



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

Título

Determinación de velocidades de infiltración en subsuelos de la comunidad Airón y
San Isidro para el diseño de pozos sépticos

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Gunsha Zula, Gustavo Adolfo
Lema Sucuzhañay, Johan Jorge

Tutor:

MsC. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

Riobamba, Ecuador, 2023

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Gustavo Adolfo Gunsha Zula**, con cédula de ciudadanía **0604531541**, y **Johan Jorge Lema Sucuzhañay**, con cédula de ciudadanía **1500958291** autores del trabajo de investigación titulado: “**DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE INFILTRACIÓN EN SUBSUELOS DE LA COMUNIDAD AIRÓN Y SAN ISIDRO PARA EL DISEÑO DE POZOS SÉPTICOS**”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



Gustavo Adolfo Gunsha Zula

C.I: 060453154-1



Johan Jorge Lema Sucuzhañay

C.I: 150095829-1

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez, MsC** catedrático adscrito a la Facultad de ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación **Determinación de velocidades de infiltración en subsuelos de la comunidad Airón y San Isidro para el diseño de pozos sépticos**, bajo la autoría de Gustavo Adolfo Gunsha Zula y Johan Jorge Lema Sucuzhañay; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 5 días del mes de mayo de 2023



Ing. María Gabriela Zúñiga

C.I: 0604004945

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quiénes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación "DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE INFILTRACIÓN EN SUBSUELOS DE LA COMUNIDAD AIRÓN Y SAN ISIDRO PARA EL DISEÑO DE POZOS SÉPTICOS" por Gustavo Adolfo Gunsha Zula, con cédula de identidad número 060453154-1 y Johan Jorge Lema Sucuzhañay, con cédula de identidad número 150095829-1, bajo la tutoría de Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez MSc.; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 05 de junio de 2023

Ing. Alfonso Arrellano, Mgs
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Nelson Patiño, MSc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Jessica Brito, MSc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **GUSTAVO ADOLFO GUNSHA ZULA** con CC: 0604531541 y **JOHAN JORGE LEMA SUCUZHAÑAY** CC: 1500958291, estudiantes de la Carrera **INGENIERIA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE INFILTRACIÓN EN SUBSUELOS DE LA COMUNIDAD AIRÓN Y SAN ISIDRO PARA EL DISEÑO DE POZOS SÉPTICOS"**, cumple con el 1 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio URKUND, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 06 de junio de 2023

Ing. María Gabriela Zúñiga, MsC
TUTOR(A)

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino, por brindarme las mejores herramientas en los más difíciles momentos y que me permitieron llegar a esta etapa de mi vida. A mi padre Segundo Gustavo, de quien aprendí, que, si queremos seguir adelante, debemos trabajar fuerte y nunca rendirnos. A mi madre María Piedad, por haber sido esa amiga, ese apoyo, ese primer amor y de quien debo resaltar su fortaleza ante los más difíciles momentos. A mi hermano José Ignacio, por su apoyo incondicional en todas mis aventuras, por creer en mí y brindarme su confianza. A todos esos amigos/as, confidentes y compañeros de la vida, esto se lo dedico a ustedes por formar parte de esta fabulosa experiencia.

Gustavo Adolfo Gunsha Zula

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a Dios por darme la fortaleza de llevar a cabo este proceso de titulación. A mis padres Alicia y Jorge, quienes me han enseñado e inculcado valores demostrando la persona que soy ahora, además me han apoyado y dado fortaleza en seguir adelante. A mis hermanos Andrés Alexander y Devis Bacner quienes han estado apoyándome toda mi vida. Finalmente, amigos y las personas que me han acompañado durante mi vida universitaria.

Johan Jorge Lema Sucuzhañay

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento es una de las muestras más nobles de la humildad y es por eso, por lo que debo iniciar dando gracias a ese ser supremo (Dios) que supo bendecir mi camino durante toda esta etapa de mi vida y a quien le debo, el haberme brindado a mis padres Segundo Gustavo y María Piedad, al igual que mi hermano y amigo José Ignacio, a ellos un agradecimiento profundo, quienes a pesar de las dificultades siempre supieron darme lo mejor y estar para mí. A cada uno de ustedes, quienes están presentes en este momento, un Dios le pague por formar parte de todo este proceso y de un sueño que aún continúa.

Gustavo Adolfo Gunsha Zula

A Dios por darme la oportunidad de poder estudiar una carrera universitaria, dándonos salud y fortaleza. A mis padres Jorge y Alicia, ya que gracias a su esfuerzo y apoyo he podido llegar hasta esta instancia. A la Universidad Nacional de Chimborazo por formarnos como profesionales, un agradecimiento en especial a cada uno de los docentes que a través de todos estos años me formaron académicamente brindándome su conocimiento. Nuestra gratitud a la Ing. María Gabriela Zúñiga por guiarnos en el desarrollo de este proyecto, así como agradecer al Ing. Alfonso Arellano por instruirnos de manera desinteresada con consejos siendo estos los correctos.

Johan Jorge Lema Sucuzhañay

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORIA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNA

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL; ÍNDICE DE TABLAS; ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Introducción	15
1.2. Planteamiento del problema.....	16
1.3. Justificación	16
1.4. Objetivos	16
1.4.1. Objetivo General	17
1.4.2. Objetivos Específicos	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Conceptos esenciales	18
2.1.1. Aguas residuales	18
2.1.2. Fosas Sépticas	18
2.1.3. Digestión anaerobia	18
2.1.4. Digestión aerobia	18
2.1.5. Lodos Fecales	18
2.1.6. Límite líquido (LL, wL).....	18
2.1.7. Límite plástico (LP, wP)	18
2.1.8. Sistema AASHTO.....	18

2.1.9. Infiltración Doble Anillo	19
2.2 Estado del arte.....	19
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	21
3.1 Enfoque de Investigación.....	21
3.2 Tipos de Investigación	21
3.3 Diseño de investigación	21
3.4 Nivel de Investigación	21
3.5 Técnicas de recolección de datos.....	22
3.6 Población de estudio y muestra	22
3.7 Métodos de análisis, y procesamiento de datos	22
3.8 Esquema de la metodología aplicada.....	23
3.9 Selección de calicatas y toma de muestras	23
3.10 Ensayo de infiltración utilizando el infiltrómetro de cilindro doble.....	24
3.11 Ensayos de laboratorio.....	26
3.11.1 Ensayo de Granulometría	26
3.11.2 Límite Líquido.....	27
3.11.3 Límite Plástico.....	28
3.11.4 Índice de Plasticidad.....	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Resultados	30
4.1.1 Comunidad de Airón.....	30
4.2 Discusión.....	37
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
5.1. CONCLUSIONES	39
5.2 RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nomenclatura para la clasificación de suelos AASHTO	19
Figura 2. Esquema perforación de calicata.....	20
Figura 3. Esquema de la metodología aplicada	23
Figura 4. Colocación de infitrómetro en la gaveta de excavación.....	24
Figura 5. Comprobación de medidas de calicatas	24
Figura 6. Comprobación de nivel y profundidad, anillo doble.....	25
Figura 7. Recolección de datos, velocidades de infiltración	25
Figura 8. Secado de las muestras obtenidas en campo	26
Figura 9. Tamices para ensayos de granulometría	26
Figura 10. Equipo de Casa Grande	27
Figura 11. Muestra en copa de Casa Grande	28
Figura 12. Medición de muestras, límite plástico.....	28
Figura 13. Velocidades de infiltración vs tipos de suelos / Comunidad Airón	32
Figura 14. Velocidades de infiltración vs tipos de suelos / Comunidad San Isidro	35
Figura 15. Velocidad de infiltración de las parroquias Airón y San Isidro	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de resumen del suelo Tipo A – 1 (Airón).....	30
Tabla 2. Tabla de resumen del suelo Tipo A – 2 (Airón).....	30
Tabla 3. Tabla de resumen del suelo Tipo A – 3 (Airón).....	31
Tabla 4. Tabla de resumen del suelo Tipo A - 1 (San Isidro)	33
Tabla 5. Tabla de resumen del suelo Tipo A - 2 (San Isidro)	33
Tabla 6. Tabla de resumen del suelo Tipo A - 3 (San Isidro)	34
Tabla 7. Análisis de normalidad de la comunidad Airón	36
Tabla 8. Análisis de normalidad de la comunidad San Isidro	37

RESUMEN

En el Ecuador, una de las principales problemáticas de los últimos años, ha sido la falta de un sistema de alcantarillado pluvial y sanitario que permita mejorar la calidad de vida de las zonas rurales, claro ejemplo es la comunidad de Airón y San Isidro, perteneciente al cantón Chambo, las mismas que durante varios años han arrojado las aguas residuales provenientes de sus viviendas a vertientes naturales o zonas destinadas a la ganadería. Actualmente, los habitantes de estas comunidades han visto la necesidad de usar pozos sépticos, letrinas o simplemente zanjas de infiltración para la eliminación de residuos orgánicos e inorgánicos, de tal manera que a través de esta investigación se obtuvo las diferentes velocidades de infiltración necesarias para el diseño de los mismos, este valor es recolectado en condiciones saturadas del suelo con ensayos in situ y las propiedades mecánicas del mismo a través de ensayos de laboratorio como límites de Atterberg y granulometría, hasta conseguir su correcta clasificación en la AASHTO, información que será utilizada por Ingenieros Civiles, que busquen crear un diseño óptimo de zanjas de infiltración o pozos sépticos en estas zonas. La presente investigación corresponde a un enfoque mixto, por la obtención de datos cuantitativos y cualitativos, donde una vez procesado cada uno de los datos recolectados, se logró conocer que el predominio de tipos de suelo en el sector de análisis corresponde a A-1-A, A-2-4, A-3 con una velocidad de infiltración que esta entre 25.50 a 219 mm/ h, para las dos comunidades.

Palabras claves: Velocidad de infiltración, Airón, San isidro, AASHTO, limites líquido y plástico

Abstract

In Ecuador, one of the main problems of recent years has been the lack of a rainwater and sanitary sewerage system that allows for improving the quality of life in rural areas. A clear example is the Airón and San Isidro community, belonging to the Chambo canton. People have thrown sewage water from their homes to natural springs or areas destined for cattle raising for several years. Currently, the inhabitants of these communities have realized the need to use septic tanks, latrines, or simply infiltration ditches to eliminate organic and inorganic waste in such a way that the different infiltration rates necessary for the design of the same were obtained through this research. This value was collected in saturated ground conditions with "in situ tests" and their mechanical properties. It was carried out through tests laboratory as Atterberg limits and granulometry until achieving its correct classification in the AASHTO, and this information will be used by Civil Engineers who seek to create an optimal design of infiltration trenches or septic tanks in these areas. The present research corresponds to a mixed approach due to quantitative and qualitative data collection, where once the collected data is processed, it was possible to know that the predominance of soil types in the analysis sector corresponds to A-1-A, A-2-4, A-3 with an infiltration speed that is between 25.50 to 219 mm / h, for both communities.

Keywords: Infiltration rate, Airón, San isidro, AASHTO, liquid and plastic limits



KERLY TERESA
CABEZAS LLERENA

Reviewed by:

Mgs. Kerly Cabezas

ENGLISH PROFESSOR

C.C 0604042382

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Debido a la alta tasa de crecimiento poblacional en los últimos años en el Ecuador y la migración existente del campo a la ciudad, se ha registrado diferentes asentamientos a los alrededores de las ciudades convirtiéndose en zonas rurales que acogen a varias familias de escasos recursos. Carrasco (2019) menciona que aquellos individuos migrantes del campo a la ciudad corresponden al 43.25%. Guiuseppe (2014) menciona que, los sistemas de alcantarillado son parte del traslado de aguas residuales de una ciudad para su posterior tratamiento. De tal manera, ciudades o poblaciones que no cuenten con el servicio de alcantarillado son llevados a crear improvisados métodos para la eliminación de aguas residuales, donde estos desechos, generan contaminación por no ser tratados y ser arrojados a pozos de agua, vertientes naturales entre otras. La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2022) asegura que, durante el año 2020, únicamente el 54% del mundo, mantenía un acceso a obras civiles correspondiente a alcantarillado sanitario y pluvial, de forma eficiente, bajo los estándares de calidad apropiados.

Por otra parte, (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2019) mencionan que el 62% de la población que pertenece a las zonas urbanas cuentan con conexiones de alcantarillado, en comparación con las zonas rurales que llegan al 9% de cobertura de alcantarillado. Asimismo, es importante realizar estudios que permitan al Ingeniero Civil obtener valores de velocidades de infiltración en zanjas seleccionadas para su posterior análisis y que son datos necesarios en el diseño de alcantarillado nivel 1 (pozos sépticos); una vez que se conozcan este dato se podrá dimensionar la profundidad y capacidad filtrante del suelo para evitar un sobredimensionamiento y un gasto excedente de recursos.

En este punto, el suelo se utilizará como un filtro natural siendo de vital importancia conocer su tasa de infiltración, la dirección del flujo del agua, la caracterización del suelo, entre otros factores que están relacionados directamente con la infiltración del agua en el subsuelo y que permite la evacuación de las aguas residuales proveniente de viviendas, en tiempos razonables que disminuyan la posibilidad de riesgos en la salud de las personas que viven en estas zonas (Orteda & Auquilla, 2015).

Por lo tanto, una vez analizada cada una de las zonas rurales del Cantón Chambo, provincia de Chimborazo se ha seleccionado a las comunidades de Airón y San Isidro, por su notoria escasez de alcantarillado, al igual que su amplio territorio rural y su acelerado crecimiento poblacional. El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Chambo [GADM Chambo] (2022) menciona que, en las comunidades destinadas para el estudio, según los datos registrados, únicamente 11 familias de 147 tienen acceso al sistema de alcantarillado, por lo cual se ha observado como necesidad, la creación de pozos sépticos y zanjas de infiltración que pueden ser manejar el suelo como un filtro natural para la descomposición de los residuos orgánicos, para lo cual, el Ingeniero Civil a cargo deberá conocer las características físicas e hidráulicas del suelo, como: la clasificación según la AASHTO y la capacidad de infiltración máxima del suelo.

1.2. Planteamiento del problema

Según la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo [ENEMDU] (2022) tomando en cuenta los registros del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en su último registro realizado en el año 2021, se concluyó que, en el área urbana durante el periodo de diciembre del 2021 la pobreza alcanzó el 20.8%, mientras que, en el área rural la pobreza ascendió a 42.4%. Considerando como un aspecto significativo, Cabrera et. al (2014) mencionan que la disponibilidad de alcantarillados y pozos sépticos en los cantones más pobres es de 43% a comparación del 76% de los cantones no pobres.

León (2020) menciona que, entre las necesidades de los ecuatorianos se encuentra contar con un sistema de alcantarillado Nivel 3, donde su baja disponibilidad es del 52.66% en la provincia de Chimborazo. Esta problemática, creada principalmente por la migración del campo – ciudad, ha conllevado que la población, tenga que improvisar ciertos métodos de eliminación de aguas residuales, lo cual ha desencadenado en una serie de inconvenientes en las zonas rurales de la provincia, una de ellas es la contaminación de vertientes naturales o de espacios verdes, ya que en estas áreas se depositan dichos residuos, y por ende, se produce la generación de ciertas enfermedades dermatológicas para el ser humano.

De tal manera, que se ha visto la necesidad utilizar ciertos métodos que brinden una solución a esta problemática, como es, el correcto diseño de pozos sépticos para el tratamiento de aguas residuales con la ayuda de zanjas de infiltración, siendo necesario conocer las características mecánicas de suelo, al igual que sus velocidades de infiltración.

1.3. Justificación

La presente investigación, pretende obtener velocidades de infiltración in situ de las comunidades Airón y San Isidro, zonas rurales andinas del Ecuador pertenecientes al cantón Chambo; además, de conocer la granulometría y textura del suelo a través de ensayos de laboratorio, para su posterior clasificación. De tal manera, que la población existente en este lugar pueda tomar estos datos de referencia para posibles diseños de pozos sépticos, utilizando el suelo como un filtro natural para la eliminación de aguas residuales, mitigando los daños y contaminación existente en vertientes naturales o zonas verdes y por ende, mejorar la calidad de vida de cada uno de los moradores del sector convirtiéndose en los beneficiarios directos de este proyecto de investigación. Por otro lado, se brindará una herramienta de estudio para posibles investigaciones relacionadas a la Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, que se considera como beneficiaria indirecta.

Dicha investigación, cuenta con la apertura de cada uno de los involucrados, como equipo técnico y administrativo de la carrera de Ingeniería Civil, el acceso a las dos comunidades mencionadas y de los recursos o insumos necesarios para realizar los ensayos en campo y en laboratorio, lo cual, hace factible su realización.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Determinar la velocidad de infiltración del agua en el subsuelo de las comunidades Airón y San Isidro, pertenecientes al cantón Chambo, mediante la granulometría y la textura de sus componentes.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar parcelas de estudio que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión en los lugares poblados de las comunidades Airón y San Isidro.
- Determinar las velocidades de infiltración del subsuelo de las comunidades Airón y San Isidro, utilizando el infiltrómetro de cilindro doble, a partir del análisis de 15 calicatas por cada comunidad de estudio.
- Identificar el tipo de granulometría y textura de suelo, mediante ensayos de laboratorio realizados a cada muestra de estudio obtenidas in situ, para su posterior clasificación según la AASHTO.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Conceptos esenciales

2.1.1. Aguas residuales

Muñoz & Orellana (2019) mencionan que, las aguas residuales se producen básicamente en cuatro fuentes principales: agua doméstica, agua industrial, agricultura y escorrentía de aguas pluviales.

2.1.2. Fosas Sépticas

Muñoz & Orellana (2019) expresan que regularmente las fosas sépticas son tanques rectangulares o cilíndricos herméticos, fabricados en materiales de hormigón armado o piedra; el agua residual es conducida hasta llegar a un desarenador, rejilla y posterior se incorpora a las fosas conformada por dos cámaras.

2.1.3. Digestión anaerobia

(Departamento de Ingeniería, 2006 como se citó en Muñoz & Orellana, 2019) refiere que, cuando se habla de un proceso de digestión anaeróbica, describe un proceso que se realiza sin oxígeno, contemplada en dos etapas, la primera etapa produce ácido volátil y la segunda etapa, las bacterias anaeróbicas producen el gas metano del ácido volátil.

2.1.4. Digestión aerobia

(Departamento de Ingeniería, 2006 como cito Muñoz & Orellana, 2019) afirma que, es un proceso que se realiza con la disposición de oxígeno en un transcurso de tiempo, en el que la mezcla de lodos de tratamiento biológico y lodos asimilables primarios estimula el crecimiento de microorganismos aerobios y provoca la muerte de las células por sí mismas.

2.1.5. Lodos Fecales

Calle & Padrón (2020) menciona que en las fosas sépticas utilizadas como tratamiento primario se forma un depósito por lo general llamado lodo; además, refiere que los lodos fecales (LF) surgen de diferentes tipos de letrinas descentralizadas que no están enlazadas a alcantarillas.

2.1.6. Límite líquido (LL, wL)

Según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS,2013) menciona que es la capacidad de humedad del suelo, enunciado en porcentaje, cuando el suelo se encuentra en el límite entre los estados líquido y plástico.

2.1.7. Límite plástico (LP, wP)

Según INVIAS (2013) expresa que la capacidad del suelo en contenido de agua, expresado como porcentaje, cuando el suelo está en el límite entre plástico y semisólido.

2.1.8. Sistema AASHTO.

Según Ramírez (2021) menciona que el sistema de clasificación de suelos se conforma en dos grupos, el primero para la conformación de materiales de granulares finos subclasificados en A-1, A-2, A-3 y el otro para materiales de granulares grueso, aquellos A-4, A-5, A-6 y A-7

Figura 1. Nomenclatura para la clasificación de suelos AASHTO

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N°200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5(*)
Porcentaje que pasa: Tamiz N°10 (2mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tamiz N°40 (0.425mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	-	-	-	-	-	-	-	-
Tamiz N°200 (0.075mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por el tamiz N°40											
Límite líquido (LL)	-	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad (IP)	6 máx.	-	No Plástico	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipo de uso del material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características de capa y subrasante	Excelente a bueno							Pobre a malo			

Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

2.1.9. Infiltración Doble Anillo

Según la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales [ASTM D 3385 - 03] (2003) manifiesta que el método del infiltrómetro de doble anillo consiste en conducir dos cilindros abiertos, uno dentro del otro, en el suelo, llenando parcialmente los anillos con agua, para mantener el líquido a un nivel constante.

2.2 Estado del arte

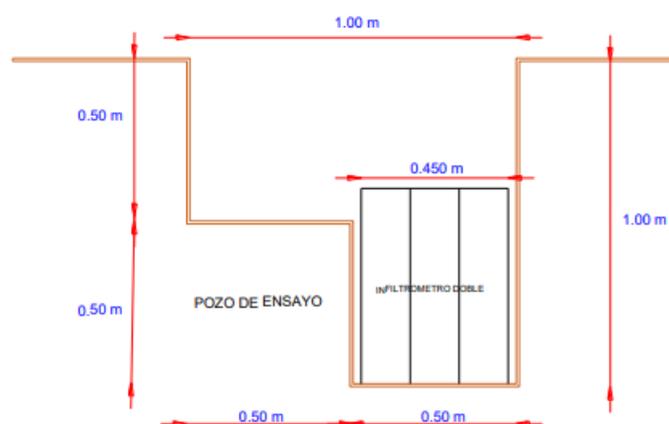
Estudios a nivel mundial mencionan que el déficit del abastecimiento de servicios básicos en zonas rurales a una proyección al 2030 serán bajos, incluido el servicio de distribución de aguas residuales. El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF] (2021), señala que ocho de cada diez personas pertenecientes a zonas rurales, no disponen de un servicio de alcantarillado sanitario y pluvial, siendo el 44% de la población rural, quienes lo poseen.

Moreno & Hernández (2021) mencionan que, debido al ausentismo de un sistema de alcantarillado, la población ha optado por recurrir a diseños o sistemas de pozos sépticos para la eliminación de aguas negras; sin embargo, estos sistemas no cumplen con normas de calidad que permitan la descomposición de los residuos orgánicos e inorgánicos, puesto que la misma zona de dicho pozo, ocurre tanto la descomposición como la infiltración al terreno, dando lugar a la contaminación del subsuelo.

Ugarriza & Quintero (2019) afirman que para la realización de perforaciones que ayuden a la obtención de velocidades de infiltración, las medidas mínimas deberán ser de 0.30 m x 0.30 m con una profundidad acorde a los criterios de análisis del investigador. En el caso de la presente investigación, se realizó la excavación de una calicata de 1 m x 1 m x 0.5 m y se ubicó dentro una nueva calicata de 0.5 m x 0.5 m x 0.5 m, que permitió el ingreso del infiltrómetro de anillo doble.

Ortega & Auquilla (2017) manifiestan que el infiltrómetro de anillo doble, debe estar constituido por dos cilindros de PVC o metal, con un diámetro exterior de 450 mm y un diámetro interior de 250 mm, para estos dos cilindros la altura deberá ser de 60 cm.

Figura 2. Esquema perforación de calicata



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Vaca (2016), menciona que las distancias mínimas y máximas para la toma de muestras, deberá ser entre 30 m y 50 m de punto a punto, afirmando que, dentro de este rango de distancia, el suelo puede cambiar sus características permitiendo obtener diferentes tipos de suelo.

Flores & Quisnancela (2016) manifiestan que, para un buen diseño de pozos sépticos, se debe considerar la capacidad que tiene el suelo respecto a su velocidad de infiltración, de tal manera que se pueda garantizar la eliminación de residuos orgánicos, la evacuación de aguas servidas en un tiempo razonable y en zonas del suelo que no perjudiquen al medio ambiente ni mucho menos cree daños en la salud de la población.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Enfoque de Investigación

Enfoque mixto

Esta investigación, corresponde a un enfoque mixto, es decir, recogerá datos cuantificables en campo para la medición de la capacidad de absorción del suelo, registrando el tiempo y la cantidad de agua filtrada in situ.

Por otro lado, se obtendrán las principales características del suelo como su textura y granulometría, es decir, datos cualitativos, que permitirán clasificar los diferentes tipos de suelo a partir de ensayos de laboratorio.

3.2 Tipos de Investigación

De campo:

Se ha realizado toma de datos in situ, en las comunidades de Airón y San Isidro, pertenecientes al Cantón Chambo, la obtención se ha realizado en condiciones saturadas del suelo para garantizar que los datos recolectados reduzcan su margen de error.

De laboratorio:

Puesto que, se lo ha realizado bajo condiciones controladas, en los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, garantizando que los datos obtenidos sean correctos para la posterior clasificación de los suelos obtenidos.

Bibliográfica:

Se realizó una revisión bibliográfica, en el repositorio digital de la Universidad Nacional de Chimborazo, al igual que en fuentes primarias obtenidas de Research, ProQuest, Google Académico y que guardan relación con el tema de investigación, con la finalidad de brindar información científica para el estudio.

3.3 Diseño de investigación

Experimental

Se trata de un estudio experimental por la manipulación y experimentación de las variables, realizando ensayos de laboratorio a muestras obtenidas en campo de cada tipo de suelo.

3.4 Nivel de Investigación

Descriptivo

Se recogerá las principales características del suelo, a partir de ensayos de laboratorio, describiendo su granulometría y textura del suelo, al igual que las velocidades de infiltración que cada una de ellas posee.

Variables

Variables Independientes:

La granulometría y textura del suelo, se conocerá como variables independientes, las mismas que serán características únicas de las muestras y que se analizarán en laboratorio.

Variables Dependientes:

La velocidad de infiltración de agua, en los subsuelos de las comunidades de Airón y San Isidro, es la variable dependiente, tomada en campo y se medirá en mm/h.

3.5 Técnicas de recolección de datos

El método de anillo doble será utilizado para la obtención de las diferentes velocidades de infiltración en cada uno de los puntos de ensayo, en los cuales, a partir de formatos preestablecidos, se recolectará los principales datos de tiempo e infiltración de agua. Además, los diferentes ensayos de granulometría y límites de Atterberg, proporcionarán los datos necesarios en laboratorio, realizados bajo la Norma INEN - 696 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

3.6 Población de estudio y muestra

La población de estudio corresponde a las comunidades de Airón y San Isidro, en las cuales se realizaron 30 calicatas para la obtención de las muestras de suelo, 15 por cada comunidad de análisis, las muestras se recolectaron a través de un muestreo aleatorio simple, tomando en cuenta los criterios de inclusión y exclusión planteados.

Criterios de inclusión

- En base a investigaciones previas, cada punto de análisis será tomado con una distancia no menor a los 50 m entre punto y punto, esto debido a que las características del suelo pueden llegar a variar dentro de esta distancia, permitiendo, hallar diferentes tipos de suelos (Flores, 2016).
- Por necesidad de la población y su crecimiento poblacional, el área de cobertura, que se ha tomado en cuenta, son aquellas viviendas que se encuentran junto a la vía de acceso de la comunidad.
- La previa aprobación o acogida de los propietarios de las viviendas o área de estudio.

Criterios de exclusión

- Aquellas áreas, en las cuales no existen viviendas y el suelo únicamente se utiliza para la ganadería o agricultura.

3.7 Métodos de análisis, y procesamiento de datos

Métodos de estudio

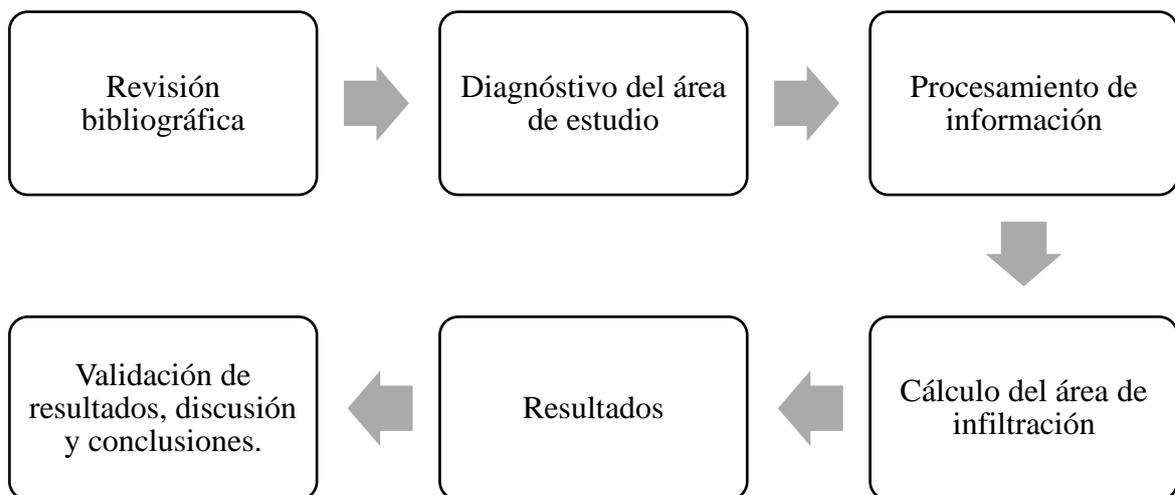
- **Método descriptivo:** Consiste en brindar una respuesta a las diferentes interrogantes planteadas en la investigación, al describir las principales

características del suelo, a partir de las velocidades de infiltración tomadas in situ y a los ensayos de laboratorio realizadas a las 30 muestras.

- **Método teórico:** Debido que se realizó una revisión bibliográfica de investigaciones previas, relacionadas a la velocidad de infiltración, en suelos de la región sierra del país, y con ello conocer la capacidad de absorción del suelo.
- **Método experimental:** Se trata de la experimentación de las variables, obtenidas bajo métodos de laboratorio preestablecidos, en condiciones controlables y medibles para su posterior análisis.
- **Método empírico de medición:** A partir del método de anillo doble y de ensayos de granulometría, límites líquidos y plástico, se ha obtenido datos e información numérica.
- **Método Estadístico:** Con la finalidad de evaluar los datos de velocidades de infiltración obtenidos in situ, se considera necesario realizar un análisis de normalidad optando por la prueba estadística de Shapiro – Wilk, ideal en muestras menores a 50 datos, la misma que al plantear dos hipótesis: una hipótesis nula, que afirma la distribución de los datos es normal y una hipótesis alterna que estima que la distribución de los datos no es normal.

3.8 Esquema de la metodología aplicada

Figura 3. Esquema de la metodología aplicada



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

3.9 Selección de calicatas y toma de muestras

Para la obtención de las calicatas y toma de muestras, se utilizarán los criterios de inclusión y exclusión, comentados previamente en la población de estudio y muestra, de tal manera, que los pasos que se han llevado a cabo son:

Solicitud de ingreso a las autoridades, dirigentes y miembros de las comunidades de Airón y San Isidro, con la finalidad de conocer su extensión.

Se ubicó y georreferenció cada uno de los 15 puntos a analizar, teniendo en cuenta que se lo realizó bajo un muestreo aleatorio simple, cumpliendo los criterios de inclusión y exclusión.

Una vez seleccionada cada parcela, es necesario la excavación de las gavetas de 1.00 m x 1.00 m x 0.5 m, a la vez el agujero de ensayo de 0.50 m x 0.50 m x 0.50 m, obteniendo una profundidad total de estudio de 1.00 m, lugar donde se colocó el infiltrómetro de cilindro doble (Anangonó, 2016).

Figura 4. Colocación de infiltrómetro en la gaveta de excavación



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Se extrajo una muestra por cada punto de ensayo, recolectando una cantidad mínima de 5000 g la misma que es sellada herméticamente, dicho envase se etiqueta con la información pertinente del lugar como: coordenadas, referencia geográfica, fecha, hora y número de muestra; posterior a ello, se traslada a los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo, para su análisis y clasificación según el método AASHTO.

3.10 Ensayo de infiltración utilizando el infiltrómetro de cilindro doble

Una vez seleccionados cada uno de los puntos a ser analizados, es importante ejecutar el método del anillo doble, para conocer la velocidad de infiltración que posee cada suelo, teniendo en cuenta lo siguientes pasos.

Se debe enrasar cada una de las paredes y base del pozo interior de la calicata.

Figura 5. Comprobación de medidas de calicatas



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Con total cuidado, se debe colocar el cilindro doble en la calicata de estudio, es importante que el infiltrómetro ingrese al suelo un mínimo de 5 cm en suelos duros y una medida máxima de 20 cm en suelos blandos (Flores & Quisnancela, 2016). Este proceso, se lo debe realizar con ayuda de un martillo de goma y una tabla que proteja al equipo, controlando que el mismo se encuentre a un mismo nivel y profundidad.

Figura 6. Comprobación de nivel y profundidad, anillo doble



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Con la finalidad de proteger el suelo, efectos de socavación o alteración del ensayo por la pérdida de agua en el equipo, se coloca una capa de 5 cm de agregado grueso de un diámetro de $\frac{3}{4}$ (Orteda & Auquilla, 2015).

Se llena el infiltrómetro hasta su punto máximo, por un tiempo de 24 horas, con carga constante y con la finalidad de que los datos obtenidos correspondan a un estado crítico del suelo.

En el transcurso de 24 horas, se debe medir y registrar los valores de cambio o variación de altura, en función del tiempo, esto con ayuda de un cronómetro, flexómetro y una tabla de registro de datos previamente obtenida.

Figura 7. Recolección de datos, velocidades de infiltración



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Consideraciones para tener en cuenta.

En caso de que el agua haya reducido una altura de 15cm sobre la capa de agregado grueso, y la variación de la altura no se ha estabilizado (Orteda & Auquilla, 2015), será necesario nuevamente cargar de agua hasta el máximo y poder iniciar nuevamente con la toma de datos.

3.11 Ensayos de laboratorio

Cada una de las muestras obtenidas en campo, deben ser llevadas con total cuidado a laboratorio, para ser analizadas por ensayos específicos y poder brindar una clasificación AASHTO.

3.11.1 Ensayo de Granulometría

En función de la norma INEN 695 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011), se realiza el muestreo correspondiente para la toma de la muestra.

Se eliminan las impurezas o residuos orgánicos que se pueden encontrar en la muestra, a partir de una inspección manual y con un cuarteo normal se reduce la muestra a 1000 g, necesarios para el ensayo de granulometría.

Se debe secar la muestra a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta que se elimine la humedad existente en el suelo, con un tiempo aproximado de 24 horas.

Figura 8. Secado de las muestras obtenidas en campo



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Se selecciona los tamices necesarios para el ensayo de granulometría, teniendo en cuenta que cumplan con los tamaños de las partículas del material a ensayarse y se los ordena de mayor a menor, para posteriormente colocarlo en el tamizador mecánico, por un tiempo de 5 minutos, hasta que cumpla el principio de conformidad o de tamizado.

Se debe retirar con cuidado los tamices del equipo mecánico y posterior a ello, pesar el material retenido en cada uno de ellos, teniendo en cuenta que la sumatoria de todo este material, debe ser igual al material colocado inicialmente, aceptando una pérdida de material de hasta el 3%.

Figura 9. Tamices para ensayos de granulometría



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

3.11.2 Límite Líquido

Es importante que la muestra analizada, sea secada por un tiempo mínimo de 24 horas a 110 °C. No obstante, se deberá utilizar el porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 40, del ensayo de granulometría, con una muestra mínima de 250 g.

Figura 10. Equipo de Casa Grande



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Esta muestra se coloca en el tazón de porcelana, paulatinamente debe mezclarse con agua, hasta conseguir una mezcla homogénea, fácil de manipular.

Se debe colocar el equipo o máquina de Casagrande en una zona limpia y nivelada, para poder calibrarla de buena manera y que pueda ser utilizada.

Se coloca una porción de la muestra, en la copa de la máquina de Casagrande, la misma que se distribuye de manera uniforme con ayuda de la espátula.

Con el acanalador, se divide la muestra en dos partes iguales (Anangonó, 2016), sin despegarlo de la copa y con un máximo de 6 pasadas del instrumento por medio de la muestra, donde la última pasada que se realiza es la única que debe pisar la base de la copa.

Con una velocidad de 2 revoluciones por segundo, se deberán contar el número de golpes necesarios para que las dos partes de la muestra, vuelva a unirse.

En la zona en la cual se unió la muestra, se divide en diferentes secciones, tomando dos muestras de aproximadamente 10 g, para en lo posterior promediar el contenido de humedad existente en la muestra.

Este proceso, es necesario que se lo pueda realizar en cuatro ocasiones diferentes, con distintas cantidades de humedad, brindando diferentes consistencias al suelo y que estén dentro de los siguientes rangos 5-15, 15-25, 25-35 y 35-45.

Figura 11. Muestra en copa de Casa Grande



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Con una gráfica semilogarítmica, se determina la curva de fluidez y en lo posterior el límite líquido del suelo, teniendo en cuenta que el número de golpes corresponde al eje x, y el eje y representa el contenido de humedad de la muestra.

3.11.3 Límite Plástico

La muestra de suelo fue seleccionada a partir del ensayo anterior y que corresponda a un rango de 25 a 35 golpes, donde la muestra se vuelve lo suficientemente plástica para moldearla en forma de una esfera.

Con una cantidad aproximada de 1.5 cm³ de material, se realiza una esfera con las yemas de los dedos y se coloca en el vidrio esmerilado, donde es necesario realizar un cilindro de aproximadamente 3 mm de diámetro y la misma se coloca en las taras para poder llevarlas al horno, este proceso se debe repetir constantemente hasta que el cilindro se disgregue al llegar al diámetro de 3 mm en trozos de tamaño de 0.5 a 1 cm de largo y no pueda ser amasado ni reconstituido (Flores & Quisnancela, 2016).

El contenido de humedad que nuestro suelo posee en este momento, se lo conoce como el límite plástico que tiene nuestra muestra.

Figura 12. Medición de muestras, límite plástico



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

3.11.4 Índice de Plasticidad

Una vez obtenidos los resultados del ensayo de límite líquido y límite plástico, se debe obtener la diferencia de estos dos datos. A este valor, se lo conocerá como el índice de plasticidad.

Es importante tener en cuenta que cuando uno de los dos límites iniciales no se puede registrar, el índice de plasticidad se constata como no plástico (NP)

Además, cuando el límite plástico es igual o mayor al límite líquido, también corresponde a una muestra no plástica.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1 Comunidad de Airón

Los siguientes resultados se describen en función al tipo de suelo que pertenece; Suelo Tipo A-1, A-2, A-3 respectivamente en base a las muestras obtenidas durante la realización de ensayos en campo y posteriormente en el laboratorio.

TIPO DE SUELO A - 1

Tabla 1.

Tabla de resumen del suelo Tipo A – 1 (Airón)

N. Muestra	Velocidad de infiltración (mm/h)	% pasa el tamiz #200 (%)	Módulo de finura	Índice de plasticidad	Índice de grupo	Tipo de suelo
2	25.50	9.82	2.42	2.15	0	A - 1 - a
3	51.00	7.69	2.63	0.36	0	A - 1 - a
4	126.00	10.45	2.17	0.12	0	A - 1 - a
10	100.00	5.88	2.28	5.95	0	A - 1 - a
11	130.00	9.11	2.04	2.03	0	A - 1 - a
13	83.00	12.89	2.42	1.01	0	A - 1 - a

Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Se obtuvieron 6 resultados correspondientes al del suelo Tipo A – 1 – A, tomadas en la comunidad de Airón del total de 15 muestras, se observa que toman similitud por sectores ya que las muestras 2,3,4 – 10,11,13 fueron seleccionadas de forma lineal, por lo tanto, el sector analizado presenta una composición de fragmentos de rocas, gravas y arenas.

TIPO DE SUELO A - 2

Tabla 2.

Tabla de resumen del suelo Tipo A – 2 (Airón)

N. Muestra	Velocidad de infiltración (mm/h)	% pasa el tamiz #200 (%)	Módulo de finura	Índice de plasticidad	Índice de grupo	Tipo de suelo
1	185.00	12.49	2.06	11.96	0	A - 2 - 4
6	219.00	7.28	2.35	8.53	0	A - 2 - 4

Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Se obtuvieron 2 resultados correspondientes al del suelo Tipo A – 2 – 4, tomadas en la comunidad de Airón del total de 15 muestras. Se observa que en las dos muestras su velocidad de infiltración no varía en gran tamaño, siendo de 185 mm/h para la muestra 6 y de 219 mm/h para la muestra 7, existiendo una diferencia significativa. De tal manera, que este tipo de suelos corresponde a gravas y arenas arcillosas limosas

TIPO DE SUELO A - 3

Tabla 3.

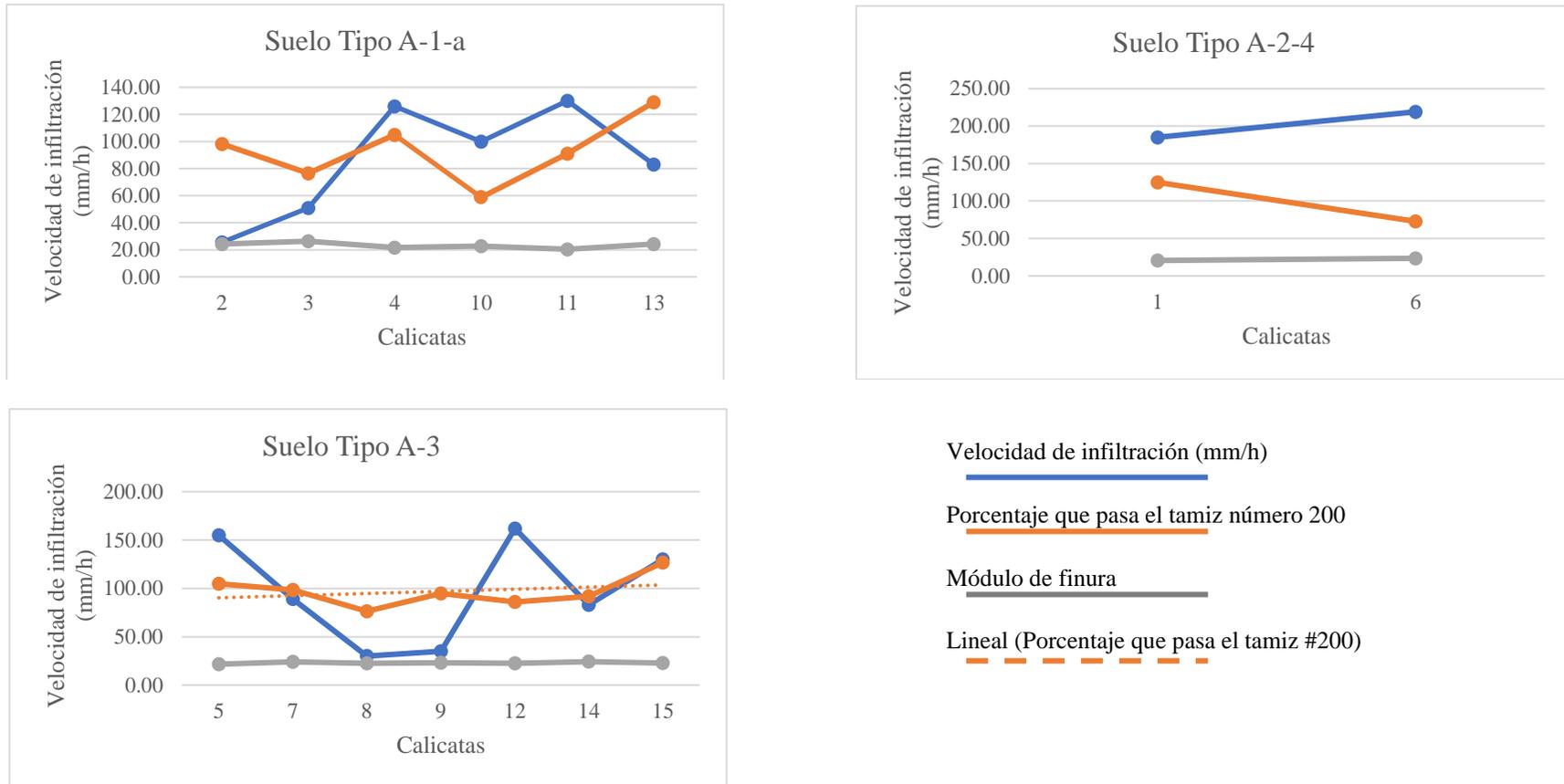
Tabla de resumen del suelo Tipo A – 3 (Airón)

N. Muestra	Velocidad de infiltración (mm/h)	% pasa el tamiz #200 (%)	Módulo de finura	Índice de plasticidad	Índice de grupo	Tipo de suelo
5	155.00	10.47	2.17	0	0	A – 3
7	89.00	9.84	2.41	0	0	A – 3
8	30.00	7.64	2.26	0	0	A – 3
9	35.00	9.49	2.31	0	0	A – 3
12	162.00	8.59	2.26	0	0	A – 3
14	83.00	9.18	2.42	0	0	A – 3
15	130.00	12.67	2.27	0	0	A – 3

Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Se obtuvieron 7 resultados correspondientes al del suelo Tipo A – 3, tomadas en toda la comunidad de Airón del total de 15 muestras. Correspondiendo en su mayoría a una composición de arena fina.

Figura 13. Velocidades de infiltración vs tipos de suelos / Comunidad Airón



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

La figura número 13, corresponde a los resultados obtenidos de las velocidades de infiltración en la comunidad de Airón, donde se visualizan tres tipos de muestras, de las cuales, en las muestras A-1 y A-3, se distribuyen la mayor cantidad de datos, haciendo posible la emisión de criterios de análisis al respecto de las muestras, resaltando que sus datos no presentan uniformidad de posicionamiento según sus rangos, puesto que se puede encontrar velocidades que oscilan los 50 mm/h a velocidades que sobrepasan los 150 mm/h. A su vez, la muestra A-1, presenta velocidades de infiltración que se encuentran entre los a 100 y 150 mm/h, mientras que en el suelo A-3, se puede observar velocidades que sobrepasan los 150 mm/h, es decir, la capacidad que tendrá este tipo de suelo para filtrar las aguas residuales será mayor, siendo una velocidad deseada para el diseño de pozos sépticos y zanjas de infiltración. Cabe recalcar, la necesidad de que el Ingeniero Civil, pueda considerar las condiciones más críticas, por lo cual, se recomendaría que se trabaje con las velocidades más bajas que corresponderían al suelo A-1, que se encuentran en los 100 mm/h, brindando un nivel de seguridad en los diferentes diseños de pozos sépticos y zanjas de infiltración. Por otro lado, se destaca que la muestra A-2-4, no dispone de la suficiente cantidad de calicatas o datos para su validación de resultados, siendo un limitante para la emisión de criterios analíticos con respecto a la capacidad de infiltración que tendrá este tipo de suelo.

4.1.2. San Isidro

TIPO DE SUELO A - 1

Tabla 4.

Tabla de resumen del suelo Tipo A - 1 (San Isidro)

N. Muestra	Velocidad de infiltración (mm/h)	% pasa el tamiz #200 (%)	Módulo de finura	Índice de plasticidad	Índice de grupo	Tipo de suelo
3	190.00	10.71	2.44	2.69	0	A - 1 - a
4	35.00	11.56	2.14	1.59	0	A - 1 - a
7	115.00	7.43	2.92	3.55	0	A - 1 - a
8	157.00	8.61	2.12	1.67	0	A - 1 - a
9	205.00	9.47	2.58	3.97	0	A - 1 - a

Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Se obtuvieron 5 resultados correspondientes al del suelo Tipo A – 1 – A, tomadas en la comunidad de San Isidro del total de 15 muestras. Las muestras que toman similitud son, 3, 4, 7, 8, 9 y al ser tomadas de forma lineal, el sector seleccionado estará compuesto de fragmento de rocas, gravas y arenas

TIPO DE SUELO A – 2

Tabla 5.

Tabla de resumen del suelo Tipo A – 2 (San Isidro)

N. Muestra	Velocidad de infiltración (mm/h)	% pasa el tamiz #200 (%)	Módulo de finura	Índice de plasticidad	Índice de grupo	Tipo de suelo
1	135.00	10.14	2.54	7.73	0	A – 2 – 4

5	135.00	13.21	2.28	19.67	0	A – 2 – 4
6	219.00	7.68	2.67	7.73	0	A – 2 – 4
13	107.00	16.73	2.11	18.93	0	A – 2 – 4

Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Se obtuvieron 4 resultados correspondientes al del suelo Tipo A – 2 – 4, tomadas en la comunidad de Airón del total de 15 muestras. En la muestra 1 y 5, su velocidad de infiltración es similar mientras que la muestra tipo 6 la velocidad es muy alta comparada con las demás muestras de este grupo.

TIPO DE SUELO A - 3

Tabla 6.

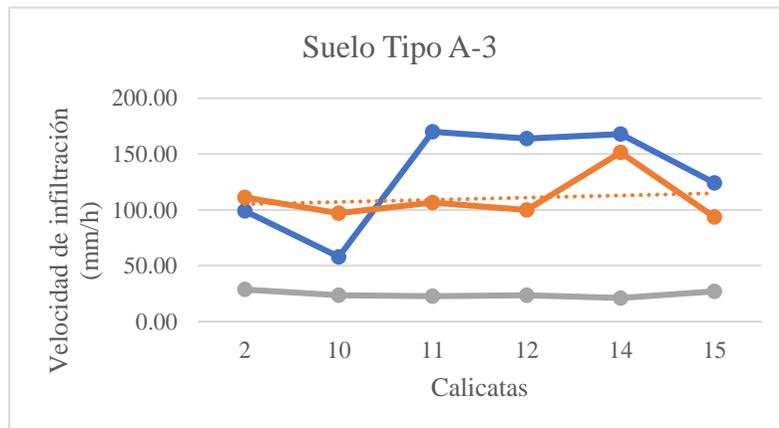
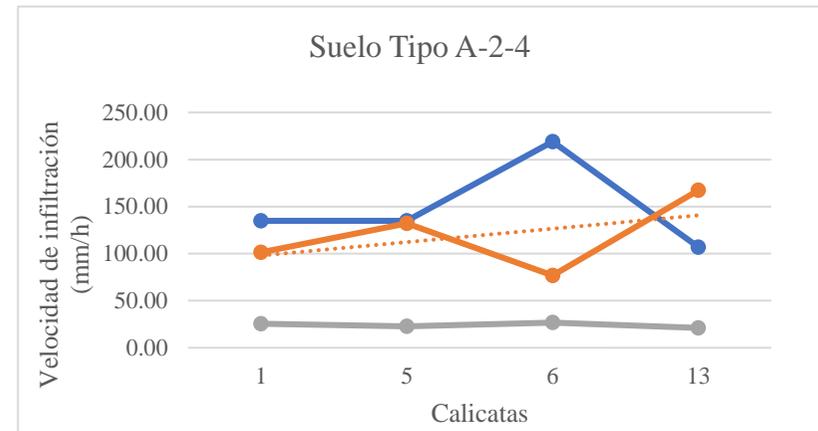
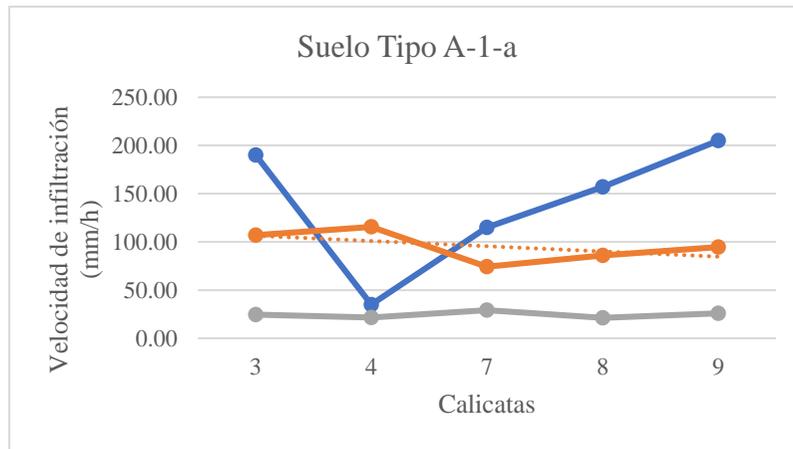
Tabla de resumen del suelo Tipo A - 3 (San Isidro)

N. Muestra	Velocidad de infiltración (mm/h)	% pasa el tamiz #200 (%)	Módulo de finura	Índice de plasticidad	Índice de grupo	Tipo de suelo
2	99.00	11.12	0	0	2.87	A - 3
10	58.00	9.72	0	0	2.36	A - 3
11	170.00	10.67	0	0	2.27	A - 3
12	164.00	10.01	0	0	2.36	A - 3
14	168.00	15.14	0	0	2.12	A - 3
15	124.00	9.36	0	0	2.71	A - 3

Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Se obtuvieron 6 resultados correspondientes al del suelo Tipo A – 3, tomadas en la comunidad de San Isidro del total de 15 muestras. Se observa que las muestras 10,11,12,14 y 15 toman cierta similitud en el % de material que pasa por el tamiz #200 y al ser tomadas de manera lineal, el suelo de esta zona estará conformado por arena fina.

Figura 14. Velocidades de infiltración vs tipos de suelos / Comunidad San Isidro



Velocidad de infiltración (mm/h)

Porcentaje que pasa el tamiz número 200

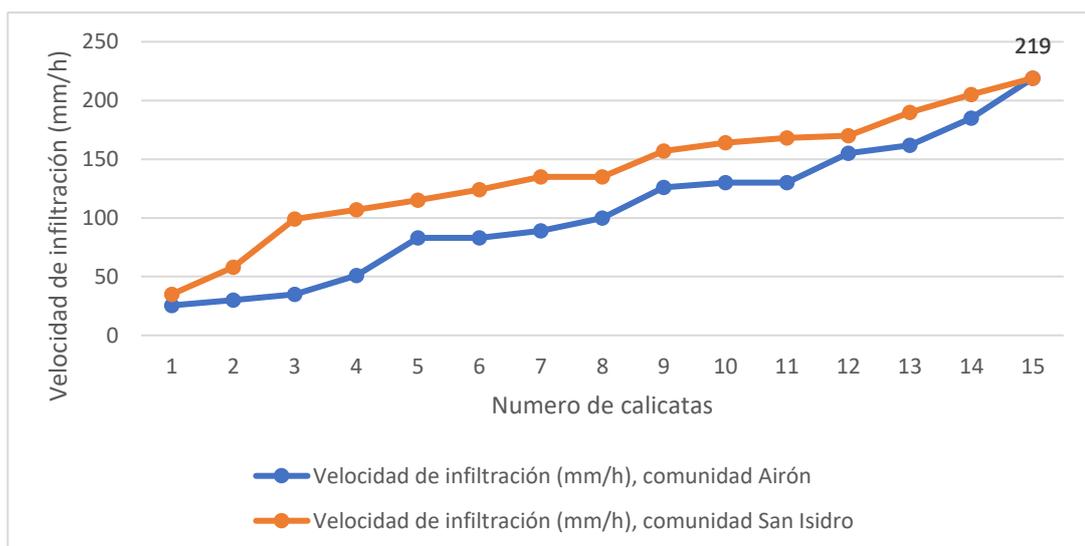
Módulo de finura

Lineal (Porcentaje que pasa el tamiz #200)

Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

La figura número 14, hace referencia a las 3 muestras obtenidas en la comunidad de San Isidro, donde cada una tiene una cantidad de datos muy cercanas entre ellas y adecuadas para el análisis y validación de datos. Se debe recalcar que, en las tres muestras, se encuentran datos que llegan a bordear los 200 mm/h, pero a su vez, en las muestras A-1 y A-3, se presentan calicatas con velocidades inferiores a los 50 mm/h, resaltando su variabilidad y siendo esta la velocidad más crítica que pudieran presentar ciertos puntos de la comunidad de San Isidro. De tal manera, que, una vez analizadas las gráficas, denotan que la mayor cantidad de datos oscilan los 150 mm/h, siendo recomendable aceptar este valor para el diseño de pozos sépticos y zanjas de infiltración, como condición se deberá tener en consideración los puntos más críticos denótanos en las gráficas. Por otro lado, es necesario crear un contraste con el porcentaje que pasa el tamiz número 200, estos datos, presentan una mayor uniformidad en su distribución a diferencia de los datos obtenidos por las velocidades de infiltración, sin embargo, en su gran mayoría los rangos de estas dos tendencias se encuentran muy cercanas, lo cual permite conocer que la velocidad de infiltración de un suelo dependerá de las características geométricas del mismo.

Figura 15. Velocidad de infiltración de las parroquias Airón y San Isidro



Fuente: (Gunsha & Lema, 2023)

Las velocidades de infiltración de la parroquia Airón y San Isidro se muestran de manera ascendente teniendo todos los tipos de suelos encontrados en las dos comunidades, mencionadas desde tipo A – 1 – a, tipo A – 2 – 4 hasta tipo A – 3, donde su rango va desde 25.5 - 219 mm/ h para Airón y 35 – 219 para San Isidro.

Prueba de normalidad de Velocidad de infiltración (mm/h), comunidad Airón, con Shapiro-Wilk

Tabla 7.

Análisis de normalidad de la comunidad Airón

H₀ : Velocidad de infiltración en Airón se distribuye normalmente

H₁ : Velocidad de infiltración en Airón no se distribuye normalmente	
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$
Estadístico	W = 0.96016
P-valor	0.6951 es mayor a 0.05
Decisión:	
Se acepta la hipótesis nula, la velocidad de infiltración en Airón se distribuye normalmente con un nivel de confianza de 95%	

Prueba de normalidad de Velocidad de infiltración (mm/h), comunidad San Isidro, con Shapiro-Wilk

Tabla 8.

Análisis de normalidad de la comunidad San Isidro

H₀ : Velocidad de infiltración en San Isidro se distribuye normalmente	
H₁ : Velocidad de infiltración en San Isidro no se distribuye normalmente	
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$
Estadístico	W = 0.97267
P-valor	0.8954 es mayor a 0.05
Decisión:	
Se acepta la hipótesis nula, la velocidad de infiltración en San Isidro se distribuye normalmente con un nivel de confianza de 95%	

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk y según los requerimientos de los investigadores se determina un nivel de significancia de 0.05, correspondiente a significativo, posterior a ello fue necesario el uso de herramientas tecnológicas como Excel para la obtención de la media y varianza muestral, datos necesarios para la aplicación de los coeficientes ya determinados por este método estadístico y así poder obtener el valor de estadístico W, con el cual se acepta la hipótesis nula, debido que, el p valor obtenido es mayor al nivel de significancia en el análisis a las dos comunidades, consecuentemente las velocidades de infiltración se considera una distribución

4.2 Discusión

Los datos obtenidos en la presente investigación se contrastan con estudios previos realizados en la Universidad Nacional de Chimborazo a diferentes suelos de la sierra centro del Ecuador, principalmente a cantones como: Guano, Penipe, Riobamba, los mismos que geográficamente se encuentran a escasos kilómetros del cantón Chambo, divididos únicamente por un río que lleva su mismo nombre.

Chafla (2020), realiza una recopilación de las diferentes velocidades de infiltración en estas zonas, con la finalidad de crear un análisis estadístico que relacione estas velocidades con su tipo de suelo, de tal manera, que Chafla (2020), menciona que la mayor presencia de tipo de suelo en los cantones ya mencionados es A3 y A2 según la clasificación AASHTO. De la misma forma, una vez procesados los datos de las comunidades de Airón y San Isidro del Cantón Chambo, se ha logrado conocer que el tipo de suelo con mayor predominio es el A3, con 13 muestras de 30 en total, es así, que a pesar de ser cantones separados por un río que las tipologías mecánicas de su suelo podrían cambiar, se sigue manteniendo las características de los suelos de la sierra centro del Ecuador. Por otro lado, Chafla (2020) menciona que los suelos con una mayor velocidad

de infiltración son los tipos A-2 y A-3, correspondientes a los barrios el Rosario y Los Elenes del Cantón Guano. Asimismo, esta característica también la comparte los suelos analizados de las comunidades de Airón y San Isidro, donde los suelos A-2 y A-3 llegan a una velocidad de 149 mm/h y 112.85 mm/h correspondientemente, siendo las velocidades más altas, registradas en campo.

Es importante comentar que la investigación de Chafra (2020) corresponde a la unión de diferentes proyectos que tenían como objetivo encontrar las velocidades de infiltración a partir de sus características mecánicas, por lo tanto, sus resultados tendrán un mayor respaldo y validación, frente a la presente investigación que tiene como limitante el estudio de únicamente dos comunidades del cantón Chambo, siendo este un precedente para la ampliación de este proyecto de investigación dentro del cantón Chambo.

Por otro lado, Ortega & Auquilla (2015), uno de los referentes iniciales en esta línea de investigación, crea una precisión en el tipo de suelo encontrados en el cantón Riobamba y Guano, donde nos dice que el tipo de suelo con mayor predominio es el A-2-4 y A-3, características que se comparte en las comunidades de Airón y San Isidro donde la presencia del tipo de suelo A-2-4 y A-3, corresponde al 63.33% de todas las muestras ensayadas.

Finalmente, la metodología aplicada en este proyecto de investigación, como el equipo de anillo doble con sus características para su fabricación y los ensayos a llevarse a cabo en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Chimborazo, fueron recopilados de investigaciones previas como Vaca (2016), Flores (2016), quienes impulsaron esta investigación de la mano del Ingeniero Alfonso Arellano, quienes mantuvieron como principal objetivo, el obtener las velocidades de infiltración asociadas a la granulometría y la textura del suelo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se seleccionaron un total 15 muestras por cada comunidad de análisis, a partir de los criterios de inclusión y exclusión planteados inicialmente, los cuales fueron: No debe ser menor a 50 metros de radio entre cada una, cada muestra debe corresponder a una zona habitada por más de una persona y que cuenten con disponibilidad para poder realizar las calicatas de 1 m x 1 m x 0.5 m.
- La velocidad de infiltración del subsuelo en las comunidades de Airón y San Isidro se obtuvo mediante la realización del ensayo de infiltrómetro de doble cilindro, donde se consiguió valores que iban en un rango de 25.50 a 219 mm/h, estas velocidades están relacionadas directamente con el % pasante del tamiz 200, mientras mayor sea el % de material que pasa por el tamiz, mayor será la velocidad de infiltración que existe en la zona, debido a su composición y porosidad.
- Tras la realización de ensayos de laboratorio como: Granulometría y Límites de Atterberg realizadas a las 30 muestras obtenidas en campo, se logró realizar la clasificación AASHTO para estos suelos, dándonos como resultado suelos tipo A-1, A-2, A-3, en base a los datos cualitativos y cuantitativos, obtenidos en el laboratorio.
- La investigación muestra que las dos comunidades están compuestas por mayor parte de suelo tipo A – 3 (Arena fina) así mismo, el % de material que pasa el tamiz 200 es elevado en este tipo de suelo, dando como resultado la alta tasa de infiltración en el suelo de estas comunidades, esto debido a la existencia de vacíos en las cavidades del suelo. No obstante, esto permitirá un mejor diseño de zanjas de infiltración para los futuros Ingenieros Civiles que deseen brindar una solución a la falta de alcantarillado en estas zonas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe socializar a los estudiantes de la universidad sobre el tema propuesto para que lo puedan realizar en otras comunidades del cantón Chambo, en los lugares rurales o donde no cuentan con alcantarillado y en lo posterior se logren correlacionar estos datos para obtener una caracterización de infiltración en todo el cantón.
- Los valores obtenidos de todo este proceso para su posterior diseño o construcción de pozos sépticos, se recomienda utilizar los valores más bajos, de tal manera que se asegure un factor de seguridad y se trabaje en su estado más crítico.
- Se confía en nuevas promociones de Ingenieros Civiles, en que puedan utilizar la información de esta investigación para la realización de un diseño óptimo de zanjas de infiltración y que se adapte a las necesidades de los moradores.

BIBLIOGRAFÍA

- Anangonó, M. (2016). *VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUBSUELO 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 de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio UNACH. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1857/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2016-0022.pdf>
- ASTM D 3385 - 03. (2003). Método de prueba estándar para la tasa de infiltración de suelos en el campo usando un infiltrómetro de doble anillo. <https://www.astm.org/d3385-18.html>
- ASTM D3282 - 15. (2015). Práctica estándar para la clasificación de suelos y mezclas de suelo y agregados para fines de construcción de carreteras. https://www.en-standard.eu/astm-d3282-15-standard-practice-for-classification-of-soils-and-soil-aggregate-mixtures-for-highway-construction-purposes/?gclid=CjwKCAiAk--dBhABEiwAchIwkdn-8UmgdjJXMiDdryRpzDGcRLDzgXEnRI99mfNOQHgyXpmqlLhwHRoCQiMQAvD_BwE
- Barrigas, Z., y Pilamunga , A. (2017). Velocidad de infiltración del agua en el sub-suelo de las comunidades Tiquibuzo y San Jose de la Comuna, pertenecientes a la parroquia Chillanes, cantón Chillanes, provincia de Bolivar, asociado a la granulometria y a la textura de sus componentes. *Universidad Nacional de Chimborazo*. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3844/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2017-0019.pdf>
- Cabrera, E., Vera, A., Sharman, M., Moreno, L., y Cuevas , F. (2014). Análisis geográfico de la pobreza y desigualdad por consumo en Ecuador.
- Calle , J., y Padrón , P. (2020). Caracterización de Efluentes de Fosas Sépticas. *Particulares del Cantón Cuenca*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10294/1/15923.pdf>
- Carrasco, Y. (2019). La migración interna de los campesinos hacia las zonas urbanas en el Ecuador. *Ciencia digital*, 2(3), 65-79. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/932>
- Chafla, J. (2020). Velocidad de infiltración en suelos frecuentes de la sierra central del Ecuador de acuerdo a sus propiedades mecánicas. Universidad Nacional De Chimborazo.

- ENEMDU. (2022). Pobreza y desigualdad. *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/POBREZA/2021/Diciembre-2021/202112_Boletin_pobreza.pdf
- Flores, K., y Quisnancela., E. (2016). *VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUBSUELO DE TAMAUTE Y CUBIJÍES, PERTENECIENTES A LOS CANTONES GUANO RIOBAMBA, RESPECTIVAMENTE, ASOCIADO A LA GRANULOMETRÍA Y A LA TEXTURA DE SUS COMPONENTES* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio UNACH. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/3211>
- GADM-Chambo. (2022). Tabla de datos de alcantarillado. *Gobierno Autonomo Desantralizo Municipal de Cambo*.
- Guiuseppe, F. (2014). Problemática de los sistemas de alcantarillado. *Universidad Nacional Autonoma de México*, 1-100.
- INVE – 125 – 13. (2012). Determinación del límite líquido de los suelos. <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-125-13.pdf>
- INVIAS. (2013). Determinación del límite líquido de los suelos. *INVE – 125 – 13*. <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-125-13.pdf>
- INVIAS. (2013). Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. *INV E-126-13*. <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-126-13.pdf>
- Leon, K. (2020). Diseños tipos de áreas de infiltración para vertidos de biodigestores en subsuelos frecuentes de la sierra ecuatoriana. *Universidad Nacional de Chimborazo*.
- Moreno, Á., y Hernández, J. (2021). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la institución rural, Luis Antonio Duque Peñalosa, en la vereda Guabinal plan, corregimiento de Barzalosa, Girardot, Cundinamarca. *Universidad Piloto de Colombia*. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/10118/PROYECTO%20DE%20TESIS%20DSTAR%20ESCUELA%20GUABINAL%20PLAN%202021.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Muñoz, I., y Orellana, C. (2019). Caracterización de lodos de fosas sépticas de las plantas de tratamiento rurales del cantón Cuenca. *Universidad del Azuay*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9222/1/14866.pdf>
- OMS/UNICEF. (2022). Saneamiento.
- Orteda, F., & Auquilla, L. (2015). Velocidad de Infiltración del agua en el sub-suelo de las parroquias Calpi y Licán, cantón Riobamba, asociado a la granulometría y a la textura de sus componentes. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.

- Ramírez, S. (2021). Análisis comparativo entre los valores del límite líquido obtenidos por copa de casagrande y penetrómetro de cono para suelos granulares del cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato.
- Ugarriza, J., y Quintero, J. (2019). Diseño de una estructura de infiltración para un caudal procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales ubicado en el municipio de Galapa-Atlántico. *Universidad Tecnológica de Bolívar*.
<https://biblioteca.utb.edu.co/fuentes/tesis/0074981.pdf>
- UNESCO. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*, 1-215.
- UNICEF. (2021). Miles de millones de personas se quedarán sin acceso a servicios de agua potable, saneamiento e higiene antes de 2030 a menos que el progreso se. *unicef para cada infancia*. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/miles-de-millones-de-personas-se-quedar%C3%A1n-sin-acceso-servicios-de-agua-potable>
- Vaca, J. (2016). Velocidad de infiltración del agua en el subsuelo de los barrios Langos Chico San José perteneciente a la parroquia el Rosario del cantón Guano, y San Pedro las abras perteneciente a la parroquia Juan de Velasco canton Riobamba asociado a la granulometría. *Universidad Nacional de Chimborazo*.
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1845/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2016-0020.pdf>

ANEXOS



Anexo: Evidencias