

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

TRABAJO DE TITULACIÓN

**DISEÑOS TIPOS DE ÁREAS DE INFILTRACIÓN PARA VERTIDOS DE
BIODIGESTORES EN SUBSUELOS FRECUENTES DE LA SIERRA
ECUATORIANA.**

Autor:

Katherine Alejandra León Cerón

Tutor:

Ing. Carlos Montalvo. MSc.

Riobamba - Ecuador

Año 2020

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “**DISEÑOS TIPOS DE ÁREAS DE INFILTRACIÓN PARA VERTIDOS DE BIODIGESTORES EN SUBSUELOS FRECUENTES DE LA SIERRA ECUATORIANA**”, presentado por: Katherine Alejandra León Cerón y dirigida por: MsC. Carlos Montalvo Montenegro. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Gabriela Zúñiga MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**MARIA GABRIELA
ZÚÑIGA
RODRIGUEZ**

Ing. Alfonso Arellano MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Carlos Montalvo MSc.
TUTOR DEL PROYECTO



CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Carlos Montalvo MSc., en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “**DISEÑOS TIPOS DE ÁREAS DE INFILTRACIÓN PARA VERTIDOS DE BIODIGESTORES EN SUBSUELOS FRECUENTES DE LA SIERRA ECUATORIANA**” CERTIFICO; que el informe final de trabajo investigativo ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al estudiante Katherine Alejandra León Cerón para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

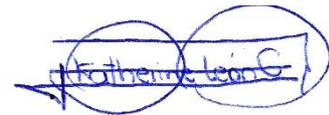
Atentamente,



Ing. Carlos Montalvo
Tutor de tesis

AUTORÍA DE LA INVESTIGACION

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de graduación corresponde exclusivamente a: Katherine Alejandra León Cerón, e Ing. Carlos Montalvo; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Katherine Alejandra León Cerón
C.I. 060405647-3

AGRADECIMIENTOS

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece” (Filipenses 4:13).

Agradezco a Dios por su amor y bendiciones, sin Él nada de esto hubiera sido posible.

Agradezco a mi madre Anita y a mi abuelita Mami Pía por apoyarme, por siempre animarme a cumplir mis sueños y por creen en mí.

A mi esposo y amigo Alvaro por sus consejos y paciencia.

En mención especial agradezco a mi tío Patricio quién ha sido como un padre para mí, gracias por su apoyo y aliento a la distancia.

Finalmente quiero agradecer al Ing. Alfonso Arellano y al Ing. Carlos Montalvo por estar siempre prestos a ayudar con sus conocimientos para desarrollar esta investigación.

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a todos los docentes quienes con paciencia aportaron sus conocimientos a lo largo de esta etapa.

A todos ustedes de corazón muchas gracias.

Katherine Alejandra León Cerón

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de manera especial a mi esposo, a mi hija Romina, a mi madre y abuelita por ser un apoyo incondicional, por darme fuerza para culminar esta etapa, ellos han sido pilares fundamentales en cada momento de mi vida.

Katherine Alejandra León Cerón

Índice General

RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. ESTADO DEL ARTE.....	5
4. METODOLOGÍA.....	10
5. RESULTADOS.....	14
5.1 Tablas.....	14
5.1.1 Área de infiltración para suelo tipo A2 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.	14
5.1.2 Área de infiltración para suelo tipo A2 Caso 2: Familia conformada por 6 personas.	15
5.1.3 Área de infiltración para suelo tipo A2 Caso 3: Grupo de 30 personas.....	16
5.1.4 Área de infiltración para suelo tipo A2 Caso 4: Grupo de 50 personas.....	18
5.1.5 Área de infiltración para suelo tipo A3 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.	19
5.1.6 Área de infiltración para suelo tipo A3 Caso 2: Familia conformada por 6 personas.	21
5.1.7. Área de infiltración para suelo tipo A3 Caso 3: Grupo de 30 personas.....	22
5.1.8. Área de infiltración para suelo tipo A3 Caso 4: Grupo de 50 personas.....	23
5.2 Graficas.....	25
5.3 Plano tipo.....	29
6. DISCUSIÓN.....	31
7. CONCLUSIONES.....	32
8. RECOMENDACIÓN.....	33
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

Índice de tablas

Tabla 1. Cobertura de Alcantarillado en los cantones de Chimborazo	1
Tabla 2. Nomenclatura para la clasificación de suelos AASHTO	5
Tabla 3. Análisis estadístico básico de la velocidad de infiltración según el tipo de suelo.	8
Tabla 4. Unidades de descarga según el aparato y uso para el Método de Hunter.	9
Tabla 5. Dimensiones y separaciones mínimas requeridas para las áreas de infiltración.	9
Tabla 6. Análisis estadístico básico de la velocidad de infiltración según el tipo de suelo. ...	11
Tabla 7. Espesores de material usados en el área de infiltración.	12
Tabla 8. Costo de materiales.	13
Tabla 9. Área de infiltración, Suelo tipo A2 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.....	14
Tabla 10. Dimensión y costo, Suelo tipo A2 Caso 1: Familia conformada por 4 personas. ...	14
Tabla 11. Área de infiltración, Suelo tipo A2 Caso 2: Familia conformada por 6 personas...	16
Tabla 12. Dimensión y costo, Suelo tipo A2 Caso 2: Familia conformada por 6 personas	16
Tabla 13. Área de infiltración, Suelo tipo A2 Caso 3: Grupo de 30 personas.	17
Tabla 14. Dimensión y costo, Suelo tipo A2 Caso 3: Grupo de 30 personas.....	17
Tabla 15. Área de infiltración, Suelo tipo A2 Caso 4: Grupo de 50 personas.	18
Tabla 16. Dimensión y costo, Suelo tipo A2 Caso 4: Grupo de 50 personas.....	18
Tabla 17. Área de infiltración, Suelo tipo A3 Caso 1: Familia conformada por 4 personas...	20
Tabla 18. Dimensión y costo, Suelo tipo A3 Caso 1: Familia conformada por 4 personas. ...	20
Tabla 19. Área de infiltración, Suelo tipo A3 Caso 2: Familia conformada por 6 personas...	21
Tabla 20. Dimensión y costo, Suelo tipo A3 Caso 2: Familia conformada por 6 personas. ...	21
Tabla 21. Área de infiltración, Suelo tipo A3 Caso 3: Grupo de 30 personas.	22
Tabla 22. Dimensión y costo, Caso 3: Grupo de 30 personas.	23
Tabla 23. Área de infiltración, Suelo tipo A3 Caso 4: Grupo de 50 personas.	24
Tabla 24. Dimensión y costo, Caso 4: Grupo de 50 personas.	24

Índice de dibujos

Dibujo 1. Área de infiltración en elevación	29
Dibujo 2. Área de infiltración en planta	30

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Localización geográfica de las provincias estudiadas	3
Ilustración 2 Esquema del infiltrómetro doble.	6
Ilustración 3 Diagrama general de la metodología.	10

RESUMEN

En el Ecuador apenas el 53% de la población cuenta con servicio de alcantarillado. Entre las provincias con mayor cobertura se tienen a Pichincha seguida de Carchi, Imbabura, Tungurahua, El Oro y Azuay. Las provincias con menor porcentaje de cobertura son Los Ríos, Galápagos, Orellana y Bolívar con valores menores al 40%.

El acceso a alcantarillado en las zonas rurales es muy bajo y debido a su necesidad los usuarios evacuan las aguas negras a pozos y fosas sépticas. El proceso que se realiza en la mayoría de los casos es ejecutado de manera empírica sin tomar en cuenta factores necesarios, como realizar un estudio de suelo previo para conocer sus características. La falta de consideración de un área de infiltración posterior al pozo séptico genera una mala evacuación de las aguas, contaminación y malos olores.

Los ingenieros civiles que diseñan o construyen pozos sépticos deben realizar el estudio previo para conocer la velocidad de infiltración en los suelos donde se vierte las aguas servidas. Chafla en el año 2020 realizó la recopilación de investigaciones in situ de estudiantes pregrado de la UNACH, obteniendo como resultado un análisis estadístico de las velocidades asociadas con los tipos de suelos A2 y A3. Los que presentan suficientes datos para determinar relaciones matemáticas que permiten predecir la velocidad de infiltración. En la presente investigación se realiza el cálculo del área de infiltración para vertidos de biodigestores para suelos tipo A2-A3, utilizando 3 diferentes materiales filtrantes como arena, grava y piedra bola.

Palabras Claves: biodigestor, fosas sépticas, velocidad de infiltración, pozos.

ABSTRACT

In Ecuador, only 53% of the population has a sewer service. Among the provinces with the most significant coverage is Pichincha, followed by Carchi, Imbabura, Tungurahua, El Oro, and Azuay. The provinces with the lowest percentage of coverage are Los Rios, Galápagos, Orellana, and Bolívar, with values lower than 40%.

Access to sewerage in rural areas is deficient, and due to its need, users evacuate sewage to wells and septic tanks. In most cases, the process is carried out empirically without taking into account necessary factors, such as carrying out a previous soil study to find out its characteristics. The lack of consideration of an infiltration area after the septic tank generates an inadequate evacuation of the water, contamination, and putrid odors.

Civil engineers who design or build septic tanks must carry out the preliminary study to know the soils' infiltration speed where sewage is discharged. In 2020 Chafra carried out the compilation of in situ investigations of undergraduate students of the UNACH obtaining. As a result, a statistical analysis of the velocities associated with soil types A2 and A3. Those that present sufficient data to determine mathematical relationships that allow predicting the infiltration speed. In this research, the calculation of the infiltration area for discharges of biodigesters for type A2-A3 soils is carried out using three different filtering materials such as sand, gravel, and ball stone.

Key Words: biodigester, septic tanks, infiltration speed, wells.

Translation Reviewed By:
MSc. Elizabeth Diaz
English Professor
0603277765

1. INTRODUCCIÓN

Según la Secretaria Nacional del agua y la Secretaria Nacional del Estado, existen grandes brechas en la dotación de alcantarillado entre las áreas urbanas y las áreas rurales del Ecuador.(SENPLADES, 2014). El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2010, refleja la baja presencia de alcantarillado nivel 3 en algunas provincias en el Ecuador. Según el INEC la provincia de Chimborazo cuenta un 53.8 % de escasos. Como se presenta en la Tabla 1 la cobertura de alcantarillado en los cantones es baja, teniendo valores menores al 50% en 7 de sus 10 cantones.

Tabla 1. Cobertura de Alcantarillado en los cantones de Chimborazo

Cantón	Cobertura de Alcantarillado
Riobamba	71.0%
Chambo	55.0%
Cumanda	53.6%
Chunchi	42.4%
Penipe	41.5%
Pallatanga	36.0%
Guano	27.2%
Alausí	26.6%
Colta	11.1%
Guamote	10.1%

Fuente: SENPLADES,2014

Al no tener acceso a alcantarillado nivel 3 los habitantes de las distintas provincias han recurrido a la construcción de alcantarillado nivel 1 (pozos sépticos o pozos ciegos) de forma empírica, como alternativas para la evacuación de desechos líquidos. (Ortega & Auquilla, 2015). En la actualidad se ha acogido el uso de mini depuradoras conocidas comercialmente como biodigestores o biotanques sépticos, lo que ha permitido eliminar el sistema tradicional rural del pozo séptico. (Chafra, 2020). Los biodigestores presentan mejores condiciones de

saneamiento e higiene que los pozos sépticos.(García, 2016). Para la evacuación de las aguas residuales se debe considerar las propiedades permeables del suelo, parámetro no considerado por los ingenieros o constructores al realizar el área de infiltración posterior al pozo séptico.

Diseñar un área de infiltración óptima que posea las características adecuadas como profundidad, longitud y cantidad de material filtrante permitirá la evacuación de las aguas residuales de forma adecuada garantizando el funcionamiento correcto del sistema de alcantarillado nivel 1.(Hernández et al., 2004). Algunos proveedores de los biodigestores recomiendan el volumen del tanque según la demanda. Además, se sugieren áreas de infiltración para evacuar aguas residuales de los biodigestores.

Los estudios previos realizados, por estudiantes de pre grado de la UNACH en los años 2015 – 2017 (Barrigas & Pilamunga, 2017; Montero & Jiménez, 2016; Flores & Quisnancela, 2016; Vaca, 2016; Lema & Allauca, 2016; Anangonó, 2016; Carrillo & Gonzáles, 2018; Ortega & Auquilla, 2015), estudiaron la velocidad de infiltración aplicando el método de infiltrómetro de cilindro doble. Chafla (2020) procesó la información primaria de las velocidades del agua en los suelos frecuentes de la sierra central para el cálculo del área de infiltración de acuerdo con el tipo de suelo.

Los principales sectores donde se realizaron las pruebas in situ mediante el método del infiltrómetro de cilindro doble con carga de agua constante fueron sectores de la provincia de Chimborazo y dos en Bolívar y Pastaza (Ilustración 1). La investigación se enfocará en los suelos tipo A2 y A3 según la clasificación de las Normas AASHTO, Chafla (2020) en su trabajo de investigación explica que para estos suelos se tiene la cantidad suficiente de datos para determinar relaciones matemáticas que permiten predecir la velocidad de infiltración.



Ilustración 1. Localización geográfica de las provincias estudiadas

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Diseñar áreas de infiltración para vertidos de biodigestores en subsuelos frecuentes de la sierra ecuatoriana.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir áreas de infiltración para vertidos de biodigestores según la velocidad de infiltración y tipo de suelo.
- Dibujar planos tipo para áreas de infiltración.
- Cuantificar volúmenes de obra y presupuesto necesarios para la ejecución de áreas de infiltración.

3. ESTADO DEL ARTE

El método AASHTO clasifica al suelo en grupos desde el A-1 hasta el A-7 en las subdivisiones mostradas en la Tabla 2, el método de clasificación se realiza bajo los siguientes parámetros:

- El porcentaje que pasa el tamiz N° 10, N° 40, N° 200.
- El límite líquido y plástico.
- El índice de plasticidad.
- Índice de grupo.

Tabla 2. Nomenclatura para la clasificación de suelos AASHTO

Clasificación General	Suelos Granulares Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N°200) hasta el 35%						Suelos Arcilloso- Limoso Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N°200) más del 35%				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación por Grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5	A-7-6
Ensayo de tamizado por vía húmeda											
Tamiz IRAM de 2mm N°10	Máx 50										
Tamiz IRAM de 425mm N°200	Máx 30	Máx 50	Min 51								
Tamiz IRAM de 75mm N°200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Min 35	Min 35	Min 35	Min 35
Características de la fracción que pasa por tamiz IRAM de 425 micrómetros N°40.											
Límite Líquido wL (%)	-	-	-	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41
Índice de plasticidad Ip (%)	Máximo 6		No plástico	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11
Índice de Grupo IG	0	0	0	0	0	Máx 4	Máx 4	Máx 8	Máx 12	Máx 16	Máx 20
Constituyentes Principales de Tipos más comunes	Fragmento de rocas grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Comportamiento General como Subrasante	Excelente a bueno						Regular a pobre				

Fuente: Bowless, 1961

La clasificación de la textura del suelo es importante para conocer la capacidad de transmitir fluidos (infiltración), los suelos que presentan mayor textura poseen una mayor capacidad de infiltración.

Para la determinación de la velocidad de infiltración se utilizó el método del infiltrómetro de cilindro doble (Ilustración 2). El proceso de medición usado fue el de carga de agua constante. Las especificaciones técnicas para la elaboración del infiltrómetro, como la gaveta y pozo de ensayo se detalla en la tesis de Ortega y Auquilla (2015).

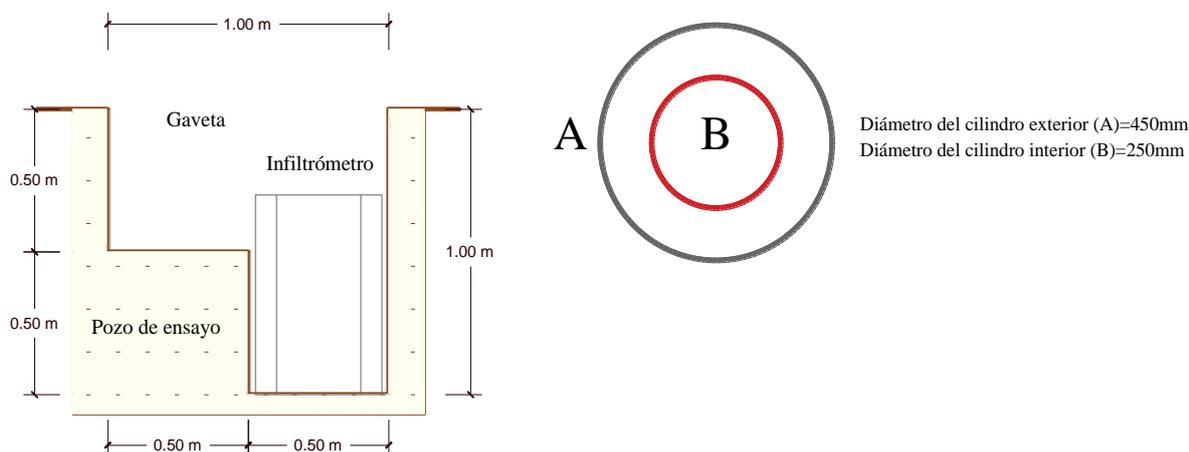


Ilustración 2 Esquema del infiltrómetro doble.

Ortega y Auquilla (2015), mencionan que la velocidad de infiltración asociada a parámetros característicos del suelo debe ser conocida previo al del diseño de áreas de infiltración, para el vertido de aguas servidas en pozos sépticos y/o tanques sépticos. (Ortega & Auquilla, 2015).

La construcción de letrinas, pozos sépticos y pozos ciegos se realiza de forma empírica y sin ningún tipo de asistencia técnica en la mayoría de los casos. Estas instalaciones son inevitables en los sectores en donde no existe un sistema de alcantarillado, esto es comúnmente realizado en las áreas suburbanas y rurales. La implantación de los pozos debe ser realizada considerando la capacidad de infiltración de los suelos. De tal manera que se garantice la evacuación de las aguas servidas, en un tiempo razonable y hacia sub-estratos del suelo para disminuir los probables efectos negativos en la salud de los moradores. (Montero & Jiménez, 2016).

Al no tener una caracterización de la velocidad de infiltración en función del tipo de suelo

en el Ecuador, el diseño del área de infiltración en zanjas y fosas sépticas es realizado con datos de otros países, (Hernandez et al., 2004), lo que no es aplicable porque los suelos no poseen las mismas características de permeabilidad que los suelos ecuatorianos.

Previo al diseño del área infiltración es necesario conocer parámetros importantes que definirán las características del área de infiltración como el área del terreno, tipo de suelo y el caudal máximo instantáneo que dependerá de la demanda solicitada por la cantidad de usuarios. El área de infiltración podrá tener formas diferentes como: forma elíptica, forma de S o como un anillo, en forma rectangular o cuadrada. La forma realizada dependerá del espacio posterior al biodigestor que se disponga para realizar el área de infiltración. (TULSMA, 2012)

Según la textura del suelo (Hernandez et al., 2004), en su Manual de depuración Uralita tiene recomendaciones de diseño como:

- El área de infiltración no debe ser demasiado larga de lo contrario el efluente no se infiltraría con uniformidad en el terreno. La longitud del área de infiltración no debe ser mayor a 30m.
- Se debe utilizar material filtrante como grava lavada, piedra machacada o escoria metálica. Se debe considerar las alturas y pendientes necesarias en cada lecho del material para la correcta evacuación.
- Es conveniente construir uno o varios pozos de infiltración, al final de las zanjas, para recoger el exceso del efluente y para facilitar la ventilación de las zanjas.

Con respecto a la aplicación del suelo en los sistemas de depuración que permiten eliminar las aguas residuales, bien sea con aprovechamiento del agua y de los nutrientes contenidos o sin utilización alguna como en la infiltración. Puede realizarse según tres sistemas como: el filtro verde, la escorrentía superficial y la infiltración. El proceso de infiltración a diferencia del filtro verde y la escorrentía no necesita vegetación y no posee limitaciones como las bajas temperaturas y problemas con cultivos. (Hernandez et al., 2004). Por esta razón para el diseño

de un sistema de alcantarillado nivel 1 desde el punto de vista sanitario la mejor elección para la evacuación de aguas residuales es el área de infiltración.

Chafla (2020) , al procesar la información de las investigaciones obtuvo que los suelos A2 y A3 tienen un número de mayor de muestras (Tabla 3), a diferencia de los otros suelos (A1-b, A4, A5, A6, A7-5). Por lo que las velocidades de infiltración de los suelos A2 y A3 pueden ser definidas según una ecuación de correlación predecible. Los ingenieros que deseen usar los suelos A1-b, A4, A5, A6, A7-5 tienen que realizar calicatas y determinar in situ la velocidad propia de ese lugar ya que se tienen datos no predecibles y sus desviaciones estándar son muy altas.(Chafla, 2020)

Tabla 3. Análisis estadístico básico de la velocidad de infiltración según el tipo de suelo.

Tipo de Suelo	Número de Muestras	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
A1-b	7	119.9	17	45	71.3	120	180
A2	225	104.16	5.79	86.8	4	84	456
A3	83	199.3	19.7	179.5	12	120	780
A4	4	57.8	12.7	25.4	27	60	84
A5	2	3.5	0.5	0.707	3	3.5	4
A6	3	24.78	6.4	11.08	13	26.33	35
A7-5	2	4	1	1.41	3	4	5

Fuente: Chafla Sevilla, 2020

Cálculo del caudal máximo instantáneo

El Método de Hunter que utiliza las unidades de descarga. (Tabla 4), trata de llegar a determinar la simultaneidad de uso de los diferentes artefactos, que al ser analizados en conjunto indiquen cual será el caudal máximo instantáneo. El caudal máximo instantáneo se calcula con la Ecuación 1, para valores de unidad de descarga desde cero a < 1200. (Ruiz, 2008)

$$Q = 6.7924 \times X^{0.6838} \text{ (Ec1)}$$

Donde:

- Q = Caudal (l/min)
- X = Unidades de descarga

Tabla 4. Unidades de descarga según el aparato y uso para el Método de Hunter.

Uso	Aparato	Control	Unidad de descargas
Público	Inodoro	Fluxom	10
	Inodoro	Tanque	5
	Urinario	Fluxom	5
	Urinario	Tanque	3
	Lavamanos	Llave	2
	Tina de baño	Llave	4
	Ducha	Llave	4
	Fregadero cocina	Llave	4
Privado	Inodoro	Fluxom	6
	Inodoro	Tanque	3
	Lavamanos	Llaves	1
	Tina de baño	Llaves	2
	Ducha	Llaves	2
	Fregadero cocina	Llaves	2
	Lavadero	Llaves	3
	Grupo de baño	Fluxom	8
	Grupo de baño	Tanque	6
	Bidet	Llaves	2

Fuente: Ruiz, 2008.

Uralita en su manual proporciona las siguientes recomendaciones de dimensiones, separaciones requeridas mínimas presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Dimensiones y separaciones mínimas requeridas para las áreas de infiltración.

Anchura de la zanja en el fondo (cm)	Profundidad de la zanja(cm)	Zona de absorción efectiva (m ² /m)	Separación de las tuberías (m)
45	50 a 100	1.5	1.90
60	50 a 100	2.0	1.90
100	50 a 125	2.5	2.30
12	60 a 125	3.0	2.80

Fuente: Hernandez Muños et al., 2004.

4. METODOLOGÍA

Con el fin de generalizar el proceso de desarrollo de esta investigación se realizó el esquema gráfico presentado en la Ilustración 3.

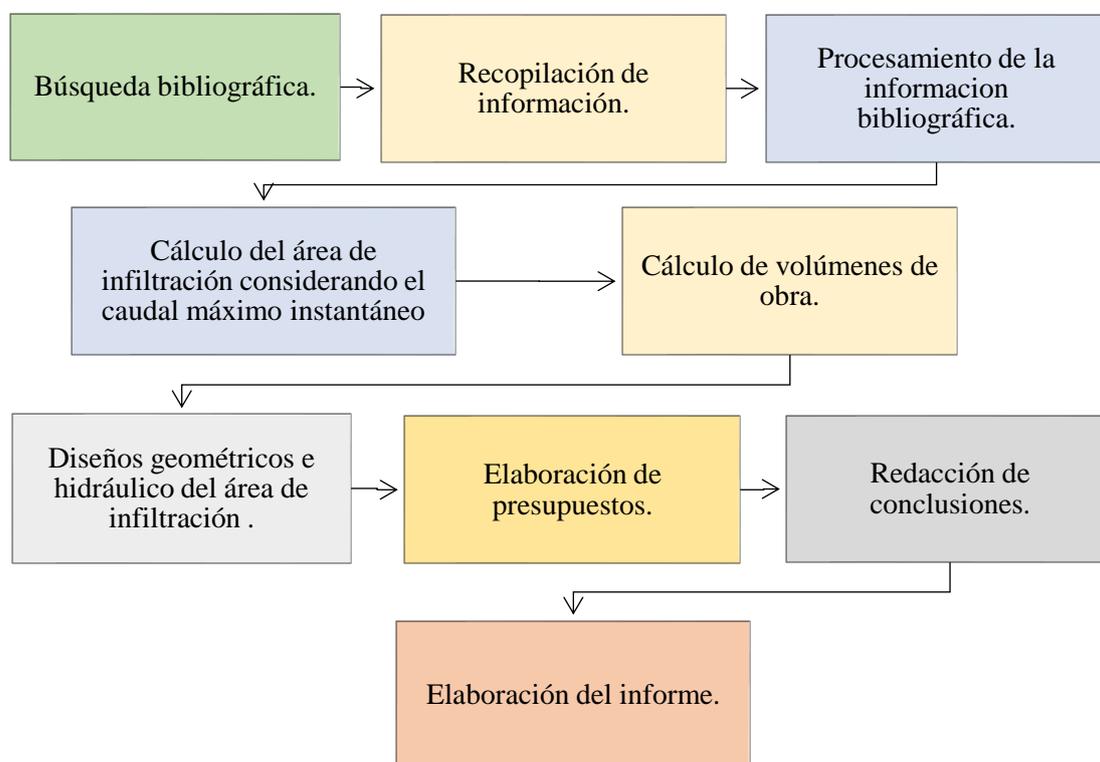


Ilustración 3 Diagrama general de la metodología.

Para el desarrollo de la investigación se realizó la búsqueda bibliográfica de trabajos investigativos orientados a la velocidad de infiltración en suelos frecuentes en la sierra centro del Ecuador. También se realizó la búsqueda de especificaciones y recomendaciones para el diseño de áreas de infiltración. Se utilizó recursos digitales tales como Scielo, ProQuest, ResearchGate, Repositorios digitales Universitarios, Google Académico y, además, sitios web que garanticen que la información haya sido verificada por profesionales en el tema.

Se planteó cuatro distintos casos para el desarrollo del cálculo del área de infiltración, dos casos para viviendas uso privado y dos casos para lugares de uso público. Para iniciar con el proceso se necesita saber el caudal máximo instantáneo(demanda), el cual se lo realizó con la

cantidad de cuatro y seis personas para viviendas (uso privado) y de 30 y 50 personas para hosterías, hoteles (uso comercial- público).

Los suelos escogidos fueron tipo A2 y A3 (Tabla 6), porque tienen un numero de mayor de muestras (A2= 225 y A3= 83). Para la velocidad de infiltracion se obtuvo de la Tabla 3 para los suelos A2 y A3, donde se realizo incrementos de 25(mm/h) empezando desde el valor mínimo (cero) y teniendo como limite el valor maximo.

Tabla 6. Análisis estadístico básico de la velocidad de infiltración según el tipo de suelo.

Tipo de Suelo	Número de Muestras	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
A2	225	104.16	5.79	86.8	4	84	456
A3	83	199.3	19.7	179.5	12	120	780

Fuente: Chafla, (2020) **Modificado por:** León C, Katherine

El cálculo del caudal máximo instantáneo se realiza para el caso más desfavorable, es decir cuando la mayor cantidad de personas se encuentra usando los aparatos sanitarios simultáneamente. Utilizando el Método de Hunter de unidades de descarga, aplicando la Ecuación 1.

Para encontrar el área de infiltración se utilizó la siguiente Ecuación de la Continuidad (Ecuación 2), despejando en este caso el área (Ecuación 3).

$$Q = A \times v \text{ (Ec2)}$$

$$A = \frac{Q}{v} \text{ (Ec3)}$$

Donde:

- Q= caudal maximo instantaneo (l/s)
- A= area (m²)
- v= velocidad de infiltracion(mm/h)

El ancho se estableció de 1.50 m y la longitud se obtuvo despejándola de la ecuación del área de una sección rectangular (Ecuación 4), de la Geometría Básica:

$$A = B \times L \quad (\text{Ec4})$$

Donde:

- A= área (m²)
- B= ancho (m)
- L= longitud (m)

En el cálculo de volúmenes de obra se trabajó con los siguientes materiales y espesores:

Tabla 7. Espesores de material usados en el área de infiltración.

Espesores de material (m)	
Capa arena	0.15
Capa grava	0.15
Capa piedra bola	0.30

Fuente: A.Arellano, 2020

Este proceso se realizó mediante el uso del software Microsoft Excel para facilitar el cálculo del área de infiltración, y el cálculo de volúmenes de obra y elaboración de presupuestos. Se realizó dos gráficas donde se presenta la relación de la velocidad de infiltración vs la longitud cuando la zanja tiene 1,50 m de ancho y la relación de velocidad de infiltración vs la cantidad de material necesario para construir la zanja.

El software AutoCAD Civil 3D se utilizó para realizar el plano tipo donde se detalla el dibujo del diseño geométrico e hidráulico desde una caja de revisión hacia un biodigestor y del área de infiltración subsuperficial.

Para la elaboración de presupuestos se obtuvo la información de varias minas de la provincia de Chimborazo (Tabla 8) y se realizó un promedio del costo.

Tabla 8. Costo de materiales.

Material filtrante		
Nombre	Cantidad (m^3)	Costo \$
Arena	1.00	15.00
Grava	1.00	10.00
Piedra bola	1.00	8.00

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se debe considerar que los valores proporcionados en la Tabla 8 son referenciales, obtenidos en campo en diciembre del 2020. El costo de cada material pétreo puede también variar en función de la distancia entre la mina y el lugar de ejecución del área de infiltración.

5. RESULTADOS

5.1 Tablas

5.1.1 Área de infiltración para suelo tipo A2 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.

El valor de caudal instantáneo acumulado $[Q(l/s)]$ es un valor constante obtenido mediante el método de Hunter, usando los valores del sector privado (Tabla 4). Se observa en la (Tabla 9) que para el valor mínimo de la velocidad de infiltración 25 $[V(mm/h)]$ se tiene un área de 100.2 $[A(m^2)]$, a medida que el valor de la velocidad de infiltración aumenta el valor del área disminuye.

Encontrada el área de infiltración (Tabla 9), se tienen los valores del ancho $[An(m)]$ y longitud aplicando $[L(m)]$ la ecuación 4. El volumen del material pétreo (Tabla 10) obtenidos de multiplicar el área por el espesor de cada material (Tabla 7). El costo total $[C(\$)]$ es la suma de los valores para arena $[Ar(m^3)]$, grava $[Gr(m^3)]$ y piedra bola $[Pb(m^3)]$ multiplicado por el costo de cada material (Tabla 8). Los valores de los agregados al igual que el área (Tabla 9) van disminuyendo a medida que aumenta la velocidad de infiltración del suelo.

Tabla 9. Área de infiltración, Suelo tipo A2 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.

	Área de infiltración																	
Q(l/s)	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
V(mm/h)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
A (m ²)	100.2	50.1	33.4	25.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	10.0	9.1	8.4	7.7	7.2	6.7	6.3	5.9	5.6

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

Tabla 10. Dimensión y costo, Suelo tipo A2 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.

Dimensiones y costo del área de la zanja de infiltración																		
An (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
L (m)	66.81	33.41	22.27	16.70	13.36	11.14	9.54	8.35	7.42	6.68	6.07	5.57	5.14	4.77	4.45	4.18	3.93	3.71
Ar (m ³)	15.03	7.52	5.01	3.76	3.01	2.51	2.15	1.88	1.67	1.50	1.37	1.25	1.16	1.07	1.00	0.94	0.88	0.84
Gr (m ³)	15.03	7.52	5.01	3.76	3.01	2.51	2.15	1.88	1.67	1.50	1.37	1.25	1.16	1.07	1.00	0.94	0.88	0.84
Pb (m ³)	30.07	15.03	10.02	7.52	6.01	5.01	4.30	3.76	3.34	3.01	2.73	2.51	2.31	2.15	2.00	1.88	1.77	1.67
C \$	616.3	308.2	205.5	154.1	123.3	102.7	88.1	77.0	68.3	61.6	56.0	51.4	47.41	44.02	41.09	38.52	36.26	34.24

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

5.1.2 Área de infiltración para suelo tipo A2 Caso 2: Familia conformada por 6 personas.

En el caso 2 el valor de caudal instantáneo acumulado [Q(l/s)] es mayor a del caso 1 (Tabla 9) la razón es que a mayor cantidad de usuarios se tiene una mayor demanda. El valor más alto para el área de infiltración [A(m²)] es de 139.7 m² cuando la velocidad de infiltración [V(mm/h)] es 25 (mm/h) y a medida que la velocidad aumenta el área de infiltración disminuye. El valor mínimo de área es 7.8m² cuando se tiene el límite máximo de velocidad de infiltración de 450(mm/h).

Encontrado el valor del área de infiltración [A(m²)] (Tabla 11) se obtiene el ancho [An(m)]y la longitud [L(m)], valores que disminuyen a medida que disminuye el área. Las cantidades de material filtrante para arena [Ar (m³)] y grava [Gr (m³)] (Tabla 12) son las mismas porque el espesor sugerido (Tabla 7) para la zanja de infiltración es la misma.

Tabla 11. Área de infiltración, Suelo tipo A2 Caso 2: Familia conformada por 6 personas.

Área de infiltración																		
Q(l/s)	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
V(mm/h)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
A (m ²)	139.7	69.8	46.6	34.9	27.9	23.3	20.0	17.5	15.5	14.0	12.7	11.6	10.7	10.0	9.3	8.7	8.2	7.8

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

Tabla 12. Dimensión y costo, Suelo tipo A2 Caso 2: Familia conformada por 6 personas

Dimensiones del área de la zanja de infiltración																		
An (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
L (m)	93.12	46.56	31.04	23.28	18.62	15.52	13.30	11.64	10.6	9.31	8.47	7.76	7.16	6.65	6.21	5.82	5.48	5.17
Ar (m ³)	20.95	10.48	6.98	5.24	4.19	3.49	2.99	2.62	2.33	2.10	1.90	1.75	1.61	1.50	1.40	1.31	1.23	1.16
Gr (m ³)	20.95	10.48	6.98	5.24	4.19	3.49	2.99	2.62	2.33	2.10	1.90	1.75	1.61	1.50	1.40	1.31	1.23	1.16
Pb (m ³)	41.90	20.95	13.97	10.48	8.38	6.98	5.99	5.24	4.66	4.19	3.81	3.49	3.22	2.99	2.79	2.62	2.46	2.33
C \$	859.0	429.5	286.3	214.8	171.8	143.2	122.7	107.4	95.5	85.9	78.1	71.6	66.1	61.36	57.27	53.69	50.53	47.72

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

5.1.3 Área de infiltración para suelo tipo A2 Caso 3: Grupo de 30 personas.

Para el caso 3, caudal instantáneo acumulado [Q(l/s)] es un valor constante obtenido aplicando el método de Hunter, usando los valores del sector público (Tabla 4). En la Tabla 13 que para el valor mínimo de la velocidad de infiltración 25 [V(mm/h)] se tiene un área de 638.5 [A(m²)], a medida que el valor de la velocidad de infiltración aumenta el valor del área disminuye.

Encontrada el área de infiltración (Tabla 13), se tienen los valores del ancho [An(m)] y longitud [L(m)] aplicando la ecuación 4. El volumen del material pétreo (Tabla 14) obtenidos de multiplicar el área por el espesor de cada material (Tabla 7). El costo total [C (\$)] es la suma de los valores para arena [Ar (m³)], grava [Gr (m³)] y piedra bola [Pb (m³)] multiplicado por el costo de cada material (Tabla 8). Los valores de los agregados al igual que el área (Tabla 14) van disminuyendo a medida que aumenta la velocidad de infiltración del suelo

Tabla 13. Área de infiltración, Suelo tipo A2 Caso 3: Grupo de 30 personas.

		Área de infiltración																	
Q(l/s)	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46
V(mm/h)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	
A (m ²)	638.5	319.2	212.8	159.6	127.7	106.4	91.2	79.8	70.9	63.8	58.0	53.2	49.1	45.6	42.6	39.9	37.6	35.5	

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

Tabla 14. Dimensión y costo, Suelo tipo A2 Caso 3: Grupo de 30 personas.

		Dimensiones del área de la zanja de infiltración																	
An (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
L (m)	425.66	212.83	141.89	106.42	85.13	70.94	60.81	53.21	47.30	42.57	38.70	35.47	32.74	30.40	28.38	26.60	25.04	23.65	
Ar (m ³)	95.77	47.89	31.92	23.94	19.15	15.96	13.68	11.97	10.64	9.58	8.71	7.98	7.37	6.84	6.38	5.99	5.63	5.32	
Gr (m ³)	95.77	47.89	31.92	23.94	19.15	15.96	13.68	11.97	10.64	9.58	8.71	7.98	7.37	6.84	6.38	5.99	5.63	5.32	
Pb (m ³)	191.55	95.77	63.85	47.89	38.31	31.92	27.36	23.94	21.28	19.15	17.41	15.96	14.73	13.68	12.77	11.97	11.27	10.64	
C \$	3926.7	1963.4	1308.9	981.7	785.4	654.5	560.9	490.8	436.3	392.7	356.9	327.2	302.1	280.5	261.8	245.4	230.9	218.2	

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

L (m)	582.82	291.41	194.27	145.70	116.56	97.14	83.26	72.85	64.76	58.28	52.98	48.57	44.83	41.63	38.85	36.43	34.28	32.38
Ar (m ³)	131.13	65.57	43.71	32.78	26.23	21.86	18.73	16.39	14.57	13.11	11.92	10.93	10.09	9.37	8.74	8.20	7.71	7.29
Gr (m ³)	131.13	65.57	43.71	32.78	26.23	21.86	18.73	16.39	14.57	13.11	11.92	10.93	10.09	9.37	8.74	8.20	7.71	7.29
Pb (m ³)	262.27	131.13	87.42	65.57	52.45	43.71	37.47	32.78	29.14	26.23	23.84	21.86	20.17	18.73	17.48	16.39	15.43	14.57
C \$	5376.5	2688.3	1792.2	1344.1	1075.3	896.1	768.1	672.1	597.4	537.7	488.8	448.0	413.6	384.0	358.4	336.0	316.3	298.7

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

5.1.5 Área de infiltración para suelo tipo A3 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.

Para el suelo tipo A3 los valores de la velocidad de infiltración [$V(\text{mm/h})$] tienen un límite máximo de $775(\text{mm/h})$, caudal instantáneo acumulado [$Q(\text{l/s})$] se obtiene aplicando el método de Hunter, usando los valores del sector privado (Tabla 4). En la (Tabla 17) para el valor mínimo de la velocidad de infiltración 25 mm/h se tiene un área de $100.2 \text{ [A(m}^2\text{)]}$, valor igual con el caso 1 para el suelo tipo A2, los valores son los mismos hasta el valor máximo para el suelo tipo A2.

Encontrada el área de infiltración (Tabla 17), se tienen los valores del ancho [$An(\text{m})$] y longitud [$L(\text{m})$] aplicando la ecuación 4. El volumen del material pétreo (Tabla 18) obtenidos de multiplicar el área por el espesor de cada material (Tabla 7). El costo total es la suma de los valores para arena [$Ar \text{ (m}^3\text{)}$], grava [$Gr \text{ (m}^3\text{)}$]y piedra bola [$Pb \text{ (m}^3\text{)}$] multiplicado por el costo de cada material (Tabla 8).

Tabla 17. Área de infiltración, Suelo tipo A3 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.

Área de infiltración																																	
Q(l/s)	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
V(mm/h)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775		
A (m ²)	100.2	50.1	33.4	25.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	10.0	9.1	8.4	7.7	7.2	6.7	6.3	5.9	5.6	5.3	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	4.0	3.9	3.7	3.6	3.5	3.3	3.2		

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

Tabla 18. Dimensión y costo, Suelo tipo A3 Caso 1: Familia conformada por 4 personas.

Dimensiones del área de la zanja de infiltración																																
An (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
L (m)	66.8	33.4	22.3	16.7	13.4	11.1	9.5	8.4	7.4	6.7	6.1	5.6	5.1	4.8	4.5	4.2	3.9	3.7	3.5	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	
Ar (m ³)	15.0	7.5	5.0	3.8	3.0	2.5	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	
Gr (m ³)	15.0	7.5	5.0	3.8	3.0	2.5	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	
P (m ³)	30.1	15.0	10.0	7.5	6.0	5.0	4.3	3.8	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	
C \$	616.3	308.2	205.5	154.1	123.3	102.7	88.1	77.0	68.5	61.6	56.0	51.4	47.4	44.0	41.1	38.5	36.3	34.2	32.4	30.8	29.4	28.0	26.8	25.7	24.7	23.7	22.8	22.0	21.3	20.5	19.9	

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

5.1.6 Área de infiltración para suelo tipo A3 Caso 2: Familia conformada por 6 personas.

En el caso 2 para el suelo tipo A3 en el límite máximo de la velocidad de infiltración 775 [V(mm/h)], se tiene un área de infiltración de 4.5 [A(m²)] (Tabla 19) y va aumentando a medida que disminuye la velocidad de infiltración. Encontrada el área de infiltración (Tabla 19), se tienen los valores del ancho [An(m)] y longitud [L(m)] aplicando la ecuación 4. El volumen del material pétreo (Tabla 20) obtenidos de multiplicar el área por el espesor de cada material (Tabla 7). El costo total [C (\$)] es la suma de los valores para arena [Ar (m³)], grava [Gr (m³)]y piedra bola [Pb (m³)]multiplicado por el costo de cada material (Tabla 8).

Tabla 19. Área de infiltración, Suelo tipo A3 Caso 2: Familia conformada por 6 personas.

	Área de infiltración																														
Q(l/s)	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54		
V(mm/h)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775
A (m²)	139.7	69.8	46.6	34.9	27.9	23.3	20.0	17.5	15.5	14.0	12.7	11.6	10.7	10.0	9.3	8.7	8.2	7.8	7.4	7.0	6.7	6.3	6.1	5.8	5.6	5.4	5.2	5.0	4.8	4.7	4.5

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

Tabla 20. Dimensión y costo, Suelo tipo A3 Caso 2: Familia conformada por 6 personas.

	Dimensiones del área de la zanja de infiltración																														
An (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
L (m)	93.1	46.6	31.0	23.3	18.6	15.5	13.3	11.6	10.3	9.3	8.5	7.8	7.2	6.7	6.2	5.8	5.5	5.2	4.9	4.7	4.4	4.2	4.0	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0
Ar (m³)	21.0	10.5	7.0	5.2	4.2	3.5	3.0	2.6	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7

Gr (m³)	21.0	10.5	7.0	5.2	4.2	3.5	3.0	2.6	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
P (m³)	41.9	21.0	14.0	10.5	8.4	7.0	6.0	5.2	4.7	4.2	3.8	3.5	3.2	3.0	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4
C \$	859.0	429.5	286.3	214.8	171.8	143.2	122.7	107.4	95.5	85.9	78.1	71.6	66.1	61.4	57.3	53.7	50.5	47.7	45.2	43.0	40.9	39.1	37.4	35.8	34.4	33.0	31.8	30.7	29.6	28.6	27.7

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

5.1.7. Área de infiltración para suelo tipo A3 Caso 3: Grupo de 30 personas.

Para el caso 3 para el suelo tipo A3 en el límite máximo de la velocidad de infiltración 775 [V(mm/h)], se tiene un área de infiltración de 20.6 área [A(m²)] (Tabla 21) y va aumentando a medida que disminuye la velocidad de infiltración. Para el caso 3 de 30 personas se aplica el método de Hunter utilizando las unidades de descarga para el sector público.

Encontrada el área de infiltración (Tabla 21), se tienen los valores del ancho [An(m)] y longitud [L(m)] aplicando la ecuación 4. El volumen del material pétreo (Tabla 22) obtenidos de multiplicar el área por el espesor de cada material (Tabla 7). El costo total es la suma de los valores para arena [Ar (m³)], grava [Gr (m³)]y piedra bola [Pb (m³)]multiplicado por el costo de cada material (Tabla 8).

Tabla 21. Área de infiltración, Suelo tipo A3 Caso 3: Grupo de 30 personas.

	Área de infiltración																														
Q(l/s)	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	
V (mm/h)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775
A (m²)	638.5	319.2	212.8	159.6	127.7	106.4	91.2	79.8	70.9	63.8	58.0	53.2	49.1	45.6	42.6	39.9	37.6	35.5	33.6	31.9	30.4	29.0	27.8	26.6	25.5	24.6	23.6	22.8	22.0	21.3	20.6

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

Tabla 23. Área de infiltración, Suelo tipo A3 Caso 4: Grupo de 50 personas.

Área de infiltración																																		
Q(l/s)	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36
V (mm/h)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775			
A (m ²)	874.2	437.1	291.4	218.6	174.8	145.7	124.9	109.3	97.1	87.4	79.5	72.9	67.2	62.4	58.3	54.6	51.4	48.6	46.0	43.7	41.6	39.7	38.0	36.4	35.0	33.6	32.4	31.2	30.1	29.1	28.2			

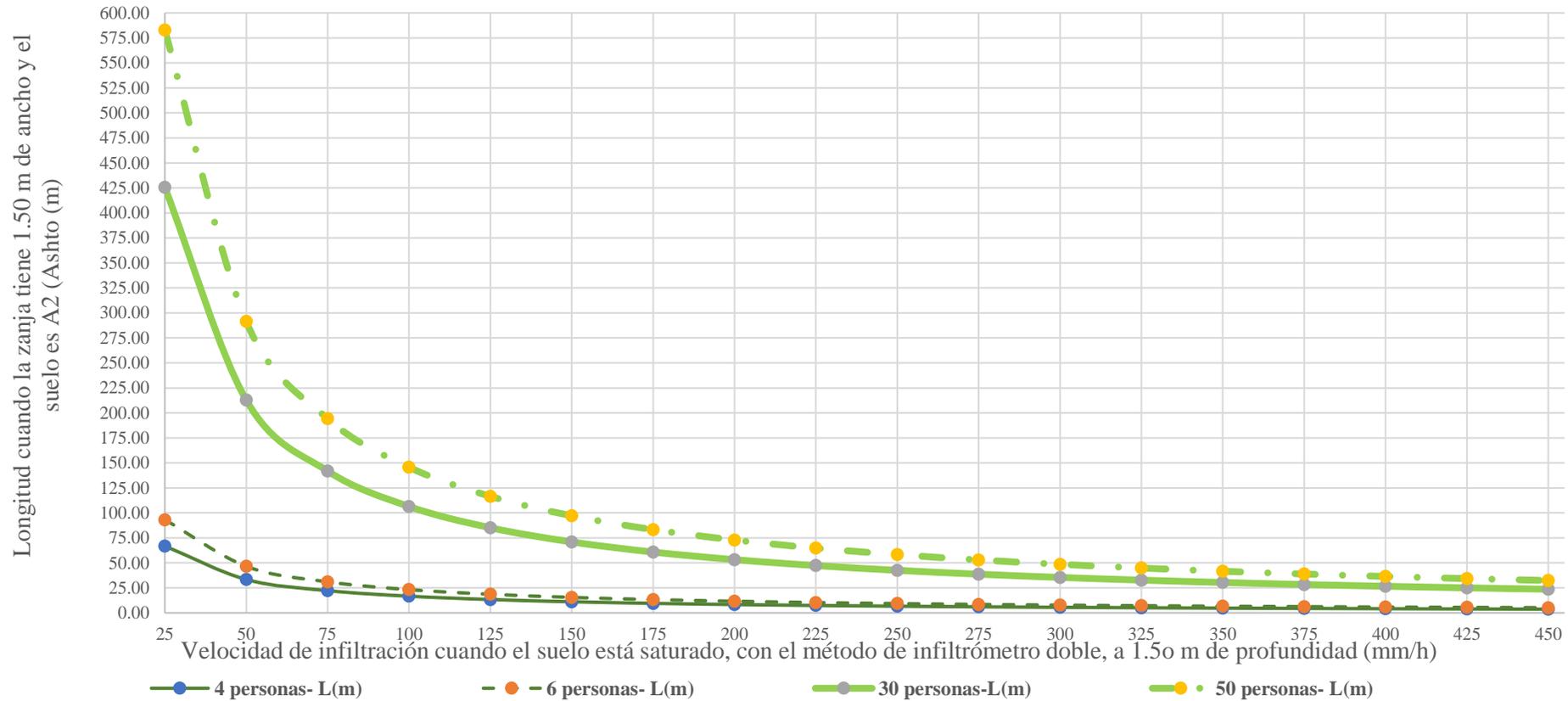
Fuente: K.León y A.Arellano, 2020**Tabla 24.** Dimensión y costo, Caso 4: Grupo de 50 personas.

Dimensiones del área de la zanja de infiltración																																	
An (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
L (m)	582.8	291.4	194.3	145.7	116.6	97.1	83.3	72.9	64.8	58.3	53.0	48.6	44.8	41.6	38.9	36.4	34.3	32.4	30.7	29.1	27.8	26.5	25.3	24.3	23.3	22.4	21.6	20.8	20.1	19.4	18.8		
Ar (m ²)	131.1	65.6	43.7	32.8	26.2	21.9	18.7	16.4	14.6	13.1	11.9	10.9	10.1	9.4	8.7	8.2	7.7	7.3	6.9	6.6	6.2	6.0	5.7	5.5	5.2	5.0	4.9	4.7	4.5	4.4	4.2		
Gr (m ³)	131.1	65.6	43.7	32.8	26.2	21.9	18.7	16.4	14.6	13.1	11.9	10.9	10.1	9.4	8.7	8.2	7.7	7.3	6.9	6.6	6.2	6.0	5.7	5.5	5.2	5.0	4.9	4.7	4.5	4.4	4.2		
P (m ³)	262.3	131.1	87.4	65.6	52.5	43.7	37.5	32.8	29.1	26.2	23.8	21.9	20.2	18.7	17.5	16.4	15.4	14.6	13.8	13.1	12.5	11.9	11.4	10.9	10.5	10.1	9.7	9.4	9.0	8.7	8.5		
C \$	5376.5	2688.3	1792.2	1344.1	1075.3	896.1	768.1	672.1	597.4	537.7	488.8	448.0	413.6	384.0	358.4	336.0	316.3	298.7	283.0	268.8	256.0	244.4	233.8	224.0	215.1	206.8	199.1	192.0	185.4	179.2	173.4		

Fuente: K.León y A.Arellano, 2020

4.2 Graficas

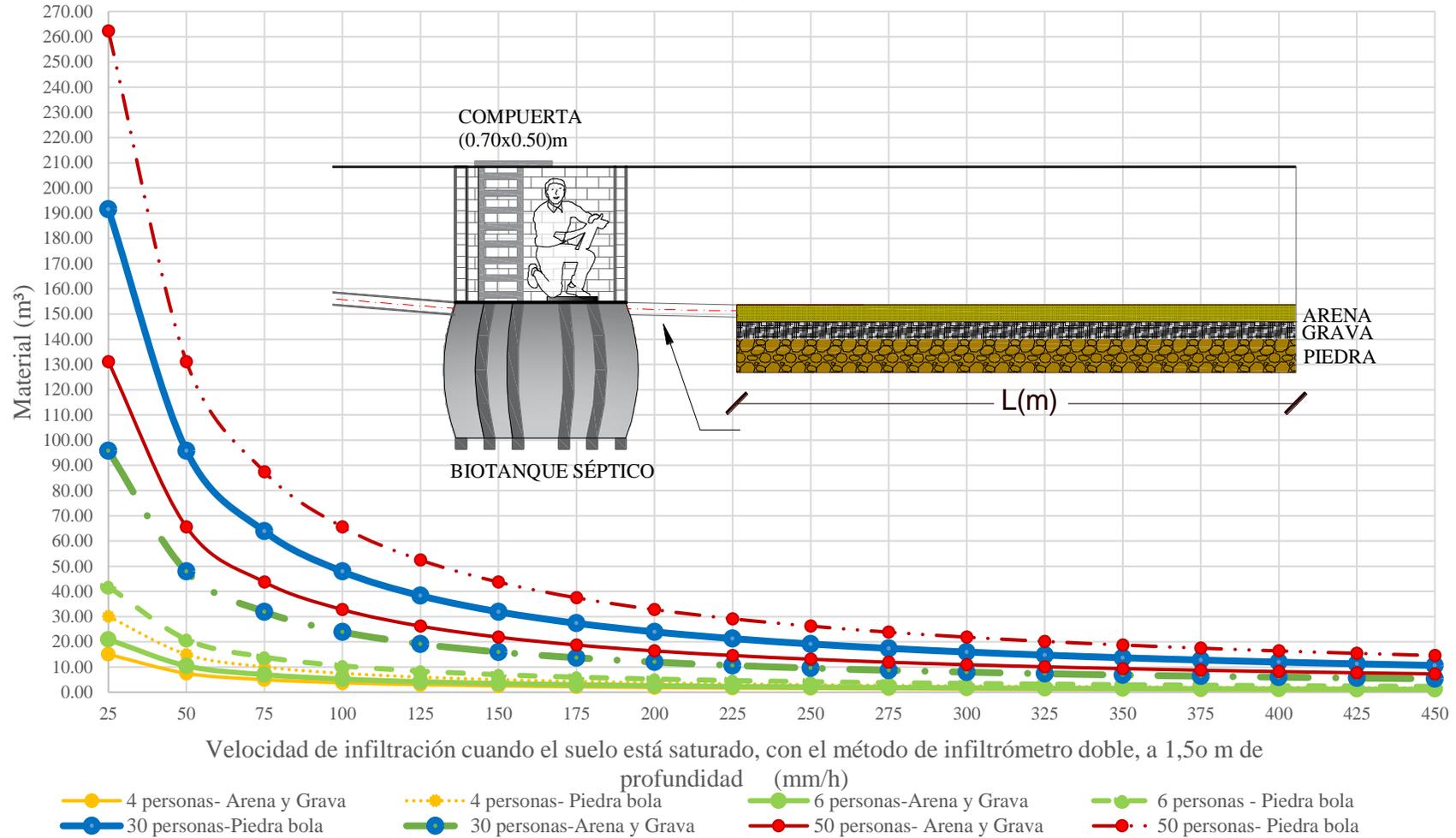
En la Grafica 1 se presenta mediante líneas los resultados obtenidos al aplicar el Método de Hunter para determinar longitud de la zanja de infiltración manteniendo un ancho constante de 1.50m para los 4 diferentes casos de 4, 6, 30, 50 personas para el suelo A2.



Elaborado por: K.León y A.Arellano, 2020

Gráfica 1. Longitud del Área de Infiltración para residencias con 4 y 6 personas y para hosterías de 30 y 50 personas, considerando el uso simultáneo de aparatos sanitarios.

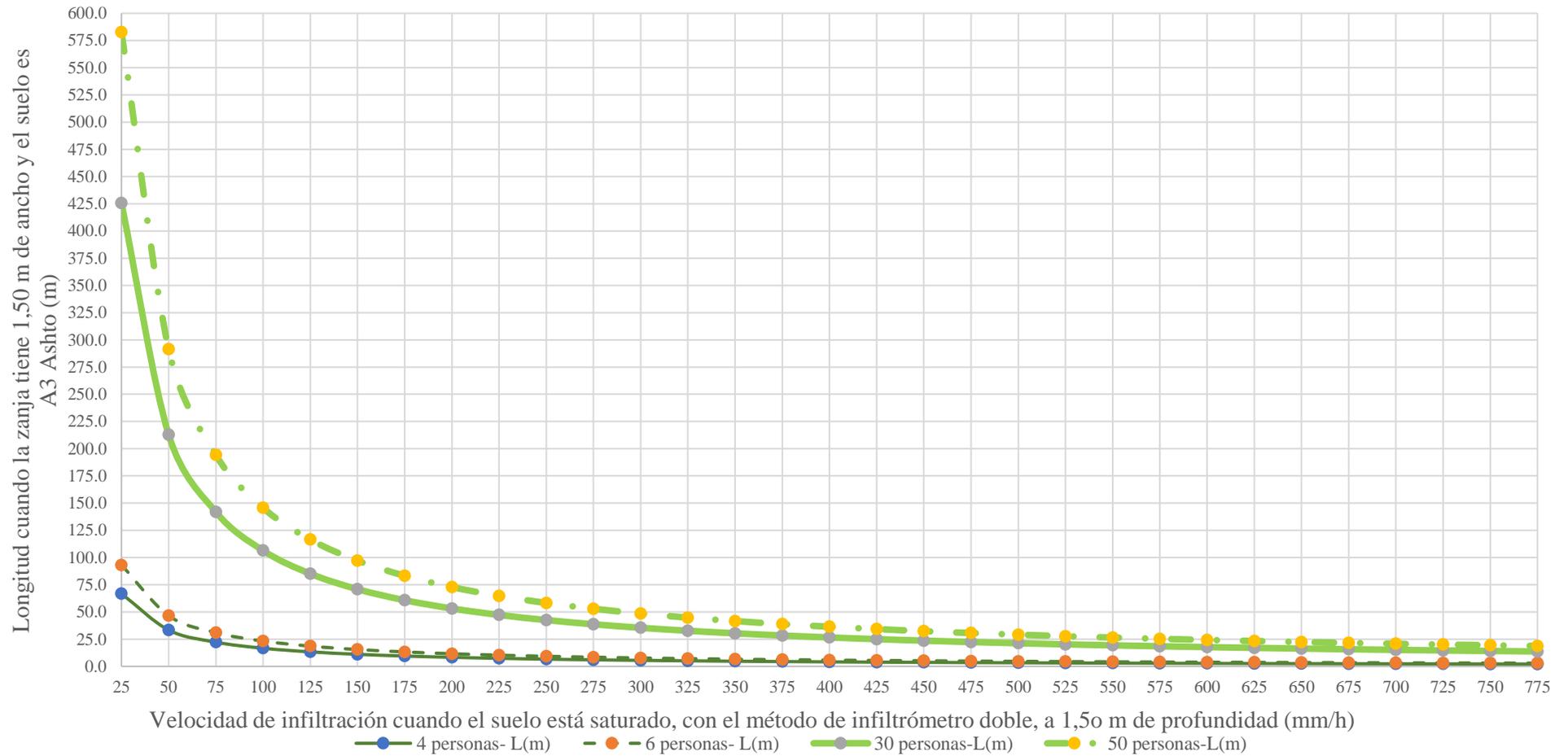
En la Grafica 2 se presenta la cantidad de material en m³ para la arena, grava y piedra bola. La línea que representa las cantidades de arena y grava es la misma debido a que el espesor para ambos materiales es igual a 0.15m (Tabla 7), para el suelo A2.



Elaborado por: K.León y A.Arellano, 2020

Gráfica 2. Volumen de Materiales (m³) para zanjas de infiltración para residencias de 4 y 6 personas y hosterías de 30 y 50 personas, cuando el Suelo es A2 (ASHTO).

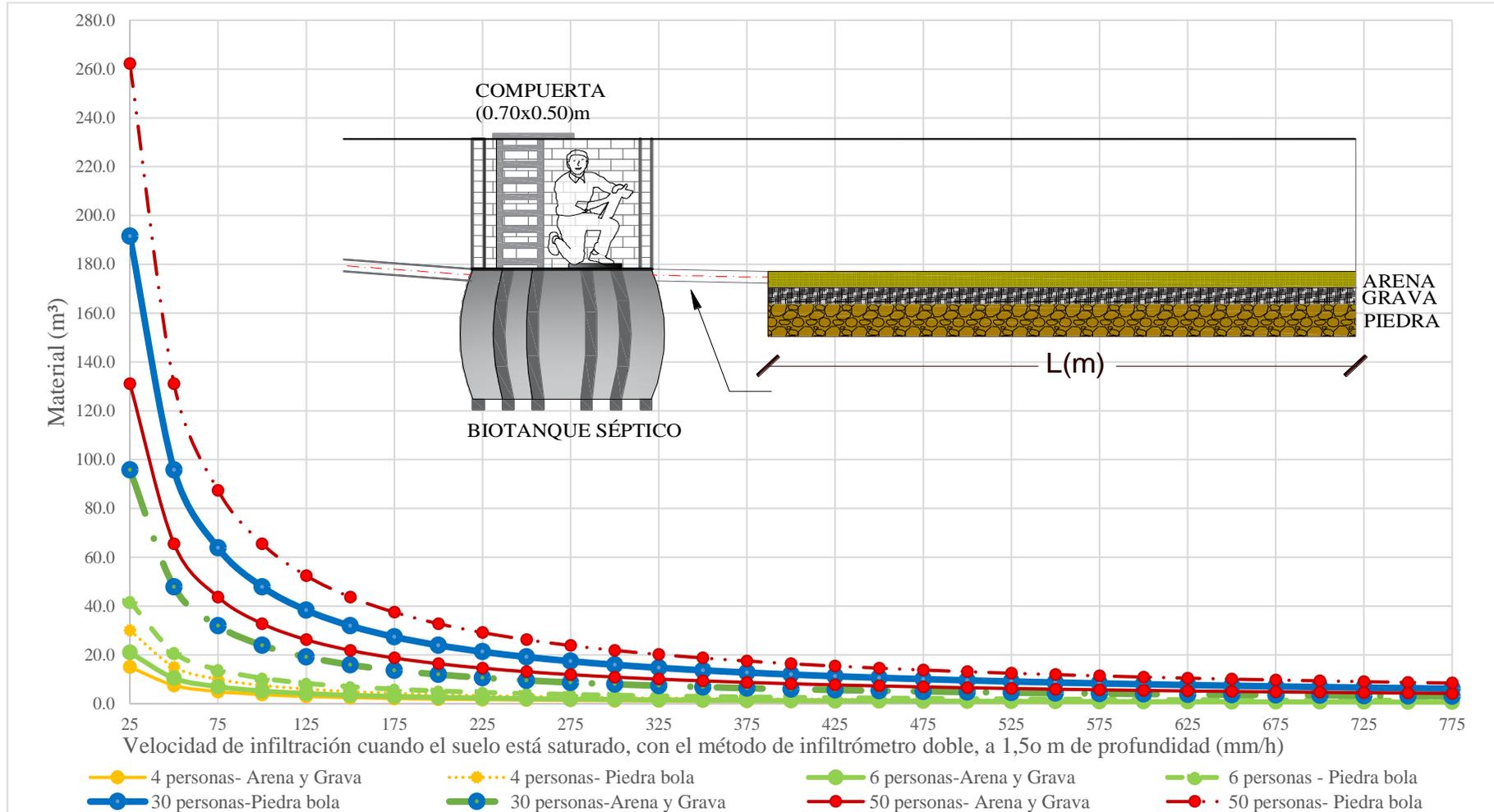
En la Grafica 3 se presenta mediante una gráfica los resultados obtenidos al aplicar el Método de Hunter para determinar longitud de la zanja de infiltración manteniendo un ancho constante de 1.50m para los 4 diferentes casos de 4, 6, 30, 50 personas para el suelo A3.



Elaborado por: K.León y A.Arellano, 2020

Gráfica 3. Longitud del Área de Infiltración para residencias con 4 y 6 personas y para hosterías de 30 y 50 personas, considerando el uso simultáneo de aparatos sanitarios.

En la Grafica 4 se presenta la cantidad de material en m³ para la arena, grava y piedra bola. La línea que representa las cantidades de arena y grava es la misma debido a que el espesor para ambos materiales es igual a 0.15m (Tabla 7), para el suelo A3.

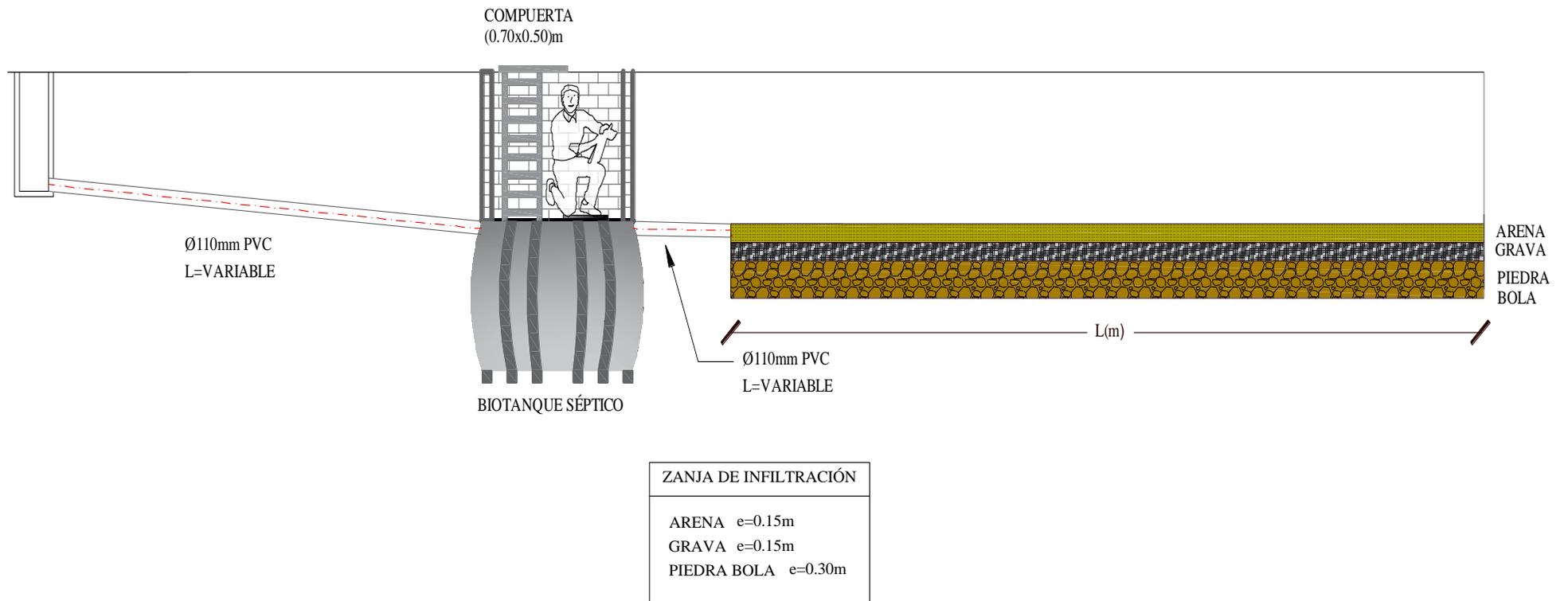


Elaborado por: K.León y A.Arellano, 2020

Gráfica 4. Volumen de Materiales (m³) para zanjas de infiltración para residencias de 4 y 6 personas y hosterías de 30 y 50 personas, cuando el Suelo es A3 (ASHTO).

5.3 Plano tipo

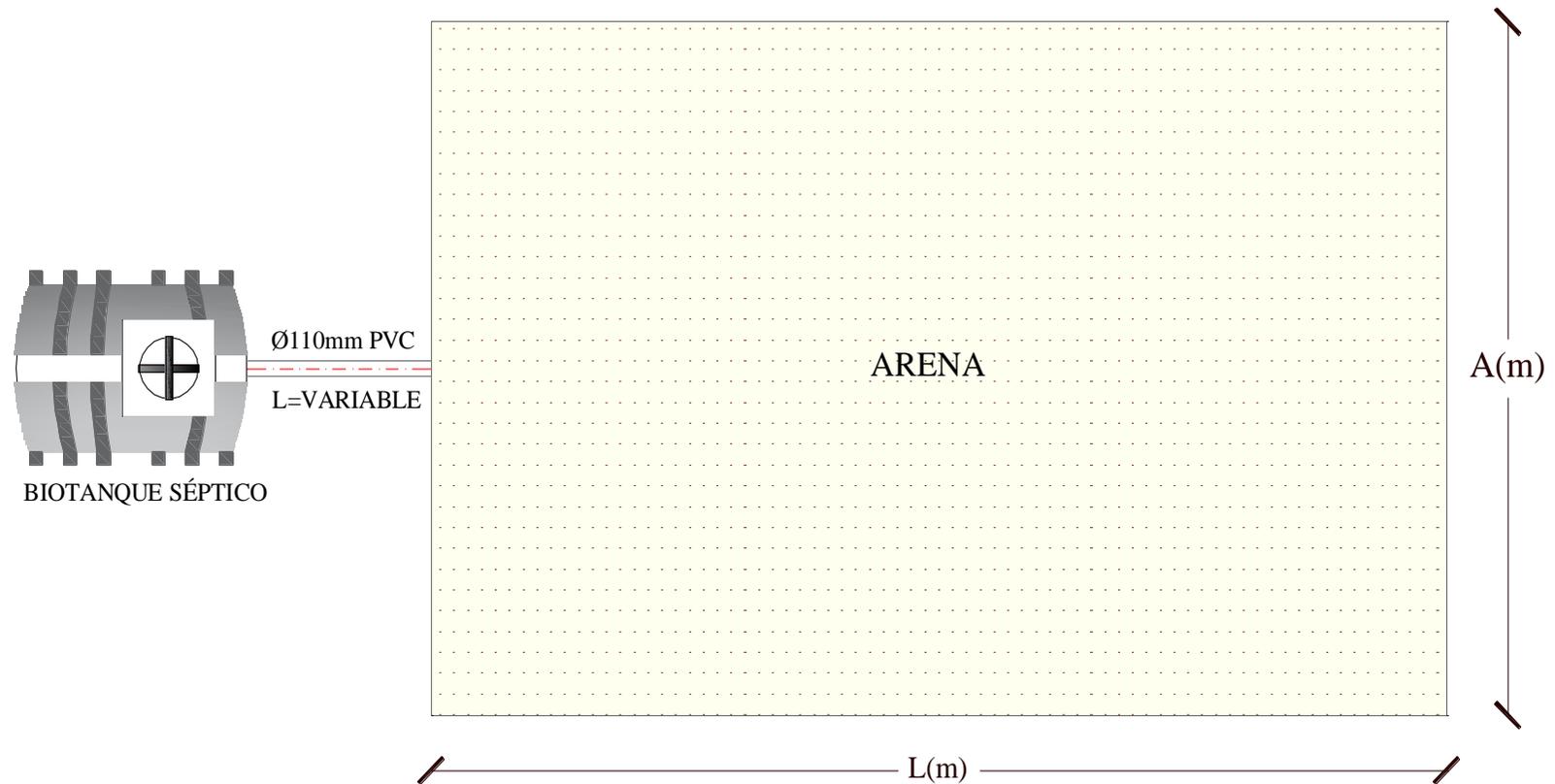
Dibujo Tipo "Área de infiltración en elevación": en el Dibujo 1 se muestra la ubicación de las capas de material filtrante, se presenta espesor utilizado. Previo al área de infiltración se ubica el Biotanque Septico para el cual se sugiere se realice un espacio para poder realizar la limpieza del Biotanque.



Dibujo 1. Área de infiltración en elevación

Elaborado por: K.León, 2020

Dibujo Tipo "Área de infiltración en planta": el Dibujo 2 muestra el Biotanque septico y posterior se encuentra el area de infiltracion.



Dibujo 2. Área de infiltración en planta

Elaborado por: K.León, 2020

5. DISCUSIÓN

La norma AASHTO, en su clasificación a los suelos define al suelo A2 correspondiente a gravas y arenas arcillosas limosas y describe a A3 como arenas finas. Si bien los suelos descritos no presentan igualdad en sus descripciones al realizar los cálculos del área de infiltración se demostró que los valores podrían ser útiles para ambos casos. En las Tablas 9-16 se presentan los valores de área de infiltración para el suelo A2 y en las Tablas 17-24 se presentan los valores para el suelo A3, los resultados son iguales hasta el valor máximo para el suelo A2 de 450(mm/h).

Al comparar las longitudes de los suelos A2 y A3 se presenta una igualdad de valores en todos los casos hasta el valor máximo de la velocidad de infiltración para el suelo. Esto se debe a que inicialmente se delimitan casos con la misma cantidad de personas para los dos distintos puntos de análisis de uso privado y público. Por lo que se tiene un caudal máximo instantáneo igual para los 4 casos en los dos tipos de suelos A2 y A3 y en consecuencia se obtiene áreas de infiltración iguales.

Los datos serán útiles para los dos tipos de suelo hasta el valor máximo de la velocidad de infiltración para A2. En el caso de presentar valores mayores a 450 (mm/h) se podrá hacer uso de los cálculos del área de infiltración para el suelo A3.

En el caso de tener una mayor cantidad de personas a la de los casos planteados sea para uso privado o público se debe realizar el cálculo nuevamente del caudal máximo instantáneo y del área de infiltración. Debido que al tener una mayor cantidad de personas se presenta una mayor demanda y se necesita un área de infiltración mayor.

6. CONCLUSIONES

- Se definió y diseño las áreas de infiltración para los suelos tipo A2 y A3 de la sierra ecuatoriana. Se escogió figuras rectangulares que son más fáciles de excavar a través de máquina. Las áreas de infiltración se localizan a la salida de los biodigestores y la profundidad debe ser establecida de acuerdo con el perfil hidráulico de los diseños sanitarios de la vivienda correspondiente.
- Los diseños tipos contemplan 4 escenarios: 2 del sector residencial y 2 del sector comercial, en el sector residencial se contemplan viviendas habitadas por 4 o 6 personas que es lo más frecuente en la sierra centro del Ecuador. En el sector comercial o turístico se establecieron áreas de infiltración para 30 o 50 personas.
- Se calculó el caudal máximo instantáneo aplicando el método de unidades de descarga (Hunter), se estableció rangos de 25 (mm/h) en la velocidad de infiltración. Para el suelo A2 se inició en 25 mm/h y termino en 450 mm/h, para el suelo A3 inició en 25 mm/h y terminó en 775 mm/h.
- La variación de las velocidades de infiltración incide directamente en la variación de los tamaños de las zanjas de infiltración para los vertidos residuales. Por lo tanto, se utilizaron gráficos que muestran los rangos de velocidades en cada tipo de suelo estudiado, versus la variación de la longitud de una zanja de ancho constante. Esto también permite calcular proporcionalmente la cantidad de material filtrante en la zanja de infiltración.
- Para complementar este estudio se presentan los planos tipo, en planta y en elevación, que contienen la implantación y los detalles constructivos de la zanja de infiltración. El orden de las capas de material filtrante es arena, grava y piedra bola en forma descendente, para impedir que el suelo de relleno migre y tapone la sección filtrante.

7. RECOMENDACIÓN

Realizar un estudio de suelos para identificar el tipo de suelos, debido a que los resultados de este trabajo se pueden aplicar únicamente en los suelos tipo A2 y A3. Se recomienda efectuar el ensayo del infiltrómetro para identificar la velocidad de infiltración del suelo y en conjunto con el caudal máximo instantáneo (valor proporcionado) se puede utilizar los valores de área de infiltración y cantidad de materiales filtrantes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anangonó, M. (2016). *Velocidad de infiltración del agua en el sub-suelo de los barrios San Antonio de Padua y San Antonio vía a Baños, pertenecientes a la parroquia Juan de Velasco del cantón Riobamba, asociado a la granulometría y a la textura de sus componentes* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Barrigas Espinoza, Z., & Pilamunga, A. (2017). *Velocidad de infiltración del agua en el sub-suelo de las comunidades Tubiquizo y San José de la Comuna, perteneciente a la parroquia Chillanes, cantón Chillanes, provincia de Bolívar, asociado a la granulometría y a la textura de sus componentes* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Carrillo, A., & Gonzáles, A. (2018). *Velocidad de infiltración del agua en el sub-suelo de las comunidades batzacon y balzayan de la parroquia de San Andrés cantón Guano, asociado a la granulometría y la textura de sus componentes* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Chafla, J. (2020). *Velocidad de infiltración en suelos frecuentes de la sierra central del Ecuador de acuerdo a sus propiedades mecánicas* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Flores, K., & Quisnancela, E. (2016). *Velocidad de infiltración del agua en el sub-suelo de Tamaute y Cubijíes, pertenecientes a los cantones Guano Riobamba, respectivamente, asociado a la granulometría y a la textura de sus componentes* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

García, G. (2016). *Diseño de un Biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la parroquia de Tumbaco ejemplificado en los barrios Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa* (tesis pregrado). Universidad San Francisco De Quito, Quito, Ecuador.

Hernández, A., Hernández, A., & Galán, P. (2004). *Manual de Depuración Uralita* (p.429).

Lema, C., & Allauca, J. (2016). *Velocidad de infiltración de agua en el subsuelo de las parroquias Veracruz y Madre Tierra, cantones Pastaza y Mera. provincia de Pastaza* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Montero, J., & Jiménez, J. (2016). *Velocidad de infiltración del agua en el sub-suelo de las comunidades El Rosario Los Elenes y Yuigán Jesús del Gran Poder, pertenecientes a la parroquia El Rosario del cantón Guano, asociado a la granulometría y a la textura de sus componentes* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

TULSMA. (2012). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003*.

Ortega F., & Auquilla, L. (2015). *Velocidad de Infiltración del Agua en el Sub Suelo de las Parroquias Calpi y Licán, Cantón Riobamba*. (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Plastigama. (2018). *Sistema para Disposición de Aguas Residuales Domesticas*.
<https://drive.google.com/file/d/0By469o08u6WkWW9qMzJUMk1mQUE/view>

Rotoplast, S. (2013). *Soluciones para mejora de saneamiento Biodigestor Autolimpiable Manual de instalación y mantenimiento*. www.rotoplas.com

Senplades. (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*.

<https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>

Vaca, J. (2016). *Velocidad de infiltración del agua en el sub-suelo de los barrios Langos El rosario del cantón Guano, y San Pedro Las Abras perteneciente a la parroquia Juan de Velasco cantón Riobamba asociado a la granulometría y a la textura de sus componentes* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.