



*Unidad de Extracción y Transformación
de Fertilizante Orgánico*

EXFERO
UNIDAD DE EXTRACCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE FERTILIZANTE
ORGÁNICO, PARA EL APROVECHAMIENTO DEL PRODUCTO DERIVADO DE
LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO DESCENTRALIZADOS EN EL
CORREGIMIENTO DE EL HORMIGUERO.

CARLOS GUILLERMO DUQUE GÓMEZ.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
CALI, COLOMBIA
2017

EXFERO
UNIDAD DE EXTRACCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE FERTILIZANTE
ORGÁNICO, PARA EL APROVECHAMIENTO DEL PRODUCTO DERIVADO DE
LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO DESCENTRALIZADOS EN EL
CORREGIMIENTO DE EL HORMIGUERO.

CARLOS GUILLERMO DUQUE GÓMEZ.

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE PROFESIONAL EN DISEÑO INDUSTRIAL

ASESOR:

CARLOS ANDRÉS ORTEGA GARCÍA



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE ARTES INTEGRADAS
DEPARTAMENTO DE DISEÑO
CALI, COLOMBIA
2017

RESUMEN

Este proyecto se desarrolló con el objetivo de diseñar una unidad de extracción y transformación de fertilizante orgánico, para el aprovechamiento del producto derivado de los sistemas de saneamiento descentralizados en el corregimiento de “el Hormiguero”, adscrito a Santiago de Cali. Según investigaciones anteriores e indagaciones en la comunidad, esto ha sido un inconveniente porque han sido la fuente generadora de contaminación y de enfermedades para la población, y aun no se han asignado responsabilidades que tenga a su cargo esta tarea. El trabajo se enfoca en la cabecera del corregimiento, espacio que cuenta con un aproximado de 500 de viviendas.

Este proyecto se centra en las fases de extracción y transformación de los Lodos Fecales (LF), para ello se realizó un trabajo de campo compuesto de entrevistas a miembros de la comunidad y fotografías de los sistemas de saneamiento descentralizado utilizados, para realizar la verificación de las condiciones de manejo; igualmente se realizó una búsqueda bibliográfica sobre las tecnologías en uso existentes. El sistema de extracción y de transformación de los LF, debe desarrollarse para adaptarse y vincularse a las condiciones del corregimiento y a las características de sus habitantes.

Finalmente se plantea el diseño de un sistema de extracción y transformación de fertilizante orgánico, para el aprovechamiento del producto derivado de los sistemas de saneamiento descentralizados en el corregimiento del Hormiguero, zona rural de municipio de Santiago de Cali

Palabras clave: saneamiento descentralizado, extracción, excretas humanas, transformación de lodos, salubridad, protección ambiental, diseño sostenible.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
3 JUSTIFICACIÓN	19
4 CONTEXTO TERRITORIAL Y SOCIAL	20
5 ANTECEDENTES	22
5.1 ESTUDIOS E INVESTIGACIONES SOBRE EL USO DE SISTEMAS ALTERNATIVOS Y SOSTENIBLES EN LA DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y EXCRETAS HUMANAS	24
5.2 ESTUDIOS E INVESTIGACIONES SOBRE LA PROBLEMÁTICA, VIABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO BÁSICO EXISTENTES.	26
5.3 POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE SANEAMIENTO BÁSICO DESCENTRALIZADO	28
6 MARCO TEÓRICO	30
6.1 SECTOR RURAL	30
6.2 SANEAMIENTO BÁSICO	30
6.3 SANEAMIENTO DESCENTRALIZADO	31
6.4 SISTEMAS DE SANEAMIENTO DE EXCRETAS HUMANAS	32
6.5 SISTEMAS DE SANEAMIENTO DE EXCRETAS HUMANAS EN EL SECTOR RURAL	33
6.5.1 Sistema de pozo simple	33
6.5.2 Sistema sin agua con pozos alternos	34
6.5.3 Sistema de Arrastre Hidráulico con Pozos Dobles	34
6.5.4 Sistema Sin Agua con Separador de Orina	35
6.5.5 Sistema de Tratamiento de Aguas Negras con Infiltración	35
6.6 LODOS FECALES (LF)	36
6.7 MANEJO DE LOS LODOS FECALES (MLF)	36

6.8	CONTAMINACIÓN DE FUENTES HÍDRICAS	37
6.9	CONTAMINACIÓN DE ORIGEN ORGÁNICO	38
6.10	ASPECTOS SOCIALES Y CULTURALES RESPECTO AL MANEJO DE LF	38
7	MÉTODOS PARA EL MLF	40
7.1	MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LF	40
7.1.1	Extracción manual	40
7.1.2	Extracción mecánica manual	41
7.1.3	Bombas motorizadas	41
7.1.3	Equipos aspiradores sobre camiones	41
7.2	SOLUCIONES EXISTENTES PARA LA EXTRACCIÓN MECÁNICA MANUAL DE LF	42
7.2.1	El “tragón” de lodos (Gulper)	42
7.2.2	Bombas manuales de diafragma	44
7.2.3	El “mordiscón” (Nibbler)	45
7.2.4	MAPET	45
7.3	MÉTODOS DE TRANSPORTE DE LF	48
7.3.1	Transporte manual	48
7.3.2	Transporte motorizado	49
7.4	MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LF	50
7.4.1	Cuantificación y características de los lodos fecales	50
7.5	METAS DE TRATAMIENTO	53
7.5.1	Uso final de los productos de tratamiento	53
7.6	PREOCUPACIONES GENERALES	53
7.6.1	Patógenos	54
7.6.2	Factores sociales	54
7.6.3	Uso de lodos fecales como enmienda del suelo	54
7.7	OBJETIVOS DE TRATAMIENTO	56
7.7.1	Separación del agua	56
7.7.2	Reducción de patógenos	57
7.7.3	Extracción de los nutrientes	57
7.7.4	Estabilización	57

7.8	MECANISMOS DE TRATAMIENTO DE LF	58
7.8.1	Mecanismos físicos	58
7.8.2	Mecanismos biológicos	59
7.8.3	Mecanismos químicos	62
8	METODOLOGÍA	66
9	INTERVENCIÓN	69
9.1	ANÁLISIS DEL PROBLEMA DESDE EL DISEÑO INDUSTRIAL	69
9.1.1	Aspecto humano	70
9.1.2	Ergonomía	70
9.1.2.1	Antropometría:	71
9.1.2.2	Cargas	71
9.1.3	Aspecto técnico	72
9.1.4	Aspecto formal	72
9.1.5	Aspecto cultural y psicológico:	73
10	REQUERIMIENTOS Y DETERMINANTES	75
10.1	REQUERIMIENTOS	75
10.1.1	Requerimientos de uso	75
10.1.2	Requerimientos de Función	75
10.1.3	Requerimientos Estructurales	76
10.1.4	Requerimientos Ambientales	76
10.1.5	Requerimientos Técnico Productivos	76
10.1.6	Requerimientos Económicos y de Mercado	76
10.1.7	Requerimientos formales	76
10.2	DETERMINANTES	77
10.2.1	Determinantes de uso	77
10.2.2	Determinantes de función	77
10.2.3	Determinantes Estructurales	77
10.2.4	Determinantes Ambientales	77
10.2.5	Determinantes Técnico Productivos	78
11	PROPUESTA DE DISEÑO	79

11.1	EXFERO	79
11.1.1	Innovación	80
11.1.2	Resultado	85
11.2	COMPONENTES DE EXFERO	86
11.2.1	Sistema de extracción:	87
11.2.1.1	Elementos de la bomba	88
11.2.2	Contenedor de producto:	89
11.2.2.1	Elementos del contenedor	90
11.2.3	Transporte:	91
11.2.3.1	Elementos del transporte:	92
11.3	MODO DE USO	93
11.4	LAS INDUSTRIAS Y EL USO DE PRODUCTO FINAL	98
11.5	OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y MONITOREO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y TRATAMIENTO DE LF	99
11.5.1	Proceso de integración y planificación de OyM para el sistema extracción y tratamiento de LF	99
11.5.2	Planes de O y M	100
11.5.2.1	Procedimientos operativos	100
11.5.2.2	Procedimientos de mantenimiento	101
11.5.2.3	Seguridad del sistema	101
11.5.2.4	Salud y seguridad	101
12	CONCLUSIONES	103
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
TABLA 5.1: ESTUDIOS E INVESTIGACIONES SOBRE LE DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y EXCRETAS HUMANAS	24
TABLA 5.2: ESTUDIOS E INVESTIGACIONES SOBRE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO BÁSICO.	26
TABLA 5.3: INFORMES Y ESTUDIOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE EL MANEJO DE SISTEMAS SANEAMIENTO BÁSICO	28
TABLA 6.1: TABLA DE COMPARACIÓN ENTRE EQUIPOS MANUALES DE EXTRACCIÓN DE LF	47
TABLA 8.1: MÉTODO SISTEMÁTICO PARA DISEÑADORES	67

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: DIVISIÓN ESQUEMÁTICA DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN. AUTOR.	87
FIGURA 2: DIVISIÓN ESQUEMÁTICA DEL CONTENEDOR. AUTOR	89
FIGURA 3: DIVISIÓN ESQUEMÁTICA DEL TRANSPORTE. AUTOR.:	91

INTRODUCCIÓN

Existe la necesidad a nivel mundial encontrar soluciones efectivas y sostenibles para el manejo de lodos fecales (MLF) a nivel del sector rural ya que esos son generadores de contaminación y fuente de enfermedades para la población de este tipo de comunidades. Las investigaciones y desarrollo de tecnologías para cumplir este propósito son relativamente recientes, sin embargo, los avances se han dado con acelerado progreso, por lo que se le ha dado mayor relevancia. El propósito fundamental del desarrollo tecnológico, en este sentido, es ofrecer soluciones que sean funcionales, viables y accesibles a las comunidades de escasos recursos, en especial a las zonas alejadas de los centros urbanos, donde los sistemas descentralizados de saneamiento se relacionan principalmente con el manejo de excretas humanas, en especial de los LF (Strande, Ronteltap Brdjanovich, 2014, pág. 1). La implementación de dichas tecnologías debe considerar no solo los aspectos técnicos y las limitaciones tecnológicas de la situación, además se deben considerar los aspectos sociales, culturales y políticos de las zonas donde se requiere los sistemas de MLF; (Caicedo y Cruz, 2012, pág. 12) de esta manera es que realmente se ayudará a transformar la prestación de servicios de saneamiento descentralizado en cadenas de servicios sostenibles y rentables.

El objetivo general de este proyecto es diseñar una unidad de extracción y transformación de fertilizante orgánico, para el aprovechamiento del producto derivado de los sistemas de saneamiento descentralizados en el corregimiento de el hormiguero, municipio de Santiago de Cali; con esto se apoya de manera significativa al desarrollo de tecnologías de manejo sostenible de LF en sus fases de extracción y transformación, que contribuyan al mejoramiento sustancial de las condiciones de saneamiento básico de la comunidad.

Se analizaron distintas tecnologías existentes para la extracción y transformación de LF, con esto se logró desarrollar la mejor opción para el desarrollo de la unidad, en función de su eficiencia y su aplicabilidad en todo el

contexto territorial y social; de igual forma se identificaron los equipos y las técnicas a ser utilizados para tratar y transportar los lodos fecales de los sistemas de saneamiento descentralizado, buscando desarrollar una unidad para la extracción y transformación de fertilizante orgánico, para el aprovechamiento del producto derivado de los sistemas de saneamiento descentralizados en el corregimiento de “el Hormiguero”, zona rural de municipio de Santiago de Cali

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Organización Mundial de la Salud (OMS), expone la idea que la humanidad ha desarrollado diversas respuestas socioculturales al uso de excretas; estas van desde la repugnancia, pasando por la indiferencia hasta el agrado. Esto obedece a la fuerte y arraigada convicción que las excretas humanas, sobre todo las fecales, son sustancias repulsivas que es mejor mantener lo más lejos posible, una vez generadas. Por tal motivo, la posibilidad social de modificar determinados tipos de conducta con el fin de introducir sistemas de aprovechamiento de excretas o de aguas residuales, debe evaluarse conociendo los valores culturales asociados a prácticas que, bajo la apariencia de preferencias sociales, facilitan la aparición y transmisión de enfermedades y problemas de salubridad (Mara y Cairncross, 1990, pág. 102).

Ahora bien, en la actualidad las diferencias existentes entre las zonas urbanas y el sector rural se hacen evidentes cuando se trata lo relacionado a la cobertura de servicios públicos; particularmente los que están relacionados con el saneamiento básico, como lo son el suministro de agua potable y el manejo de aguas residuales y excretas humanas (Ramírez et al, 2015, pág. 13). Uno de los problemas asociados al manejo, tanto de aguas residuales como excretas humanas, es que no existe claridad acerca del tipo de tecnología o equipamiento requerido en determinadas condiciones de orden social y geográfico; esto especialmente notable en las zonas rurales, donde generalmente no se tienen en cuenta ni la actividad económica, ni la situación social y financiera de la comunidad en el desarrollo e implementación de soluciones relacionadas con el saneamiento básico. El manejo de excretas humanas y sus productos deben ser de importancia a nivel de salud pública, debido a la prevención de problemas de salubridad de los habitantes y el deterioro del medio ambiente que estas pueden causar (Albuja, 2012, pág. 16).

En poblaciones donde hay deficiencia en el saneamiento básico, el manejo de lodos fecales se realiza de forma indebida, generalmente estos son vertidos, a canales abiertos, campos agrícolas con riego, tierras baldías, o los cuerpos de agua. La cantidad de lodos fecales descargados sin tratamiento al ambiente abierto representa un grave riesgo para la salud pública. Por parte de la comunidad, sobre todo de la rural, no existe conocimiento respecto al procedimiento que se le debe hacer a los lodos fecales y la incidencia que tienen tanto para el humano como para el ambiente mismo (Holguín et al, 2014, pág. 61).

De acuerdo con Caicedo y Cruz (2012, pág. 6), las enfermedades en la población mundial se hallan principalmente asociadas a la falta o deficiencia de saneamiento, lo que constituye la segunda causa que reduce la expectativa de vida en las personas, esto principalmente en países en vías de desarrollo. En este sentido, según el censo del año 2005 y su modificación en el 2008, realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en Colombia, la cobertura de alcantarillado es del 73.1% y existe además de esto un gran contraste entre la cobertura en saneamiento básico en la zona urbana y la zona rural, siendo del 89.7% y 17.8% respectivamente.

En el corregimiento de “el Hormiguero”, sector rural de la ciudad de Santiago de Cali, el manejo de las aguas residuales y excretas humanas se hace a través de diversos sistemas de saneamiento descentralizados construidos de manera artesanal en cada vivienda; el más utilizado, es el método tradicional; en el que básicamente se cava un hoyo en la parte posterior de la casa o en el patio, este se enladrilla sus paredes disponiéndolos intercaladamente de tal manera que los líquidos se puedan filtrar, en la parte superior instalan un inodoro con arrastre de agua y se fabrica una caseta para su cerramiento. Esto indica que, existe un conocimiento técnico para aislar las excretas humanas, pero no hay, desde los intereses culturales, sociales o técnicos, el correcto procedimiento para el manejo de los LF y su disposición final, por parte de la comunidad; esto incentivado por la escasa o nula participación o intervención de los entes gubernamentales que

deberían prestar atención a estos asuntos de sanidad pública y protección del medio ambiente.

El problema con respecto al manejo de lodos, este no se hace de una manera ni adecuada, ni técnica ya que la comunidad, una vez generado el desecho, no quiere tener nada más que ver con este (esta información suministrada por el operador del acueducto; el gestor cultural de la comunidad, Jhon Jairo Ramírez y por la representante de la Junta de Acción comunal, Nelly Guapacha). Adicionalmente la extracción y tratamiento de los lodos necesitan de equipos y herramientas que requieren de un manejo técnico apropiado y de un mantenimiento constante; pero esto no se considera como un tema de interés dentro de las políticas públicas en cuanto al manejo de residuos, por tanto, no existe un control apropiado de los mismos, lo que se ha convertido en un problema de contaminación ambiental y de salud pública.

De acuerdo con Tordecilla y Frontuso (2014, pág. 3) los problemas detectados en la comunidad son los mismos que presentan en otras comunidades rurales del mundo, de Colombia y de la región pacífica, estos problemas pasan por los siguientes aspectos:

- Diferencias en la cobertura de servicios básicos entre la zona urbana y la zona rural, lo que hace que existan deficiencias en servicios de saneamiento básico.
- Uso de tecnologías inadecuadas o de manera empírica en el manejo de las aguas residuales y lodos fecales.
- Desconocimiento de aspectos sociales y culturales a la hora de la implementación de procesos para el manejo de los lodos fecales.
- Desconocimiento tanto de procedimientos de extracción, tratamiento y aprovechamiento de los lodos fecales.

En cuanto al manejo específico de los LF, se considera de fundamental importancia que estos sean sometidos a un análisis para determinar si son peligrosos para el ambiente y la salud, para así efectuar su tratamiento y aprovechamiento apropiado (Holguín, 2014, pág. 62).

Se estima que la mayor población del corregimiento de “el Hormiguero” depende de tecnologías descentralizadas que producen toneladas de lodos fecales. Cuando el único sistema existente para su disposición está saturado de lodos, lo consiguiente a esto es el desbordamiento y el excremento aflora en la superficie estableciendo un serio riesgo sanitario. En los casos donde existen pozos sépticos, estos son susceptibles de falla y derrame durante épocas de lluvia e inundaciones. Es por este motivo que este tipo de soluciones alternativas requieren vaciado frecuente y mantenimiento constante. Las eficiencias en un sistema adecuado varían mucho en función de las condiciones de operación, mantenimiento y clima (Mara y Cairncross, 1990, pág. 123).

En las situaciones donde existe extracción de lodos fecales en el corregimiento, estos son extraídos manualmente o por medio de motobombas y vertidos generalmente sin tratamiento, a canales abiertos, campos agrícolas de caña, o directamente sobre el río Cauca. La cantidad de LF descargados sin tratamiento al ambiente abierto solo ha logrado la incomodidad entre sus vecinos, pero no una preocupación por los efectos que este puede llegar a ocasionar.

La acción contaminante de las aguas que sirven para consumo humano, al igual que la infiltración hacia el río Cauca, se refleja en graves problemas de salud de los pobladores del corregimiento; según lo expresado por el gestor cultural de la localidad, John Jairo Ramírez en entrevista realizada en la biblioteca de la comunidad el 17 de octubre del año 2015. Por lo que se hace necesario tener en cuenta que las creencias y prácticas culturales varían en distintas partes del mundo y no se puede realizar la transferencia de tecnologías, con facilidad de un punto a otro, como también es necesario considerar muchos factores en el manejo de LF, como el uso final, los objetivos de tratamiento, sus ventajas y posibles limitaciones, además de sus costos; siendo siempre necesaria una evaluación del contexto sociocultural local (Mara y Cairncross, 1990, pág. 109).

1.1 Pregunta de investigación

¿Cómo estructurar una unidad de extracción y transformación de fertilizante orgánico, para el aprovechamiento del producto derivado de los sistemas de saneamiento descentralizados en el corregimiento de “el Hormiguero”?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una unidad de extracción y transformación de fertilizante orgánico, para el aprovechamiento del producto derivado de los sistemas de saneamiento descentralizados en el corregimiento de “el Hormiguero”, municipio de Santiago de Cali

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Identificar los aspectos procedimentales y técnicos que se dan entorno a la extracción y transformación de los Lodos Fecales (LF) en las zonas rurales.

Adaptar un proceso para la extracción y el tratamiento de lodos fecales, en función de su eficiencia y su aplicabilidad en el contexto del corregimiento de “el Hormiguero”.

Desarrollar una propuesta objetual que permita la extracción y transformación de excretas humanas, enfocado al contexto de “el Hormiguero”.

3 JUSTIFICACIÓN

Los procesos de tratamiento y depuración de los lodos fecales (LF), producto de las excretas humanas, permiten reducir o eliminar microorganismos patógenos que potencialmente causan distintas enfermedades. Luego de ser tratados pueden ser utilizados como recuperación de suelos ácidos o erosionados, sin que tengan riesgos de contaminación y para la salud humana (Diocaretz, y Vidal, 2010, pág. 52). Teniendo en cuenta los inconvenientes que trae el manejo inadecuado de las excretas humanas y las aguas residuales en la comunidad estudiada, se requiere plantear nuevas propuestas que contribuyan a disminuir los efectos causados por las condiciones de saneamiento existentes en el corregimiento del Hormiguero; para esto, es necesario el apoyo continuo de los programas de saneamiento, incluyendo la participación comunitaria para que las personas identifiquen las propuestas y las acojan como propias.

El propósito de esta investigación, es contribuir al mejoramiento de los procedimientos para el manejo de lodos fecales del sistema de saneamiento descentralizado existente en el corregimiento de “el Hormiguero”, en especial lo relacionado con la extracción y transformación de los lodos fecales, producto de las excretas humanas y su interés está direccionado hacia el mejoramiento de estos dos procesos. En este sentido, los estudios de Wilchez et al (2013, pág. 36), Ramírez et al (2015, pág. 16), Vence Márquez et al (2012, pág. 33); determinan que un manejo inadecuado de las excretas humanas en las zonas rurales, es una de las causas principales de enfermedades y contaminación de las fuentes hídricas.

Finalmente, esta investigación busca aportar elementos teóricos y prácticos para la gestión en el uso de tecnologías de extracción y transformación de los LF de las excretas humanas, que garanticen la protección tanto de la salud humana como de los recursos naturales, teniendo en cuenta el entorno social y cultural que facilite tanto la implementación como el manejo de la tecnología a desarrollar.

4 CONTEXTO TERRITORIAL Y SOCIAL

Según datos del Departamento Administrativo de Planeación del Municipio de Santiago de Cali, El Hormiguero se encuentra ubicado al sur oriente del Municipio de Santiago de Cali, en el valle geográfico del río Cauca, y comprende uno de los territorios de la cuenca del río. Su topografía es completamente plana, tiene una altura promedio sobre el nivel del mar de 900 metros, su clima es cálido con temperatura promedio de 24,8° C. y tiene una precipitación anual de 1.080,4mm.

El corregimiento de El Hormiguero es un poblamiento rural concentrado (no disperso) y también periurbano porque está ubicado a tan solo 15 minutos de la zona urbana de Santiago de Cali, por la vía que conduce al municipio de Puerto Tejada. Está conformado por cinco veredas: la cabecera del corregimiento El Hormiguero, La Pailita, Cauca Viejo, Cascajal y Morgan. En la Figura 4.1 se muestra, demarcado en color rojo, la ubicación del corregimiento en el plano general de Santiago de Cali. En gris claro está la zona urbana y en gris oscuro la zona rural.

La población para datos del censo de 2005 era de 7303 habitantes, pero según la representante de la Junta de Acción Comunal (JAC), Nelly Guapacha, este número ya está alrededor de los 10000 habitantes. La mayor parte de la población corresponde a la etnia negra, descendiente de familias oriundas de zonas aledañas a la localidad como Navarro y de municipios del departamento del Cauca como López de Micay, Puerto Tejada y Santander de Quilichao, principalmente con fuertes raíces culturales de la comunidad afro colombiana. En la figura 4.2 se observa la densidad demográfica de las zonas rurales de Santiago de Cali.

La actividad económica de esta comunidad está vinculada al río Cauca, cuyas condiciones ambientales son cada día más críticas; por eso el interés de motivar a desarrollar alternativas amigables con el medio ambiente. En estos momentos la actividad económica más importante es la extracción de arena realizada artesanalmente por los nativos de la región y de manera mecánica por empresas y

personas no pertenecientes a la comunidad. Otras actividades son la pesca, igualmente artesanal, la explotación agrícola en haciendas cañeras vecinas y la prestación de servicios en el área urbana de la ciudad de Cali.

En el Plan de Desarrollo (2012-2015), propuesto por la alcaldía de la ciudad de Santiago de Cali para el corregimiento del Hormiguero, se contemplan estrategias para un desarrollo integral de esta comunidad rural. En este plan se pretende lograr la solución de los problemas que tiene esta comunidad, en los órdenes social, económico, político, cultural y ambiental. En relación a los temas de saneamiento básico y protección ambiental se plantean la cobertura en servicios de salud, protección y mantenimiento del tema ambiental, y manejo apropiado de las aguas residuales y excretas humanas. Igualmente, se debe tener en cuenta que los aspectos geográficos, técnicos y tecnológicos cumplen un papel fundamental; al igual que los aspectos sociales y culturales propios de esta comunidad rural, a la hora de la implementación de soluciones técnicas al problema del manejo de los LF, en especial lo reaccionado a su tratamiento y uso final. Por el momento, la implementación de este plan de desarrollo aún está en la espera para su ejecución.

5 ANTECEDENTES

Ramírez et al (2015, pág. 11), Celis (2013, pág. 17) y Smits (2012, pág. 17), plantean en sus trabajos las diferencias existentes entre la zona urbana y el sector rural en cuanto a la cobertura de servicios públicos y de saneamiento básico, estas diferencias son enormes en perjuicio del sector rural y han hecho que surja la necesidad de creación e implementación de medidas alternativas mediante el uso de tecnologías que se adapten a las necesidades y requerimientos de la zonas rurales específicas, teniendo en cuenta las características propias de cada territorio.

Con respecto al tratamiento descentralizado de las aguas residuales y excretas humanas, Galarza (2015), afirma que “existe gran cantidad de información, pero toda esta información se encuentra dispersa” (pág. 9). Es de vital importancia sistematizar y organizar dicha información ya que, en muchos de los casos, esta es de fácil adaptación a las condiciones geográficas, meteorológicas, sociales y hasta culturales de una región determinada.

Tordecilla (2014, pág. 1) y Montes (2012, pág. 136), en el contexto colombiano, han propuesto la implementación y uso de baños ecológicos como respuesta a las deficiencias que existen en los sistemas viables de saneamiento básico en poblaciones de escasos recursos; zonas donde la infraestructura y los recursos físicos no permiten la adecuación de sistemas convencionales de redes de alcantarillado. Los saneamientos básicos alternativos sostenibles (sanitarios secos), son una alternativa, enfocada principalmente a resolver la problemática de manejo sanitario de excretas, implementando en una comunidad vulnerable un sistema apropiado, accesible, manejable y rentable que aporte soluciones ambientales, sanitarias y que mejore la calidad de vida de la población en todos sus aspectos.

Un par de aspectos de vital importancia, sin los que ningún proyecto de índole técnico o tecnológico tiene sentido ni propósito, son los aspectos social y cultural. Estos dos aspectos están ligados tanto a la aceptación como la adaptación de

soluciones técnicas relativas a temas de saneamiento básico, y más específicamente a la extracción y tratamiento de los lodos fecales. Según Mara y Cairncross (1990, pág. 112) y Delgado-Rodríguez (2008, pág. 271), sin tener en cuenta estos dos aspectos, los intentos por dar solución al manejo de los lodos fecales solo desde el punto de vista técnico o tecnológico, no tiene ni relevancia ni sentido. En pocas palabras los aspectos sociales y culturales de la comunidad específica en donde se vaya a desarrollar e implementar una solución técnica para el manejo disposición de los LF, son de estructural importancia y el comienzo para que este tipo de intervenciones ofrezcan una solución apropiada y efectiva. Esto es de relevante significancia en el territorio de estudio, ya que sus características socioculturales hacen que la aceptación e implementación de tipo técnico para la disposición de los lodos fecales, se deba hacer desde la intervención de tipo social y cultural para que sea efectiva y eficiente.

En cuanto a la extracción y tratamiento de los LF, existen distintos manuales y procedimientos que contemplan soluciones técnicas y la implementación de tecnologías adecuadas, sobre todo en lugares donde, por distintas razones, no se tiene acceso a las soluciones convencionales de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales. Esto ocurre de manera particular en las zonas rurales, donde las características geográficas son diversas, al igual que las condiciones sociales y culturales. En esta investigación se han tomado los siguientes estudios como referencia fundamental para su desarrollo; la primera es *Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento* de Tilley (2011) y la segunda es *Manejo de lodos fecales: un enfoque sistémico para su implementación y operación* de Strande, Ronteltap, & Brdjanovic, (2014).

5.1 Estudios e investigaciones sobre el uso de sistemas alternativos y sostenibles en la disposición de aguas residuales y excretas humanas

Tabla 5.1: Estudios e investigaciones sobre le disposición de aguas residuales y excretas humanas

Autor y año	Objetivo	Metodología	Resultados	Conclusión
<i>Saneamiento alternativo sostenible para la población costera de Manzanillo del mar en Cartagena de Indias.</i> Tordecilla, E. C. 2014	Mejorar las condiciones de salud con la implementación de los baños ecológicos a fin de resolver el problema de saneamiento básico de las poblaciones rurales costeras	El enfoque de esta investigación es de tipo cualitativo. El estudio se apoyó en los diagnósticos socio ambientales locales y en la caracterización realizada a las familias de la vereda.	Las discusiones de resultados se desarrollaron conjuntamente, es decir la comunidad y los investigadores, consideran que el enfoque tradicional del saneamiento ya no es aceptable,	Se busca la implementación de tecnologías alternativas de carácter social que permitan soluciones para los conflictos generados por el desarrollo desigual en las zonas rurales
<i>Sanitario seco: una alternativa para el saneamiento básico en zonas rurales.</i> García-Ubaque. Et al. 2014	Evaluar el uso de sanitario seco en una zona rural en Colombia	Selección de quince familias ubicadas en zona rural Se incorporó un elemento demostrativo en una de las viviendas durante cinco meses y se hizo una evaluación ex-post	El sanitario seco posee facilidad constructiva y muestra ventajas ambientales asociadas a menor contaminación de fuentes hídricas y menor uso de fertilizantes químicos	La alternativa propuesta es una solución ambientalmente aceptable desde la perspectiva técnica y económica, deben trabajarse los factores de tipo social y cultural
<i>Análisis de la contribución de los sanitarios secos al saneamiento básico rural. Caso: vereda Chorrillos</i> Montes, A.K. 2012	Responder a falencias en sistemas de saneamiento básico en poblaciones de escasos recursos e infraestructura inadecuados e insuficientes.	Investigación cualitativa basada en un estudio de caso y observación participante, Usando entrevistas a informantes claves, trabajo con grupo focal y trabajo de campo	El resultado es una matriz de análisis de entrevistas cualitativas que permiten hacer una aproximación a los cambios generados gracias al uso de esta alternativa	El sanitario seco es un sistema sencillo, eficiente y digno que se adapta a las necesidades y requerimientos de la comunidad rural en cuestión

Continuación tabla

Autor y año	Objetivo	Metodología	Resultados	Conclusión
<i>Diseño conceptual de una estación experimental de tratamiento de aguas residuales domésticas orientada a municipios con población menor a 30.000 habitantes</i> González, M.J. Mejía, R. R. 2012	Presentar el diseño conceptual de una planta experimental de tratamiento de aguas residuales para poblaciones menores de 30.000 habitantes	Se integran seis esquemas de tratamiento interconectados, incluyendo sistemas convencionales y No convencionales, con disposición final del efluente a un cuerpo de agua o infiltración lenta	Combinación de procesos de tratamiento (6 en total, más estabilización y disposición de lodos) que cubran la mayor relación de tecnologías para constituir la planta experimental	Los centros para el desarrollo y promoción de tecnologías y asistencia técnica produce un impacto positivo en el desarrollo de recursos humanos capacitados, adecuación De tecnología al medio local.
<i>Biosistema integral de tratamiento de aguas residuales domésticas. diseño, construcción y evaluación</i> Arango, G. A. 2007	Diseñar, construir y evaluar un biosistema de tratamiento de aguas residuales domésticas a pequeña escala	Se utiliza una combinación de sistemas de humedales de flujo libre y flujo subsuperficial, realizando un aprovechamiento de los residuos generados en la depuración.	Los análisis del agua residual mostraron remociones de DBO ₅ , entre 92,92% y 94,03%, remociones de DQO entre 85,00% y 91,21% y remociones de sólidos suspendidos entre 77,23% y 87,35%,	El sistema es una buena alternativa para el aprovechamiento de la biomasa generada ya que el abono orgánico obtenido proporciona cantidades notables de nutrientes esenciales, principalmente, nitrógeno, fósforo y potasio
<i>Representaciones sociales de higiene y disposición de excretas, el caso de la introducción de sanitarios ecológicos secos en Quibdó y Tumaco</i> Delgado-Rodríguez, L. 2007	Identificar y analizar cómo las representaciones sociales de las comunidades orientan y organizan las conductas comunitarias para la disposición de sus excretas	Enfoque cualitativo exploratorio. Se utiliza el método etnográfico para acercarse a las Comunidades y conocer el proceso de poblamiento de la región.	La investigación determina que se debe comprender la lógica del pensamiento de las comunidades antes de iniciar la ejecución de los proyectos de intervención en saneamiento básico	Los habitantes de la costa pacífica tienen una estrecha relación con el entorno. El espacio físico no se limita a la vivienda en la zona urbana y a la parcela en la zona rural.

Fuente: Realizado con base en la información bibliográfica consultada. Diseño de la tabla por parte del investigador.

5.2 Estudios e investigaciones sobre la problemática, viabilidad y sostenibilidad de los sistemas de saneamiento básico existentes.

Tabla 5.2: Estudios e investigaciones sobre los sistemas de saneamiento básico.

Autor y año	Objetivo	Metodología	Resultados	Conclusión
<i>Aproximación a la gestión del riesgo en los acueductos rurales del municipio de Santa Rosa de Osos, Antioquia, Colombia</i> Marín, J. & Marín, R. 2014	Proponer una estrategia que permita minimizar el riesgo en el consumo de agua y la adopción de acciones que admitan la implementación de los procesos necesarios para su cumplimiento	Instrumentos de gestión pública, en concordancia con el proceso de gestión del riesgo en el sector de servicios públicos domiciliarios	Se determina que un porcentaje de los acueductos rurales (36,8%) están catalogados como Inviabiles Sanitariamente, según parámetros del Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA).	La prestación de los servicios públicos tiene influencia directa en la calidad de vida y sobre el desarrollo sostenible en el contexto geográfico donde se presta el servicio.
<i>Análisis del problema del agua potable y saneamiento: ciudad de Puno</i> Florez, F. R. 2014	Analizar la problemática de los servicios de saneamiento, sus efectos en la salud y el medio ambiente	Mirada histórica en una primera parte de la información a nivel mundial, luego a nivel de América Latina a nivel nacional centrándonos finalmente en la ciudad de Puno	No existen plantas de tratamiento con tecnologías adecuadas que permitan cumplir con las normas y falta de sinceramiento en las tarifas para garantizar su sostenibilidad y funcionamiento,	La formulación de políticas públicas que aseguren una prestación económicamente eficiente, socialmente equitativa y ambientalmente sustentable de los servicios de agua potable y saneamiento
<i>Evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable y disposición de excretas de la población del corregimiento de monterrey, municipio de Simití</i> González, S.T. 2013	Evaluar el sistema de abastecimiento de agua potable y disposición de excretas de la población, con el fin de proponer soluciones integrales	Análisis de calidad del agua de consumo, recolectando 10 muestras, de las cuales a 5 se les realizó análisis físico-químico y bacteriológico y a las 5 muestras restantes, tenían algún tipo de tratamiento previo al consumo	Los resultados obtenidos en esta investigación determinaron que efectivamente el agua no cumple con los criterios de calidad para consumo humano propuestos en la Resolución 2115 del 2007 de la Norma Colombiana	Se propone la implementación de métodos caseros de tratamiento para agua de consumo, la adecuación de las estructuras del acueducto y talleres de prácticas de higiene y apropiación del territorio.

Continuación de la tabla

Autor y año	Objetivo	Metodología	Resultados	Conclusión
<i>Identificación y evaluación de los impactos ambientales en el uso de tecnologías de saneamiento convencional y ecológico</i> Rodríguez, R. G. 2013	Identificar y evaluar los impactos ambientales de las tecnologías de saneamiento utilizadas, evaluándose los medios físicos y aspectos culturales	Se elabora la matriz de importancia, apoyándose en la metodología de la matriz de Leopold	Menor cantidad de impactos negativos de la tecnología de saneamiento ecológico, la aceptabilidad social las tecnologías de convencional (letrinas), resulta ser más aceptable.	Se recomienda utilizar las tecnologías de saneamiento ecológico, con un proceso de culturización al público en general y capacitar al personal responsable
<i>Análisis de la Sostenibilidad de los Operadores de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en el municipio de Suchitoto</i> Hernández, R. E. 2013	fortalecer la gestión administrativa de los sistemas de agua potable y saneamiento básico	Uso de indicadores de gestión, medición de avance en el cumplimiento de metas, muestra de 14 sistemas de agua. La investigación se efectuó en tres fases	El sistema se encuentra en buenas condiciones y cubre las necesidades de la población actuales y futuras	La sostenibilidad económica de los sistemas rurales de agua parece estable. Se ha permitido generar los recursos financieros para mantener funcionando los sistemas de agua.
<i>Aspectos Teóricos sobre el Fenómeno de Contaminación de Aguas Subterráneas</i> Echeverry, R. G. 1998	consignar de manera concisa, los aspectos teóricos y principios básicos de la hidráulica subterránea, los conceptos fundamentales de la física del movimiento y la química del agua subterránea	Conceptos generales de la hidráulica subterránea Constituyentes y mecanismos de Contaminación Ecuaciones gobernantes del fenómeno	El movimiento descendente de la contaminación desde la superficie hasta los sistemas de aguas subterráneas, está acompañado por diversos mecanismos complejos de naturaleza física, química y biológica	Debido a la heterogeneidad de los materiales geológicos naturales, el problema de la predicción y detección del comportamiento de los contaminantes en sistemas de flujo de aguas subterráneas, es muy complejo

Fuente: Realizado con base en la información bibliográfica consultada. Diseño de la tabla por parte del investigador

5.3 Políticas públicas sobre saneamiento básico descentralizado

Tabla 5.3: Informes y estudios de políticas públicas sobre el manejo de sistemas saneamiento básico

Autor y año	Objetivo	Metodología	Resultados	Conclusión
<i>Bienes y servicios públicos sociales en la zona rural de Colombia.</i> Ramírez, J. J. et al. 2015	Lograr la inclusión de pobladores y territorios rurales en una dinámica en la que sus habitantes tengan los mismos derechos sociales que el conjunto de la población nacional.	Trabajo realizado bajo el concepto de la integración social y políticas de desarrollo humano	Las mayores brechas entre el campo y las áreas urbanas se presentan en vivienda y servicios domiciliarios. En educación y salud las brechas son menores y con reducciones en las últimas décadas.	La estrategia de derechos sociales hace unidad con las otras estrategias de desarrollo: inclusión productiva, competitividad, sostenibilidad ambiental, institucionalidad y seguridad
<i>El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina</i> Ballesterio, Arroyo, Mejía-Betancourt, A. y Real et al. 2015	Analizar la situación de los servicios de agua potable y saneamiento en la región latinoamericana	Establecimiento de un marco legal moderno, la creación de instituciones reguladoras y la descentralización de la prestación del servicio en los niveles regional o local	En los últimos 15 años en los países de la región se han realizado importantes reformas de los sectores de agua y alcantarillado	La provisión de estos servicios debe realizarse de manera equitativa a toda la población, y basarse en la debida consideración de la sostenibilidad de los recursos hídricos
<i>Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia</i> Smits, S. et al 2012	Realizar un análisis cuantitativo del impacto que diferentes formas de apoyo post-construcción tienen sobre el desempeño de prestadores rurales de servicios de agua	Se seleccionaron siete modelos diferentes, y se calificó su desempeño mediante un conjunto de indicadores, que describen su grado de institucionalización y las actividades desarrolladas por los modelos.	La mitad de los sistemas analizados tienen indicadores de nivel de servicio aceptable o alto. Los para que el nivel de servicio no obtenga las calificaciones más altas son la calidad y cantidad de agua	Recomendaciones para el uso de la metodología y del conjunto de indicadores en otros estudios recomendaciones para fortalecer el apoyo post-construcción

Fuente: Realizado con base en la información bibliográfica consultada. Diseño de la tabla por parte del investigador

A manera de conclusión de se puede decir lo siguiente respecto a la implementación de tecnologías alternativas para el saneamiento descentralizado y, en este caso particular, para un sistema de extracción y tratamiento de lodos fecales, producto de las excretas humanas: una articulación exitosa debe comprender los aspectos relacionados con políticas públicas de saneamiento y la consideración de las condiciones propias de la comunidad en cuanto a los aspectos geográficos, sociales y culturales, esto para que haya mayor posibilidad de éxito en la implementación y conservación del sistema que se elija desarrollar.

La literatura especializada respecto al saneamiento básico es muy amplia y sus tres componentes esenciales son el suministro de agua potable, el manejo de basuras y residuos sólidos y el manejo de las excretas humanas, debe entenderse que el saneamiento básico es un sistema que integra esos tres componentes y no se puede pensar en uno de ellos sin una relación e influencia sobre los otros dos; es más, no se puede perder de vista que el objetivo general del sistema y de cada uno de sus componentes es brindar a las personas las mejores condiciones de salud y ambiente que propicien un desarrollo tanto individual como comunitario.

Ahora bien, es cierto que existen diferencias entre lo urbano y lo rural, en cuanto a la realidad del saneamiento básico, dicha diferencia tiene su origen desde lo geográfico, lo político, lo social y hasta lo cultural; de esto se desprende que las comunidades rurales tengan que buscar soluciones alternativas para la satisfacción de las necesidades de saneamiento básico que se adapten a sus propias condiciones, esto es a lo que llamamos saneamiento descentralizado. Esto es válido para todo el sistema y para cada uno de sus componentes, como es el caso de la investigación presente, que se ocupa de las fases de extracción y tratamiento de los lodos fecales, producto de las excretas humanas; y aunque su objetivo sea diseñar una unidad de extracción y transformación de fertilizante orgánico, para el aprovechamiento del producto derivado de los sistemas de saneamiento descentralizado en el corregimiento de “El hormiguero”; este objetivo más allá y está alineado con el objetivo que tiene todo el sistema de saneamiento básico.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 Sector rural

Existen diferentes concepciones de lo que es el sector rural, unas pasan por el espacio geográfico que ocupan, otras por la cantidad de pobladores que lo habitan y unas más por la disponibilidad de los servicios básicos. En Colombia el sector rural tiene un carácter secundario en las políticas estatales, por su carácter marginal y por estar fuera de la influencia del control urbano. Aun así, el sector rural juega un papel fundamental en el desarrollo social de cada región, que tiene como propósito disminuir la brecha existente entre el sector urbano y el rural en lo que respecta a cobertura en servicios sociales y, por supuesto, en servicios de saneamiento básico (Celis, 2013, pág. 17).

6.2 Saneamiento básico

Florez, (2014), da una definición simple y clara de lo que es saneamiento básico: “saneamiento básico es la tecnología de más bajo costo que permite eliminar higiénicamente las excretas y aguas residuales y tener un medio ambiente limpio y sano tanto en la vivienda como en las proximidades de los usuarios.” (pág. 5).

Se alude a la palabra “básico”, porque se consideran los requerimientos y las acciones mínimas a ser implementadas en la localidad, ya sea en el sector rural o urbano, para que los habitantes puedan vivir y desarrollarse en un ambiente saludable. Según Castro y Pérez (2009, pág. 9), el saneamiento básico incluye:

- El abastecimiento de agua para consumo humano.
- El manejo y disposición final adecuada de las aguas residuales y excretas.
- El manejo y disposición final adecuada de los residuos sólidos municipales.

6.3 Saneamiento descentralizado

De acuerdo con Useche (2012), en el año 2007, la iniciativa Agua y Saneamiento emanada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), puso en evidencia algo que era sabido; las diferencias existentes en el suministro de agua y saneamiento básico, entre el sector urbano y rural en América Latina, identificando que:

... los habitantes en las zonas rurales no han recibido la misma atención que en las áreas urbanas. Mientras que en el año 2004 el 96% de los 427 millones de habitantes urbanos tenía acceso a una fuente de agua y el 86% a una solución de saneamiento, solamente el 73% de los 126 millones de habitantes rurales tenía acceso a una fuente de agua mejorada, y de éstos sólo el 45% tenía una conexión a la vivienda. Con respecto a saneamiento, la diferencia es aún mayor por cuanto el acceso a estos servicios se estima en 49% en las zonas rurales. (Useche, 2012, pág. 1)

A pesar de que los porcentajes, tanto nivel urbano como rural, en la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento básico se han incrementado, están muy lejos de los propuestos en los Objetivos del Milenio, sobre todo en el sector rural (Useche, 2012, pág. 2).

El mismo autor contempla que una importante labor debe ser cumplida por las mismas comunidades rurales ya que cualquier iniciativa de mejora de las condiciones sanitarias se sustenta en las organizaciones comunitarias con capacidad para tomar sus propias decisiones técnicas y financieras, para lo cual consideran acciones de fortalecimiento y empoderamiento dentro de las mismas comunidades rurales.

En el ámbito colombiano se puede decir, según Ramírez et al (2015, pág. 30), que la cobertura de acueducto en la zona rural es de 53,3%; si se consideran las fuentes alternativas apropiadas, la cobertura actual llega a 66%. La cobertura proyectada de acueducto en los hogares de las zonas rurales para el año 2035

sería del 60%, de mantenerse la baja tendencia de crecimiento entre 1997 y 2012 (0,5% anual);

En este mismo sentido, Useche (2012), afirma que “la cobertura en el servicio de alcantarillado es de apenas 15,6%; incluyendo alternativas flexibles, como los inodoros conectados a pozos sépticos, la cobertura presenta un aumento importante, de 76,3% en 2012 vs. 50,6% en 1997; estos mecanismos alternativos de eliminación de excretas presentan un leve crecimiento de 2,8% anual” pág. 5. Esto indica que tanto las políticas públicas, como las soluciones técnicas alternativas deben ampliarse y gestionarse desde la perspectiva técnica y social y de esta manera acelerar el crecimiento y la cobertura de servicios de saneamiento básico en las zonas rurales, disminuyendo la brecha existente entre lo urbano y lo rural.

Debido a lo anterior, han surgido alternativas que se adaptan a las necesidades y condiciones específicas de cada sector rural, que además de las consideraciones técnicas pertinentes, dichas soluciones involucran a la comunidad, desde el punto de vista constructivo y operativo, para que así sean integradas de manera eficiente (García-Ubaque, 2014, pág. 636).

6.4 Sistemas de saneamiento de excretas humanas

El sistema más conocido para el manejo domiciliario de las excretas humanas consiste en un retrete o sanitario conectado a un sistema de alcantarillado, que es un sistema de conducción por medio de tuberías, las cuales se arrojan a un cuerpo de agua, el cual posteriormente se somete a un proceso de tratamiento y recuperación. Todo esto se hace mediante criterios técnicos para el cálculo del caudal de agua, las características de la tubería, el arrastre necesario, las dimensiones de los canales de conducción y las características de las plantas de tratamiento de aguas residuales; uno de los criterios más importantes es el tamaño de la población, ya que de este factor depende las tuberías externas y

dimensiones de canales de conducción y envergadura de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Montes, 2013, pág. 136).

De acuerdo con lo anterior, se pensaría que el uso de sanitarios o retretes conectados a un sistema de alcantarillado con posterior tratamiento es la mejor solución desde el punto de vista técnico y práctico. Pero si se tienen en cuenta, por una parte, el costo de la construcción de un sistema funcional de alcantarillado y una planta de tratamiento de aguas; y por otra, los problemas técnicos que implicaría su construcción en la zona específica; esta no es la mejor solución desde el punto de vista técnico, social y económico.

6.5 Sistemas de saneamiento de excretas humanas en el sector rural

Los sistemas descritos en los numerales 6.4.1 a 6.4.5 se obtuvieron del documento, *Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento*. EAWAG, Tilley (2011) y de Manual de Saneamiento Básico para personal técnico, Yáñez (2011).

6.5.1 Sistema de pozo simple

Este sistema se basa en el uso de un pozo simple para recolectar y almacenar las excretas. El sistema se puede usar con o sin agua de arrastre dependiendo de la Interface de usuario. Las entradas al sistema pueden incluir orina, heces, agua de limpieza anal, agua de arrastre y materiales secos de limpieza. El uso de agua de arrastre y agua de limpieza anal dependerá de la disponibilidad de agua y las costumbres locales. Existen de manera general dos opciones en la disposición de los lodos fecales; la primera consiste en dejar un espacio para rellenar con tierra y sembrar un árbol. La segunda opción consiste en la extracción de los lodos para su posterior tratamiento, con las precauciones con el contacto debido a la carga bacteriana de los mismos (Tilley, 2011, pág. 17),

6.5.2 Sistema sin agua con pozos alternos

Este sistema está diseñado para producir un material denso, semejante a la composta por medio del uso de pozos alternos sin la adición de agua de arrastre. Las entradas al sistema pueden incluir orina, heces, compuestos orgánicos, agua de limpieza anal y materiales secos de limpieza. El foso se conecta por medio de un retrete seco que no requiere agua para funcionar, es más, no debe agregarse agua al sistema; el agua de limpieza anal se debe mantener al mínimo o incluso debe ser excluida de este sistema (Tilley, 2011, pág. 19). El uso de los pozos es alternativo, es decir, el primero se llena, se aísla y el material se deja drenar y estabilizar; mientras tanto, el segundo pozo se pone en funcionamiento; cuando el material del primer pozo ya no es peligroso y se le puede dar un uso, así queda listo para ser usado una vez más, mientras que el segundo pozo se llene. Así el proceso se repite de manera continua.

6.5.3 Sistema de Arrastre Hidráulico con Pozos Dobles

Este es un sistema a base de agua que utiliza un retrete con arrastre hidráulico para producir un producto parcialmente digerido semejante al humus, que puede ser usado para mejorar terrenos. Si no se cuenta con agua, se debe utilizar alguno de los sistemas anteriores. Las aguas grises pueden ser incorporadas en el sistema y no requieren tratamiento separado. Las Entradas al sistema pueden incluir heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza y aguas grises. El sistema funciona de manera similar al anterior, con la salvedad de que los dos pozos están contruidos, pero uno está en funcionamiento mientras el otro no. Además, los pozos están contruidos con material que permite la filtración del líquido dejando solo el material sólido, igualmente, cuando se llene el primer pozo se pone en funcionamiento el segundo, degradándose el material mientras se va llenando. El material resultante se puede utilizar en actividades de agricultura (Tilley, 2011, pág. 21).

6.5.4 Sistema Sin Agua con Separador de Orina

El sistema está diseñado para separar la orina y las heces para permitir que las heces se separen y saneen al deshidratarse mientras se recupera la orina para usos benéficos. El sistema se puede usar en cualquier lugar, pero es particularmente adecuado para áreas rocosas donde la excavación es difícil, donde el nivel freático es alto, o en regiones con escasez de agua. Las entradas al sistema pueden incluir heces, orina, agua de limpieza anal y materiales secos de limpieza. Hay dos tecnologías de interface de usuario para este sistema: un retrete seco con separador de orina y un urinario (Tilley, 2011, pág. 23). La cámara de deshidratación debe mantenerse lo más seca posible, evitando el agua de limpieza y cualquier fuente de humedad externa: Para facilitar la degradación del material se recomienda utilizar materiales como cenizas, cascara de arroz o tierra.

6.5.5 Sistema de Tratamiento de Aguas Negras con Infiltración

Este es un sistema a base de agua que requiere un retrete de tanque y una tecnología de recolección, almacenamiento y tratamiento que sea apropiada para almacenar grandes cantidades de agua. Las entradas al sistema pueden incluir heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza anal, materiales secos de limpieza y aguas grises. Se pueden usar en este sistema un retrete con arrastre hidráulico o un retrete de tanque. En el caso que los materiales secos de limpieza sean recolectados por separado, éstos pueden transferirse directamente para su disposición final. Se puede usar una fosa séptica, o un reactor anaeróbico con deflectores o un filtro anaeróbico (Tilley, 2011, pág. 25). Los procesos anaeróbicos reducen la carga orgánica y patogénica, pero el efluente aún no es adecuado para su uso directo. Como el lodo fecal es altamente patogénico antes de su tratamiento, el contacto humano y las aplicaciones agrícolas directas se deben evitar. Los lodos fecales que son removidos pueden ser transportados a unas instalaciones dedicadas de tratamiento (Yáñez, 2011, pág. 22).

6.6 Lodos Fecales (LF)

Los lodos fecales (LF) provienen de distintos tipos de inodoros descentralizados que no están conectados a un alcantarillado. Pueden estar digeridos parcialmente o no, muy líquidos o semisólidos y resultan de la contención o tratamiento de combinaciones de excremento humano y aguas negras, con o sin aguas grises. Son muy variables en su consistencia, cantidad y concentración. Algunos ejemplos de estructuras descentralizadas que producen LF incluyen letrinas de pozo, baños públicos, tanques sépticos, letrinas llenadas de agua e inodoros secos. El manejo de lodos fecales (MLF) incluye su recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y uso o disposición final, todo ello realizado de forma segura. (Strande, Ronteltap y Brdjanovic, 2014, pág. 1).

6.7 Manejo de los lodos fecales (MLF)

La extracción y tratamiento de excretas es un tema de principal importancia al interior del saneamiento descentralizado y está referido a las soluciones para aislar y tratar la materia fecal de manera que no signifiquen peligro de contaminación ambiental ni riesgos a la salud humana. El objetivo principal de las medidas de aislamiento de las excretas, es que los agentes infecciosos y patógenos que estas contienen no puedan llegar a causar problemas a las comunidades. El método que se escoja para una zona o región determinada dependerá de factores como la geografía, así como de índole hidrológicos locales, los materiales disponibles localmente y el costo de su desarrollo, además de las importantes consideraciones de orden social y cultural. Estas medidas se hacen indispensables para la protección de la salud, la prevención de enfermedades y el cuidado de las aguas superficiales y subterráneas de las cuales se abastece la comunidad (González, 2013, pág. 16).

6.8 Contaminación de fuentes hídricas

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), citada por Martínez (2014) “el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para ser utilizada beneficiosamente en el consumo del hombre y de los animales” pág. 16.

El termino contaminación proviene del latín *contaminatio* que hace referencia a la corrupción o suciedad que adquiere un cuerpo por el contacto con otro. El origen de la contaminación del agua está constituido por fuentes puntuales y no puntuales (Megchún, 2013, pág. 1). Las fuentes puntuales se relacionan con las descargas directas a los cuerpos de agua, representados principalmente por los desechos de los sistemas de alcantarillado municipales y por vertimientos producidos en la actividad industrial. Las fuentes no puntuales, también conocidas como difusas, no tienen un origen específico, pero son producidas por la actividad humana y una de las fuentes más representativas de contaminación no puntual o difusa, lo constituye la actividad agrícola, con el uso de plaguicidas y productos químicos empleados en el desarrollo de sus actividades.

La calidad de las fuentes hídricas existentes se ha visto afectadas por el vertimiento de aguas servidas de origen doméstico e industrial, además del resultado de las actividades mineras y agropecuarias. Esto a pesar de que los niveles de tratamiento de las aguas residuales se hayan duplicado en los últimos años, sigue siendo aún bajo, ya que en promedio solo un 30% de las aguas residuales es sometido a tratamiento; en consecuencia, muchos cuerpos de agua se encuentran altamente contaminados (Ballesteros, Mejía-Betancourt y Real, 2015, pág. 8).

La región de América Latina cuenta con abundantes fuentes hídricas, pero el desarrollo socioeconómico e industrial pone en riesgo la seguridad en la oferta hídrica, ante la creciente demanda y el poco control por parte de los gobiernos en lo relacionado al control de la contaminación y el deterioro ambiental; en especial de las fuentes hídricas (Ballesteros, et al 2015, pág. 13).

6.9 Contaminación de origen orgánico

Uno de los riesgos más importante de contaminación del agua es originado por heces o por infiltraciones (figura 6.1), tanto de las fuentes como en los sistemas de distribución. Normalmente la presencia de microorganismos, como bacterias, se debe a la ausencia o cantidad insuficiente de desinfectante en los valores de concentración apropiados. En algunos casos, los sistemas de conducción como tuberías tienen sedimentos que provocarán y propician el crecimiento de microorganismos, como bacterias y hongos. En el caso de las bacterias se refiere a la presencia de *Unidades Formadoras de Colonias (UFC)*, de bacterias que indican la presencia de contaminantes de origen fecal. Estos microorganismos pueden producir enfermedades, sobre todo en el sistema digestivo. Los Coliformes fecales son las presencias más frecuentes como contaminante del agua; estos organismos causan enfermedades en el sistema gastrointestinal (Martínez, 2014, pág. 16).

6.10 Aspectos sociales y culturales respecto al manejo de LF

Antes de la implementación de cualquier solución técnica, es fundamental tener en cuenta a que comunidad en la que se va a implementar dicha solución. De nada sirve la mejor solución tecnológica si esta no se adapta tanto a las necesidades como costumbres de la comunidad. En el caso de las zonas rurales del pacífico colombiano, las personas tienen una fuerte relación con su entorno, arraigadas en la transmisión de su herencia cultural, basada principalmente en su relación con la zona boscosa y el río dominante en la zona, además de su costumbre y prácticas en la construcción tradicional de su viviendas y hábitats que tienen un fuerte arraigo ancestral y costumbrista (Delgado-Rodríguez, 2008, pág. 264).

Como lo explica Mara & Cairncross (1990), “no se trata de la simple transmisión de una práctica técnica o tecnológica en lo que respecta al manejo, disposición y aprovechamiento de las excretas humanas” pág. 119. Se debe hacer

un análisis y evaluación de los aspectos socioculturales, para que la adaptación e implementación de la tecnología para la deposición y aprovechamiento de excretas humanas sea aceptada e implementada de una manera más acertada y eficiente.

Desde el punto de vista de los aspectos de evolución tanto social como biológico, se ha asignado al olfato un papel muy importante en la identificación de algún potencial peligro o en identificación y asociación de los olores con algún estado de los cuerpos. Es así como el olor tanto de los cadáveres como de la materia fecal denotan muerte como putrefacción, los cuales se asocia a cosas desagradables que tienen que ser evitadas. En este sentido es que el olor de la materia fecal se asocia a algo que debe evitarse y una vez generado, ya no se desea saber más de él (Delgado-Rodríguez, 2008, pág. 265).

7 METODOS PARA EL MLF

7.1 Métodos de extracción de LF

Las personas y compañías que extraen LF desde tecnologías descentralizadas de saneamiento, como tanques sépticos y letrinas de pozo, ofrecen un eslabón crítico en la cadena de servicio que hace el acceso al saneamiento una realidad. Sin sus servicios, las instalaciones descentralizadas de saneamiento no funcionarían correctamente.

Es importante resaltar los aspectos de un servicio de vaciado que sea ideal y seguro. Los métodos eficaces dependen de equipo funcional y procedimientos adecuados para llevar a cabo el trabajo con seguridad y un impacto mínimo sobre el ambiente.

Los métodos descritos a continuación se obtuvieron de los documentos, Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. EAWAG, Tilley (2011); Manual de Saneamiento Básico para personal técnico, Yáñez (2011) y de Manejo de lodos fecales: un enfoque sistémico para su implementación y operación, Strande, Ronteltap y Brdjanovic (2014),

7.1.1 Extracción manual

Los usos de métodos manuales de extracción son generalmente de comunidades de bajos ingresos que viven en asentamientos informales, en algunas regiones, pertenecen a grupos marginalizados. Estos métodos pueden atentar contra la seguridad, si los operadores no realizan sus tareas con equipos correctos y los procedimientos apropiados. Por ejemplo, no es seguro entrar físicamente en los pozos, como se hace actualmente. También se debe evitar el vertido total de los LF directamente en el ambiente.

Sacar en baldes: consiste en la extracción de lodos fecales de los pozos con recipientes y palas. Los baldes llenos son halados hasta el nivel de la tierra, donde

son enterrados en situ o vaciados en tanques adaptados a carretones que luego son llevados a una estación de tratamiento o transferencia.

7.1.2 Extracción mecánica manual

Innovaciones recientes en el desarrollo de aparatos mecánicos operados por fuerza humana están apoyando a los proveedores de servicio a extraer los lodos fecales de manera más rápida, segura, eficiente y económica.

7.1.3 Bombas motorizadas

Estas funcionan con electricidad, aire comprimido o hidráulicamente, el tipo más común tiene un motor de gasolina o diésel. En general, se les coloca sobre un marco o carrito para mejor movilidad.

7.1.3 Equipos aspiradores sobre camiones

Los sistemas de bombeo que utilizan aspiradoras son muy efectivos al vaciar los LF de las estructuras descentralizadas de contención. Estas bombas al vacío pueden ser montadas sobre camiones o remolques reforzados, carretones más livianos e incluso carritos manuales para recibir cantidades menores en asentamientos urbanos densamente poblados donde no pueden ingresar los camiones grandes. Estas bombas funcionan frecuentemente a partir del mismo motor del camión, aunque también pueden tener sus propios motores. Existe una gran variedad de tamaños y modelos para adaptar a distintas situaciones, generalmente con volúmenes entre 200 y 16.000 litros.

En conclusión, los métodos de extracción de LF son de importancia para el funcionamiento correcto de los sistemas de saneamiento descentralizado. Pero dependen de equipos y procedimientos adecuados para garantizar la seguridad de las personas y un impacto mínimo sobre el ambiente. Por ello la selección de un

método que se acondicione a las necesidades de la población, debe evaluarse desde aspectos socioculturales y técnicos para su integración.

En este caso, se puede evidenciar que el método de extracción manual es el que se utiliza actualmente en el corregimiento de El Hormiguero y no corresponden a una práctica segura ni para el operador ni para el medio ambiente. Por ello no es recomendable para su implementación en la propuesta. En cuanto la extracción por bombas motorizadas y equipos aspiradoras sobre camiones, son tecnologías que pueden ser muy efectivas para la extracción de los LF, pero esto representaría altos costos tanto para su fabricación, adquisición o mantenimiento, además de que se crea una dependencia de suministro como combustible, repuestos y mano de obra calificada. Respecto al método de extracción mecánica manual, se puede observar mejores cualidades que en los anteriores casos. El atractivo de este método engloba todo lo necesario para ser aplicado en el caso de estudio. Lo que se busca realmente para la propuesta, es que el método seleccionado pueda lograr un procedimiento más seguro, eficiente, rápido y económico, en beneficio de la población.

7.2 Soluciones existentes para la extracción mecánica manual de LF

Esta sección describe cuatro de estos aparatos que son de mayor aplicación: el “tragón” (Gulper), bombas manuales de diafragma, el “mordiscón” (Nibbler) y el MAPET. Esta información se ha extraído del documento técnico: “Manejo de lodos fecales Un enfoque sistémico para su implementación y operación” desarrollado por Strande, Ronteltap y Brdjanovic (2014).

7.2.1 El “tragón” de lodos (Gulper)

Este dispositivo fue llevado a cabo por la Escuela Londinense de Higiene y Medicina Tropical (LSHTM) en el año 2007. Se trata de una bomba, considerablemente económica, de desplazamiento positivo, la cual es operada

manualmente, siguiendo los mismos principios de las bombas de agua de acción directa. El tragón consta de un diseño simple, el cual puede ser construido con materiales que se encuentran comúnmente en los países de ingresos bajos, lo cuales son, por supuesto, de bajo costo y de fácil armado

Este dispositivo consiste en un tubo de PVC con dos válvulas tipo mariposa hechas de acero inoxidable en su parte interior. Una válvula de pie, queda fijada en el extremo inferior del tubo una segunda de embolo, está conectada al mango en forma de T por medio de una barra. Al mover el mango arriba y abajo, las dos válvulas se abren y se cierran, una luego de la otra, y los lodos fecales suben a lo largo del tubo hasta el pico de salida, la cual se inclina hacia abajo en la parte superior. Se impide el ingreso de desechos no biodegradables, que de otra manera atascarían la bomba, por medio de una malla que cubre al extremo inferior.

Desde la fase inicial el diseño del tragón, este se ha modificado con el objetivo de que se adapte a las condiciones propias de cada región y que sea de más fácil manejo por el operario. La modificación más usada consiste en adaptar el mango en forma de palanca y de longitud ajustable, para facilitar el bombeo y adaptarse a la longitud el pozo. El dispositivo trabaja mejor con lodos menos densos y su tasa de bombeo puede ser más o menos 30 L/min, dependiendo de las características de su diseño y sus materiales. En cuanto a su costo, este puede variar de 400 a 1400 dólares, esto por las características de los materiales usados en su construcción. Se han reportado algunos desafíos por parte de los desarrolladores y usuarios del Tragón, los cuales incluyen:

- Se presentan dificultades en la ubicación y operación cuando las letrinas de cabinas pequeñas.
- Los desechos no biodegradables pueden causar bloqueos del sistema
- El tubo de PVC es susceptible de fracturarse después de mucho uso
- Durante el bombeo se pueden presentar salpicaduras.

El sistema de recolección manual “tragón” ha sido recibido por un mayor número de interesados en el servicio en países de África y Asia, sin embargo, la fabricación, uso y mantenimiento del sistema no se ha logrado sin la intervención de organizaciones externas.

7.2.2 Bombas manuales de diafragma

Las bombas manuales de diafragma son dispositivos simples, de bajo costo para la extracción de lodos fecales de baja viscosidad que no tengan mucha carga de elementos no biodegradables. Consisten, de manera general, de un diafragma, que es un disco rígido con una membrana flexible que se le fija en la parte superior formando una cavidad. Su operación es bastante fácil, se tira y empuja el diafragma por medio de una palanca, para expandir y comprimir el espacio interior, esto es algo parecido a como se utiliza una bomba para destapar un inodoro de arrastre hidráulico. El extremo del tubo que se pone en el pozo tiene una malla para prevenir el ingreso de desechos inorgánicos y una válvula unidireccional para impedir el regreso de los lodos fecales. Otra válvula similar se encuentra después del diafragma, por la misma razón.

En algunas ocasiones se le ponen ruedas al sistema para facilitar su transporte, esto a pesar de que estas bombas son livianas y una o dos personas la pueden transportar; por último, el costo de la bomba puede variar entre los 300 y 850 dólares, de acuerdo a la complejidad del modelo. Finalmente se presentan algunas de las dificultades con el uso de este sistema:

- El sistema se tapona y bloquea cuando ingresan desechos biodegradables de un tamaño determinado
- El ingreso de aire hace que la hermeticidad de la bomba se pierda, lo que resulta en la pérdida de eficiencia del sistema
- El diafragma de caucho es susceptible que le aparezcan grietas
- La fabricación de las bombas, tiene su nivel de complejidad así como los repuestos son de difícil consecución

7.2.3 El “mordiscón” (Nibbler)

Este sistema se trata de una bomba continua de movimiento circular para el movimiento de los lodos fecales, este sistema se desarrolló de manera simultánea que el “tragón” por parte de la Escuela Londinense de Higiene y Medicina Tropical (LSHTM). Este tiene la capacidad de mover lodos fecales de mediana viscosidad a través de vueltas continuas de una cadena de rodillos, encerrada dentro de un tubo de PVC. El tubo puede insertarse en el acceso a la estructura de contención, sin necesidad de romperla.

El sistema funciona así: manualmente se impulsa con el giro de una doble manivela y un piñón situados en la parte superior del tubo. La cadena se conecta horizontalmente con unos discos semicirculares, los cuales sacan los lodos, a intervalos regulares, desde la parte inferior de la fosa séptica desplazándolos hacia arriba. Cuando los lodos están en la parte superior del tubo, son raspados de los discos hacia un conector en forma de Y, que guía los lodos fecales al recipiente que se utiliza para su recolección y transporte. Una placa vertical que abarca toda la longitud del tubo divide los carriles ascendente y descendente de la cadena y los discos. Al presentar un éxito limitado durante los ensayos, el desarrollo del “mordiscón” fue cancelado.

7.2.4 MAPET

La organización WASTE desarrolló y probó en Tanzana (África), durante el año 1992, un sistema de aspiración que trabaje a base de la fuerza humana para la recolección de lodos fecales, dándole el nombre de “tecnología manual para vaciado de pozos”, en inglés, *Manual Pit Emptying Technology*, **MAPET**. De las tecnologías manuales que se disponen para la extracción de lodos fecales el MAPET es la más antigua y la más técnicamente avanzada. Tiene dos componentes separados, cada uno puesto en su propio carrito manual: una bomba y un tanque de vacío de 200 litros.

El sistema puede bombear lodos fecales de hasta 3 metros de profundidad a razón de 10 a 40 L/min, por lo que desde el punto de vista técnico y según las pruebas realizadas, el sistema es operativo y funcional, esto significó que las pruebas técnicas superaron la mayoría de desafíos a los que se enfrentó. Pese a esto, después de 8 años de su introducción en Tanzania, solo uno de los ocho dispositivos todavía funcionaba, después de trece años, ninguno de ellos

Las razones para esta falta de sostenibilidad del sistema a largo plazo incluyen:

- La dependencia de apoyo institucional de los proveedores, la cual una vez terminada, generó el deterioro de los sistemas existentes.
- Existe dependencia para la obtención de repuestos claves, el aro de pistón, este se debía importar ya que su consecución local, no era posible.
- La posibilidad de recuperación de los costos de transporte y mantenimiento era muy complicada, comparándolas con el beneficio del vaciado de los lodos fecales.

Tabla 7.1: Tabla de comparación entre equipos manuales de extracción de LF

Equipo	Rendimiento	Costo en dólares	Desafíos
Tragón (Gulper)	-Adecuado para bombear LF de baja viscosidad. -Tasa promedio de flujo de 30L/min. -Altura máxima del bombeo depende del diseño exacto.	- Costo de inversión: 40 a 1.400 (según diseño). - Costo de operación: desconocido.	-Dificultad para acceder a letrinas con casas pequeñas. -Atascos por desechos inorgánicos. - Salpicado de LF entre el pico de la bomba y el recipiente. - Difícil sellar, lo que resulta en ingreso de aire. - Difícil de abastecerse de bomba y repuestos.
Bomba manual de diafragma	-Adecuado para bombear LF poco viscosos. -Tasa máxima de flujo: 100L/min. -Altura máxima de bombeo 3,5 a 4,5m.	- Inversión: 300 a 850 (según modelo y fabricante). -Operación: desconocido	-Atascos por desechos inorgánicos. -Difícil de sellar, lo que resulta en ingreso de aire. -Difícil de abastecerse de bomba y repuestos.
Mordiscón (Nibbler)	-Puede ser más adecuado para LF viscosos.	-Inversión: desconocido. -Operación: desconocido	Puede no ser adecuado para LF secos, con muchos desechos inorgánicos.
MAPET	-Tasa máxima de flujo entre 10/40L/min, según la viscosidad y la altura. -Altura máxima de bombeo: 3m.	-Inversión: 3.000 -Operación: 175/año solo de mantenimiento.	-Requiere fuerte apoyo institucional a los proveedores. - Se depende de la importación de un repuesto clave. -Es muy difícil recuperar los costos con las tarifas de vaciado.

Fuente: Realizado con base en el documento técnico “Manejo de lodos fecales Un enfoque sistémico para su implementación y operación” desarrollado por Strande, Ronteltap y Brdjanovic (2014). Diseño de la tabla por parte del investigador.

De acuerdo a lo visto anteriormente, se puede concluir que este tipo de soluciones tecnológicas para la extracción mecánica manual de LF son una respuesta a las necesidades que tienen muchas poblaciones a nivel mundial, donde existen falencias en el manejo de lodos fecales. Mecanismos simples que pueden ser contruidos con materiales y repuestos locales y se pueden adaptar a las condiciones socioeconómicas y técnicas para su sostenimiento. Su operación manual puede traer ventajas sobre las de accionamiento automático por que no crean dependencia a insumos y repuestos que además de costosos, son difíciles de conseguir.

Después de realizar el análisis de este tipo de bombas, se llega a la conclusión general que, aunque este tipo de tecnología se puede adaptar a las condiciones de muchas poblaciones, se evidencia ciertas limitaciones que, viéndolas desde una postura positiva, se pueden tener en cuenta para el desarrollo de la propuesta. Se destacan algunos avances tanto técnicos como procedimentales, lo cual se podrían extraer ciertos conceptos y principios para integrarlos en una nueva solución. Entre estas:

- Válvulas para impedir su regreso de material recolectado.
- Maya para impedir el ingreso de material no biodegradable.
- Sistema de aspiración de LF.
- Longitud de los pozos.
- Densidad de los LF.
- Ubicación y operación del sistema en los pozos.
- Operaciones sin salpicadura.
- Dependencia organizaciones externas.
- Pérdida de hermeticidad por ingreso de aire.
- Fabricación y consecución de repuestos.
- Sostenibilidad del sistema a largo plazo.
- Costos de operación y mantenimiento.
- Transporte de las bombas.

7.3 Métodos de transporte de LF

La mayor parte de los equipos manuales de pequeña escala y algunos de los equipos motorizados, no son diseñados para transportar los lodos fecales. Por lo tanto, son utilizados generalmente en conjunto con equipos económicos para su tratamiento o transporte hasta una estación de tratamiento o transferencia. Estos equipos son clasificados en dos categorías: los que son impulsados por animales o seres humanos y los que son impulsados por motores.

7.3.1 Transporte manual

Hoy en día en los países de bajos ingresos, se transportan los lodos fecales en carritos manuales normales para el transporte general de carga y también en otros, diseñados específicamente para esta función. Aunque los diseños varían

ampliamente, los carritos normales suelen tener una cama para recibir la carga, montada sobre un solo eje con uno o más ruedas. Los recipientes de LF, con capacidades de hasta 200 litros pueden ser llevados en carritos empujados o halados manualmente. Son diseñados para alta maniobrabilidad en espacios estrechos y pueden ser efectivos en un rango de hasta 3 km.

Puesto que los equipos económicos de transporte manual tienen generalmente poca capacidad, limitados rangos de movimiento y baja velocidad, no son adecuados para un transporte a larga distancia.

7.3.2 Transporte motorizado

Los equipos motorizados de transporte brindan el potencial para movilizar mayores cantidades de manera más rápida, reduciendo así los tiempos de viaje y ampliando el rango de cobertura geográfica, en comparación al transporte manual. Por otro lado, la operación y mantenimiento de estos equipos motorizados se complican más que en el transporte manual, sin embargo, se aplican muchas variaciones en los países de bajos ingresos.

Los triciclos motorizados constituyen el equipo más pequeño para el transporte económico de los lodos fecales. Sus tamaños y potencias varían ampliamente, pero son excelentes para acceder a los barrios con calles estrechas.

También se ha utilizado equipos motorizados más caros para la recolección de lodos fecales, incluyendo camionetas con capacidades entre 2.000 y 5.000 kg, pero pueden resultar demasiado costosas para los proveedores de servicio de pequeña escala. A veces, se ajustan accesorios adicionales a las camionetas, como pequeñas grúas a fin de alzar los recipientes.

En base a lo ya expuesto respecto a al método de transporte, se puede decir que éste hace parte importante en el manejo de LF. Si se logra trasladar la carga de lodos hasta el lugar de tratamiento o de transferencia, se puede garantizar la continuidad de los posteriores tratamientos para finalmente disponerlos de forma

segura y no darle lugar al vertimiento de estos en cualquier sitio donde se pueda generar riesgos ambientales.

De acuerdo a las necesidades expuestas, para darle solución a la problemática de la comunidad estudiada, se debe plantear una solución que abarque lo necesario y no se exceda ni se salga de sus posibilidades por muy llamativas que se presenten. Es por esto que un vehículo motorizado puede que sea la mejor solución al problema de transporte, pero si lo importante es la cobertura total del corregimiento, éste exlamaría sus funciones y largo plazo, representaría un obstáculo por no poderlo sostener, por consiguiente, lo llevaría al abandono. Por esta razón, un vehículo de propulsión humana estaría al alcance de toda posibilidad tanto en lo económico como en lo técnico para hacerlo sostenible en el tiempo.

Otra característica que se debe tener en cuenta en la implementación del transporte, es el acceso a vías y al lugar donde se están ubicados los sistemas de saneamiento. Se debe analizar también, las condiciones de relieve y suelo en temporadas de invierno, su maniobrabilidad y sus posibles limitaciones. En síntesis, el vehículo de propulsión humana cumpliría con los requisitos para su implementación, ahora, tendría que resolverse algunos temas para adecuarlos a la necesidad, como la capacidad de carga y levantamiento de los contenedores cargados, entre otros.

7.4 Métodos de tratamiento de LF

7.4.1 Cuantificación y características de los lodos fecales

Las cantidades de LF generados y sus características típicas son difíciles de determinar, así como la gran variedad de tecnologías descentralizadas en uso, también dependen del diseño y construcción, de cómo es utilizada, de cómo son recolectados los LF y de la frecuencia de recolección. Todas estas variables producen grandes diferencias en las características de los LF entre ciudades e incluso entre diferentes lugares donde se aplica una misma tecnología. Realizar

estimaciones del volumen de LF producidos es esencial para el correcto dimensionamiento de las redes de recolección y transporte, los sitios de entrega, las estaciones de tratamiento y las opciones o uso final. Sin embargo, no existen métodos comprobados para cuantificar la producción de LF y la toma de datos que se requiere para cuantificarla acertadamente demandaría demasiada mano de obra, especialmente donde no existe información alguna.

La exactitud de cualquier método para estimar el volumen generado de LF dependerá de la calidad de los datos que estén disponibles y lo razonables que sean las suposiciones. De acuerdo con Nawigaba, Mbéguéré y Strande (2012, pág. 20), se requieren los siguientes datos básicos para estimar una producción de LF de forma adecuada:

- Número de usuarios
- Ubicación
- Tipo de estructura descentralizada
- Tasas de acumulación de LF

Otros factores que causan variabilidad observada en las características de los LF se debe no solo a las diferentes tecnologías aplicadas, sino también a las formas de usar el inodoro, el tiempo de almacenamiento (por las tasas de acumulación y las frecuencias de vaciado), la entrada o salida de aguas subterráneas, los métodos de recolección y el clima local. La dilución de los LF depende de la cantidad de agua que viene mezclada con el excremento.

De acuerdo con Nawigaba, Mbéguéré y Strande (2012, pág. 18), estos son los datos del peso húmedo estimado en las zonas rurales de Latinoamérica

Peso húmedo de heces estimado para zona rural en Latinoamérica 350 g/pers/día

Peso húmedo de orina estimado para zona rural en Latinoamérica 1300 g/pers/día

De acuerdo a la Guía para el Desarrollo de Saneamiento in situ de la Organización Mundial de la Salud (Ginebra 1994), el volumen de desechos orgánicos se puede expresar así:

Formula $V=NPR$,

En donde:

V= volumen de LF

N= periodo de vida útil en años

P= promedio de usuarios

R= tasa de acumulación de LF en Litros/Habitante-año

Tomando los valores de:

N= 0.33 año (4 meses mínimos para extracción de LF)

P= 5 usuarios por vivienda

R= 70L/Habitante-año (la biografía dice que este valor es de 40L en climas cálidos y 50L en climas fríos, pero se da un margen de seguridad mayor pensando en otros tipos de descargas al sistema)

V= 0.33 año X 5 Usuarios X 70L/Hab-año = 117L por vivienda.

Es decir que la cantidad de LF aproximado que debe recolectar el sistema de extracción es de 117 Litros por vivienda cada cuatro meses. Se plantea la extracción en este periodo por varios motivos, primero, es el tiempo mínimo requerido para que los microorganismos anaeróbicos se reproduzcan y hagan el proceso de digestión en los lodos fecales, segundo, con este tiempo se logra dar control a la densidad en los lodos y evitar su acumulación y endurecimiento en el fondo del contenedor, tercero, se podría hacer un control en tiempo a cada vivienda y una rotación constante al servicio, cuarto, se pretende reducir el tamaño de los contenedores para facilitar el acceso a ellos.

En este valor no se contabiliza la cantidad de LF que se debe dejar en el fondo del sistema de saneamiento, que es aproximadamente 10cm, para que los microorganismos anaeróbicos puedan reproducirse y efectúen la primera etapa de tratamiento biológico (digestión) en la estructura de contención descentralizada.

7.5 Metas de tratamiento

El principal objetivo del tratamiento de los LF es asegurar la protección de la salud humana y ambiental. Por lo tanto, la regulación del tratamiento, descarga, usos o disposición final es fundamental. Las metas para el tratamiento de estos lodos deben basarse en los usos que se pretende dar a los productos finales, además de la descarga del efluente procesado (Castro y Pérez, 2009, pág. 20).

7.5.1 Uso final de los productos de tratamiento

Cada tecnología para el saneamiento de LF genera productos que tienen que ser tratados, además de ser desechados en alguna parte adecuada o aprovechados para la recuperación de recursos. Estos productos tienen un valor intrínseco que puede servir para transformar el tratamiento en una manera de recuperar recursos y crear valores y no solamente una medida de protección del ambiente y la salud pública. Para el aprovechamiento de los productos finales del manejo de LF (MLF), se debe tener en cuenta las posibles dificultades o limitaciones en su uso y analizar los pasos adicionales que deberían aplicarse para convertir estos desechos en bienes valiosos, (Diocaretz y Vidal, 2010, pág. 56).

7.6 Preocupaciones generales

Al implementar la recuperación de recursos es primordial evaluar sus posibles constituyentes que podrían impactar a los humanos y el ambiente, como es el caso de los patógenos. También, es necesario tomar en cuenta ciertos factores sociales, como la aceptabilidad y la demanda del mercado, a fin de asegurar una buena aceptación de los productos.

7.6.1 Patógenos

El ciclo de transmisión de patógenos puede interrumpirse por medio de barreras que impiden el contagio de nuevas personas. El grado de tratamiento de los LF que es necesario para lograr una higiene adecuada depende de la opción de uso o desecho final. Por ejemplo, las rutas de exposición son muy diferentes si los LF se descargan en el ambiente, si se aplican en la agricultura o si se queman.

Las pautas de la Organización Mundial de la Salud para el uso seguro de aguas servidas, excremento y aguas grises en la agricultura y la acuicultura, en las cuales resalta un enfoque de barreras múltiples a lo largo de la cadena de saneamiento.

7.6.2 Factores sociales

Diferentes sociedades y culturas reaccionan de manera distinta al manejo de excremento humano y es necesario tomar en cuenta estas diferencias al evaluar el mejor uso final de los LF. Algunas culturas rechazan completamente cualquier uso del excremento, mientras otras tienen una larga tradición de su uso en la agricultura. Sin embargo, el uso de los LF tratados es generalmente mucho más aceptable, en comparación con lo del excremento fresco, gracias a su mejor apariencia, ausencia de olor y mayor higiene. En una sociedad en la que el uso de LF en la agricultura es tabú, otras soluciones podrían ser más admisibles, como su uso en materiales de construcción o como combustible. También es necesario evaluar la demanda del mercado para los posibles productos antes de seleccionar el tratamiento y los materiales que serán generados.

7.6.3 Uso de lodos fecales como enmienda del suelo

El uso de LF como una enmienda del suelo puede variar desde su entierro en zanjas profundas hasta la venta comercial del compost empacado para uso por las familias en la horticultura y la jardinería. Su uso como enmienda del suelo ofrece

muchas ventajas sobre aplicar solo fertilizantes químicos. La materia orgánica en los LF incrementa la capacidad de retención del agua del suelo, contribuye a la estructura, reduce la erosión y es una fuente de nutrientes liberados paulatinamente. Sin embargo, es necesario analizar el destino de los posibles patógenos que podrían estar presentes y quienes podrían estar expuestos a ellos, así como la aceptación social que puede estar ligada estrechamente al valor comercial de los productos. También, se deben considerar los nutrientes específicos que pueden o no limitar a los cultivos deseados en los suelos locales, (Rodríguez-Robles, 2013, pág. 18).

De acuerdo a lo anterior, se puede concluir que, cuando se establece la disposición final del producto y los requisitos para lograrlo, entonces se podrá trazar los objetivos de tratamiento y los métodos en que se debe establecer para la conversión de la materia orgánica en recursos con valor, no solamente para la protección del ambiente, sino también para la salud pública.

La historia referente a los LF, muestra que estos productos fueron aprovechados más comúnmente como enmiendas y fertilizantes orgánicos del suelo, ya que los excrementos contienen nutrientes esenciales para las plantas y la materia orgánica, que aumenta la capacidad de los suelos de retener el agua. Sin embargo, también existen otras opciones que permiten la recuperación de recursos. Por ejemplo, se puede producir biogás para usarse como combustible, mientras los lodos restantes sirven de enmienda del suelo. Actualmente existen iniciativas innovadoras que están desarrollando otros productos, como nuevos biocombustibles o proteína en la formación de las larvas de las moscas, pero que de igual forma, requieren subprocesos complejos y tecnologías apropiadas para su transformación, lo que repercute en inversiones costosas.

El uso de LF tratados como una enmienda del suelo es una alternativa que cumple con los requerimientos y objetivo planteados, además que se acopla a las condiciones como la geografía física, los factores hidrológicos local, la disposición de los materiales localmente y se ajusta al costo de su desarrollo, y es de notar que aplica en las importantes consideraciones de orden social y cultural debido a

que las poblaciones rurales, en especial las que se han desarrollado en el sector agropecuario, han tenido contacto con este tipo de material a la hora de recolectar y usar el estiércol de sus animales. Los beneficios que puede lograr con este tipo de aprovechamiento, es la comercialización de un compost seco y empacado para el uso en la jardinería, o en mayor escala, para el uso en cultivos de la industria maderera, ya que ofrece diversas ventajas biológicas. Es importante indicar que este material no aplica para los cultivos de alimentos que serán ingeridos directamente sin cocinarlos (p.ej., verduras para ensaladas).

7.7 Objetivos de tratamiento

La separación del agua, o espesamiento de los LF es un importante objetivo de tratamiento, ya que los LF contienen una alta proporción de líquidos y la reducción de este volumen disminuye mucho el costo de transporte del gran peso de agua y simplifica su manejo. Los objetivos de tratamiento frente al ambiente y la salud pública incluyen la reducción de patógenos, la estabilización de la materia orgánica, el retiro de los nutrientes y la seguridad del uso o disposición final de los productos del tratamiento (Tilley, 2011, pág. 17).

7.7.1 Separación del agua

El proceso de separación de agua o espesamiento puede consistir en agregar materiales secos, como aserrín, para aumentar el contenido de sólidos, lo que es común en procesos como el compostaje, para aumentar la relación de carbono a nitrógeno. El efluente del proceso de separación de agua requiere tratamiento adicional, ya que puede tener altas concentraciones de amoníaco, sales y patógenos (Tilley 2011, pág. 23).

7.7.2 Reducción de patógenos

Los LF contienen abundantes microorganismos, los que se originan principalmente en las heces. Algunos de estos microorganismos son patógenos y la exposición a LF no tratados constituye un riesgo significativo para la salud humana, sea por contacto directo o indirecto. Es necesario tratar los LF hasta alcanzar un nivel higiénico adecuado, según su uso o disposición final. Algunos mecanismos utilizados para reducir o inactivarlos, por medio de depredación, exclusión, deshidratación, falta de alimento o calor, (Tordecilla y Frontuso, 2014, pág. 7).

7.7.3 Extracción de los nutrientes

Los LF contienen grandes concentraciones de nutrientes que pueden destinarse a la recuperación benéfica de recursos, pero si no se los maneja debidamente pueden producir contaminación ambiental. Los nutrientes en los LF pueden complementar a los fertilizantes nitrogenados sintéticos y el fosforo (Tordecilla y Frontuso, 2014, pág. 9).

7.7.4 Estabilización

Los LF no tratados presentan una alta demanda de oxígeno debido a la presencia de materia orgánica fácilmente degradable, que consume grandes cantidades de oxígeno durante la respiración aeróbica. Si se descargan los LF en las aguas superficiales, se puede agotar el oxígeno presente en ellas. La estabilización asegura que las formas orgánicas de los nutrientes presentes en los productos finales del tratamiento sean estables, para aplicaciones más confiables y predecibles. La estabilización reduce la tendencia de formar espuma y conduce a mejor separación del agua (Garzón-Zúñiga, Buelna y Moeller-Chávez, 2012, pág. 155).

7.8 Mecanismos de tratamiento de LF

El entendimiento de los mecanismos de tratamientos existentes, los físicos, químicos y biológicos del manejo de lodos fecales (MLF) es actualmente limitado y ha sido adquirido en su mayoría por medio de observaciones empíricas a lo largo de los años. Los mecanismos físicos incluyen la separación del agua, el secado y la reducción del volumen; son los de mayor aplicación actualmente en el tratamiento de los LF y son considerados robustos y confiables. Los mecanismos biológicos permiten la eliminación y transformación de los constituyentes orgánicos, los nutrientes y los patógenos, gracias a la actividad microbiana. Los mecanismos químicos involucran el uso de aditivos para optimizar y controlar ciertas reacciones deseadas y principalmente sirven para la desinfección y para una separación del agua más eficiente (Holguín et al, 2014, pág. 64).

7.8.1 Mecanismos físicos

Uno de los mecanismos más importantes del MLF es la separación del agua. Los LF consisten principalmente de agua, cuya proporción depende del tipo de inodoro y del sistema descentralizado de contención. El agua es pesada y es caro transportarla, además descargarla contaminada al ambiente genera grandes impactos negativos. Desaguar los lodos también es un paso previo necesario para ciertas aplicaciones para la recuperación de recursos, como el compostaje o la combustión. La separación del agua se basa en procesos físicos, como evaporación, evapotranspiración, filtración, gravedad, atracción por cargas eléctricas superficiales, fuerza centrífuga y presión (Strande, Ronteltap y Brdjanovic 2014, pág. 34).

a) Separación por gravedad

La gravedad es probablemente la fuerza más ampliamente aplicada en MLF para la separación de líquidos y sólidos, ya que logra la separación de partículas suspendidas y el agua libre. Con el tiempo, las partículas que son más pesadas

que el agua se asienta bajo condiciones quietas, con una velocidad que depende del tamaño de las partículas, la concentración de sólidos suspendidos y la floculación (Strande, Ronteltap y Brdjanovic, 2014, pág. 38).

b) Filtración

La filtración también es un mecanismo comúnmente utilizado en el MLF para la separación de líquidos y sólidos. La filtración más común en el MLF es realizada en los lechos de secado con o sin plantas. Estos procesos utilizan algún medio filtrante para atrapar los sólidos en la superficie del lecho, mientras los líquidos drenan a través del lecho para ser recolectados, o también evaporan de los sólidos. En estos lechos filtrantes de secado, se requiere menos mantenimiento y operación que otras tecnologías más veloces (Strande, Ronteltap y Brdjanovic 2014, pág. 42).

c) Evaporación

Además de la filtración, la separación del agua en los lechos de secado también sucede por medio de la evaporación. La energía requerida para la evaporación es proveída por el sol. Así, la evaporación es influenciada fuertemente por el clima, en especial la temperatura y la humedad del aire. Entre los parámetros más importantes para un lecho de secado constan su profundidad y su área total. A medida que la masa total de un objeto aumenta, mayor es la energía que puede almacenar, incrementando la demanda de calor para la evaporación. Los métodos como la centrifuga y el secado térmico utilizados para separar el agua de los LF, son mecanismos complejos, más costosos y relativamente muy efectivos, más allá de lo que se puede lograr con otros métodos convencionales o pasivos (Strande, Ronteltap y Brdjanovic 2014, pág. 48).

7.8.2 Mecanismos biológicos

En el MLF, la biología es primordial para lograr los objetivos de tratamiento por medio de la transformación de la materia orgánica y los nutrientes. También es muy importante para entender los mecanismos para la reducción de los

patógenos. El tratamiento biológico aprovecha el metabolismo y tasa de crecimiento de microorganismos en procesos naturales, colocándolos en situaciones controladas para optimizar los resultados deseados. Los sistemas de tratamiento dependen generalmente de comunidades complejas de microorganismos. A medida que crecen los microbios, alteran dinámicamente el sistema al modificar la materia orgánica y soltar o fijar nutrientes. También liberan gases y otras sustancias que afectan al ambiente, (Diocaretz y Vidal 2010, pág. 58).

Para que los procesos permanezcan aeróbicos, dependen generalmente de la aeración o el mezclado físico, los cuales requieren de mucha energía y recursos. Los mecanismos más importantes que regulan este proceso incluyen la oxidación de los compuestos orgánicos, la liberación e inmovilización de nutrientes y la síntesis microbiana de nuevos compuestos. De esta manera, la lenta tasa de crecimiento de los metanógenos resulta ser el paso limitante en el proceso.

- **Metabolismo**
- **Tratamiento aeróbico**
- **Compostaje**
- **Tratamiento anaeróbico**
- **Reducción de patógenos**

Se presentan los mecanismos que producen la mortandad biológica de los patógenos por factores físicos, biológicos y químicos, esto de acuerdo con Nawigaba, Mbéguéré y Strande (2012, pág. 25). Es importante entender todos estos mecanismos interrelacionados, a fin de asegurar que se logre una reducción adecuada de los patógenos durante el tratamiento de los LF. Estos mecanismos influyen en todos los procesos biológicos y tienen que ser tomados en cuenta para que los procesos de tratamiento funcionen según el diseño:

a) Temperatura

La mayoría de los patógenos son inactivados a temperaturas mayores a 60°C, puesto que sus proteínas y ácidos nucleídos celulares se desnaturalizan. Esto se

logra por medio de procesos como el compostaje termofílico y el tratamiento con cal. A medida que sube la temperatura, la inactivación de los patógenos es más rápida.

b) Tiempo

La duración del tratamiento o de almacenamiento de los lodos tratados puede contribuir a la reducción de los patógenos, dado que solo pueden sobrevivir condiciones adversas durante un cierto tiempo. En las heces, la mayoría de las bacterias patógenas solo resisten entre una semana y dos meses. Por ejemplo, las especies de Salmonella sobreviven en promedio un periodo de 30 días y los Coliformes fecales 50 días. Los huevos de helmintos, sin embargo, son muy persistentes y pueden mantener su viabilidad durante meses o años. El tiempo necesario de almacenamiento para la reducción de los patógenos también depende de la temperatura ambiental. Se recomienda almacenar a los LF hasta durante un año en una temperatura ambiental de 35°C, o dos años a 20°C. El almacenamiento en temperaturas menores a 10°C no produce una inactivación adecuada.

c) Deshidratación

La evaporación que da lugar a la desecación reduce la actividad de los patógenos, dado que los microorganismos requieren agua para poder sobrevivir. Todas las tecnologías de separación del agua contribuyen a la mortandad de los patógenos, si el contenido de agua se reduce hasta el punto en que la desecación les afecte. El almacenamiento adicional también contribuye a la desinfección gracias a la prolongada reducción en la disponibilidad del agua.

d) Luz ultravioleta

La radiación solar ultravioleta (en el rango entre 300 y 400 nm inactiva efectivamente los patógenos al desnaturalizar su ADN mediante reacciones fotoquímicas. Sin embargo, es importante recordar que esto funciona únicamente si los rayos de luz penetran los LF durante el tratamiento, lo que ocurre

probablemente solo en la superficie debido al alto contenido de materia orgánica y turbidez que impide la penetración de la radiación UV.

e) pH

La mayoría de los microorganismos solo pueden sobrevivir y reproducirse en rangos respectivos de solo unos 2 a 3 unidades de pH en amplitud, según su especie, y muy pocos resisten un pH menor a 3 o mayor a 10. De esta manera, la agregación de químicos para el control de pH contribuye a la reducción de patógenos. Sin embargo, el pH puede alterar a los procesos de compostaje y digestión anaeróbica y, por lo tanto, es importante tomar en cuenta los pasos posteriores cuando se aplican cambios en el pH para reducir los patógenos.

7.8.3 Mecanismos químicos

Se pueden agregar ciertos químicos a los LF para mejorar el rendimiento de los mecanismos físicos o para inactivar los patógenos y estabilizar los LF. El uso de estos puede aumentar considerablemente los costos de tratamiento y, por lo tanto, se debe evaluar cuidadosamente sus beneficios, esto de acuerdo con Strande, Ronteltap y Brdjanovic (2014, pág. 61).

a) Estabilización alcalina

Los aditivos alcalinos, como la cal, pueden utilizarse para la estabilización de los LF, antes o después de la separación del agua. Se emplea la cal también para para pulir los efluentes. Si se agrega tanta cal que el pH se eleva hasta 12, la actividad microbiana se paraliza, lo que reduce los olores provenientes de la putrefacción e inactiva a los patógenos. Si se aplica la cal viva (CaO), esto también produce una reacción exotérmica que puede aumentar la temperatura hasta 60°C y de esta manera se incrementa la reducción de patógenos (incluyendo la inactivación de los huevos de helmintos). Sin embargo, después de la reacción inicial, el pH se reduce de nuevo, lo que requiere agregar cal en exceso. Cabe mencionar que las bacterias patógenas pueden volver a multiplicarse con el tiempo. Otras preocupaciones con este proceso incluyen el

olor a amoníaco y la formación de placas de cal (Strande, Ronteltap y Brdjanovic (2014, pág. 62).

b) Tratamiento por amoníaco

El amoníaco acuoso desactiva eficientemente a los microorganismos, aunque los mecanismos exactos aún son poco conocidos. Posiblemente, el amoníaco desnaturaliza las proteínas. La inactivación de los virus se debe posiblemente a roturas en el ARN, pero los mecanismos de la mortandad de organismos mayores, como helmintos, son poco entendidos. La desinfección por amoníaco es muy efectiva en orina, lodos y compost, pero las aplicaciones en LF están todavía en la fase de investigación Strande, Ronteltap y Brdjanovic (2014, pág. 62).

c) Coagulación y floculación

Las partículas disueltas que no se asientan por gravedad suelen llevar una carga negativa, la que les ayuda a mantenerse en solución. Existen aditivos para promover la coagulación y la floculación, que desestabilizan a estas partículas, lo que les permite entrar en contacto entre sí, formar adhesiones más grandes y asentarse, logrando así una mejor sedimentación. Se seleccionan a estos aditivos según las características de las partículas y su carga eléctrica superficial Strande, Ronteltap y Brdjanovic (2014, pág. 62).

d) Acondicionamiento químico

El acondicionamiento químico se basa en las mismas propiedades físicas que la coagulación y la floculación y puede realizarse antes de la separación física del agua. Algunos aditivos comunes incluyen cloruro de hierro, cal, alumbre y polímeros orgánicos. La cal y las sales de hierro pueden incrementar el porcentaje de sólidos en los lodos secos (aumentando su bulto), mientras los polímeros no aumentan el total de sólidos. Para seleccionar el químico apropiado, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos: edad de los lodos, pH, fuente, concentración de sólidos y alcalinidad. En general, se determina la dosis necesaria

al realizar pruebas simples de sedimentación en frascos Strande, Ronteltap y Brdjanovic (2014, pág. 63).

De acuerdo al capítulo anterior, para trazar los objetivos del tratamiento de LF, ya tiene que haber claridad sobre el uso o dislocación final al cual se va a llegar con los LF. Como se mencionó anteriormente, el uso de LF tratados como enmienda se adecua a las necesidades y condiciones generales de la comunidad del El Hormiguero. Teniendo claro esto, se procede al análisis de los mecanismos disponibles para transformar los LF en productos de valor para esta población.

Se entiende que la separación del agua es el objetivo previo y más importante para el transporte y el tratamiento posterior de los LF, lo cual es importante también porque reduce los costos y simplifica su manejo, algo que se busca para encaminar la toma de decisiones. También es relevante recordar que la higienización de los LF es el objetivo a lograr para prevenir los problemas de salubridad y medioambiental del corregimiento. Con esto resuelto, se puede lograr el aprovechamiento de sus nutrientes para la recuperación de recursos.

En este orden de ideas, encontramos distintos mecanismos para ejecutar el tratamiento y la selección de ellos se debe encajar a las condiciones enmarcadas en el caso de estudio. Con esto se realiza una valoración de los mecanismos a continuación.

Los mecanismos físicos argumentan ser los más robustos, confiables y son proveídos en su mayoría por la naturaleza. En el caso de la separación del agua, la gravedad es la fuerza más aplicada en MLF, además de ser gratuita. Del mismo modo, la evaporación también es un fenómeno que se puede aprovechar ya que la energía requerida es proveída por el sol y se ajusta perfectamente a las condiciones locales dado a que, la ubicación geográfica y climática del corregimiento, se presta para este tipo de procesos. De igual manera, la filtración es otro método interesante porque requiere menor inversión, además que no exige un mantenimiento constante y su operación es menos compleja que otras tecnologías. Los métodos como la centrifuga y el secado térmico utilizados para

separar el agua de los LF, son métodos considerablemente efectivos y rápidos, pero igualmente complejos y más costosos.

Los mecanismos biológicos aprovechan el metabolismo de los microorganismos, pero así mismo, consumen grandes cantidades de oxígeno requerida para su digestión. Además que en este proceso se liberan gases y otras sustancias que afectan al ambiente, pueden llegar a ser una molestia para los habitantes cercanos al lugar de tratamiento. Otros inconvenientes observados, es que requieren de mucha energía y recursos. Ejemplo de esto, se evidencia en el tratamiento aeróbico y en menor escala en el compostaje.

Los mecanismos químicos son un apoyo para mejorar el rendimiento de los mecanismos físicos. Estos pueden aumentar los costos, pero sus beneficios son inmediatos. Por ejemplo, la adición de cal en la estabilización de LF, eleva el pH y la temperatura logrando la inactivación de patógenos, un pulimento de los efluentes y un secado rápido. Otra ventaja en comparación a los métodos biológicos, es que se puede lograr optimizar y controlar ciertas reacciones deseadas, en el caso de los olores, y finalmente sirven para la desinfección.

Los tratamientos con amoníaco, coagulación, floculación y la combinación de varios químicos, son procesos que requieren de mucha atención y un control detallado en cantidades y tiempos. También son procesos costosos y se dependería de insumos especializados y mano de obra calificada.

Otro aspecto a tener en cuenta, es el tiempo de la duración del tratamiento y su almacenamiento. Su objetivo principal es asegurar la inactivación de las bacterias patógenas, pero el tiempo requerido aquí, es un factor que se debe evaluar para la selección de la alternativa a implementar. Métodos como la desecación de los LF puede contribuir a la reducción de patógenos de una manera rápida y eficiente, dado que los microorganismos requieren agua y solo pueden sobrevivir condiciones adversas durante un cierto tiempo. El almacenamiento durante un periodo entre uno y dos años y en condiciones secas, también contribuye a la desinfección.

8 METODOLOGÍA

Para los fines de esta investigación se desarrolló una metodología desde el enfoque cuantitativo. Se planteó una estrategia de investigación de estudio de caso complementada con observación participante, después de la recopilación de información y un reconocimiento del área de investigación. Para Así mismo, se desarrolló una fase de campo apoyada por instrumentos como la entrevista a grupo focal de informantes claves, para así validar e interpretar los datos recolectados y posteriormente concluir los aportes de los mismos. Se realizó una inspección bibliográfica con el fin de dar soporte conceptual y teórico a la investigación que se clasificó de acuerdo a las generalidades detectadas:

- Saneamiento rural y urbano
- Sistemas alternativos de saneamiento en zonas rurales
- Uso de tecnologías alternativas para el manejo de lodos fecales
- Métodos para la extracción y tratamiento de los lodos fecales

El propósito de la revisión bibliográfica consistió en hacer una recopilación y análisis de experiencias en la implementación de tecnologías empleadas para el manejo de los lodos fecales; ya que por medio de esta labor se verifica las claves del éxito en la adecuación y apropiación de los distintos sistemas empleados, esto con el objetivo de que la propuesta final presentada sea efectiva y apropiada a las condiciones territoriales y sociales y sea exitosa.

Adicionalmente, se utiliza la metodología regida por el método Sistemático para Diseñadores desarrollada por Bruce Archer. Este método considera las etapas analítica, la creativa y la de ejecución. Se observan las etapas en las que se subdivide y la confrontación con el proceso aplicado al desarrollo del proyecto.

Tabla 8.1: Método sistemático para diseñadores

MÉTODO SISTEMÁTICO PARA DISEÑADORES		
ETAPAS	SUB-ETAPAS	DESCRIPCIÓN
FASE ANALÍTICA	Problema	El problema fue abordado desde el interés personal hacia a creación y utilización de tecnologías alternativas para el manejo de residuos en la zona rural del municipio de Santiago de Cali. Se encontró a través de primeras visitas al corregimiento del Hormiguero como se hacía un manejo inapropiado de las excretas humanas y el desconocimiento técnico que se tiene del asunto, acompañado de poca atención de las entidades estatales encargadas de manejo y cuidado de salud y ambiente
	Programación	En la programación se planean visitas al corregimiento para hablar con las autoridades locales y habitantes, búsqueda de información técnica e investigativa de referencia, además de fechas para la entrega de avances del desarrollo del proyecto. Por último la realización práctica y ejecutiva del proyecto
	Obtención de información Por medio de estudio de visitas y participación de la comunidad Inspección bibliográfica	La obtención de la información se realizó desde la misma comunidad y autoridades del corregimiento, así como información técnica, investigativa y bibliográfica, en especial de internet
FASE CREATIVA	Análisis	En esta fase se organizó un archivo de documentos distribuidos por temas comunes, como saneamiento rural y urbano, sistemas alternativos de saneamiento en zonas rurales, uso de tecnologías alternativas para el manejo de aguas residuales y excretas humanas Extracción y tratamiento de los lodos, producto de las excretas humana
	Síntesis	En esta etapa se analizan las necesidades, las características de la sociedad y del territorio de la comunidad; así mismo se hace una depuración de la documentación recopilada y se analizan los mejores sistemas empleados en el manejo de los lodos fecales, buscando las claves de su éxito y la estructuración de los sistemas empleados

MÉTODO SISTEMÁTICO PARA DISEÑADORES		
ETAPAS	SUB-ETAPAS	DESCRIPCIÓN
FASE CREATIVA	Desarrollo	Después de tener claro las características sociales, culturales y de territorio, además de los métodos empleados en el manejo de los lodos fecales, se procedió al desarrollo de la propuesta, desarrollo de bocetos, planos y modelos de la propuesta técnica.
FASE EJECUTIVA	Comunicación	En esta etapa se presentó la propuesta a expertos en diseño y sociología para hacer una evaluación de viabilidad tanto del diseño formal de la propuesta como del funcionamiento del equipo.
	Solución	En esta etapa se definió la propuesta, se confronto en el taller industrial donde surgieron, algunos cambios, sin embargo fueron positivos y más efectivos que los planteados inicialmente, desarrollando finalmente los planos los materiales y logística de producción.

Fuente: Adaptado de Metodología del diseño, historia y nuevas tendencias, Pérez, F.J; Espinach, O.X; Verdaguer, P.N; Treserras, P.J. Diseño de la tabla por parte del investigador.

9 INTERVENCIÓN

Tras analizar todo el recorrido teórico, procedimental y técnico a nivel mundial que abarca el tema del manejo de lodos fecales en las zonas rurales y las condiciones sociales y culturales que circundan el tema, se puede identificar dos aspectos importantes que son: 1. Respecto el escaso o nulo conocimiento de los procedimientos para el manejo de LF (extracción, tratamiento y disposición final), y 2. El tema de la integración de las soluciones tecnológicas para el MLF propuestas, correspondan a una realidad y unas condiciones determinadas.

De acuerdo con lo establecido anteriormente, para dar un manejo adecuado a la extracción, tratamiento y disposición final de los lodos fecales, la posibilidad de aprovechamiento de este recurso y la búsqueda de la protección de la salud y el cuidado del medio ambiente, se plantea una solución desde el diseño industrial, que le permite a la comunidad del corregimiento de El Hormiguero un manejo adecuado de los sistemas de saneamiento descentralizado que garantice una protección de la salud, la prevención de enfermedades y un mínimo impacto ambiental.

Se debe dejar claro que el proyecto pretende generar una propuesta de solución ante la falta de un sistema extracción, tratamiento, aprovechamiento y disposición final. Esta propuesta también pretende integrarse a la cultura y a las labores desarrolladas por la misma comunidad.

En este capítulo se abordarán parámetros y características de los diferentes puntos que hicieron parte de la toma de decisión para lograr una intervención eficiente respecto al manejo de lodos fecales (MLF).

9.1 Análisis del problema desde el Diseño Industrial

En el caso de estudio se evidencia una falencia procedimental y técnico en el tema de manejo de LF en los sistemas de saneamiento de las poblaciones rurales. Por otro lado, las tecnologías que están enfocadas a solucionar el tema de MLF, la mayoría apunta a solucionar el problema de una manera global, alejándose de las

necesidades particulares de ciertos sectores. En los casos donde existen desarrollos puntuales, tienen que adaptarse a las necesidades concretas de cada caso. Por todo esto, se debe replantear una solución alternativa para que cumpla con las condiciones geográficas, técnicas, sociales y culturales presentes en objeto de estudio.

Por medio de la intervención del diseño industrial se puede plantear una propuesta para dar solución a este tipo de necesidades, integrando aspectos humanos, técnicos, funcionales, formal-estéticos, productivos, reducción de costos, creación de valor, satisfacción de necesidades y aumento de calidad de vida.

9.1.1 Aspecto humano

En el caso de estudio se evidencia los actores que están relacionados en el procedimiento para realizar el manejo de lodos fecales:

- **Directo:** Son los operarios que realizan la tarea de extracción y disposición de los LF. Normalmente es ejecutado por un hombre adulto, de sexo masculino, con condiciones físicas aptas para trabajo pesado debido al tipo de herramientas y esfuerzos que se necesitan. El nivel de escolaridad varía en cada caso, pero es indispensable que este tipo de persona sepa leer y escribir para un futuro entrenamiento. El nivel de motivación está ligado directamente a lo económico, se pretende estimular una preocupación por el medio ambiente.
- **Indirecto:** Son los residentes de las viviendas y usuarios del sistema de saneamiento descentralizado, se estima un número de cinco personas por vivienda. Estos son a quien se le prestará el servicio de vaciado.

9.1.2 Ergonomía

Es importante para el desarrollo del proyecto, la valoración que se da en la interacción del hombre con el objeto que se va a usar, para ello se analiza

aspectos como la antropometría, la posición de la carga con respecto al cuerpo, peso de la carga, posturas, agarres de la carga, tamaño de la carga y demás.

9.1.2.1 Antropometría:

A continuación, se suministra las dimensiones de los percentiles 5 y 95 en posiciones de trabajo para la planificación de espacios con equipo y material automático o mecanizado. (Panero y Zelnik. 1997, pág. 103)

- Anchura máxima del cuerpo: 47,8 cm - 57,9 cm
- Profundidad máxima del cuerpo: 25,7cm – 33cm
- Largura en posición de rodillas: 95,5cm – 122,2cm
- Altura en posición de rodillas: 75,4 – 87,6cm
- Largura en posición prono: 215,1cm – 243,3cm
- Altura en posición prono: 31,2cm – 41,7cm
- Largura en gateo: 125,2cm – 147,8cm
- Altura en gateo: 66,5cm – 77,5cm

9.1.2.2 Cargas

Otro aspecto importante para el desarrollo de la propuesta es la manipulación de carga, para esto se hizo una revisión de las características y recomendaciones para el diseño de objetos con cargas de los cuales, es necesario es necesario mencionar los siguientes aspectos:

- **Peso de la carga:** se debe tener unas condiciones ideales de levantamiento, entre estas, las que incluye una postura ideal para el manejo (cargas cerca del cuerpo, espalda derecha, sin giros ni inclinaciones), una sujeción firme del objeto con una posición neutra de las muñecas, levantamientos suaves y espaciados y condiciones ambientales favorables. Además, se debe tener una estimación del peso de la carga. (mayor protección hasta 15Kg, general hasta 25Kg, trabajadores entrenados hasta

40Kg).

- **Agarres:** la carga debe proporcionar asas u otro tipo de agarre confortable con toda la mano, la muñeca debe permanecer en posición neutra.
- **Tamaño de la carga:** se recomienda que las medidas máximas para la manipulación de cargas sean de 60x60x60cm para evitar posturas forzadas de los brazos y agroses mal realizados. Las cargas profundas aumentan las fuerzas compresivas en la columna vertebral. Las cargas altas pueden entorpecer la visibilidad.

9.1.3 Aspecto técnico

Con el desarrollo del proyecto se busca llegar a una propuesta práctica, sencilla y económica que a futuro pueda tomarse como una herramienta que contribuya al desarrollo y mejora en la calidad de vida de la comunidad y se pueda implementar y adaptar a las necesidades de otras regiones que como se evidencia actualmente, no cuentan con un manejo adecuado de LF de los sistemas de saneamiento descentralizados efectivo.

Para este proyecto se plantea el empleo de tecnología local que permita proponer una solución viable, sostenible y económica.

9.1.4 Aspecto formal

En el proyecto el aspecto formal tiene una importante relevancia como herramienta para lograr una aceptación por parte del usuario, ya que por medio de esta se buscará ofrecer un producto agradable a los sentidos que incentive a su uso.

En la estética del producto se tendrán en cuenta conceptos como la coherencia, la simetría, el manejo de proporciones, las formas básicas y se deberá mantener una similitud con otros accesorios y subproductos de la propuesta. Para esto también se valorará el espacio integrado en el corregimiento y su relación con la naturaleza.

El diseño y la arquitectura de la propuesta debe ser acorde a la condición social de la región, lo esencial, pero a su vez, replanteando las alternativas ya existentes. Una propuesta funcional que responde al problema en concreto y que encuentre en la propia función su contenido estético con el objetivo de obtener un diseño justo para un precio justo.

9.1.5 Aspecto cultural y psicológico:

Cuando se pretende desarrollar alternativas para un sistema de saneamiento básico es tan importante comprender la influencia que tienen los factores psicológicos y culturales durante el uso y aceptación, como el sistema mismo.

Un sistema habitualmente falla, no por razones técnicas, sino por la falta de comprensión y participación de los usuarios, por lo tanto, es trascendental entender el proceso psicológico y cultural del manejo de los LF de la misma forma como se busca entender los procesos físicos y químicos del sistema.

Cuando se plantea una propuesta, deben tenerse en cuenta algunas consideraciones, entre ellas, los impedimentos psicológicos relacionados con la manipulación de heces humanas, lo cual es una tendencia universal.

Las personas naturalmente repelen los excrementos, natural en el sentido de que es una reacción involuntaria, aunque la razón está en continua evolución cultural. En el curso del desarrollo de la humanidad, los hombres infortunados que tuvieron contacto con los excrementos se vieron expuestos a enfermedades por patógenos, una razón por la cual, no se debía entrar en contacto con ellos.

Las tendencias de comportamiento respecto a las heces son instintivas. El individuo no se pregunta porque el excremento huele mal como tampoco se pregunta porque la comida tiene sabor y buenos aromas. El individuo intuitivamente confía en sus sensaciones instintivas y se comporta acordemente. Una de las reacciones instintivas a la amenaza es alejarse.

Un punto fundamental para entender las actitudes que se toman frente a las heces, es la influencia que ejerce la experiencia, además estas actitudes pueden

evolucionar y cambiar constantemente. Para ello es necesario transformar esas percepciones por medio de una serie de motivaciones.

Adicionalmente a esto, se debe trazar un plan para capacitar a la comunidad ya que la motivación y el interés puede verse afectada por una mala experiencia con otros sistemas y dan una mala reputación a la propuesta planteada.

El diseño industrial es una pieza clave para el éxito en la implementación de soluciones alternativas, porque permite que no sean enfocadas solamente en los aspectos técnicos, sino que se incluyan además las necesidades de los usuarios con el fin de cambiar su actitud respecto al manejo de los LF.

10 REQUERIMIENTOS Y DETERMINANTES

10.1 Requerimientos

10.1.1 Requerimientos de uso

- Practicidad en la interacción del operario con el sistema.
- Comodidad para la manipulación y limpieza de sus componentes.
- Se debe tener en cuenta el espacio entre sus componentes para realizar la limpieza general del sistema.
- Agilidad para maniobrabilidad y operación del sistema.
- Proporcionalidad en los elementos integrados al sistema.
- Seguridad en la operación del sistema tanto en lo mecánico como de LF.
- Se debe tener en cuenta recursos técnicos y de mano de obra del sector para la reparación de las piezas del sistema.
- Debe contar con la mayor calidad y cantidad de agarres necesarios en sus elementos.
- El lenguaje de uso y componentes del sistema debe ser claro para el operario.

10.1.2 Requerimientos de Función

- Acabados superficiales que agilicen la higiene del sistema.
- Mantenimiento básico y sencillo para su funcionamiento continuo.
- Debe permitir la separación del agua de los LF recolectados.
- Debe permitir el control en la densidad en los LF.
- Debe permitir el control de ingreso de materiales no biodegradables al sistema.
- Debe asegurar buenas posturas y ubicaciones en la operación del sistema.
- Debe sujetar sus elementos de manera que no se salgan durante su operación.

- Debe asegurar la estabilidad de la carga y de su operación.
- Su accionamiento debe ser de propulsión humana.

10.1.3 Requerimientos Estructurales

- Debe proteger y cubrir los elementos del sistema.
- Debe existir una coherencia en cada uno de los elementos del sistema.

10.1.4 Requerimientos Ambientales

- Debe procurar el sostenimiento del sistema a largo plazo.
- Los materiales deben ser acordes con los principios del corregimiento de El Hormiguero.

10.1.5 Requerimientos Técnico Productivos

- Se debe estandarizar la mayor cantidad de componentes con el fin de simplificar la producción.

10.1.6 Requerimientos Económicos y de Mercado

- Debe ajustarse de acuerdo a las condiciones económicas de El Hormiguero.

10.1.7 Requerimientos formales

- Debe tener coherencia formal entre sus partes.
- Debe denotar simplicidad.
- Debe motivar a la comunidad a su uso.
- El diseño del sistema debe reflejar limpieza e higiene.

10.2 Determinantes

10.2.1 Determinantes de uso

- Debe ser exclusivamente para las necesidades del corregimiento de El Hormiguero.
- Debe tener cobertura total de los sistemas de saneamiento en el corregimiento de El Hormiguero.
- Debe operarse frente al sistema de saneamiento descentralizado.
- Debe ser operado por personal capacitado.

10.2.2 Determinantes de función

- Los contenedores deben garantizar la contención de los LF para ser transportados desde la vivienda hasta la zona de tratamiento.
- Control de espacio en el sistema para evitar sobre cargas de elementos externos.
- Control de peso de la carga en los contenedores de LF para no exceder los 40kg.
- Debe permitir la extracción de 117L de LF provenientes de los sistemas de saneamiento descentralizados.

10.2.3 Determinantes Estructurales

- Sus elementos deben tener resistencia mecánica, química y a la intemperie.
- Debe tener capacidad para desplazarse por terrenos irregulares.
- Debe tener acoples rápidos y seguros entre los elementos del sistema.
- Mecanismos sencillos para accionamiento del sistema y su rápida reparación.

10.2.4 Determinantes Ambientales

- Debe tener un manejo controlado de los LF para evitar riesgos ambientales.

10.2.5 Determinantes Técnico Productivos

- Se debe producir con tecnología nacional de PYMES.
- Se debe utilizar repuestos comerciales y de consecución local.

11 PROPUESTA DE DISEÑO



11.1 EXFERO

Es una unidad de extracción y transformación de fertilizante orgánico, para el aprovechamiento del producto derivado de los sistemas de saneamiento descentralizados de forma segura y económica en cada una de sus etapas.

Se ha demostrado que los LF están catalogados como un material de riesgo biológico y pueden atentar contra la salud de las personas además de contaminar y deteriorar el medio ambiente si no se realiza el manejo adecuado. Por lo tanto, se ha venido desarrollando una variedad de tecnologías para atender ciertas necesidades en cuanto al manejo de LF y reemplazar de una vez por todas, la forma tradicional de realizar esta tarea en donde aún en día, se emplean palas y baldes. Pero este mismo desarrollo, se han ido alejando de las posibilidades para que comunidades de bajos recursos, que no tienen conexión con el sistema tradicional de alcantarillado, puedan adquirirlas, manejarlas y mantenerlas en un funcionamiento óptimo.

EXFERO ha sido desarrollada para vincularse a las zonas rurales vulnerables en donde no existe cobertura de sistemas de alcantarillado. Específicamente, a las necesidades del corregimiento del Hormiguero. Esta unidad emplea técnicas

sencillas y seguras para la transformación de LF hasta entregar un producto final con calidad para su comercialización.

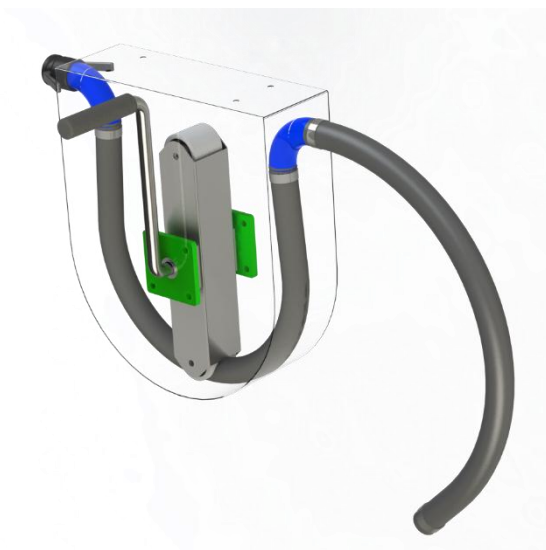
11.1.1 Innovación

La extracción es una etapa crítica en el manejo de LF. En la ejecución de esta tarea, con la práctica tradicional, un individuo se introduce al contenedor del sistema de saneamiento para tener acceso al material hasta la capa más profunda, en este momento la persona ya ha tenido contacto directo con los LF y los gases producidos allí, además de que esta tarea se le dificulta para el manejo de herramienta en este espacio confinado.



En el desarrollo de **EXFERO**, se diseñó una bomba peristáltica de acción positiva capaz de bombear fluidos a 3.5mts de altura a través de una manguera de succión que se introduce en el contenedor del sistema de saneamiento. Con la ayuda de la vara telescópica acoplada en uno de sus extremos, el operador puede lograr posicionarla en lugares de difícil acceso como las esquinas. Esta vara telescópica

tiene además una canastilla que impide el ingreso de desechos no biodegradables y deja en el fondo una cantidad mínima de LF suficiente para la propagación de microorganismos que ayudan al proceso de descomposición. Esto significa que el operador de **EXFERO** puede realizar esta tarea correctamente y de modo seguro sin tener que ingresar en el contenedor.



La bomba peristáltica es máquina autocebante, lo que quiere decir que, aunque están llenas de aire, es capaz de llenar de fluidos el circuito de aspiración. Su mecanismo puede lograr la extracción de líquidos agresivos sin tener contacto con los elementos mecánicos internos de la bomba, obteniendo así, limpieza en su proceso y prolongación en su vida útil.

Entre sus muchos beneficios, existe mayor relevancia en su capacidad para la elevación de fluidos en succión, su acción reversible y dosificación precisa. La bomba peristáltica representa seguridad ya que pueden aislar el producto del ambiente y el ambiente del producto en su funcionamiento. Su mecanismo es mucho menos complejo que otras bombas y por ello es de menor costo para su mantenimiento.

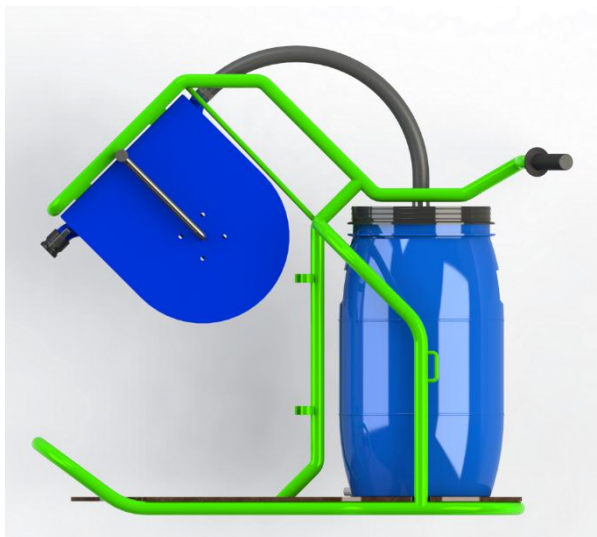
Su funcionamiento está diseñado para ser accionado manualmente por medio del giro de una manivela con el fin de romper la dependencia de cables y de motores a combustión, y poder ser utilizado en cualquier lugar donde represente desafío. En definitiva, cada uno de sus componentes se ha desarrollado de tal forma que pueda ser de fácil fabricación, máxima duración, consecución en el mercado y de bajo costo. De esta forma se logra que **EXFERO** sea asequible y confiable.

El transporte es también un elemento crucial en el manejo de LF. Otro de los problemas que implica realizar estas prácticas tradicionales, es lo que sucede después de la extracción. Generalmente estos son vaciados a cuerpos de agua o campos abiertos, y en el mejor caso, enterrados en sitio, sin ningún tipo de tratamiento.



EXFERO plantea el uso de un vehículo de propulsión humana para movilizar las cargas de LF recolectados por el sistema de extracción, garantizando la contención de esta materia desde las viviendas hasta el lugar de tratamiento y disposición final. Además, se ajusta perfectamente a las condiciones geográficas y de relieve presentes en el corregimiento de “el

Hormiguero”. Para ello, propone el triciclo de carga de fabricación nacional. Un vehículo diseñado para transportar medianas cargas y asegurar su estabilidad por



medio de la triangulación de tres ruedas ubicadas dos adelante, soportando la superficie de carga, y una de tracción trasera. Es un transporte comercial y de fácil consecución de sus repuestos por lo cual se ajusta a la capacidad técnica y mano de obra local para realizar su mantenimiento. Sus mecanismos de propulsión y de maniobrabilidad hacen de este transporte un vehículo fácil de

maniobrar. Su capacidad para recorrer distancias determinadas favorece para que exista una cobertura total de esta comunidad.

Para integrar todos los elementos a **EXFERO**, se rediseño este vehículo con dos objetivos específicos, primero, trasladar la carga de LF recolectados aislando su contenido de modo que el contenedor quede empotrado completamente dentro de la estructura, tenga facilidad para su montaje y no pueda abrirse su tapa. Segundo, para ser de soporte de la bomba, situándola estratégicamente en el frente, con el ángulo correcto y a la altura adecuada para su manipulación por el operario. Esto hace que **EXFERO** sea una solución viable porque se acomoda a las necesidades operativas y condiciones del sector rural.

El tratamiento es la última etapa del manejo de LF y se planea de acuerdo a la meta que se quiere lograr con el material tratado. Sus objetivos frente al ambiente y la salud pública incluyen la reducción de patógenos, la estabilización de la materia orgánica, el retiro de los nutrientes y la seguridad del uso o disposición final de los productos del tratamiento.

EXFERO plantea el uso de mecanismos sencillos, económicos y efectivos, como los que se presentan en algunos procesos físicos y químicos. En los mecanismos físicos se encuentran los que son provistos por la misma naturaleza, entre ellos la gravedad, que se utiliza para la separación del agua, la radiación solar y las corrientes de aire, que son aprovechados para el secado. Los mecanismos químicos involucran el uso de aditivos para optimizar y controlar ciertas reacciones deseadas, también, para mejorar el rendimiento de los mecanismos físicos o para inactivar los patógenos y estabilizar los LF. En la creación de **EXFERO** Se ha seleccionado estos métodos porque son considerados robustos y confiables.



Para la creación de **EXFERO** se ha planteado la combinación de los conceptos de contenedor y tratamiento para integrarlo en una propuesta sólida. Con ello, se emplea el bidón de 60L fabricado de polietileno de alta densidad, utilizado industrialmente por su capacidad, resistencia mecánica, hermeticidad, y facilidad de limpieza, entre otros beneficios. Su composición formal lo hace un elemento confiable para su manipulación, contiene asas de agarre y tapa de sellado hermético, es resistente a la intemperie y al maltrato. Para integrar este contenedor a **EXFERO**, se ha modificado de modo que reciba los lodos por medio de la manguera de acceso que está conectada desde la bomba hasta un acople adherido a su tapa. Dentro del contenedor, se incorporó una base con maya en acero inoxidable en la parte superior que hace que el lodo entrante sea filtrado, dejando solamente la carga orgánica densa y separándola del agua. Esta separación es el primer proceso en el tratamiento de los LF, debido a que el agua representa el 80% de su contenido. Esto favorece en primer lugar, a la deshidratación del producto y, en segundo lugar, mejora las condiciones para transportar la carga hasta el lugar donde se va a continuar el tratamiento, sin riesgo de derrames. El agua separada se vacía permanentemente del contenedor hasta el sistema de saneamiento, pozo de absorción o al lugar donde será filtrada

a la tierra, por medio de la manguera de drenado conectada a una válvula de mano ubicada en la pared inferior del bidón. Con esto se logra que **EXFERO** proporcione un ciclo completamente seguro desde inicio a fin.

Una vez cargado y asegurado el contenedor, se traslada a **EXFERO** hasta el lugar de tratamiento, allí se descarga el bidón y se procede con el tratamiento in situ. Para ello, se plantea continuar con el mecanismo químico utilizando la Cal, con esto se consigue la desinfección y la separación del agua más eficiente, además de pulir los efluentes. Se procede a destapar el bidón y se agrega la Cal removiendo la carga orgánica hasta tener una masa homogénea, por último, se tapa y se acopla el ducto de ventilación, que es el encargado del flujo de aire y vapor dentro del contenedor. Este ducto impide la entrada de vectores y de agua debido a una maya y un gorro ensamblados en su extremo superior.

La reacción de la Cal en los LF hace que el pH se eleve hasta 12, a consecuencia, la actividad microbiana se paraliza e inactiva a los patógenos, lo que reduce los olores provenientes de la putrefacción. En este proceso también se produce una reacción exotérmica que puede aumentar la temperatura hasta 60°C y de esta manera se incrementa la reducción de patógenos. Finalmente, se deja reposar el contenido durante seis meses.

El aprovechamiento de los mecanismos físicos en el diseño del contenedor, contribuye para que los rayos solares y las corrientes de aire faciliten la evaporación, lo que da lugar a la desecación de la materia y la inactividad de los patógenos, dado que los microorganismos requieren agua y solo pueden sobrevivir en condiciones adversas durante un cierto tiempo. Con esto **EXFERO** logra la estabilización de la materia orgánica y la eliminación de patógenos.

11.1.2 Resultado

El producto transformado por **EXFERO** es un material seco e inocuo que puede ser manipulado sin riesgo alguno. También es un producto que puede ser aprovechado por la comunidad para su comercialización, debido a sus

características para la enmienda de suelos. Sus efectos ofrecen muchas ventajas sobre aplicar solo fertilizantes químicos, entre estas, incrementa la capacidad de retención del agua del suelo, contribuye a la estructura, reduce la erosión y es una fuente de nutrientes que son liberados paulatinamente.



11.2 Componentes de EXFERO

EXFERO está dividido en tres subsistemas:

- **Sistema de extracción:** mecanismo que se introduce al sistema de saneamiento descentralizado en función para vaciar los LF.
- **Contenedor de producto:** elemento de depósito y tratamiento de los LF.
- **Transporte:** mecanismo para el traslado de los LF del lugar de extracción al lugar de tratamiento o/y disposición final.

11.2.1 Sistema de extracción:

El sistema de extracción está dividido en elementos como la bomba (en este caso la bomba peristáltica), los ductos de entrada y salida de producto (LF), estructura, los mecanismos de accionamiento y las asas de agarre y manipulación. Estos a su vez tienen relación directa con el operario del sistema, que está encargado de la operación hasta que el producto pase a su segunda fase en el sistema.

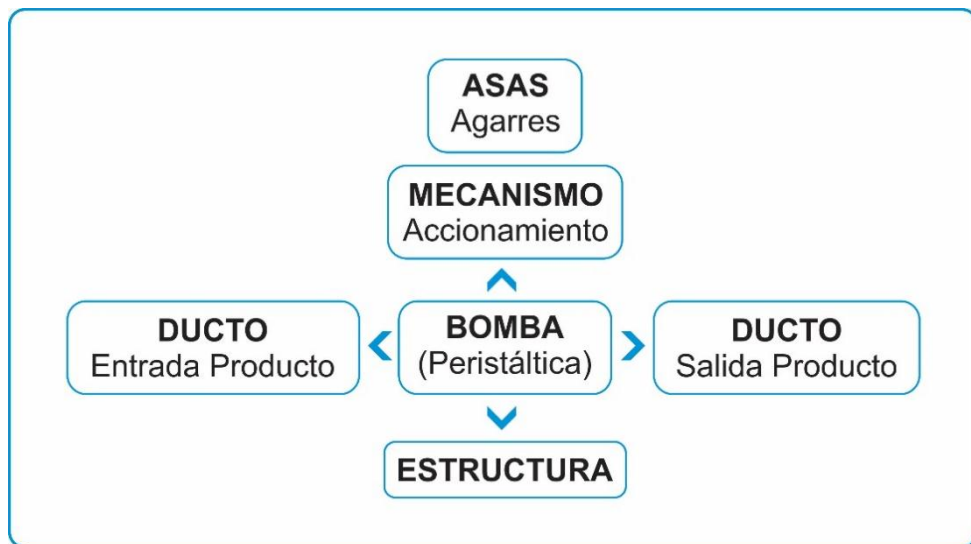
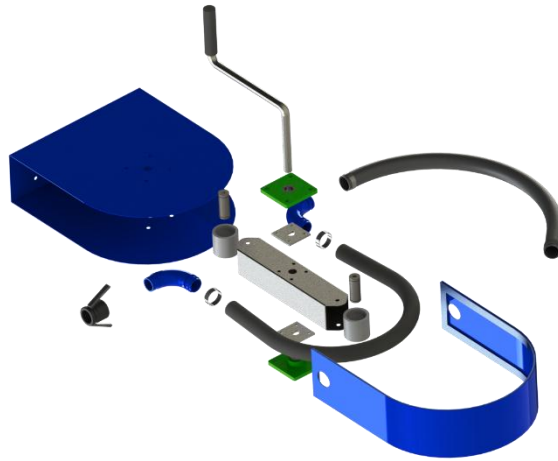


Figura 1: División esquemática de sistema de extracción. Autor.

11.2.1.1 Elementos de la bomba



Vara telescópica: elemento que se estira hasta 3 metros para alcanzar la profundidad del contenedor de LF del sistema de saneamiento. En su extremo inferior tiene una canastilla de 12 cm de altura conectado a la manguera de succión que, por una parte, impide el ingreso de desechos no biodegradables a la bomba, por otra parte, deja en el fondo una cantidad mínima de LF suficiente para la propagación de los microorganismos que ayuda al proceso de descomposición de los lodos.

Manguera de succión: elemento de caucho semirrígido con refuerzo de textil con longitud de 5mts y 1.5" de diámetro que sirve para conectar la bomba con el fondo y esquinas del contenedor en el proceso de succión. En su extremo superior contiene un acople rápido para su facilidad en el armado y desarmado.

Cabezal: el cabezal contiene todos los elementos mecánicos de la bomba. Su coraza tiene una forma semicircular en U de 40cm diámetro externo, donde en su pared interior esta empotrado una manguera de silicona de 1.5" de diámetro y 90cm de longitud. Un rotor fabricado con tubo cuadrado inox de 7 x 7 x 36 cm con dos rodillos en empack de 6x6cm de diámetro unidos a sus extremos comprimen el tubo flexible. Mientras el rotor da vueltas, la parte de tubo bajo compresión se cierra forzando, de esta manera, a los LF a ser bombeados para moverse a través del tubo. Adicionalmente, mientras el tubo se vuelve a abrir a su estado natural

después del paso de la leva, el fluido es inducido a la bomba.

11.2.2 Contenedor de producto:

El contenedor está dividido en elementos como el cuerpo del contenedor, la tapa que realiza el sellado hermético, el filtro o malla, los ductos de salida de líquidos y entrada de producto, el nivel de llenado, y finalmente, las asas de agarre y manipulación. Estos también tienen relación directa con el operario del sistema, que está encargado de su operación hasta que el producto pase a la fase de tratamiento.



Figura 2: División esquemática del contenedor. Autor



11.2.2.1 Elementos del contenedor

Manguera de acceso: esta manguera es la misma que se utiliza para succión (de caucho con refuerzo textil de 1.5" de diámetro y 60cm de longitud), está encargada de conducir los LF desde la bomba al contenedor directamente. Tiene a sus extremos acoples rápidos para su facilidad en el armado y desarmado.

Base con maya: elemento fabricado en varilla de ¼" inox. con una maya en la parte superior igualmente en acero inox. de forma que pueda igualar el diámetro interior del contenedor y con una altura en sus patas de 20cm con el fin de retener la carga orgánica mientras se filtra el agua que se deposita al fondo del recipiente.

Manguera de drenado: Este elemento hace el drenado de agua en los LF, resultado de la filtración en el contenedor, regresándola al sistema de saneamiento, pozo de absorción o en el lugar en donde se filtrará a la tierra. Esta manguera es de tipo comercial y de fácil consecución, tiene un diámetro de ½" por

6mts de longitud, fabricada en caucho con refuerzo textil y normalmente utilizada para la jardinería de las viviendas. Está conectada en la pared lateral inferior del contenedor por medio de una válvula plástica de mano de ½” con acople rápido para facilitar su armado y desarmado.

Ducto de ventilación: este elemento está pensado para realizar la evacuación de vapores y gases generados en el proceso de descomposición durante el tratamiento de los LF. En la parte superior hay un tapón con una malla el cual evita el acceso de insectos al interior del contenedor. Por encima de ella se encuentra un gorro chino a 5cm de altura con el propósito de proteger el conducto del agua lluvia y para que pueda circular las corrientes de aire por la boca del ducto la cual ayuda a la evacuación de los gases.

11.2.3 Transporte:

El transporte (triciclo de carga) está dividido en elementos como la estructura, de donde se desprende los rodamientos, el manubrio, el sistema de frenos y la superficie de carga, también contiene el sistema de propulsión a cadena, y el sillín en donde se ubica el operador para su manejo

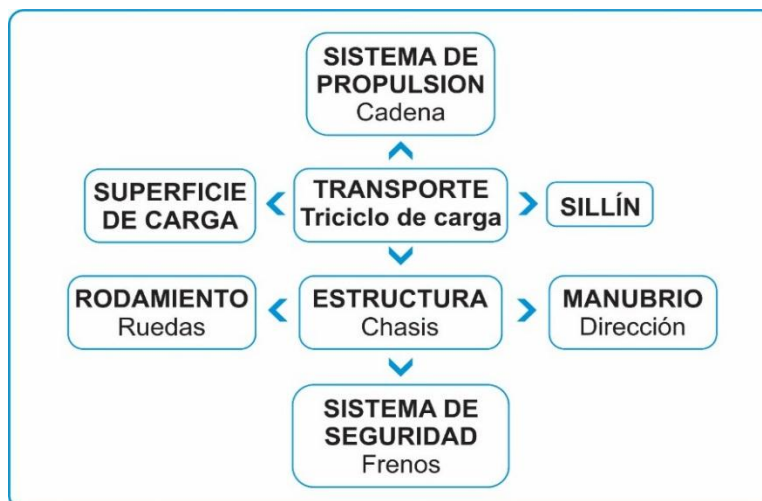


Figura 3: División esquemática del transporte. Autor.:

11.2.3.1 Elementos del transporte:



Soporte para mangueras: este elemento contiene dos aros de 35cm de diámetro fabricado en platina de acero inoxidable de 3 x 20 mm con cuatro patas en varilla de 1/4" atornillados en su parte inferior a la base de madera. Su altura es de 15 cm y está diseñada para amarrar las mangueras de succión y drenaje a la estructura con dos cintas de velcro de 1", esto con el fin de asegurar que las mangueras estén sujetas durante la trayectoria del vehículo.

Sujetador de la vara telescópica: son dos abrazaderas soldadas a lo largo de una de las barras verticales de la estructura, al lado de la manivela de la bomba, con el fin de sujetar la vara telescópica y para que el operario la tenga a la mano en el momento de ensamblar secuencialmente el sistema de extracción.

11.3 Modo de uso

a. Verificación de los elementos del sistema:

Para iniciar la labor de extracción, transporte y tratamiento de LF se debe verificar que el equipo contenga todos los accesorios en su sitio y asegurados: la vara telescópica, la manguera de succión y la manguera de drenado.



b. Montaje y asegurado del bidón al transporte:

En el bidón se asegura la tapa y se procede al montaje, se voltea la dirección del transporte y se introduce por la parte posterior de la estructura sobre la superficie de modo que quede ajustada la tapa del contenedor con los tubos horizontales superiores del armazón y luego se toma la cinta de velcro que se encuentra en el tubo vertical de la izquierda y se pasa alrededor del bidón hasta el ojal ubicado en el tubo vertical de la derecha ajustándolo de tal manera de que no se pueda mover. Posteriormente se acopla la manguera de acceso que está instalada en la bomba.



c. Instalación de accesorios:

Después de asegurar los accesorios y el bidón, se moviliza el **EXFERO** hasta el sistema de saneamiento que va a ser vaciado. Allí se dispone el transporte de manera que la bomba quede en frete del acceso al sistema de saneamiento y se acciona el freno, se remueve la tapa y se debe esperar unos minutos para que los gases que están contenidos puedan liberarse. Pasado este tiempo, se procede a soltar las mangueras del soporte y se instala la manguera de succión a la bomba por el extremo donde tiene el acople rápido y por el otro extremo, la vara telescópica, seguidamente se introduce al sistema de saneamiento. Después de esto, se procede a instalar la manguera de drenado al bidón, insertando el acople rápido a la válvula de mano ubicada en la parte lateral inferior del contenedor y su otro extremo se coloca en el lugar designado para la descarga del agua. Finalmente, se abre el paso de la válvula.



d. Accionamiento de la bomba:

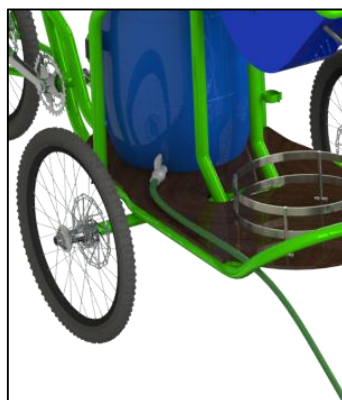
Después de tener todos los accesorios instalados y dispuestos en cada lugar, el operario se pone frente a la manivela y la gira en sentido contrario a las manecillas del reloj para comenzar la extracción de lo LF. Se debe realizar la cantidad de vueltas de acuerdo al cálculo realizado en los capítulos anteriores.

Finalizada la extracción, se procede a dar giros de modo contrario para devolver lo que ha quedado en la manguera de la bomba y en las mangueras de acceso y de succión hasta que se vacíe todo.



e. Drenado de agua:

Durante el proceso de extracción, el agua que resulta de la filtración en el contenedor está siendo evacuada gradualmente, pero debe esperarse un tiempo prudente hasta que el flujo disminuya parcialmente para finalmente cerrar la válvula de mano.



f. Lavado de la manguera de succión:

Se eleva la manguera de succión a una altura media para poder lavar el extremo que tuvo contacto con los LF. Con agua limpia se remueve el lodo que ha quedado adherido de modo de que caiga dentro del contenedor del sistema de saneamiento y asegurándose de que no caiga por fuera de ella. Después de esto se procede a desacoplar las mangueras, enrollarlas y ajustarlas en el soporte.



g. Transporte de LF al sitio de tratamiento.

Después de tapar el sistema de saneamiento, se traslada los LF recolectados hasta el lugar en donde se va a realizar el tratamiento. En el sitio se sitúa el transporte en donde se va a descargar el contenedor con los LF, se retira la manguera de acceso y la cinta velcro del bidón y se deja en tierra.



h. Tratamiento de LF:

Para realizar el tratamiento LF se ha recomendado el uso de Cal por las propiedades y reacciones químicas que ayudan a la desinfección y separación más eficiente del agua. Para ello, se destapa el contenedor y se procede a adicionar una cantidad moderada de Cal, se remueve la carga orgánica hasta obtener una masa homogénea y se vuelve a tapar. Por último, se ajusta el ducto de ventilación en el acople de la tapa del bidón.

El proceso de secado y desinfección está planteado para que dure alrededor de 6 meses a la intemperie hasta obtener un producto seco e inocuo. Se recomienda el etiquetado del contenedor con la fecha de inicio y la fecha de finalización para hacer un seguimiento constante.



i. Empacado, almacenamiento y comercialización:

Finalizado el tratamiento, se dispone al vaciado de los contenedores con los LF secos para luego ser empacado en bolsas y su sellado. Para el almacenado se recomienda otro periodo entre 1 a 2 años para reafirmar la desinfección. Para ello se debe tener bodega acondicionada con estibas para que las bolsas con el fertilizante orgánico no tengan contacto con la humedad del suelo y pueda comercializarse en óptimas condiciones.



11.4 Las industrias y el uso de producto final

Son las empresas que aprovechan los nutrientes, la energía y la capacidad de enmendar los suelos con los LF tratados. Este sector es relativamente nuevo, pero está incrementándose dentro de la cadena de MLF. El uso de productos finales debe ser considerado al diseñar la cadena de servicio a fin de aplicar las tecnologías más apropiadas y generar el producto más apto posible para el uso requerido por el cliente. Dada la demanda cada vez mayor de nutrientes sostenibles, económicos y abastecidos localmente, la agricultura crecerá probablemente como un actor muy importante en el uso de producto final. Los LF tratados también constituyen una fuente alentadora de energía sostenible que podría promocionarse. En el futuro, los beneficios financieros y las necesidades ambientales podrán impulsar un mejor MLF y contribuir a la mejora del diseño del

sistema. La demanda de lodos y su aplicación tendrán un impacto cada vez más potente en la manera de manejar los LF.

11.5 Operación, mantenimiento y monitoreo del sistema de extracción y tratamiento de LF

El sistema de extracción y tratamiento de LF requiere actividades de Operación y Mantenimiento (OyM) continuas y apropiadas para asegurar su funcionalidad a largo plazo. Las actividades de OyM permiten la función sostenida del sistema. Operación se refiere a todas las acciones requeridas para asegurar que se preste los servicios de tratamiento para lo que fue diseñado, y Mantenimiento se refiere a todas las acciones que aseguran la operación a largo plazo del sistema. La OyM adecuada requiere que se realice una serie de labores que deben llevarse a cabo. Contar con personal para realizar estas tareas oportunamente y en conformidad con las mejores prácticas, maximizara su valor y asegurara su rendimiento a largo plazo. Por ello es indispensable brindar capacitación a sus operadores.

11.5.1 Proceso de integración y planificación de OyM para el sistema extracción y tratamiento de LF

Hay varios factores significativos que se deben considerar al planificar, los cuales tendrán un impacto directo sobre la OyM y el monitoreo. Incluyen los aspectos técnicos y la integración de tecnología de MLF. Ya que los aspectos de OyM son tan importantes para el éxito general a largo plazo del programa, la planificación de OyM. Se debe revisar y aprobar juntamente con los diseños y especificaciones técnicas, incluyendo los siguientes aspectos:

- a) Ubicación de los sistemas de saneamiento y su proximidad a otras viviendas.
- b) Volúmenes y cronogramas de la recolección de los LF.
- c) Disponibilidad de los recursos locales.

- d) Grado de operatividad de las tecnologías.

11.5.2 Planes de O y M

El plan de OyM suministra los detalles sobre las tareas, materiales, equipos, herramientas y operaciones de monitoreo y seguridad que son necesarios para que el sistema funcione bien. Es importante saber que tienen implicaciones para los costos que se deben considerar detenidamente.

11.5.2.1 Procedimientos operativos

El sistema de extracción y tratamiento de LF requieren procedimientos operativos claros. Por lo tanto, los planes de OyM deben incluir un manual de operación con la siguiente información:

- Dibujos técnicos y las especificaciones
- Manuales de operación de los equipos
- Persona responsable
- Frecuencia de cada actividad
- Procedimientos de operación y equipos requeridos para realizar la tarea
- Medidas de seguridad requeridas

El manual de operación también debe tener una sección especial para los requisitos operativos de emergencia. Deben planificarse los procedimientos para casos específicos, como los eventos climáticos extremos, la rotura de la bomba, contenedor o ductos y otros accidentes. Todos los procedimientos dispuestos en el manual de operación deben elaborarse en conformidad con las leyes y normas de la localidad.

Todas las tecnologías de tratamiento requieren el control de los siguientes aspectos:

- Retiro de los materiales que taponan el sistema
- Carga (cantidad, calidad y frecuencia)

- Procesamiento (adición de Cal para el secado)
- Tiempo de retención
- Extracción, tratamiento adicional o disposición final de los productos finales sólidos
- Almacenamiento y venta de los productos finales.

11.5.2.2 Procedimientos de mantenimiento

Existen dos tipos principales de actividades de mantenimiento: el preventivo y el reactivo. Los programas bien planificados de mantenimiento preventivo suelen evadir las intervenciones reactivas, quedando solo las situaciones de emergencia, que en muchos casos son más costosas y complejas. Los colapsos de componentes pueden producir el fracaso de todo el sistema.

Las tareas frecuentes de mantenimiento incluyen:

- Control de corrosión (raspar el óxido, pintar las superficies metálicas).
- Extracción de los lodos y sólidos gruesos de los contenedores y ductos.
- Cambiar los acoples, abrir y cerrar la válvula (es decir, ubicar y mantenerlas totalmente funcionales).
- Lubricar los equipos mecánicos, como bombas y transportes.
- Realizar el aseo, incluyendo la recolección de basura.

11.5.2.3 Seguridad del sistema

El sistema de extracción y tratamiento de LF es una infraestructura crítica y, por lo tanto, se deben impedir la manipulación de extraños y de niños como también el vandalismo.

11.5.2.4 Salud y seguridad

Existen muchos peligros para la salud y seguridad asociados con las tareas de Operación y Mantenimiento de un sistema de extracción y tratamiento de LF. Por

eso, los aspectos de Salud y Seguridad deben constituir una parte integral del plan de OyM.

En el Plan de salud y seguridad describen los procedimientos, prácticas y equipos que debe utilizar el personal a fin de realizar sus actividades de una manera segura. Los siguientes temas deben incluirse en los planes de salud y seguridad:

- Equipos de protección personal (EPP) y medidas de seguridad para las actividades de OyM.
- Control de infección y medidas de higiene.
- Procedimientos de contactos en emergencias.

12 CONCLUSIONES

El ciclo del saneamiento de LF es un proceso biológico presentado normalmente en la naturaleza, se puede observar en los animales y hasta en las plantas. Todo desecho orgánico vuelve al proceso de descomposición hasta cadenas de átomos y de nuevo comienza su reestructuración. Con esto se quiere decir que es un proceso del cual ya no se es consciente en la vida diaria, desechar de manera indiferente este tipo de materiales, combinados con otros de origen inorgánico, puede causar daño a la naturaleza y a la propia salud.

Para activar un proceso natural consiente, se debe conocer cada una de sus etapas y sus implicaciones. Por esto es indispensable una educación tanto al interior de la familia como en instituciones educativas. Los lugares apartados en donde no se tiene este tipo de conocimiento sobre este tema son los que sufren diariamente por que enfrentan el problema cara a cara, resolviéndolo a su propio criterio. Diferente a lo que pasa en las ciudades, donde no se tiene conciencia de ello, pero si el conocimiento. Esto responde a que los problemas sanitarios urbanos están resueltos en un gran porcentaje.

Los problemas procedimentales en cuanto al manejo de residuos sólidos en general, se pueden atacar en primera instancia, con la educación y con la tecnificación que responde a un mejor y rápido proceso para el beneficio de las comunidades.

El producto que resulta de los sistemas de saneamiento básico, por su origen orgánico, puede afectar a la humanidad si no se hace un correcto manejo de estos. Por ello es indispensable tener un plan bien definido para atender este tipo de casos. Se trata entonces de un plan procedimental y operativo, un protocolo que debe llevarse a cabo paso por paso. Para ejecutar este tipo de protocolos es necesario el uso de herramientas especializadas, que bien, pueden estar fabricadas o se tengan que diseñar para la necesidad en concreto.

Resuelto esto, se tiene que dar un manejo adecuado a este tipo de materiales y de forma especial dependiendo al caso. Para esto, existen cantidad de métodos

que pueden adaptarse a la necesidad específica, facilitando el avance procedimental para un mejor manejo. Pero resulta que este tipo de variaciones, muchas veces experimentales, pueden complicar más el problema y resultan ser mucho más costosos. Ejemplo de ello son las plantas de tratamiento de aguas residuales sin funcionamiento ni responsables, como ocurre en la vereda de Cascajal.

Resolver problemas de saneamiento en sectores vulnerables implica un acercamiento de tal forma que se conozca todos los factores implícitos en él. Los métodos alternativos desarrollados para un caso específico a una escala pequeña, pueden llegar a responder de manera efectiva y puntual.

La materia orgánica biodegradable en los LF varía mucho según la fuente, pero, en general, debe estabilizarse antes de su uso o disposición final. La estabilización consiste en la degradación del material que se descompone fácilmente, dejando al final materia orgánica menos degradable y más estable. Esto es importante para disminuir los olores, generar características más estables y predecibles, reducir la demanda de oxígeno y permitir un fácil almacenamiento o manipuleo.

La generación de mecanismos que permitan maximizar el potencial de aprovechamiento de forma organizada y sostenible, garantiza la generación de empleo y cambios sociales de importancia en la comunidad

Los gobiernos municipales y las entidades públicas que son responsables por la protección de la salud pública, el medio ambiente y los usuarios, deben conformar el modelo del desarrollo para el planteamiento de un negocio que sea efectivo. Entre los habitantes y las entidades administrativas deben formar una cooperación y competencia, en la cual sea posible el surgimiento de microempresas, para cumplir con los requerimientos y necesidades de la comunidad de este sector rural de la ciudad de Cali.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuja, R.E. (2012). Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones del medio rural. Prototipos para poblaciones de 1000, 2000 y 3000 habitantes. Evaluación del impacto ambiental [en internet]. Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, Facultad de Ciencias de la Vida. Consultado el 16 de enero de 2016 de: <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4158/1/UPS-ST000950.pdf>
- Arango, G. A (2007). Biosistema integral de tratamiento de aguas residuales domésticas. Diseño, construcción y evaluación. [Tesis Maestría en Intranet]. Universidad de Manizales, maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente, Manizales, Colombia. Consultado el 8 de octubre de 2015 de: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/1054/1/Arango_Gartner_Angela_Maria_2007.pdf
- Ballesteros, M., Mejía-Betancourt, A. V. & Real. C. (2015). El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina. [En internet]. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). Consultado el 1 de noviembre de 2015 de: http://www.scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/798/EI%20Futuro%20de%20los%20Servicios%20de%20AyS%20en%20AL%20%28Documento%20para%20Discusi%C3%B3n%29_Actualizada.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Caicedo, G. N., & Cruz, P. (2012). Implementación del programa de sanitarios ecológicos como estrategia para disminuir enfermedades en el corregimiento de Caimalito del municipio de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales [en internet]. Consultado el 14 de enero de 2016 de: <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3082/1/628742C133.pdf>

- Castro, R & Pérez, R. (2009). Saneamiento rural y salud: guía para acciones a nivel local. Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Panamericana de la Salud (OPS). Consultado el 1 de noviembre de 2015 de: <http://www.ops.org.bo/textocompleto/isa30732.pdf>
- Celis, Z. L. (2013). Análisis de la Política Pública de Agua Potable y Saneamiento Básico para el Sector Rural en Colombia - Período de Gobierno 2010-2014. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales, Maestría en Política Social. Consultado el 4 de noviembre de 2015 de: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/15314/1/CelisZapataLilianaPatricia2013.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Gerencia de Cuencas Transfronterizas de la Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Consultado el 4 de noviembre de 2015 de: <ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Saneamiento%20rural.pdf>
- Delgado-Rodríguez, C. (2008). Representaciones sociales de higiene y disposición de excretas, el caso de la introducción de sanitarios ecológicos secos en Quibdó y Tumaco. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo* [en internet]; 1 (2): 248- 279 Consultado el 2 de noviembre de 2015 de: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/5492/4314>
- Diocaretz, M. & Gladys Vidal G. (2010) Aspectos técnicos y económicos de procesos de higienización de lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas. *Revista Theoria*, 19 (1): 51-60. Consultado el 16 de enero de 2016 de: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RT/article/view/1269/1220>
- Echeverry, R. G. (1998). Aspectos Teóricos sobre el Fenómeno de Contaminación de Aguas Subterráneas. *Revista Universidad EAFIT* [en internet]; 34 (111): 62-73. Consultado el 2 de noviembre de 2015 de:

<http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1105/997>

- Erazo, C. M; Jiménez, R. M; y López, M. C. (2014). Empoderamiento y liderazgo femenino; su papel en la autogestión comunitaria en el corregimiento El Hormiguero - Valle del Cauca. *Avances en Psicología Latinoamericana*; 32(1): 149-157. Consultado el 19 de octubre de 2015 de: <http://www.scielo.org.co/pdf/apl/v32n1/v32n1a11>
- Fernández, C. A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Revista Química Viva*; [en internet]; 11 (3): 147-170. Consultado el 3 de noviembre de 2015 de: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v11n3/fernandez.pdf>
- Ferro, E. A. (2012). Evaluación de sostenibilidad del sistema de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Felidia zona rural del municipio de Santiago de Cali [en internet]. Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente. Consultado el 29 de octubre de 2015 de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7674/1/3750-0446267.pdf>
- Flores, E. et al (2012). Calidad amebológica del agua de pozos utilizados para suministro de agua potable en el Estado de Hidalgo. *Revista Ingeniería*; 16 (3): 219-228. Consultado el 2 de noviembre de 2015 de: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen16/calidad.pdf>
- Florez, F. R, (2014). Análisis del problema del agua potable y saneamiento: ciudad de puno. *Revista Investigación Altoandina*; 16 (1): 5-8. Consultado el 2 de noviembre de 2015 de: <http://huaisapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/28/23>
- García-Ubaque, C. A; Vaca-Bohórquez, M. L (2014). Sanitario seco: una alternativa para el saneamiento básico en zonas rurales [en internet]. *Revista Salud Pública*; 16 (4): 629-638. Consultado el 5 de octubre de 2015 de: <http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v16n4/v16n4a14.pdf>
- Garzón-Zúñiga, M., Buelna, G. & Moeller-Chávez, G. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual

- en pequeñas comunidades e industrias. Consultado el 3 de noviembre de 2015 de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n3/v3n3a11.pdf>
- González, E. T. (2013). Evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable y disposición de excretas de la población del corregimiento de Monterrey, municipio de Simití, departamento de Bolívar, proponiendo soluciones integrales al mejoramiento de los sistemas y la salud de la comunidad. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Consultado el 2 de noviembre de 2015 de: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/12488/1/GonzalezScancelliTerry2013.pdf>
- González, M. J., Mejía, R. R. & Molina, P. F. (2012). Diseño conceptual de una estación experimental de tratamiento de aguas residuales domésticas orientada a municipios con población menor a 30.000 habitantes. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* [en internet]; 11 (21): 87-100. Consultado el 29 de octubre de 2015 de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v11n21/v11n21a08.pdf>
- Holguín, C. E. et al (2014). Lodos residuales: métodos de tratamiento, estabilización y aprovechamiento. *Revista VIDSUPRA*, 6 (2): 61-66. Consultado el 16 de enero de 2016 de: http://www.ciirdurango.ipn.mx/REVISTA_VIDSUPRA/Documents/PDF_IMP_RESA_V6_NO2.pdf#page=17
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/39350/2/9243542486_es_part2.pdf
- Mara, D. & Cairncross, S. (1990), Capítulo 5. Aspectos Socioculturales, parte de: Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura [en internet]. Organización Mundial de la Salud, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Consultado el 30 de enero de 2016 de:
- Marín, J. & Marín, R. (2014). Aproximación a la gestión del riesgo en los acueductos rurales del municipio de Santa Rosa de Osos, Antioquia, Colombia. *Revista Cuaderno Activa* [en internet]; 6 (1): 23-131. Consultado el

28 de octubre de 2015 de:

<http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/221/210>

Martínez, S. F. (2014). Determinación de Coliformes fecales y totales en el agua de consumo humano y su relación con enfermedades diarreicas agudas investigados en la escuela Nicolás Martínez de la parroquia san Bartolomé de Pinillo en el período marzo-agosto 2013. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias de la Salud. Consultado el 23 de noviembre de 2015 de:

<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7664/1/Franklin%20Esteban%20Martinez%20Saltos.pdf>

Megchún, G. J. (2013). Contaminación del agua subterránea y superficial por Coliformes en el agroecosistema con caña de azúcar. Colegio de Posgrados, Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Consultado el 23 de noviembre de 2015 de:

http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/2340/Megchun_Garcia_JV_MC_Agroecosistemas_Tropicales_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Melo, M. (2013). El derecho humano al agua y la gestión comunitaria de los servicios de saneamiento rural en el nuevo constitucionalismo democrático latinoamericano. *Revista Fortaleza* [en internet]; 35 (2): 15-32. Consultado el 30 de octubre de 2015 de:

<http://www.revistadireito.ufc.br/index.php/revdir/article/view/305/249>

Montes, A. K. (2013). Análisis de la contribución de los sanitarios secos al saneamiento básico rural. Caso: vereda Chorrillos Revista Punto de vista [en internet] 4 (7): 133-148. Consultado el 29 de octubre de 2015 de:

<http://journal.poligran.edu.co/index.php/puntodevista/article/view/450/420>

Mora-Bueno, D. et al (2012). Presencia de arsénico y Coliformes en agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en internet]; 28 (2): 127-135. Consultado el 2 de noviembre de 2015 de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n2/v28n2a3.pdf>

- Morales, G., López, D., Vera, I. & Vidal, G. (2013). Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materias orgánicas y nutrientes contenidos en aguas servidas. Revista THEORIA [en internet]; 22 (1): 33-46. Consultado el 4 de noviembre de 2015 de: [http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/194/v/v22-1/vidal_theo22\(1\)-2013.pdf](http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/194/v/v22-1/vidal_theo22(1)-2013.pdf)
- Morato, J. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación [en internet]; 3 (1): 19-29. Consultado el 2 de noviembre de 2015 de: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/426/1/v3n1_p19-29TECNOLOGIAS%20SOSTENIBLES%5b1%5d....pdf
- Navigaba, C., Mbéguéré, M. y Strande, S. (2012). Cuantificación y Caracterización de Lodos Fecales y Objetivos del Tratamiento. Publicaciones de la IWA (International Water Association). Consultado el 21 de octubre de 2016 de: http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/FSM_Libro_high_res/manejo_fsm_cap2.pdf
- Organización Panamericana de la Salud OPS (2005). Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Consultado el 27 de enero de 2016 de: http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf
- Organización Panamericana de la Salud OPS (2005). Operación y mantenimiento para letrina con arrastre hidráulico y letrina de pozo anegado. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Consultado el 26 de enero de 2016 de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/sanea/150esp-O&M-letrinashumedas.pdf>
- Padrón, C. A., & Cantú M. C. (2009). El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables. Revista CULCyT; 31 (6): 15-31: Consultado el 19 de

noviembre de 2015 de:

<http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/341/323>

Pérez, F.J; Espinach, O.X; Verdaguer, P.N; Treserras, P.J. Metodología del diseño, historia y nuevas tendencias. VI Congreso Internacional de Proyectos de Ingeniería, 2002 Barcelona, España. Consultado el 18 de octubre de 2016 de: http://www.aepro.com/files/congresos/2002barcelona/ciip02_0386_0394.1915.pdf

Polanía, J. A. (2014). Comparación de dos tipos de estrategias para el control de la contaminación por aguas residuales en la cuenca alta del Río Cauca. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Consultado el 10 de octubre de 2015 de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/7726>

Ramírez, J. J; Pardo, R; Acosta, O; Uribe, L (2015). Bienes y servicios públicos sociales en la zona rural de Colombia, Brechas y políticas públicas. [Documento en internet]. Naciones Unidas, CEPAL, Oficina Bogotá. Consultado el 10 de octubre de 2015 de: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38948/S1500725_es.pdf?sequence=1

Rodríguez, R. G. (2013). Identificación y evaluación de los impactos ambientales en el uso de tecnologías de saneamiento convencional y ecológico (baño seco), dentro del Parque Nacional Huascarán-Huaraz-Ancash [en internet]. Universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión, Facultad de Ingeniería Agraria, industrias Alimentarias y Ambiental. Consultado el 28 de octubre de 2015 de:

http://190.116.38.24:8090/xmlui/bitstream/handle/123456789/332/MONOGR_AFIA-IDENTIFICACI%C3%93N%20Y%20EVALUACI%C3%93N%20DE%20LOS%20IMPACTOS%20OK.pdf?sequence=1

Salazar, B. D. (2004). Guía para manejo de excretas y aguas residuales municipales. Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

- (USAID), Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA) Consultado el 28 de octubre de 2015 de: http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/085_guia_aguas_residuales/guia_aguas_residuales%20PROARCA%202004.pdf
- Samboni, N. E., Reyes, T. A. & Carvajal, E. Y. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Revista Ingeniería y Competitividad* [en internet]; 13 (2): 49-60. Consultado el 2 de noviembre de 2015 de: <http://ingenieria.univalle.edu.co/revistaingenieria/index.php/inymce/article/viewFile/204/199>
- Smits, S., Tamayo, S., Ibarra, V., Rojas, J., Benavidez, A. & Bey, V. (2012). Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia [en internet]. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), CINARA, Universidad del Valle. Consultado el 2 de noviembre de 2015 de: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/3137/Gobernanza%20y%20sostenibilidad%20de%20los%20sistemas%20de%20agua%20potable%20y%20saneamiento%20rurales%20en%20Colombia.pdf?sequence=1>
- Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (2014). Manejo de lodos fecales: un enfoque sistémico para su implementación y operación. Publicaciones de la International Water Association IWA. Consultado el 25 de enero de 2016 de: http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/FSM_Libro_low_res/Lodos_fecales-Capitulo_0_Tabla_de_contenidos_.pdf
- Tilley, E. et al (2011). Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. EAWAG, Alianza por el Agua y la Cooperación Suiza en América Central. Consultado el 16 de noviembre de 2015 de: http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/esp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf
- Tordecilla, E. C. & Frontuso C. M. (2014). Saneamiento alternativo sostenible para la población costera de Manzanillo del mar en Cartagena de Indias. *Revista*

- semestral de investigación de la Corporación Internacional para el Desarrollo Educativo-CIDE* [en internet]; 14 (1): 62-68. Consultado el 27 de octubre de 2015 de: <http://www.cide.edu.co/ojs/index.php/silogismo/article/view/170/126>
- USAID (2013). Medidas para abordar el impacto del Cambio Climático en la Infraestructura: preparándose para el cambio. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, International Resources Group. Consultado el 21 de noviembre de 2015 de: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00JPRW.pdf
- Useche, M. C. (2012). Agua y saneamiento rural Oportunidades para la participación comunitaria en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Sector de Conocimiento y Aprendizaje. Consultado el 30 de octubre de 2015 de: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5393/int20.PDF?sequence=1>
- Vence, M. L. et al (2012). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* [en internet]; 3 (2): 27-34. Consultado el 30 de octubre de 2015 de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/revista1/index.php/riaa/article/view/953/948>
- Yáñez, S. V. Manual de saneamiento básico. Personal técnico profesional [en internet]. Gobierno Federal de la República Mexicana, Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Consultado el 4 de febrero de 2016 de: <http://salud.edomexico.gob.mx/html/descarga.php?archivo=REGULACION/MANUALES/MANUAL%20DE%20SANEAMIENTO%20BASICO.PDF>
- Wilchez, E. J., Morales, S.W., Villamizar, F. O. & Castellanos, A. C. (2013). Alternativa para la potabilización del agua en zonas rurales. *Revista Ambiental, Aire Agua y Suelo* [en internet]; 4 (2): Consultado el 30 de octubre de 2015 de: http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/430/43