento es a gran escala (toda la comunidad), algunas experiencias mencionan el uso de tanques de 10 m<sup>3</sup>, sin embargo eso depende de la cantidad de usuarios (Richert et al., 2007). Los tanques de almacenamiento móviles deberían ser de plástico o fibra de vidrio, los fijos, en cambio, puede ser de concreto o plástico. Se deben evitar tanques metálicos ya que la orina es corrosiva por su contenido de amonio y alto pH

(Richert et al., 2007; Tilley et al., 2014). La orina debe ser almacenada en recipientes cerrados para evitar la pérdida de amoníaco (Tilley et al., 2014).

La tubería que conduce la orina debería ser corta, preferiblemente menor a 10 m, para reducir el tiempo que la orina viaja por el sistema, y así evitar la degradación de la urea y su precipitación. El diámetro de la tubería debería ser de al menos 75 mm, o 50 mm cuando la tubería puede ser fácilmente limpiada. Cuando la tubería se coloca bajo el suelo se recomienda un diámetro de 110 mm (Richert et al., 2007). La tubería debería colocarse con pendientes mayores a un 1%, y se deben evitar ángulos de 90° (Tilley et al., 2014). Además es necesario colocar un sistema de ventilación adecuado (WEFC, 2015).

**Aspectos de la salud/aceptación:** La orina humana es casi un medio estéril, y presenta un riesgo bajo de transmitir enfermedades. Su separación en la fuente crea una barrera contra la transmisión de patógenos, quienes se encuentran principalmente en las heces (Ecosan Club, 2010; Gensch, Miso, & Itchon, 2011). Sin embargo, no es posible asegurar la ausencia de contaminación cruzada con las heces, por lo que se recomienda aplicar otras barreras como el almacenamiento, técnicas de aplicación, lavado de manos, entre otros para asegurar la transmisión de posibles patógenos presentes en la orina (WHO, 2006).

**Operación y mantenimiento:** Para permitir el vaciado regular del tanque se requiere que el acceso para personas o vehículos sea posible. Las tuberías deben lavarse periódicamente debido a la acumulación de cristales o lodo en ciertas zonas (una vez cada pocos años, o más frecuente en el peor de los casos) (von Münch & Winker, 2011). También es posible la remoción manual o disolviéndolos con un ácido fuerte (24% de ácido acético). Dentro del tanque se puede acumular lodo, el cual puede ser vaciado al vaciar la orina, sin embargo dependerá de la composición de la orina o condiciones de almacenamiento (Tilley et al., 2014). En casos donde la orina no puede ser reutilizada, no se debe verter al suelo, sino que se pueden considerar otras alternativas como su vertido al sistema cloacal (Fernández et al., 2016).

**Ventajas:** Es una tecnología simple. Para su construcción y reparación se pueden utilizar materiales locales. El riesgo de transmisión de patógenos es bajo al utilizar orina. La orina, luego del periodo de almacenamiento adecuado, puede ser usada como fertilizante. El área requerida para su almacenamiento es pequeña (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Cuando el tanque se abre para vaciar el contenido pueden ser percibidos olores. Los costos de inversión podrían ser altos, dependiendo del tamaño y materiales con que se construya el tanque. Además, el vaciado puede ser frecuente (Tilley et al., 2014).

#### **5.2.2.6 Zanjas de infiltración**

**Generalidades:** Una zanja de infiltración es una tecnología simple y de bajo costo que permite recolectar e infiltrar las aguas en el suelo, al mismo tiempo que previene que estas corran libremente por los patios y las calles. La instalación de este tipo de tecnología depende de que se cumplan ciertos factores como, que haya una capa de suelo no rocosa de varios metros de profundidad que permita la infiltración del agua, que la fuente de agua subterránea más cercana esté ubicada a más de 30 m de distancia y que la tabla de agua se encuentre a varios metros de profundidad (Monvois et al., 2010).

**Diseño y construcción:** Los principales criterios de diseño son el volumen del pozo, el cual debería ser adecuado para la cantidad de personas que hacen uso del mismo, además se debe tomar en cuenta el consumo de agua para asegurar que la infiltración sea eficiente (Monvois et al., 2010). La tasa de aplicación es de 20-50 l/d/m<sup>2</sup> (Morel & Diener, 2006). La profundidad está en función de la topografía del terreno, y no debe ser menor a 0.5 m (Organización Panamericana de la Salud [OPS] & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS], 2003). Como regla general esta debe colocarse sobre la tabla de agua a una distancia no menor de 2 m. Además, se deben ubicar lejos de zonas donde haya tránsito de vehículos para evitar la compactación del terreno. La zanja podría dejarse vacía y ser cubierta con un material poroso para darle firmeza y evitar que colapse, o también se podría dejar sin forro y en lugar de ello rellenarla con grava y rocas gruesas, las cuales brindarán soporte y al mismo tiempo permitirán el paso de las aguas

residuales. En ambos casos, es necesario colocar en el fondo una capa de arena y grava fina, para permitir que el flujo sea dispersado (Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aplicabilidad:** Las zanjas de infiltración deben ser usadas para la descarga de aguas pardas o grises previamente sedimentadas, ya que no proporciona adecuado tratamiento a aguas residuales crudas. La instalación de este tipo de tecnología se puede hacer en asentamientos a nivel urbano o rural, sin embargo, como requisito, el suelo debe tener una suficiente capacidad de absorción. Esta tecnología se coloca a de manera subterránea, por lo tanto, no debería existir el contacto con el efluente por parte de humanos y animales. Incluso las comunidades más sensibles podrían aceptar el uso de esta tecnología ya que no hay presencia de olores y se coloca de manera que no sea visible (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** Es necesario que se coloque una tapa removible (preferiblemente de concreto) para permitir el acceso en caso de requerir mantenimiento. Si la zanja de infiltración se construye con las medidas adecuadas puede durar en promedio entre 3 a 5 años sin recibir mantenimiento. Para prevenir que los sólidos se acumulen y que la vida útil se extienda es necesario haber filtrado el efluente antes de que ingrese al pozo. El material contenido en el pozo puede ser extraído y reemplazado una vez que el desempeño de la zanja de infiltración haya disminuido (Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** En promedio las zanjas de infiltración tienen una vida útil de 10 a 20 años. El diseño y construcción no requieren conocimiento especializado al igual que sucede con el mantenimiento. Su construcción y reparación se puede hacer con materiales locales y el área requerida es muy pequeña (Monvois et al., 2010). Los costos de capital y operación son bajos (Tilley et al., 2014). Además, la eficiencia de remoción de DBO es de un 70 a 80 % (Morel & Diener, 2006).

**Desventajas:** Este tipo de tecnología no es recomendable en zonas que son propensas a inundaciones, además solo puede ser aplicada en suelos adecuados, ya que requiere una profundidad suficiente de suelo insaturado sobre la tabla de agua, de lo contrario, existe el

riesgo de contaminar las aguas subterráneas si el nivel freático es alto. Se requiere tratamiento primario para evitar la obstrucción (Monvois et al., 2010; Morel & Diener, 2006; Tilley et al., 2014).

#### **5.2.2.7 Trampa de grasas**

**Generalidades:** Las grasas y aceites pueden impedir el transporte o la eficiencia de tratamiento debido a que pueden causar bloqueos y deterioro de los sistemas. Por eso, la remoción temprana de estas sustancias es fundamental para extender la vida útil de la infraestructura de saneamiento (Tilley et al., 2014).

**Diseño y construcción:** El propósito de las trampas de grasa es atrapar grasas y aceites de tal manera que puedan ser fácilmente recolectados y removidos. Son cámaras construidas con ladrillo, concreto o plástico, equipadas con una cubierta para evitar el escape de olores. Pueden ser colocadas directamente debajo del fregadero, o si se requiere recolectar cantidades mayores de aceite y grasa, se puede instalar una unidad más grande al aire libre (Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** El uso de trampas de grasa es necesario cuando hay descargas considerables de grasa y aceite. Pueden ser instaladas a nivel de la vivienda o en restaurantes e industrias. La remoción de grasa es importante cuando hay un riesgo de obstrucción de una tecnología de tratamiento (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** Deben ser monitoreadas y limpiadas para asegurar su funcionamiento. Las trampas de grasa colocadas debajo del fregadero, por ser más pequeñas, se deben limpiar con frecuencia (una vez a la semana o al mes), en cambio las de mayor tamaño se diseñan para ser bombeadas cada 6 a 12 meses. Los productos deben ser dispuestos como residuos sólidos y de una manera correcta. En el caso de la grasa podría ser reutilizada (Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** Los costos de capital y operación y mantenimiento son relativamente bajos. Su uso evita perjudicar los sistemas posteriores de transporte o tratamiento de las aguas residuales, dando como resultado una mayor vida útil y durabilidad (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Requieren mantenimiento frecuente, además la remoción de grasas puede resultar desagradable (Tilley et al., 2014).

### 5.2.3 Evacuación

La evacuación, como su nombre lo dice, tiene como fin la remoción y transporte de los productos generados en la captura y tratamiento individual hacia posteriores tecnologías de tratamiento o disposición (Tilley et al., 2014). En esta sección se abordan tecnologías de evacuación como el alcantarillado sanitario y sus diferentes tipos, así como métodos de transporte de otros productos (lodos, compost, orina, entre otros). La colección y evacuación de las aguas residuales mediante alcantarillado es el mayor elemento en un sistema integrado de manejo de aguas residuales, y generalmente representa entre un 50 y un 70% del costo total de implementación del proyecto (Abbassi & Al Baz, 2008). En el Cuadro 5.6 se muestran características generales de las tecnologías de evacuación, entre ellas, el nivel de aplicación, nivel de manejo y los productos que ingresan y salen de la unidad, los cuales permanecen sin alteraciones.

**Cuadro 5.6 Características generales de las tecnologías de saneamiento usadas en la etapa de evacuación.**

Tecnología	Nivel de aplicación	Nivel de manejo	Entrada	Salidas
Alcantarillado libre de sólidos	Comunidad Ciudad	Hogar Compartido Público	Efluente	Efluente
Alcantarillado simplificado	Comunidad Ciudad	Hogar Compartido Público	Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises Efluente	Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises Efluente
Alcantarillado convencional	Comunidad Ciudad	Público	Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises Aguas pluviales	Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises Aguas pluviales
Vaciado y transporte manual	Hogar Comunidad	Hogar Compartido Público	Lodos Heces secas Compost	Lodos Heces secas Compost



Tecnología	Nivel de aplicación	Nivel de manejo	Entrada	Salidas
Vaciado y transporte motorizado	Hogar Comunidad Ciudad	Hogar Compartido Público	Lodos Aguas pardas Efluente Orina Orina almacenada	Lodos Aguas pardas Efluente Orina Orina almacenada

(Fuente: Tilley et al., (2014))

### 5.2.3.1 Alcantarillado libre de sólidos

**Generalidades:** El alcantarillado libre de sólidos, o también conocido como de pequeño diámetro, es un sistema descentralizado que consiste en una red de tuberías que transporta efluente con pequeñas cantidades de sólidos suspendidos totales. Para ello se coloca un pretratamiento en la vivienda, por ejemplo un tanque séptico, lo cual permite la eliminación de sólidos suspendidos y de ese modo evitar obstrucciones en la tubería (Ily et al., 2014; Taing et al., 2013; Tilley et al., 2014). Estos alcantarillados se construyen a profundidades de excavación superficiales, se usan diámetros de tubería pequeños, y cámaras de inspección simples. Al igual que los alcantarillados convencional y simplificado, hace uso de la gravedad para transportar el efluente (Taing et al., 2013).

**Diseño y construcción:** Los principales criterios de diseño son la población a ser cubierta con la red de alcantarillado, la cantidad de agua usada y su composición, la cantidad de agua descargada en el sistema, el gradiente, la localización de la salida del efluente (Monvois et al., 2010). Las partes que conforman las redes de alcantarillado de pequeño diámetro son: la conexión domiciliaria, tanque interceptor, colectores, registros de limpieza e inspección y cajas de visita (Garrido, 2008).

Como el alcantarillado libre de sólidos tiene un riesgo bajo de obstrucciones y formación de sedimentos, no tiene que ser auto limpiado, es decir, no requiere una velocidad de flujo mínima ni tensión de tracción (Tilley et al., 2014). Cuando no es una calle muy transitada por vehículos, las tuberías pueden ser colocadas a una profundidad mínima de 30 cm. El diámetro de tubería de estos sistemas varía entre 40 a 100 mm, y el gradiente mínimo para permitir el flujo del agua debe ser de 0.5%. Este tipo de alcantarillado requiere que el consumo de agua local sea mayor a 20 l/persona/día (Ily et al., 2014). Este tipo de tecnología

es adecuada incluso cuando la tabla de agua se encuentra a una profundidad menor a 3 metros de la superficie, cuando la densidad de población es mayor a 160 habitantes/ha, y cuando la disponibilidad de área en la vivienda es mayor a 2m<sup>2</sup> ya que se requiere espacio para el pretratamiento (Ily et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** El alcantarillado libre de sólidos es conveniente en zonas donde el suministro de agua es limitado, en terreno ondulado o plano y donde las excavaciones profundas son complicadas debido al terreno rocoso, para suelos inestables o con altas tablas de agua (Taing et al., 2013). Este tipo de alcantarillado puede conectarse a tanques sépticos ya existentes, donde la infiltración no se realiza adecuadamente. Además, la cobertura de esta tecnología puede fácilmente adaptarse a medida que la población crece. Si se construye y realiza el mantenimiento adecuado, es un medio de transporte de aguas residuales seguro e higiénico (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** El alcantarillado libre de sólidos es una tecnología robusta, que requiere operación y mantenimiento mínimos y no especializados (Taing et al., 2013). Sin embargo, en la práctica esto no siempre se cumple. Por eso, es necesario brindar una correcta capacitación para que los usuarios sean responsables y de esta manera evitar la obstrucción de las tuberías con residuos sólidos y otros objetos. Además, el vaciado del lodo de los tanques sépticos debe hacerse de manera regular para asegurar el correcto funcionamiento del sistema (Tilley et al., 2014).

Por otra parte, se requiere que el Gobierno Local, un ente privado o un comité conformado por los usuarios sea responsable del manejo del sistema y brinde control, para evitar conexiones ilegales que no posean tanque interceptor, o conexiones inadecuadas que permitan el ingreso de sólidos o aguas de lluvias al sistema, causando problemas de operación y mantenimiento (Garrido, 2008).

**Ventajas:** La pequeña cantidad de sólidos que se transportan por el alcantarillado hace que el requerimiento de agua sea reducido y que no se necesite un gradiente mínimo o velocidad de flujo. Los costos de inversión y operación son bajos. Además, es posible el transporte de

las aguas grises a través del sistema (Tilley et al., 2014). Como efluente requiere un menor tratamiento, es posible eliminar de las plantas de tratamiento los procesos de tamizado, remoción de arena y sedimentación primaria, los cuales son realizados previamente en las casas. El sistema es muy simple y puede ser fácilmente comprendido por la población (Garrido, 2008).

**Desventajas:** El mantenimiento del tanque séptico requiere evacuación y disposición periódica de los sólidos ahí acumulados, por lo tanto, este tipo de alcantarillado debería construirse solo si garantizar ese mantenimiento (Garrido, 2008). Su diseño y construcción requieren ser realizados por expertos. La capacitación a los usuarios es necesaria para lograr la aceptación y el correcto funcionamiento. La reparación y remoción de obstrucciones es más frecuente que en el alcantarillado convencional. Además, las fugas son difíciles de identificar en este tipo de sistemas y pueden representar un riesgo de infiltración y contaminación de aguas subterráneas (Tilley et al., 2014).

### **5.2.3.2 Alcantarillado simplificado**

**Generalidades:** Los sistemas de alcantarillado simplificado se diseñan para recibir las aguas residuales de las viviendas sin el uso de tanques interceptores para la sedimentación de los sólidos (Duncan Mara, 1996). El alcantarillado simplificado se recomienda en lugares densamente poblados y donde el espacio para tecnologías in-situ es limitado (Monvois et al., 2010; Tilley et al., 2014). Este tipo de tecnología permite un diseño más flexible y a menor costo. A diferencia del alcantarillado convencional, se caracteriza por la utilización de tubos de menor diámetro, a una profundidad más baja y con una menor pendiente. Este tipo de alcantarillado no posee necesariamente diseños estándar, lo cual hace posible adaptarlo a la situación local (Tilley et al., 2014). El agua colectada es dirigida posteriormente a una planta de tratamiento (Monvois et al., 2010).

**Diseño y construcción:** Los principales criterios de diseño para este tipo de alcantarillado son: la población cubierta, la cantidad de agua consumida y su composición, la cantidad de agua residual descargada en el sistema, el gradiente, la velocidad propia de limpieza y la ubicación de las salidas naturales (Monvois et al., 2010). Este tipo de tecnología es adecuada

incluso cuando la tabla de agua se encuentra a una profundidad menor a 3 metros de la superficie, cuando la densidad de población es mayor a 160 habitantes/ha, e inclusive cuando la disponibilidad de área en la vivienda es menor a  $2\text{m}^2$  (Ily et al., 2014).

El diseño de este tipo de alcantarillado se realiza basado en una tensión de tracción mínima de  $1\text{N/m}^2$  a caudal pico. El caudal pico mínimo debe ser de 1.5 L/s (Tilley et al., 2014). Las tuberías pueden ser colocadas a una profundidad mínima de 30 cm, cuyos diámetros de tubería varían entre 100 y 150 mm (Ily et al., 2014). El gradiente mínimo para permitir el flujo del agua debe ser de 1%. El consumo de agua local debe ser mayor a 50 l/persona/día, pero varía según el diámetro y gradiente. (Ily et al., 2014; Monvois et al., 2010).

Se recomienda el uso de tuberías de PVC. Generalmente, la tubería puede ser colocada en caminos estrechos donde no hay tráfico pesado, también, es posible instalarla dentro de los límites de la propiedad; en patios traseros o delanteros, en lugar de colocarlos debajo de la carretera principal, lo que permite ahorrar costos al requerir menos tuberías y más cortas (Tilley et al., 2014). En los sistemas simplificados, la profundidad en la que se coloca la tubería es menor: 0,65 m debajo de aceras, 0,95-1,50 m debajo de calles residenciales (dependiendo de la cantidad de tráfico que pasa por el sitio), y 2,50 m debajo de calles donde transita un mayor número de vehículos (Bakalian, Wright, Otis, & Azevedo Netto, 1994). La relativa menos profundidad, a la vez permite usar cámaras más pequeñas de acceso, en lugar de grandes y caros pozos de acceso usados para alcantarillado convencional (Mara, Sleight, & Tayler, 2000)

Es posible coleccionar aguas grises y pardas directamente, sin necesidad de un pretratamiento (Monvois et al., 2010). Sin embargo, en los casos que las aguas grises provenientes de la cocina contengan considerables cantidades de grasas y aceites, se debe considerar la colocación de trampas de grasa, para prevenir la obstrucción de la tubería (Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Se requiere que los usuarios sean capacitados respecto al riesgo asociado a la limpieza de las tuberías y el mantenimiento de las cámaras de inspección.

Sin embargo, cuando el alcantarillado es bien construido y manejado, son una alternativa segura e higiénica (Tilley et al., 2014).

Este tipo de alcantarillado permite la participación de la comunidad en el proceso de construcción, por lo que, a diferencia del alcantarillado convencional, se reducen costos y además se crea un sentido de pertenencia por parte de los usuarios, lo que aumenta las probabilidades de ser usado y mantenido apropiadamente (Taing, Armitage, Ashipala, & Spiegel, 2013). Este tipo de alcantarillado se recomienda en áreas con una gran densidad de viviendas y con poco espacio disponible dentro del terreno de cada una (Ily et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** Una correcta operación depende de responsabilidades claramente definidas entre la autoridad encargada del alcantarillado y la comunidad. Para ello, es esencial que los usuarios sean responsables y que reciban capacitación (Tilley et al., 2014). El mantenimiento mínimo incluye la limpieza de las tuberías para evitar que se obstruyan, reparaciones y supervisión de nuevas tuberías conectadas o desconectadas (Bakalian et al., 1994). Además, es necesario el vaciado periódico de las cámaras de inspección para evitar el desbordamiento de arena. Como alternativa, se puede contratar a un ente externo que realice las actividades de mantenimiento, debido a que en algunas ocasiones los usuarios no detectan los problemas en el sistema, hasta que se vuelven severos y representan un alto costo de reparación (Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** La eficiencia del alcantarillado simplificado es alta, debido a que el agua es continuamente descargada lejos del hogar. Tiene una vida útil de 10 a 20 años. Además, el alcantarillado simplificado permite la expansión del sistema al ser posible agregar nuevas conexiones (Monvois et al., 2010). El agua gris puede ser manejada al mismo tiempo, y no se requieren unidades de tratamiento primario en el sitio (Tilley et al., 2014). El alcantarillado simplificado tiene el potencial de ser una alternativa de saneamiento de alta calidad y bajo costo en zonas urbano-marginales, siempre y cuando se cumpla con ciertos principios hidráulicos durante su diseño (Mara & Broome, 2008).

**Desventajas:** Se requiere la asistencia de expertos para realizar el diseño, construcción y la supervisión del trabajo (Monvois et al., 2010). La reparación y remoción de bloqueos es más

frecuente que en el alcantarillado convencional. Las fugas representan un riesgo este tipo de sistemas, ya que son difíciles de detectar, y al infiltrarse pueden contaminar las aguas subterráneas (Tilley et al., 2014).

### **5.2.3.3 Alcantarillado convencional**

**Generalidades:** Los sistemas de alcantarillado convencional recolectan las aguas residuales que son descartadas sin recibir un tratamiento previo. Este tipo de tecnología se utiliza en zonas con alta densidad de población. Es una tecnología con un alto requerimiento de infraestructura, por lo tanto, resulta muy cara, tanto en términos de inversión, como de operación y mantenimiento. Además puede construirse para transportar aguas residuales y pluviales de manera combinada, o el transporte puede hacerse mediante tuberías separadas y paralelas (Monvois et al., 2010).

**Diseño y construcción:** El alcantarillado convencional se conforma principalmente por redes colectoras que se colocan por lo general en la parte central de las calles y avenidas, conexiones domiciliarias que transportan las aguas residuales desde las viviendas a las alcantarillas más cercanas y pozos de inspección (componente más importante), que se ubican en la intersección, comienzo y en los tramos rectos de los colectores, siendo su principal función la limpieza de los colectores para evitar que se obstruyan (Garrido, 2008).

Previo a la conexión de las viviendas al alcantarillado convencional es necesario que estas cuenten con una prevista y una caja de registro en la acera. También se debe tomar en cuenta la ubicación del tanque séptico respecto a la calle, así como los materiales del piso en caso de que sea necesario realizar trabajos. Además, es necesario que las personas coloquen trampas de grasa, y en caso de que sus viviendas estén ubicadas a un nivel más bajo del colector se deben usar bombas para el transporte de las aguas residuales, lo cual aumenta los costos de conexión (Fornaguera, 2015).

Los colectores tienen diámetros que van de los 200 a los 1200 mm, y se colocan a una profundidad entre 1.5 a 3 m por debajo del suelo. Además, puede ser necesario la colocación de estaciones de bombeo en las partes bajas que permitan el transporte de las aguas

residuales. Es necesario también, la construcción de drenajes para las aguas pluviales y alcantarillado para manejar el exceso de flujo en periodos con altas precipitaciones (Monvois et al., 2010).

Los principales criterios de diseño son la población que será abastecida con el sistema, la cantidad consumida y composición del agua, el gradiente, eficiencia de recolección, velocidad de auto limpieza y la ubicación de las salidas naturales (Monvois et al., 2010). Entre los requisitos para la instalación de sistemas de alcantarillado convencionales se encuentran que la densidad poblacional sea de al menos 16 000 habitantes/ha, que el consumo de agua per cápita ronde los 50 L/persona/día, y que las personas hagan uso de inodoros con descarga de agua. Adicionalmente, debe existir un gradiente de al menos 1% que permita el flujo natural del agua, el suelo debe estar compuesto por una capa no rocosa que permita la excavación a través de varios metros de profundidad, y debe ser posible la construcción de una planta de tratamiento después del sistema de alcantarillado (Monvois et al., 2010).

**Aspectos de la salud/aceptación:** El alcantarillado convencional es apropiado para el transporte de grandes volúmenes de aguas residuales hacia una planta de tratamiento. Durante toda la etapa de planeación y ejecución se requiere de coordinación y manejo por parte de expertos, ya que son sistemas muy complejos, caros e interrumpen las actividades urbanas y el tráfico durante su construcción. Cuando su construcción y mantenimiento son adecuados, estos sistemas son una solución higiénica y segura para el usuario. Sin embargo, el impacto real en la salud y el ambiente están determinados por el tratamiento que reciban las aguas residuales antes de su disposición final (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** Las principales operaciones de mantenimiento del alcantarillado convencional consisten en verificar el nivel de agua que ingresa a las estaciones de bombeo, revisar los pozos de inspección cada tres meses, limpiar las tuberías para brindar mantenimiento o en caso de que hayan obstrucciones (Monvois et al., 2010).

Para garantizar que la planta de tratamiento donde son descargadas las aguas del alcantarillado funcione con eficiencia, se deben adoptar ciertos hábitos a nivel de la vivienda. Entre ellos, dejar de lado prácticas como vaciar en el fregadero aceite de cocina u otros

alimentos como enlatados, o lanzar pañales o toallas sanitarias al inodoro. Como medida para evitar el ingreso de grasas al sistema es necesario colocar una trampa de grasas a nivel de la vivienda (Fornaguera, 2015).

**Ventajas:** Este tipo de alcantarillado se aplica en zonas con alta densidad de población, además no requiere la ampliación de áreas construidas, a diferencia de los sistemas no convencionales. Al ser el sistema más conocido, no se requiere trabajar de manera exigente para lograr la aceptación de las personas; ni de manera preliminar ni permanente (Garrido, 2008). Tiene una vida útil de 25 a 50 años, y la eficiencia es alta al permitir la eliminación continua del agua residual en la vivienda (Monvois et al., 2010). Las actividades de mantenimiento son menores si se compara con los sistemas de alcantarillado no convencionales. Además permite el manejo conjunto de aguas grises y pluviales (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Se requiere realizar excavaciones muy profundas para la colocación de los colectores y cámaras de inspección, lo cual hace que los costos de capital sean elevados. Además, el uso de bombeo o encofrado es necesario para bajar el nivel freático. En el caso de las viviendas que se ubiquen a un nivel menor a la calle tendrán dificultades para descargar sus aguas residuales por gravedad (Garrido, 2008). Se requiere conocimiento especializado (ingeniería) para su diseño y construcción, lo mismo que para las labores de mantenimiento, y en ambos casos el costo resulta sumamente elevado (Monvois et al., 2010). El riesgo de fugas e infiltración de aguas residuales en el suelo es alto, sin embargo a la vez resultan difícil de identificar (Tilley et al., 2014).

#### ***5.2.3.4 Vaciado y transporte manual***

**Generalidades:** El vaciado y transporte manual hace referencia a los modos en los cuales las personas pueden vaciar y transportar lodo y productos sólidos generados en tecnologías de saneamiento insitu. La limpieza de pozos, válvulas y tanques se hace de dos formas principales: ya sea usando cubos y palas, o mediante bombas portátiles usadas manualmente para la extracción del lodo. Algunas tecnologías de saneamiento solo pueden ser vaciadas manualmente, como sucede con las válvulas de deshidratación y las de compostaje. Las



cuales a la vez, dada la consistencia sólida del material, solo admiten el vaciado mediante el uso de palas, y no con bombas o aspiradoras (Tilley et al., 2014).

**Diseño y construcción:** El vaciado manual de las válvulas no es una tecnología en sí, es más bien un método de limpieza de las mismas que no requiere la construcción ni diseño de una estructura para su funcionamiento (Monvois et al., 2010). Las principales herramientas con que se realiza el trabajo son palas y recipientes donde se disponen los productos para ser luego transportados a otro sitio. La principal consideración es el volumen de los recipientes, los cuales deben contener todo lo extraído. En el caso de transportar los productos a áreas alejadas se requiere de un vehículo como medio de transporte.

**Aspectos de la salud/aceptación:** Existe un riesgo asociado a la salud de las personas, ya que quien realiza la extracción mantiene contacto directo con la excreta (Monvois et al., 2010), la cual, aunque previamente pasó por un proceso de tratamiento (compostaje, deshidratación), en algunos casos no se encuentra completamente desinfectada. Por tal motivo es importante asegurar que las personas utilizan la protección adecuada, como guantes, botas, y ropa específica para ese trabajo (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** La principal actividad de mantenimiento es la limpieza de las herramientas y recipientes luego de su uso. Además se debe evitar agregar químicos a las unidades de tratamiento posterior a la limpieza (desinfectantes, jabones), ya que se puede ver afectado el proceso de tratamiento de la nueva excreta depositada (Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** Esta actividad puede representar una fuente de empleo para las personas que brinden el servicio o en caso de ser realizado por los mismos habitantes de la vivienda puede resultar gratuito. El costo de inversión es bajo, ya que se necesitan pocas herramientas para la actividad, mientras que el costo de operación depende de la distancia a la cual se debe transportar el material (compost, heces secas) (Tilley et al., 2014). Además no es necesaria energía eléctrica (Monvois et al., 2010).

**Desventajas:** La aceptación de este tipo de métodos puede resultar difícil, ya que conlleva a que las personas tengan contacto físico con las excretas, lo cual en muchas ocasiones es mal visto o hay cierto grado de rechazo. Además, existe un riesgo significativo para la salud de

las personas que realizan el vaciado de las válvulas. Otro factor es el tiempo consumido, porque en muchas ocasiones se requiere una gran cantidad de horas para lograr la extracción de todo el material (Tilley et al., 2014).

#### **5.2.3.5 Vaciado y transporte motorizado**

**Generalidades:** El vaciado y transporte motorizado consiste en un camión de vacío u otro vehículo constituido por una bomba motorizada y un tanque de almacenamiento para el vaciado y transporte de aguas residuales, lodos fecales y orina. Es necesario que una persona se encargue del manejo del sistema de bombeo, sin embargo, el operador no tiene contacto directo con el lodo (Monvois et al., 2010; Tilley et al., 2014). La consistencia líquida o viscosa del lodo permite que este pueda ser extraído mediante el uso de bombas, además, se le debe brindar posterior tratamiento ya que no se encuentra completamente digerido ni desinfectado.

**Diseño y construcción:** Los camiones de vacío están compuestos por un tanque de almacenamiento y un sistema de bombeo al vacío, además de un sistema de inyección de aire y agua para permitir la suspensión de los sólidos en el lodo. Hay una profundidad máxima desde la cual el lodo puede ser extraído. Esta profundidad está determinada por el tamaño del tanque, la capacidad de bombeo y la potencia de succión de la bomba (Monvois et al., 2010). Generalmente la profundidad de succión es de 2 a 3 m. El sistema de bombeo debe clocarse a 30 m de la fosa, aunque entre más cerca se encuentre, más fácil será la extracción. Generalmente los tanques pueden almacenar entre 3 y 12 m<sup>3</sup> de lodo (Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Aunque se realiza el vaciado de los tanques sépticos y se eliminan los lodos del hogar, el problema es posteriormente transferido al ambiente. La falta de soporte por parte del gobierno para proveer plantas de tratamiento de lodos más accesibles hace que los proveedores del servicio encuentren más conveniente desechar los lodos en el río que transportarlos a una planta de tratamiento. Aunque en el país existe regulación sobre los lodos de tanques sépticos, el impuesto que deben pagar los proveedores a las plantas de tratamiento, junto con el dinero que deben gastar en combustible para transportarlos (ya que

no hay gran variedad y están alejados de la GAM) son motivos para que tomen la decisión de descargarlos en el ambiente (Madrigal, 2015).

**Ventajas:** El vaciado se realiza de manera rápida y eficiente. Los riesgos a la salud son reducidos ya que no se entra en contacto con el lodo. Esta tecnología permite la remoción de volúmenes grandes (Monvois et al., 2010). Además, el servicio es esencial en zonas donde no hay existencia de alcantarillado (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** El uso de esta tecnología es restringido en lugares de difícil acceso. Además, no permite la remoción de producto en estado sólido como compost, heces secas e incluso lodo seco. Se requiere una gran cantidad de combustible para el transporte. Además los costos del servicio son altos e inaccesibles para las familias con menos recursos (Monvois et al., 2010). La descarga de los lodos fecales sin tratamiento puede causar serios problemas de contaminación en el ambiente (Tilley et al., 2014).

#### **5.2.4 Tratamiento semi-centralizado**

Los sistemas de tratamiento semi-centralizado se ubican muchas veces en las zonas más alejadas del sistema de recolección de la planta de tratamiento centralizada. Generalmente no poseen instalaciones para el procesamiento de lodos, ya que estos se devuelven al sistema de recolección para ser procesados en la planta de tratamiento centralizada. Pueden tener como función la reducción de los flujos de aguas residuales que van a los sistemas centralizados, o bien ser usados para eliminar o disminuir el impacto en cuerpos de agua receptores. Tienen también como propósito, el reuso del agua residual y la potencial recuperación de energía (Caicedo, 2014). En el Cuadro 5.7 se muestran algunas características generales de las tecnologías de tratamiento semi-centralizado, entre ellas, el nivel de aplicación, nivel de manejo, los productos de entrada y los que resultan del tratamiento.

**Cuadro 5.7 Características generales de las tecnologías de saneamiento usadas en la etapa de tratamiento semi-centralizado.**

Tecnología	Nivel de aplicación	Nivel de manejo	Entrada	Salidas
Sedimentador	Hogar Comunidad	Hogar Compartido Público	Efluente Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises	Efluente Lodo
Tanque Imhoff	Comunidad Ciudad	Público	Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises	Efluente Lodo
Reactor anaerobio con deflectores	Hogar Comunidad	Hogar Compartido Público	Efluente Aguas pardas Aguas cafés Aguas grises	Efluente Lodo
Lechos de secado de lodos	Comunidad Ciudad	Público	Lodo	Lodo Efluente
Biojardineras o humedales artificiales con flujo horizontal	Hogar Comunidad Ciudad	Hogar Compartido Público	Efluente Aguas grises	Efluente Biomasa

(Fuente: Tilley et al., (2014))

#### 5.2.4.1 Sedimentador

**Generalidades:** Un sedimentador es una tecnología de tratamiento primario diseñada para remover de las aguas residuales sólidos sedimentables y material flotante mediante su depósito en el fondo del tanque, y así disminuir el contenido de sólidos suspendidos. Aunque en muchos casos el propósito de la sedimentación es que el efluente sea clarificado, también resulta necesario la producción de lodos con una concentración de sólidos que pueda ser más fácilmente manejada y tratada (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2004).

La baja velocidad horizontal a la que viajan las aguas residuales a través del tanque permite que las partículas más pesadas sedimenten, mientras que las menos densas quedan flotando en la superficie. Los sedimentadores pueden tener diferentes formas. Además pueden ser tanques independientes, o estar integrados a unidades de tratamiento, como el caso de filtros anaerobios, reactores anaerobios con deflectores, tanque sépticos o tanques Imhoff (Tilley et al., 2014).

**Diseño y construcción:** Los sedimentares son taques rectangulares o circulares diseñados para tiempos de retención hidráulico entre 1.5 y 2.5 horas. Tanques que proporcionan menores tiempos de retención (entre 0.5 a 1 hora) con menor remoción de sólidos suspendidos, son a veces usados para el tratamiento previo de unidades de tratamiento biológico (Tchobanoglous et al., 2004). En el caso de tecnologías que incluyen algún tipo de sedimentación primaria no es necesario la construcción de un sedimentador separado (Tilley et al., 2014).

La eficiencia de estos tanques depende de factores como las características del agua residual, el tiempo de retención y la tasa de vaciado del lodo (Tilley et al., 2014). Sedimentadores primarios bien diseñados y operados deberían tener eficiencias de remoción de DBO entre 25 y 40% (Tchobanoglous et al., 2004), y entre 40 a 70% de sólidos suspendidos (Rodríguez et al., 2015). Algunas alternativas para mejorar la sedimentación incluyen la colocación de láminas inclinadas y tubos, o el uso de coagulantes químicos (Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Los lodos, las natas y el efluente contienen altos contenidos de organismos patógenos, por lo tanto, deben ser manejados con cuidado y recibir posterior tratamiento y adecuada disposición. Además, es necesario el uso de protección personal para los trabajadores que entran en contacto con estos productos (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** Para prevenir la liberación de gases es necesario la remoción frecuente de lodo. Las burbujas de gas pueden transportar lodo a la superficie del sedimentador, lo cual es difícil de remover y puede pasar a las siguientes unidades de tratamiento (Tilley et al., 2014)

**Ventajas:** Es una tecnología simple y robusta, que permite una eficiente remoción de sólidos suspendidos. Además los costos de capital y operación son relativamente bajos (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Se requiere una frecuente remoción de lodos, los cuales junto con el efluente y las natas requieren posterior tratamiento. Los cortocircuitos pueden ser un problema para esta tecnología (Tilley et al., 2014).

#### **5.2.4.2 *Tanque Imhoff***

**Generalidades:** El tanque Imhoff es una tecnología de tratamiento anaerobio usada para el pretratamiento de aguas residuales. Estos son tanques sépticos mejorados, que evitan la salida de sólidos suspendidos en el efluente una vez que este ha sido tratado en el tanque (Monvois et al., 2010). Este tipo de tecnología permite separar la zona de sedimentación de la de retención y digestión del lodo. La forma del tanque permite mejorar la sedimentación de los sólidos al no haber turbulencia por las burbujas de biogás en la zona de digestión, y además retiene los sólidos de manera más eficiente al evita que sean arrastrados por flujos elevados (Noyola et al., 2013).

**Diseño y construcción:** Un tanque Imhoff está conformado por una cámara de sedimentación en forma de embudo, ya sea circular o rectangular, donde ingresa el flujo de agua residual y mediante la cual el lodo viaja hacia el fondo del tanque, una cámara de digestión ubicada en la parte inferior que recibe el lodo de la cámara de sedimentación, válvulas de ventilación para agua y gas y una tubería en la cámara de digestión para la extracción del lodo (Monvois et al., 2010). Generalmente se construyen bajo el suelo con cemento reforzado, sin embargo también pueden construirse sobre este, lo cual facilita la extracción del lodo mediante gravedad (Tilley et al., 2014).

Los principales criterios de diseño son el tiempo de retención del tanque, la cantidad de agua residual a ser tratada diariamente y su composición (Monvois et al., 2010). El tiempo de retención hidráulico es generalmente entre 2 y 4 horas (Tilley et al., 2014), mientras que la carga hidráulica no debe ser mayor a  $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$  por  $1 \text{ m}^2$  de superficie. Por su parte, la cámara de digestión debe diseñarse para retener 2.5 kg de lodo por kg de DBO digerida diariamente (Gutterer et al., 2009). La profundidad total del agua desde el fondo del tanque hasta la superficie puede alcanzar valores de 7 a 9.5 m. Las paredes de la cámara de digestión de lodos deberían tener una inclinación de 45 o más para permitir que el lodo se acumule en el

centro y sea más fácil su extracción. Las cámaras de digestión se diseñan con periodos de almacenamiento del lodo entre 4 a 12 meses, para permitir la estabilización del mismo (Tilley et al., 2014). En promedio, la eficiencia de remoción de DBO en un tanque Imhoff es de 40% y de 50% para SST (Rodríguez et al., 2015).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Aunque estos tanques son capaces de tratar altas cargas orgánicas (Tilley et al., 2014), es necesario brindar tratamiento posterior al efluente lo mismo que a los lodos extraídos (Monvois et al., 2010). Como es un tanque de una gran altura, su construcción puede realizarse bajo el suelo solo si la tabla de agua es baja y su localización no lo hace propensa a inundarse. La remoción de patógenos es baja, por lo tanto operadores encargados de la extracción del efluente, natas o lodos deben usar protección (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** Al igual que sucede con los tanques sépticos, no se requiere una fase especial de arranque. Es necesario hacer la extracción de lodos regularmente. Esto debería realizarse desde el fondo del tanque mediante bombeo o con válvulas hidráulicas de presión. Es importante remover solo el lodo digerido y dejar una parte de este en el tanque para mantener la actividad microbiana (Gutterer et al., 2009). Eliminar la nata de la cámara de sedimentación y de las válvulas de sedimentación es otro aspecto importante, lo cual debe ser realizado diariamente de ser necesario. La operación y mantenimiento de esta tecnología puede salir a un bajo costo si los operadores están bien capacitados (Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** Tiene una vida útil entre 25 a 50 años. El área requerida para su construcción es pequeña. Es una tecnología más eficiente que un tanque séptico y además no produce olores (Monvois et al., 2010). Si la operación es adecuada los costos pueden ser bajos. Además es resistente a fluctuaciones en las cargas orgánicas (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** La reducción de patógenos es baja (Tilley et al., 2014) por lo que el efluente y lodos deben recibir post tratamiento antes de la descarga final (Noyola et al., 2013). Requiere conocimientos especializados para su diseño y construcción, al igual que sucede con el mantenimiento (Monvois et al., 2010). Es una infraestructura de gran altura, por lo que su

colocación a nivel subterráneo puede causar problemas en caso de que el nivel freático sea alto (Tilley et al., 2014).

#### **5.2.4.3 Reactor anaerobio con deflectores**

**Generalidades:** Esta tecnología es una forma de tratamiento anaerobio que trabaja mediante el mismo principio de un tanque séptico, pero proporcionando un tratamiento mejorado debido a una serie de deflectores colocados verticalmente dentro del tanque (Monvois et al., 2010). Esos deflectores se colocan de manera alternada obligando a las aguas residuales a subir y bajar a través de ellos (Nasr, Doma, & Nassar, 2009), lo cual aumenta el contacto entre los microorganismos presentes en el lodo y el agua residual a ser tratada, y como consecuencia se da una mayor degradación de la materia orgánica (Jamshidi, Akbarzadeh, Woo, & Valipour, 2014; Sarathai, Koottatep, & Morel, 2010). Esta tecnología trabaja sin la necesidad de medios filtrantes caros y tiene un diseño simple que no requiere una recolección especial del gas ni un sistema de separación de lodos (Nasr et al., 2009)

**Diseño y construcción:** Un reactor anaerobio con deflectores se compone de una primera cámara de sedimentación que remueve la mayoría de sólidos sedimentables y que acumula en la parte superior las grasas y aceites, seguido de al menos 3 cámaras separadas por deflectores, que obligan al líquido a viajar de forma ascendente desde un compartimento hasta el otro (Foxon et al., 2005; Monvois et al., 2010; Sarathai et al., 2010).

Las tecnologías construidas a pequeña escala generalmente poseen un primer compartimento de sedimentación, aunque esta parte del proceso podría suceder previamente en otro tipo de estructura, por ejemplo, un tanque séptico. En el caso de plantas de tratamiento semi centralizado se puede evitar la construcción del compartimento de sedimentación y combinar con otra tecnología para la sedimentación primaria (Tilley et al., 2014).

Los principales criterios de diseño son el tiempo de retención en el reactor (entre 48 a 72 horas), la cantidad de agua residual a ser tratada por día, la velocidad de flujo ascendente de las aguas residuales que debe ser menor a 0.6 m/h y el número de cámaras de flujo ascendente (entre 3 y 6). El caudal típico que es tratado en este tipo de tecnología es entre 1 y 200 m<sup>3</sup>/día.



Adicionalmente, se requiere proporcionar ventilación al tanque para el control de los olores y la eliminación de gases potencialmente peligrosos (Monvois et al., 2010; Tilley et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Bajo condiciones normales de operación y mantenimiento, el usuario no tiene contacto con el efluente ni el influente (Tilley et al., 2014). Este tipo de tecnología presenta la incapacidad de remover nutrientes y patógenos a niveles aceptables para su descarga (Jamshidi et al., 2014; Nasr et al., 2009; Pirsahab, Rostamifar, Mansouri, Zinatizadeh, & Sharafi, 2015), por lo tanto el efluente requiere posterior tratamiento, al igual que sucede con el lodo acumulado en el tanque (Monvois et al., 2010).

**Operación y mantenimiento:** A nivel operativo, esta tecnología proporciona estabilidad ante los cambios bruscos en el caudal, tiene la capacidad de reducir el escape de biomasa y brinda una mayor protección ante cambios repentinos de temperatura y pH (Pirsahab et al., 2015). En general no se requiere la operación del proceso, y en el caso del mantenimiento, este solo se limita a la eliminación del lodo que puede ser necesaria entre 1 y 3 años. Esa frecuencia depende del diseño del reactor y del método usado como pretratamiento. El periodo de arranque del reactor requiere de varios meses para lograr el nivel óptimo de tratamiento. Lo anterior se puede acelerar agregando un inóculo de bacterias anaerobias, a partir de estiércol fresco de vaca o de lodos de tanques sépticos. Para cuidar los microorganismos que trabajan en el reactor es importante evitar la descarga de químicos peligrosos (Tilley et al., 2014)

**Ventajas:** Esta tecnología resulta adecuada para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas (Nasr et al., 2009) en zonas con bajos recursos (Foxon et al., 2005). El reactor anaerobio con deflectores es una tecnología simple de diseñar, construir y operar. Además, proporciona una buena retención de sólidos, y requiere poco mantenimiento y atenciones operacionales (Nasr et al., 2009). La producción de lodos es muy baja, por lo tanto el vaciado no es frecuente (Foxon et al., 2005). En el caso de la eficiencia de remoción de materia orgánica puede llegar a valores del 90% o superiores (Tilley et al., 2014).

Es una tecnología que se adapta fácilmente y puede usarse tanto nivel de la vivienda, como en pequeñas comunidades e incluso en lugares más grandes. Es apropiada cuando previamente existe una tecnología de transporte de aguas residuales, como el alcantarillado simplificado. Además, es adecuada en zonas con poca disponibilidad de área, ya que puede ser construida de manera subterránea y requiere poca área (Tilley et al., 2014). Tiene una vida útil larga, de aproximadamente 25 a 50 años (Monvois et al., 2010), no requiere energía eléctrica y los costos de operación son bajos (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Aunque el proceso anaerobio es eficiente en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, tiene la desventaja de tener poco efecto en las concentraciones nutrientes, mientras que los patógenos son solo parcialmente removidos (Nasr et al., 2009; Pirsahab et al., 2015). El efluente y el lodo requieren tratamiento posterior y una descarga apropiada. El diseño y construcción deben ser realizados por expertos (Tilley et al., 2014). El periodo de arranque del sistema requiere entre 3 a 6 meses, y los costos de inversión son altos (Monvois et al., 2010).

#### **5.2.4.4 Lechos de secado de lodos**

**Generalidades:** Este tipo de tecnología consiste en una simple cama permeable donde se vierte el lodo, y en la cual se recolectan los lixiviados permitiendo que este se seque. El proceso de secado se basa en dos principios, el primero es el drenaje de los lixiviados a través de arena y grava, lo cual ocurre relativamente rápido; entre horas y días. Y el segundo es la evaporación del agua contenida en el lodo, para lo cual se requieren días o semanas (Strande, Ronteltap, & Brdjanovic, 2014).

**Diseño y construcción:** Los lechos de secado se componen de camas con una entrada y una salida, un sistema de colección y drenaje en el fondo, un área externa para el almacenamiento y finalización del secado del lodo y potencialmente tanques de sedimentación. Entre los factores que influyen el diseño de un lecho de secado están el clima (humedad, temperatura), el tipo de lodo a tratar, la tasa de recarga del lodo (masa de sólidos secados en 1 m<sup>2</sup> de lecho en un año), el espesor de la capa de lodo que es típicamente entre 20 a 30 cm

de profundidad; cuyas variaciones de 10 cm pueden prolongar entre 50 a 100% el tiempo de secado, y la superficie del lecho (Strande et al., 2014).

Para permitir el secado, el lodo debe ser vaciado sobre capas de grava y arena. Es esencial el uso de grava y arena previamente lavadas para evitar el bloqueo con finas partículas. La capa inferior generalmente contiene grava más gruesa con un diámetro entre 20 y 40 mm, la capa intermedia contiene grava más fina; con un diámetro entre la capa de grava y gruesa y de arena fina de la parte superior, el cual es aproximadamente entre 5 y 15 mm. Posteriormente, en la parte superior se coloca una capa de arena más fina que permita el drenaje y evite obstrucciones, cuyos diámetros deben estar entre 0.1 y 0.5 mm para evitar la rápida acumulación de materia orgánica. Es necesario que la arena usada sea fácilmente obtenida, ya que en promedio se eliminan 5 cm de la capa de arena luego de 25 extracciones de lodo. Algunas experiencias muestran que el contenido de DBO removido por los lechos de secado es aproximadamente 36% mientras que para SS es de 52% (Strande et al., 2014).

**Aspectos de la salud/aceptación:** Aunque los lechos de secado permitan la eliminación de grandes contenidos de humedad del lodo, no logran estabilización ni remoción de patógenos, a pesar de eso, puede darse cierta degradación. Son tecnologías efectivas cuando los lodos deben ser transportados a otras unidades, ya que al disminuir el volumen de los lodos favorecen su transporte. Además, son apropiadas para comunidades pequeñas. El efluente puede requerir posterior tratamiento o almacenamiento. Además, es necesario que las personas encargadas de la extracción de lodos usen protección personal y sigan medidas de higiene (Tilley et al., 2014).

**Operación y mantenimiento:** Se requiere de operadores entrenados para las labores de operación y mantenimiento. El lodo puede ser removido después de 10 a 15 desde su colocación en los lechos, sin embargo, esto depende de las condiciones climáticas. Como se mencionó anteriormente, es necesario el reemplazo de capas de arena que se pierden con la extracción, o que se obstruyen por el exceso de materia orgánica (Tilley et al., 2014).

**Ventajas:** En promedio, la pérdida de humedad producto del drenaje es entre 50 a 80%, y entre 20 a 50% debido a la evaporación (Strande et al., 2014). Son opciones cuyo costo de inversión y operación y mantenimiento es relativamente bajo. Poseen una buena eficiencia de remoción de agua, especialmente en lugares con climas calientes. No requieren energía eléctrica para su funcionamiento, y las labores de operación son bajas y poco frecuentes (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Requieren una amplia área para su instalación. Hay presencia de olores y moscas, por lo cual deberían colocarse lejos de las viviendas. Las labores de remoción requieren de gran esfuerzo y trabajo. La estabilización de lodos y remoción de patógenos es limitada, además se le debe proporcionar tratamiento al efluente. Su diseño y construcción requiere ser realizado por expertos (Tilley et al., 2014).

#### **5.2.4.5 *Biojardineras o humedales artificiales con flujo horizontal***

**Generalidades:** Son medios filtrantes con plantas, a través de los cuales las aguas residuales fluyen continuamente y de manera horizontal. Las plantas proporcionan un ambiente adecuado en la zona de las raíces para la fijación de microorganismos, crecimiento y transferencia de oxígeno. La materia orgánica y sólidos suspendidos son removidos debido a procesos de filtración y degradación microbiana en condiciones aeróbicas, anaeróbicas y anóxicas (Morel & Diener, 2006; Rosales, 2005a, 2006).

**Diseño y construcción:** Esta tecnología de limpieza de agua se compone de tres elementos principales: el tratamiento primario o pretratamiento para eliminar las grasas y aceites, la biojardinera (donde se siembran plantas de pantano) y el depósito o aprovechamiento de las aguas tratadas (Rosales, 2005a). Para el tratamiento primario se usan tanques cuyo volumen debe asegurar tiempos de reposo entre 2 a 3 días. El volumen del recipiente debe ser mayor al volumen real de agua. Se pueden reutilizar recipientes plásticos cuyo contenido previo no hayan sido químicos, así como unidades de plástico reforzadas con fibra de vidrio o construidas con cemento (Marín, 2010).

Los criterios de diseño de la biojardinera son: la profundidad; que es un valor fijo de 0.7 m, el ancho (Marín, 2010), el tiempo de retención hidráulico entre 3 a 7 días, la carga orgánica entre 6 a 10 g DBO/m<sup>2</sup>/día y un área superficial requerida entre 1 a 3 m<sup>2</sup> por persona. Es importante dejar una pendiente de 0.5 a 1% en el fondo para facilitar el desplazamiento del agua (Morel & Diener, 2006). Para garantizar el flujo subsuperficial el nivel del agua es mantenido entre 5 a 15 cm bajo la superficie del filtro (Morel & Diener, 2006; Tilley et al., 2014).

Como material filtrante se usa comúnmente grava pequeña redonda (de 3 a 32 mm de diámetro) para llenar el lecho a una profundidad de 0.5 a 1 m, la arena también es aceptada, pero debe ser gruesa para evitar obstrucciones (Tilley et al., 2014). También se pueden usar materiales alternativos como vidrio triturado y PET. Un tamaño de grano más grueso (40 a 80 mm) en la entrada y salida garantiza la distribución uniforme de las aguas grises. A menudo se deja una capa de suelo de 5 a 10 cm sobre el substrato del filtro para permitir el crecimiento de las plantas. (Morel & Diener, 2006).

Si el suelo no es arcilloso se debe colocar plástico en el fondo para impermeabilizar la biojardinera, el espesor del plástico no debe ser menor a 1.4 mm, aunque se podrían colocar también plásticos con otros espesores, pero en dos o más capas (Marín, 2010). En promedio el porcentaje de DBO removido por estas tecnologías es entre 80 y 90%, y para el caso de SST el valor es entre 80 y 95%. En el caso de organismos patógenos, algunas experiencias reportan que el porcentaje de remoción es de 99% o más (Morel & Diener, 2006).

**Aspectos de la salud/aceptación:** La obstrucción es un problema común por lo que es importante brindar pretratamiento al influente. Es una tecnología apropiada para comunidades que tienen tratamiento primario (como tanques sépticos) pero que buscan una mejor calidad del efluente. Dependiendo del volumen de agua a tratar y el área requerida, pueden ser apropiadas en secciones de áreas urbanas, periurbanas o rurales. El humedal es estéticamente agradable y puede ser integrado en parques o áreas silvestres (Tilley et al., 2014). Debido a que no hay agua sobre la superficie el riesgo de proliferación de mosquitos es reducido (Rosales, 2006).

**Operación y mantenimiento:** Si la primera unidad recibe el mantenimiento correcto y no pasan sólidos gruesos a la biojardinera, el funcionamiento normal del biofiltro será de al menos 10 años. Las labores de mantenimiento se centran en la remoción de los primeros metros del material filtrante, su lavado fuera del sitio y su colocación nuevamente. Además es necesario colocar puntos de observación para conocer los niveles de agua y extraer muestras para revisar su calidad, de este modo se conocerá cuando es necesario realizar la limpieza del biofiltro (Rosales, 2005a). Durante el periodo inicial de la vegetación el filtro se debe mantener limpio y libre de otras plantas (Morel & Diener, 2006). El material filtrante en la zona de entrada requiere ser reemplazado cada 10 o más años (Tilley et al., 2014)

**Ventajas:** En promedio esta tecnología tiene una vida útil de 20 años, además son muy eficientes en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos. Debido a la ausencia de agua en la superficie los usuarios no tienen contacto con ella y además no hay presencia de olores y mosquitos. Resulta una tecnología muy barata si los materiales se encuentran disponibles localmente. Brinda un paisaje agradable (Morel & Diener, 2006) y no requiere electricidad para su funcionamiento (Tilley et al., 2014).

**Desventajas:** Requiere un espacio grande de forma permanente, así como de mucho conocimiento y experiencia para su construcción. Si las aguas grises no reciben un correcto pretratamiento existe el riesgo de obstruir el material filtrante (Morel & Diener, 2006). La remoción de nutrientes es baja, y se requiere un largo periodo de arranque para lograr su máxima capacidad de funcionamiento (Tilley et al., 2014).

### 5.3 SISTEMAS DE SANEAMIENTO PARA ZONAS MARGINALES

A partir de las tecnologías de saneamiento descritas se realizaron combinaciones entre ellas siguiendo criterios técnicos. Como resultado se obtuvieron catorce propuestas de sistemas para el manejo de las aguas residuales en zonas marginales. Es importante notar una última etapa de reuso o disposición, la cual, aunque no se le da énfasis en este trabajo, fue agregada con el fin de mostrar la cadena completa de saneamiento. En la Figura 5.20 se observan los sistemas propuestos, cuya nomenclatura se basa en el Cuadro 5.3 presentado anteriormente. Aunque algunos sistemas tienen nombres similares, la diferencia entre ellos radica en la

tecnología de tratamiento utilizada, por ejemplo, en el caso de los sistemas 6 y 7, los cuales, aunque tengan el mismo método de evacuación (alcantarillado libre de sólidos), brindan tratamiento al efluente de manera distinta; el primero de ellos usando un filtro anaerobio mientras que el otro lo hace con la ayuda de un reactor anaerobio con deflectores.

Sistemas	Captura	Almacenamiento y tratamiento individual	Evacuación	Tratamiento semi-centralizado	Reuso / Disposición
1. Compostaje con inodoros de bajo caudal	C3	A1	E1 + E4	T6	Disposición del efluente, aplicación o disposición del compost
2. Compostaje con inodoros secos y separación de orina	C4	A1 + A5	E1 + E4 + E5	T6	Disposición del efluente, aplicación o disposición de la orina y el compost
3. Cámaras de deshidratación y separación de orina	C3	A2 + A5	E1 + E4 + E5	T6	Disposición del efluente, aplicación o disposición de la orina y el compost
4. Tanque séptico mejorado con descarga superficial del efluente	C1	A3 + A4	E1 + E5		Descarga del efluente en el río
5. Tanque séptico mejorado con infiltración del efluente	C1	A3 + A4 + A6	E5		Infiltración del efluente
6. Alcantarillado libre de sólidos + reactor anaerobio con deflectores	C1	A3	E1 + E5	T3	Disposición / recarga
7. Alcantarillado libre de sólidos + FAFA	C1	A3	E1 + E5	T4	Disposición / recarga
8. Alcantarillado simplificado + sedimentador + reactor anaerobio con deflectores	C1	A7	E2	T1 + T3 + T5	Disposición del efluente, aplicación o disposición del lodo
9. Alcantarillado simplificado + sedimentador + FAFA	C1	A7	E2	T1 + T4 + T5	Disposición del efluente, aplicación o disposición del lodo
10. Alcantarillado simplificado + tanque Imhoff + FAFA	C1	A7	E2	T2 + T4 + T5	Disposición del efluente, aplicación o disposición del lodo
11. Alcantarillado simplificado con separación de orina + sedimentador + reactor anaerobio con deflectores	C2	A5 + A7	E2 + E5	T1 + T3 + T5	Aplicación de orina almacenada, disposición del lodo y el efluente
12. Alcantarillado simplificado con separación de orina + sedimentador + FAFA	C2	A5 + A7	E2 + E5	T1 + T4 + T5	Aplicación de orina almacenada, disposición del lodo y el efluente
13. Alcantarillado simplificado con separación de orina + tanque Imhoff + FAFA	C2	A5 + A7	E2 + E5	T2 + T4 + T5	Aplicación de orina almacenada, disposición del lodo y el efluente
14. Alcantarillado convencional	C1	A7	E3	*	Disposición del lodo y el efluente

\* El tratamiento recibido sería en una planta de tratamiento centralizada.

Figura 5.20 Sistemas propuestos para el manejo de aguas residuales en asentamientos informales o precarios.

#### 5.4 PRESELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO

Partiendo de las combinaciones hechas entre las tecnologías de saneamiento identificadas (Figura 5.20), se procedió a realizar la preselección de los sistemas de saneamiento que serán sometidos al método de selección. La preselección para el caso particular se basó en la revisión de la situación geológica y geomorfológica que incide en el riesgo a deslizamientos que hay actualmente en el sitio, lo cual dificulta el uso de tecnologías donde haya que realizar infiltración del efluente en el terreno, así como la construcción de unidades de tratamiento a nivel colectivo que requieran mucho espacio en las zonas bajas topográficamente cerca al río. El estudio geológico realizado en la comunidad mostró que en caso de sismo, un 75% de las 9 ha que conforman el lugar, tienen una alta probabilidad de sufrir deslizamientos y verse afectadas por flujos de rocas e inundaciones, además la saturación de los suelos producto de las lluvias puede provocar que un 30% del terreno se vea afectada por derrumbes (Cantero & Alfaro, 2009; Mora, 2009). Esa limitación de espacio y de posibilidades de infiltración en sitio para disminuir la saturación del mismo, hizo que se excluyeran los sistemas:

5. Tanque séptico mejorado para el tratamiento individual e infiltración del efluente.
6. Alcantarillado libre de sólidos con tratamiento semi-centralizado en un reactor anaerobio con deflectores.
7. Alcantarillado libre de sólidos con tratamiento semi-centralizado en un FAFA.
8. Alcantarillado simplificado con tratamiento semi-centralizado en un sedimentador y un reactor anaerobio con deflectores.
9. Alcantarillado simplificado con tratamiento semi-centralizado en un sedimentador y un FAFA.
10. Alcantarillado simplificado con tratamiento semi-centralizado en un tanque Imhoff y un FAFA.
11. Alcantarillado simplificado con separación de orina y tratamiento semi-centralizado en un sedimentador y un reactor anaerobio con deflectores.
12. Alcantarillado simplificado con separación de orina y tratamiento semi-centralizado en un sedimentador y un FAFA.
13. Alcantarillado simplificado con separación de orina y tratamiento semi-centralizado en tanque Imhoff y un FAFA.

Los sistemas resultantes a partir de los cuales se siguió el proceso de selección se presentan en la Figura 5.21, donde para facilitar la nomenclatura se les define a partir de una letra de



“a” a “e”. Para cada sistema se detallan las tecnologías que los componen. El Cuadro 5.8 muestra las características específicas y el número de unidades de tratamiento que serían implementadas en cada sistema.

	a	b	c	d	e
	Compostaje con inodoros de bajo caudal	Compostaje con inodoros secos y separación de orina	Cámaras de deshidratación y separación de orina	Tanque séptico mejorado con disposición superficial del efluente	Alcantarillado convencional
CAPTURA	Inodoro de bajo caudal	Inodoro seco con separación de orina	Inodoro seco con separación de orina	Inodoro con descarga de agua	Inodoro con descarga de agua
ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO	Cámara de compostaje	Cámara de compostaje Tanque de almacenamiento de orina	Cámara de deshidratación Tanque de almacenamiento de orina	Tanque séptico	Trampas de grasa
EVACUACIÓN	Alcantarillado libre de sólidos	Alcantarillado libre de sólidos	Alcantarillado libre de sólidos	Alcantarillado libre de sólidos	Alcantarillado simplificado Sistema de bombeo Alcantarillado convencional (subcolector)
TRATAMIENTO SEMI-CENTRALIZADO	Biojardineras (aguas grises + lixiviados)	Biojardineras (aguas grises)	Biojardineras (aguas grises)	FAFA	Planta de tratamiento Los Tajos
DISPOSICIÓN / REUSO	Disposición del efluente, aplicación del compost	Disposición del efluente, aplicación de la orina y compost	Disposición del efluente, aplicación de la orina y humus	Disposición del efluente	Disposición del efluente

Las tecnologías enmarcadas en un recuadro negro, aunque forman parte del sistema de saneamiento, no se contabilizaron para efectos de la selección del sistema, debido a que ya existen.

Figura 5.21 Sistemas de saneamiento preseleccionados para ser sometidos al modelo de decisión de jerarquización.

**Cuadro 5.8 Características de los sistemas de saneamiento preseleccionados.**

Sistema	Componentes	Cantidad	Nivel de implementación
<b>Compostaje con inodoros de bajo caudal</b>	Inodoros de bajo caudal instalados en cada vivienda (0.5 L por descarga).	216	Individual
	Cámaras de compostaje instaladas en cada vivienda para el tratamiento de excretas y agua de descarga de los inodoros.	216	Individual
	Biojardineras implementadas a nivel colectivo para tratar aguas grises y lixiviados generados por los inodoros de bajo caudal.	6	Colectivo
	Alcantarillado libre de sólidos para el transporte de aguas grises y lixiviados de todas las viviendas.	1	Colectivo
<b>Compostaje con inodoros secos y separación de orina</b>	Inodoros secos con separación de orina instalados en cada vivienda.	216	Individual
	Cámaras de compostaje instaladas en cada vivienda para el tratamiento de heces.	216	Individual
	Tanques de almacenamiento de orina para el almacenamiento de orina a nivel individual.	216	Individual
	Biojardineras implementadas a nivel colectivo para tratar aguas grises.	6	Colectivo
	Alcantarillado libre de sólidos para el transporte de aguas grises de todas las viviendas.	1	Colectivo
<b>Deshidratación de heces y separación de orina</b>	Inodoros secos con separación de orina instalados en cada vivienda.	216	Individual
	Cámaras de deshidratación para el tratamiento de heces a nivel individual.	216	Individual
	Tanques de almacenamiento de orina para el almacenamiento de orina a nivel individual.	216	Individual
	Biojardineras implementadas a nivel colectivo para tratar aguas grises.	6	Colectivo
	Alcantarillado libre de sólidos para el transporte de aguas grises de todas las viviendas.	1	Colectivo
<b>Tanque séptico mejorado con disposición superficial del efluente</b>	FAFA implementados a nivel colectivo como un complemento al tratamiento de aguas residuales provenientes de tanques sépticos previamente existentes en las viviendas.	8	Colectivo
	Alcantarillado libre de sólidos para el transporte y disposición superficial del efluente generado en los FAFA.	1	Colectivo
<b>Alcantarillado convencional</b>	Alcantarillado simplificado para la captura y transporte de aguas residuales de las viviendas hacia el pozo de bombeo.	1	Colectivo
	Subcolector para el transporte de aguas residuales desde la comunidad hacia el colector principal.	1	Colectivo
	Cajas de registro implementadas a nivel individual.	216	Individual
	Trampas de grasa implementadas en cada vivienda como requisito para la conexión al alcantarillado convencional.	216	Individual
	Sistema de bombeo (bomba + pozo de bombeo) para el transporte de las aguas residuales desde la comunidad hasta el colector principal.	1	Colectivo

## 5.5 SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO

### 5.5.1 Definición y cálculo de los criterios e indicadores de selección

En la mayoría de los casos donde se requiere la selección de tecnologías de saneamiento, solo se utiliza el criterio económico como herramienta para la toma de decisiones. Sin embargo, para que un proyecto sea exitoso y prevalezca a lo largo del tiempo, es decir que sea sostenible, es necesario tomar en cuenta otros factores, como la parte social, compuesta por todas las personas a quienes les afecta directa o indirectamente, la parte técnica que determina si esa población podrá hacer frente al manejo de la tecnología, o en todo caso si requieren de capacitación para lograrlo, la parte ambiental, que determina si la tecnología realmente puede adaptarse y cumplir las expectativas, solo por mencionar algunos.

Los criterios e indicadores de selección usados en este trabajo han sido escogidos con base a estudios previos realizados por diferentes autores, que han trabajado en el campo de selección de tecnologías para el manejo de aguas residuales. Según esos estudios, los criterios más importantes a tomar en cuenta son aspectos sociales, tecnológicos, económicos y ambientales (Bernal & Cardona, 2003; Caicedo, 2014; Noyola et al., 2013; Rodríguez et al., 2015; Zambrano, 2012). En el Cuadro 5.9 se presenta un resumen de los diferentes criterios, variables e indicadores que han sido recomendados para la selección de sistemas de manejo de aguas residuales en asentamientos informales. El Cuadro 5.10 se muestran los indicadores a utilizar en el proceso de selección de sistemas de saneamiento en el Bajo los Anonos.

**Cuadro 5.9 Criterios e indicadores para la selección de sistemas de manejo de aguas residuales en asentamientos informales.**

Criterios	VARIABLES	Indicadores	Autor
<b>Económico</b>	Costos	Inversión inicial	2, 5,7,11,13,14,15
		Operación y mantenimiento	4,5,6,9,13,14,15
		Manejo de residuos	5,13,15,16
	Disponibilidad de recursos	Disponibilidad de materiales de construcción local	11,16
		Disponibilidad de mano de obra local	11,12,15
		Capacidad y disponibilidad de pago	4,5,6,9,14,16
<b>Ambiental</b>	Características ambientales	Conservación de recursos	1,2,3,4,5,6,7,8,9
		Impacto ambiental del sistema de tratamiento	10,12,13,14,15,17
		Remoción de patógenos y contaminantes	1,3,4,5,6,7,8,9,10,15

<b>Criterios</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Autor</b>
	Impacto ambiental	Producción de lodos	4,5,13,15,16
		Olores/insectos/afectación paisajística	7,8,13
		Conservación de recursos	1,2,3,4,5,6,7,8,9
		Impacto ambiental del sistema de tratamiento	10,12,13,14,15,17
<b>Técnico</b>	Características tecnológicas	Eficiencia	3,4,6,7,8,9,13,15,17
		Facilidad de construcción	3,7,8,17
		Requerimiento energético	1,5,6,9,12
		Nivel de tratamiento	1,2,4,17
		Nivel de complejidad	10,12,13,15
		Facilidad de O&M	10,12,15,17
	Características de la zona	Disponibilidad de espacio	3,10,12,15,16,17
		Adaptabilidad/Flexibilidad	3,5,6
		Nivel freático	1, 6,15,17
		Topografía (pendiente del terreno)	6,7,8,9,10,14,15,17
		Cobertura y cantidad de agua potable	1,2,3,5,6,9
	Características del agua residual	Origen del AR	12,15,16,17
		Composición del AR	10, 15,16,17
		Caudal de AR	10,16,17
	<b>Social</b>	Situación local (ciudad)	Planeación urbana
Localización			2,3,4,6,7,8,9
Comunidad		Nivel educativo	11,16
		Aceptación de tecnología	3,4,7,8,9,12,15
		Aceptación de reúso	3,4,6,7,8
		Participación comunitaria	3,4,5,6,7,8,9,12,14
		Apropiación de la tecnología	3,4,5,6,7,8
		Conciencia ambiental	2,3,4,5,6,7,8
		Impacto en seguridad y salud pública	1,5,6,7,8,9
		Usos y demanda del agua	1,2,7,9
		Generación de empleo (comercialización de subproductos/reciclaje de nutrientes)	1,3,4,5,9,18
Población		Tamaño de población	1,2,3,4,5,6,7,8,9,17
		Densidad de población	1,2,3,4,5,6,14,16,17

Fuentes: 1. (Zhang, 2008); 2. (Wang, Chen, Zhang, & Li, 2008); 3. (Assayed, 2008); 4. (Mitchell, 2004); 5. (Prihandrijanti, Malisie, & Otterpohl, 2008); 6. (Jacobsen, Webster, & Vairavamoorthy, 2013); 7. (AGUATUYA, 2011); 8. (United Nations Human Settlements Programme (ONU-HABITAT), 2012); 9. (Nanninga et al., 2012); 10. (Idelovitch, 1997); 11. (Reid, 1982); 12. (Almeida de Souza, 1997); 13. (Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, 2002); 14. (Loetscher, 1997); 15. (Almeida de Souza, De Moraes, & Pena Lopes, 2001); 16. (Horan & Parr, 1994); 17. (Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, 2010); 18. (Bernal & Cardona, 2003).

**Cuadro 5.10 Criterios e indicadores usados en el proceso de selección.**

<b>Criterios</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Característica</b>
<b>Económico</b>	Costos	Inversión inicial	Cubrimiento de los costos desde la etapa de planeación hasta la ejecución del proyecto.
		Operación y mantenimiento	Cantidad de dinero requerida para realizar actividades que permitan el buen funcionamiento del sistema y óptima operación.
<b>Ambiental</b>	Impacto ambiental	Producción de olores e insectos	Número de tecnologías que componen el sistema de saneamiento con potencial producción de olores e insectos.
		DBO del efluente	Calidad del efluente medida en DBO.
		SST el efluente	Calidad del efluente medida en SST.
<b>Técnico</b>	Características tecnológicas	Nivel de complejidad	Grado de conocimiento requerido para el manejo del sistema de saneamiento.
	Características de la zona	Requerimiento de espacio	Área requerida para la construcción de las tecnologías que componen el sistema de saneamiento.
<b>Social</b>	Comunidad	Aceptación de la tecnología	Aprobación de la comunidad del tipo de sistema de saneamiento.
		Ahorro por consumo de agua	Monto percibido por la comunidad debido al ahorro por consumo de agua de los inodoros.
		Comercialización de biosólido	Ingresos económicos en la comunidad por la comercialización de subproductos de los sistemas de saneamiento.

Una vez definidos los indicadores que serán usados en el proceso de selección, se procede a cuantificarlos. Para ello se siguieron una serie de procedimientos que se detallan a continuación.

### **5.5.1.1 Criterio económico**

#### Costos de inversión inicial

Los costos de inversión inicial están asociados a la cantidad de materiales necesarios para la construcción de los sistemas de saneamiento, los servicios requeridos como excavación, mano de obra, movimiento de suelo, etc. Los diseños preliminares y cálculo de inversión inicial se presentan en el Apéndice 4. El Cuadro 5.11 presenta un resumen de los costos de inversión inicial encontrados.

**Cuadro 5.11 Costos de inversión inicial de los sistemas de saneamiento.**

Sistema	Costos de inversión inicial (C)
a	136 660 093
b	120 418 685
c	124 091 273
d	28 127 111
e	97 015 586

Costos de operación y mantenimiento

En los costos de operación y mantenimiento se consideraron las actividades requeridas para asegurar el buen funcionamiento de los sistemas de saneamiento, entre ellas, limpieza de unidades de tratamiento, vaciado de tanques, reemplazo de materiales y equipo, acomodo de excretas en las cámaras de compostaje y deshidratación, entre otros. Estas actividades, son detalladas en el Apéndice 5, se les asignó un precio basado en lo que usualmente costaría en el mercado la prestación del servicio. Aunque muchas de ellas serían realizadas por los mismos usuarios, fue necesario fijar un valor para determinar el costo real.

A partir del valor fijado y de la frecuencia estimada con que se deben realizar las actividades, se procedió a calcular el valor presente neto (VPN) a partir de una proyección de 25 años. En el Cuadro 5.12 se muestran los costos de operación y mantenimiento encontrados para cada sistema de saneamiento.

**Cuadro 5.12 Costos de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento.**

Sistema	VPN Costos de O&M (C)
a	146 696 081
b	297 041 613
c	206 706 171
d	50 216 649
e	64 243 088

**5.5.1.2 Criterio ambiental**

Producción de olores e insectos

Este indicador se refiere al número de tecnologías, que componen cada sistema de saneamiento, con potencial de producción de olores e insectos. Para hacer la cuantificación, a cada tecnología se le asignó un valor de 1 y se procedió a realizar un conteo. De este modo, se obtuvo, para cada sistema, el número de unidades de tratamiento que podrían presentar problemas. En el Cuadro 5.13 se detallan los valores obtenidos para este indicador, así como los nombres de los sistemas y las tecnologías.

**Cuadro 5.13 Costos de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento.**

Sistema	Tecnologías con potencial de producción de olores e insectos	Valor asignado	Total
a	Cámara de compostaje	1	1
b	Cámara de compostaje	1	2
	Tanque de almacenamiento de orina	1	
c	Cámara de deshidratación	1	2
	Tanque de almacenamiento de orina	1	
d	Filtro anaerobio	1	1
e	Trampas de grasa	1	1

### DBO y SST en el efluente

Este indicador se refiere a la calidad del efluente que es descargado en el cuerpo receptor. Se trabajó con las concentraciones de DBO y SST del efluente y no con los porcentajes de remoción, con el propósito de tener un indicador con valores más objetivos y que realmente se pudiera cuantificar el tratamiento que cada sistema proporcionaría.

La determinación de este parámetro se realizó a partir del dimensionamiento las tecnologías de saneamiento (Apéndice 4). En el Cuadro 5.14 se muestran las concentraciones de entrada de DBO y SST con las que se trabajó. El Cuadro 5.15 presenta la calidad del efluente esperada.



**Cuadro 5.14 Concentración de DBO y SST de aguas residuales domésticas.**

Indicador de contaminación	Carga de DBO (mg/l)	Carga de SST (mg/l)	Fuente
Agua residual doméstica	220	220	(Rosales, 2003) (Rodríguez et al., 2015)
Aguas grises	70	74	Rosales, 2011 citado por (Moncada, 2011) (Smith & Bani-Melhem, 2012)
Lixiviados	830.89	846.25	(Picado, 2016)
Agua residual doméstica que ingresa a Planta de Tratamiento Los Tajos	325	275	Consulta realizada a funcionario de la Planta de Tratamiento los Tajos

**Cuadro 5.15 Indicador de concentración de DBO y SST de aguas residuales domésticas.**

Sistema	DBO entrada (mg/l)	DBO efluente (mg/l)	SST entrada (mg/l)	SST efluente (mg/l)
a	114	40	119	42
b	70	42	74	44
c	70	42	74	44
d	132	33	110	28
e	325	117	275	78

En el sistema de compostaje con inodoros de bajo caudal es necesario el tratamiento conjunto de aguas grises y lixiviados generados por la descarga de agua de los inodoros, lo cual requirió combinar las concentraciones de aguas grises y lixiviados para obtener una única concentración. En el caso de los sistemas b y c, que utilizan inodoros secos con separación de orina, solo se requiere el tratamiento de aguas grises. Para el sistema d con tanque séptico mejorado no se trabajó con las concentraciones de aguas crudas, si no con las del efluente del tanque séptico, las cuales ingresan al filtro anaerobio. Al sistema de alcantarillado convencional se le asignaron las concentraciones con que sale el efluente en la Planta de Tratamiento Los Tajos.

### 5.5.1.3 Criterio técnico

#### Nivel de complejidad

Se identificó un nivel de complejidad para cada sistema de saneamiento, el cual fue asignado cualitativamente a través de una escala en el rango de 1 a 3 (Cuadro 5.16). Para asignar el valor correspondiente a cada sistema, se utilizó la información encontrada en la revisión de literatura y los resultados de las encuestas hechas de la comunidad. Lo anterior permitió identificar el grado de conocimiento de las personas respecto a los sistemas propuestos y la posible capacitación que sería necesaria implementar de llegarse a realizar un proyecto de saneamiento. En el Cuadro 5.17 se aprecia el nivel de complejidad asignado a cada sistema de saneamiento.

**Cuadro 5.16 Nivel de complejidad según la capacitación y concientización requeridas.**

Nivel de complejidad	Valor	Característica
Bajo	1	Los usuarios requieren poca capacitación y concientización para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.
Medio	2	Los usuarios requieren moderada capacitación y concientización para asegurar que el sistema funcione adecuadamente.
Alto	3	Los usuarios requieren mucha capacitación y concientización para lograr que el sistema de saneamiento funcione adecuadamente.

**Cuadro 5.17 Indicador de nivel de complejidad para cada sistema de saneamiento propuesto.**

Sistema	Nivel de complejidad	Valor
a	Medio	2
b	Alto	3
c	Alto	3
d	Alto	2
e	Bajo	1

#### Requerimiento de espacio

El requerimiento de espacio está relacionado con el total de área superficial necesaria para la construcción de cada sistema. Este indicador fue desarrollado en el Apéndice 4, con el

dimensionamiento de las tecnologías de saneamiento. Dentro del área cuantificada para cada sistema se incluyen todas las unidades de tratamiento a nivel colectivo, individual, así como el tipo de alcantarillado propuesto para el transporte de las aguas residuales. Aunque estas tuberías vayan enterradas, es necesario cuantificar el espacio total necesario para su colocación. Los resultados obtenidos para cada sistema se muestran en el Cuadro 5.18.

**Cuadro 5.18 Indicador de requerimiento de espacio para cada sistema de saneamiento propuesto.**

Sistema	Tecnologías	Cantidad	Área requerida por tecnología (m <sup>2</sup> )	Área total requerida (m <sup>2</sup> )
a	Cámaras de compostaje	216	144	819
	Biojardineras (aguas grises y lixiviados)	6	221	
	Alcantarillado libre de sólidos	1	455	
b	Cámaras de compostaje	216	144	924
	Tanques de almacenamiento de orina	216	224	
	Biojardineras (aguas grises)	6	101	
	Alcantarillado libre de sólidos	1	455	
c	Cámaras de deshidratación	216	258	1038
	Tanques de almacenamiento de orina	216	224	
	Biojardineras (aguas grises)	6	101	
	Alcantarillado libre de sólidos	1	455	
d	FAFA	8	50	505
	Alcantarillado libre de sólidos	1	455	
e	Alcantarillado simplificado	1	455	1704
	Subcolector	1	1200	
	Trampas de grasa	216	49	
	Pozo de bombeo	1	0.78	

#### 5.5.1.4 Criterio social

##### Aceptación de la tecnología

La aceptación de la tecnología se refiere a la preferencia y consentimiento que las personas tendrían si se presentara la posibilidad de implementar estos sistemas de saneamiento en la comunidad. La cuantificación de este indicador se realizó a partir de las encuestas hechas a los habitantes del lugar. A cada persona se le brindó una explicación sobre los principios básicos de cada tecnología y posteriormente ellos proporcionaron su grado de aceptación. En

el Cuadro 5.19 se presentan los resultados, así como una especificación del tipo de práctica que estarían dispuestos a aceptar.

**Cuadro 5.19 Indicador de aceptación de la tecnología por parte de los habitantes de la comunidad.**

Sistema	Nivel de aceptación (%)	Especificación
a	27	Almacenamiento y tratamiento de excretas en la vivienda.
b	27	Almacenamiento y tratamiento de excretas en la vivienda.
c	27	Almacenamiento y tratamiento de excretas en la vivienda.
d	98	Tratamiento de aguas residuales a nivel colectivo.
e	88	Conexión de las aguas residuales de la vivienda al alcantarillado sanitario.

### Ahorro por consumo de agua

El ahorro por consumo de agua es un beneficio económico para los habitantes de la comunidad producto de la utilización de inodoros de bajo caudal o inodoros secos. La identificación de este indicador, detallada en el Apéndice 6, consistió en determinar el volumen de agua requerido por inodoros de descarga convencionales y compararlo con el volumen requerido por los inodoros propuestos. A partir de esta comparación y con la tarifa por consumo de agua potable establecida por la ARESEP (2017) se obtuvo el dinero ahorrado anualmente. Con el análisis del valor presente neto (VPN) a 25 años se determinó el beneficio económico real que cada sistema de saneamiento puede proporcionar. El Cuadro 5.20 presenta los resultados.

**Cuadro 5.20 Indicador de ahorro por consumo de agua.**

Sistema	Volumen de agua ahorrado (m <sup>3</sup> )	VPN Ahorro (€)
a	5256	13 644 991
b	7008	18 193 322
c	7008	18 193 322
d	0	0
e	0	0

## Comercialización de biosólidos

Este indicador se refiere al posible beneficio económico que los habitantes de la comunidad tendrían por la comercialización de los subproductos generados en las unidades de tratamiento de la excreta (cámaras de compostaje, deshidratación y tanques de almacenamiento de orina), lo cual se traduciría en una fuente de ingresos y empleo para las personas. Con el dimensionamiento de las tecnologías (Apéndice 4) se determinó la cantidad de subproducto generado por estas unidades de tratamiento.

A partir de esos datos y con el valor encontrado en el mercado de productos para la agricultura, se estimaron los ingresos según el período de vaciado de las tecnologías. Lo que permitió hacer un análisis del VPN en un escenario de 25 años (ver Apéndice 6). En el Cuadro 5.21 se pueden observar los resultados obtenidos en dicho análisis.

**Cuadro 5.21 Indicador de ingresos obtenidos por la comercialización de biosólidos.**

Sistema	Subproducto	VPN Ingresos (C\$)
a	Compost	2 192 438
b	Compost	12 749 985
	Urea	
c	Humus	12 953 996
	Urea	
d	-	0
e	-	0

Los lodos de los tanques sépticos y generados en la planta de tratamiento Los Tajos no fueron considerados, ya que, en caso de ser comercializados después de recibir tratamiento, no representarían un ingreso directo para la comunidad, sino para la empresa encargada del proceso, por este motivo el ingreso en los sistemas “d” y “e” es C\$0.

### **5.5.2 Aplicación del método GRA-AHP**

#### **5.5.2.1 Pesos de criterios e indicadores de selección**

Los pesos locales para los criterios considerando el caso particular de implementación, obtenidos de la encuesta realizada en la comunidad son: Social 33%, Económico 30%,

Ambiental 23% y Técnico 14%. Se observa que la tendencia de los expertos encuestados es la de darle prioridad al criterio social (ver Apéndice 7). Lo anterior asociado a la relevancia de los factores sociales al plantear un proyecto en un asentamiento informal. El criterio económico ocupa el segundo lugar, lo que muestra que juega también un rol importante en la toma de decisiones en zonas marginales.

### 5.5.2.2 Sistema jerarquizado de selección de sistemas de saneamiento

La jerarquización de los cinco sistemas de saneamiento propuestos se hizo utilizando el método de AHP-GRA (Zeng et al., 2007). El modelo de decisión se presenta en la Figura 5.22. Los criterios considerados (Nivel 2) son el económico, ambiental, técnico y social. Para cada criterio fueron definidos indicadores (Nivel 3) entre los que se mencionan, costos de inversión inicial, DBO y SST del efluente, nivel de aceptación, requerimiento de espacio, aceptación de la tecnología. El Nivel 4 presenta los sistemas de saneamiento a ser comparados y evaluados. El Cuadro 5.22 presenta los indicadores que se evaluaron en el proceso de selección mediante jerarquización.

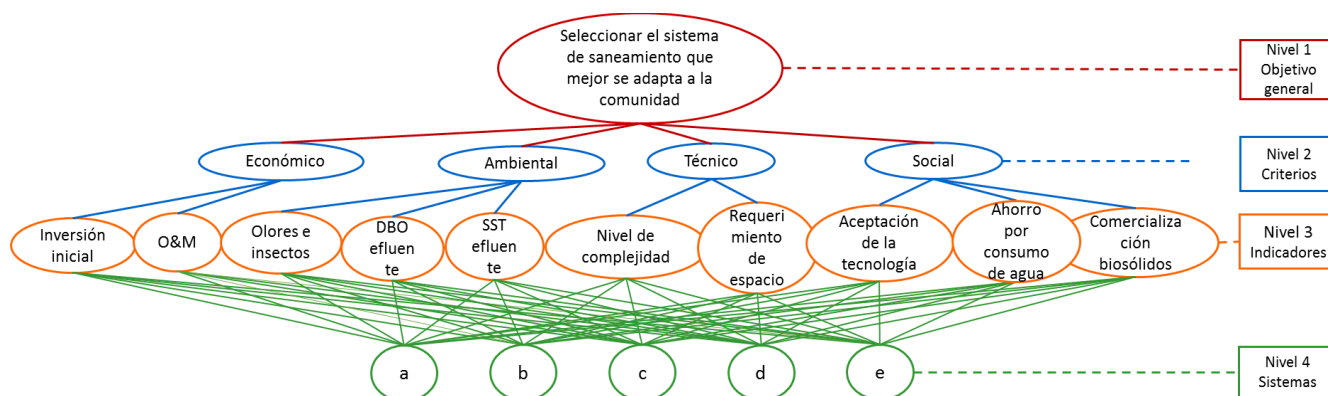


Figura 5.22 Modelo de decisión de jerarquización para la selección de sistema de saneamiento.

Cuadro 5.22 Matriz de indicadores para la selección de sistema de saneamiento en la comunidad Bajo los Anonos.

Criterio	Estrategia		Unidad	a	b	c	d	e
	Indicador							
Económico	Costos de inversión inicial		₡	136 660 093	120 418 685	124 091 273	28 127 111	97 015 586
	Costos de O&M		₡	146 696 081	297 041 613	206 706 171	50 216 649	64 243 088
Ambiental	Producción de olores e insectos		Número de unidades	1	2	2	1	1

Criterio	Estrategia		Unidad	a	b	c	d	e
	Indicador							
	DBO del efluente		DBO mg/L	39.94	42.00	42.00	33.15	117.00
	SST del efluente		SST mg/L	41.57	44.40	44.40	27.63	78.00
Técnico	Nivel de complejidad		Nivel de conocimiento de los usuarios	2	3	3	2	1
	Requerimiento de espacio		m <sup>2</sup>	819	924	1038	505	1704
Social	Aceptación de la tecnología		%	27	27	27	98	88
	Ahorro por consumo de agua		€	13 644 991	18 193 322	18 193 322	0	0
	Comercialización de biosólidos		€	2 192 438	12 749 985	12 953 996	0	0

IBC (Inodoro de bajo caudal), ISSO (Inodoro seco y separación de orina), CC (Cámaras de compostaje), CD (Cámaras de deshidratación), TS (Tanque séptico), FAFA (Filtro anaerobio), TAO (Tanque almacenamiento de orina), BG (Biojardinera para aguas grises), BGL (Biojardinera para aguas grises y lixiviados), ALS (Alcantarillado libre de sólidos), AS (Alcantarillado simplificado), S (Subcolector), TG (Trampa de grasa), SB (Sistema de bombeo)

a. IBC+CC+BGL+ALS

b. ISSO+CC+TAO+BG+ALS

c. ISSO+CD+TAO+BG+ALS

d. TS+FAFA+ALS

e. TG+SB+AS+S

### 5.5.2.3 Análisis relacional gris con jerarquización

Los datos normalizados se muestran en el Cuadro 5.23. El primer y segundo coeficiente correlacional gris se presentan en el Cuadro 5.24 y Cuadro 5.27. Los pasos intermedios de ponderación y normalización de los coeficientes ponderados se muestran en el Cuadro 5.25, Cuadro 5.26 y Cuadro 5.28.

**Cuadro 5.23 Indicadores normalizados de cada sistema de saneamiento propuestos.**

Criterio	Estrategia		a	b	c	d	e
	Indicador						
Económico	Costos de inversión inicial		0.2	0.2	0.2	1.0	0.3
	Costos de O&M		0.3	0.2	0.2	1.0	0.8
Ambiental	Producción de olores e insectos		1.0	0.5	0.5	1.0	1.0
	DBO del efluente		0.8	0.8	0.8	1.0	0.3
	SST del efluente		0.7	0.6	0.6	1.0	0.4
Técnico	Nivel de complejidad		0.5	0.3	0.3	0.5	1.0
	Requerimiento de espacio		0.6	0.5	0.5	1.0	0.3
Social	Aceptación de la tecnología		0.3	0.3	0.3	1.0	0.9
	Ahorro por consumo de agua		0.8	1.0	1.0	0.0	0.0
	Comercialización de biosólidos		0.2	1.0	1.0	0.0	0.0

IBC (Inodoro de bajo caudal), ISSO (Inodoro seco y separación de orina), CC (Cámaras de compostaje), CD (Cámaras de deshidratación), TS (Tanque séptico), FAFA (Filtro anaerobio), TAO (Tanque almacenamiento de orina), BG (Biojardinera para aguas grises), BGL (Biojardinera para aguas grises y lixiviados), ALS (Alcantarillado libre de sólidos), AS (Alcantarillado simplificado), S (Subcolector), TG (Trampa de grasa), SB (Sistema de bombeo)

a. IBC+CC+BGL+ALS

b. ISSO+CC+TAO+BG+ALS

c. ISSO+CD+TAO+BG+ALS

d. TS+FAFA+ALS

e. TG+SB+AS+S

**Cuadro 5.24 Primer coeficiente relacional gris de sistemas de saneamiento propuestos.**

Criterio	Estrategia					
	Indicador	a	b	c	d	e
Económico	Costos de inversión inicial	0.39	0.39	0.39	1.00	0.41
	Costos de O&M	0.43	0.38	0.40	1.00	0.70
Ambiental	Producción de olores e insectos	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00
	DBO del efluente	0.75	0.70	0.70	1.00	0.41
	SST del efluente	0.60	0.57	0.57	1.00	0.44
Técnico	Nivel de complejidad	0.50	0.43	0.43	0.50	1.00
	Requerimiento de espacio	0.57	0.52	0.49	1.00	0.42
Social	Aceptación de la tecnología	0.41	0.41	0.41	1.00	0.83
	Ahorro por consumo de agua	0.67	1.00	1.00	0.33	0.33
	Comercialización de biosólidos	0.38	0.97	1.00	0.33	0.33

IBC (Inodoro de bajo caudal), ISSO (Inodoro seco y separación de orina), CC (Cámaras de compostaje), CD (Cámaras de deshidratación), TS (Tanque séptico), FAFA (Filtro anaerobio), TAO (Tanque almacenamiento de orina), BG (Biojardinera para aguas grises), BGL (Biojardinera para aguas grises y lixiviados), ALS (Alcantarillado libre de sólidos), AS (Alcantarillado simplificado), S (Subcolector), TG (Trampa de grasa), SB (Sistema de bombeo)

a. IBC+CC+BGL+ALS

b. ISSO+CC+TAO+BG+ALS

c. ISSO+CD+TAO+BG+ALS

d. TS+FAFA+ALS

e. TG+SB+AS+S

**Cuadro 5.25 Vector ponderado del primer coeficiente relacional gris de sistemas de saneamiento propuestos.**

Criterio	a	b	c	d	e
Económico	0.41	0.39	0.40	1.00	0.55
Ambiental	0.77	0.60	0.60	1.00	0.60
Técnico	0.53	0.48	0.46	0.75	0.71
Social	0.48	0.79	0.80	0.56	0.50

IBC (Inodoro de bajo caudal), ISSO (Inodoro seco y separación de orina), CC (Cámaras de compostaje), CD (Cámaras de deshidratación), TS (Tanque séptico), FAFA (Filtro anaerobio), TAO (Tanque almacenamiento de orina), BG (Biojardinera para aguas grises), BGL (Biojardinera para aguas grises y lixiviados), ALS (Alcantarillado libre de sólidos), AS (Alcantarillado simplificado), S (Subcolector), TG (Trampa de grasa), SB (Sistema de bombeo)

a. IBC+CC+BGL+ALS

b. ISSO+CC+TAO+BG+ALS

c. ISSO+CD+TAO+BG+ALS

d. TS+FAFA+ALS

e. TG+SB+AS+S

**Cuadro 5.26 Normalización del vector ponderado del primer coeficiente relacional gris de sistemas de saneamiento propuestos.**

Criterio	a	b	c	d	e
Económico	0.41	0.39	0.40	1.00	0.55
Ambiental	0.77	0.60	0.60	1.00	0.60
Técnico	0.71	0.64	0.61	1.00	0.94
Social	0.60	0.99	1.00	0.69	0.62

IBC (Inodoro de bajo caudal), ISSO (Inodoro seco y separación de orina), CC (Cámaras de compostaje), CD (Cámaras de deshidratación), TS (Tanque séptico), FAFA (Filtro anaerobio), TAO (Tanque almacenamiento de orina), BG (Biojardinera para aguas grises), BGL (Biojardinera para aguas grises y lixiviados), ALS (Alcantarillado libre de sólidos), AS (Alcantarillado simplificado), S (Subcolector), TG (Trampa de grasa), SB (Sistema de bombeo)

a. IBC+CC+BGL+ALS

b. ISSO+CC+TAO+BG+ALS

c. ISSO+CD+TAO+BG+ALS

d. TS+FAFA+ALS

e. TG+SB+AS+S



**Cuadro 5.27 Segundo coeficiente relacional gris de sistemas de saneamiento propuestos.**

Criterio	a	b	c	d	e
Económico	0.342	0.333	0.337	1.000	0.408
Ambiental	0.573	0.432	0.432	1.000	0.432
Técnico	0.515	0.457	0.444	1.000	0.845
Social	0.436	0.960	1.000	0.500	0.448

IBC (Inodoro de bajo caudal), ISSO (Inodoro seco y separación de orina), CC (Cámaras de compostaje), CD (Cámaras de deshidratación), TS (Tanque séptico), FAFA (Filtro anaerobio), TAO (Tanque almacenamiento de orina), BG (Biojardinera para aguas grises), BGL (Biojardinera para aguas grises y lixiviados), ALS (Alcantarillado libre de sólidos), AS (Alcantarillado simplificado), S (Subcolector), TG (Trampa de grasa), SB (Sistema de bombeo)

a. IBC+CC+BGL+ALS

b. ISSO+CC+TAO+BG+ALS

c. ISSO+CD+TAO+BG+ALS

d. TS+FAFA+ALS

e. TG+SB+AS+S

**Cuadro 5.28 Segundo coeficiente relacional gris ponderado de sistemas de saneamiento propuestos.**

Criterio	a	b	c	d	e
Económico	0.102	0.100	0.101	0.300	0.122
Ambiental	0.131	0.099	0.099	0.228	0.099
Técnico	0.072	0.064	0.062	0.140	0.118
Social	0.145	0.319	0.332	0.166	0.149
$\Sigma$	0.45	0.58	0.59	0.83	0.49

IBC (Inodoro de bajo caudal), ISSO (Inodoro seco y separación de orina), CC (Cámaras de compostaje), CD (Cámaras de deshidratación), TS (Tanque séptico), FAFA (Filtro anaerobio), TAO (Tanque almacenamiento de orina), BG (Biojardinera para aguas grises), BGL (Biojardinera para aguas grises y lixiviados), ALS (Alcantarillado libre de sólidos), AS (Alcantarillado simplificado), S (Subcolector), TG (Trampa de grasa), SB (Sistema de bombeo)

a. IBC+CC+BGL+ALS

b. ISSO+CC+TAO+BG+ALS

c. ISSO+CD+TAO+BG+ALS

d. TS+FAFA+ALS

e. TG+SB+AS+S

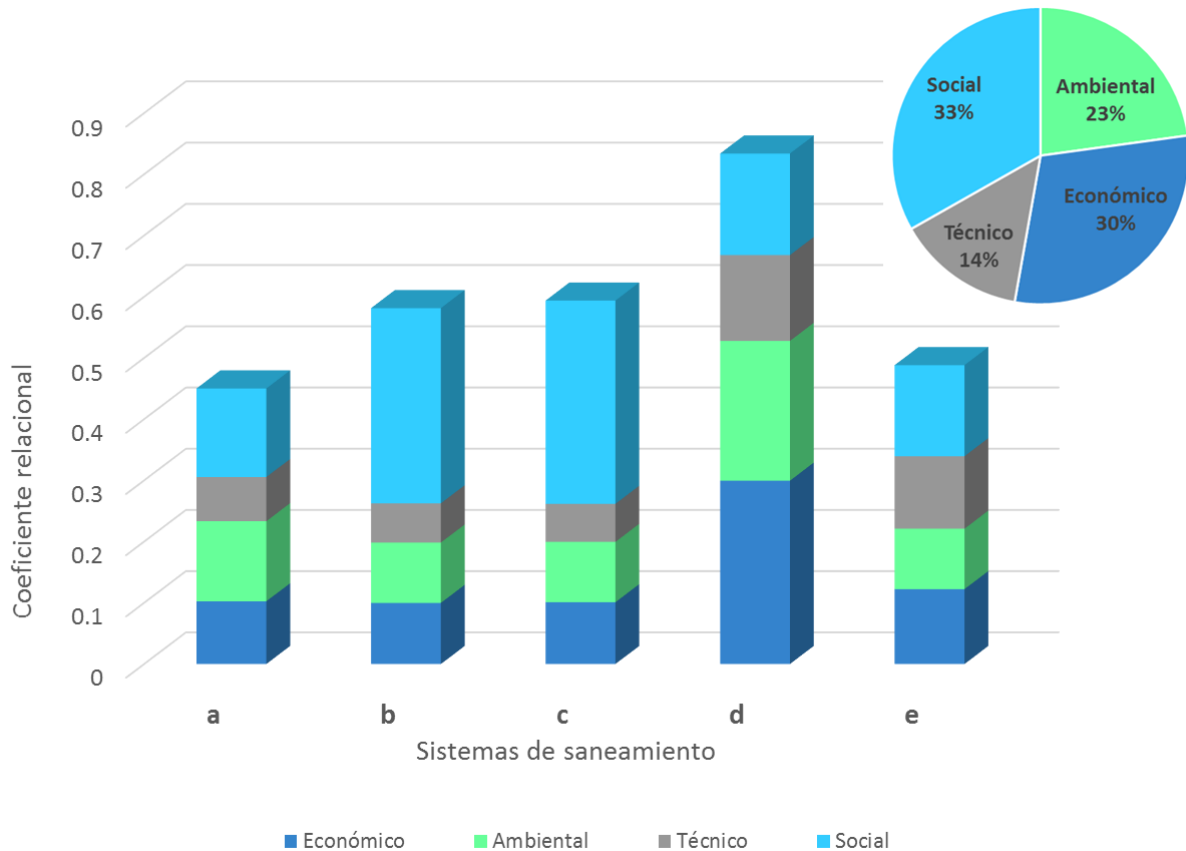
Del proceso de selección con AHP-GRA, la opción que se encuentra como la más viable es el sistema d con coeficiente de 0.83, el cual incluye los tanques sépticos seguidos de filtros anaerobios de flujo ascendente; para tratar el agua residual a nivel semi-centralizado, y el alcantarillado libre de sólidos para evacuar el efluente y depositarlo en el cuerpo receptor. Las opciones que siguen el orden de elegibilidad son la c con coeficiente de 0.59, donde se propone el uso de cámaras de deshidratación de heces y separación de orina, y la b con coeficiente de 0.58, con cámaras de compostaje y separación de orina.

Las opciones c y b poseen elementos comunes, como el uso de inodoros secos que permiten el ahorro de agua y la producción de biosólidos que pueden ser comercializados. Estos indicadores pertenecientes al criterio social, el cual tiene el mayor peso en el modelo de selección, les permitió aumentar su coeficiente correlacional, según lo mostrado en la Figura 5.23, a pesar de la baja aceptación de la tecnología. El incremento en la aceptación y potencialización de la tecnología se puede alcanzar brindando capacitaciones, sensibilizando a los usuarios y proporcionando la información necesaria para que la comunidad se sienta

más familiarizada con este tipo de tecnologías. Por su parte, el incremento en los costos de O&M de los sistemas c y b se debe a las actividades cotidianas que deben realizar las personas para garantizar el buen funcionamiento, las cuales, aunque en la práctica serían ejecutadas por los mismos usuarios, para efectos del proceso de selección, requirieron que les fuera asignado un valor.

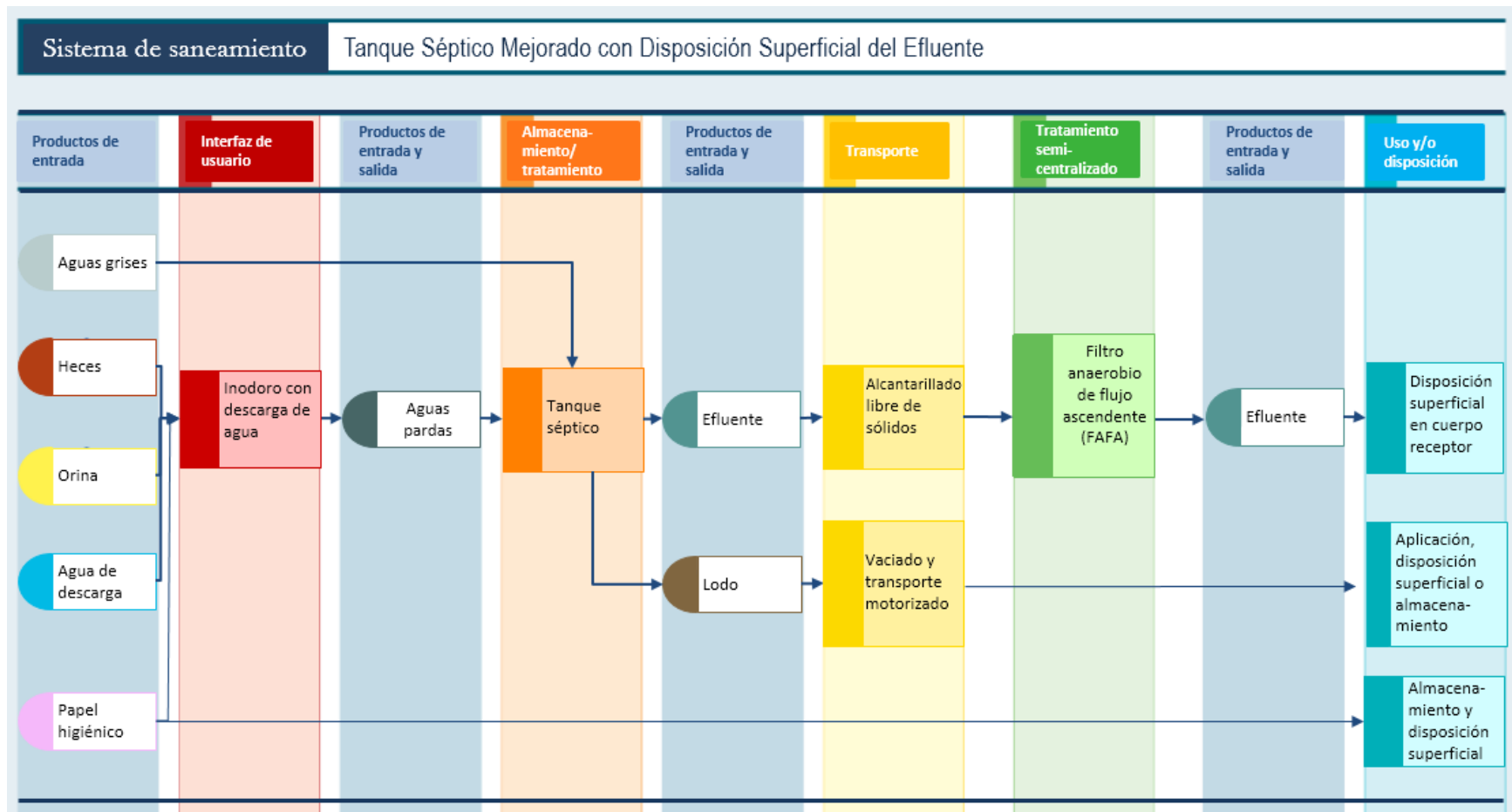
El sistema d denota un orden de elegibilidad muy alejado del segundo y tercer sistema (c y b). Esto se le puede atribuir al criterio económico, ya que, si se compara con los demás sistemas, estos tienen costos elevados de inversión inicial y O&M, y al criterio ambiental, al permitir una mejor calidad del efluente y disminuir la posibilidad con problemas de olores e insectos, lo cual es más probable que se de en los sistemas b y c; donde el tratamiento de la excreta se realiza en el hogar y las personas tienen una mayor responsabilidad en cuanto a mantener las cámaras de compostaje y deshidratación funcionando adecuadamente.

El criterio técnico también contribuyó a posicionar el sistema d como el más factible. Para este sistema solo se propone la instalación de filtros anaerobios, partiendo del hecho de que el agua residual fue previamente tratada mediante el uso de tanques sépticos, permitiendo que disminuya el área superficial requerida para la instalación de unidades de tratamiento. Además, el hecho de que los filtros tengan un nivel de complejidad menor les permitió tener una mayor ventaja respecto a los sistemas c, b.



**Figura 5.23 Resultados obtenidos en la selección del sistema de saneamiento con el método de jerarquización.**

En el caso de los sistemas a y e, el primero un sistema de compostaje con inodoros de bajo caudal y el segundo el sistema de alcantarillado convencional, se obtuvieron resultados muy similares respecto al criterio social (Figura 5.23). Ese hallazgo podría resultar un poco cuestionable ya que el sistema a (conformado por cámaras de compostaje, biojardinera y alcantarillado libre de sólidos) genera beneficios económicos por ahorro en el consumo de agua y comercialización de biosólidos, mientras que el sistema e no lo hace. Sin embargo, al comparar el nivel de aceptación de ambos hay una notoria diferencia, siendo un 27% de aceptación para a y 88% de aceptación para e; según la encuesta realizada en la comunidad, lo cual puede explicar el por qué el coeficiente relacional fue similar para ambos. La Figura 5.24 muestra un esquema del sistema de saneamiento seleccionado, con los productos que ingresa y salen en cada tecnología de saneamiento.



Este esquema fue creado usando la herramienta de dibujo de sistemas de saneamiento desarrollada por Boller & Ulrich (2015).

**Figura 5.24** Esquema del sistema de saneamiento seleccionado para el manejo de aguas residuales en el Bajo Los Anonos

## 6 CONCLUSIONES

Al momento de este estudio, El Gobierno Local no tenía definidas las acciones a tomar en la comunidad, debido a que se espera una resolución por parte de la CNE que declare el lugar como zona de riesgo, lo cual son procesos administrativos complejos y de mucho tiempo. Esto evidenció que la situación en la comunidad aun es incierta, sin embargo, en el marco del derecho al saneamiento y en aras de la protección a la salud, es clave proporcionar estrategias de gestión de las aguas residuales.

El total de personas en la comunidad cuentan con acceso a los servicios básicos de agua potable y electricidad. Sin embargo, algunos sectores tienen problemas con la recolección de residuos sólidos; como consecuencia del mal estado de las calles, lo que dificulta el acceso. Esto provoca que las personas los quemen o depositen en lotes baldíos o en el río, haciendo que en temporada de lluvias se obstruyan los caños y que las aguas residuales se desborden en la calle.

El sistema más usado para tratar las aguas residuales es el tanque séptico con un porcentaje de 43%, seguido por un 33% que las dispone directamente en el río. Un 82% de las personas coinciden en que el mal manejo de aguas residuales es una de las principales problemáticas que hay en la comunidad. Aunque la mayoría (75%) considera que el ambiente en el que viven no es saludable, solo un 42% de esas personas atribuye la adquisición de enfermedades a la falta de saneamiento.

Se encontró una relación entre la frecuencia en la que se enferman las personas y el tipo de tratamiento brindado a las aguas pardas. Donde, en el caso de las familias que se enferman con más frecuencia al año, más de la mitad no está proporcionando un correcto tratamiento, sino que vierten sus aguas pardas sin depuración a la calle.

En la comunidad existe el riesgo de que un 75% del terreno sufra deslizamientos a causa de un sismo, y de que un 30% del terreno sufra deslizamiento por la saturación de los suelos producto de las lluvias. Lo cual dificulta la implementación de sistemas de saneamiento que requieran mucho espacio o la infiltración del efluente en el terreno. En general, del total de

área que conforma la comunidad, solo 1/6 puede ser considerada segura para construir infraestructura habitacional.

El estudio revela que es posible implementar 14 sistemas de saneamiento adecuados para asentamientos informales, los cuales tienen en común características como ser de bajo costo, requerir poca área superficial, fáciles de diseñar, construir y operar. Del total de sistemas de saneamiento identificados, se hizo una preselección de 5 de ellos a partir de características propias de la comunidad. El riesgo de deslizamientos en el Bajo Los Anonos jugó un papel importante en la preselección.

Del proceso de selección con análisis jerarquizacional gris, el sistema denominado d que consiste en un sistema de tanque séptico con recolección del efluente mediante alcantarillado sin arrastre de sólidos (bajo diámetro), complementado con el tratamiento con filtros anaerobios es el más factible de implementar según las características que presenta actualmente el lugar. Esta alternativa a nivel colectivo mostró una clara ventaja en el criterio económico al ser un sistema con menores costos de inversión inicial y O&M, en el criterio ambiental, por la generación de efluentes de mejor calidad y con menos probabilidades de producir olores e insectos, y en el criterio técnico, por requerir la menor cantidad de área superficial y tener una menor complejidad en cuanto a su operación.

En segundo y tercer lugar se encontraron los sistemas c y b, respectivamente, los cuales, aunque alejados del coeficiente relacional del sistema d, obtuvieron ventajas en el criterio social, al permitir el ahorro por consumo de agua y generar ingresos por la comercialización de biosólidos. Para aumentar la aceptación de los sistemas b y c se requiere realizar capacitación en la comunidad, así como sensibilizar a la población en cuanto al uso de tecnologías de saneamiento con potencial aprovechamiento de subproductos.

En general, la selección de tecnologías es un proceso que incluye diversas variables, las cuales deben ser tomadas en cuenta de una manera integral para garantizar la sostenibilidad de un proyecto de saneamiento, principalmente en asentamientos informales en condición de pobreza, donde se requiere un mayor acompañamiento.

## 7 RECOMENDACIONES

Es importante hacer un análisis de los tanques sépticos que actualmente están instalados en las viviendas, para determinar el estado real en que se encuentran, la calidad del efluente y la eficiencia con que trabajan.

Existe limitación para determinar la verdadera calidad del agua residual que es vertida en la calle, ya que, según el testimonio de vecinos, es durante la noche y de manera clandestina que algunas personas vacían los tanques que contienen las aguas residuales. Por lo tanto, para tener datos que realmente reflejen la situación, se deberían hacer muestreos compuestos de por lo menos 4 horas en horas pico de generación de aguas residuales a diferentes horas del día. En el marco de esta investigación no se realizaron por aspectos de seguridad al ser una zona conflictiva, además se requería estar a altas horas de la noche en el sitio.

Debido a que un 75% del área que ocupa la comunidad se encuentra en riesgo de deslizamientos, se recomienda evaluar la opción de reubicar a las personas a otro sitio, y comparar los costos de esa alternativa con los de solucionar el problema de saneamiento en la comunidad, para determinar cuál opción es más factible. Implicando el reasentamiento un alto costo económico y social, se debe valorar el interés real por parte de las municipalidades o entes de interés en hacer una inversión así. Además, se deben de considerar todas las situaciones legales que pueda generar una inversión de este tipo.

El saneamiento ecológico está poco desarrollado en el país, por lo tanto, existen carencias en el mercado de componentes necesarios para su implementación, como los inodoros secos con separación de orina, inodoros de bajo caudal, tanques de compostaje, losas de concreto para el entrepiso de sistemas de compostaje, entre otros. Se requiere la implementación de proyectos en la línea del saneamiento ecológico, para que haya una mayor oferta en el mercado de estos productos y de esta manera abaratar los costos. Además, es importante evaluar las causas de fracaso de experiencias previas en el país.

Se requiere informar y concientizar a la población en cuanto al uso de sistemas de saneamiento con potencial de aprovechamiento de subproductos. También es importante que

instituciones implementen este tipo de sistemas para que sean vistos con normalidad y la población los empiece a aceptar.

Es necesario más apoyo por parte del Gobierno Local, para poder solucionar la situación referente al saneamiento en la comunidad.



## 8 REFERENCIAS

- Abbassi, B., & Al Baz, I. (2008). Integrated Wastewater Management: A Review. En I. Al Baz, R. Otterpohl, & C. Wendland (Eds.), *Efficient Management of Wastewater* (pp. 29–40). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- AGUATUYA. (2011). *Tratamiento descentralizado de aguas servidas domésticas y estudio de caso*. Cochabamba, Bolivia.
- Allen, L., & Conant, J. (2010). Backyard urine recycling in the United States of America: An assessment of methods and motivations. *EcoSan Club*, (3), 25–30.
- Almeida de Souza, M. (1997). *Hoja de divulgación técnica Cepis HDT 68: Metodología de análisis de decisiones para seleccionar alternativas de tratamiento y uso de aguas residuales*. Brasil.
- Almeida de Souza, M., De Moraes, M., & Pena Lopes, O. (2001). *Esgoto pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios Prosab II. Capítulo 10: Sistema de Apoio à desisao (SAD) para seleção de alternativas de postratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Belo Horizonte, Brasil.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2012). 5210-B 5-Day BDO Test. En *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22a ed.). Recuperado a partir de [https://www.mwa.co.th/download/file\\_upload/SMWW\\_4000-6000.pdf](https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_4000-6000.pdf)
- Assayed, A. (2008). *Gray Wastewater Management: Sustainable options for crop production in the East Mediterranean Region*. In: *Sustainable Management of Wastewater for Agriculture, Aleppo, Siria*.
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). (2017). Tarifa acueducto AyA 2017-2021. Recuperado el 3 de noviembre de 2017, a partir de <https://aresep.go.cr/agua-potable/tarifas#>
- Bakalian, A., Wright, A., Otis, R., & Azevedo Netto, J. (1994). *Simplified sewerage: design guidelines*. Washington D.C., USA. Recuperado a partir de [http://www.pseau.org/outils/ouvrages/wsp\\_world\\_bank\\_simplified\\_sewerage\\_design\\_guidelines\\_1994.pdf](http://www.pseau.org/outils/ouvrages/wsp_world_bank_simplified_sewerage_design_guidelines_1994.pdf)
- Bárcena, A., & Prado, A. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una*

- oportunidad para América Latina y el Caribe*. Recuperado a partir de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/10/S1700334\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/10/S1700334_es.pdf)
- Berger, W. (2011). Technology review of composting toilets. *Sustainable Sanitation Practice*, (6), 2011–2011. Recuperado a partir de [http://www.susana.org/docs\\_ccbk/susana\\_download/2-878-2-1383-gtz2011-en-technology-review-composting-toilets1.pdf](http://www.susana.org/docs_ccbk/susana_download/2-878-2-1383-gtz2011-en-technology-review-composting-toilets1.pdf)
- Bernal, D., & Cardona, D. (2003). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por Métodos Naturales: Una Metodología con Énfasis en Aspectos Tecnológicos*. Universidad del Valle.
- Bill and Melinda Gates Foundation. (2010). Sanitation Value Chain. Recuperado a partir de <https://www.flickr.com/photos/gtzecosan/22340106212/in/dateposted-public/>
- Boller, D., & Ulrich, L. (2015). Sanitation System Drawing Tool (Version 1). Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Recuperado a partir de <http://ecompendium.sswm.info/node/2531>
- Caicedo, J. (2014). *Aspectos claves para la selección de esquemas descentralizados en el manejo de aguas residuales municipales en Colombia*. Universidad del Valle.
- Campos, J., Serebrisky, T., & Suárez-Alemán, A. (2016). *Tasa de descuento social y evaluación de proyectos. Algunas reflexiones prácticas para América Latina y el Caribe*. Washington D.C. Recuperado a partir de [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7416/Monografia\\_Tasa\\_de\\_descuento\\_social\\_y\\_Evaluacion\\_de\\_proyectos.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7416/Monografia_Tasa_de_descuento_social_y_Evaluacion_de_proyectos.pdf?sequence=1)
- Cantero, M., & Alfaro, X. (2009, septiembre 10). Geólogos alertan a municipio de riesgo en Bajo Los Anonos. *Nacion.com / el país*. Recuperado a partir de [http://www.nacion.com/ln\\_ee/2009/septiembre/10/pais2086011.html](http://www.nacion.com/ln_ee/2009/septiembre/10/pais2086011.html)
- Castellano Manchega de Limpiezas S.L.U. (2011). Compost en agricultura, jardinería y paisajismo. Recuperado a partir de <http://cml-medioambiente.com/pdf/compost2011.pdf>
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones* (2017a ed.). Costa Rica. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC)

- Comisión Nacional del Agua. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. En *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales Municipales: Filtros anaerobios de flujo ascendente*. Tlalpan, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado a partir de [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- Construrama. (2013). Formulas para calcular los materiales para una Loza. Recuperado a partir de <http://construramamanzana.com/tips/item/347-fprmulas-para-calculat-materiales-para-construir>
- Cronk, R., & Bartram, J. (2015). *Water, sanitation and hygiene in health care facilities. Status in low- and middle-income countries and way forward*. Geneva, Switzerland.
- Cubillo, M. F., & Gómez, W. (2017). Biojardineras como alternativas para el tratamiento de aguas residuales: experiencia en cinco biojardineras en las comunidades de Barra Honda y La Vigía de Nicoya, Guanacaste. *Universidad en Diálogo*, 7(1), 69–87. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/udre.7-1.4>
- de Bruijne, G., Geurts, M., & Appleton, B. (2007). *¿Saneamiento para todos? The Netherlands: IRC International Water and Sanitation Centre*.
- Ecosan Club. (2010). Sustainable Sanitation Practice: Use of urine. Austria: Sustainable Sanitation Practice (SSP). Issue 3. Recuperado a partir de [http://www.susana.org/\\_resources/documents/default/2-1033-en-ssp-use-of-urine-2010.pdf](http://www.susana.org/_resources/documents/default/2-1033-en-ssp-use-of-urine-2010.pdf)
- Environmental Protection Agency (EPA). (2002). *A homeowner 's guide to septic systems*.
- Fernández, M., Hock, D., Dabbah, F., & Escudero, H. (2016). *Sistemas de saneamiento seco con separación de orina*. San Martín, República Argentina. Recuperado a partir de <http://www.susana.org/es/recursos/biblioteca/details/2583>
- Fornaguera, I. (2015, enero 26). 125.000 familias deben costear su conexión al alcantarillado sanitario. *La Nación*. Recuperado a partir de [http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/familias-deben-costear-conexion-alcantarillado\\_0\\_1465853434.html](http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/familias-deben-costear-conexion-alcantarillado_0_1465853434.html)
- Foxon, K., Pillay, S., Lalbahadurt, T., Rodda, N., Holder, F., & Buckley, C. (2005). The anaerobic baffled reactor (ABR): An appropriate technology for on-site sanitation. *Water SA*, 5(30), 44–50.
- Garrido, J. (2008). *Análisis comparativo de los sistemas de alcantarillados (convencional y no convencional) de aguas residuales domésticas*. Universidad de Sucre. Recuperado a

- partir de <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/295/2/628.2G241.pdf>
- Gensch, R., Miso, A., & Itchon, G. (2011). *Urine as liquid fertilizer in agricultural production in the Philippines: A practical field guide*. Cagayan de Oro City: Xavier University Press.
- Gutterer, B., Sasse, L., Panzerbieter, T., & Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised wastewater treatment systems (DEWATS) and sanitation in developing countries*. (A. Ulrich, S. Reuter, & B. Gutterer, Eds.). Water, Engineering and Development Centre (WEDC), Loughborough University, UK in association with BORDA, Germany . Recuperado a partir de <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1153>
- Hao, X., Novotny, V., & Nelson, V. (2010). *Water infrastructure for sustainable communities: China and the world*. London: IWA Publishing.
- Horan, N., & Parr, J. (1994). *Process selection for sustainable wastewater management in industrializing countries. Research Monograph N° 2*. England.
- Idelovitch. (1997). *Wastewater treatment in Latin America*. USA.
- Ily, J.-M., Le Jallé, C., Gabert, J., & Desille, D. (2014). Non-conventional sewerage services. *Water and Sanitation for All Guide* , 7. Recuperado a partir de [http://www.pseau.org/sites/default/files/fichiers/r\\_d/guide\\_mini-egout-anglais-web.pdf](http://www.pseau.org/sites/default/files/fichiers/r_d/guide_mini-egout-anglais-web.pdf)
- INEC (Ed.). (2014). *Costa Rica a la Luz del Censo 2011*. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado a partir de [http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/inec\\_institucional/publicaciones/anoblaccenso2011-01.pdf\\_2.pdf](http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/inec_institucional/publicaciones/anoblaccenso2011-01.pdf_2.pdf)
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), & Ministerio de Salud. (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045* (Primera Edición). San José, Costa Rica. Recuperado a partir de <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Politica Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales marzo 2017.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2011). *X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda*. Costa Rica.
- Isunju, J. B., Schwartz, K., Schouten, M. A., Johnson, W. P., & van Dijk, M. P. (2011). Socio-economic aspects of improved sanitation in slums: A review. *Public Health*, 125(6), 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2011.03.008>

- Jacobsen, M., Webster, M., & Vairavamoorthy, K. (2013). *The Future of Water in African Cities : Why Waste Water?* Washington D.C., USA.
- Jamshidi, S., Akbarzadeh, A., Woo, K.-S., & Valipour, A. (2014). Wastewater treatment using integrated anaerobic baffled reactor and Bio-rack wetland planted with *Phragmites* sp. and *Typha* sp. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(131). Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1186/s40201-014-0131-5>
- Jönsson, H., Richert, A., Vinnerås, B., & Salomon, E. (2004). Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production. *EcoSanRes Publication Series*, 2, 1–35.
- Karak, T., & Bhattacharyya, P. (2011). Human urine as a source of alternative natural fertilizer in agriculture: A flight of fancy or an achievable reality. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(4), 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.12.008>
- Katukiza, A. Y., Ronteltap, M., Niwagaba, C. B., Foppen, J. W. A., Kansiime, F., & Lens, P. N. L. (2012). Sustainable sanitation technology options for urban slums. *Biotechnology Advances*, 30(5), 964–978. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.02.007>
- Katukiza, A. Y., Ronteltap, M., Oleja, A., Niwagaba, C. B., Kansiime, F., & Lens, P. N. L. (2010). Selection of sustainable sanitation technologies for urban slums — A case of Bwaise III in Kampala, Uganda. *Science of The Total Environment*, 409(1), 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.032>
- Libralato, G., Volpi Ghirardini, A., & Avezzi, F. (2012). To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. *Journal of Environmental Management*, 94(1), 61–68.
- Lins, V. (2014). *Resource oriented sanitation in multi-storey buildings: a semi-centralised alternative for the city of Algiers, Algeria*. Technical University Hamburg-Harburg.
- Loetscher, T. (1997). *Appropriate Sanitation in developing countries: the Computer- Based decision support system SANEX*. Sydney, Australia.
- Madrigal, D. (2015). *Sitation Analysis: Faecal Sludge Management in Costa Rican Informal Settlements*. University of Queensland, Australia.
- Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K., & Butler, D. (2008). Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. *Environmental*

- Modelling & Software*, 23(12), 1448–1460.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENVSOF.2008.04.010>
- Maksimović, C., & Tejada-Guibert, J. (Eds.). (2001). *Frontiers in urban watermanagement* (First ed.). 12 Caxton street, London SW1H 0QS, UK: IWA Publishing. Recuperado a partir de [https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=HDL9-Yr2sssC&oi=fnd&pg=PR1&dq=Frontiers+in+urban+watermanagement.+First+ed.+Alliance+House&ots=nTfdBdNDkS&sig=33W57eB4LXj7YQDf937muXyimhA&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=HDL9-Yr2sssC&oi=fnd&pg=PR1&dq=Frontiers+in+urban+watermanagement.+First+ed.+Alliance+House&ots=nTfdBdNDkS&sig=33W57eB4LXj7YQDf937muXyimhA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Mara, D. (Ed.). (1996). *Low-cost sewerage*. John Wiley.
- Mara, D., & Broome, J. (2008). Sewerage : a return to basics to benefit the poor. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer*, 161(4), 231–237.  
<https://doi.org/10.1680/muen.2008.161.4.231>
- Mara, D., Lane, J., Scott, B., & Trouba, D. (2010). Sanitation and Health. *PLoS Med*, 7(11), 1–7.
- Mara, D., Sleight, A., & Tayler, K. (2000). Simplified sewerage manual. Recuperado a partir de [http://www.watersanitationhygiene.org/References/EH\\_KEY\\_REFERENCES/SANITATION/Sewerage/Simplified Sewerage \(Mara\).pdf](http://www.watersanitationhygiene.org/References/EH_KEY_REFERENCES/SANITATION/Sewerage/Simplified Sewerage (Mara).pdf)
- Marín, M. (2010). *Manual para la construcción y mantenimiento de biojardineras* (2a ed.). San José, Costa Rica: ACEPESA. Recuperado a partir de <http://www.alianzaporelagua.org/saneamiento/publicaciones/13-2-edicion-2010-manual-para-la-construccion-y-mantenimiento-de-biojardineras>
- Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 652–659.
- Maurer, M., Bufardi, A., Tilley, E., Zurbrügg, C., & Truffer, B. (2012). A compatibility-based procedure designed to generate potential sanitation system alternatives. *Journal of Environmental Management*, 104, 51–61.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.023>
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. (2002). *Proyectos de Tratamientos de Aguas Residuales. Guía Práctica de Formulación*. Colombia.

- Mitchell, V. G. (2004). *Integrated urban water management: a review of current Australian practice*. Melbourne, Australia.
- Moncada, S. (2011). *Evaluación del diseño de una biojardinera de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises en Zapote, San José*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado a partir de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2874/Informe\\_final.pdf?sequence=1](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2874/Informe_final.pdf?sequence=1)
- Monvois, J., Gabert, J., Frenoux, C., & Guillaume, M. (2010). How to Select Appropriate Technical Solutions for Sanitation, (4), 140.
- Mora, R. (2009). *Estabilidad en condiciones estáticas y probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en condiciones pseudoestáticas de las laderas del Bajo Anonos, San Rafael, Escazú, San José*. San José, Costa Rica.
- Mora, R. (2010). *Condiciones geológicas del Bajo, Los Anonos, Costa Rica*. newmediaUFM. Recuperado a partir de [www.newmedia.ufm.edu](http://www.newmedia.ufm.edu)
- Morel, A., & Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Dübendorf, Switzerland.
- Municipalidad de Escazú. (2016a). Aclaración a las personas habitantes de Bajo los Anonos. Recuperado a partir de <https://www.escazu.go.cr/es/noticias/aclaracion-las-personas-habitantes-de-bajo-anonos>
- Municipalidad de Escazú. (2016b). Situación Calle los Mangos. Recuperado a partir de <https://www.escazu.go.cr/es/noticias/situacion-calle-los-mangos>
- Municipalidad de Escazú. (2017). Renovación Urbana. Recuperado a partir de <https://www.escazu.go.cr/es/planes-y-proyectos/renovacion-urbana>
- Nakawaga, N., Oe, H., Otaki, M., & Ishizaki, K. (2006). Application of microbial risk assessment on a residentially-operated bio-toilet. *J Water Health*, 4(4), 479–486.
- Nanninga, T. ., Bisschops, I., López, E., Martínez-Ruiz, J. L., Murillo, D., Essl, L., & Starkl, M. (2012). Discussion on sustainable water technologies for peri-urban areas of Mexico City: Balancing urbanization and Areas of Mexico City: Balancing Urbanization and environmental conservation. *Water*, 4(3), 739–758.
- Narain, S. (2002). The flush toilet is ecologically mindless. *Down to Earth 19*. Recuperado

- a partir de [http://www2.susana.org/docs\\_ccbk/susana\\_download/2-199-narain-2002-flush-toilet-ecological-mindless-en.pdf](http://www2.susana.org/docs_ccbk/susana_download/2-199-narain-2002-flush-toilet-ecological-mindless-en.pdf)
- Nasr, F. A., Doma, H. S., & Nassar, H. F. (2009). Treatment of domestic wastewater using an anaerobic baffled reactor followed by a duckweed pond for agricultural purposes. *The Environmentalist*, 29(3), 270–279. <https://doi.org/10.1007/s10669-008-9188-y>
- Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2013). *Selección De Tecnologías Para El Tratamiento De Aguas Residuales Municipales. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjias y pozas de infiltración*. Lima. Recuperado a partir de [http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/etzanjas\\_pozas\\_infiltra.pdf](http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/etzanjas_pozas_infiltra.pdf)
- OXFAM. (2008). Septic Tank Guidelines. Recuperado a partir de <http://policy-practice.oxfam.org.uk/publications/septic-tank-guidelines-126711>
- Pacheco, J., & Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. Santiago de Chile.
- Paterson, C., Mara, D., & Curtis, T. (2007). Pro-poor sanitation technologies. *Geoforum*, 38(5), 901–907. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2006.08.006>
- Pérez, A. (2010). *Selección de un sistema de tratamiento de aguas residuales para localidad de Santa Bárbara usando metodología de decisión multicriterio AHP*. Santiago de Chile.
- Picado, S. (2016). *Evaluación físico-química, biológica e hidrodinámica del funcionamiento de sistemas de tratamiento prefabricados para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. Tecnológico de Costa Rica.
- Pirsaheb, M., Rostamifar, M., Mansouri, A. M., Zinatizadeh, A. A. L., & Sharafi, K. (2015). Performance of an anaerobic baffled reactor (ABR) treating high strength baker's yeast manufacturing wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 47, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.09.029>
- Prihandrijanti, M., Malisie, A., & Otterpohl, R. (2008). Cost–Benefit Analysis for Centralized and Decentralized Wastewater Treatment System (Case Study in Surabaya-Indonesia). En *Efficient Management of Wastewater* (pp. 259–268). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74492-4\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74492-4_22)



- Ramalho, R. S. (1990). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Reverté. Recuperado a partir de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+anaerobio+de+aguas+residuales&ots=OCrcGTfHk8&sig=zpSxfSp56pwLV6KdMtiIoVYK8H8>
- Reed, S., Crites, R., & Middlebrooks, E. J. (1995). *Natural systems for waste management and treatment*. New York: McGraw-Hill.
- Reid, G. (1982). *Appropriate methods of treating water and wastewater in developing countries*.
- Richert, A., Jönsson, H., Schönning, C., Hinkkanen, K., Kvarnström, E., Ganrot, Z., ... Mohr, A. (2007). *Urine diverting toilets in climates with cold winters*. Munich: WECF.
- Rieck, C., von Münch, E., & Hoffmann, H. (2012). *Technology review of urine-diverting dry toilets (UDDTs)*. Eschborn, Germany.
- Rodríguez, J., García, C., & Pardo, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 149–164. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12>
- Romero, C. (1997). *Análisis de las decisiones multicriterio* (1a ed.). Madrid, España: Isdefe.
- Rosales, E. (2003). *Tanques sépticos: Conceptos teóricos base y aplicaciones (detalles que se han olvidado o la práctica ha venido tergiversando)*. Cartago, Costa Rica: ITCR-CIVCO.
- Rosales, E. (2005a). Ecosaneamiento. *Tecnología en Marcha*, 18(2), 15–25.
- Rosales, E. (2005b). Tanques sépticos, conceptos teóricos, base y aplicaciones. *Tecnología en Marcha*, 18(2), 26–33. Recuperado a partir de [http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/205](http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/205)
- Rosales, E. (2006). Ecosaneamiento. Cartago, Costa Rica.
- Rosales, E. (2008). *Informe Ecosaneamiento*. Cartago, Costa Rica. Recuperado a partir de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/494/InformeECOSANmar%2708.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sarathai, Y., Koottatep, T., & Morel, A. (2010). Hydraulic characteristics of an anaerobic

- baffled reactor as onsite wastewater treatment system. *Journal of Environmental Sciences*, 22(9), 1319–1326. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60257-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60257-6)
- Schertenleib, R. (2001). *Planning for Sustainable Sanitation: main challenges; traditional planning approaches; new planning methodologies*. Switzerland.
- Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología. (2010). *Guía para la selección de tecnologías de depuración de aguas residuales por métodos naturales: En poblaciones menores a 5000 habitantes en la provincia de Loja*. Loja, Ecuador. Recuperado a partir de [http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/139/1/Guía para la selección de tecnologías.pdf](http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/139/1/Guía%20para%20la%20selección%20de%20tecnologías.pdf)
- Serrano, H. (2005). *Evaluación ambiental y sanitaria de dos sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la construcción de prototipos en escala natural*. Recuperado a partir de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/929/1/26180.pdf>
- Sidhu, J. P. S., & Toze, S. G. (2009). Human pathogens and their indicators in biosolids: A literature review. *Environment International*, 35(1), 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.006>
- Sierra, J. (2006). *Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales*. Bogotá, Colombia.
- Smith, E., & Bani-Melhem, K. (2012). Grey water characterization and treatment for reuse in an arid environment. *Water Science and Technology*, 66(1), 72–78. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.167>
- Soria, P. (2014). *Resource oriented sanitation concepts for poor rural and peri-urban communities in tropical climates: A case of Cagayan de Oro City, Misamis Oriental and Bukidnon, Philippines*. Technical University Hamburg-Harburg.
- Stauffer, B. (Ed.). (2011). *Low-flush toilets*. Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM). Recuperado a partir de <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/user-interface/low-flush-toilet>
- Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (Eds.). (2014). *Faecal Sludge Management. System approach for implementation and operation*. London, UK: IWA Publishing. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Taing, L., Armitage, N., Ashipala, N., & Spiegel, A. (2013). Sanitation Services in Informal

- Settlements - Sewering lessons from Western Cape. South Africa: Water Information Network (WIN-SA). Recuperado a partir de <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1847>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. (I. Eddy & Metcalf, Ed.) (4a ed.). New York, US: McGraw-Hill.
- TECHO. (2014). *Informe del catastro nacional de asentamientos en condición de pobreza 2013*. Recuperado a partir de <http://www.techo.org/paises/costarica/>
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., & Schertenleib, R. (2008). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies* (1a ed.). Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG) and Water Supply and Sanitation Collaborative Council (WSSCC). Recuperado a partir de <http://www.eawag.ch/de/abteilung/sandec/>
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., & Schertenleib, R. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies* (2nd Revised Edition). Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- United Nations (UN). (2015). *The millennium development goals report 2015. United Nations*. New York. <https://doi.org/978-92-1-101320-7>
- United Nations Human Settlements Programme (ONU-HABITAT). (2012). *Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012, Rumbo a una nueva transición urbana. Exit imagen y cultura*. <https://doi.org/HS/053/12S> ISBN Serie 978-92-1-133397-8
- United Nations Water (UN-Water). (2015). *Wastewater Management: A UN-Water Analytical Brief*.
- Vargas, G., & Piédrola. (2009). La salud y sus determinantes. Concepto de medicina preventiva y salud pública. En *Medicina preventiva y salud pública* (10a ed.). Barcelona, España: Masson.
- Villega, G. P., Obregón, N. N., Lara, B. J., Méndez, F. S., & Vargas, L. A. (2009). *Herramienta informática como apollo en la toma de decisiones en proyectos de agua y saneamiento en comunidades indígenas*. Bogotá, Colombia. Recuperado a partir de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/14320/15105>
- von Münch, E., & Winker, M. (2011). *Technology review of urine diversion components - Overview on urine diversion components such as waterless urinals, urine diversion*

- toilets, urine storage and reuse systems*. Eschborn, Germany. Recuperado a partir de <http://www.susana.org/en/resources/library/details/875>
- Wang, X. C., Chen, R., Zhang, Q. H., & Li, K. (2008). Optimized plan of centralized and decentralized wastewater reuse systems for housing development in the urban area of Xi'an, China. *Water Science and Technology*, 58(5), 969.
- Winblad, U., & Simpson-Hébert, M. (2004). *Ecological Sanitation* (revised and enlarged edition), 147.
- Winker, M., & Saadoun, A. (2011). Urine and brownwater separation at GTZ main office building Eschborn, Germany - Case study of sustainable sanitation projects. *Sustainable Sanitation Alliance (SaSanA)*. Recuperado a partir de <http://www.susana.org/en/resources/case-studies/details/63>
- Women in Europe for a Common Future (WEFC). (2015). *Urine Diverting Dry Toilets – Principles, Operation and Construction, 2nd revised edition*. Recuperado a partir de [www.sanitation.wecf.eu/](http://www.sanitation.wecf.eu/)
- World Health Organization (WHO). (1992). *A Guide to the development of on-site sanitation*. Geneva, Switzerland. Recuperado a partir de [http://whqlibdoc.who.int/publications/1992/9241544430\\_en%0Ag.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/1992/9241544430_en%0Ag.pdf)
- World Health Organization (WHO). (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Excreta and greywater use in agriculture*. World Health Organization (Vol. IV). France. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- World Health Organization (WHO). (2016). *Nota descriptiva N° 387, en el Centro de Prensa sobre Enfermedades Transmitidas por Vectores*. Recuperado a partir de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/es/>
- World Health Organization (WHO). (2017). Hojas informativas sobre enfermedades relacionadas con el agua. Recuperado a partir de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/diseasefact/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/)
- World Water Assessment Programme (WWAP). (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. Paris, UNESCO.
- Zambrano, D. (2012). *Minimización y prevención como estrategia para el control de la contaminación por aguas residuales municipales en la zona de expansión de Cali*. Universidad del Valle.

- Zeng, G., Jiang, R., Huang, G., Xu, M., & Li, J. (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*, 82(2), 250–259.
- Zhang, D. (2008). *Reuse-oriented decentralized wastewater treatment based on ecological sanitation in fast growing agglomerations*. Dortmund, Germany.

## **9 APÉNDICES**

## APÉNDICE 1. ENCUESTA REALIZADA EN LA COMUNIDAD

Número \_\_\_\_\_

La siguiente encuesta es parte esencial del proyecto: Desarrollo de un Tratamiento de Aguas Residuales en un Asentamiento Informal, el cual será elaborado por la estudiante Máryeluz Rueda Morales del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El propósito principal es conocer sobre: información general del asentamiento, las condiciones de saneamiento y el manejo de las aguas residuales, que existen actualmente en el barrio. Cabe mencionar que la información brindada es sólo para fines académicos y será tratada con total confidencialidad y discreción.

### INFORMACIÓN GENERAL

#### Datos generales

¿Cuál es su género?

- Masculino  
 Femenino  
 Otro: \_\_\_\_\_

¿Cuál es su edad?

- Igual o menor a 20  
 Entre 21-30 años  
 Entre 31-40 años  
 Entre 41-50 años  
 Entre 51-60 años  
 Mayor a 61 años

¿Cuál es su ocupación?

- Estudia  
 Trabaja  
 Está desempleado (a)  
 Otro: \_\_\_\_\_

(Si contesta **trabaja** pase a la pregunta 4, si no a la 5)

¿En qué sector labora?

- Agropecuario  
 Industrial  
 Servicios  
 Otro: \_\_\_\_\_

¿Cuántas personas habitan en la vivienda?

- 1  
 2  
 3  
 4  
 5  
 Más de 5

#### Datos de la vivienda y servicios básicos

La vivienda en la que habita es:

- Propia totalmente pagada  
 Propia pagando a plazos  
 Alquilada  
 Prestada

En precario \*\* (término según INEC)

Otro: \_\_\_\_\_

¿En la vivienda cuentan con servicio de electricidad?

Si

No

¿En la vivienda cuentan con servicio de agua de potable?

Si

No

(Si la respuesta es Sí, pase a la pregunta 10)

¿De dónde obtienen el agua que consumen en su hogar?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿De qué manera se eliminan los residuos en su vivienda?

Pasa un camión recolector

Se botan en un hueco o entierran

Se queman

Se botan en un lote baldío

Se botan en el río

Otro: \_\_\_\_\_

### **Manejo de aguas residuales en la vivienda**

¿En su vivienda se separan las aguas negras de las grises? \*\*Explicar cada una.

Si

No

(Si la respuesta es No pase a la pregunta 14)

¿Qué tipo de sistema se usa para tratar las aguas pardas?

Tanque séptico

Letrina

Alcantarillado

Salida directa al río

Otro: \_\_\_\_\_

¿Qué tipo de sistema se usa para tratar las aguas grises?

Tanque séptico

Alcantarillado

Salida directa al río

Otro: \_\_\_\_\_

(Pasar a la pregunta 15)

¿Qué sistema se usa para tratar las aguas negras y grises?

Tanque séptico

Letrina

Alcantarillado

Salida directa al río

Otro: \_\_\_\_\_

### **Operación y mantenimiento del sistema**

¿Sabe qué tipo de mantenimiento se le debe dar al sistema que usa para tratar las aguas residuales?

Si

No



(Si la respuesta es No pase a la pregunta 17)

¿Qué tipo de actividades de mantenimiento realiza?

---

---

¿Ha recibido alguna capacitación respecto al tipo de mantenimiento que debe darle a su sistema?

Si

No

(Si la respuesta es No pase a la pregunta 19)

¿Quién le brindó la capacitación?

---

---

¿Alguna vez ha tenido algún problema con las aguas residuales de su vivienda?

Si

No

(Si la respuesta es No pase a la pregunta 21)

Mencione qué tipo de problema y cómo lo solucionó.

---

---

### **Condiciones de saneamiento en la comunidad**

¿De qué manera tienen acceso al agua en el sector en el que habita?

Tubería AyA

ASADA

Municipalidad

Empresa privada

Pozo privado

Pozo público

Otro: \_\_\_\_\_

¿Cuáles cree que son los problemas de aguas residuales más importantes que tiene la comunidad?

---

---

¿Alguna Institución les ha ofrecido ayuda para tratar el asunto de las aguas residuales en la comunidad?

Si

No

(Si la respuesta es No pase a la pregunta 25)

¿Cuál Institución?

---

---

Si se implementara un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales preferiría que trate las aguas:

Sólo de su vivienda

De toda la comunidad

### Apreciación del ambiente

¿Cree que el ambiente en el que vive es saludable?

Si

No

¿Porqué?

---

---

¿Cree que el ambiente en el que vive ha afectado de alguna manera su salud y la de su familia?

Si

No

¿Porqué?

---

---

¿Con qué frecuencia se enferman en su hogar? **\*\*\*revisar esta pregunta**

Nunca

Casi nunca

Siempre

Casi siempre

¿Le gustaría mejorar el lugar en el que vive? ¿Qué haría para mejorarlo?

---

---

---

---

---

### SOLUCIONES RECOMENDADAS

De las siguientes opciones, enumere en orden de prioridad en una escala del **1 al 6** (siendo 1 más prioritario y 6 menos prioritario), las acciones que se pueden implementar en su comunidad para mejorar la calidad del ambiente:

Crear más zonas verdes (siembra de plantas y árboles)

Crear grupos de voluntarios que realicen limpieza en la comunidad

Tratamiento de todas las aguas residuales de la comunidad

Mejorar la calidad del río

Hacer campañas de concientización respecto al correcto manejo de aguas residuales y residuos

Mejorar el estado de las viviendas

## ACEPTACIÓN DE NUEVAS ALTERNATIVAS

### Opinión sobre nuevas soluciones de saneamiento

A continuación, se mencionan algunas nuevas opciones que se podrían implementar para tratar las aguas residuales del lugar. Marque con una **X** qué grado de aceptación tendría respecto a la propuesta. La escala va desde “Muy de acuerdo” siendo el mayor grado de aceptación, hasta “Muy en desacuerdo” siendo el menor grado de aceptación.

Propuesta	De acuerdo	No está seguro (a)	En desacuerdo
Separar la orina de su vivienda, almacenarla y usarla para fines agrícolas.			
Separar la orina de toda la comunidad, almacenarla y usarla para fines agrícolas.			
Separar las heces de su vivienda, almacenarlas y usarla para fines agrícolas.			
Separar las heces de toda la comunidad, almacenarla y usarla para fines agrícolas.			
No quiere un nuevo sistema, está satisfecho (a) con el que ya tiene.			
Construir un sistema de tratamiento de aguas residuales para toda la comunidad.			
Conectarse al alcantarillado sanitario.			

¿Cuál considera que sería la solución para acabar con el problema de aguas residuales de la comunidad?

---

---

## APÉNDICE 2. RESULTADOS CUALITATIVOS DE LAS ENCUESTAS

En el Cuadro A.2.1 se muestra un resumen de las opiniones de las personas encuestadas respecto a las condiciones de saneamiento en la comunidad. Algunas respuestas eran muy parecidas, por tanto, se mencionan más comunes.

**Cuadro A.2.1 Opinión de las personas encuestadas respecto a las condiciones de saneamiento en la comunidad**

Preguntas	Respuestas
¿Qué tipo de problemas ha tenido en su vivienda relacionados con las aguas residuales?	<p>→ Hay muchos problemas con los malos olores, las cañerías se taquean sin embargo no se ha hecho nada para solucionarlo.</p> <p>→ Ha habido desborde de aguas negras en la vivienda.</p> <p>→ Hay muchos problemas de zancudos en el lugar por las aguas estancadas.</p>
¿Cuáles cree que son los problemas de aguas residuales más importantes que tiene la comunidad?	<p>→ No hay ningún problema.</p> <p>→ Muchas de las aguas negras no están entubadas y van a caer al río.</p> <p>→ Antes había caños limpios, incluso se podían bañar en el río hace como 21 años, ahora se tira la comida ahí, no hay caños, son como cunetas. Como las industrias desechan la basura en el río ellos también se ven con el derecho de hacerlo. No hay campo para reciclar, además les da pereza hacerlo. El problema de mejorar el estado de las viviendas es que es zona de riesgo, tampoco hay calle, solo piedras. Las personas, aunque saben que deben mantener la comunidad limpia no lo hacen, si no que se desentendieron de la problemática.</p> <p>→ Hay malos olores, estancamiento de aguas residuales en las aceras, calles, por todo lado.</p> <p>→ No hay alcantarillas y cuando se llenan los caños todo se sale por la calle. Además, tampoco hay aceras.</p> <p>→ Las calles están en mal estado, las aguas de los inodoros pasan por la calle, hay basura.</p>
¿Por qué cree que el ambiente en el que vive es saludable?	<p>→ Tienen todos los servicios básicos.</p> <p>→ Se ve aseado en comparación con otros lugares.</p> <p>→ Aparte de las aguas de la calle, no hay ningún otro problema.</p> <p>→ Existen las condiciones adecuadas donde vive.</p>
¿Por qué cree que el ambiente en el que vive no es saludable?	<p>→ Porque hay contaminación, heces, se quema basura, se tiran aguas jabonosas a la calle lo cual puede provocar hepatitis.</p> <p>→ Por las enfermedades, y como no hay seguro médico no tienen dónde ir.</p> <p>→ Hay muchos zancudos por las aguas estancadas. Todos se enferman.</p> <p>→ Por el río, debido a que está contaminado y hay malos olores.</p> <p>→ En el barrio hay mucha gente desaseada, no tienen la cultura de limpiar.</p> <p>→ La basura que hay tirada se pudre, hay malos olores y se contamina el ambiente.</p> <p>→ Ellos queman la basura porque les queda más cómodo y cerca. Hay gente que la tira al río y no la quema.</p> <p>→ Cuando llueve hay mucho barro y malos olores.</p>
¿Cuál considera que es la solución para acabar con el problema de aguas residuales en la comunidad?	<p>→ Le gustaría irse a vivir a otro sitio. No sabe qué se podría hacer para mejorar el lugar.</p> <p>→ Dejar de tirar desechos en los caños, entubar las aguas residuales de toda la comunidad.</p> <p>→ Las aguas residuales de la zona Los Mangos cae por un lote, no hay tubería, se debería hacer algo.</p> <p>→ Que se conecten las aguas a la planta de tratamiento que hay en Pavas (Los Tajos)</p> <p>→ Se debe capacitar y concientizar a las personas, aunque son muy difíciles.</p> <p>→ Diseñar algo para que las aguas no vayan al río. Pero ella cree que ya no hay solución, y que el río ya es para eso.</p> <p>→ Que las aguas no vayan a dar al río porque huele mal, pasa cerca de las casas, y en invierno crece y se sale en la calle.</p> <p>→ Poner tanque séptico en cada casa.</p>

## APÉNDICE 3. RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES



**Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Fundación Tecnológica de Costa Rica**

**Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos  
CEQIATEC**

### Informe de Resultados de Análisis

<b>Cliente:</b> Tesis "aguas Residuales del Bajo Los Anonos" Maryeluz Rueda Morales	<b>Fecha Muestreo:</b> 11-05-17
<b>Tipo de Muestra:</b> Agua Residual	<b>Fecha Recepción:</b> 11-05-17
<b>Solicitado por:</b> Diana Zambrano	<b>Fecha Inicio análisis:</b> 11-05-17
<b>Dirección:</b> provincia: San José, cantón: Escazú, distrito: Escazú. Otras Señas: Barrio Bajo Los Anonos.	<b>Fecha Reporte:</b> 22-05-17
<b>Descripción de la Muestra:</b> Consecutivo 01: Tubería	<b>Código Muestra:</b> 560517
<b>Tipo de actividad:</b> No aplica	
<b>Tipo de muestreo:</b> Puntual, hora de toma: 12:00 p.m.	
<b>Muestreado por:</b> el cliente.	
<b>Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC:</b> No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(69 ± 6)	5210 – B

#### Observaciones

(\*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

(\*\*) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

### Informe de Resultados de Análisis

<b>Cliente:</b> Tesis "aguas Residuales del Bajo Los Anonos" Maryeluz Rueda Morales	<b>Fecha Muestreo:</b> 11-05-17
<b>Tipo de Muestra:</b> Agua Residual	<b>Fecha Recepción:</b> 11-05-17
<b>Solicitado por:</b> Diana Zambrano	<b>Fecha Inicio análisis:</b> 11-05-17
<b>Dirección:</b> provincia: San José, cantón: Escazú, distrito: Escazú. Otras Señas: Barrio Bajo Los Anonos.	<b>Fecha Reporte:</b> 22-05-17
<b>Descripción de la Muestra:</b> Consecutivo 02: Calle	<b>Código Muestra:</b> 560517
<b>Tipo de actividad:</b> No aplica	
<b>Tipo de muestreo:</b> Puntual, hora de toma: 12:10 p.m.	
<b>Muestreado por:</b> el cliente.	
<b>Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC:</b> No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(123 ± 14)	5210 – B

#### Observaciones

(\*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

(\*\*) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

### Informe de Resultados de Análisis

<b>Cliente:</b> Tesis "aguas Residuales del Bajo Los Anonos" Maryeluz Rueda Morales	<b>Fecha Muestreo:</b> 11-05-17
<b>Tipo de Muestra:</b> Agua Residual	<b>Fecha Recepción:</b> 11-05-17
<b>Solicitado por:</b> Diana Zambrano	<b>Fecha Inicio análisis:</b> 11-05-17
<b>Dirección:</b> provincia: San José, cantón: Escazú, distrito: Escazú. Otras Señas: Barrio Bajo Los Anonos.	<b>Fecha Reporte:</b> 22-05-17
<b>Descripción de la Muestra:</b> Consecutivo 03: Quebrada	<b>Código Muestra:</b> 560517
<b>Tipo de actividad:</b> No aplica	
<b>Tipo de muestreo:</b> Puntual, hora de toma: 12:15 p.m.	
<b>Muestreado por:</b> el cliente.	
<b>Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC:</b> No. 2872-2015 emitido el 15-10-2015 vence 15-10-2017	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	(36 ± 3)	5210 – B

**Observaciones**

(\*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

(\*\*) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

## APÉNDICE 4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y COSTOS DE TECNOLOGÍAS DE SANEAMIENTO

### A.4.1 CÁMARAS DE COMPOSTAJE

Dos de los sistemas propuestos en este trabajo incluyen el uso de cámaras de compostaje para el tratamiento de la excreta. La diferencia entre ambos radica en el tipo de inodoro que utilizan y el efluente que debe ser tratado; siendo inodoros de bajo caudal (0.5 litros de agua por descarga) (Lins, 2014) en el primer caso, e inodoros secos con separación de orina en el segundo. Para ambas cámaras de compostaje el diseño y las dimensiones son los mismos, sin embargo, ambas presentan ciertas diferencias que se detallan a continuación en el Cuadro A.4.1 (Berger, 2011; Rosales, 2008; Tilley, Lüthi, Morel, Zurbrügg, & Schertenleib, 2014).

**Cuadro A.4.1. Comparación entre compostaje con inodoros secos con separación de orina y compostaje con inodoros de bajo caudal.**

Parámetro calculado	Compostaje con inodoro seco y separación de orina	Compostaje con inodoro de bajo caudal
Separación de orina	-Sí	-No
Agua de descarga	-No	-Sí (0.5 l)
Material que ingresa a la cámara para el tratamiento	-Heces -Material de relleno (virutas de madera, corteza de árboles, ceniza, aserrín, papel)	-Heces -Orina -Agua descarga del inodoro -Material de relleno (virutas de madera, corteza de árboles, ceniza, aserrín, papel)
Tecnologías que componen el sistema de saneamiento	-Inodoro seco con separación de orina -Cámara de compostaje (heces, material de relleno) -Tanque de almacenamiento de orina (orina) -Biojardinera (aguas grises)	-Inodoro de bajo caudal -Cámara de compostaje (heces, orina, material de relleno, agua de descarga) -Biojardinera (aguas grises, lixiviados)
Producción de lixiviados	-No	-Sí

Aunque el inodoro puede recibir también papel higiénico, el diseño presentado en este trabajo solo tomará en cuenta la adición del material orgánico (virutas de madera, corteza de árboles, ceniza, aserrín, papel). La Figura A.4.1 muestra el diseño típico de las cámaras de compostaje.





Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
3	Volumen al final del primer año ( $V_{12}$ )	$V_{12} = V_1 \times X_1$	$V_{12}$ = Volumen al final del primer año (litros) $X_1$ = Excreta restante en el primer año (%) La materia al reducirse un 70 % en el primer año, por lo que se obtiene que $X_1 = 30\%$
4	Volumen al inicio del mes trece ( $V_{13}$ )	$V_{13} = V_{12}$	$V_{13}$ = Volumen al inicio del mes trece (litros)
5	Volumen al final del segundo año ( $V_{24}$ )	$V_{24} = V_{13} \times X_2$	$V_{12}$ = Volumen al final del segundo año (litros) $X_2$ = Excreta restante en el segundo año (%) La razón de cambio para el segundo año es de un 53.33 % (100:30 :: X:14; donde esa proporción permite un valor relativo de cambio $X_2 = 46.667\%$ )
6	Volumen al inicio del mes veinticinco ( $V_{25}$ )	$V_{25} = V_{24}$	$V_{25}$ = Volumen al inicio del mes veinticinco (litros)
7	Volumen al final del tercer año ( $V_{36}$ )	$V_{36} = V_{24} \times X_3$	$V_{36}$ = Volumen al final del tercer año (litros) $X_3$ = Excreta restante en el tercer año (%) La razón de cambio para el tercer año es de un 57.14 % (100:14 :: X:6; donde esa proporción permite un valor relativo de cambio $X_3 = 42.857\%$ )

#### A.4.1.2 Parámetros de diseño

A continuación se mencionan los parámetros de diseño usados para la construcción de las cámaras de compostaje, los cuales fueron definidos por (Rosales, 2008):

- Número de usuarios: 6 personas (INEC, 2014), encuesta realizada en este trabajo).
- Producción de excreta semanal por persona: 0.757 litros.
- Material de relleno semanal por persona: 1 litro.
- Tiempo de almacenamiento antes del vaciado: 3 años o 37 meses.
- Altura del tanque: 1,20 m (no mayor a 120 cm).
- Ancho del tanque: 0,74 m (no mayor a 120 cm).
- Para permitir el drenaje de los lixiviados es necesario un entrepiso, el cual tiene 10 cm de grosor y orificios de 2 cm de diámetro.
- Grosor de las paredes del tanque: 10cm (valor asumido).

### A.4.1.3 Cálculo de las dimensiones

En la Figura A.4.2. se muestra para el tercer año el procedimiento desarrollado por Rosales (2006, 2008). En el encabezado (tres primeras filas) y la primera columna se observan los meses. La segunda columna son las contribuciones anteriores (volumen degradado y que se va acumulando en el recipiente). Los demás valores anotados son litros.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
1	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14	4,84	4,53	4,23	3,93	3,63	3,32	3,02	2,72
2	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14	4,84	4,53	4,23	3,93	3,63	3,32	3,02
3	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14	4,84	4,53	4,23	3,93	3,63	3,32
4	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14	4,84	4,53	4,23	3,93	3,63
5	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14	4,84	4,53	4,23	3,93
6	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14	4,84	4,53	4,23
7	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14	4,84	4,53
8	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14	4,84
9	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44	5,14
10	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74	5,44
11	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04	5,74
12	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35	6,04
13	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95	6,35
14	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56	6,95
15	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16	7,56
16	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76	8,16
17	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37	8,76
18	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97	9,37
19	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58	9,97
20	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18	10,58
21	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79	11,18
22	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39	11,79
23	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99	12,39
24	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60	12,99
25	45,33	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24	13,60
26	499,09	45,33	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89	16,24
27			45,33	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53	18,89
28				45,33	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18	21,53
29					45,33	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82	24,18
30						45,33	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46	26,82
31							45,33	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11	29,46
32								45,33	42,69	40,04	37,40	34,75	32,11
33									45,33	42,69	40,04	37,40	34,75
34										45,33	42,69	40,04	37,40
35											45,33	42,69	40,04
36												45,33	42,69
37													45,33
	505,14	510,88	516,32	521,46	526,29	530,83	535,06	538,99	542,61	545,94	548,96	551,68	

Figura A.4.2. Volumen de materia acumulada y degradada durante el tercer año ( Fuente (Rosales, 2008)).

Se concluyó que al final del tercer año (mes 37) se proyecta una acumulación de 551,68 l. Por esta razón, para permitir que la materia fecal se acomode adecuadamente y sea fácilmente manipulada, se recomienda que el taque a utilizar no sea menor a ese volumen. En este caso, Rosales (2008) recomienda un tanque con un volumen de 800 l. En el Cuadro A.4.3 se detallan los parámetros de entrada y los datos obtenidos del dimensionamiento.

**Cuadro A.4.3. Datos de entrada y dimensionamiento de la cámara de compostaje.**

<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	
Número de usuarios	n	6
Producción de excreta semanal por vivienda (litros)		4.54
Material de relleno semanal por vivienda (litros)		6
Tiempo de almacenamiento (años)		3
<b>DIMENSIONAMIENTO</b>		
<b>Cámara de Compostaje</b>		
Materia para compostaje por mes, por vivienda (l/mes)	M	45.33
Volumen acumulado después de tres años (l)	V	551.68
Volumen propuesto (m <sup>3</sup> )	V <sub>t</sub>	0.80
Altura del tanque (m)		1.2
Ancho del tanque (m)		0.74
Largo del tanque (m)		0.90
<b>Entrepiso</b>		
Área del entrepiso (m <sup>2</sup> )		0.667
Altura (m)		0.10
Diámetro de orificios (m)		0.02
Número de orificios		20
<b>Compuertas</b>		
Compuerta para extraer el compost (m)	Largo	0,44
	Ancho	0,24
Ventana acrílica fija para inspección (m)	Largo	0,10
	Ancho	0,20

#### **A.4.1.4 Cantidad de obra y presupuesto**

A partir del dimensionamiento realizado de las cámaras de compostaje, se obtuvieron los costos de inversión inicial de las mismas. En el Cuadro A.4.4 se detalla la cantidad de obra y presupuesto necesarios para la construcción de las cámaras de compostaje con inodoros de

bajo caudal. En el Cuadro A.4.5 se observan los mismos datos para el caso de las cámaras de compostaje donde se utilizan inodoros secos con separación de orina. Los costos obtenidos hacen referencia a la implementación de esta tecnología a nivel de toda la comunidad, por lo que se requieren 216 cámaras.

**Cuadro A.4.4 Cantidad de obra y presupuesto de las cámaras de compostaje con inodoros de bajo caudal.**

Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
<b>Inodoro</b>	Inodoro de bajo caudal	Unidades	216	405879	87669865
<b>Cámara de compostaje</b>	Saco de cemento 50 kg	Unidades	96	6199	596333
	Arena	m <sup>3</sup>	8	15723	121002
	Varilla 3/8"	Unidades	1336	2911	3889575
	Grava	m <sup>3</sup>	10	15950	153436
	Tubería PVC ventilación 4"	Unidades	216	65305	14105880
<b>Servicios</b>	Excavación	m <sup>3</sup>	313	7696	2408368
	Movimiento de suelo	m <sup>3</sup>	313	9231	2888655
	Mano de obra	m <sup>3</sup>	313	14694	4598306
	Servicios técnicos	Salario mensual	1	629395	629395
<b>TOTAL</b>					117 060 817

**Cuadro A.4.5. Cantidad de obra y presupuesto de las cámaras de compostaje con inodoros secos y separación de orina.**

Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
<b>Inodoro</b>	Inodoros secos con separación de orina	Unidades	216	93474	20190384
<b>Cámara de compostaje</b>	Saco de cemento 50 kg	Unidades	96	6199	596333
	Arena	m <sup>3</sup>	8	15723	121002
	Varilla 3/8"	Unidades	1336	2911	3889575
	Grava	m <sup>3</sup>	10	15950	153436
	Tubería PVC ventilación 4"	Unidades	216	65305	14105880
<b>Servicios</b>	Excavación	m <sup>3</sup>	313	7696	2408368
	Movimiento de suelo	m <sup>3</sup>	313	9231	2888655
	Mano de obra	m <sup>3</sup>	313	14694	4598306
	Servicios técnicos	Salario mensual	1	629395	629395
<b>TOTAL</b>					49 581 335

El costo de los inodoros se obtuvo a partir de los modelos que se venden en el mercado. La proporción de materiales requeridos se estimó siguiendo la metodología descrita por Construrama (2013). En tanto el costo de los materiales se estimó a partir de consulta a las ferreterías del país. Los costos de excavación se obtuvieron producto de la consulta a una Ingeniera en Construcción, donde se estimó que el m<sup>3</sup> de excavación es de ¢5200 más un 45% por cargas sociales. El costo de movimiento de suelo se estimó consultando a una empresa dedicada a esta actividad, donde mover 6.5 m<sup>3</sup> equivale a ¢60000, por lo tanto, el m<sup>3</sup> tendría un valor aproximado de ¢9231.

Los costos de mano de obra se presentan por m<sup>3</sup>, considerando la mano de obra comunal aportada a un precio de 1500 la hora. Aunque este costo correría por cuenta de los mismos habitantes del sitio, es necesario estimarlo para obtener el costo real de las cámaras. Además incluye el costo de los servicios de un fontanero o albañil a un costo de 2000 la hora (Cubillo & Gómez, 2017). Los costos de servicios técnicos corresponden al salario mensual de un Ingeniero encargado del diseño de las cámaras.

#### A.4.2 CÁMARAS DE DESHIDRATACIÓN

Las cámaras de deshidratación propuestas permiten el tratamiento de la excreta (heces y orina) a nivel de la vivienda. Esta tecnología requiere la separación de la orina, por lo que es necesario tomar en cuenta el uso de tanques de almacenamiento de orina, además es necesario el tratamiento de aguas grises en un sistema aparte, para lo cual se proponen biojardineras. En la Figura A.4.3 se muestra el diseño típico de cámaras de deshidratación dobles y con un espacio para la colocación de tanques de almacenamiento de orina.

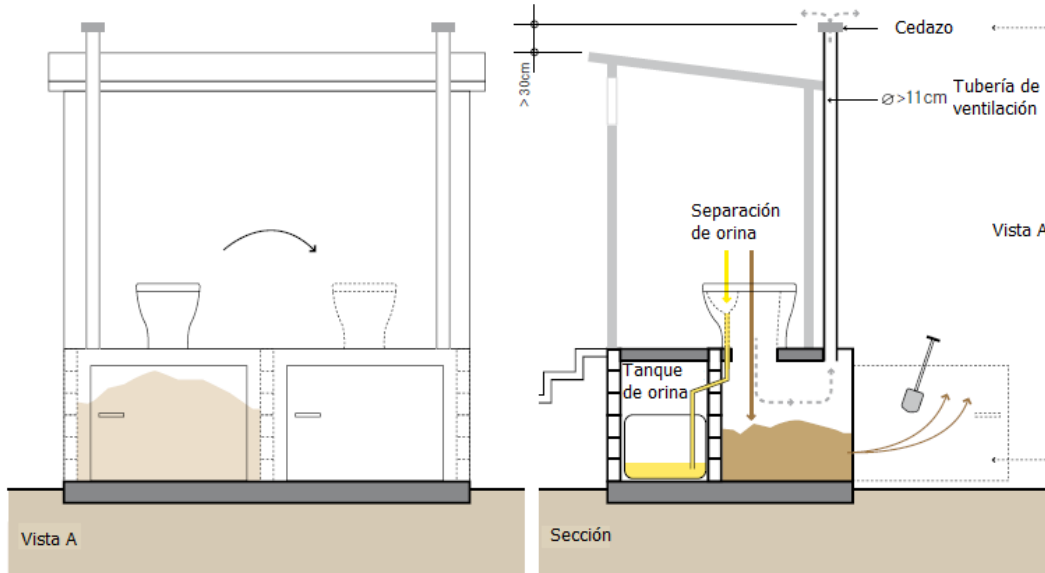


Figura A.4.3. Diseño de las cámaras de deshidratación de heces.  
(Fuente (Tilley et al., 2014))

#### A.4.2.1 Fórmulas usadas para el diseño

Para el diseño de las cámaras de deshidratación se tomó como base la metodología de cálculo descrita por (Rieck, von Münch, & Hoffmann, 2012). Se propone la construcción de dos cámaras por vivienda del mismo tamaño, de este modo mientras una está en funcionamiento, la otra se deja reposar por un año para que las heces se sequen. A continuación, en el Cuadro A.4.6 se muestran las fórmulas usadas.

Cuadro A.4.6. Fórmulas para el dimensionamiento de las cámaras de deshidratación.

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
1	Cantidad de heces generadas en la vivienda en un año (H)	$H = (f_a \times a + f_n \times n) \times x$	H = Cantidad de heces generadas en la vivienda en un año (kg/año) $f_a$ = Producción de heces de una persona adulta (kg/persona/año) $f_n$ = Producción de heces de un niño (kg/persona/año) a = Número de adultos en la vivienda n = Número de niños en la vivienda x = Fracción de tiempo que se utiliza el inodoro (%)
2	Masa húmeda de heces ( $m_{w1}$ )	$m_{w1} = H \times w_1$	$m_{w1}$ = Masa húmeda de las heces (kg/año) $w_1$ = Contenido inicial de humedad en las heces (%)

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
3	Masa seca de heces ( $m_s$ )	$m_s = H \times s$	$m_s$ = Masa seca de las heces (kg/año) $s$ = Contenido de material seco en las heces (%)
4	Masa húmeda de heces después de la deshidratación ( $m_{w2}$ )	$m_{w2} = m_{w1} \times w_2$	$m_{w2}$ = Masa húmeda después de la deshidratación (kg/año) $w_2$ = Contenido de humedad en las heces después de la deshidratación (%)
5	Papel higiénico generado ( $p$ )	$p = f_p \times (a + n)$	$p$ = Total de papel higiénico generado (kg/año) $f_p$ = Papel higiénico generado por persona (kg/persona/año)
6	Material de cobertura necesario ( $c$ )	$c = f_c \times (a + n)$	$c$ = Material de cobertura total (kg/año) $f_c$ = Material de cobertura necesario por persona (kg/persona/año)
7	Material total producido en la vivienda en un año ( $M_T$ )	$M_T = m_s + m_{w2} + p + c$	$M_T$ = Material total producido en la vivienda (kg/año) Se obtiene de la suma de las ecuaciones 3,4,5 y 6
8	Volumen requerido ( $V_T$ )	$V_T = \frac{(M_T + (M_T \times e)) \times d}{1000}$	$V_T$ = Volumen requerido para un año de almacenamiento ( $m^3$ ) $e$ = Margen de seguridad (%) $d$ = Densidad de las heces (1 kg/l)
9	Largo (L) Ancho (A) Altura (h)	$L = A = h = \sqrt[3]{V_T}$	$L$ = Largo de la cámara (m) $A$ = Ancho de la cámara (m) $h$ = Altura de la cámara (m)

#### A.4.2.2 Parámetros de diseño

- Número de usuarios por vivienda: 6 personas; 4 adultos y 2 niños ((INEC, 2014), encuesta).
- Período de almacenamiento para climas cálidos: 1 año (World Health Organization (WHO), 2006).
- Producción de heces de una persona adulta con una dieta alta en fibra: 146 kg/persona/año (World Health Organization (WHO), 1992).
- Producción de heces de un niño: 54.75 kg/niño/año (World Health Organization (WHO), 1992).
- Porcentaje de humedad de las heces: 80% (Jönsson, Richert, Vinnerås, & Salomon, 2004).
- Material de cobertura: 18.25 kg/persona/año (Jönsson et al., 2004).
- Papel higiénico: 8.90 kg/persona/año (Jönsson et al., 2004).

- Densidad de heces: 1 kg/l (Rieck et al., 2012).
- Porcentaje del volumen de heces depositado en la vivienda: 80% (Rieck et al., 2012).
- Margen de seguridad (heces extra de visitantes, etc): 20% (Rieck et al., 2012).
- Contenido de humedad en las heces después de la deshidratación: 25% (World Health Organization (WHO), 2006).

#### A.4.2.3 Cálculo de las dimensiones

Con base en las fórmulas descritas se realizó el dimensionamiento de las cámaras de deshidratación. El Cuadro A.4.7 muestra los datos de entrada y los resultados de las medidas de una de las cámaras, sin embargo, se debe considerar la construcción de 2 por vivienda, cuyas dimensiones serían las mismas.

**Cuadro A.4.7. Datos de entrada y dimensionamiento de las cámaras de deshidratación.**

<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Número de usuarios	adultos	4
	niños	2
Cantidad de heces totales generadas en un año (kg/año)	H	554,80
Masa húmeda de las heces (kg/año)	m <sub>w1</sub>	443.84
Masa seca de las heces (kg/año)	m <sub>s</sub>	110.96
Masa húmeda después de la deshidratación (kg/año)	m <sub>w2</sub>	110.96
Papel higiénico total generado (kg/año)	p	53.40
Material de cobertura total (kg/año)	c	109.50
Tiempo de almacenamiento (año)		1
<b>DIMENSIONAMIENTO</b>		
<b>Cámaras de deshidratación</b>		
Material total producido en la vivienda (kg/año)	M <sub>T</sub>	384.82
Volumen total requerido (m <sup>3</sup> )	V <sub>T</sub>	0.46
Ancho de la cámara (m)	A	0.77
Largo de la cámara (m)	L	0.77
Altura de la cámara (m)	h	0.77

#### A.4.2.3 Cantidad de obra y presupuesto

A partir del dimensionamiento realizado de las cámaras de deshidratación, se estimaron los costos de inversión inicial de las mismas. En el Cuadro A.4.8 se detalla la cantidad de obra y presupuesto necesarios para la construcción de las cámaras de deshidratación, donde se



utilizan inodoros secos con separación de orina. Los costos obtenidos hacen referencia a la implementación de esta tecnología a nivel de toda la comunidad, es decir, de 216 cámaras.

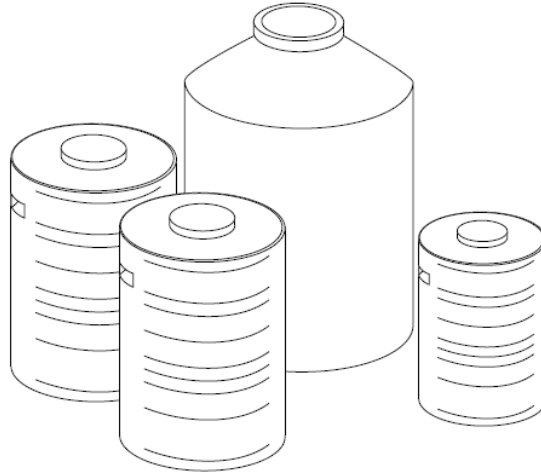
**Cuadro A.4.8. Cantidad de obra y presupuesto de las cámaras de deshidratación de heces.**

Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (C\$)	Subtotal (C\$)
<b>Inodoro</b>	Inodoros secos con separación de orina	Unidades	216	93474	20190384
<b>Cámara de deshidratación</b>	Saco de cemento 50 kg	Unidades	116	6199	719964
	Arena	m <sup>3</sup>	9	15723	146088
	Varilla 3/8"	Unidades	1613	2911	4695955
	Grava	m <sup>3</sup>	12	15950	185246
	Tubería PVC ventilación 4"	Unidades	216	65305	14105880
<b>Servicios</b>	Excavación	m <sup>3</sup>	398	7696	3062021
	Movimiento de suelo	m <sup>3</sup>	398	9231	3672663
	Mano de obra	m <sup>3</sup>	398	14694	5846328
	Servicios técnicos	Salario mensual	1	629395	629395
<b>TOTAL</b>					<b>53 253 923</b>

La metodología utilizada para la estimación de los costos es la misma que fue descrita anteriormente para las cámaras de compostaje.

#### A.4.3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ORINA

El uso del tanque de almacenamiento de orina es necesario en el caso de los sistemas individuales con inodoros secos con separación de orina. Se propone comprar un modelo prefabricado, por lo que no se construirá el tanque, sin embargo, es necesario hacer un predimensionamiento para estimar el volumen requerido y de esta manera elegir el que mejor se adapte a la vivienda.



**Figura A.4.4. Tanques de almacenamiento de orina.**  
(Fuente (Tilley et al., 2014))

#### A.4.3.1 Fórmulas usadas para el diseño

Para obtener el volumen del tanque de almacenamiento de orina se usaron fórmulas básicas. Primero se determinó la producción per cápita de orina, y con el tiempo de almacenamiento se determinó el volumen requerido. Se utilizará un tanque prefabricado, por lo que las dimensiones como la altura, el largo, ancho y la forma dependen de los modelos que se venden en el mercado. A continuación, en el Cuadro A.4.9 se muestran las fórmulas utilizadas.

**Cuadro A.4.9. Fórmulas para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento de orina.**

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
1	Orina generada en la vivienda mensualmente ( $O_m$ )	$O_m = [(X_a \times a) + (X_n \times n)] \times d \times f$	$O_m$ = Orina generada en la vivienda mensualmente (l/mes) $X_a$ = Orina producida por un adulto (l/persona/día) $X_n$ = Orina producida por un niño (l/persona/día) $a$ = Número de adultos en la vivienda $n$ = Número de niños en la vivienda $d$ = Cantidad de días que tiene un mes (se usó 30) $f$ = Fracción de tiempo que se utiliza el inodoro
2	Volumen de orina generado en el tiempo de	$O_{6m} = O_m \times t$	$O_m$ = Orina generada en el tiempo de almacenamiento (litros) $t$ = Tiempo de almacenamiento (meses)

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
	almacenamiento ( $O_{6m}$ )		
3	Margen de seguridad (m)	$m = O_{6m} \times s$	m = Margen de seguridad (litros) s = Factor de seguridad (%)
9	Volumen total requerido (litros)	$V_t = O_{6m} + m$	$V_t$ = Volumen total requerido (litros)

#### A.4.3.2 Parámetros de diseño

- Número de usuarios por vivienda: 6 personas; 4 adultos y 2 niños ((INEC, 2014), encuesta).
- Orina producida diariamente por un adulto: 1.50 l (Jönsson et al., 2004; World Health Organization (WHO), 2006).
- Orina producida diariamente por un niño: la mitad de lo generado por un adulto, es decir, aproximadamente 0.75 l (Jönsson et al., 2004).
- Período de almacenamiento de la orina: 6 meses (World Health Organization (WHO), 2006).
- Fracción de tiempo que se utiliza el inodoro: 80% (Rieck et al., 2012).
- Margen de seguridad: 20% (Rieck et al., 2012).

#### A.4.3.3 Cálculo de las dimensiones

A partir de las fórmulas mencionadas anteriormente y con los parámetros de diseño se obtuvo el volumen del tanque requerido para el almacenamiento de la orina. En el Cuadro A.4.10 se muestran los resultados.

**Cuadro A.4.10. Datos de entrada y dimensionamiento del tanque de almacenamiento de orina.**

DATOS DE ENTRADA		
Parámetro	Unidad	Valor
Número de usuarios	adultos	4
	niños	2
Orina producida por un adulto (l/persona/día)	$X_a$	1.50
Orina producida por un niño (l/persona/día)	$X_n$	0.75
Tiempo de almacenamiento (meses)	t	6

<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Fracción de tiempo que se utiliza el inodoro	f	80%
Factor de seguridad	s	20%
<b>DIMENSIONAMIENTO</b>		
<b>Tanque de almacenamiento de orina</b>		
Orina generada mensualmente en la vivienda (l/mes)	O <sub>m</sub>	180
Volumen de orina generado en seis meses (litros)	O <sub>6m</sub>	1080
Margen de seguridad (litros)	m	216
Volumen del tanque (litros)	V <sub>t</sub>	1260
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	V <sub>t</sub>	1.3

#### **A.4.3.4 Cantidad de obra y presupuesto**

A partir del dimensionamiento realizado del tanque de almacenamiento de orina requerido en la vivienda, se estimaron los costos de inversión inicial. Como los tanques serán modelos prefabricados y colocados sobre la superficie del terreno no es necesaria la excavación, movimiento de suelo, ni construcción de una estructura. En el Cuadro A.4.11 se observan los materiales y presupuesto necesarios para la instalación de los tanques. Los costos se estimaron para 216 tanques de orina, es decir, uno en cada vivienda.

**Cuadro A.4.11. Cantidad de obra y presupuesto de los tanques de almacenamiento de orina.**

<b>Componente</b>	<b>Ítem</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (C)</b>	<b>Subtotal (C)</b>
<b>Tanque de almacenamiento de orina</b>	Tanque de plástico	Unidades	216	166220	35903520
	Tubería 3"	Unidades	216	59285	12805560
<b>Servicios</b>	Mano de obra	Jornada ordinaria	648	10877	7048562
	Transporte de los tanques	Número de viajes	54	40000	2160000
<b>TOTAL</b>					<b>57 917 642</b>

El precio unitario de los tanques de almacenamiento de orina corresponde a tanques de 1750 l de capacidad. El costo de mano de obra corresponde al salario diario de un fontanero (C 10877 el día), para quien se estimó un periodo de dos días para la instalación de cada tanque y del sistema de tuberías en la vivienda. Esos dos días de labores multiplicado por los 216

tanques requeridos dio como resultado una cantidad de 432 salarios diarios que se deben pagar. Aunque este trabajo lo realizarían los mismos vecinos, es necesario estimar el costo real de la colocación de los tanques. El costo de transportar los tanques a la comunidad es de ¢40000 por viaje, transportando cuatro tanques por viaje dio como resultado 54 viajes.

#### A.4.4 TANQUE SÉPTICO MEJORADO

Este tipo de tecnología consiste en un tanque séptico convencional seguido de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), que en combinación permiten mejorar la calidad del agua, reduciendo las concentraciones de contaminantes a niveles aceptables antes de que esta sea finalmente descargada (Serrano, 2005). Son sistemas que pueden ser implementados a nivel individual o colectivo. En este trabajo se parte del hecho de que, en la comunidad, y en general el país, se ha venido haciendo uso del sistema de tanque séptico, por lo tanto, solo se propone la construcción de filtros para el tratamiento a nivel colectivo, como un complemento al tratamiento de las aguas residuales. En la Figura A.4.5 se muestra un diseño típico de un FAFA.

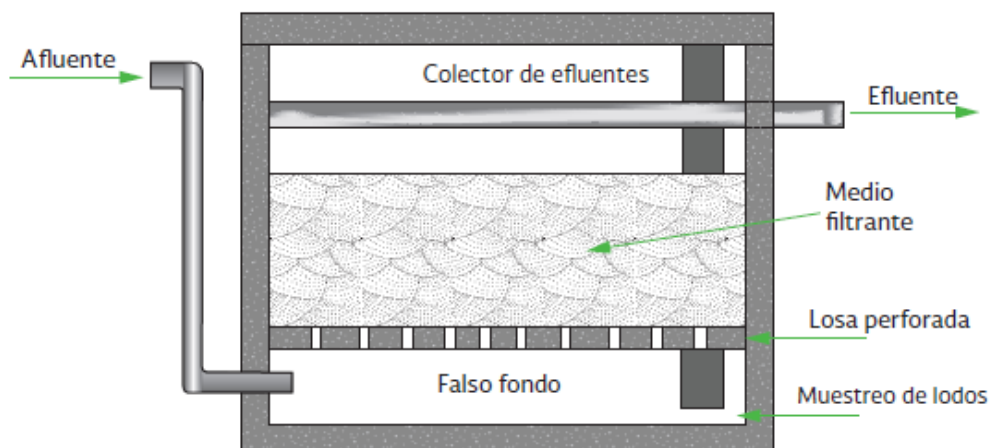


Figura A.4.5. Diseño de un FAFA.  
(Fuente (Comisión Nacional del Agua, 2016))

##### A.4.4.1 Fórmulas usadas para el diseño

El diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente con lecho de piedras (FAFA) se basa en la metodología descrita en el “Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento”

(Comisión Nacional del Agua, 2016). A continuación, en el Cuadro A.4.12 se muestran las fórmulas usadas para el dimensionamiento del filtro.

**Cuadro A.4.12. Fórmulas para el dimensionamiento del filtro anaerobio.**

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
1	Caudal a tratar (Q)	$Q = \frac{D \times n \times f}{1000}$	Q = Caudal que ingresa al filtro (m <sup>3</sup> /d) D = Dotación de agua (l/persona/día) f = factor de retorno
2	Volumen del filtro (V)	$V = Q \times TRH$	V = Volumen del filtro (m <sup>3</sup> ) Q = Caudal que ingresa al filtro (m <sup>3</sup> /h) TRH = Tiempo de residencia hidráulica (h) (entre 6 a 12 h)
3	Altura total del filtro (H)	$H = h_f + h_e + h_b$	H = Altura del filtro (m) h <sub>f</sub> = Altura del fondo (m) h <sub>e</sub> = Altura del medio filtrante o empaque (m) (entre 0.8 m y 3 m) h <sub>b</sub> = Borde libre (m)
4	Área del filtro (A)	$A = \frac{V}{H}$	A = Área del filtro (m <sup>2</sup> ) V = Volumen del filtro (m <sup>3</sup> ) H = Altura total del filtro (m)
5	Volumen del medio filtrante (V <sub>mf</sub> )	$V_{mf} = A \times \text{altura del empaque}$	V <sub>mf</sub> = Volumen del medio filtrante (m <sup>3</sup> ) A = Área del filtro (m <sup>2</sup> )
6	Verificación de la carga hidráulica superficial (CHS)	$CHS = \frac{Q}{A}$	CHS medio (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> d) (entre 6 y 10)
7	Verificación de la carga orgánica volumétrica de todo el filtro (COV)	$COV = \frac{Q \times S_0}{V}$	COV = carga orgánica volumétrica (kg DBO / m <sup>3</sup> d) (entre 0.15 a 0.5) Q = Caudal que ingresa al filtro (m <sup>3</sup> /d) V = Volumen del filtro (m <sup>3</sup> ) S <sub>0</sub> = DBO del afluente (mg/l)
8	Verificación de la carga orgánica volumétrica del medio filtrante (COV <sub>mf</sub> )	$COV_{mf} = \frac{Q \times S_0}{V_{mf}}$	COV <sub>mf</sub> = carga orgánica volumétrica del medio filtrante (kg DBO / m <sup>3</sup> d) (entre 0.25 a 0.75) Q = Caudal que ingresa al filtro (m <sup>3</sup> /d) V <sub>mf</sub> = Volumen del medio filtrante (m <sup>3</sup> ) S <sub>0</sub> = DBO del afluente (mg/l)
9	Remoción del filtro anaerobio (E)	$E = 100[1 - 0.87(TRH)^{-0.5}]$	E = Remoción del filtro anaerobio (%)
10	DBO esperada en el efluente (S <sub>0</sub> )	$DBO_e = S_0 - \frac{E \times S_0}{100}$	DBO <sub>e</sub> = Concentración de DBO esperada en el efluente (mg/l)

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
11	SST esperado en el efluente ( $M_0$ )	$SST_e = M_0 - \frac{E \times M_0}{100}$	$SST_e$ = Concentración de SST esperada en el efluente (mg/l) $M_0$ = SST del afluente (mg/l)

#### A.4.4.2 Parámetros de diseño

- Dotación: 150 l/persona/día para viviendas de interés social (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017).
- Factor de retorno: 82% (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017).
- Número de usuarios por filtro: 100 personas.
- Altura del filtro: 1,6 m (fondo = 0.3 m, medio filtrante = 1 m, borde libre = 0.3 m) (Rosales, 2003).
- Valor de DBO que ingresa al filtro: 132 mg/l ( a partir de un valor de DBO de aguas crudas de 220 mg/l (Rosales, 2003) que ingresa al tanque séptico, al cual se le asignó una eficiencia de remoción del 40% (Rodríguez, García, & Pardo, 2015)).
- Valor de SST que ingresa al filtro: 110 mg/l ( a partir de un valor de SST de aguas crudas de 220 mg/l que ingresa al tanque séptico, al cual se le asignó una eficiencia de remoción del 50% (Rodríguez et al., 2015)).
- Tiempo de retención hidráulico (THR) : 12 h (Rosales, 2003).

#### A.4.4.3 Cálculo de las dimensiones

A partir de las fórmulas presentadas y de los parámetros de diseño se procedió a realizar el dimensionamiento del filtro anaerobio. Aunque el dimensionamiento solo se hace para un filtro, es necesaria la implementación de ocho de ellos para abarcar el tratamiento de las aguas residuales en toda la comunidad. En el Cuadro A.4.13 se presentan los resultados.

**Cuadro A.4.13. Datos de entrada, dimensionamiento y verificación de parámetros del FAFA.**

DATOS DE ENTRADA		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Q	0.5125
Tiempo de residencia hidráulico (horas)	TRH	12
Altura total del filtro		
Distancia libre en el fondo 0,30 m	H	1.60
Altura del medio filtrante 1 m		
Altura del borde libre 0,30 m		
DBO que ingresa al filtro (mg /l)	S <sub>0</sub>	132

DATOS DE ENTRADA		
Parámetro	Unidad	Valor
SST que ingresa al filtro (mg/l)		110
DIMENSIONAMIENTO		
FAFA		
Volumen del filtro (m <sup>3</sup> )	V	6.15
Área del filtro (m <sup>2</sup> )	A	3.84
Largo del filtro (m)	L	1.96
Ancho del filtro (m)	W	1.96
Volumen del medio filtrante (m <sup>3</sup> )	V	3.84
Verificación de parámetros		
Carga hidráulica superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	CHS	3.20
Carga orgánica volumétrica del filtro (kg DBO/m <sup>3</sup> d)	COV	0.26
Carga orgánica volumétrica del medio filtrante (kg DBO/m <sup>3</sup> d)	COV <sub>mf</sub>	0.42
Eficiencia de remoción del filtro (%)	E	74.89
DBO del efluente (mg/l)	DBO e	33.15
SST del efluente (mg/l)	SST e	27.63

#### A.4.4.4 Cantidad de obra y presupuesto

A partir del dimensionamiento realizado de los filtros, se estimaron los costos de inversión inicial. Se encontraron filtros en el mercado con el volumen requerido, por lo tanto, no serán construidos, si no que se instalarán modelos prefabricados. Los costos presentados en el Cuadro A.4.14 corresponden a las 8 unidades de tratamiento necesarias para tratar el caudal de aguas residuales de toda la comunidad.

**Cuadro A.4.14. Cantidad de obra y presupuesto de los filtros anaerobios de flujo ascendente.**

Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
<b>Filtros anaerobios</b>	FAFA	Unidades	8	1977500	15820000
	Piedra bola	m <sup>3</sup>	24	8000	192000
	Piedra cuarta	m <sup>3</sup>	24	15950	382800
<b>Servicios</b>	Excavación	m <sup>3</sup>	24	7696	378643
	Movimiento de suelo	m <sup>3</sup>	49	9231	454154
	Mano de obra	m <sup>3</sup>	49	14694	722945



Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
	Servicios técnicos	Salario mensual	1	629395	629395
<b>TOTAL</b>					18 579 937

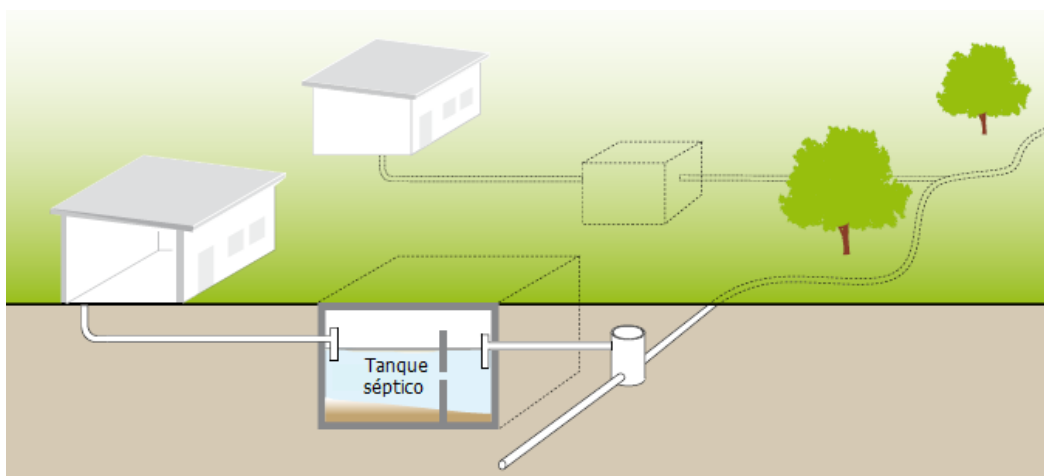
El costo de los filtros y el material de relleno fue estimado a partir de los precios encontrados en el mercado nacional. El costo de los servicios de excavación, movimiento de suelo, mano de obra y servicios técnicos se obtuvo de la misma manera que lo mencionado para las cámaras de compostaje.

#### A.4.5 ALCANTARILLADO LIBRE DE SÓLIDOS

Como su nombre lo dice, este tipo de alcantarillado permite el transporte de aguas residuales previamente tratadas y libres de sólidos. En este trabajo, se propone el uso de alcantarillado libre de sólidos para los siguientes fines:

- Transporte de aguas grises y lixiviados del sistema de compostaje con inodoros de bajo caudal.
- Transporte de aguas grises del sistema de compostaje con inodoros secos separadores de orina.
- Transporte de aguas grises con el sistema de cámaras de deshidratación de heces.
- Transporte del efluente de los FAFAs, en el sistema de tanque séptico mejorado.

En la Figura A.4.6 se muestra un ejemplo de este tipo de alcantarillado, donde se usa un tanque séptico para el pretratamiento.



**Figura A.4.6. Alcantarillado libre de sólidos con tanque séptico como pretratamiento.**  
(Fuente (Tilley et al., 2014))

#### A.4.5.1 Fórmulas usadas para el diseño

La metodología de cálculo del alcantarillado consistió en estimar, mediante Google Earth, la longitud de la tubería. Para ello se hizo un trazado (Figura A.4.7) en las calles principales de la comunidad (Los Mangos, La Quebrada, Calle Principal), y finalmente se sumaron las distancias para obtener la longitud total. Además, se calcularon las dimensiones de la zanja y el volumen de excavación necesario.



Figura A.4.7. Trazado de la tubería de alcantarillado libre de sólidos en la comunidad Bajo los Anonos.

#### A.4.5.2 Parámetros de diseño

- Diámetro de tubería: 100 mm (Ily, Le Jallé, Gabert, & Desille, 2014).
- Profundidad de la zanja: 0.3 m (Ily et al., 2014).

#### A.4.5.3 Cálculo de las dimensiones

A continuación, en el Cuadro A.4.15 se muestran los datos entrada, y los valores obtenidos de la longitud de tubería y el volumen de la zanja donde se va a colocar la tubería.

**Cuadro A.4.15. Datos de entrada y dimensionamiento del alcantarillado libre de sólidos.**

DATOS DE ENTRADA		
Parámetro	Unidad	Valor
Diámetro de tubería (mm)		100
Profundidad de la zanja (m)		0.30
DIMENSIONAMIENTO		
Tubería		
Longitud de tubería (m)		1515
Zanja		
Ancho (m)		0.3
Largo (m)		1515
Volumen total de la zanja (m <sup>3</sup> )		136

#### A.5.5.4 Cantidad de obra y presupuesto

A partir del dimensionamiento realizado, donde se obtuvo la longitud de tubería, se procedió a estimar la cantidad de obra y presupuesto para la instalación del alcantarillado libre de sólidos en la comunidad. En el Cuadro A.4.16 se observan los costos de implementar esta tecnología en toda la comunidad.

**Cuadro A.4.16. Cantidad de obra y presupuesto del alcantarillado libre de sólidos.**

Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
Alcantarillado libre de sólidos	Tubo PVC sanitario 4" (100 mm) 6 m longitud	Unidades	253	16144	4606287
	Excavación de alcantarillado	m <sup>3</sup>	136	7696	1049350
Servicios	Movimiento de suelo	m <sup>3</sup>	136	9231	1258615
	Mano de obra	m <sup>3</sup>	136	14694	2003527
	Servicios técnicos	Salario mensual	1	629395	629395
<b>TOTAL</b>					9 547 174

El costo de tubería se realizó mediante una cotización con una empresa a nivel nacional. Los costos de los servicios de excavación, movimiento de suelo, mano de obra y servicios

técnicos se obtuvieron utilizando la misma metodología descrita para las cámaras de compostaje.

#### A.4.6 ALCANTARILLADO CONVENCIONAL

Se propone que la comunidad se conecte al alcantarillado convencional, el cual lleva las aguas residuales de la GAM hacia la Planta de Tratamiento los Tajos. Para implementar esta alternativa, es necesario la colocación de diferentes elementos, los cuales se detallan a continuación:

- Subcolector: Se requiere colocar un subcolector, el cual permitiría transportar las aguas residuales desde la comunidad hacia el punto donde se encuentran los colectores más cercanos y que existen actualmente: María Aguilar 1 y Tiribí 1.
- Alcantarillado simplificado: Es necesario la colocación de alcantarillado simplificado dentro de la comunidad, para poder llevar las aguas residuales de todas las viviendas al punto donde serán bombeadas y dirigidas a los colectores.
- Sistema de bombeo: Como los colectores a los que se dirigirían las aguas residuales están a un nivel más alto es necesario un sistema de bombeo para transportar las aguas residuales. Este se compone de las bombas y el pozo de bombeo.
- Trampas de grasa: Según se menciona en Fornaguera (2015), esta es una medida que el Ministerio de Salud exigirá a las viviendas, para permitir que la planta de tratamiento funcione adecuadamente.

Según información brindada por un funcionario que trabaja en la Planta de Tratamiento Los Tajos, al lugar llega un caudal de 446 l/s, con concentraciones de DBO de 325 mg/l y de 275 mg/l de SST. El proceso de tratamiento tiene eficiencias de remoción de 64% de DBO y 71% de SST, lo cual permite descargar un efluente con concentraciones de DBO y SST de 117 mg/l y 78 mg/l, respectivamente.

##### **A.4.6.1 Fórmulas usadas para el diseño**

###### Subcolector

Para estimar la longitud de tubería del subcolector que transportará las aguas residuales de la comunidad, se hizo un trazado utilizando Google Earth. En la Figura A.4.8 se observan tres líneas, la línea celeste es el subcolector propuesto, las líneas rosada y verde son los colectores Tiribí 1 y María Aguilar 1, respectivamente, los cuales existen actualmente. El polígono muestra la ubicación del sitio de estudio respecto a los colectores.



Figura A.4.8. Trazado del subcolector para dirigir las aguas residuales desde la comunidad Bajo los Anonos hacia los colectores Tiribí 1 y María Aguilar 1.

### Alcantarillado simplificado

Para el diseño del alcantarillado simplificado se utilizó la misma longitud de tubería encontrada previamente para el alcantarillado libre de sólidos (Figura A.4.7).

### Sistema de bombeo

Para el sistema de bombeo fue necesario calcular la potencia de la bomba, así como el tamaño del pozo de bombeo. Las fórmulas usadas se muestran a continuación en el Cuadro A.4.17

Cuadro A.4.17. Fórmulas para el dimensionamiento del sistema de bombeo.

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
<b>Potencia de la bomba</b>			
1	Potencia de la bomba (P)	$P = \frac{Q \times \rho \times g \times h_A}{e}$	P = Potencia de la bomba (J/s = W) 1 HP = 745.7 W Q = Caudal (m <sup>3</sup> /s) ρ = Densidad del agua (1000 kg/m <sup>3</sup> )

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
			g = Coeficiente de gravedad (9.81 m/s) h <sub>A</sub> = Altura dinámica (m) e = eficiencia de la bomba (70%)
2	Altura dinámica (h <sub>A</sub> )	$h_A = h_S + h_L + \Delta h$	h <sub>A</sub> = Altura dinámica (m) h <sub>S</sub> = Pérdidas secundarias (m) h <sub>L</sub> = Pérdidas longitudinales (m) Δh = Diferencia de altura (m)
3	Pérdidas longitudinales (h <sub>L</sub> )	$h_L = \left( \frac{Q}{0.2785 \times 150 \times D^{2.63}} \right)^{1/0.54} \times L$	h <sub>L</sub> = Perdidas longitudinales (m) D = Diámetro de la tubería (m) L = Longitud de la tubería
4	Verificación de velocidad (V)	$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q \times 4}{\pi \times D^2}$	V = Velocidad del agua (m/s) Debe ser < 2 m/s Q = Caudal (m <sup>3</sup> /s) A = Área de la tubería (m <sup>2</sup> ) D = Diámetro de tubería (m)
5	Pérdidas secundarias (h <sub>S</sub> )	$h_S = 0.45 \times h_L$	h <sub>S</sub> = Pérdidas secundarias (m) h <sub>L</sub> = Perdidas longitudinales (m)
<b>Pozo de bombeo</b>			
6	Volumen (V)	$V = Q \times TRH$	V = Volumen del pozo de bombeo (m <sup>3</sup> ) Q = Caudal de aguas residuales (m <sup>3</sup> /d) TRH = Tiempo de retención hidráulico (días)
7	Largo (L) Ancho (A) Altura (h)	$L = A = h = \sqrt[3]{V}$	L = Largo del pozo (m) A = Ancho del pozo(m) h = Altura del pozo (m)

### Trampas de grasa

En el caso de las trampas de grasa no se hizo el dimensionamiento, si no que se buscaron modelos prefabricados en el mercado para la eliminación de grasa aceite a nivel de la vivienda. Más adelante se muestran las medidas del modelo propuesto.

#### **A.4.6.2 Parámetros de diseño**

- Número de usuarios totales: 800 personas (Madrigal, 2015).
- Dotación de agua potable: 150 l/p/d para casas de interés social (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017).

- Factor de retorno: 82% (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017).
- Diámetro de tubería del alcantarillado simplificado: 100 mm (Ily et al., 2014).
- Profundidad de la zanja del alcantarillado simplificado: 0.30 m (Ily et al., 2014).
- Diámetro de tubería del subcolector: 0.3048 m (12") (Monvois, Gabert, Frenoux, & Guillaume, 2010).
- Profundidad de la zanja del subcolector: 1.5 m (Monvois et al., 2010).
- Tiempo de retención del pozo de bombeo: 10 min (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017).

#### A.4.6.3 Cálculo de las dimensiones

A continuación, en el cuadro A.4.18 se muestra un resumen de los datos de entrada y de las dimensiones de los elementos mencionados.

**Cuadro A.4.18. Datos de entrada y dimensionamiento de los elementos del alcantarillado convencional.**

<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de aguas residuales (m <sup>3</sup> /d)	Q	98.4
Caudal de aguas residuales (m <sup>3</sup> /s)	Q	0.0011389
Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$	1000
Coefficiente de gravedad (m/s)	g	9.81
Eficiencia de la bomba	e	0.70
Diámetro del subcolector 12" (m)	D	0.3048
<b>DIMENSIONAMIENTO</b>		
<b>Subcolector</b>		
Longitud total de la tubería (m)		800
<b>Zanja</b>		
Ancho (m)		1.5
Altura (m)		1.50
Volumen de la zanja (m <sup>3</sup> )		1800
<b>Alcantarillado simplificado</b>		
Longitud total de la tubería (m)		1515
<b>Zanja</b>		
Ancho (m)		0.30
Altura (m)		0.30
Volumen de la zanja (m <sup>3</sup> )		136
<b>Bomba</b>		
Longitud de tubería (m)	L	900*
Velocidad (<2 m/s) (m/s)	V	0.02
$\Delta h$ (m)	$\Delta h$	30**
Pérdidas longitudinales (m)	$h_L$	0.0010342

DATOS DE ENTRADA		
Parámetro	Unidad	Valor
Pérdidas secundarias (m)	h <sub>s</sub>	0.0004654
Altura dinámica (m)	h <sub>A</sub>	30.001
Potencia (W)	P	479
Potencia (HP)	P	0.64
Pozo de bombeo		
Tiempo de retención (min)		10
Volumen (m <sup>3</sup> )		0.68
Largo = Ancho = Altura (m)		0.88
Grosor de las paredes (m)		0.10
Trampa de grasa		
Volumen (m <sup>3</sup> )		0.14
Largo (m)		0.50
Ancho (m)		0.45
Altura (m)		0.60

\* Aunque la longitud de tubería encontrada fue de 800 m, para el caso del sistema de bombeo se utilizó un valor de 900 m para dar un margen de seguridad.

\*\* Este valor es la diferencia de altura entre el punto de bombeo (la comunidad) y el punto final donde llega el subcolector. Para ello se usó Google Earth.

#### A.4.6.4 Cantidad de obra y presupuesto

A partir del dimensionamiento realizado de los diferentes componentes del alcantarillado convencional se realizó la estimación de obra y presupuesto necesarios para la implementación en la comunidad. Los componentes que deben ser instalados en cada vivienda son las trampas de grasa y las cajas de registro. Los demás serían implementados a nivel colectivo. En el Cuadro A.4.19 se puede observar un resumen de los costos.

**Cuadro A.4.19. Cantidad de obra y presupuesto del alcantarillado convencional.**

Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
<b>Alcantarillado simplificado</b>	Tubo PVC sanitario 4" (100 mm) 6 m longitud	Unidades	253	16144	4606287
	<b>Subcolector</b>	Tubo PVC Sanitario SDR-41 8" (200 mm)	Unidades	133	149605
	Cajas de registro	Unidades	216	120000	25920000
<b>Trampas de grasa</b>	Trampas de grasa	Unidades	216	58760	12692160
	Saco de cemento 50 kg	Unidades	1	6199	6199



Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
<b>Pozo de bombeo</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.03	15723	439
	Varilla 3/8 (60 W 3)	Unidades	5	2911	14116
	Grava	m <sup>3</sup>	0.03	15950	557
<b>Bomba</b>	Bomba (1 HP)	Unidades	1	110520	110520
<b>Servicios</b>	Excavación	m <sup>3</sup>	966	7696	7435824
	Movimiento de suelo	m <sup>3</sup>	966	9231	8918708
	Mano de obra	m <sup>3</sup>	966	14694	14197245
	Servicios técnicos	Salario mensual	1	629395	629395
<b>TOTAL</b>					97 015 586

Los costos del alcantarillado simplificado se estimaron utilizando la misma longitud de tubería obtenida para el alcantarillado libre de sólidos. En tanto los costos del subcolector se obtuvieron consultando los precios en el mercado de tuberías para alcantarillado convencional. Los costos de las cajas de registro y trampas de grasa se estimaron con los precios de modelos prefabricados. La cantidad de materiales para la construcción del pozo de bombeo se realizó a partir de la metodología descrita por Construrama (2013). Los costos de estos materiales al igual que la bomba fueron consultados en una ferretería.

Al igual que lo descrito para las cámaras de compostaje, los costos de excavación corresponden a ₡5200/m<sup>3</sup>, además de un 45% por cargas sociales. El costo de movimiento de suelo equivale a ₡923/ m<sup>3</sup>. Los costos de mano de obra equivalen a ₡14694/m<sup>3</sup>. En el caso de servicios técnicos se estimó un valor correspondiente al salario mensual de un Ingeniero encargado del diseño de la obra.

#### A.4.7 BIOJARDINERAS

Se propone la construcción de biojardineras en la comunidad para dos escenarios distintos. El primero de ellos, en el caso de que se utilicen sistemas con inodoros de bajo caudal, donde es necesario el tratamiento de aguas grises junto con los lixiviados provenientes de los inodoros. El segundo, es en el caso de que se utilicen sistemas con inodoros seco con separación de orina, donde solo es necesario brindar tratamiento a las aguas grises. Ambos tipos de biojardineras presentan el mismo diseño, la diferencia radica en sus dimensiones y la

cantidad de material necesario para su construcción. En la Figura A.4.9 se observa el diseño típico de una biojardinera.

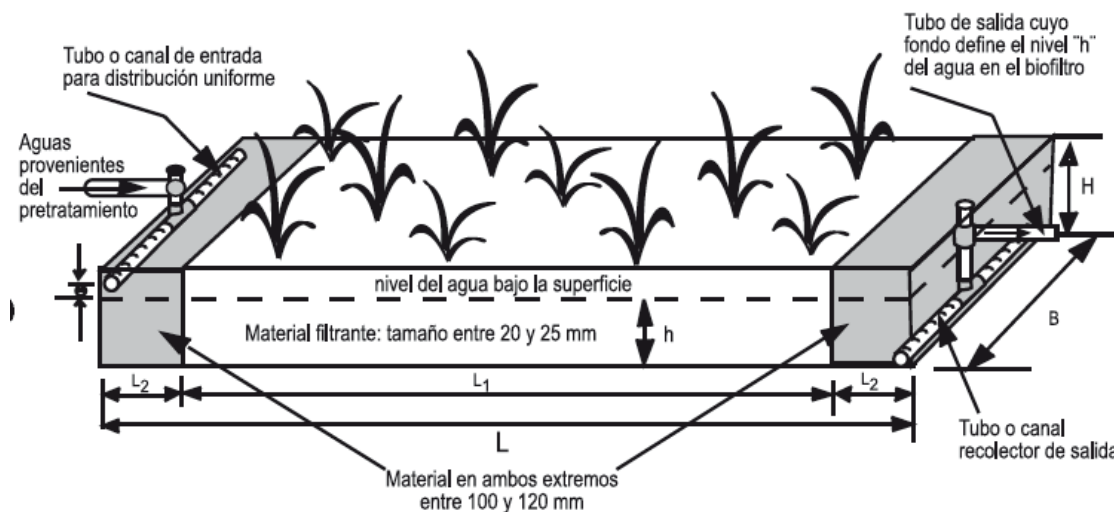


Figura A.4.9. Diseño de una biojardinera o humedal artificial con flujo horizontal. (Fuente (Marín, 2010))

#### A.4.7.1 Fórmulas usadas para el diseño

Los humedales artificiales o biojardineras se pueden considerar reactores biológicos de biomasa adherida, donde el mecanismo para la remoción de DBO y nitrógeno funciona de acuerdo con una cinética de primer orden para un reactor con flujo pistón. Las relaciones básicas para los reactores con flujo pistón se mencionan a continuación en el Cuadro A.4.20 (Reed, Crites, & Middlebrooks, 1995).

Cuadro A.4.20. Fórmulas para el dimensionamiento de biojardineras.

Número	Parámetro calculado	Ecuación	Descripción
1	Concentración DBO efluente ( $C_e$ )	$\frac{C_e}{C_o} = e^{(-K_t \times t)}$	$C_e$ = Concentración en el efluente (mg/L) $C_o$ = Concentración en el afluente (mg/L) $K_t$ = Constante a la temperatura del agua residual (días <sup>-1</sup> ). $t$ = Tiempo hidráulico de retención (días)
2	Constante de temperatura ( $K_t$ )	$K_t = K_{20} \times \theta^{(T-20)}$	$K_{20}$ = Constante del agua a 20 °C = 1,104 días <sup>-1</sup> $\theta$ = 1,06 $T$ = Temperatura del agua residual (°C)
	Tiempo de retención		$n$ = Porosidad efectiva del medio (%) $L$ = Longitud del humedal (m)

3	hidráulico (THR)	$t = \frac{n \times L \times B \times H}{Q}$	B = Ancho del humedal (m) H = Profundidad (m) Q = Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /día)
4	Área superficial (As)	$A_s = L \times B = \frac{\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \times Q}{K_t \times n \times H}$	Se obtiene igualando t de las ecuaciones 1 y 3
5	Caudal de comprobación (Qc) Ley de Darcy	$Q_c = K_s \times A_t \times S$	Qc = Caudal de comprobación (m <sup>3</sup> /día) Ks = Coeficiente de conductividad hidráulica del medio (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día) At = Área transversal (m <sup>2</sup> ) = d x W S = Gradiente hidráulico (dh/dl) Considerar: (Ks < 1/3 Ks efectiva, S < 10 % máximo potencial)

#### A.4.7.2 Parámetros de diseño

##### Biojardinera para el tratamiento de aguas grises y lixiviados

- Número de usuarios por biojardinera: 133 personas.
- Dotación de agua potable: 150 l/p/d para casas de interés social (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017)
- Aguas grises generadas por persona: 97.5 l/p/día (las aguas grises representan aproximadamente el 65% del agua residual) (Morel & Diener, 2006).
- Lixiviados generados en las cámaras de compostaje: 6 l/p/día (Rosales, 2006).
- Caudal de ingreso a la biojardinera: 13.77 m<sup>3</sup>/d:
- DBO de las aguas grises: 70 mg/l (Rosales, 2011 citado por (Moncada, 2011)).
- DBO de lixiviados: 830.89 mg/L (Picado, 2016).
- SST de aguas grises: 74 mg/l (Smith & Bani-Melhem, 2012).
- SST de lixiviados: 846.25 mg/l (Picado, 2016).
- Relación largo-ancho: 3 (Zambrano, 2012)
- Medio de soporte, grava de media, esta presenta una conductividad hidráulica de 7500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día y una porosidad de 38% (EPA, 1993 citado por (Sierra, 2006)).
- Pendiente: 0.5% (Zambrano, 2012).
- Profundidad de la biojardinera 0.7 m (Marín, 2010; Moncada, 2011).
- Eficiencia de remoción de DBO: 65%.
- Eficiencia de remoción de SST: 65%.

##### Biojardinera para el tratamiento de aguas grises

- Números de usuarios por biojardinera: 132 personas
- Dotación de agua potable: 150 l/p/d para casas de interés social (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017)

- Aguas grises generadas por persona: 97.5 l/p/día (las aguas grises representan aproximadamente el 65% del agua residual) (Morel & Diener, 2006).
- Caudal de ingreso a la biojardinera: 12.97 m<sup>3</sup>.
- DBO de las aguas grises: 70 mg/l (Rosales, 2011 citado por (Moncada, 2011)).
- SST de aguas grises: 74 mg/l (Smith & Bani-Melhem, 2012).
- Relación largo-ancho: 3 (Zambrano, 2012)
- Medio de soporte, grava de media, esta presenta una conductividad hidráulica de 7500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día y una porosidad de 38% (EPA, 1993 citado por (Sierra, 2006)).
- Pendiente: 0.5% (Zambrano, 2012).
- Profundidad de la biojardinera 0.7 m (Marín, 2010; Moncada, 2011).
- Eficiencia de remoción de DBO: 40%.
- Eficiencia de remoción SST: 40%.

#### A.4.7.3 Cálculo de las dimensiones

Con base en el modelo de flujo pistón descrito se realizó el dimensionamiento de la unidad de tratamiento, usando los parámetros de diseño presentados. Se propone la construcción de seis biojardineras en la comunidad, cada una para tratar el agua residual generada por 132 personas. A continuación, se detallan las dimensiones de ambos tipos de biojardinera descritos anteriormente.

#### Biojardinera para el tratamiento de aguas grises y lixiviados

En el Cuadro A.4.21 se presentan los datos de entrada y el dimensionamiento de la biojardinera usada para el tratamiento de aguas grises junto con los lixiviados.

**Cuadro A.4.21. Datos de entrada y dimensionamiento de la biojardinera usada para el tratamiento de aguas grises y lixiviados provenientes de sistemas con inodoros de bajo caudal.**

DATOS DE ENTRADA		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal total (aguas grises + lixiviados) (m <sup>3</sup> /día)	Q	13.77
Temperatura (°C)	T	25
Relación Largo: Ancho		3
Conductividad hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día)		7500
DBO total (aguas grises + lixiviados) (mg/l)	Co	114.11
Porcentaje de remoción DBO		65%
DBO efluente (mg/l)	Ce	40
SST total (aguas grises + lixiviados) (mg/l)		118.8

<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Porcentaje de remoción SST		65%
SST efluente (mg/l)		42
Altura (m)	d	0.7
Porosidad del medio	n	38%
Pendiente (m/m)	s	0.005
Constante para 20°C	K <sub>20</sub>	1.104
<b>DIMENSIONAMIENTO</b>		
<b>Biojardinera</b>		
Constante corregida con temperatura DBO	K <sub>t</sub>	1.48
Área Superficial (m <sup>2</sup> )	A <sub>s</sub>	36.77
Ancho del humedal (m)	w	4.3
Largo del humedal (m)	L	8.6
Tiempo de retención hidráulico (h)	TRH	1.8
<b>Tanque para tratamiento primario</b>		
Tiempo de retención del tanque (horas)		3
Caudal que ingresa al tanque (m <sup>3</sup> /hora)		0.574
Volumen requerido (litros)		1720.69
Número de tanques requeridos de 1000 L		2

*Biojardinera para el tratamiento de aguas grises*

En el Cuadro A.4.22 se presentan los datos de entrada y el dimensionamiento de la biojardinera usada para el tratamiento de aguas grises.

**Cuadro A.4.22. Datos de entrada y dimensionamiento de la biojardinera usadas para el tratamiento de aguas grises.**

<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de aguas grises (m <sup>3</sup> /día)	Q	12.97
Temperatura (°C)	T	25
Relación Largo: Ancho		3
Conductividad hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día)		7500
DBO de aguas grises (mg/l)	Co	70
Porcentaje de remoción DBO		40%
DBO efluente (mg/l)	Ce	42

<b>DATOS DE ENTRADA</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
SST aguas grises (mg/l)		74
Porcentaje de remoción SST		40%
SST efluente (mg/l)		44
Altura (m)	d	0.7
Porosidad del medio	n	38%
Pendiente (m/m)	s	0.005
Constante para 20°C	K <sub>20</sub>	1.104
<b>DIMENSIONAMIENTO</b>		
<b>Biojardinera</b>		
Constante corregida con temperatura DBO	Kt	1.48
Área Superficial (m <sup>2</sup> )	As	16.86
Ancho del humedal (m)	w	2.4
Largo del humedal (m)	L	7.1
Tiempo de retención hidráulico (h)	TRH	0.81
<b>Tanque para tratamiento primario</b>		
Tiempo de retención del tanque (horas)		3
Caudal que ingresa al tanque (m <sup>3</sup> /hora)		0.540
Volumen requerido (litros)		1620.94
Número de tanques requeridos de 1000 L		2

#### **A.4.7.4 Cantidad de obra y presupuesto**

A partir del dimensionamiento de las biojardineras se obtuvieron los costos de inversión inicial para la implementación de esta tecnología en la comunidad. Como se detalló anteriormente, es necesario estimar los costos de dos unidades de tratamiento distintas, una donde se tratan aguas grises junto con lixiviados, y la otra donde solo se tratan aguas grises.

Para tratar el caudal generado por todos los habitantes del lugar, es necesario la construcción de seis biojardineras, independientemente del tipo seleccionado. En el Cuadro A.4.23 se detalla la cantidad de obra y presupuesto de las biojardineras donde se brinda tratamiento a aguas grises y lixiviados, mientras que en el Cuadro A.4.24 puede observar la cantidad de obra y presupuesto de las biojardineras donde se tratan solo aguas grises.

**Cuadro A.4.23. Cantidad de obra y presupuesto de las biojardineras para tratar aguas grises y lixiviados.**

Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
<b>Tratamiento primario</b>	Recipientes plásticos con tapa	Unidades	12	73985	887820
	Tubo PVC sanitario 1.5" (38 mm)	Unidades	6	8455	50730
	Tubo PVC 1" (25 mm) ventilación	Unidades	6	4955	29730
<b>Biojardinera</b>	Piedra bola	m <sup>3</sup>	22	8000	172890
	Piedra cuarta	m <sup>3</sup>	133	15950	2118716
	Geomembrana 2 mm grosor	m <sup>2</sup>	600	451,562	270937
	Tubo PVC sanitario 1.5" (38 mm)	Unidades	6	8455	50730
	Cemento o pegamix	Unidades	18	4540	81720
<b>Salida del agua</b>	Llaves de paso PVC 1.5" (38 mm)	Unidades	12	4625	55500
	Tubo PVC sanitario 1.5" (38 mm)	Unidades	6	8455	50730
<b>Servicios</b>	Excavación	m <sup>3</sup>	154	7696	1188617
	Movimiento de suelo	m <sup>3</sup>	154	9231	1425656
	Mano de obra	m <sup>3</sup>	154	14694	2269431
	Servicios técnicos	Salario mensual	1	629395	629395
<b>Plantas</b>	Avecilla	Unidades	810	950	769500
<b>TOTAL</b>					10 052 103

**Cuadro A.4.24. Cantidad de obra y presupuesto de las biojardineras construidas para tratar aguas grises.**

Componente	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (₡)	Subtotal (₡)
<b>Tratamiento primario</b>	Recipientes plásticos con tapa	Unidades	12	73985	887820
	Tubo PVC sanitario 1.5" (38 mm)	Unidades	6	8455	50730
	Tubo PVC 1" (25 mm) ventilación	Unidades	6	4955	29730
<b>Biojardinera</b>	Piedra bola	m <sup>3</sup>	12	8000	95573
	Piedra cuarta	m <sup>3</sup>	59	15950	938621
	Geomembrana 2 mm grosor	m <sup>2</sup>	600	451,562	270937
	Tubo PVC sanitario 1.5" (38 mm)	Unidades	6	8455	50730
	Cemento o pegamix	Unidades	18	4540	81720
<b>Salida del agua</b>	Llaves de paso PVC 1.5" (38 mm)	Unidades	12	4625	55500
	Tubo PVC sanitario 1.5" (38 mm)	Unidades	6	8455	50730
<b>Servicios</b>	Excavación	m <sup>3</sup>	71	7696	544833
	Movimiento de suelo	m <sup>3</sup>	71	9231	653486
	Mano de obra	m <sup>3</sup>	71	14694	1040251
	Servicios técnicos	Salario mensual	1	629395	629395
<b>Plantas</b>	Avecilla	Unidades	360	950	342000
<b>TOTAL</b>					5 722 055


Los costos de los materiales necesarios para el pretratamiento, construcción de las biojardineras y salida del agua se estimaron a partir de los precios en el mercado nacional de esos materiales. En el caso de la geomembrana, la presentación es de 12 x 50 m, por lo tanto, se determinó el precio de una, y se dividió esta área entre las seis biojardineras, para determinar de esta manera el precio por m<sup>2</sup>.

Como se ha mencionado en las tecnologías anteriores, los costos de excavación corresponden a ¢5200/m<sup>3</sup>, además de un 45% por cargas sociales. El costo de movimiento de suelo equivale a ¢923/ m<sup>3</sup>. Los costos de mano de obra equivalen a ¢14694/m<sup>3</sup>. En el caso de servicios técnicos se estimó un valor correspondiente al salario mensual de un Ingeniero encargado del diseño de la obra.

#### A.4.7.5 Plantas usadas comúnmente en las biojardineras

Parte especial de las biojardineras son las plantas, las cuales deben tener la característica de ser aptas para crecer en ambientes muy húmedos. Algunas de las especies usadas en este tipo de sistemas se muestran a continuación en el Cuadro A.4.25 (Moncada, 2011).

**Cuadro A.4.25. Características de algunas plantas usadas generalmente en las biojardineras.**

Platanilla o bandera ( <i>Canna X generalis</i> )	Avecilla ( <i>Heliconia psittacorum</i> )	Platanillo ( <i>Heliconia wagneriana</i> )	Caña agria ( <i>Costus speciosus</i> )	Papiro ( <i>Cyperus involucratus</i> )
				



<b>Platanilla o bandera</b> ( <i>Canna X generalis</i> )	<b>Avecilla (<i>Heliconia psittacorum</i>)</b>	<b>Platanillo</b> ( <i>Heliconia wagneriana</i> )	<b>Caña agria (<i>Costus speciosus</i>)</b>	<b>Papiro (<i>Cyperus involucratus</i>)</b>
Prefiere el suelo húmedo. También crece en condiciones pantanosas y toleran cierto grado de contaminación. Requiere estar bajo el sol o con sombra parcial. Pueden alcanzar 2 metros de altura.	Necesitan de mucha humedad, suelos fértiles y bien drenados, lugares soleados o con sombra parcial. Pueden alcanzar 1.5 metros de altura.	Necesita calor húmedo, semisombra o sol ligero para su desarrollo. Crece entre 2.5 a 4.5 metros.	Requiere una humedad regular, además de 3 a 5 horas de sol directo diariamente para favorecer su crecimiento. Crece entre 1.8 a 3.1 metros.	Se desarrollan en zonas húmedas, pantanosas, y también secas. Crecen bajo el sol o sombra, y pueden ser invasoras en climas cálidos. Alcanza una altura entre 0.6 y 1.8 metros.

#### A.4.7.8 REFERENCIAS

- Berger, W. (2011). Technology review of composting toilets. *Sustainable Sanitation Practice*, (6), 2011–2011. Recuperado a partir de [http://www.susana.org/docs\\_ccbk/susana\\_download/2-878-2-1383-gtz2011-en-technology-review-composting-toilets1.pdf](http://www.susana.org/docs_ccbk/susana_download/2-878-2-1383-gtz2011-en-technology-review-composting-toilets1.pdf)
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones* (2017a ed.). Costa Rica. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC)
- Comisión Nacional del Agua. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. En *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales Municipales: Filtros anaerobios de flujo ascendente*. Tlalpan, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado a partir de [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- Construrama. (2013). Formulas para calcular los materiales para una Loza. Recuperado a partir de <http://construramamanzana.com/tips/item/347-fprmulas-para-calcular-materiales-para-construir>
- Cubillo, M. F., & Gómez, W. (2017). Biojardineras como alternativas para el tratamiento de aguas residuales: experiencia en cinco biojardineras en las comunidades de Barra Honda y La Vigía de Nicoya, Guanacaste. *Universidad en Diálogo*, 7(1), 69–87.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/udre.7-1.4>

- Fornaguera, I. (2015, enero 26). 125.000 familias deben costear su conexión al alcantarillado sanitario. *La Nación*. Recuperado a partir de [http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/familias-deben-costear-conexion-alcantarillado\\_0\\_1465853434.html](http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/familias-deben-costear-conexion-alcantarillado_0_1465853434.html)
- Ily, J.-M., Le Jallé, C., Gabert, J., & Desille, D. (2014). Non-conventional sewerage services. *Water and Sanitation for All Guide*, 7. Recuperado a partir de [http://www.pseau.org/sites/default/files/fichiers/r\\_d/guide\\_mini-egout-anglais-web.pdf](http://www.pseau.org/sites/default/files/fichiers/r_d/guide_mini-egout-anglais-web.pdf)
- INEC (Ed.). (2014). *Costa Rica a la Luz del Censo 2011*. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado a partir de [http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/inec\\_institucional/publicaciones/anoblaccenso2011-01.pdf\\_2.pdf](http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/inec_institucional/publicaciones/anoblaccenso2011-01.pdf_2.pdf)
- Jönsson, H., Richert, A., Vinnerås, B., & Salomon, E. (2004). Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production. *EcoSanRes Publication Series*, 2, 1–35.
- Lins, V. (2014). *Resource oriented sanitation in multi-storey buildings: a semi-centralised alternative for the city of Algiers, Algeria*. Technical University Hamburg-Harburg.
- Madrigal, D. (2015). *Sitation Analysis: Faecal Sludge Management in Costa Rican Informal Settlements*. University of Queensland, Australia.
- Marín, M. (2010). *Manual para la construcción y mantenimiento de biojardineras* (2a ed.). San José, Costa Rica: ACEPESA. Recuperado a partir de <http://www.alianzaporelagua.org/saneamiento/publicaciones/13-2-edicion-2010-manual-para-la-construccion-y-mantenimiento-de-biojardineras>
- Moncada, S. (2011). *Evaluación del diseño de una biojardineras de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises en Zapote, San José*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado a partir de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2874/Informe\\_final.pdf?sequence=1](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2874/Informe_final.pdf?sequence=1)
- Monvois, J., Gabert, J., Frenoux, C., & Guillaume, M. (2010). How to Select Appropriate Technical Solutions for Sanitation, (4), 140.
- Morel, A., & Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Dübendorf, Switzerland.

- Picado, S. (2016). *Evaluación físico-química, biológica e hidrodinámica del funcionamiento de sistemas de tratamiento prefabricados para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. Tecnológico de Costa Rica.
- Reed, S., Crites, R., & Middlebrooks, E. J. (1995). *Natural systems for waste management and treatment*. New York: McGraw-Hill.
- Rieck, C., von Münch, E., & Hoffmann, H. (2012). *Technology review of urine-diverting dry toilets (UDDTs)*. Eschborn, Germany.
- Rodríguez, J., García, C., & Pardo, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 149–164. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12>
- Rosales, E. (2003). *Tanques sépticos: Conceptos teóricos base y aplicaciones (detalles que se han olvidado o la práctica ha venido tergiversando)*. Cartago, Costa Rica: ITCR-CIVCO.
- Rosales, E. (2006). *Ecosaneamiento*. Cartago, Costa Rica.
- Rosales, E. (2008). *Informe Ecosaneamiento*. Cartago, Costa Rica. Recuperado a partir de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/494/InformeECOSANmar%2708.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Serrano, H. (2005). *Evaluación ambiental y sanitaria de dos sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la construcción de prototipos en escala natural*. Recuperado a partir de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/929/1/26180.pdf>
- Sierra, J. (2006). *Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales*. Bogotá, Colombia.
- Smith, E., & Bani-Melhem, K. (2012). Grey water characterization and treatment for reuse in an arid environment. *Water Science and Technology*, 66(1), 72–78. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.167>
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., & Schertenleib, R. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies* (2nd Revised Edition). Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- World Health Organization (WHO). (1992). *A Guide to the development of on-site sanitation*. Geneva, Switzerland. Recuperado a partir de

[http://whqlibdoc.who.int/publications/1992/9241544430\\_en%0Ag.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/1992/9241544430_en%0Ag.pdf)

World Health Organization (WHO). (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Excreta and greywater use in agriculture. World Health Organization (Vol. IV)*. France. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Zambrano, D. (2012). *Minimización y prevención como estrategia para el control de la contaminación por aguas residuales municipales en la zona de expansión de Cali*. Universidad del Valle.

## APÉNDICE 5. COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL Y O&M DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO

### A.5.1 COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL

Los costos de inversión inicial de cada sistema de saneamiento son una agrupación de la cantidad de obra y presupuesto determinados en el Apéndice 4 para cada tecnología de saneamiento. En el Cuadro A.5.1.1 se detallan las tecnologías que componen cada sistema, así como el costo de inversión inicial de cada una y el costo total de implementación del sistema.

**Cuadro A.5.1. Costos de inversión inicial de los sistemas de saneamiento propuestos.**

Sistema	Tecnología	Unidad	Cantidad	Subtotal (₡)	Total (₡)
<b>Compostaje con inodoros de bajo caudal</b>	Inodoros de bajo caudal	Unidades	216	87669865	136 660 093
	Cámaras de compostaje	Unidades	216	29390951	
	Biojardineras para tratar aguas grises y lixiviados	Unidades	6	10052103	
	Alcantarillado libre de sólidos	Unidades	1	9547174	
<b>Compostaje con inodoros secos y separación de orina</b>	Inodoros secos con separación de orina	Unidades	216	20190384	120 418 685
	Cámaras de compostaje	Unidades	216	29390951	
	Tanques de almacenamiento de orina	Unidades	216	55568121	
	Biojardineras para tratar aguas grises	Unidades	6	5722055	
	Alcantarillado libre de sólidos	Unidades	1	9547174	
<b>Cámaras de deshidratación y separación de orina</b>	Inodoros secos con separación de orina	Unidades	216	20190384	124 091 273
	Cámaras de deshidratación	Unidades	216	33063539	
	Tanques de almacenamiento de orina	Unidades	216	55568121	
	Biojardineras para tratar aguas grises	Unidades	6	5722055	
	Alcantarillado libre de sólidos	Unidades	1	9547174	
<b>Tanque séptico mejorado</b>	FAFA	Unidades	8	18579937	28 127 111
	Alcantarillado libre de sólidos	Unidades	1	9547174	
<b>Alcantarillado convencional *</b>	Alcantarillado simplificado	Unidades	1	8917779	97 015 586
	Subcolector	Unidades	1	48410147	
	Cajas de registro	Unidades	216	25920000	
	Trampas de grasa	Unidades	216	13614222	
	Sistema de bombeo (bomba + pozo de bombeo)	Unidades	1	153438	

\* Cada componente de este sistema tiene implícitos los costos de excavación, movimiento de tierra y mano de obra.

## A.5.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En el Cuadro A.5.2. se detalla cada sistema, sus componentes, las actividades de operación y mantenimiento requeridas, la frecuencia con que se realizan y una estimación del costo de cada una. Con estos costos estimados se hizo una proyección a 25 años y se obtuvo el Valor Presente Neto (VPN) utilizando una tasa de descuento social de 12% (Campos, Serebrisky, & Suárez-Alemán, 2016) para proyectos de saneamiento.

**Cuadro A.5.2. Costos de operación y mantenimiento de los sistemas propuestos.**

Sistema	Tecnología	Actividades	Frecuencia	Unidad	Cantidad	Precio unitario (€)	Subtotal (€)	Valor presente neto (VPN) (€)	Valor presente neto total (VPN) (€)
<b>Compostaje con inodoros de bajo caudal</b>	Tanque de compostaje	Vaciado del compost	Cada tres años	Viajes	79	45000	3574886	17758748	146 696 081
		Movimiento del compost	Una vez a la semana	Movimientos	11232	1360	15271308	119774993	
	Biojardinera (aguas grises + lixiviados)	Limpieza de tanques del pretratamiento	Una vez a la semana	Semanas	52	10877	565625	4436278	
		Reemplazo de piedra bola	Cada 10 años	m <sup>3</sup>	22	8000	172890	292193	
		Reemplazo piedra cuarta	Cada 10 años	m <sup>3</sup>	133	15950	2118716	3580739	
Alcantarillado libre de sólidos	Limpieza periódica	Dos veces al año	Limpiezas	10	10877	108774	853130		
<b>Compostaje con inodoros secos y</b>	Tanque de compostaje	Vaciado del compost	Cada tres años	Viajes	79	45000	3574886	17758748	297 041 613
		Movimiento del compost	Una vez a la semana	Movimientos	11232	1360	15271308	119774993	
	Tanque para la orina	Vaciado y de la orina	Cada seis meses	Viajes	432	45000	19440000	152470624	

Sistema	Tecnología	Actividades	Frecuencia	Unidad	Cantidad	Precio unitario (€)	Subtotal (€)	Valor presente neto (VPN) (€)	Valor presente neto total (VPN) (€)
separación de orina	Biojardinera (aguas grises)	Limpieza de los tanques del pretratamiento	Una vez a la semana	Semanas	52	10877	565625	4436278	
		Reemplazo de piedra bola	Cada 10 años	m <sup>3</sup>	12	8000	95573	161523	
		Reemplazo de piedra cuarta	Cada 10 años	m <sup>3</sup>	59	15950	938621	1586317	
	Alcantarillado libre de sólidos	Limpieza periódica	Dos veces al año	Limpiezas	10	10877	108774	853130	
Cámaras de deshidratación y separación de orina	Cámara de deshidratación	Vaciado del compost	Cada año	Viajes	55	45000	2493634	19557915	206 706 171
		Acomodo de las heces	Una vez al mes	Movimientos	2592	1360	3524148	27640383	
	Tanque para la orina	Vaciado y de la orina	Cada seis meses	Viajes	432	45000	19440000	152470624	
	Biojardineras	Limpieza de los tanques del pretratamiento	Una vez a la semana	Limpiezas	52	10877	565625	4436278	
		Reemplazo de piedra bola	Cada 10 años	m <sup>3</sup>	12	8000	95573	161523	
		Reemplazo de piedra cuarta	Cada 10 años	m <sup>3</sup>	59	15950	938621	1586317	
	Alcantarillado libre de sólidos	Limpieza periódica	Dos veces al año	Limpiezas	10	10877	108774	853130	
Tanque séptico mejorado con descarga	FAFA	Vaciado del lodo de los tanques sépticos	Cada tres años	Viajes	216	45000	9720000	48285459	50 216 649
		Limpieza de los filtros anaerobios	Cada dos años	Personas	16	10877	174039	1078060	

Sistema	Tecnología	Actividades	Frecuencia	Unidad	Cantidad	Precio unitario (€)	Subtotal (€)	Valor presente neto (VPN) (€)	Valor presente neto total (VPN) (€)
superficial del efluente	Alcantarillado libre de sólidos	Limpieza periódica	Dos veces al año	Limpiezas	10	10877	108774	853130	
Alcantarillado convencional	Trampa de grasas	Limpieza de trampa de grasas	Una vez al año	Limpiezas	216	1360	293679	2303365	64 243 088
	Alcantarillado simplificado	Limpieza de alcantarillado simplificado	Dos veces al año	Limpiezas	10	10877	108774	853130	
	Servicio	Servicio de alcantarillado	33% sobre consumo hídrico	Pagos	2592	2992	7754694	60821142	
	Bombas	Reemplazo de la bomba	Cada 8 años	Unidades	1	110520	110520	265450	

Aunque la mayoría de actividades de operación y mantenimiento; a excepción del sistema de tanque séptico mejorado y el de alcantarillado convencional, serían realizadas por los propios vecinos, es necesario otorgarles un valor para el costo real. El costo de limpieza de las diferentes tecnologías, así como los movimientos regulares del compost, se estimó a partir del salario diario de un vaciador de tanques sépticos. El costo de vaciado de la orina, lodos de tanques sépticos y compost corresponde al valor promedio en el mercado del servicio de vaciado de tanques sépticos. Los costos de los materiales que deben ser reemplazos son los mismos que fueron estimados en el dimensionamiento de las tecnologías en el Apéndice 4 Con este costo estimado se calculó el Valor Presente Neto (VPN).



### A.5.3 REFERENCIAS

Campos, J., Serebrisky, T., & Suárez-Alemán, A. (2016). *Tasa de descuento social y evaluación de proyectos. Algunas reflexiones prácticas para América Latina y el Caribe*. Washington D.C. Recuperado a partir de [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7416/Monografia Tasa de descuento social y Evaluacion de proyectos.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7416/Monografia_Tasa_de_descuento_social_y_Evaluacion_de_proyectos.pdf?sequence=1)

## APÉNDICE 6. BENEFICIOS ECONÓMICOS POR AHORRO DE AGUA Y COMERCIALIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS

### A.6.1 AHORRO POR CONSUMO DE AGUA

La implementación de algunos de los sistemas propuestos permite evitar o disminuir el consumo de agua, lo cual se traduce en un beneficio económico para la comunidad y el ente que brinda el servicio. En el Cuadro A.6.1 se muestra el volumen de agua ahorrado anualmente, así como la cantidad de dinero. Con estos datos de ahorro anual se realizó una proyección a 25 años con lo que se obtuvo el Valor Presente Neto (VPN) utilizando una tasa de descuento social de 12% reportada por Campos, Serebrisky, y Suárez-Alemán (2016) para proyectos de saneamiento.

**Cuadro A.6.1. Ahorro por consumo de agua de los sistemas de saneamiento propuestos.**

Sistema	Unidad	Cantidad	Precio unitario (₡)	Subtotal (₡)	Valor presente neto (VPN) (₡)
Compostaje con inodoros de bajo caudal	m <sup>3</sup>	5256 *	331	1739736	13 644 991
Compostaje con inodoros secos y separación de orina	m <sup>3</sup>	7008**	331	2319648	18 193 322
Cámaras de deshidratación y separación de orina	m <sup>3</sup>	7008**	331	2319648	18 193 322
Tanque séptico mejorado con descarga superficial del efluente	m <sup>3</sup>	0	331	0	0
Alcantarillado convencional	m <sup>3</sup>	0	331	0	0

\* Se estimó a partir de la diferencia entre el consumo de 6 l/p/día de los inodoros de bajo caudal y 24 l/p/día de los inodoros de descarga convencionales.

\*\* Como estos sistemas utilizan inodoros secos, el ahorro por consumo de agua corresponde a 24 l/p/día que normalmente requieren los inodoros de descarga convencionales.

El precio unitario del m<sup>3</sup> de agua corresponde a la tarifa domiciliar establecida por la ARESEP. La cantidad de m<sup>3</sup> de agua ahorrados es un valor anual obtenido para toda la comunidad. A partir de estos datos se obtuvo el Valor Presente Neto para todos los sistemas. Como se observa, para los dos últimos sistemas el valor es cero, ya que al utilizar inodoros de descarga de agua convencionales no se presenta un ahorro.

## A.6.2 COMERCIALIZACIÓN DEL BIOSÓLIDO

En el Cuadro A.6.2 se muestran los productos con potencial de aprovechamiento y comercialización de los sistemas de saneamiento propuestos. Para cada uno se estimó el valor y los posibles ingresos económicos que podría tener la comunidad se vendieran en el mercado. Esos montos se llevaron a un flujo caja en un horizonte 25 años y se trajo a valor presente neto (VPN) utilizando una tasa de descuento social de 12% (Campos et al., 2016).

**Cuadro A.6.2. Beneficio económico por comercialización de biosólidos producidos en los sistemas de saneamiento.**

Sistema	Biosólido	Frecuencia de producción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (₡)	Subtotal (₡)	Valor presente neto (VPN) (₡)	Valor presente neto total (VPN) (₡)
Compostaje con inodoros de bajo caudal	Compost	Cada tres años	kg	276*	1600	441344	2192438	2 192 438
Compostaje con inodoros secos y separación de orina	Compost	Cada tres años	kg	276*	1600	441344	2192438	12 749 985
	Urea	Dos veces al año	Sacos de urea (45 kg)	100**	13500	1346087	10557547	
Cámaras de deshidratación y separación de orina	Compost (humus)	Cada año a partir del segundo año	kg	192*	1600	307856	2396448	12 953 996
	Urea	Dos veces al año	Sacos de urea (45 kg)	100**	13500	1346087	10557547	
Tanque séptico mejorado con descarga superficial del efluente	-	-	-	0	0	0	0	0
Alcantarillado convencional	-	-	-	0	0	0	0	0

\* Los kg de compost y humus producidos se estimaron a partir del volumen generado en las cámaras de compostaje y deshidratación, y con una densidad del compost de 500 kg/m<sup>3</sup> (Castellano Manchega de Limpiezas S.L.U., 2011).

\*\* El valor mostrado se refiere al número de sacos de urea de 45 kg con 46% de N que podrían ser fabricados con la orina generada por los habitantes de la comunidad durante un año. Se estima que la generación per cápita de N es de 2.58 kg/p/año (Jönsson, Richert, Vinnerås, & Salomon, 2004).

Al compost se le asignó el precio por kg encontrado en el mercado nacional. Aunque en las cámaras de deshidratación se produce una especie de humus, el precio otorgado fue el mismo del compost. En el caso de la orina, se estableció que se comercializará como urea, la cual tiene un costo de ₡13500 por cada saco de 45 kg con 46% de N. Aunque los sistemas de tanque séptico mejorado y alcantarillado convencional producen lodos que pueden ser potencialmente comercializados, no se les contabilizó ya que no generan un beneficio económico directo para la comunidad.

### A.6.3 REFERENCIAS

- Campos, J., Serebrisky, T., & Suárez-Alemán, A. (2016). *Tasa de descuento social y evaluación de proyectos. Algunas reflexiones prácticas para América Latina y el Caribe*. Washington D.C. Recuperado a partir de [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7416/Monografia\\_Tasa\\_de\\_descuento\\_social\\_y\\_Evaluacion\\_de\\_proyectos.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7416/Monografia_Tasa_de_descuento_social_y_Evaluacion_de_proyectos.pdf?sequence=1)
- Castellano Manchega de Limpiezas S.L.U. (2011). Compost en agricultura, jardinería y paisajismo. Recuperado a partir de <http://cml-medioambiente.com/pdf/compost2011.pdf>
- Jönsson, H., Richert, A., Vinnerås, B., & Salomon, E. (2004). Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production. *EcoSanRes Publication Series*, 2, 1–35.

## APÉNDICE 7. PESOS DE CRITERIOS DE SELECCIÓN

### A.7.1 METODOLOGÍA

A partir del proceso de revisión de literatura se identificaron cuatro criterios de selección, a los cuales se les calculará el peso mediante consulta a expertos, estos criterios son:

- Económico.
- Ambiental.
- Técnico.
- Social.

Una vez definidos los criterios se aplicó la metodología propuesta por Saaty (Pacheco & Contreras, 2008; Romero, 1996; Zeng, Jiang, Huang, Xu, & Li, 2007). Para conocer la relevancia de los criterios asociada a asentamientos informales en el contexto local, se realizó consulta a 7 expertos en las áreas ambiental, académica, y de planeamiento urbano.

El procedimiento consistió en encuestar sobre las prioridades y preferencias al comparar por parejas, con base en el Cuadro A.7.1, la importancia de un criterio con respecto a otro. Como resultado se generó la matriz presentada en el Cuadro A.7.2. Para disminuir la subjetividad y dispersión de las respuestas se utilizaron solo los criterios definidos con los números 1,3 y 5.

**Cuadro A.7.1. Explicación y definición de cada importancia comparativa.**

Número de asignación	Interpretación del Valor Numérico
1	Cuando los criterios son de igual importancia
3	Cuando un criterio tiene moderada importancia respecto al otro
5	Cuando un criterio tiene fuerte importancia respecto al otro
7	Cuando un criterio tiene demostrada importancia respecto al otro
9	Cuando un criterio tiene extrema importancia respecto al otro
2,4,6,8	Juicios de valor intermedios entre el criterios anterior y posterior a él

(Fuente: Saaty, 1997 citado por (Zeng et al., 2007))

**Cuadro A.7.2. Matrix de comparación de criterios consultada a expertos.**

	Ambiental	Económico	Técnico	Social
Ambiental	1	a	b	d
Económico	1/a	1	c	e
Técnico	1/b	1/c	1	f
Social	1/c	1/e	1/f	1

Para generar la matriz que resumiera las comparaciones hechas por los expertos se agruparon los pesos asignados por cada uno y de esta manera se obtuvo el valor promedio de cada criterio.

### A.7.2 PONDERACIÓN DE CRITERIOS

A partir de las encuestas realizadas, se generaron las matrices de comparación por parejas donde se resumen las preferencias subjetivas mostradas por los expertos. Como es conveniente trabajar con pesos (W) que sumen la unidad, se dividió cada uno de ellos por la sumatoria de los mismos (Romero, 1996), en este caso W unitarios. A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

Respecto a la comparación entre pares de criterios hecha por el primer experto mostrada en el Cuadro A.7.3, se observa que, según los W unitarios, el criterio social obtuvo un peso de 0.32 lo que indica que tiene una mayor importancia respecto a los otros, seguidamente los criterios ambiental y técnico con un peso de 0.25 y finalmente, el criterio al que se le asignó menor importancia fue el económico con un peso de 0.19.

**Cuadro A.7.3. Matrix de comparación de criterios consultada al primer experto.**

	Social	Económico	Ambiental	Técnico	W	W unitarios
Social	1	3	1	1	1.32	<b>0.32</b>
Económico	1/3	1	1	1	0.76	<b>0.19</b>
Ambiental	1	1	1	1	1.00	<b>0.25</b>
Técnico	1	1	1	1	1.00	<b>0.25</b>
					Σ 4.08	<b>1.00</b>

En función de la comparación entre pares de criterios realizada por el segundo experto presentada en el Cuadro A.7.4, se obtuvo que el criterio con mayor importancia fue el social con un W unitario de 0.49, seguido por el criterio económico con un peso de 0.32. Los criterios ambiental y técnico obtuvieron 0.13 y 0.06 respectivamente.

**Cuadro A.7.4. Matrix de comparación de criterios consultada al segundo experto.**

	Social	Económico	Ambiental	Técnico	W	W unitarios
Social	1	3	3	5	2.59	<b>0.49</b>
Económico	1/3	1	5	5	1.70	<b>0.32</b>
Ambiental	1/3	1	1	3	0.67	<b>0.13</b>
Técnico	1/5	1/5	1/3	1	0.34	<b>0.06</b>
					Σ 5.30	<b>1.00</b>

Relacionando los pares de criterios por parte del tercer experto, se obtuvo la matriz presentada en el Cuadro A.7.5, donde el criterio social representa un mayor W unitario de 0.54. El criterio económico obtuvo el segundo lugar con un peso de 0.18, seguido por el ambiental con 0.16 y finalmente el técnico con 0.12.

**Cuadro A.7.5. Matrix de comparación de criterios consultada al tercer experto.**

	Social	Económico	Ambiental	Técnico	W	W unitarios
Social	1	5	3	3	2.59	<b>0.54</b>
Económico	1/5	1	3	1	0.88	<b>0.18</b>
Ambiental	1/3	1/3	1	3	0.76	<b>0.16</b>
Técnico	1/3	1	1/3	1	0.58	<b>0.12</b>
					Σ 4.81	<b>1.00</b>

En el Cuadro A.7.6 se observan los pesos asignados por el cuarto experto. En este caso el criterio con mayor peso fue el ambiental, con un valor de 0.44, le sigue el criterio social que obtuvo un valor de 0.30. El criterio técnico presenta un W unitario de 0.21 y el criterio económico 0.20.

**Cuadro A.7.6. Matrix de comparación de criterios consultada al cuarto experto.**

	Social	Económico	Ambiental	Técnico	W	W unitarios
Social	1	1	1	5	1.50	<b>0.30</b>
Económico	1	1	1/5	5	1.00	<b>0.20</b>
Ambiental	1	5	1	5	2.24	<b>0.44</b>
Técnico	1/5	1/5	1/5	1	0.30	<b>0.21</b>
					Σ 5.03	<b>1.00</b>

Al comparar los pares de criterios por parte del quinto experto presentado en el Cuadro A.7.7, el mayor peso asignado corresponde al criterio social con un 0.41. El siguiente puesto en cuanto a importancia lo ocupa el criterio económico con un 0.28, posteriormente el ambiental con un peso de 0.24, siendo el criterio técnico el de menor valor con un 0.07.

**Cuadro A.7.7. Matrix de comparación de criterios consultada al quinto experto.**

	Social	Económico	Ambiental	Técnico	W	W unitarios
Social	1	1	3	5	1.97	<b>0.41</b>
Económico	1	1	1	3	1.32	<b>0.28</b>
Ambiental	1/3	1	1	5	1.14	<b>0.24</b>
Técnico	1/5	1/3	1/5	1	0.34	<b>0.07</b>
					Σ 4.76	<b>1.00</b>

Producto de la comparación de criterios hecha por el sexto entrevistado se presenta el Cuadro A.7.8 con la matriz de resultados. Siendo el criterio económico el que obtuvo un mayor peso equivalente a 0.43, seguido por el criterio técnico con un peso de 0.25. Los criterios ambiental y social obtuvieron 0.22 y 0.10 respectivamente.

**Cuadro A.7.8. Matrix de comparación de criterios consultada al sexto experto.**

	Social	Económico	Ambiental	Técnico	W	W unitarios
Social	1	1/3	1/3	1/3	0.44	<b>0.10</b>
Económico	3	1	1	5	1.97	<b>0.43</b>
Ambiental	3	1	1	1/3	1.00	<b>0.22</b>
Técnico	3	1/5	3	1	1.16	<b>0.25</b>
					Σ 4.56	<b>1.00</b>

El Cuadro A.7.9 muestra la matriz de resultados de la consulta al séptimo experto, en la que se observa que el criterio con mayor importancia fue el económico con un peso equivalente a 0.50, posteriormente se encuentran los criterios social, ambiental y técnico a los que se les asignó el mismo peso de 0.17.



**Cuadro A.7.9. Matrix de comparación de criterios consultada al sétimo experto.**

	Social	Económico	Ambiental	Técnico		W	W unitarios
Social	1	1/3	1	1		0.76	<b>0.17</b>
Económico	3	1	3	3		2.28	<b>0.50</b>
Ambiental	1	1/3	1	1		0.76	<b>0.17</b>
Técnico	1	1/3	1	1		0.76	<b>0.17</b>
					$\Sigma$	4.56	<b>1.00</b>

En términos generales se observa que el criterio social tiene la mayor importancia en la mayoría de los casos, seguido por el criterio económico. Con base en estas matrices de preferencias subjetivas de los expertos se generó una matriz que agrupa todos los W unitarios obtenidos, y con la cual se determinarán los pesos promedio utilizados para el proceso de selección.

En el Cuadro A.7.10 se presenta la matriz final que agrupa todos los pesos obtenidos, a partir de la comparación por pares de criterios realizada por cada experto. Se observa que el criterio que obtuvo una mayor importancia es el social con un peso promedio del 33%. Posteriormente, se encuentra el criterio económico que obtuvo un peso promedio equivalente a 30%. En tercer lugar, se encuentra el criterio ambiental que representa un 23% de importancia. Finalizando con el criterio técnico, que obtuvo un 14%.

**Cuadro A.7.10. Matrix final de comparación de criterios consultados.**

Criterios	Pesos							Promedio	Desviación estándar	Porcentaje
	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7			
Social	0.32	0.49	0.54	0.30	0.41	0.10	0.17	0.33	0.16	<b>33%</b>
Económico	0.19	0.32	0.18	0.20	0.28	0.43	0.50	0.30	0.13	<b>30%</b>
Ambiental	0.25	0.13	0.16	0.44	0.24	0.22	0.17	0.23	0.11	<b>23%</b>
Técnico	0.25	0.06	0.12	0.06	0.07	0.25	0.17	0.14	0.08	<b>14%</b>

### A.7.3 REFERENCIAS

Pacheco, J., & Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. Santiago de Chile.

- Romero, C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio* (1a ed.). Madrid, España: Isdefe.
- Zeng, G., Jiang, R., Huang, G., Xu, M., & Li, J. (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*, 82(2), 250–259.