



**SELECCIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE SANEAMIENTO PARA LA
PARCELACIÓN ANDALUCÍA DEL MUNICIPIO DE CALI**

MARIA DEL MAR LASSO CORTES

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniería Sanitaria y Ambiental

**INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA RECURSOS NATURALES Y DEL
AMBIENTE
SANTIAGO DE CALI, 2024**

**SELECCIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE SANEAMIENTO PARA LA
PARCELACIÓN ANDALUCÍA DEL MUNICIPIO DE CALI**

MARIA DEL MAR LASSO CORTES

Directores

INÉS RESTREPO TARQUINO, PhD (Directora)

CARLOS ARTURO MADERA PARRA, PhD (Codirector)

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA RECURSOS NATURALES Y DEL

AMBIENTE

SANTIAGO DE CALI

2024

RESUMEN

Este trabajo de grado aborda la selección de una tecnología de saneamiento adecuada para la parcelación Andalucía, con un enfoque en los sistemas de alcantarillado. El objetivo principal fue identificar la tecnología de saneamiento que mejor se adapta a las necesidades y condiciones de la comunidad, considerando tanto factores técnicos como socioeconómicos.

Para lograr este objetivo, se empleó una metodología basada en la aplicación de encuestas a los residentes de la comunidad, lo que permitió recoger datos sobre sus necesidades, preferencias y disposición a pagar por los servicios de saneamiento. Además, se utilizaron matrices de comparación y evaluación por el método AHP desarrollado por Saaty (1980), que tiene como objetivo la resolución de problemas de criterios múltiples, en este caso se analizaron diferentes opciones tecnológicas, incluyendo el alcantarillado convencional, simplificado y condominal.

Esta herramienta permitió desglosar el problema en un modelo jerárquico, asignar pesos a los criterios evaluados y realizar una comparación multicriterio entre las opciones tecnológicas disponibles. Los resultados obtenidos mediante el AHP proporcionaron una base sólida para la selección final de la tecnología más adecuada para la comunidad, teniendo en cuenta tanto criterios técnicos como económicos, sociales y ambientales.

Los resultados destacan el sistema de alcantarillado condominal como la opción más equilibrada y viable, combinando costos relativamente bajos, alta aceptabilidad por parte de la comunidad, y una buena adaptabilidad a las características geográficas y económicas de la comunidad estudiada.

Palabras clave: Alcantarillado, análisis multicriterio, comunidad, proceso de análisis jerárquico (AHP), saneamiento, selección de tecnología.

ABSTRACT

This thesis addresses the selection of an appropriate sanitation technology for the Andalucía subdivision, with a focus on sewer systems. The primary objective was to identify the sanitation technology that best suits the community's needs and conditions, considering both technical and socioeconomic factors.

To achieve this goal, a methodology based on surveys conducted among the community's residents was employed. This allowed for the collection of data on their needs, preferences, and willingness to pay for sanitation services. Additionally, comparison and evaluation matrices using the AHP method developed by Saaty in 1980 were utilized, aimed at solving multi-criteria problems. In this case, various technological options were analyzed, including conventional, simplified, and condominium sewer systems.

This tool allowed the problem to be broken down into a hierarchical model, assign weights to the evaluated criteria, and perform a multicriteria comparison between the available technological options. The results obtained through AHP provided a solid foundation for the final selection of the most suitable technology for the community, taking into account technical, economic, social, and environmental criteria.

The results highlight the condominium sewer system as the most balanced and viable option, combining relatively low costs, high community acceptability, and good adaptability to the geographic and economic characteristics of the studied community.

Key words: Community, hierarchical analysis process (AHP), multi-criteria analysis, sanitation, sewerage, technology selection.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por todas las bendiciones que me ha otorgado a lo largo de mi vida y por llegar a donde estoy.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación tanto académica como de la vida. Por su amor y apoyo incondicional mantenido a través del tiempo.

A mi hermano y a su esposa, por confiar y creer en mí en todo momento.

A mi abuela, por ser fuente de sabiduría y amor. Por sus consejos y palabras de aliento que me motivaron a seguir adelante.

A la profesora Inés Restrepo, por depositar en mí su confianza y guiarme en este camino. Por haberme ofrecido su acompañamiento y apoyo constante a lo largo del proyecto.

Al profesor Carlos Madera, por su orientación, el seguimiento y la supervisión continúa, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido.

Por último, a mis compañeros y amigos que fueron parte de este camino y gran apoyo.

A todos ustedes, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3	JUSTIFICACIÓN	3
4	ANTECEDENTES	4
5	SITIO DE ESTUDIO	6
6	ESTADO DEL ARTE	8
6.1	Sistemas de alcantarillado	8
6.1.1	Sistemas de alcantarillados convencionales	8
6.1.2	Sistemas de alcantarillados no convencionales	9
7	OBJETIVOS	13
7.1	OBJETIVO GENERAL	13
7.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
8	METODOLOGÍA	13
8.1	Objetivo 1. Identificar las características socioeconómicas de la población del asentamiento	13
8.1.1	Encuesta	14
8.2	Objetivo 2. Seleccionar participativamente tecnologías posibles en la parcelación.	16

8.2.1	Preselección	17
8.2.2	Selección de alternativa	17
9	RESULTADOS	22
9.1	Identificar las características socioeconómicas de la población del asentamiento	22
9.2	Seleccionar participativamente tecnologías posibles en la parcelación	27
9.2.1	Matriz comparativa de tecnologías de alcantarillado	27
9.2.2	Selección de alternativa	28
10	CONCLUSIONES	34
11	RECOMENDACIONES	35
12	REFERENCIAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Plano de la Parcelación Andalucía	7
Figura 2	Ubicación de la Parcelación Andalucía	7
Figura 3	Tipos de Alcantarillados en Colombia	10
Figura 4	Alcantarillados convencionales (izquierda) vs alcantarillados simplificados (derecha)	11
Figura 5	Calculadora para el tamaño de muestra	14
Figura 6	Sistema de jerarquización para la selección de alternativas de saneamiento.	18

Figura 7 Tamaño de muestra	22
Figura 8 Número de personas de residen en cada vivienda	23
Figura 9 Ingresos mensuales por vivienda	24
Figura 10 Forma de abastecimiento de agua de las viviendas	25
Figura 11 Forma actual de eliminación de excretas y agua residual	25
Figura 12 Deseo de seguir conservando el sistema actual	26
Figura 13 Disposición a pagar una tarifa mensual por servicio de alcantarillado	26
Figura 14 Modelo de decisión de jerarquización para la selección de sistema de saneamiento.	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Objetivo 1, sus actividades y productos	14
Tabla 2 Encuesta formulada para los habitantes de la parcelación Andalucía	15
Tabla 3 Objetivo 2, sus actividades y productos	16
Tabla 4 Criterios e indicadores	18
Tabla 5 Criterios e indicadores	19
Tabla 6 Matriz de Comparaciones pareadas	20
Tabla 7 Índice aleatorio	21
Tabla 8 Matriz comparativa de tecnologías de alcantarillado	27
Tabla 9 Matriz Criterios	29
Tabla 10 Matriz Pesos de Criterios	30
Tabla 11 Consistencia de Criterios	30
Tabla 12 Matriz criterio social	31

Tabla 13 Matriz peso criterio social	31
Tabla 14 Matriz criterio técnico	32
Tabla 15 Matriz peso criterio técnico	32
Tabla 16 Matriz criterio económico	32
Tabla 17 Matriz peso criterio económico	33
Tabla 18 Matriz criterio ambiental	33
Tabla 19 Matriz peso criterio ambiental	33

1 INTRODUCCIÓN

“El saneamiento es un derecho humano. Todas las personas tienen derecho a gozar de servicios de saneamiento que garanticen la privacidad, la dignidad y la seguridad, y sean físicamente accesibles y asequibles. El saneamiento es también un bien público que reporta beneficios a toda la sociedad al mejorar la salud y promover el desarrollo económico y social. La falta de un saneamiento seguro provoca enfermedades y dolencias que afectan de manera desproporcionada a los niños, como la diarrea, las infecciones parasitarias y el retraso del crecimiento. No obstante, el saneamiento deficiente afecta a todos, y un entorno contaminado tiene repercusiones en toda la comunidad, independientemente de que un hogar determinado tenga o no una instalación de saneamiento.” (Unicef, 2020). De lo anterior, nace la importancia de seleccionar adecuadamente opciones sostenibles para el mejoramiento de las condiciones de vida y garantizar que las aguas residuales se manejen de manera segura y efectiva, sin causar daño al medio ambiente o a la salud pública.

El propósito de este trabajo fue realizar una selección de una tecnología de saneamiento para la parcelación Andalucía ubicada al sur de la ciudad de Cali, perteneciente al corregimiento del Hormiguero. Para ello se realizó un diagnóstico inicial de las características socioeconómicas de la población con la participación de la comunidad, posteriormente se desarrolló una metodología que permitió identificar la tecnología más apropiada de saneamiento para la parcelación. Se empleó la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), desarrollada por Saaty, la cual permite descomponer el problema en una estructura jerárquica y asignar pesos relativos a cada criterio involucrado. Esta metodología facilitó una evaluación multicriterio que condujo a la selección de la alternativa tecnológica más apropiada para las necesidades y condiciones de la comunidad. Se espera que este trabajo sirva como guía para futuros proyectos de saneamiento en comunidades similares.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La parcelación Andalucía presenta deficiencias en sus sistemas de saneamiento básico que afectan directamente a la salud y calidad de vida de sus habitantes. Esta situación se traduce en riesgos sanitarios por contaminación de fuentes de agua, propagación de enfermedades diarreicas y, además, los malos olores y el vertimiento de agua no tratadas generan un impacto ambiental negativo en la zona. Dada esta problemática, es necesario realizar la selección de tecnologías de saneamiento apropiadas a las condiciones socioeconómicas de los habitantes y la geografía del terreno de esta parcelación. Sin embargo, no se cuenta con una metodología técnica establecidas que permita identificar las mejores alternativas tecnológicas para el contexto específico. Por lo tanto, este trabajo busca desarrollar una metodología integral que permita analizar de manera sistemática la selección de tecnología de saneamiento que sea viable y sostenible para la parcelación Andalucía, mejorando las condiciones de vida de sus pobladores.

Desde la concepción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el año 2015, los países están en búsqueda de mejorar la calidad de vida de la población. Para lograr lo anterior, se han priorizado una serie de necesidades humanas, dentro de las cuales se destacan las relacionadas con agua y saneamiento. Por esta razón, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, busca brindar a las comunidades sistemas de saneamiento básico. Sin embargo, según el Banco Mundial (2021), 3.600 millones de personas no tienen acceso a los servicios básicos. Además de esto, los datos revelaron que las dos terceras partes de las personas que no tenían acceso a saneamiento vivían en zonas rurales. Debido a esto, se demostró que el mundo no cumplió la meta planteada en materia de saneamiento dado que resultaron excluidas alrededor de 700 millones de personas (Lampoglia *et al.*, 2008).

La ampliación de la cobertura de los sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales y disposición sanitaria excretas del medio rural en los países de la región, mediante la construcción de sistemas sostenibles, es uno de los grandes retos que enfrentan los gobiernos en general y los técnicos en

especial. Debido a lo antes mencionado, se determinó que es necesario que las poblaciones cuenten con soluciones de saneamiento adecuadas a sus diferentes contextos.

La cobertura rural de Colombia muestra un inquietante retraso comparado con los países de América Latina y el Caribe. En 1990, el país supera al promedio de la región en cinco puntos porcentuales, por el contrario, en 2008, el promedio de la región supera en cobertura a Colombia en siete puntos porcentuales. En la última década del siglo pasado el avance de la cobertura rural era cada año menor y, luego de un repunte en el período 2001-2005, se estancó a partir del año 2006 (Cardona, 2010).

3 JUSTIFICACIÓN

La implementación de métodos para la selección de tecnología de saneamiento permite disminuir la proporción de obras inconclusas, dado que al seleccionarse adecuadamente se consideran las características demográficas y sociales de la población. Adicionalmente, esto aporta a cumplir la meta del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 propuesto en el año 2015. Según Becerra (2021), las obras inconclusas y elefantes blancos suman 23 billones de pesos, además de esto el diagnóstico de la Contraloría mostró que el sector de agua y saneamiento básico es uno de los más afectados, si se hace una correcta elección de tecnologías de saneamiento se disminuiría esta cifra.

Uno de los criterios básicos para lograr la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento es que la opción tecnológica y el nivel de servicio estén basados en las condiciones técnicas, económicas, sociales y culturales de la comunidad a ser atendida, juntamente con la aspiración de disponer del servicio de saneamiento. Todo esto permite determinar o seleccionar el tipo de sistema o de servicio más conveniente a la comunidad. Para ello, es necesario identificar, de manera preliminar, la solución tecnológica que mejor se ajusta a las condiciones de la comunidad a ser atendida.

El análisis de la tecnología debe partir de la identificación de las soluciones existentes y la recuperación del conocimiento local sobre

saneamiento. El impacto cultural de la introducción de nueva tecnología en saneamiento es muy alto y los cambios de comportamiento asociados a nuevas tecnologías son lentos. Por esto, partiendo de lo existente, es posible una mejor adaptación y apropiación de la tecnología por parte de los usuarios. Además, el mejoramiento progresivo puede ser más eficiente si se realiza sobre la base de lo que ya existe en una comunidad. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el usuario puede percibir lo existente como atrasado y lo nuevo como progreso (Restrepo, 2000).

Debido a lo anterior, la comunidad de la parcelación Andalucía se vería beneficiada con este trabajo de grado, al asegurar que el tipo de sistema de saneamiento seleccionado sea óptimo, considerando aspectos sociales, económicos, ambientales y técnicos. Además, este trabajo sentará un precedente metodológico que podrá ser aplicado en otras zonas con condiciones similares.

4 ANTECEDENTES

La selección de tecnología de saneamiento ha evolucionado a lo largo del tiempo, en función de las necesidades de las comunidades, las limitaciones técnicas y financieras, así como los avances tecnológicos y ambientales. En la antigüedad, la disposición de residuos humanos y animales se realizaba en zonas alejadas de las poblaciones, esta práctica se hizo insostenible y se comenzaron a construir sistemas de alcantarillado y tratamiento de agua residuales. En la actualidad, la selección de tecnologías de saneamiento se basa en criterios como la disponibilidad de recursos hídricos, la densidad poblacional, el nivel de desarrollo económico y la normativa ambiental, entre otros. Además, se considera la necesidad de implementar soluciones integrales que aborden el saneamiento como un problema multidimensional, que involucra aspectos sociales, económicos, ambientales y de salud pública.

Los estudios que se han realizado sobre agua y saneamiento a lo largo del tiempo han sido amplios, igualmente el estudio de las metodologías o técnicas de selección de tecnologías sostenibles para comunidades urbanas y rurales, en estas últimas, al ser comunidades más pequeñas y dispersas tienden a tener

complicaciones de tipo técnico y de tipo social debido a que en muchas ocasiones no se hace un trabajo mancomunadamente con la comunidad y por ende no se hace la correcta selección de tecnología que se adapte verdaderamente a las necesidades de la misma.

Actualmente, existen diferentes metodologías, que fusionan la sostenibilidad y los aspectos tales como: social, técnico, ambiental, financiero e institucional. Un ejemplo de ello es la propuesta del Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Gestión del Recurso Hídrico (CINARA) de la Universidad del Valle en conjunto con la embajada de Suiza en Colombia, en la cual proponen 6 etapas que sirven de filtro para excluir las tecnologías que no cumplen con las condiciones de sostenibilidad delimitada para poblaciones entre 500 y 30.000 habitantes (Galvis y Vargas, 2010).

Por otro lado, en Colombia, el RAS rural establece los criterios básicos y requisitos mínimos para la toma de decisión que justifican la adopción de tecnologías convencionales o no convencionales para satisfacer las necesidades básicas de agua potable y saneamiento para la zona rural de Colombia. El principal objetivo que justifica la implantación de sistemas de alcantarillado sanitario no convencional es lograr la universalización del servicio de alcantarillado al ofrecer a las poblaciones de bajos ingresos y aun a comunidades económicamente pudientes, una solución efectiva y de bajo costo para la recolección y evacuación de las aguas residuales domésticas, permitiendo mejorar la cobertura de este servicio (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

De acuerdo con Galvis et al. (2005), la selección de una tecnología para manejo de aguas residuales va acompañada de herramientas metodológicas que facilitan el proceso; por lo cual se pueden considerar múltiples aspectos o criterios como: lo técnico, ambiental, social y económico. Horan y Parr (1994), citados por Galvis et al. (2005), señalan que en la metodología de selección se encuentran distintas categorías entre ellas: documentos descriptivos, listas de chequeo, matrices de solución, algoritmos y software. Además, que se tienen

criterios de selección que son comunes como: objetivos de tratamiento, aspectos tecnológicos, costos, características del agua residual e impacto ambiental, entre otros.

En el año 1996, EMCALI intervino el sector de Altos de Menga con la instalación de un alcantarillado simplificado (RAS) en las zonas Vagón Bajo y Alto, El Mirador y Colinas. La implementación de este alcantarillado contempló aspectos relacionados con la implementación de alternativas apropiadas para la operación y mantenimiento del sistema de acuerdo con las condiciones topográficas de la localidad, las características culturales y socioeconómicas de la población y las expectativas de la comunidad en todas las fases del proceso, garantizando así la sostenibilidad de las soluciones propuestas (Moreno, 1998)

5 SITIO DE ESTUDIO

Este proyecto se realizó en la parcelación Andalucía perteneciente a la zona de expansión al sur del municipio de Cali en el departamento del Valle del Cauca, limitando al norte con la comuna 17, al sur y al occidente con Pance y al oriente con el corregimiento del hormiguero. Esta parcelación cuenta con un total de 70 predios y 54 de ellos son casas de tipo campestre, además cuenta a su alrededor con 3 instituciones las cuales son colegio PIO XII, Incolballet y la unidad de cuidados especiales Betania. Se creó hace más de 50 años en lo que eran terrenos para siembra de arroz de la fundación Valle del Lili. Originalmente, la población no tenía sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento por lo que cada familia adoptó soluciones individuales a su saber y entender. Se usa todavía el pozo excavado como solución de abastecimiento, aunque ya la parcelación tiene muy cerca el acueducto de EMCALI al cual se planean conectar. Los sistemas individuales de saneamiento son básicamente tanques sépticos con poco mantenimiento o pozos de absorción. Se estima que el agua que recogen los habitantes de los pozos excavados puede estar contaminada por el agua residual de los tanques sépticos y pozos de absorción. En las Figuras 1 y 2 se observa el plano de la parcelación Andalucía con sus vías de acceso y la ubicación en el mapa de la ciudad respectivamente.

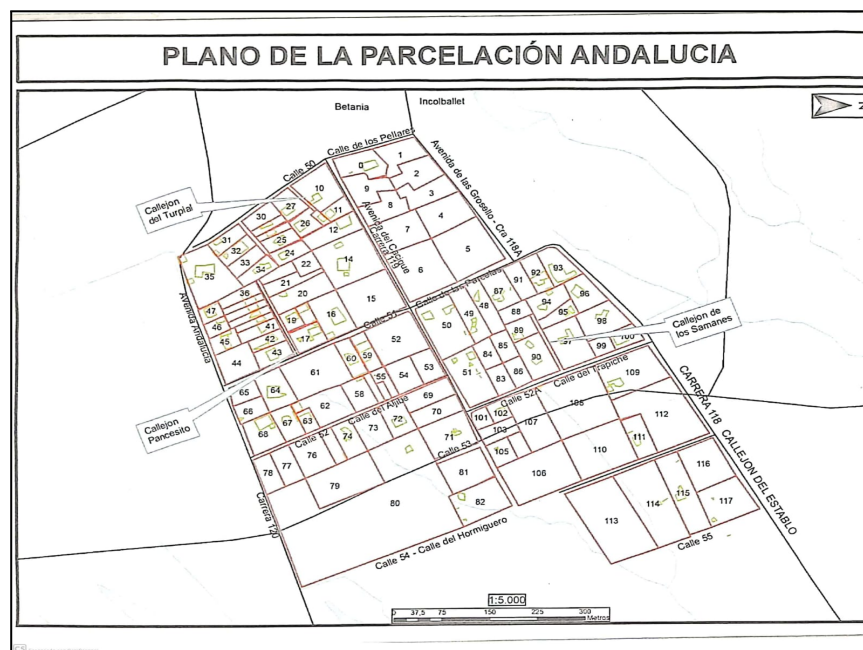


Figura 1 Plano de la Parcelación Andalucía



Figura 2 Ubicación de la Parcelación Andalucía

Fuente: Google Earth Pro. (2024)

6 ESTADO DEL ARTE

Las aguas residuales pueden tener varios orígenes entre los cuales están las aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales y aguas de lluvia. El Sistema de Alcantarillado de Aguas Residuales está constituido por el conjunto de estructuras e instalaciones destinadas a recoger, evacuar, acondicionar y descargar las aguas usadas provenientes de un sistema de suministro de agua; así que los aportes de aguas que circulan por esas tuberías están casi en su totalidad constituidos por los consumos de aguas para fines domésticos, comerciales, industriales, etc.

6.1 Sistemas de alcantarillado

Son el conjunto de estructuras y tuberías empleadas para la evacuación y el transporte de las aguas residuales y pluviales de una población, desde el lugar donde se generan hasta el sitio en el que se vierten al medio natural o al lugar donde se tratan. Estos sistemas funcionan por efecto de la gravedad. Las tuberías se conectan en ángulo descendente, desde el interior de los predios a la red pública, desde el centro de la comunidad hacia el exterior de ésta. A cada cierta distancia se perforan pozos de registro verticales para permitir el acceso a la red con fines de mantenimiento. En Colombia, en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ministerio de Vivienda, 2017), se definen tres tipos de sistemas de alcantarillado: convencional, no convencional e in situ.

6.1.1 Sistemas de alcantarillados convencionales

Los alcantarillados convencionales son los que se utilizan tradicionalmente para la recolección y el transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final. Existen dos tipos, el alcantarillado combinado y el alcantarillado separado. En el primero, tanto las aguas residuales

como las pluviales son recolectadas y transportadas por el mismo sistema, mientras que en el separado esto se hace mediante sistemas independientes, es decir, hay un alcantarillado sanitario y un alcantarillado pluvial.

Los sistemas de alcantarillado convencionales son los más usados debido a su fácil diseño y también a sus características especiales como disponibilidad de materiales en el mercado local, fácil colocación, flexibilidad de acuerdo con el área geográfica, disponibilidad en cualquier diámetro, etc., sin embargo, debido a lo costoso que resulta muchas veces la construcción de estos sistemas convencionales, el espíritu del diseño será el de proveer un sistema netamente por gravedad. Sin embargo, este sistema cuenta con muchas limitaciones: se requiere mucho tiempo para conectar todas las viviendas, no todas las partes y materiales están disponibles localmente, es difícil y costoso de expandir cuando cambia y crece la comunidad, requieren diseño por expertos y supervisión de la construcción, el efluente y los lodos (de los interceptores) requieren tratamiento secundario y/o descarga apropiada, alto costo de capital y moderado costo de operación.

6.1.2 Sistemas de alcantarillados no convencionales

Los no convencionales a su vez se clasifican en simplificados, condominales y sin arrastre de sólidos. Cada uno de estos posee diferentes características que se tienen en cuenta al momento de elegir la tecnología más adecuada para prestar el servicio de alcantarillado (Figura 3). En general, los sistemas no convencionales poseen variaciones en los diseños, que permiten, por ejemplo, el uso de menores diámetros de tuberías. Estos se pueden utilizar cuando para un municipio determinado, o alguna parte de este, los sistemas convencionales no conformen alternativas factibles desde el punto de vista socioeconómico y financiero.



Figura 3 Tipos de Alcantarillados en Colombia

Otros autores, por su parte, hacen una clasificación distinta para los tipos de alcantarillados no convencionales, puesto que los dividen entre simplificados y sin arrastre de sólidos, al llamar a los condominales y simplificados bajo el nombre de simplificados, sin hacer diferenciación. Paterson et al. (2007). Los simplificados se caracterizan por contar con reducción de diámetros, profundidades y gradientes; usan materiales localmente disponibles y la responsabilidad de mantenimiento recae en los residentes. Con respecto a los sistemas sin arrastre de sólidos, los tubos que se conectan a pequeños tanques demandan remoción periódica y no requieren altas velocidades.

6.1.2.1 Alcantarillados simplificados o condominales

Los alcantarillados simplificados o condominales tienen un enfoque descentralizado y de bajo costo para la recolección de aguas residuales. Surgen como alternativa para el diseño de sistemas de alcantarillado (también de distribución de agua potable). Fue desarrollado en Brasil durante la década de los ochenta para responder a los retos relacionados con la expansión del servicio a los barrios periurbanos. En Colombia, han venido siendo aplicados en condominios campestres con algunas variantes técnicas, pero con la misma función social y ecológica de la propiedad y los mismos principios de convivencia pacífica y solidaridad social orientadores de la Ley 675 de 2001 que

regula el Régimen de Propiedad Horizontal (Ministerio de Vivienda, 2017). De acuerdo con Mara (2012) y Melo (2005), este tipo de alcantarillado es capaz de enfrentar desafíos sociales y de ingeniería; además cuenta con un componente institucional y de educación comunitaria que permite el funcionamiento según los supuestos de diseño.

Estos alcantarillados se diferencian de los convencionales en su configuración, al redefinir la unidad física servida. Es decir, se tienen bloques de casas y se cuenta con una conexión única similar a la que existe en un edificio de apartamentos (Figura 4). Esto permite que no se requiera que la red pase por cada calle. Igualmente, la localización de tuberías se realiza en las partes más convenientes del bloque, lo que permite la adaptación de la red a condiciones locales topográficas y a diferentes modelos de urbanización. Por el hecho de ser sistemas descentralizados se evitan costos asociados al transporte del fluido por largas distancias.

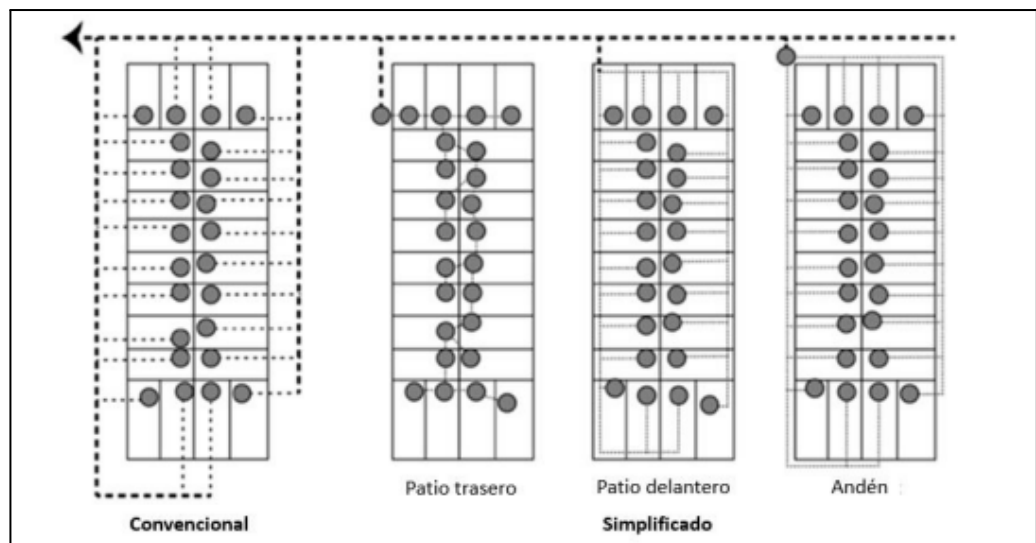


Figura 4 Alcantarillados convencionales (izquierda) vs alcantarillados simplificados (derecha)

Fuente: Mara (2012)

A lo mencionado se le suma otro aspecto diferenciador entre alcantarillados convencionales y no convencionales: la relación más cercana

entre proveedores y usuarios del servicio. Con estos alcantarillados pueden hacerse acuerdos para facilitar la expansión del servicio y la adaptación a necesidades locales y restricciones. Además, los miembros de la comunidad, que también representan una unidad social, eligen el diseño. Los usuarios adquieren compromisos de acciones complementarias como la educación sanitaria y participación directa en los procesos de construcción y mantenimiento. Debido a los aspectos antes mencionados, se presenta una considerable reducción de los costos, entre los que están los asociados al funcionamiento. Según Mara (2012), el alcantarillado simplificado llega a ser incluso más barato que el saneamiento in situ a partir de una densidad poblacional de 160 personas/ha y la curva de costos de los sistemas convencionales se mantiene por encima para cualquier densidad.

6.1.2.2 Alcantarillados sin arrastre de sólidos (ASAS)

Los alcantarillados sin arrastre de sólidos son sistemas en los que el agua residual de una o más viviendas se descarga a un tanque interceptor de sólidos, donde éstos se retienen y degradan, produciendo un efluente sin sólidos sedimentables que se transporta por gravedad en un sistema de colectores de diámetros reducidos y poco profundo.

El ASAS es una combinación de tanques interceptores de sólidos pequeños, unicamerales, uno en cada vivienda, localizados en los frentes o en el interior de los predios, donde lo escoja el usuario, que descargan a cajillas domiciliarias insertadas en redes para formar tramos cortos, instaladas generalmente a ambos lados de las vías, cerca de los paramentos de los predios, de pequeño diámetro, poca profundidad y bajas pendientes. En las viviendas que carecen de instalaciones internas el ASAS se complementa con unidades sanitarias económicas y suficientes para las necesidades básicas de higiene doméstica y personal y es de gran aceptación en comunidades de estratos bajos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Para adoptar los sistemas no convencionales se debe justificar con argumentos técnicos como primera medida, con argumentos socioeconómicos,

socioculturales, financieros, institucionales y de desarrollo urbano, como segunda medida. Estos sistemas pueden ser considerados como alternativas factibles cuando los alcantarillados convencionales no lo son desde el punto de vista socioeconómico y financiero, pero requieren mucha mayor definición y control de las contribuciones de aguas residuales dada su mayor rigidez en cuanto a posibilidades de prestación de servicio a usuarios no previstos o a variaciones en las densidades de ocupación (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

7 OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

Seleccionar una tecnología de saneamiento para la parcelación Andalucía del municipio de Cali.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características socioeconómicas de la población del asentamiento.
- Seleccionar participativamente tecnologías posibles en la parcelación.

8 METODOLOGÍA

Para lograr el desarrollo de los objetivos específicos propuestos en el presente trabajo, se planteó una metodología para cada uno de ellos dividido en dos etapas. En la primera fase, se realizó la caracterización socioeconómica de la zona de estudio con el fin de conocer las condiciones sociales, ambientales y económicas debido a que resulta vital para la selección de la tecnología más conveniente. En la segunda, se plantearon alternativas y en conjunto con la comunidad y el modelo AHP, se seleccionó la tecnología teniendo en cuenta los aspectos y criterios requeridos.

8.1 Objetivo 1. Identificar las características socioeconómicas de la población del asentamiento

En esta primera fase se realizaron actividades para la obtención de información de la comunidad en estudio para así dar cumplimiento al objetivo número 1. En la Tabla 1 se evidencian las actividades y productos relacionados con el objetivo.

Tabla 1 Objetivo 1, sus actividades y productos

N. Obj	Objetivo	Actividades	Productos
1	Identificar las características socioeconómicas de la población del asentamiento.	Obtener información por medio de encuestas sobre las condiciones socioeconómicas y las soluciones individuales de saneamiento de cada vivienda	- Solución individual de eliminación de excretas de cada vivienda. -Perspectiva de la población frente a las soluciones sobre el servicio de saneamiento.

8.1.1 Encuesta

8.1.1.1 Tamaño de la muestra

En un principio, se planeó visitar todas las viviendas de la parcelación para realizar la recolección de información. Sin embargo, al realizar la visita a la parcelación se evidenció que no todos los predios están habitados, por ello el trabajo de campo se realizó sobre una muestra representativa de viviendas determinada mediante el software Questionpro. En la Figura 5 se observa los parámetros definidos por el Software para el cálculo

Calculadora de muestra

Nivel de confianza: ?

☒ 95%
☐ 99%

Margen de Error: ?

Población: ?

Limpiar

Calcular Muestra

Tamaño de Muestra:

Figura 5 Calculadora para el tamaño de muestra

Fuente: QuestionPro (2024).

8.1.1.2 Composición de la encuesta

Se realizó una encuesta con preguntas de carácter cualitativo y cuantitativo a la comunidad de la parcelación dividida en secciones. De la primera sección con 3 preguntas, con información general como la cantidad de habitantes por vivienda, acceso a los servicios básicos y los ingresos mensuales aproximados del hogar. La segunda sección abarca información sobre la forma de abastecimiento de agua y la eliminación de aguas residuales y excretas de cada vivienda. Por último, en la tercera sección proporcionó información sobre el deseo de dar solución colectiva a la problemática y además la aceptación sobre esta misma. En la Tabla 2 se evidencia las preguntas realizadas a los encuestados.

Tabla 2 Encuesta formulada para los habitantes de la parcelación Andalucía

Preguntas	Tipo de respuesta
Sección 1	
1. ¿Cuántas personas habitan la vivienda?	Cuantitativa
1. ¿Cuáles son los ingresos mensuales aproximados del hogar?	Cuantitativa
2. ¿Tiene acceso a todos los	Cualitativa

Preguntas	Tipo de respuesta
servicios públicos?	
Sección 2	
3. ¿Cuál es la forma de abastecimiento de agua de la vivienda ?	Cualitativa
4. ¿Cual es la forma actual de eliminación de excretas y aguas residuales?	Cualitativa
Sección 3	
5. ¿Desea seguir conservando el sistema que tiene?	Cualitativa
6. ¿Desea conectar el inodoro a un alcantarillado?	Cualitativa
7. ¿Pagaría usted una tarifa mensual por el servicio de alcantarillado?	Cualitativa
8. ¿Considera usted que es importante un sistema de alcantarillado para la parcelación?	Cualitativa

8.1.1.3 Análisis de las respuestas de la encuesta

Con respecto al análisis de la información suministrada a través de la encuesta este se realizó mediante el programa de Microsoft Excel con las respuestas de la población encuestada, posteriormente se realizó un análisis estadístico y finalmente se elaboraron gráficos para mostrar el comportamiento de las respuestas.

8.2 Objetivo 2. Seleccionar participativamente tecnologías posibles en la parcelación.

En esta segunda fase se da cumplimiento al objetivo número 2 del presente proyecto (ver Tabla 3)

Tabla 3 Objetivo 2, sus actividades y productos

N. Obj	Objetivo	Actividades	Productos
2	Seleccionar participativamente tecnologías posibles en la parcelación.	-Realizar cuadro comparativo de las diferentes alternativas de alcantarillado encontrados en la revisión bibliográfica. - Seleccionar la tecnología más conveniente con la participación de la comunidad mediante el modelo AHP.	-Cuadro comparativo de las alternativas de alcantarillado. -Informe sobre la alternativa seleccionada por la comunidad.

8.2.1 Preselección

Matriz comparativa de preselección de tecnologías de alcantarillados: utilizando los datos recopilados y la revisión de literatura, se elaboró una matriz comparativa que sintetiza las ventajas y desventajas de cada sistema de alcantarillado. Este análisis se centró en factores clave como la eficiencia operativa, los costos, la sostenibilidad, el impacto ambiental y la viabilidad en diferentes contextos geográficos y demográficos.

8.2.2 Selección de alternativa

Con el objetivo de seleccionar la tecnología más apropiada para implementar en la parcelación Andalucía, se apoyó en el modelo multicriterio desarrollado por Zeng et al. (2007). Este se basa en la aplicación del proceso de jerarquía analítica, el cual permite la identificación de un orden de elegibilidad de las tecnologías de tratamiento analizadas Zambrano (2012).

En la Figura 6 se observa el sistema de jerarquización de las alternativas, el objetivo principal del modelo de decisión se encuentra en la parte superior

(Nivel 1); los criterios, los indicadores y las alternativas se encuentran en niveles inferiores (Nivel 2, 3 y 4 respectivamente)

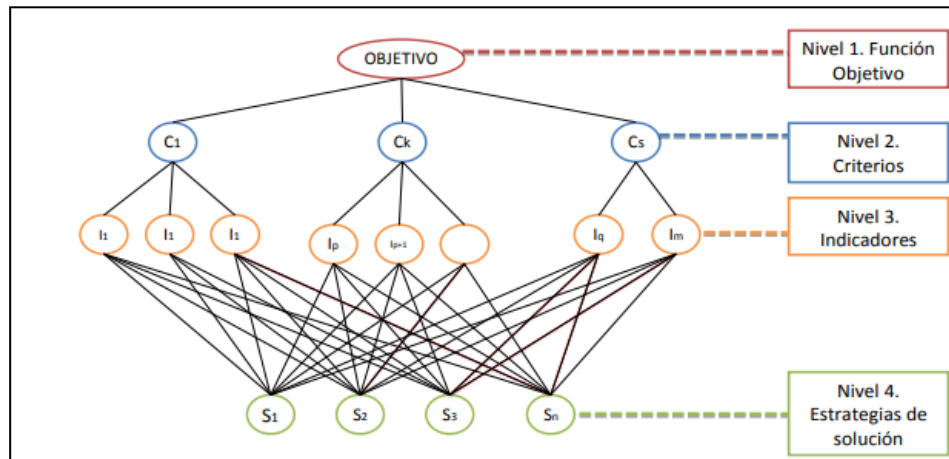


Figura 6 Sistema de jerarquización para la selección de alternativas de saneamiento.

Fuente: Zeng et al. (2007)

8.2.2.1 Definición de criterios e indicadores

Los criterios e indicadores para la selección de tecnología de alcantarillados se identificaron a partir de revisión de literatura y posteriormente se realizó una clasificación de los indicadores más apropiados para ser considerados en la parcelación Andalucía teniendo en cuenta las características propias del lugar. Los criterios utilizados son sociales, económicos, técnicos y ambientales. En la Tabla 4 se observa los indicadores para cada criterio

Tabla 4 Criterios e indicadores

Criterios	Indicadores
Social	- Aceptación de la tecnología - Adaptabilidad
Económico	- Costos de O y M - Costo de inversión inicial
Técnico	- Eficiencia y capacidad - Complejidad

Criterios	Indicadores
Ambiental	- Sostenibilidad - Área requerida

8.2.2.2 Matriz de toma de decisiones

El análisis multicriterio es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones que permite integrar diferentes criterios de acuerdo con las características y factores. La matriz se evaluará por el método AHP (The Analytic Hierarchy Process), desarrollado por Thomas L. Saaty. Es un proceso de Análisis Jerárquico diseñado para la resolución de problemas de criterios múltiples, proporciona evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios. El AHP facilita la posibilidad de incluir datos cuantitativos relativos y tiene por ventaja la inclusión de datos cualitativos (Toskano et al., 2005).

Para la presentación de la matriz de comparación AHP a los encuestados y que puedan elegir, fue importante simplificar el proceso para que sea fácil de entender y rellenar. Antes de presentar la matriz de comparación se dio una breve explicación con la siguiente información: "Estamos evaluando varias alternativas de alcantarillado (convencional, simplificado y condominial) para la comunidad. Se requiere saber su opinión sobre qué aspectos son más importantes para usted. Se compararon las diferentes opciones en función de criterios: social, ambiental, económico y técnico."

Posteriormente: "Por favor, compare los siguientes criterios en pares y marque cuál considera más importante en una escala de 1, 3 y 5. Si ambos criterios le parecen igualmente importantes, marque 1. Si uno es mucho más importante, elija un número mayor."

Las Tablas 5 y 6 muestran cómo se le presentó a los encuestados la comparación por pares de criterios y de alternativas respectivamente.

Tabla 5. Comparación por pares de criterios presentada a los encuestados

Comparación criterios	1	3	5
Social y Económico			
Social y Ambiental			
Social y Técnico			
Económico y Ambiental			
Económico y Técnico			
Ambiental y Técnico			

Tabla 6. Comparación de alternativas en función de los criterios presentada a los encuestados

Comparación alternativas en función a los criterios	1	3	5
Convencional y Condominal			
Convencional y simplificado			
Condominal y simplificado			

Por último, se calculó el promedio de las matrices de comparación individuales para así poder obtener una matriz con los datos recolectados y consolidar las opiniones que represente la perspectiva de la comunidad.

8.2.2.3 Comparaciones pareadas

Las comparaciones pareadas o la tabla de preferencias, según Saaty (1980), evalúan el nivel de preferencias entre las alternativas que sean propuestas. Se evalúa en número impares generalmente. En este caso el procedimiento consistió en encuestar las prioridades y preferencia en cuanto a la importancia de un criterio con respecto a otro. Se destaca que para la dispersión de las respuestas se utilizó solo la escala numérica 1,3, y 5.

Tabla 7 Criterios e indicadores

Escala numérica	Escala verbal de preferencia
1	igual
3	moderada
5	fuerte
7	Muy fuerte
9	Extrafuerte

Fuente: Saaty (1980)

En la Tabla 8 se presenta la matriz de comparaciones pareadas para los criterios, cabe destacar que este procedimiento se realizó con cada alternativa propuesta teniendo en cuenta cada criterio. Para definir el número de comparaciones posibles por matriz se realizó la siguiente ecuación

$$N^{\circ} \text{ de comparaciones} = \frac{n * (n - 1)}{2}$$

Ecuación 1

Donde

- n es igual al número de criterios a evaluar

Tabla 8 Matriz de Comparaciones pareadas

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

Posteriormente, se calculó la suma de cada columna, luego se realizó la matriz normalizada dividiendo cada elemento de la matriz de comparación por el valor de la suma por columnas donde se localiza, seguido a esto se calculó el vector promedio de cada fila de la matriz normalizada y se calculó el peso en porcentaje.

8.2.2.4 Análisis de consistencia

Es necesario evaluar la consistencia de la matriz, lo que se hace por medio de un indicador del juicio racional por parte de quien toma la decisión, de esta manera se decide qué nivel de inconsistencia es tolerable, este cálculo se obtuvo de la siguiente ecuación:

$$RC = IC/IA$$

Ecuación 2

Donde

RC= Razón de consistencia

IC= Índice de consistencia

IA= Índice aleatorio

Si el resultado de CR es menor o igual a 0,1 el nivel de inconsistencia es aceptable, si el resultado es mayor se debe revisar la estimación.

- **Índice de consistencia:** El índice de consistencia se calcula por medio de la ecuación 3

$$IC = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

Ecuación 3

El nmax se obtuvo multiplicando la matriz de comparación por el vector promedio y después se realizó la suma del vector calculado.

- **Índice aleatorio:** Se determinó el índice aleatorio (IA), por medio de la Tabla 9.

Tabla 9 Índice aleatorio

Nº de elementos que se comparan	1	2	3	4	5	6	7
Índice aleatorio de consistencia (IA)	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32

Fuente: Toskano Hurtado y Gérard Bruno (2005)

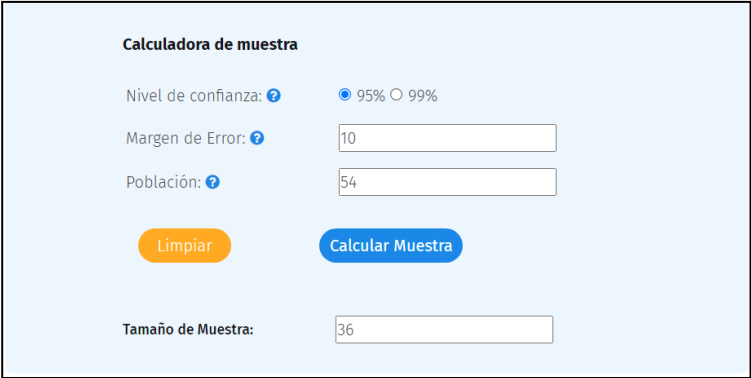
Matriz prioridad

Finalmente, después de realizar los cálculos de los vectores promedios para cada criterio, se realizó una matriz de prioridad donde se combinan con el peso de los criterios (obtenidos de la matriz de comparación de criterios) con el fin de calcular el porcentaje global de cada alternativa. Este cálculo resultó de la multiplicación de los vectores promedios de las alternativas por los pesos de los criterios.

9 RESULTADOS

9.1 Identificar las características socioeconómicas de la población del asentamiento

Para la realización de esta encuesta se implementó el software QuestionPro para conocer el tamaño de la muestra. El parámetro de nivel de confianza usado fue de 95% y el margen de error de 10%. El tamaño obtenido de la muestra fue de 36 viviendas de 54. Esta información se puede observar en la Figura 7 y la evidencia de la realización de la encuesta se aprecia en la Fotografía 1.



Calculadora de muestra

Nivel de confianza: ☒ 95% ☐ 99%

Margen de Error:

Población:

Tamaño de Muestra:

Figura 7 Tamaño de muestra

Fuente: QuestionPro (2024)

De acuerdo con los datos recolectados en la encuesta, se observó mediante la pregunta número 1, una variabilidad significativa en el número de personas que residen en cada vivienda. El análisis de las respuestas indicó que el 45% de los hogares está compuesto por 3 personas. Un 30% de las viviendas alberga a 4 personas, mientras que el 15% cuenta con 2 personas y las viviendas unipersonales constituyen el 10% restante. Los resultados asociados a esta pregunta se presentan a continuación en la Figura 8.



Fotografía 1 Evidencia fotográfica de la realización de la encuesta a la comunidad

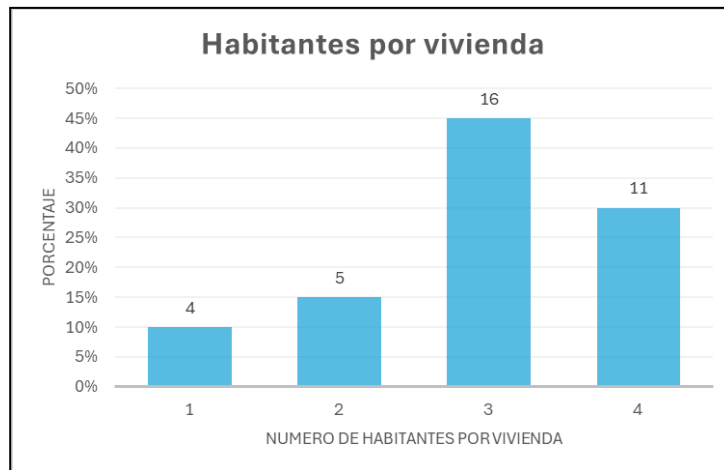


Figura 8 Número de personas de residen en cada vivienda

Por otro lado, en la Figura 9 se muestran los resultados de la segunda pregunta, donde se evidencian los ingresos en términos de salarios mínimos. El análisis de los datos mostró que el 10 % de las viviendas indicó ingresos entre 1 y 2 salarios mínimos, mientras que el 55% reportó ingresos entre 2 y 3 salarios mínimos. El 20% de las viviendas tiene ingresos entre 3 y 4 salarios mínimos, y el 15% de las viviendas reportó ingresos superiores a 4 salarios mínimos.

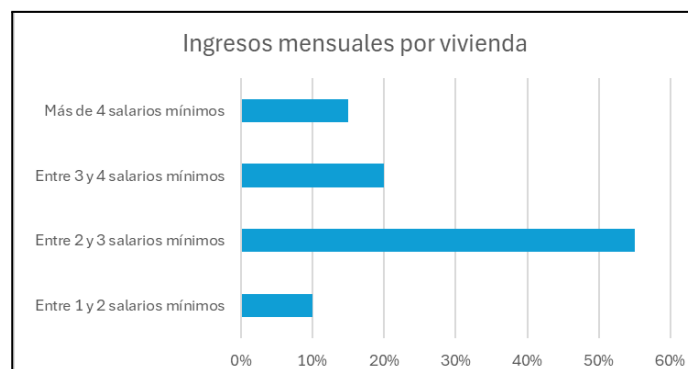


Figura 9 Ingresos mensuales por vivienda

La pregunta número 3, proporcionó información sobre el acceso a servicios públicos esenciales, incluyendo electricidad, agua potable, alcantarillado y recolección de residuos sólidos. El análisis de los datos indicó

que ninguna de las viviendas encuestadas tiene acceso a todos los servicios públicos, generalmente faltando el servicio de conexión a la red de agua potable y alcantarillado. Sin embargo, tienen acceso a electricidad y recolección de residuos sólidos.

La forma de abastecimiento usada entre los hogares encuestados de la comunidad de la parcelación Andalucía, con un 90% reportaron depender de pozos individuales para su abastecimiento de agua. Finalmente, el 10% restante de las viviendas indicó otra forma de abastecimiento, como la recolección de agua de lluvia. La Figura 10 muestra los resultados obtenidos

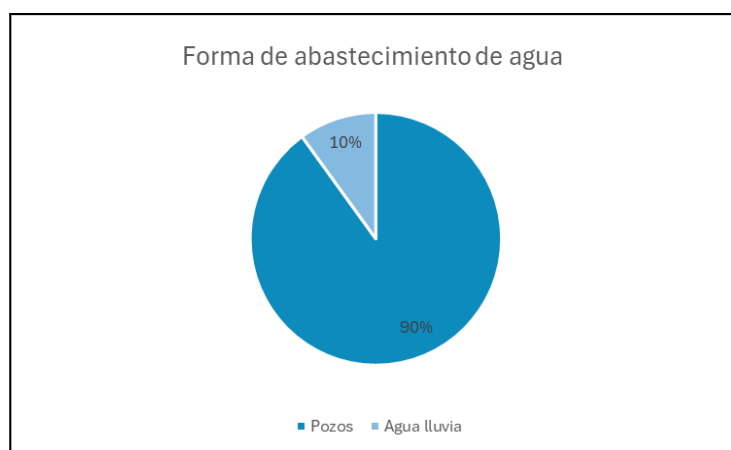


Figura 10 Forma de abastecimiento de agua de las viviendas

Se encontró también que el 70 % de las viviendas encuestadas tiene como forma de eliminación de aguas residuales y excretas el inodoro con tanque séptico de concreto o ladrillo, mientras que el 23% utiliza el inodoro con tanque séptico plástico y el 7% restante usan el inodoro con pozo de absorción. En la Figura 11 se observan los resultados

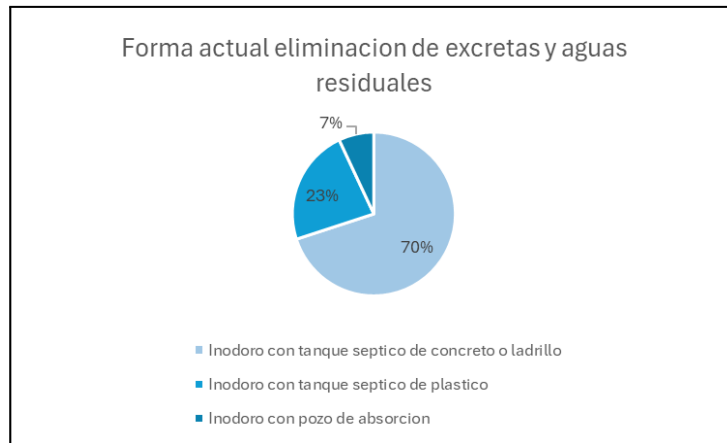


Figura 11 Forma actual de eliminación de excretas y agua residual

La encuesta incluyó una pregunta directa a los residentes sobre si desean seguir conservando el sistema actual de eliminación de excretas y aguas residuales en sus viviendas. Los resultados mostraron que el 95% negativamente, indicando su deseo de cambiar el sistema actual de eliminación de excretas y aguas residuales, por otro lado, el 5% respondieron afirmativamente expresando su deseo de mantener el sistema actual. A continuación, en la Figura 12 se pueden apreciar los resultados. La pregunta número 7 al igual que la anterior, fue directa al preguntarle a los residentes encuestados si desean conectar el inodoro al alcantarillado y el 100% respondieron afirmativamente.

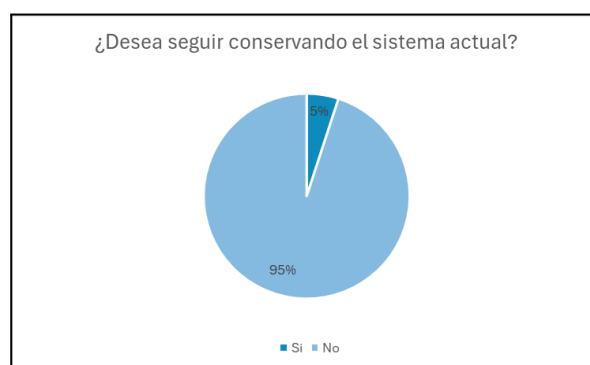


Figura 12 Deseo de seguir conservando el sistema actual

En la Figura 13 se observa el resultado de la pregunta número 8 donde se les preguntó si estarían dispuestos a pagar una tarifa mensual por el servicio de alcantarillado. Ante esto el 97% de las viviendas encuestadas estaría de acuerdo en pagar una tarifa mensual y el 3% restante no.

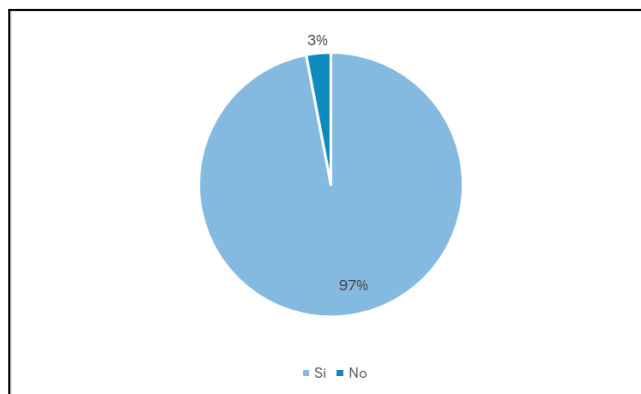


Figura 13 Disposición a pagar una tarifa mensual por servicio de alcantarillado

Por último, se les preguntó si consideraban importante tener un sistema de alcantarillado para la parcelación, a lo cual el 100% de los encuestados contestaron afirmativamente.

9.2 Seleccionar participativamente tecnologías posibles en la parcelación

9.2.1 Matriz comparativa de tecnologías de alcantarillado

Esta matriz comparativa proporciona una visión general de los principales sistemas de alcantarillado, destacando sus beneficios y limitaciones, y facilitando así la toma de decisiones (ver Tabla 10).

Tabla 10 Matriz comparativa de tecnologías de alcantarillado

Tipo de alcantarillado	Ventajas	Desventajas
Alcantarillado convencional	-Eficiente para grandes comunidades. Maneja grandes volúmenes	-Costoso de instalar y mantener. -Requiere infraestructura

Tipo de alcantarillado	Ventajas	Desventajas
	de agua -Menor riesgo de contaminación del suelo y cuerpos de agua superficial.	extensa (red de tuberías, estaciones de bombeo, etc.). -Difícil de implementar en áreas con topografía complicada.
Alcantarillado Simplificado	-Menores costos de instalación y mantenimiento en comparación con el convencional. -Adecuado para comunidades de baja y media densidad. - Requiere menor profundidad de excavación, reduciendo costos y complicaciones técnicas. -	-Capacidad limitada para manejar grandes volúmenes de agua residual. -Menor durabilidad que el alcantarillado convencional. -Necesita una gestión adecuada de los residuos sólidos para evitar obstrucciones.
Alcantarillado condominial	-Reduce significativamente los costos de construcción y mantenimiento en comparación con el alcantarillado convencional. -Flexibilidad en el diseño y adaptabilidad a la topografía local. - Menos invasivo en la fase de instalación, causando menos disturbios en la comunidad. -Mayor participación de los usuarios porque estos están involucrados en la selección, construcción y mantenimiento del sistema.	-Puede no ser adecuado para áreas con alta densidad de población o grandes volúmenes de aguas residuales. -La tubería podría sufrir roturas en zonas donde transitan vehículos porque la profundidad de esta es muy poca. -Es necesario realizar múltiples capacitaciones a la comunidad para que la educación sanitaria sea la adecuada para el funcionamiento del proyecto.

9.2.2 Selección de alternativa

En la Figura 14 se presenta el modelo de decisión, los criterios considerados en el nivel 2 son el social, económico, técnico y ambiental. Para cada criterio se definieron indicadores nivel 3 entre los que se mencionan, Adaptabilidad, aceptabilidad, costos de operación y mantenimiento, costos de inversión inicial, eficiencia y capacidad, complejidad, sostenibilidad y área requerida. Por último, en el nivel 4 se presentan las alternativas de alcantarillado a evaluar y ser comparados.

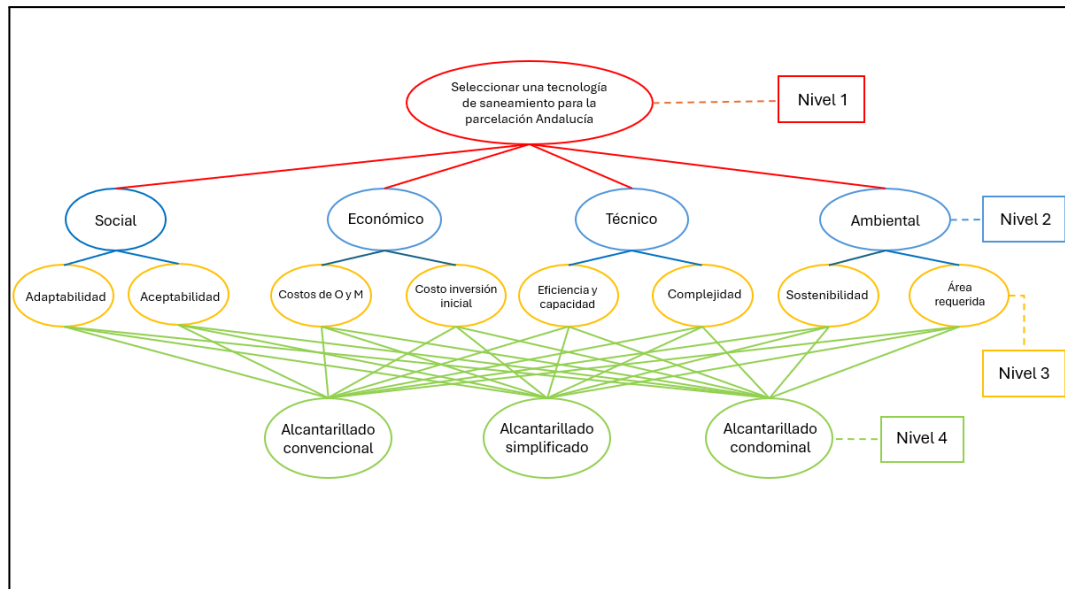


Figura 14 Modelo de decisión de jerarquización para la selección de sistema de saneamiento.

Comparaciones pareadas

Se aplica la metodología de Matriz AHP, donde lo principal es hacer una comparación por pares de los criterios establecidos. El número de comparaciones posibles en la matriz de criterios se calcula por medio de la ecuación 1

$$N^{\circ} \text{ de comparaciones} = \frac{4 * (4 - 1)}{2} = 6$$

Se evidencia que el número de comparaciones posibles es 6.

Tabla 11 Matriz Criterios

	Social	Ambiental	Económico	Tecnico
Social	1	1	5	3
Ambiental	1	1	3	1
Económico	1/5	1/3	1	1
Ambiental	0.33	1	1	1

Tabla 12 Matriz Pesos de Criterios

	Social	Ambiental	Económico	Técnico	Vector promedio	Peso (%)
Social	0.39	0.30	0.50	0.50	0.42	42.37
Ambiental	0.39	0.30	0.30	0.17	0.29	29.04
Económico	0.08	0.10	0.10	0.17	0.11	11.14
Técnico	0.13	0.30	0.10	0.17	0.17	17.46
Suma	1	1	1	1	1	100

La Tabla 11 demuestra que el criterio social con un porcentaje del 42.37% es el criterio con más peso, el criterio que le sigue es el ambiental con un porcentaje de 29.04%, seguido por el criterio técnico con un 17.46% y por último el criterio económico con un 11.14%.

Análisis de consistencia de la matriz de criterios

La Tabla 13 presenta la consistencia de los criterios.

Tabla 13 Consistencia de Criterios

IA	0.89
IC	0.067
RC	0.075

Estado	Consistente
--------	-------------

Se evidencia que la matriz de criterios es una matriz consistente debido a que el $RC < 0.1$.

Matriz de Alternativas en función a los criterios

Se hace nuevamente el proceso de comparación por pares, esta vez se evalúan las alternativas frente a los criterios, tal como se muestra a continuación. El número de comparaciones posibles en las matrices de alternativas en función de los criterios calculados por medio de la ecuación 1 da como resultado 3 comparaciones.

$$N^{\circ} \text{ de comparaciones} = \frac{3 * (3 - 1)}{2} = 3$$

Matriz de Alternativas en función del criterio social

La Tabla 14 presenta la matriz de alternativas en función del criterio social mientras que la Tabla 15 muestra la matriz de peso del criterio social.

Tabla 14 Matriz criterio social

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal
A Convencional	1	1/3	1/5
A Simplificado	3	1	1
A Condominal	5	1	1

Tabla 15 Matriz peso criterio social

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal	Vector promedio	Peso%
A Convencional	0.11	0.14	0.09	0.11	11.50
A Simplificado	0.33	0.43	0.45	0.41	40.55
A Condominal	0.56	0.43	0.45	0.48	47.96

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal	Vector promedio	Peso%
Suma	1	1	1	1	100

En la Tabla 15 se evidencia que la alternativa con mayor porcentaje, es decir, la alternativa más importante para el criterio social será en alcantarillado condominal con un porcentaje del 47.96%, seguido se encuentra la alternativa de alcantarillado simplificado con un 40.55% y por último el alcantarillado convencional con un 11.50%.

Matriz de Alternativas en función al criterio técnico

Para el criterio técnico se hace el mismo procedimiento de comparación pareada entre las alternativas propuestas, obteniendo como resultado la Tablas 16 y 17.

Tabla 16 Matriz criterio técnico

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal
A Convencional	1	5	3
A Simplificado	1/5	1	1
A Condominal	1/3	1	1

Tabla 17 Matriz peso criterio técnico

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal	Vector promedio	Peso%
A Convencional	0.65	0.71	0.60	0.66	65.55
A Simplificado	0.23	0.14	0.20	0.16	15.78
A Condominal	0.22	0.14	0.20	0.19	18.67
Suma	1	1	1	1	100

Se identifica que la alternativa con mayor peso frente al criterio técnico es el alcantarillado convencional con un porcentaje del 65.55%, le sigue el alcantarillado condominal con un 18.67% y en el último lugar el alcantarillado simplificado con un 15.78%.

Matriz de Alternativas en función al criterio económico

Se realiza la comparación por pares para el criterio económico, enfrentando las cuatro alternativas tal como se muestra en las Tablas 18 y 19.

Tabla 18 Matriz criterio económico

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal
A Convencional	1	1/3	1/5
A Simplificado	3	1	1/3
A Condominal	5	3	1

Tabla 19 Matriz peso criterio económico

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal	Vector promedio	Peso%
A Convencional	0.11	0.08	0.13	0.11	10.62
A Simplificado	0.33	0.23	0.22	0.26	26.05
A Condominal	0.56	0.69	0.65	0.63	63.33
Suma	1	1	1	1	100

Las variables con mayor peso para este criterio es la alternativa de alcantarillado condominal, con un porcentaje del 63.33%, en segundo lugar, la alternativa de alcantarillado simplificado con un porcentaje del 26.05% y por último la alternativa de alcantarillado convencional con un porcentaje del 10.62%.

Matriz de Alternativas en función al criterio ambiental

Por último, se evalúa el criterio ambiental, como se observa en las Tablas 20 y 21.

Tabla 20 Matriz criterio ambiental

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal
A Convencional	1	1	1/3
A Simplificado	1	1	1
A Condominal	3	1	1

Tabla 21 Matriz peso criterio ambiental

	A Convencional	A Simplificado	A Condominal	Vector promedio	Peso%
A Convencional	0.20	0.33	0.14	0.23	22.54
A Simplificado	0.20	0.33	0.43	0.32	32.06
A Condominal	0.60	0.33	0.43	0.45	45.40
Suma	1	1	1	1	100

Se obtiene como resultado que la alternativa de alcantarillado condominal tiene mayor peso en este criterio con un 45.40%. le sigue el alcantarillado simplificado con un 32.06% y por último el alcantarillado convencional con un 22.54%.

Matriz prioridad

La columna resaltada de la Tabla 22 contiene los pesos finales de cada alternativa frente a los criterios propuestos, se evidencia que el alcantarillado con un 43.7% es la tecnología que más se adapta al contexto de la parcelación Andalucía, en segundo lugar, se encuentra el alcantarillado simplificado con un 32.1 y en tercer y último lugar se encuentra el alcantarillado convencional con un 23.7%.

Tabla 22. Matriz Final (Criterios y Alternativas)

	Social	Técnico	Económico	Ambiental	Peso%
--	--------	---------	-----------	-----------	-------

A Convencional	0.11	0.66	0.11	0.23	23.7
A Simplificado	0.41	0.16	0.26	0.32	32.1
A Condominal	0.48	0.19	0.63	0.45	43.7
V prom (criterios)	0.42	0.17	0.11	0.29	

10 CONCLUSIONES

Los resultados de las encuestas realizadas resaltan una tendencia de hogares de tamaño mediano a grande, lo que refleja las características socioeconómicas de la población, por ello es importante el acceso a todos los servicios públicos dado que se puede afectar la calidad de vida y la salud de los residentes.

Se identificó que la comunidad tiene sus propias soluciones individuales de manejo de excretas y aguas residuales, siendo en su mayoría tanques sépticos contruidos en concreto, sin embargo, pueden ser insuficientes en términos de salud pública y protección ambiental, por ello la transición hacia sistemas más avanzados beneficia y brinda una solución más completa al garantizar un manejo seguro de las aguas residuales, minimizando los riesgos y mejorando la calidad de vida de los habitantes.

Al combinar las encuestas con el proceso de Análisis jerárquico AHP, se pudo demostrar que es una metodología viable para la selección de tecnologías de saneamiento dado que las encuestas proporcionaron datos cualitativos y cuantitativos esenciales que reflejan las preferencias y necesidades de la comunidad, mientras que el AHP permite estructurar estos datos facilitando la toma de decisiones de manera objetiva.

Como resultado de la preselección y la selección participativa con la comunidad a través de modelo de toma de decisiones descrito en la metodología, se tomó la decisión de que la solución de saneamiento colectiva que más se ajusta a las condiciones de la parcelación Andalucía es el alcantarillado condominal.

11 RECOMENDACIONES

Se recomienda que para garantizar el éxito en la implementación de la tecnología de alcantarillado seleccionada para la parcelación Andalucía, un buen mantenimiento y monitoreo donde la comunidad esté involucrada activamente. Además, se recomienda realizar un estudio complementario de suelos antes de la construcción del sistema.

Es necesario establecer capacitaciones a la comunidad, esto debido a que los sistemas de alcantarillado no convencionales necesitan de la supervisión y mantenimiento de la propia comunidad que se beneficia de estos sistemas.

Se invita a futuros estudiantes interesados en este proyecto a ampliar temas enfocados a la propuesta de diseño y dimensionamiento del sistema de alcantarillado seleccionado

12 REFERENCIAS

Banco Mundial. (2021). *Agua: Panorama general*. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>.

Becerra, L. (2021). Obras inconclusas y elefantes blancos suman \$23 billones. Portafolio.co. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/obras-inconclusas-y-elefantes-blancos-suman-23-billones-550240>.

Cardona. (2010). Consideraciones sobre el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia. Subdirección de Gestión y Desarrollo del Talento Humano. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/Consideraciones%20sobre%20el%20Sector%20de%20agua%20potable%20y%20saneamiento%20b%C3%A1sico.pdf>

Fibras y Normas de Colombia. (2019). Pozos sépticos: definición, estructura y tipos, tomado de:

<https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/pozos-septicos-estructura-y-tipos/>.

- Galvis, A., Cardona, D. y Bernal, D. (2005). Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domésticas en localidades colombianas menores de 30.000 habitantes, SELTAR. Universidad del Valle/ Instituto Cinara.
- Gil, M. A. (2009). Saneamiento ambiental rural y urbano. Recuperado de http://www.esap.edu.co/portal/download/módulos_pregrado/tecnolog%C3%ADa_en_gesti%C3%B3n_p%C3%BAblica_ambiental/semestre_vi/3_saneamiento_ambiental_rural_y_urbano.pdf.
- Grisales Penagos, D. (2010). Sistemas no Convencionales de Tratamiento de Aguas Superficiales para Comunidades de Desplazados en Estado de Emergencia (Caso Villa-Clarín). Universidad Militar Nueva Granada, Programa de Ingeniería Civil. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Lampoglia, T., Mendonca, S. (2008). Alcantarillado condominial: una estrategia de saneamiento para alcanzar los objetivos del milenio en el contexto de los municipios saludables. Lima: CEPIS.
- Mara, D. (2012). Sanitation: What's the Real Problem? IDS Bulletin, 43(2) Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1759-5436.2012.00311.x>
- Melo, J. C. (2005). The Experience of Condominial Water and Sewerage Systems in Brazil: Case Studies from Brasilia, Salvador and Parauapebas. Recuperado de <https://sanihub.org/sites/default/files/2023-10/The%20Experience%20of%20Condominial%20Systems%20in%20Brasil%20-%20Case%20Studies%20%28EN%29%20-%20JC%20Melo%20%282005%29.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. República de Colombia
- Moreno, N. J. (1998). Estudio sobre la operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado de la zona urbano marginal de ladera de la ciudad de Cali

- "Altos de Menga". Trabajo de grado. Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- OPS-CEPIS, Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2005). Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado. Lima: OPS. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CEPISO~1.PDF
- Paterson, C., Mara, D., y Curtis, T. (2007). Pro-poor sanitation technologies. *Geoforum*, 38(5), 901–907. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2006.08.006>.
- Restrepo, I. (2000). Saneamiento para pequeñas localidades. Conferencia Internacional Agua y Saneamiento en Poblaciones Pequeñas y Medianas en el Marco de la Visión Mundial. CINARA. Santiago de Cali.
- Saaty, T. (1980). "The Analytical Hierarchical Process, New York.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., y Zurbrugg, C. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Dübendorf (Suiza). Recuperado de https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf
- Toskano Hurtado y Gérard Bruno. (2005). El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L.Lima.
- UNICEF (2020). Estado Mundial del Saneamiento: Un llamamiento urgente a transformar el saneamiento para mejorar la salud, los entornos, las economías y las sociedades. Nueva York: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. <https://www.unicef.org/media/102811/file/Estado%20Mundial%20del%20Saneamiento.pdf>

- Zambrano, D. (2012). Minimización y prevención como estrategia para el control de la contaminación por aguas residuales municipales en la zona de expansión de Cali. Universidad del Valle
- Zeng, G., Jiang, R., Huang, G., Xu, M., & Li, J. (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.12.024>