



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Diseño de un reservorio impermeabilizado con arcilla, para el aprovechamiento de aguas pluviales en la parroquia de Chuquiribamba del Cantón Loja.

Trabajo de Integración
Curricular, previo a la obtención
del título de Ingeniero Agrícola

AUTOR:

Pedro Alejandro González Sarango

DIRECTOR:

Mg. Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 18 de agosto del 2023

Mg. Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del trabajo de Integración Curricular denominado: **“Diseño de un reservorio impermeabilizado con arcilla, para el aprovechamiento de aguas pluviales en la parroquia de Chuquiribamba del Cantón Loja”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de la autoría del estudiante **Pedro Alejandro González Sarango**, con cedula de identidad Nro. **1104556731**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Atentamente:

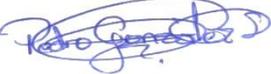


Mg. Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACION

Autoría

Yo, **Pedro Alejandro González Sarango**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular o de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1104556731

Fecha: 18 de agosto del 2023

Correo electrónico: pedro.a.gonzalez@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0980177209

Carta de autorización por parte del autor/a, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Pedro Alejandro González Sarango**, declaro ser autor de la tesis titulada: **Diseño de un reservorio impermeabilizado con arcilla para el aprovechamiento de aguas pluviales en la parroquia de Chuquiribamba del Cantón Loja.**, cantón y provincia de Loja, como requisito para optar el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 18 días del mes de agosto de dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Pedro Alejandro González Sarango

Cédula: 1104556731

Dirección: EL Valle, Loja Ecuador

Correo electrónico: pedro.a.gonzalez@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0980177209

DATOS COPLEMENTARIOS

Director del trabajo de Integración Curricular: Mg.Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación lo dedico a mi familia por su constante aliento y fortaleza que me brindaron durante este proceso de formación, ayudándome en cada meta, sueño y objetivo planteado, a mi amada pareja Yosselyn ya que es el mejor apoyo que puedo tener, estando siempre a mi lado en momentos difíciles y darme la fortaleza para culminar con éxito uno de mis anhelos, motivándome con su entusiasmo, sus consejos y comentarios que han sido fundamentales para seguir y poder decir “LO LOGRAMOS”. Gracias por estar a mi lado. A mi amada hija Luisa, quien es la motivación principal para enseñarle que con esfuerzo, constancia y trabajo duro se logran los objetivos, espero ser un ejemplo dichoso de ella. A mis padres ya que son el pilar fundamental dentro este este proceso, quienes con sus consejos y valores que me han enseñado, me permitirán ejercer mi profesión y llegar a ser un excelente profesional.

De manera muy especial a la Sra. Patricia Silvia quien fue la persona que confió en mí y en mis capacidades, infinitas gracias por su apoyo emocional, espiritual y económico siendo unos de los moteres principales para lograr este trabajo. Como no mencionar particularmente a mi hermana Digna quien siempre estuvo dispuesta para brindarme una ayuda con su opinión, sus comentarios, palabras de aliento y sé que hemos pasado por momentos difíciles, pero siempre estuviste pendiente para motivarme e impulsarme a seguir adelante.

Este logro no es solo mío, sino también el de todos.

Pedro Alejandro González Sarango

Agradecimiento

Agradezco principalmente a mis padres y hermanos quienes estuvieron siempre presentes en este proceso, ya que ayudaron a ser cada día mejor persona inculcándome valores, principios, carácter, perseverancia y coraje para conseguir mis objetivos.

Quiero expresar mi especial agradecimiento y sincero a mi director de Trabajo de Integración Curricular. Mg.Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta por permítanme llevar a cabo este trabajo bajo su dirección, con su ayuda y confianza me han permitido mejorar la calidad de este proyecto.

Agradezco a cada uno de los docentes quienes, con sus enseñanzas, paciencia y vocación a la hora de impartir sus conocimientos, contribuyeron a la formación de nuevos futuros profesionales, y gracias a ellos poder realizar prácticas donde nos proporcionaran una perspectiva diferente sobre los problemas que presentan población del sector rural, motivándome para estar en constante aprendizaje y adquirir nuevos conocimientos para nuestra vida profesional.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, en especial a la Carrera de Ingeniería Agrícola, por abrir sus puertas educativas ofreciéndome la oportunidad de superarme y cumplir una meta más en mi vida.

Pedro Alejandro González Sarango

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas:.....	x
Índice de figura:.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	7
4.1. Los reservorios y su importancia para la agricultura	7
4.2. La gestión integral del recurso hídrico	7
4.2.1. El ciclo hidrológico.....	8
4.3. Cosecha de agua lluvia.....	9
4.3.1. Técnicas de cosecha de agua	10
4.3.2. Cantidad de agua lluvia captable	11
4.3.3. Escorrentía superficial	11
4.3.4. Ventajas de la cosecha de aguas lluvia	13
4.4. Cosecha de agua en el Ecuador	13
4.5. Las arcillas	15
4.5.1. Origen de las arcillas.....	15
4.5.2. Clasificación de los minerales arcillosos	16
4.5.3. Propiedades físicas-mecánicas de las arcillas	20
4.5.4. Propiedades mecánicas de las arcillas	21

4.5.5. Propiedad hidráulica de las arcillas	24
4.5.6. Propiedad química de las arcillas.....	26
4.5.7. Suelos empleados para construir reservorios.....	27
4.6. Reservorios.....	27
4.6.1. Tipos de reservorios.....	28
4.6.2. Elementos por considerar para la construcción de reservorios.....	30
4.6.3. Estructura de un reservorio	30
4.6.4. Embalses impermeabilizados con arcilla.....	32
4.6.5. Efectividad de los reservorios para el almacenamiento de agua	33
4.6.6. Mantenimiento de reservorios.....	34
4.6.7. Cerca de protección	34
4.7. Protocolo de impermeabilización de reservorios	34
4.8. Impacto Ambiental en Proyectos de Aprovechamiento de Recursos Hídricos.....	35
5. Metodología.....	36
5.1. Método de estudio	36
5.2. Descripción y Ubicación de la zona de Estudio.....	36
5.3. Materiales.....	37
5.4. Metodología primer objetivo:.....	38
5.5. Metodología segundo objetivo:.....	41
6. Resultados	43
6.1. Caracterización biofísica del área de estudio	43
6.1.1. Caracterización de las condiciones climáticas.....	44
6.1.2. Caracterización física-mecánica de la arcilla.....	45
6.1.3. Caracterización Química de la arcilla	52
6.1.4. Estimación de la escorrentía y área de recarga	52
6.1.5. Diseño y construcción del reservorio.....	53
7. Discusión	55
7.1. Clasificación del área de estudio.....	55

7.2. Caracterización física-mecánica de las arcillas.....	56
7.2.1. Contenido de humedad	56
7.2.2. Clasificación del suelo.....	56
7.2.3. Curva de compactación.....	57
7.2.4. Permeabilidad del suelo.....	57
7.2.5. Permeabilidad de suelo en campo.....	57
8. Conclusiones	58
9. Recomendaciones	59
10. Bibliografía	60
11. Anexos	64

Índice de tablas:

Tabla 1. Capacidad de almacenamiento de reservorios en la provincia de Loja.....	14
Tabla 2. Propiedades Físico-mecánicas de las arcillas	21
Tabla 3. Clasificación granulométrica.....	22
Tabla 4. Conductividad hidráulica para suelos saturados	25
Tabla 5. Grado de permeabilidad o conductividad hidráulica de los suelos	25
Tabla 6. Tasa de permeabilidad de ensayo en campo	26
Tabla 7. Capacidad del Intercambio Catiónico para diferentes tipos de arcilla y textura del suelo	26
Tabla 8. % idóneo de Arcillas para construir reservorios de tierra	27
Tabla 9. Formaciones geológicas de la parroquia Chuquiribamba	43
Tabla 10. Clases agrologicas del suelo en Chuquiribamba	43
Tabla 11. Uso y Cobertura del suelo de Chuquiribamba.....	44
Tabla 12. Datos precipitación y temperatura Chuquiribamba 2015-2021	45
Tabla 13. Contenido de humedad de la muestra de suelo	46
Tabla 14. Granulometría por tamizado de la muestra de suelo	46
Tabla 15. Clasificación granulométrica por el método del hidrómetro	47
Tabla 16. Resultados del límite líquido.....	47
Tabla 17. Límite plástico.....	48
Tabla 18. Índice de plasticidad.....	48
Tabla 19. Tamizado vía húmeda	49
Tabla 20. Datos para la clasificación de suelos por el método de SUCS.....	49
Tabla 21. Resultados ensayo Proctor o de compactación.....	50
Tabla 22. Valores de permeabilidad de la muestra de suelo	51
Tabla 23. Tasa de permeabilidad en campo	52
Tabla 24. Resultados Capacidad del Intercambio Catiónico de la muestra de suelo	52
Tabla 25. Estimación de la escorrentía y valor del número de curva (CN).....	53

Índice de figura:

Figura 1. Ciclo Hidrológico	9
Figura 2. Cosecha <i>de</i> agua lluvia	10
Figura 3. Relación entre precipitación y escorrentía, según las curvas numeradas (CN)	13
Figura 4. Arcillas vistas desde un microscopio	15
Figura 5 <i>Arcilla caolinita</i>	17
Figura 6. Estructura del caolín	17
Figura 7. Arcilla Illita.....	18
Figura 8. Estructura de las Illitas.....	19
Figura 9. Estructura de la Motmorillonita	19
Figura 10. Estructura de las vermiculitas	20
Figura 11. <i>Consistencia del suelo</i>	23
Figura 12. Prueba de Casagrande	23
Figura 13. Pequeños Reservorios artesanales	27
Figura 14. Reservorio tipo dique-represa.....	28
Figura 15. Reservorios excavados.....	29
Figura 16. Reservorio tipo estanque.....	29
Figura 17. Estructura de un reservorio	32
Figura 18. Protocolo de impermeabilización	35
Figura 19. Mapa de ubicación de la parroquia Chuquiribamba	36
Figura 20. Ubicación del sitio de implantación del reservorio para cosecha de aguas lluvia..	37
Figura 21. Diseño reservorio.....	42
Figura 22. Climograma de Chuquiribamba 2015-2021	45
Figura 23. Curva granulométrica de la muestra de suelo.....	47
Figura 24. Límite líquido	48
Figura 25. Ábaco de Casagrande.....	50
Figura 26. <i>Curva de compactación de la muestra de suelo</i>	51
Figura 27. Límites de atterberg	65
Figura 28. Granulometría	66
Figura 29. Ensayo de compactación.....	66
Figura 30. Ensayo de permeabilidad	67
Figura 31. Capacidad de intercambio catiónico	68

1. Título

Diseño de un reservorio impermeabilizado con arcilla, para el aprovechamiento de aguas pluviales en la parroquia de Chuquiribamba del Cantón Loja.

2. Resumen

El agua es un componente esencial para la supervivencia de la humanidad, y su disponibilidad es un factor determinante para el avance social y económico, especialmente en el sector rural, donde se necesitan grandes cantidades de este recurso para el adecuado desarrollo de los cultivos. La importancia del agua en la agricultura impulsa la búsqueda de soluciones viables de carácter técnico-económico y sociales que permitan la cosecha y almacenamiento del agua. La construcción de reservorios de tierra debidamente impermeabilizados permite al agricultor tener disponibilidad de agua en tiempos de sequía donde este recurso es escaso. Este trabajo de investigación busca contribuir al mejoramiento de almacenamiento y cosecha de aguas pluviales, mediante el diseño y construcción de un reservorio impermeabilizado con arcilla, en la Parroquia Chuquiribamba del Cantón Loja. El área de estudio, está en la formación geológica Sacapalca, el uso del suelo está dedicado a la protección con 4,17%, presenta pendientes entre 15% a 35%, con temperatura media anual de 12,24°C, y las precipitaciones medias oscilan entre 800 a 1 300 mm. Con respecto a las características físico-mecánica de las arcillas presentan un contenido de humedad de 30,64% en estado natural, son suelos de granos finos (limos de alta compresibilidad y arcilla) presentando una densidad máxima de 1,15gr/cc, siendo la humedad óptima 43%, se determinó la conductividad hidráulica en laboratorio la misma que varía de $1,10 \times 10^{-8}$, $2,47 \times 10^{-8}$ y $1,09 \times 10^{-8}$ cm/s corresponde a valores de velocidades muy lentas pertenecientes a arcillas compactadas, la permeabilidad evaluada en campo en el reservorio impermeabilizado con el material estudiado presenta infiltraciones de **$2,41 \times 10^{-5}$ cm/s**. En conclusión, el reservorio impermeabilizado con arcilla facilita la acumulación de agua durante los períodos de lluvia, permitiendo su uso posterior en la agricultura o para el consumo de animales en tiempos de sequía.

Palabras clave: Cosecha de agua, almacenamiento, reservorio, arcilla.

Abstract

Water is an essential component for the survival of mankind, and its availability is a determining factor for social and economic progress, especially in rural areas, where enormous quantities of this resource are needed for the proper development of crops. The importance of water in agriculture drives the search for viable technical, economic, and social solutions that allow water harvesting and storage. The construction of properly waterproofed earth reservoirs enables the farmer to have water available during a drought when this resource is scarce. This research seeks to contribute to improving rainwater storage and harvesting through the design and construction of a clay-waterproofed reservoir in the Chuquiribamba Parish of Loja Canton. The study area is in the Sacapalca geological formation; the soil is dedicated to protection with 4.17%, has slopes between 15% and 35%, has an average annual temperature of 12.24 °C, and average rainfall ranges from 800 to 1,300 mm. Concerning the physical-mechanical characteristics of the clays, they have a moisture content of 30.64% in their natural state; they are fine-grained soils (highly compressible silt and clay) with a maximum density of 1.15 g/cc and an optimum moisture content of 43%. The hydraulic conductivity determined in the laboratory and scales between 1.10×10^{-8} , 2.47×10^{-8} , and 1.09×10^{-8} cm/s, correspond to values of very slow velocities belonging to compacted clays. The permeability evaluated in the field in the reservoir waterproofed with the material studied shows infiltrations of 2.41×10^{-5} cm/s. In conclusion, the reservoir waterproofed with clay facilitates water accumulation during rainy periods, allowing its subsequent use in agriculture or for animal consumption during droughts.

Keywords: *clay, reservoir, storage, water harvesting.*

3. Introducción

El agua es un recurso esencial para la vida humana y su disponibilidad es un factor clave para el desarrollo económico y social, es un recurso que se está agotando rápidamente su escasez es un problema global, corriendo el riesgo de su eminente agotamiento, debido al crecimiento considerable de las poblaciones, la industrialización, mala gestión de los recursos hídricos y el cambio climático, esta escasez afecta a millones de personas en todo el mundo lo que significa que no tienen acceso a agua de buena calidad y segura para beber, así como también, la escasez de agua está amenazando la producción de alimentos agrícolas. El almacenamiento de agua permite al productor agropecuario, disponer de un suministro de agua en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en la época invernal, la cosecha de agua de lluvia puede entenderse como una forma de producir agua. En este sentido, el agua almacenada tiene utilidad en los procesos de producción agrícola; como el riego de cultivos o abrevadero para el ganado, asimismo realizando un tratamiento previo de este recurso almacenado se puede utilizar para el uso doméstico (Cubero 1996).

El almacenamiento de agua y su importancia en el sector agrícola, procura buscar alternativas económicas como es la construcción de reservorios de tierra que permitan el estancamiento del recurso hídrico durante un período determinado de tiempo, por lo que, las arcillas a nivel mundial tienen un gran aporte en los procesos industriales ya que presentan buenas características físico-mecánicas. Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los reservorios de arcilla representan alrededor del 20% de las reservas de agua dulce subterráneas del mundo. Estos reservorios se encuentran en todos los continentes, pero son más comunes en las regiones áridas y semiáridas. Salamanca y Ahumada (2013). Indican que las arcillas presentan dichas características por estar constituidas principalmente por silicatos hexahidratados con una forma estructural de tetraedros, estos minerales resultan de la descomposición de rocas ígneas y metamórficas, generando en sus capas, características físicas, químicas y mineralógicas, diferentes en cada una de ellas e inclusive en los mismos depósitos arcillosos.

A nivel nacional existen aproximadamente 75 áreas donde se extrae arcilla, la mayor concentración está en la región de las cuencas Inter montañosas de Biblián y Cuenca en la provincia del Azuay; Malacatos, Vilcabamba y Catamayo en la provincia de Loja, estos sectores se caracterizan por tener arcillas de excelente calidad las cuales podrían ser explotadas con fines tecnológicos e industriales (Paladines y Soto, 2010). Al respecto los gobiernos autónomos implementan la construcción de reservorios de tierra para agricultores en las diferentes

provincias como; Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua permitiendo el aumento de la cosecha de productos como: avena, cebada, maíz, papas, alfalfa, fresas, zanahorias y moras.

La existencia de reservorios impermeabilizados con arcilla en la provincia de Loja es precaria debido al desconocimiento de las propiedades físico-mecánicas que ofrecen ciertos tipos de arcillas como elemento impermeabilizante, según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2014), los yacimientos de Arcilla en el Ecuador han sido explotados para materiales de construcción como teja, pisos y mampostería; sin embargo, con el cambio de ciertos elementos estructurales como el hormigón, hierro, entre otros, algunos dejaron de tener demanda, consideremos que el éxito del uso de la arcilla “Tierra” como material de construcción depende del conocimiento adecuado de sus propiedades físico-mecánicas que pueden presentar y su uso adecuado en el sector de la construcción.

Tomando en cuenta la necesidad de almacenar agua para los procesos productivos del sector rural, se buscan alternativas viables para la construcción de reservorios, utilizando recursos naturales del sector; como la arcilla en su impermeabilización.

Con el presente estudio se pretende contribuir a mejorar la disponibilidad del agua para el sector de Chuquiribamba en la épocas de verano, para complementar la demanda de los procesos productivos del sector agrícola, sumando la importancia de la cantidad y calidad de este recurso para la producción agropecuaria, a través de la utilización de tecnologías aplicadas a la cosecha de agua, a fin de realizar una correcta planificación y uso sostenible de este recurso, considerando que se podría complementar los ciclos de cultivo a través de este proceso, incorporando más áreas de terreno al sector productivo, se pretende destacar y buscar oportunidades de igualdad en el sector noroccidental del Cantón Loja, enfocándose en la reintroducción de técnicas ancestrales de manejo del agua para beneficio económico de los agricultores, también se promueve el valor del trabajo familiar y comunitario en la agricultura, crucial para la reactivación económica y seguridad alimentaria. Esta actividad se alinea con los ODS 2030, especialmente erradicación de la pobreza, seguridad alimentaria y uso sostenible del agua.

Objetivo general

- Contribuir al mejoramiento de almacenamiento y cosecha de aguas pluviales, a través del diseño de un de reservorio impermeabilizado con arcilla, en la Parroquia Chuquiribamba del Cantón Loja.

Objetivos específicos

- Diseñar un reservorio de acuerdo a las características; biofísicas, topográficas y de drenaje del área de implantación.
- Construir un prototipo de reservorio impermeabilizado con arcilla del sector seleccionado, con la finalidad de evaluar la impermeabilidad de la misma.

4. Marco Teórico

Los reservorios y su importancia para la agricultura

El almacenamiento de agua en reservorios permite dotar al productor agropecuario, un suministro de agua de buena calidad en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en invierno. Los reservorios se pueden construir para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos, o para capturar aguas llovidas, lo que se puede definir como cosecha de agua de lluvia (Nasr, 1999).

El agua, debido a su versatilidad, desempeña un papel fundamental en el progreso de las zonas rurales, siendo considerada un recurso esencial e impulsor de cambio, (Vega y Lujan, 2021) aseguran que en las zonas rurales, la disponibilidad de agua representa una de las principales limitaciones para mantener diversas actividades de las familias que se dedican a la producción. Estas familias tienen sistemas de producción mixtos y operan principalmente en una estructura de producción familiar, y muchos de ellos dependen de la economía de subsistencia. El agua es prioritaria para la producción, pero su distribución no es equitativa en términos geográficos y, lo que es aún más importante, el acceso de la población rural a este recurso es inequitativo.

Los reservorios desempeñan un papel fundamental en la agricultura debido a su importancia en el almacenamiento y suministro de agua para uso agrícola, por lo que Déleg (2017) afirma que los reservorios son estructuras diseñadas para almacenar agua durante los períodos de lluvia con el propósito de utilizarla posteriormente en el riego de cultivos agrícolas en áreas rurales que dependen de la agricultura y la ganadería. Estos reservorios tienen como objetivo aumentar la productividad y mejorar las prácticas agrícolas, lo que a su vez conlleva mejoras económicas y sociales. Además, busca fomentar la conciencia de la población sobre el uso adecuado y la maximización del agua, considerando su carácter limitado y que no se encuentra al alcance de todos. Es por eso que los reservorios son de gran importancia para el almacenamiento y la utilización eficiente del agua.

La gestión integral del recurso hídrico

La existencia de agua está ligada a la vida en general; los seres humanos como los animales y las plantas dependen de la disponibilidad y calidad del agua para satisfacer sus necesidades. En la producción de alimentos, el agua y el suelo están vinculados, por lo que el desafío consiste en desarrollar técnicas y tecnologías para conservar y gestionar de manera eficiente estos recursos (MEFCCA et al, 2018). El recurso hídrico es de vital importancia para

el progreso sostenible de los países, debido al enorme potencial del agua para impulsar actividades productivas, ya que en la actualidad la creciente población necesita cubrir necesidad de producción, así como por su capacidad para generar fuentes de energía alternativas y brindar una amplia variedad de servicios ambientales (Correa, 2016).

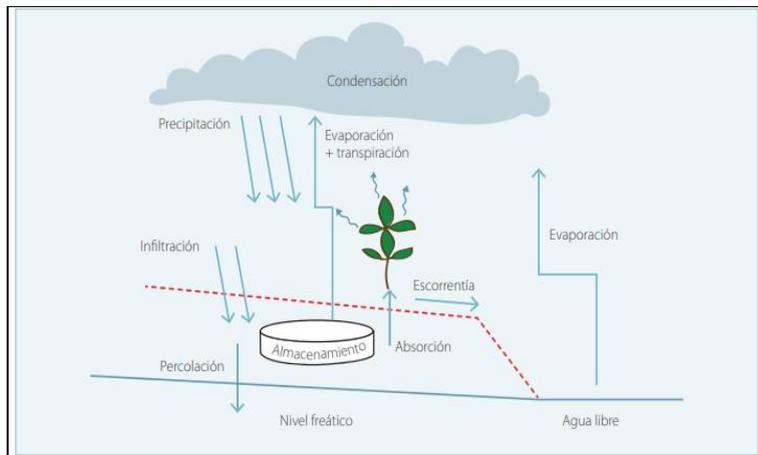
El sector productivo aprovecha al máximo el recurso hídrico, sin tener en cuenta la sustentabilidad; Buroz, E (1998) refiere la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) como un conjunto de herramientas, procedimientos y mecanismos de control para proteger, conservar y mejorar la calidad del agua, del medio ambiente, así como garantizar el uso sostenible de los recursos naturales y los servicios ambientales, sin comprometer su capacidad de ser heredados por las generaciones futuras, al respecto *Global Water Partnership -WGP-* (2013) expresa, que la GIRH es un enfoque completo que considera los ecosistemas, la sociedad y la economía, es decir es multisectorial por lo que el recurso hídrico sigue siendo manejado de manera sectorial para consumo humano, riego parcelario y actividades encaminadas a la producción agrícola.

4.1.1. El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico (Figura 1) es la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa por evaporación de la superficie terrestre a la atmósfera, por transpiración de las plantas y animales y por sublimación, para luego regresar en sus fases líquida y sólida (Fattorelli y Fernández, 2011). El ciclo hidrológico presenta diferencias cualitativas y cuantitativas en sus diversas fases, esto depende de la región o zona (FAO, 2013).

El ciclo hidrológico comprende los distintos procesos del agua que ocurren en la superficie terrestre, Ordoñez, (2011) menciona que el ciclo hidrológico implica un movimiento continuo e interminable de transporte, y esto se debe principalmente a dos factores. El sol proporciona la energía necesaria para elevar el agua a través de la evaporación. y la gravedad terrestre juega un papel importante al hacer que el agua condensada regrese a la Tierra en forma de precipitación y escorrentía.

Figura 1.
Ciclo Hidrológico



Fuente: FAO (2013).

Cosecha de agua lluvia

Según (Qotasata-Amtasiñani, 2019), la cosecha de agua se refiere al proceso de captar y almacenar agua de lluvia en el subsuelo con el objetivo de utilizarla en el futuro. Esta técnica se lleva a cabo mediante la construcción reservorios naturales, zanjas etc. El propósito principal de la cosecha de agua es almacenar agua para periodos de sequía o escasez hídrica.

FAO (2013), la captación de agua de lluvia está definida como “la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo, y que puede lograrse de las superficies de tejados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras” (p. 35). La cantidad de agua que se puede recolectar o cosechar depende de la intensidad, duración, área del sitio, pendiente, tipo de suelo y condiciones de vegetación.

Caro y Jiménez (2020) afirman, que la cosecha de aguas lluvias consisten en la captación y almacenamiento de la precipitación fluvial, para uso en actividades agrícolas y doméstico, en la (Figura 2) se presenta el esquema de infraestructura de un sistema de captación, conducción y almacenamiento.

Figura 2.

Cosecha de agua lluvia



Fuente: MEFCCA Pág. (15)

4.1.2. Técnicas de cosecha de agua

La mayoría de las técnicas de captación de lluvia tienen un origen empírico y han sido desarrolladas a lo largo del tiempo, a partir de las civilizaciones ancestrales de Sudamérica y de otras regiones del mundo. En los últimos 30 años, se han perfeccionado muchas técnicas gracias al aporte de diferentes instituciones y países (Silva et al, 2000).

Existen algunas técnicas ancestrales para la cosecha de agua de lluvias, pero en general se las clasifica según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2016) en dos técnicas globales las cuales son:

Micro captación: Consiste en captar la escorrentía superficial generada dentro del propio terreno, o en áreas contiguas al área sembrada, para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos. Las técnicas de micro captación utilizan las propiedades hidrológicas de un área con pendiente, lisa, poco permeable y sin vegetación, para que genere escorrentía superficial, de las áreas contigua y aguas abajo, con surcos, bordos, camellones u hoyos. También se denomina captación in situ, debido a que se trata de un proceso de captación y uso en un lugar cercano o contiguo. Por sus características, las técnicas de microcaptación se destinan al suministro de agua para cultivo (FAO, 2013).

Macrocaptación: Las técnicas de macrocaptación son más complejas que las de microcaptación, ya que se basan en el aprovechamiento de áreas que generan una mayor escorrentía superficial, como aquellas con una pendiente más pronunciada, suelos delgados o áreas rocosas, y que tienen poca o ninguna cobertura vegetal. Estas áreas se utilizan para generar un volumen significativo de flujo superficial dirigido hacia el área de cultivo. Entre ambas áreas se construyen estructuras de contención y conducción de agua, como acequias,

canales, zanjas o surcos. El agua captada puede ser utilizada no solo para el riego de los cultivos, sino también para abastecer estructuras de almacenamiento, como estanques o embalses para su próximo uso en diferentes propósitos. Además, se considera una técnica de macrocaptación la derivación de fuentes externas de agua, como torrentes, avenidas y cuencas, mediante bocatomas. Si bien la mayoría de las macrocaptaciones se utilizan en regiones semiáridas o áridas, también se aplican algunas captaciones externas en regiones subhúmedas (FAO, 2013).

4.1.3. Cantidad de agua lluvia captable

La lluvia es la principal fuente de agua que el agricultor debe tener en cuenta como recurso disponible en su finca, esta se caracteriza por su duración, que es el tiempo total en el que ocurre la lluvia, su intensidad, que es la cantidad de lluvia que cae por unidad de tiempo, y su frecuencia, que es el número de veces que llueve en un periodo determinado y con características específicas, para determinar la cantidad de agua que se pueda captar para una finca, influyen algunos factores como el área de recarga del reservorio es decir el agua que escurre hacia el vaso, la pendiente, tipo de suelo y la cobertura vegetal del área (Minka et al, 2015).

4.1.4. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial consiste en el flujo del agua sobre la superficie del terreno y forma parte del ciclo hidrológico, la escorrentía puede generarse por una alta precipitación, estas aguas se mueven rápidamente por las pendientes hacia los cursos de agua en las partes bajas, el área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas FAO (2013). En la escorrentía existe una conexión estrecha entre las aguas superficiales y subterráneas de una cuenca, y estos flujos pueden resultar en crecidas repentinas que se caracterizan por cambios bruscos en el nivel del agua en los cauces de los ríos (Orellana y León, 2013).

4.1.4.1. Estimación de la escorrentía superficial

La escorrentía superficial aporta agua adicional de la lluvia que se precipita y se almacena en el suelo, esta escorrentía es uno de los factores importantes para el diseño de los sistemas de captación y almacenamiento de agua para diferentes usos agrícolas FAO (2013). La velocidad de infiltración de agua en el suelo disminuye gradualmente durante una lluvia, hasta que es casi constante conocida como velocidad de infiltración básica. La escorrentía

superficial se define como la diferencia entre la velocidad de infiltración en el suelo y la intensidad de la lluvia, una vez que se ha alcanzado la capacidad de retención inicial del suelo.

La FAO (2004) menciona que La cantidad de agua que se escurre después de las lluvias está influenciada por varios factores. Estos incluyen las propiedades del suelo como su textura, estructura, porosidad, densidad, cantidad de materia orgánica, profundidad del suelo, la transición entre diferentes capas u horizontes que son más o menos permeables. También se ve afectado por la presencia de vegetación viva o mantillo orgánico, el nivel de humedad del suelo antes de la lluvia, el tipo de labranza utilizada y las características del terreno como pendiente longitudinal, y el tamaño del área de captación. o cuenca, entre otros factores.

Hudson (1997) presenta varios métodos para determinar la escorrentía, en el presente trabajo se utilizará el SCS-USDA.

4.1.4.2. Método del SCS-USDA

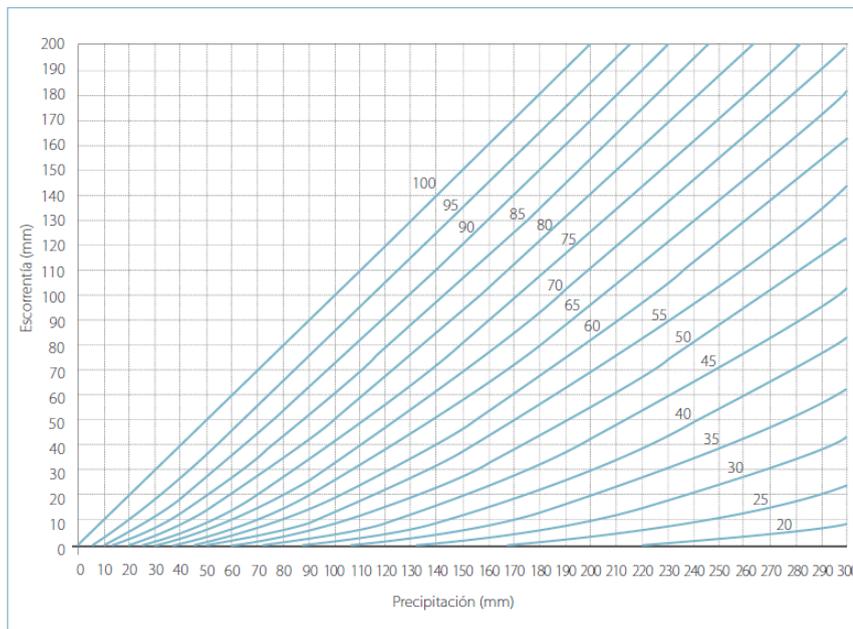
El Servicio para la Conservación del Suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (SCS-USDA), desarrollo la metodología que ha sido aplicada en varios países y demostrando tener un nivel aceptable de precisión en la práctica. El método utiliza un sistema de batería alterna con curvas numeradas (CN) que se muestran en un gráfico de coordenadas (x, y). Los valores de la recepción en milímetros se ubican en el eje x, mientras que los valores de la escorrentía en milímetros se ubican en el eje y. Se desarrolla una línea perpendicular hasta la curva numerada (CN) elegida, basándose en el valor de la precipitación. Una línea horizontal se traza desde este punto hasta el eje para evaluar el valor correspondiente de la escorrentía.

“Para seleccionar la CN que más se acerca a las condiciones del campo específico, es necesario conocer y tener definidos los siguientes factores” (USDA, 1986):

- *grupo hidrológico del suelo.*
- *tipo de cobertura del terreno.*
- *tratamiento que recibe el suelo.*
- *condición hidrológica del suelo.*
- *condición previa a la escorrentía.*

Figura 3.

Relación entre precipitación y escorrentía, según las curvas numeradas (CN)



Fuente: FAO (2013).

4.1.5. Ventajas de la cosecha de aguas lluvia

La cosecha de aguas lluvia permite almacenar el agua de forma sostenible por lo que Hincapié y Rubio (2014) mencionan algunas ventajas:

- En algunos lugares el agua captable tiene buenas propiedades físico-químicas.
- Es un sistema independiente que facilita la captación individual de agua en cada uno de los terrenos para productores que lo empleen.
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales, los cuales son de fácil consecución en nuestro medio.
- En muchos de los proyectos no requiere energía para la operación del sistema, además que es de fácil mantenimiento.
- El sistema es sostenible y respetuoso con el medio ambiente, ya que preserva el suelo, el agua y evita la contaminación ambiental.

Cosecha de agua en el Ecuador

La cosecha de agua de lluvia en Ecuador es una práctica que se está implementando cada vez más en diversas zonas del país. Esta técnica consiste en recolectar y almacenar el agua de lluvia para su posterior uso en diferentes actividades, como el riego de cultivos y abrevadero de animales el abastecimiento de agua potable o el uso doméstico, En Ecuador, donde existen

regiones con lluvia bien definidas, la cosecha de agua de lluvia puede ser una solución efectiva para enfrentar los desafíos relacionados con el suministro de agua. Además, esta práctica presenta ventajas significativas, como la reducción de la dependencia de fuentes convencionales de agua, el ahorro económico a largo plazo y la protección del medio ambiente al utilizar un recurso renovable (Minka et al, 2015).

La Prefectura del Cañar se encarga de la construcción y mantenimiento de diversos reservorios en toda la provincia. Estos reservorios brindan a los agricultores la posibilidad de almacenar agua y así cuidar sus parcelas de manera oportuna, lo que a su vez contribuye a mejorar la productividad. Cada uno de los reservorios tiene una capacidad de almacenamiento que varía entre 150 y 1500 metros cúbicos de agua, lo que permite ocupar aproximadamente 42 hectáreas destinadas a actividades agrícolas y pecuarias. Con estas acciones, el Gobierno Provincial tiene como objetivo mejorar las prácticas agropecuarias y fomentar el desarrollo de las actividades productivas en la región.

En el año 2022 el Gobierno Provincial de Loja, como ejecutor local, ha logrado la construcción de reservorios en algunos cantones, en la (Tabla 1) se describe características de los reservorios, la implementación de estos reservorios son una opción para el abastecimiento de agua en zonas con baja y media precipitación donde en los periodos secos no hay fuentes sostenibles para riego agrícola (Prefectura de Loja, 2022).

Tabla 1.

Capacidad de almacenamiento de reservorios en la provincia de Loja

Cantón	Parroquia	Capacidad (m3)
Macará	Eloy Alfaro	525
	La Victoria	
	Sabiango	
Sozoranga	Tacamoros	525
	Calvas	
Cariamanga	Sanguillín	525
	Chile	
	Quilanga	
Espíndola	Sta. Teresita	625
	Amaluza	
Loja	Vilcabamba	100 - 210
	Malacatos	625 – 900
	Chuquiribamba	100
	Taquil	100

Fuente: Informe del Consejo Provincial de Loja 2022

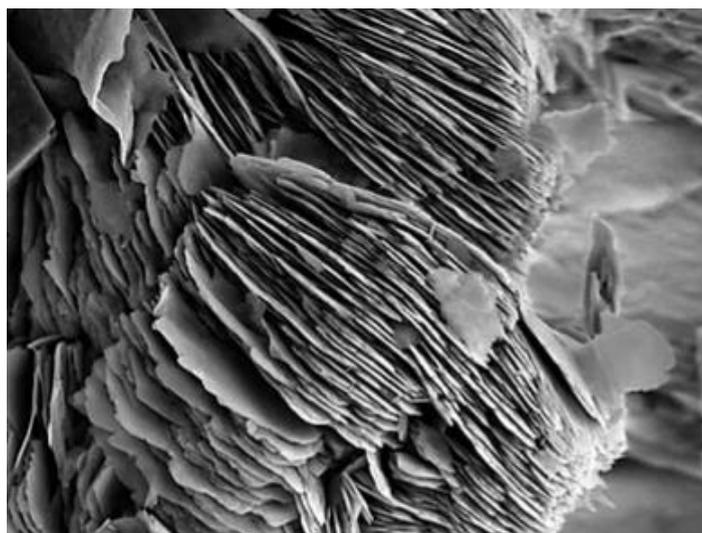
Las arcillas

La arcilla se considera un material natural heterogéneo compuesta principalmente de minerales de grano fino ($<2\mu$), el cual es generalmente plástico con el contenido adecuado de agua y se endurecerá con el secado o cocido (Guggenheim y Martin, 1995, p.255), por su parte Besoain (1985) menciona que petrográficamente se puede llamar arcilla a un conjunto considerable de materiales sedimentarios de textura fina y mineralógicamente poco definido, conformadas por silicatos de aluminio hidratados las arcillas no tienen significado genético unitario ya que pueden provenir de depósitos sedimentarios, o restos de la meteorización.

Las arcillas se presentan en la naturaleza en abundancia, como compuestos de materiales finos que se originan por el desgaste y envejecimiento de la superficie terrestre (Romero y Barrios, 2016) la arcilla es un material muy utilizado por la industria debido a su versatilidad y múltiples aplicaciones.

Figura 4.

Arcillas vistas desde un microscopio



Fuente: Fiker.com

4.1.6. Origen de las arcillas

Las arcillas se forman a través de procesos de meteorización físico-química que descomponen la roca madre original. Su color puede variar dependiendo de las impurezas presentes, desde tonos rojo anaranjado hasta blanco cuando es pura. Las arcillas se consideran agregaciones naturales de granulometría fina, ya sean consolidadas o no. Por lo que Díaz Rodríguez & Torrecillas (2002) mencionan que las arcillas pueden ser “ $< 1 \mu\text{mn}$ según los químicos que estudian los coloides, $<2 \mu\text{mn}$ según los mineralogistas e investigadores del suelo, y $<4 \mu\text{mn}$ según los sedimentologistas”.

Domínguez (2018) manifiesta que las arcillas son una roca plástica compuesta por silicato de aluminio, al entrar en contacto con el agua y someterse al calor se deshidrata y se vuelve frágil y extremadamente dura cuando está seca. Este material tiene una textura granulada muy fina, con partículas muy pequeñas de menos de 4 micras, compuestas principalmente por silicatos de aluminio hidratados

4.1.7. Clasificación de los minerales arcillosos

Las arcillas, en su estado natural, están compuestas tanto por minerales de origen primario como por minerales de origen secundario, los minerales primarios son aquellos que se encontraron en las rocas ígneas que dieron origen a la formación de la arcilla y que han llegado hasta nuestros días sin experimentar cambios significativos en su composición. Por otro lado, los minerales secundarios se han formado debido a las diversas interacciones químicas y físicas que han actuado sobre ciertos minerales de las rocas originales (Verdusch, 1985).

Besoain, E. (1985) menciona que, en términos mineralógicos las arcillas pertenecen a la familia de los filosilicatos, lo que significa que su característica principal es tener una estructura organizada compuesta principalmente por capas de tetraedros de sílice (SiO_4) y octaedros de aluminio (Al_6), en la mayoría de los casos, el mineral dominante en la arcilla determina las propiedades que la componen, entre los principales grupos arcillosos están:

caolinitas

Illitas

Montmorillonita

Vermiculita

Besoain, E. (1985) menciona los siguientes grupos arcillosos y sus características principales;

4.1.7.1. Grupo Caolinita

Establece que las caolinitas están formadas por láminas silícicas y alumínicas, que se sobreponen continuamente, las mismas dada su firmeza entre sus retículas no permiten la penetración de moléculas de agua entre ellas, y serán relativamente estables en presencia del agua. También la caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ es la principal fuente que constituye el caolín y las arcillas que se utilizan para la fabricación de materiales de porcelana, el caolín posee una permeabilidad baja debido a su estructura microporosa y a la alta superficie específica de las partículas. Esta característica lo hace ideal para su uso como barrera impermeable en aplicaciones geotécnicas e ingeniería civil, el caolín presenta una baja conductividad

hidráulica, lo que significa que el agua fluye a través de él de forma lenta. Esta propiedad es importante para el control de la erosión y la infiltración del agua en el suelo.

Figura 5

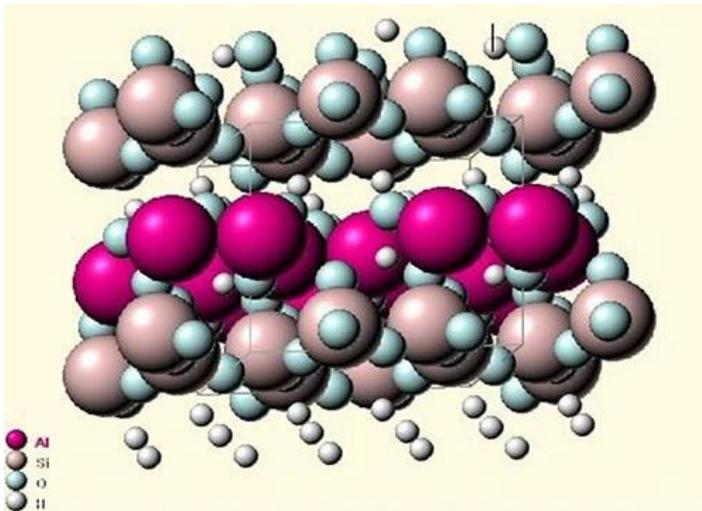
Arcilla caolinita



Fuente: OutletMinero

Figura 6.

Estructura del caolín



Fuente: REFIL

La caolinita está compuesta por tetraedros de silicio. Los tetraedros de silicio están formados por un átomo de silicio rodeado por cuatro átomos de oxígeno, las capas de silicato se aplican una encima de la otra formando una estructura cristalina es hexagonal y de forma muy regular y ordenada, la distancia entre las capas de silicato en la caolinita es de 7,14 Å.

4.1.7.2. Grupo Illita

Las partículas de este grupo de arcillas son más pequeñas y delgadas que la caolinita, lo que provoca que la formación de enlaces sea más débil, su expansibilidad es menor que la montmorillonita y, usualmente estas arcillas permiten un trabajo mecánico más favorables.

Esta arcilla es un producto de alteración o meteorización de las micas blancas o llamado muscovita, el cual ocurre al perder potasio e incorporar agua en su composición. La illita es un mineral que presenta una alta sustitución isomórfica y como resultado una alta densidad de carga eléctrica, sin embargo, presenta una capacidad de intercambio catiónico CIC de 15-45 meq/100g, no presenta una mayor capacidad de intercambio catiónico.

Según Navarro (2003) dice que los suelos poseen capacidades de absorber determinadas sustancias, esta propiedad química del suelo se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de partículas en el suelo, por lo que la materia orgánica proporciona mayor capacidad de retención sustancias, es decir, posee mayor capacidad de intercambio catiónico que las propias partículas de arcillas. De acuerdo con el arreglo estructural este tipo de arcilla es (2:1), La Illita y vermiculita son arcillas similares a la montmorillonita, pero en estas se presenta una gran sustitución de Si^{++++} por Al^{+++} . La carga negativa resultante de la sustitución isomórfica es balanceada por iones K^+ en la Illita y Mg^{++} en la vermiculita (Muñoz, 1977), La conductividad hidráulica de las illitas puede variar entre 10^{-7} y 10^{-3} m/s, dependiendo de las características del suelo, estas arcillas son relativamente susceptibles a la erosión debido a su baja cohesión y a su dispersión en agua, las illitas tienen una capacidad moderada de retención de agua en comparación con otros tipos de arcilla.

Figura 7.

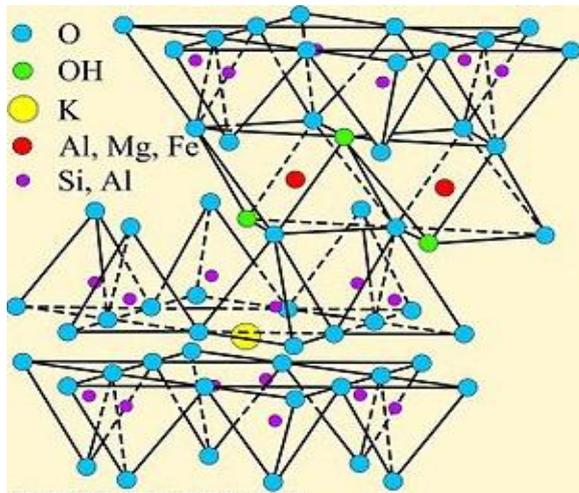
Arcilla Illita



Fuente: Cruz E.

Figura 8.

Estructura de las Illitas



Fuente: GRIM (1962)

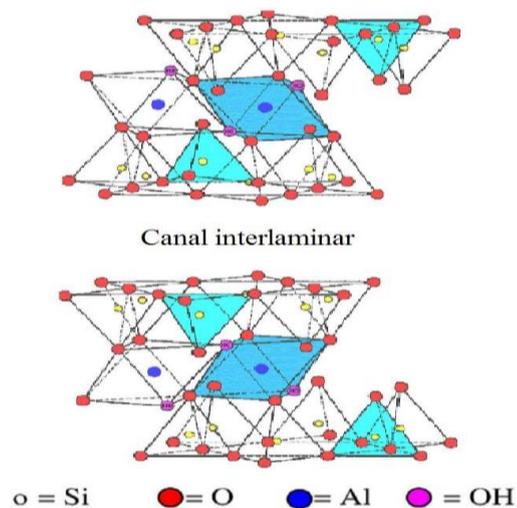
4.1.7.3. Grupo Montmorillonita

Se trata de una arcilla del tipo 2:1 con una capacidad de intercambio Catiónico de aproximadamente 120 me/100gr, lo que la hace altamente expansiva. En el espacio entre las dos láminas de sílice se encuentra una brucita o una gibsita, y este patrón se repite infinitamente.

La unión entre los minerales individuales es débil, lo que permite que el agua se infiltre y provoque la expansión del suelo. Además de ser expansiva, la montmorillonita tiene una gran plasticidad y se contrae al secarse, lo que mejora su resistencia y la vuelve impermeable, se la encuentra en zonas con suelos poco áridos (Besoain, 1985).

Figura 9.

Estructura de la Motmorillonita



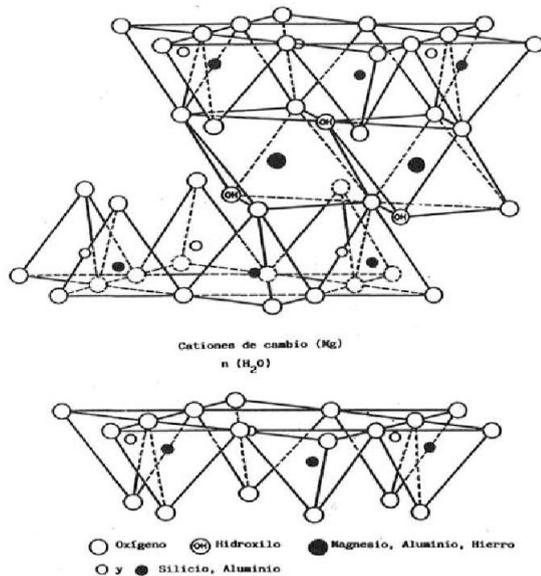
Fuente: Cruz E.

4.1.7.4. Grupo Vermiculitas

Está compuesta principalmente de productos de la meteorización de la biotita y la clorita. Su estructura es idéntica a la montmorillonita, solo que este grupo es el catión Magnesio (Mg) el que proporciona los enlaces entre láminas, acompañados por algunas moléculas de agua (Whitton, 1994). Las capas de silicato en la vermiculita están compuestas por tetraedros de silicio y octaedros de aluminio. Los tetraedros de silicio están formados por un átomo de silicio rodeado por cuatro átomos de oxígeno los octaedros de aluminio están formados por un átomo de aluminio rodeado por seis átomos de oxígeno o hidróxido. La estructura cristalina de la vermiculita es monoclinica.

Figura 10.

Estructura de las vermiculitas



Fuente: Escaño, M; Justo, A. (1993)

4.1.8. *Propiedades físicas-mecánicas de las arcillas*

Para GARCÍA et al, (2018) mencionan que las propiedades físicas de las arcillas están determinadas por el tamaño de sus granos. El tamaño común de grano de arcillas y arenas es el siguiente: Arenas: de 2.00 a 0.05mm de diámetro, Arcillas: menores de 0.002mm de diámetro. Las arcillas presentan diversas propiedades según su origen, su composición mineralógica, entre otros, a su vez Salas (1975) afirma que estas propiedades varían a cada tipo de material arcillo entre las propiedades más notorias (Tabla 2) son las que se presenta a continuación:

Tabla 2.*Propiedades Físico-mecánicas de las arcillas*

DESCRIPCION	
<i>Fluidificación</i>	Es la capacidad que tiene algunas arcillas para mantenerse en suspensión durante un corto tiempo, para posteriormente depositarse en estratos.
<i>Plasticidad</i>	Propiedad que poseen ciertos elementos para conservar una deformación permanente por la acción de una fuerza, se denominan cuerpos plásticos a aquellos que presentan dicha propiedad.
<i>Refractariedad</i>	Es la propiedad de un elemento a resistir un incremento de temperatura, sin sufrir variaciones, en las arcillas debemos considerar que cada tipo presenta diferentes temperaturas de cocción.
<i>Capacidad de absorción</i>	Esta se relaciona directamente con las características de textura, donde cada tipo de arcilla presenta diversas capacidades de retener agua debido a la Cantidad de poros presente.
<i>Porosidad</i>	Hace referencia a la organización estructural que puede presentar cada tipo de arcilla, depende de la estabilidad más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico.
<i>Color</i>	El color que se presentan en las arcillas es debido a los tipos de mineras presentes, estos varían dependiendo del tipo de arcilla, los más comunes que se presentan rojizos por la presencia de óxidos de hierro y aluminio, oscuros etc.
<i>Tixotropía</i>	Consiste en la pérdida de la resistencia de un coloide, es decir pierden resistencia y luego recuperan su estado inicial, las arcillas tixotrópicas al amasarlas se convierten en un fluido, al dejar reposar recuperan su cohesión.
<i>Permeabilidad</i>	Es una de las propiedades que tienen los suelos para transmitir el agua y el aire, la permeabilidad también tiene que ver con la microestructura de un suelo durante un proceso de compactación.

Fuente: Jiménez Salas, et al. (1975, pág32-50)

4.1.9. Propiedades mecánicas de las arcillas

4.1.9.1. Granulometría.

La granulometría del suelo es la distribución del tamaño de las partículas que componen el suelo. Es una propiedad física importante del suelo que afecta muchas de sus otras propiedades, como la infiltración de agua, la retención de agua, la aireación y la fertilidad, la granulometría del suelo se puede utilizar para clasificar los suelos en diferentes tipos de textura. La textura del suelo es una descripción de la sensación del suelo cuando se manipula. Los tipos

de textura del suelo incluyen arena, arena limosa, limo arenoso, franco arenoso, franco limoso, franco arcilloso, arcilla limosa y arcilla Buol, W., Hole, D., & McCracken, R. (2011).

La clasificación de las fracciones de granos (Tabla 3), adoptada por un gran número de laboratorios y que se refiere a las normas (ASTM. AFNOR) es la siguiente:

Tabla 3.

Clasificación granulométrica

>V	Guijarros	200mm – 20mm
V	Gravillas	20mm - 2mm
IV	Arenas Gruesas	2mm – 0.2mm
III	Arenas finas	0.2mm – 0.06mm
II	Siltes	0.06mm – 0.02mm
IIA	Siltes Finos	0.02mm – 0.002mm
I	Arcillas	0.002mm- 0mm

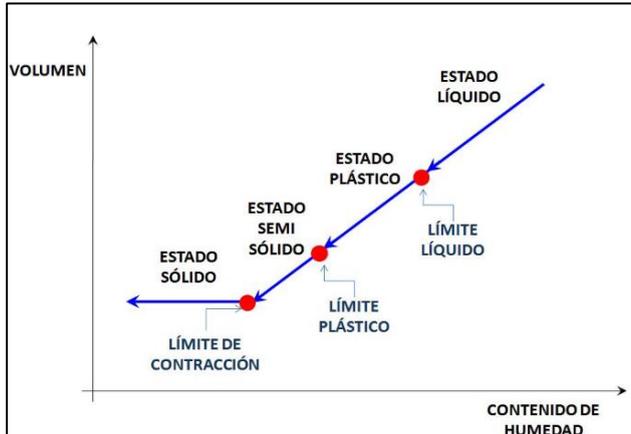
Fuente: Bañón, 2012 (p. 1-10)

4.1.9.2. Consistencia del suelo

La consistencia del suelo permite predecir su comportamiento al aplicar fuerza y condiciones de humedad variables, esto ayudan a la identificación de los suelos finos, están relacionados con la cantidad de agua que contiene el material y que cantidad es capaz de absorber (FAO, 2009). Para la determinación de la consistencia de un suelo se realiza las pruebas de los límites de atterberg, los cuales están basados en trabajos realizados por Arthur Casagrande y sustentados en la norma ASTM D 4318 (Geotechnical, s. f.).

Figura 11.

Consistencia del suelo



Fuente: (Geotechnical, s. f.).

Con lo mencionado anteriormente (Gippini, 1979) define los siguientes parámetros como:

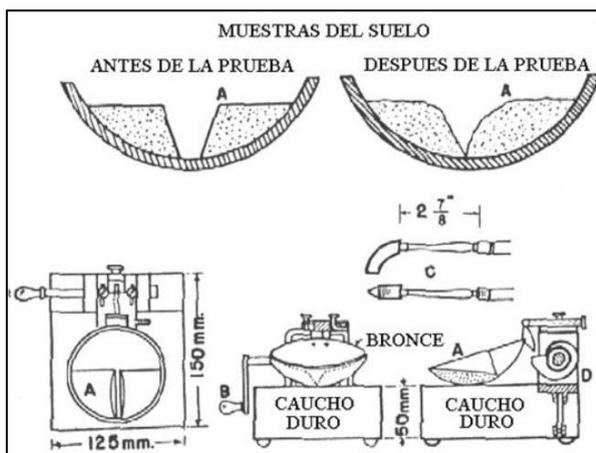
Límite líquido (LL): Es el comportamiento de un suelo arcilloso con un porcentaje de agua, cambia del estado plástico al líquido.

Límite plástico (LP): Comportamiento de un suelo al disminuir el porcentaje de humedad, cambia de la consistencia semisólida a plástica.

Índice de plasticidad (IP): Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Figura 12.

Prueba de Casagrande



Fuente: (Geotechnical, s. f.).

4.1.10. Propiedad hidráulica de las arcillas

4.1.10.1. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica (K) de los suelos según Smedema y Rycroft afirman que es la propiedad hidráulica de mayor relevancia en la capacidad máxima de saturación de un suelo y el movimiento del agua dentro del mismo, igualmente es de gran relevancia para el diseño y establecimiento de los canales de drenaje, esta propiedad permite identificar la capacidad de transmisión del agua por parte de sus diferentes horizontes y evidenciar la homogeneidad del suelo.

La conductividad hidráulica es indispensable para estimar el flujo de agua en los suelos. Debido a su relación con la estructura del suelo y a su variabilidad espacial, se considera importante contar con métodos automatizados para su cálculo en el campo, ya que esto es fundamental en el estudio de los procesos de transporte de agua y solutos (Benedí et al, 2003).

Existen varios métodos para determinar la conductividad hidráulica (k), los cuales incluyen ensayos de laboratorio, pruebas en el lugar y métodos empíricos. Los métodos empíricos permiten obtener el valor de k indirectamente, mediante relaciones con otras propiedades del suelo, según Angelone, Garibay y Cauhapé, (2006) mencionan los distintos métodos para determinar la permeabilidad de los suelos:

Laboratorio

Permeámetro de carga constante: El permeámetro de carga constante funciona aplicando una carga constante de agua a una muestra de suelo que fluye a través de la muestra de suelo y la cantidad de agua que fluye se mide durante un período de tiempo específico. La permeabilidad del suelo se calcula a partir de la cantidad de agua que fluye y el tiempo que tarda en fluir, este método permite determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos de grano grueso como gravas y arenas con valores mayores a 10 m/seg ASTM D2434-68 (2018).

Permeámetro de carga variable: Este método permite evaluar la capacidad de permeabilidad en suelos de granulometría fina, incluyendo arenas finas, limos y arcillas. En este tipo de suelos, el flujo de agua que los atraviesa es tan reducido que dificulta la obtención de mediciones precisas mediante métodos tradicionales.

Whitlow (1994) y Das (2001), presentan (Tabla 4 y 5) rangos de valores para la conductividad hidráulica en algunos tipos de suelo y su grado de permeabilidad.

Tabla 4.*Conductividad hidráulica para suelos saturados*

Tipo de suelo	Conductividad hidráulica cm/s
Grava limpia	100-1
Arena gruesa	1,0-0,01
Arena fina	0,01-0,001
Arcilla limosa	0,001-0,00001
Arcilla	0,000001

Fuente: Das (2001)**Tabla 5.***Grado de permeabilidad o conductividad hidráulica de los suelos*

Grado de permeabilidad	Conductividad hidráulica cm/s
Elevada	Superior 10^{-1}
Media	10^{-1} a 10^{-3}
Baja	10^{-3} a 10^{-5}
Muy Baja	10^{-5} a 10^{-7}
Prácticamente impermeable	Menor de 10^{-7}

Fuente: Whitlow (1994)

4.1.10.2. Ensayo de permeabilidad del suelo en campo

La capacidad del suelo para permitir el paso de agua y aire es una propiedad importante que debe tenerse en cuenta al construir un reservorio. Un estanque construido sobre suelo impermeable experimentará una mínima pérdida de agua por filtración, pero en suelos altamente permeables, la filtración puede ser tan intensa que se requieren técnicas constructivas especiales para cualquier tipo de estanque. “Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración” (FAO, s. f.), la dimensión de los poros del suelo desempeña un papel fundamental en la velocidad de filtración (el movimiento del agua hacia el suelo) y la velocidad de percolación (el movimiento del agua a través del suelo). La textura y estructura del suelo, junto con el tamaño y número de poros, están estrechamente relacionados y afectan su permeabilidad.

Para medir la permeabilidad de un suelo en campo se puede aplicar una de las siguientes pruebas mencionadas por al (FAO, 2004):

- La evaluación visual de la tasa de permeabilidad del horizonte del suelo;
- Un ensayo de campo para estimar la permeabilidad del suelo;
- Un ensayo de campo preciso para medir la tasa de permeabilidad;

La infiltración de agua en el suelo ocurre tanto de manera horizontal como vertical, siendo el movimiento vertical la que fundamentalmente tiene lugar en los reservorios. Para que un suelo sea adecuado como fondo de un reservorio, no solo debe tener la permeabilidad necesaria, sino también un espesor mínimo de aproximadamente 0,5 a 1m.

Tabla 6.

Tasa de permeabilidad de ensayo en campo

Tasa de permeabilidad en mm/h	Aptitud para fondo de estanque
Inferior a 2	<i>Infiltración aceptada:</i> suelo apto
2-5	<i>Infiltración rápida:</i> el suelo es apto solo si la infiltración se debe a la estructura del suelo que desaparecerá cuando se llene el estanque.
5-20	<i>Infiltración excesiva:</i> suelo no apto a menos que se reduzca la infiltración.

Fuente: (FAO, s. f.)

4.1.11. Propiedad química de las arcillas

4.1.11.1. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, gracias a su contenido en arcillas y materia orgánica. Se expresa en miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo seco (meq/100g), los minerales de arcilla, como la caolinita, la illita y la montmorillonita, tienen una carga negativa en su superficie debido a la presencia de grupos funcionales como los óxidos de silicio y aluminio. Esta carga negativa es compensada por la presencia de iones positivos, como el calcio, el magnesio, el potasio y el sodio.

Tabla 7.

Capacidad del Intercambio Catiónico para diferentes tipos de arcilla y textura del suelo

Tipo de arcilla	meq/100g
Montmorillonita	80-100
Caolinita	3-15
Illita	16-40
Materia orgánica	200-400
Textura del suelo	
Arena	1-5
Franco arenoso	5-10
Franco	5-15
Franco arcilloso	15-30

Fuente: fertilab.

4.1.12. Suelos empleados para construir reservorios

(MEFCCA et al, 2018) proponen que se deben utilizar materiales con más del 40% de arcillas (Tabla 8), ya que presentan propiedades físicas-mecánicas idóneas.

Tabla 8.

Porcentaje idóneo de Arcillas para construir reservorios de tierra

Materiales	Contenido de arcilla (%)	Calidad del material
Arcilla	40 - 60	Buena.
Arcilla arenosa	20 - 40	Muy buena
Arcilla arcillosa	10 - 20	Regular
Arenas	Menos de 20	Malo

Fuente: Villamizar, 1999 (MAG Costa Rica 2009, p, 34).

Reservorios

Es una estructura de tierra compactada e impermeabilizada, también se lo conoce como estanque o embalse de agua (PASOLAC, 2016), principalmente en Latinoamérica esta estructura permite mantener una reserva de agua, se construye en lugares estratégico del área agrícola o de una finca donde se pueda captar la mayor cantidad de agua ya sea desde un cauce o de escorrentía o directamente de la lluvia, el uso del recurso almacenado puede ser para riego o abrevadero de ganado (Pérez et al, 2012).

En resumen, las aguas de escorrentía superficial en cuencas pequeñas representan un recurso valioso que no debe ser desaprovechado. Con la implementación de estrategias adecuadas, este recurso puede contribuir a la sostenibilidad ambiental, económica y social de las comunidades locales. Dal-Rè (2003).

Figura 13.

Pequeños Reservorios artesanales



Fuente: Autor

Para Hidalgo (2010) la construcción de las grandes represas y reservorios es producto de una mejora continua y nace a partir de una necesidad de una cierta cantidad de habitantes con la condición de mejorar su calidad de vida, producción, rentabilidad y obtener mejores beneficios, Para la construcción de una infraestructura es necesario tener en cuenta una planificación y tiempo de preparación para realizar los planos de acuerdo a los diseños con capacidad de irrigación y cálculo de caudal para regular las salidas de agua.

4.1.13. Tipos de reservorios

El acaparamiento de agua en reservorios permite al productor del sector agrícola, un suministro de agua en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en invierno, la calidad de agua dependerá de las condiciones como se encuentre esta estructura, así como el área de influencia de su recarga, según (Ministerio de Agricultura y Ganadería-Costa Rica 2010). Rafael Dal Re (2003) menciona los principales tipos de reservorios para el almacenamiento de agua

Reservorios Dique-Represa con revestimiento: Los embalses de represa almacenan gran parte del agua por encima de la superficie original del terreno, este tipo de reservorios se necesita cuando los suelos no son arcillosos.

Reservorios Dique-Represa con gaviones: Estos puede utilizar donde hay suficiente piedra para armar el dique. En este caso, no es necesario hacer movimientos de tierra en la depresión natural donde se construye el reservorio.

Figura 14.

Reservorio tipo dique-represa



Fuente: Umeba E.

Reservorio Excavado: Almacenan gran parte del agua debajo del nivel original del suelo. Se construye en terrenos relativamente planos, se pueden llenar con el agua de escorrentía como agua subterránea.

Figura 15.

Reservorios excavados



Fuente: Cotino, J. (2009 pág14)

Reservorio Estanque con revestimiento: Este tipo de reservorio permite que el nivel del agua se puede llevar por encima del suelo, mediante la construcción de paredes.

Figura 16.

Reservorio tipo estanque.



Fuente: Construcción y vivienda, 2022

Reservorio Envase: Este tipo de reservorio se utiliza para capturar aguas de techos. Puesto que la capacidad de almacenaje no es grande.

Reservorio Dique Escalonado: Es una variación del reservorio dique – represa con el cual se aprovecha la pendiente del terreno para construir diques en serie y, de esta forma, rebajar costos por movimientos de tierra.

4.1.14. Elementos por considerar para la construcción de reservorios

Los reservorios permiten almacenar agua que se pueden utilizar en diversas actividades en el sector agrícola, por lo que se deben tener en cuenta algunos aspectos importantes para su diseño y su construcción, Villamizar (1984) menciona que los principales elementos a considerar para el diseño y construcción de reservorios son:

Selección del sitio: Debe proponerse la ubicación más ventajosa, para evitar gastos de bombeo, para cualquier actividad agrícola es ideal utilizar la gravedad para el transporte del agua, por lo que conviene ubicarlo en una zona elevada de la finca, pero con suficiente área de captación para llenarlo en invierno.

Topografía: La ubicación perfecta para la construcción de un reservorio es una depresión natural ancha y plana con una garganta estrecha en el extremo inferior, que permita embalsar el agua con una represa transversal. El sitio más económico es el que admite represar la mayor cantidad de agua, con profundidad suficiente, usando la balsa de menor tamaño y con el mínimo movimiento de tierra.

Textura del suelo: Es preferible construir los reservorios en suelos de estructuras arcillosas, que al compactarse obtengan una cierta impermeabilidad y estabilidad, garantizando una economía donde el productor tenga un gasto mínimo, sin embargo, si se usan geomembranas de PVC o plástico, pueden ser construidos en suelos francos y arenoso, siempre y cuando dándole un buen mantenimiento.

Fuente de agua y área de drenaje: Para realizar la captación de aguas pluviales existen muchas variables como; si el reservorio se llena con agua de escorrentía, sería mejor que ésta proceda de pastizales, con buena cobertura, para que no exista un arrastre de sedimentos. De existir sedimentos arrastrados, se puede construir una estructura para la sedimentación antes de la entrada al embalse.

4.1.15. Estructura de un reservorio

Según la guía técnica ejecutada por el Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa denominada (MEFCCA et al, 2018), mencionan que los reservorios

forman parte de un sistema para la cosecha y almacenamiento de agua, en donde se estructuran principalmente por:

Dique: Dal-Rè, (2003) menciona que estos diques se construyen con los materiales excavados para crear parte del vaso, donde se almacenara el agua pluvial y compensar el volumen a almacenar.

Vaso o embalse: Es el área donde se almacena un volumen de agua que se recolecta por la recarga que produce la precipitación en el área portante del embalse.

Corona: Esta es la parte superior del dique, en donde recomienda protegerla con alguna cubierta vegetal tipo arbustiva o un tipo de ripio, con el objetivo de evitar la erosión de este.

Talud “Aguas Arriba”: Es el muro interno que conforma el dique, esta está en contacto directo con el agua almacenada, construida con una pendiente del 60% con la finalidad de resistir la presión del agua, a esto recomiendan que “por cada metro de elevación del dique se construirá 2.5m de ancho de la base”, (Dal-Rè, 2003) recomienda que este talud tenga una inclinación entre 1-3 a 1-3,5.

Talud “Aguas Abajo”: Este es el muro externo del dique también llamado escollera, que conjuntamente con la pared interna soportan la presión de agua almacenada en el vaso o embalse, este muro se lo tiene que proteger para evitar la erosión, ya sea con cubierta vegetal o algún material rocoso.

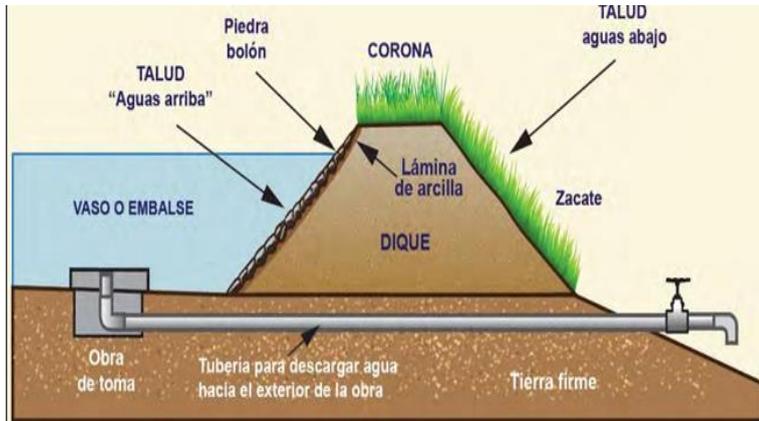
Vertedero: Este se denomina también aliviadero, consiste en una estructura hidráulica destinada a ceder el paso del agua, que se encuentra en exceso dentro del embalse, evitando que se produzca daños en la estructura del reservorio.

Tubería de descarga: Esto todo el sistema que se encarga de extraer el agua desde el embalse hacia el exterior para su distribución.

Caja de lavado sedimentos: Se ubicará dentro del embalse a 1 m de distancia del talud interno, a nivel de la tubería de salida del agua, es decir a ras del suelo. Para evitar el ingreso directo de sedimentos a la trampa, se construirá la trampa con un borde de 20 cm con respecto a nivel del suelo.

Figura 17.

Estructura de un reservorio



Fuente: MEFCCA, 2018 Pag-3

4.1.16. Embalses impermeabilizados con arcilla

Los embalses pueden situarse independientemente de la calidad del terreno, por lo que Cotino (2009) menciona que es poco frecuente que en el lugar de emplazamiento sea impermeable y que el material de excavación sea adecuado para la construcción de un dique impermeable, así como también es poco frecuente que en las inmediaciones se encuentre un material arcilloso adecuado, pero si se da ambas circunstancias conviene aprovecharlas para obtener una obra duradera.

Así mismo Villamizar (1989) alude que es recomendable que la proporción de arcilla presente en el rango ideal esté entre el 20% y el 40%. Este material es favorable debido a sus buenas propiedades y no requiere precauciones adicionales. Además, indica que las arenas arcillosas, arcillas altamente moldeables y limos elásticos pueden ser utilizados en terraplenes o presas de tierra, siempre y cuando su altura no supere los ocho metros.

Para Armas (2002) en su estudio denominado “Criterios para Diseñar Presas de Tierra: Prioridad y Secuencia”, sugiere que es recomendable utilizar suelos plásticos con un índice de plasticidad (I_p) igual o superior al 15% siempre que sea posible, ya que estos materiales son menos propensos a agrietarse. Es importante compactar estos suelos utilizando energías de compactación similares a las del Proctor Estándar, que se han estudiado en el laboratorio. Asimismo, se debe realizar la compactación con humedades que estén dentro de un rango de $\pm 2\%$ de la humedad óptima del Proctor Estándar y lograr grados de compactación superiores al 90% de esa energía, todas estas medidas se deben aplicar siempre y cuando se trate de "suelos no dispersivos", con el objetivo de prevenir problemas como agrietamiento, sifonamiento mecánico, deslizamiento de taludes y pérdidas por filtración.

4.1.17. Efectividad de los reservorios para el almacenamiento de agua

Culminada la obra de construcción del reservorio, se recomienda aplicar agua en el vaso y en la parte superior durante algunos días y continuar compactando de tal forma que al comprimir, este afirme la arcilla de manera rápida, cerrando espacios que puedan haber quedado, este trabajo proporciona garantía y éxito de la obra, así como también se debe realizar el cuidado o limpieza en la parte interna o vaso del reservorio, como en la parte externa siempre vigilando la cantidad de agua que va disminuyendo e identificando el porqué, para su posterior arreglo, aunque su contenido puede disminuir por diferentes factores como por la escasez de lluvias, por evaporación e infiltración (Ministerio de Agricultura y Ganadería- Costa Rica, 2010).

4.1.17.1.Capacidad de almacenamiento.

Para establecer el volumen de agua requerido, se debe analizar el uso que se le dará a ella, así como las pérdidas por evaporación e infiltración del agua de reserva. Si el embalse es de forma geométrica no hay ninguna dificultad para calcular el volumen, ya que se usan los cálculos de geometría general, si es de forma irregular, se debe hacer el levantamiento topográfico para posteriormente estimar el volumen, esta capacidad de almacenamiento dependerá del lugar donde se implementará el reservorio, así como de las condiciones climáticas que presente la misma y el área de recarga para la zona agrícola (MEFCCA et al, 2018).

Para Córdova (2015) menciona los siguientes elementos;

4.1.17.2.Volumen de sedimentos.

El diseño del embalse o reservorio deberá asegurar que exista el suficiente espacio de almacenamiento de sedimentos, ya que los sedimentos más gruesos se quedan primero que los finos y un porcentaje de finos se depositan en el vaso por lo que se deberá definir el espacio que ocuparan dichos sedimentos, y estos no obstaculicen el funcionamiento adecuado de las obras del embalse o reservorio.

4.1.17.3.Estructuras de captación.

Las estructuras de captación son las obras de toma que están colocadas por encima del nivel de sedimentos y por debajo del nivel mínimo de operación del embalse, estas obran comunican toda la conducción del agua a través del sistema empleado para luego llegar al embalse y su posterior salida hasta su distribución.

4.1.17.4. Vertedero de excesos.

Los volúmenes de agua que se generan y sobrepasan el volumen útil del embalse, debe ser desalojada en el menor tiempo posible sin que cause algún daño a la estructura, para esto se deben diseñar obras de vertimiento de exceso, las cuales deben tener capacidad para conducir los picos de las crecientes extraordinarias en forma segura hasta entregarlos aguas abajo de la presa.

4.1.18. *Mantenimiento de reservorios*

Para el mantenimiento no todas las fuentes de recarga o lugar de procedencia del recurso hídrico son ideales para su almacenamiento en el reservorio, por lo que se debe realizar un análisis del lugar de procedencia del agua, así mismo realizar un drenaje del agua que se ha acumulado por cierto tiempo ya que esta presentara sedimento, realizar una limpieza del vaso, así como del área de recarga de agua, revisar y resanar alguna estructura que este con problemas de erosión (Ministerio de Agricultura y riego Perú, 2018).

4.1.19. *Cerca de protección*

Con el fin de prevenir posibles accidentes derivados de la presencia de personal no autorizados o animales, se proporciona una barrera perimetral. Esta estructura se instala a aproximadamente 2 metros de la frontera del depósito con el objetivo de facilitar la circulación interna durante las labores de gestión así como el mantenimiento del reservorio, el sitio debe permanecer nivelado y despejado de obstáculos, malezas y arboles (MEFCCA et al, 2018).

Protocolo de impermeabilización de reservorios

En cualquier tipo de construcción existen normativas, así como procesos para realizarlo, en el Ecuador no se especifica un protocolo para el proceso de impermeabilización, pero si toman en cuenta la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC), donde menciona que los mejores suelos para construir y revestir reservorios son los arcillosos ya que dificultan la infiltración del agua.

El manual presentado (MEFCCA et al, 2018) indican que existen diversas opciones para impermeabilizar, los cuales dependen del tipo de suelo, la ubicación, el propósito de la obra, para la impermeabilización con arcilla el paso más importante es la selección apropiada del material arcilloso, ya que esta al mojarse se vuelve moldeable, con el paso de los tiempos se ha comprobado que los suelos con mejores resultados son los que presentan proporciones de 20%

al 40% de arcilla y arena, es decir suelos que presenten un mayor porcentaje de arcilla permitiendo la estanquidad del agua.

Según la guía descrita anteriormente se debería seleccionar la arcilla en donde se forman charcos que tardan mucho tiempo en secarse; con esto se debe realizar: Preparar la arcilla para colocar una capa de 20 cm en todo el vaso del reservorio. Para ello, se necesitará 1 m³ de arcilla x cada 5 m² de superficie a impermeabilizar. En un reservorio con un área plana (vaso) de 1,000 m², el volumen de arcilla necesario será de 200 m³ (MEFCCA et al, 2018).

Luego se debe realizar la compactación, esto se debe realizar progresivamente es decir volver a humedecer y compactar, esto se deberá realizar durante algunos días para que la capa de arcilla cumpla con lo requerido.

Figura 18.

Protocolo de impermeabilización



Fuente: CATTIE

Impacto Ambiental en Proyectos de Aprovechamiento de Recursos Hídricos

Cuando se realiza una obra en de construcción se impone la alteración del conjunto de la cuenca hidrográfica en la que se asienta, esto supone alteraciones de tipo ambiental que deben ser estudiadas y evaluadas desde el punto de vista técnico, ambiental y económico. Para Sparrow (2009) estudiar el efecto ambiental está orientado a determinar y valorar la consecuencia de las modificaciones ocasionadas en el medio por la construcción de la obra hidráulica, estas se deben justificar y en su posterior ejecución elaborar acciones que encaminen a la regeneración del medio natural que fue expuesto.

5. Metodología

Método de estudio

El presente estudio se lo diseño con un modelo de investigación no experimental aplicado de manera transversal, con enfoque cuantitativo descriptivo; es decir, los datos obtenidos se realizaron en un momento y tiempo determinado, aplicando técnicas de observación para la recolección de datos, que permitieron obtener resultados usando modelos matemáticos.

Descripción y Ubicación de la zona de Estudio

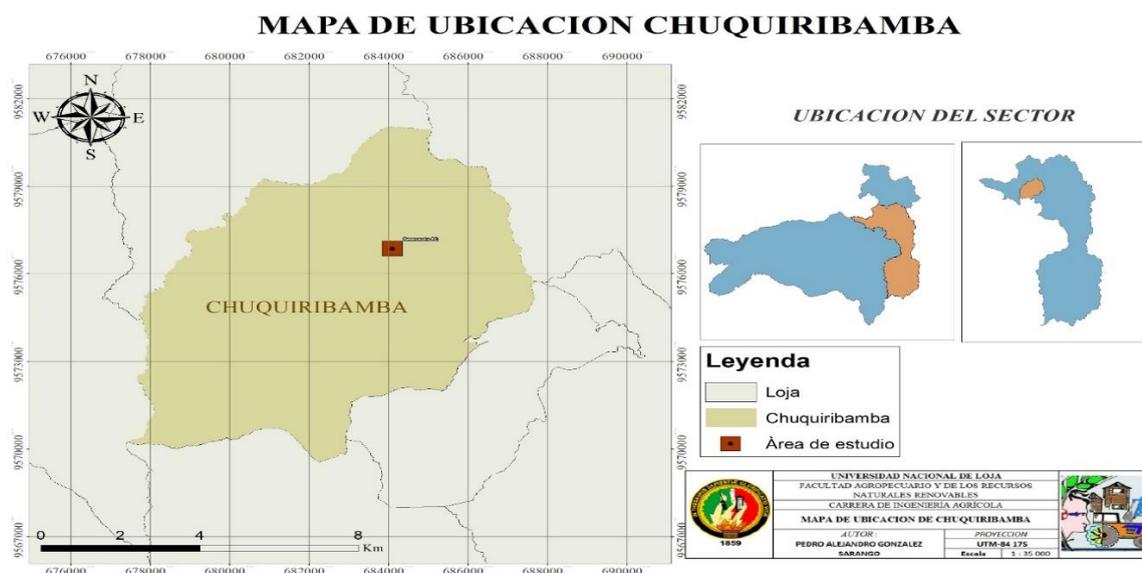
La parroquia Chuquiribamba (Figura 11) pertenece al sector rural del cantón Loja, provincia de Loja, fundada el 27 de abril de 1911; localizada al sur de la región interandina de la república del Ecuador, situada en una altitud de 2 723 m s.n.m. por lo que se puede presenciar la formación de montañas que se entrelazan naturalmente.

Los límites de la parroquia Chuquiribamba son: al NORTE con las Parroquias de Gualiel y Santiago, al SUR con la Parroquia Chantaco y el Cantón Catamayo; ESTE con la Parroquia Santiago y al OESTE con la Parroquia El Cisne.

Geográficamente se ubica a 3° 20' 40" latitud Sur y 79° 22' 33" longitud Oeste, posee una extensión territorial de 198 km², presenta temperaturas que fluctúan entre 8 °C y 20 °C, siendo 12,5 °C la temperatura promedio (PDOT, 2019-2023).

Figura 19.

Mapa de ubicación de la parroquia Chuquiribamba



Elaboración: Propia del Autor

El predio donde se realizó el presente TIC (Figura 12) corresponde a las siguientes coordenadas UTM WGS-84:

Zona 17 S

Norte: 9 520 212 m

Este: 674 484 m

Altitud: 2 877 m s.n.m.

Figura 20.

Ubicación del sitio de implantación del reservorio para cosecha de aguas lluvia.



Elaboración: Imagen de Google Earth

Materiales

Entre los materiales empleados para la ejecución de este TIC constan;

Materiales de campo: cámara fotográfica, estación total/GPS, libreta de campo, cinta métrica, muestras de suelo, flexómetro, pico, pala y sacos para transportar muestras de suelo.

Equipos de laboratorio: balanza de precisión, estufa, capsulas, vasos de precipitación, piseta, varilla de agitación, probetas Bouyoucos, agitador mecánico para suelos con sus accesorios, balanza analítica de precisión: 0,01g-0,00001g, hidrómetro (ASTM), termómetro: escala 0- 250 °C, cronómetro.

Materiales de oficina: computadora, reglas, lápiz, libreta, calculadora, modelo digital del terreno (curvas de nivel), datos climáticos otorgados por el INAHMI, material bibliográfico.

Metodología primer objetivo:

Diseño de la estructura del reservorio de acuerdo a las características; Biofísicas, topografía y drenaje del área de implementación.

Para dar cumplimiento con el primer objetivo, se realizó un recorrido por las áreas de incidencia del proyecto, visualizando los sitios más idóneos para la futura implementación del reservorio, tomando en cuenta las condiciones del lugar como: formación geológica, relieve, tipo de suelo existente, clima y uso del suelo, área de recarga, topografía y el análisis de las propiedades del suelo estudiado.

Definido el lugar se procedió a realizar el levantamiento topográfico del área donde se implementó el reservorio o embalse, reconociendo las condiciones del sector y el área de influencia, consecutivamente se realizó el estudio de las características biofísicas; así mismo se identificó la ubicación de la calicata para la toma de muestras de suelo y realizar el análisis de laboratorio: propiedades físico-mecánicas; estos ensayos se realizaron en los laboratorios de Suelos y de Mecánica de Suelos pertenecientes a la Universidad Nacional de Loja.

✚ **Recopilación de información climática:** Se procedió a buscar la información meteorológica de precipitación, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa de los anuarios meteorológicos publicados por el INAMHI.

✚ **Propiedades del suelo:** Los ensayos se realizaron para describir las propiedades físico-mecánicas del suelo presente en el área donde se implementará el embalse, aplicando la normativa vigente para cada ensayo;

Contenido de Humedad diferencia de pesos.

Granulometría textura método de Bouyoucos (Ley Stokes), Tamizado vía seca y húmeda.

Consistencia del suelo: Límites de Atterberg norma ASTM D4318.

Clasificación del suelo.

Compactación Proctor ASTM D698.

Permeabilidad método del permeámetro de carga constante.

Capacidad de intercambio catiónico método del Formaldehído

Límites de Atterberg norma ASTM D4318 /NTE INEN 692

Este procedimiento analítico establece el contenido de agua al presionar y enrollar una pequeña porción de suelo plástico hasta obtener un diámetro aproximado de 3 mm, momento en el cual el cilindro se desmorona y ya no es posible seguir presionándolo o enrollándolo.

El ensayo comienza con la toma de aproximadamente 15 gramos de la muestra de suelo previamente preparada para el límite líquido. Luego, se mezcla con agua destilada en un recipiente hasta obtener una pasta de suelo homogéneo similar a una plastilina. A partir de esta pasta de suelo, se toman pequeñas fracciones para moldear con los dedos, formando una bola. Luego, se amasa y se rota en una placa de vidrio, ejerciendo una leve presión para formar rollos de 3 mm de diámetro en 5 a 15 movimientos completos de la mano. Si el rollo de suelo se desintegra antes de alcanzar los 3 mm de diámetro, se añade agua a toda la masa de suelo. En ningún momento el operador debe intentar que el colapso ocurra exactamente a los 3 mm. Se realizarán dos muestras adicionales para un total de tres determinaciones. Al finalizar, se toman porciones de los rollitos y se determina el contenido de agua.

El índice de plasticidad se calcula a partir de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico obtenido en el ensayo.

Proctor estándar. Normas: AASHTO T99-01/ASTM D 698

En primer lugar, la muestra se deja secar al aire libre o en un horno que no supere los 60 °C. Seguidamente, se toma una muestra representativa de aproximadamente 3 kg de suelo que pasa por el tamiz N° 4. Esta muestra se mezcla con agua destilada para humedecerla en un 4% de su peso total. El suelo humedecido se compacta en el molde en tres capas aproximadamente iguales. Cada capa se compacta con 25 golpes uniformemente distribuidos del pisón, aplicados a una velocidad constante de aproximadamente 25 golpes por minuto. Este proceso se lleva a cabo en un lugar uniforme y rígido.

Después de la compactación, se retira el collarín del molde y se corta cuidadosamente el exceso de suelo compactado que sobresale en la parte superior, utilizando una regla metálica. Luego se pesa el molde con el suelo húmedo y se determina la masa unitaria húmeda (masa de suelo húmedo dividido por el volumen del molde) en g/cm^3 o kg/m^3 . Finalmente, se retira la muestra compactada del molde para tomar una pequeña cantidad de muestra representativa de la cual se obtendrá el contenido de humedad. A continuación, se vuelve a preparar la muestra agregando suficiente agua para aumentar el contenido de humedad del suelo en un 1% a 2%. Este proceso de incremento de agua se repite hasta que se observa una disminución en la masa húmeda del suelo compactado.

Determinar la permeabilidad mediante la conductividad hidráulica por el método del permeámetro de carga constante

Para determinar la permeabilidad se realizó mediante la conductividad hidráulica, con permeámetro de carga variable es una técnica adicional usada en suelos de grano fino arcillas,

limos y arenas finas, con la finalidad de poder observar cómo es el comportamiento del suelo en condiciones de su estado natural.

Antes de iniciar el ensayo, se realiza la preparación del permeámetro de carga constante, incluyendo todos sus accesorios, seguidamente se procede a pesar el cilindro junto con su base antes de colocar la muestra de uso dentro de él, de manera que quede listo para uso.

Se introduce una muestra representativa de suelo en un cilindro de aproximadamente 100 mm de diámetro, con los extremos superior e inferior protegidos por una piedra porosa. Al igual que en el ensayo de carga constante, es fundamental que la muestra de suelo esté completamente saturada, la muestra confinada en el cilindro se coloca en un reservorio lleno de agua que cuenta con un vertedor de nivel constante.

A continuación, se conecta un tubo de carga en el extremo superior del cilindro que contiene la muestra de suelo. La prueba se lleva a cabo llenando el tubo de carga con agua, lo que permite que el agua desairada atraviese la muestra de suelo durante un tiempo determinado (t). Se registran los niveles de la columna de agua en el tubo de carga al comienzo y al final del ensayo. Después de registrar estos datos, se repite el ensayo utilizando un tubo de carga con un diámetro diferente. Por lo general, se utilizan tres diámetros diferentes del tubo de carga y la conductividad hidráulica real se calcula como el promedio de las conductividades correspondientes a los diferentes diámetros del tubo.

Además, se registran los pesos unitarios inicial y final, así como el contenido de humedad de la muestra, Finalmente se realiza la medición de la conductividad hidráulica mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{Q * L}{A * t * h}$$

Donde:

k = conductividad hidráulica (cm/s)

Q = cantidad de flujo (cm³)

L = longitud de la muestra (cm)

A = área transversal de la muestra (cm²)

t = intervalo de tiempo (s)

h = diferencia de carga hidráulica (m H₂O)

Con los datos del levantamiento topográfico, información climática, y de suelo se realizó la estimación de la escurrentía y se determinó el área de recarga para el diseño del reservorio; la estimación de la escurrentía se realiza mediante el Método del SCS-USDA, donde se

determinó la escurrentía por el número de curvas con respecto al uso del suelo, grupo hidrológico y condición hidrológica (*Ver Tablas anexo*):

Formula del escurrimiento:

$$Q = \frac{(I - 0,2S)^2}{I + 0,8S}$$

Donde:

Q = escurrentía (mm)

S: Potencial máximo de retención

I: Cantidad de lluvia (mm)

Formula del potencial máximo de retención:

$$S = \frac{25\ 400}{CN} - 254$$

Donde:

S: Potencial máximo de retención

CN: Es la curva métrica en función: del grupo y condición hidrológico y uso del suelo

Luego de analizar cada parámetro físico-mecánico que presenta la arcilla del lugar de estudio, además de visibilizar el área de escurrimiento lo que nos permitirá dimensionar el tamaño del reservorio y la capacidad del almacenamiento de agua, determinando el espesor del dique, la inclinación de los taludes del reservorio, la altura y ancho de la corona.

Metodología segundo objetivo:

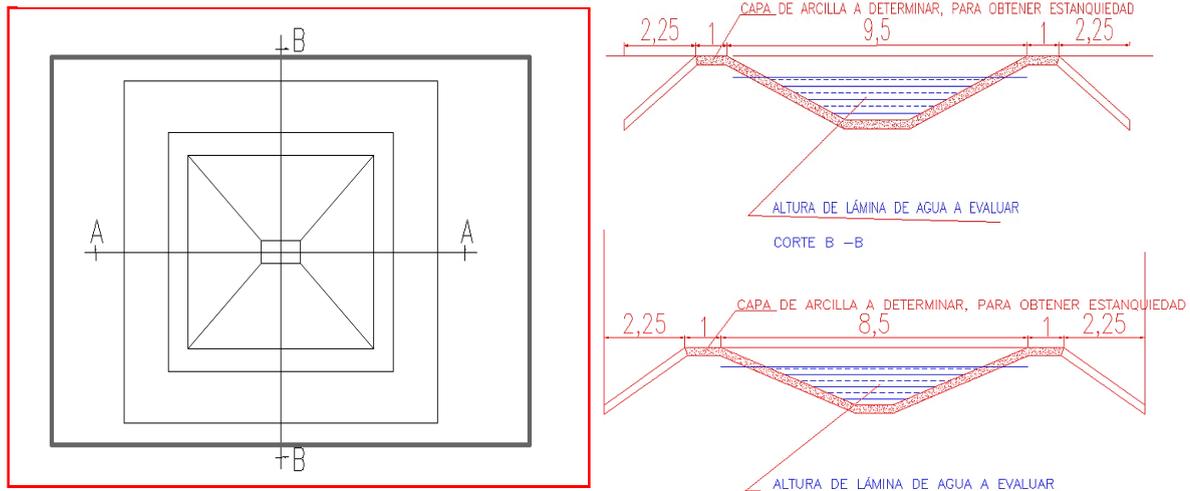
Construcción de un prototipo de reservorio impermeabilizado con arcilla del sector seleccionado, con la finalidad de evaluar la permeabilidad de la misma.

Para dar cumplimiento con el segundo objetivo se estableció las dimensiones del reservorio: Borde superior (Corte A 2,80 m) (Corte B 2,60 m); Borde inferior (Corte A 0,90 m)(Corte B 0,70m); altura 1,50m, con los datos obtenidos en el primer objetivo; se inició a la construcción del reservorio utilizando la metodología propuesta para la guía de construcción de reservorios impermeabilizados con arcilla de MEFCCA *et al.* (2018) con el uso de un software libre para trabajar con un DTM y diseñar el reservorio.

El reservorio se diseñó con las siguientes dimensiones (Figura 21)

Figura 21.

Diseño prototipo de reservorio



Elaboración: El Autor

Finalizado la construcción se procedió a la impermeabilización del mismo utilizando la arcilla seleccionada con una capa de 5cm de espesor en el vaso del reservorio y a una altura de 10 cm desde el fondo. Para ello, se utilizó 31.5 cm^3 de arcilla en toda la superficie recubierta, la impermeabilización fue progresiva; es decir, se aplicó la arcilla húmeda y luego se llenó de agua; finalmente se realizó la evaluación de permeabilidad de la arcilla usada en campo, mediante una valoración visual y midiendo la tasa de permeabilidad, donde se recubrió totalmente las paredes y el fondo del reservorio hasta una altura de 10cm, seguidamente se llenó de agua, y se mantuvo la reposición hasta que los valores se mantuvieron constantes en la medición de la altura del espejo de agua, se comprobó el nivel del agua inicialmente cada 24 horas.

6. Resultados

Caracterización biofísica del área de estudio

La parroquia de Chuquiribamba tiene diferentes tipos de formaciones geológicas (Anexo 5), como la formación Sacapalca, los depósitos coluviales, los depósitos aluviales y rocas intrusivas, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2019-2023). Estas formaciones influyen en la susceptibilidad de la parroquia a movimientos en masa, la presencia de fallas geológicas, hundimientos y la expansividad existente.

Tabla 9.

Formaciones geológicas de la parroquia Chuquiribamba

FORMACIÓN GEOLÓGICA	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE
Formación Sacapalca	4 464	62,09%
Rocas Intrusivas	2 609	36,29%
Depósitos Coluvio aluviales	55	0,76%
Depósitos aluviales	37	0,51%
Depósitos coluviales	18	0,25%
No aplicable	7	0,10%
Total	7 190	100,00%

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano IEE, 2014.; Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG 2015 (archivo shape).

La formación Sacapalca es la que más predomina en el territorio parroquial, por lo que el sector de Simón Bolívar pertenece a la formación Sacapalca.

Los suelos de la parroquia Chuquiribamba se clasifican principalmente como agrológicos IV, VII y VIII. Esta clasificación (Tabla 10) se debe a la topografía irregular que predomina en la mayor parte del territorio.

Tabla 10.

Clases agrológicas del suelo en Chuquiribamba

Clase	Descripción	Ha	%
III	Ligeras limitaciones	51,296	0,71%
IV	Moderas limitaciones	999,523	13,90%
V	Limitaciones fuertes a muy fuertes	10,787	0,15%
VI	Tierras aptas para aprovechamiento forestal-limitaciones muy fuertes.	145,653	3,42%
VII	Tierras de protección-limitaciones muy fuertes	3 437,137	47,80%
VIII	Limitaciones muy fuertes y conservación	2 437,314	33,89%

No aplica	No aplicable	9,374	0,13%
TOTAL		7 191,084	100,00%

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano IEE, 2014.; Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG 2015 (archivo shape).

La clase IV agrologica nos permite concluir que se trata de explotaciones que requieren una atención especial en lo que respecta al trabajo de maquinaria o permiten mano de obra ocasional perteneciendo al sector Simón Bolívar.

El uso y cobertura del suelo dentro de la parroquia se presenta (Tabla 11) de la siguiente manera:

Tabla 11.

Uso y Cobertura del suelo de Chuquiribamba

Cobertura	Hectáreas	%
Agrícola	171,20	2,38%
Agropecuario Mixto	114,94	1,60%
Agua	0,24	0,00%
Antrópico	8,90	0,12%
Conservación y Protección	4303,07	59,84%
Pecuario	2278,15	31,68%
Protección o Producción	299,58	4,17%
Improductivas	15,00	0,21
TOTAL	7191,08	100,00%

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano IEE, 2014.; Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG 2015 (archivo shape)

En el sector de estudio predomina la conservación y protección del suelo, estas áreas miden aproximadamente 299,58 hectáreas, que equivale al 4,17%, situadas entre los barrios Saracapa y La Dolorosa en el sur, al este de Simón Bolívar y en el norte en el Barrio Bolívar y en el norte en el Barrio Zañe.

6.1.1. Caracterización de las condiciones climáticas

El análisis de las condiciones climáticas (Tabla 12) se realizó mediante anuarios meteorológicos del INHAMI, en un periodo de seis años actuales, debido a las limitaciones para la obtención de los datos.

Tabla 12.

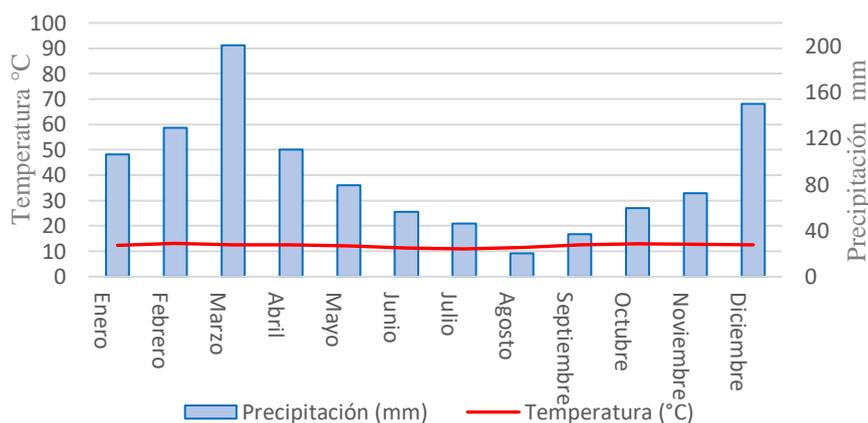
Datos precipitación y temperatura Chuquiribamba 2015-2021

Meses	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Enero	12,33	106,00
Febrero	13,14	129,00
Marzo	12,64	200,80
Abril	12,54	110,00
Mayo	12,10	79,40
Junio	11,20	56,20
Julio	10,94	46,00
Agosto	11,54	20,20
Septiembre	12,45	37,00
Octubre	12,90	59,60
Noviembre	12,71	72,40
Diciembre	12,65	149,80

Fuente: Citado por Livisaca (2022) del INHAMI

Figura 22.

Climograma de Chuquiribamba 2015-2021



6.1.2. Caracterización física-mecánica de la arcilla

Los resultados obtenidos en el estudio son; distribución del tamaño de las partículas del suelo, su consistencia (medida a través del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad), y la clasificación del suelo siguiendo el método ASTM - SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). Además, se determinó la densidad máxima en estado seco, como

el contenido óptimo de humedad del suelo, para los análisis de laboratorio la muestra de suelo se la etiqueta con las letras Ch muestra de Chuquiribamba.

6.1.2.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad del suelo se presenta (Tabla 13):

Tabla 13.

Contenido de humedad de la muestra de suelo

	N° Muestra	Ch1	Ch2	Ch3
# de recipiente	Unidades	2G	9G	14G
Peso del recipiente	gr	17,6	17,5	18,3
Peso del recipiente + muestra húmeda	gr	67,9	68	68
Peso del recipiente + muestra seca	gr	56	56,3	56,2
Contenido de Humedad	%	30,99	30,15	31,13
Promedio (%)		30,64		

6.1.2.2. Granulometría por tamizado

La clasificación granulométrica por tamizado (Tabla 14):

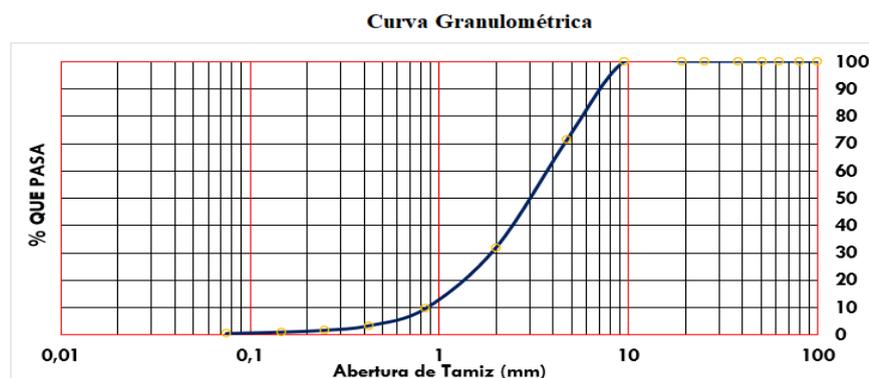
Tabla 14.

Granulometría por tamizado de la muestra de suelo

Tamiz	Abertura (mm)	W. retenido (g)	% retenido	% que pasa
4	4,760	286,7	28,72	71,28
10	2,000	392,8	39,34	31,94
20	0,840	222,8	22,32	9,63
40	0,425	64	6,41	3,22
60	0,250	16,3	1,63	1,58
100	0,148	7	0,70	0,88
200	0,074	5,1	0,51	0,37
Fondo		3,7	0,37	0,00
Σ		998,4	100,00	

Figura 23.

Curva granulométrica de la muestra de suelo



6.1.2.3. Granulometría por hidrómetro

Tabla 15.

Clasificación granulométrica por el método del hidrómetro

Codificación	Lecturas 40 s.		Lecturas 2.45 h.		Lecturas Corregidas		% material en suspensión	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
	1°	°C	2°	°C	1°	2°					
Ch-R1	34,00	20,00	26,00	20,00	34,00	26,00	68,00	32,00	16	52	Arcilloso
Ch -R2	36,00	20,00	28,00	20,00	36,00	28,00	72,00	28,00	16	56	Arcilloso
					Promedio		70,00	30,00	16,00	54,00	Arcilloso

6.1.2.4. Consistencia del suelo

En la consistencia del suelo se determinó los límites de Atterberg; el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad;

Límite líquido

El límite líquido (Tabla 16) se procedió como lo establece las normas ASTM D-4318 e INEN 69;

Tabla 16.

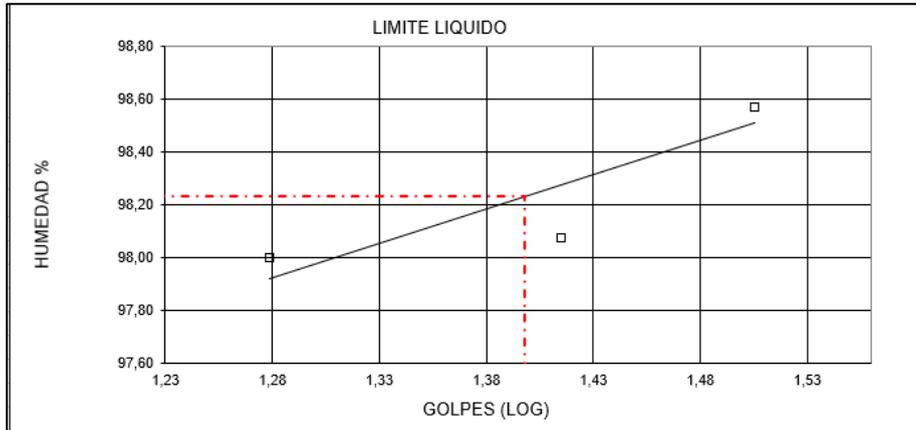
Resultados del límite líquido

CONTENIDO DE AGUA	GOLPES	PESO			w %	RESULTADO
		HM.	SECO	DE CAPS		
		68,00	56,00	17,60	31,25	
		68,00	56,30	17,50	30,15	30,85
		68,00	56,20	18,30	31,13	
LIMITE LIQUIDO	19,00	17,30	12,40	7,40	98,00	98,23

26,00	20,10	15,00	9,80	98,08
32,00	21,30	14,40	7,40	98,57
32,00	21,30	14,40	7,40	98,57

Figura 24.

Límite líquido



Límite plástico e índice de plasticidad

De acuerdo a la norma ASTM D 4318/NTE INEN 692 se determinó el límite plástico

(Tabla 17);

Tabla 17.

Límite plástico

	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO
LÍMITE PLÁSTICO	10,60	9,50	7,20	47,83	
	11,10	9,80	7,40	54,17	54,86
	11,50	10,00	7,30	55,56	

Obtenidos los resultados del límite líquido y límite plástico, se realizó el cálculo del índice de plasticidad (Tabla 18).

Tabla 18.

Índice de plasticidad

Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
98,23 %	54,86 %	43,00%

6.1.2.5. Clasificación del suelo

Para determinar la clasificación del suelo se realizó el tamizado vía húmeda obteniendo los resultados (Tabla 19), más del 50% de las partículas pasa a través del tamiz N° 200, lo que indica que es un suelo compuesto principalmente por partículas finas. Además, su límite líquido (Tabla 16) es mayor al 50%, lo que sugiere que se trata de una combinación de limo y arcilla. Dado que se clasifica como un suelo de granos finos, se empleó la carta de plasticidad, usando el límite líquido e índice de plasticidad, y ubicando estos valores en el Abaco de Casagrande.

Tabla 19.

Tamizado vía húmeda

TAMIZ	PESO R.	% R.A.	% PASA
1 1/2"	0,00	0,00	100
1"	0,00	0,00	100
No. 4	0,00	0,00	100
No. 10	0,00	0,00	100
No. 20	0,10	0,16	100
No. 40	0,20	0,49	100
No. 60	0,50	1,30	99
No. 100	0,60	2,28	98
No. 200	3,40	7,82	92

Tabla 20.

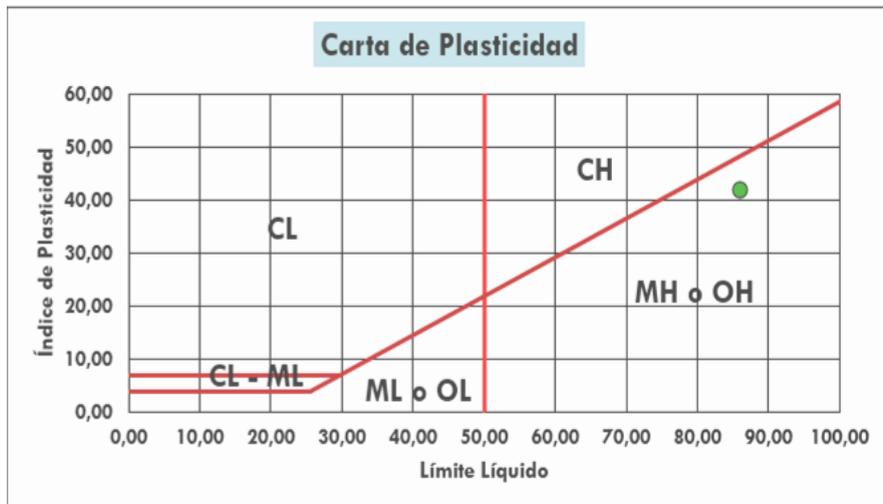
Datos para la clasificación de suelos por el método de SUCS

% que pasa en el tamiz 200	Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
92 %	98,23 %	54,86 %	43, 00%

La información descrita previamente nos lleva a identificar el suelo analizado como un suelo de granulometría fina (MH), en concreto, se trata de limos elásticos con un grado de plasticidad entre medio, alto y arcillas orgánicas.

Figura 25.

Ábaco de Casagrande



6.1.2.6. Compactación

El ensayo Proctor estándar, permite determinar tanto la máxima densidad seca del suelo como el contenido de humedad óptimo correspondiente a la muestra de suelo, los resultados se presentan (Tabla 21) y la figura correspondiente:

Tabla 21.

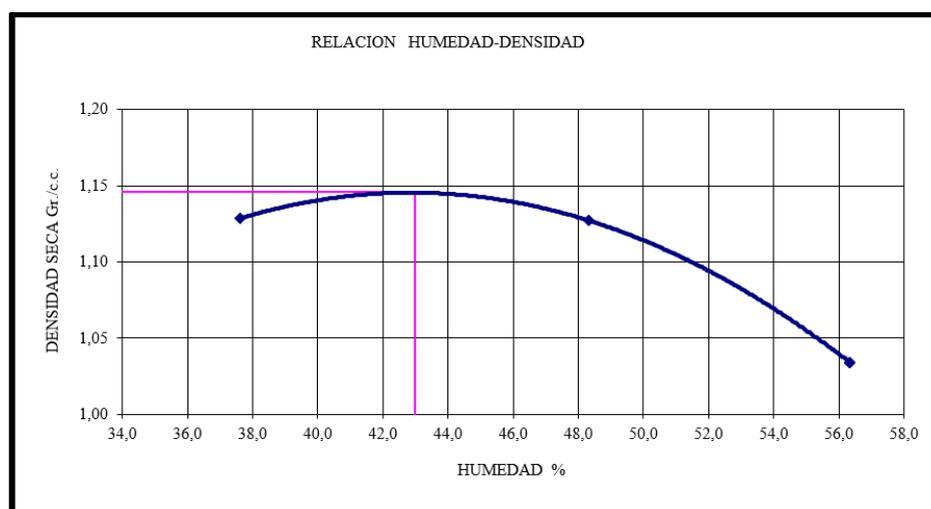
Resultados ensayo Proctor o de compactación

RESULTADOS COMPACTACION	
<i>DENSIDAD MAXIMA</i>	1,146 gr/cc
<i>HUMEDAD OPTIMA</i>	43,00 %

El contenido de humedad permite determinar la resistencia del suelo, es decir que a mayor contenido de humedad será menor su resistencia.

Figura 26.

Curva de compactación de la muestra de suelo



La abscisa representa el máximo y óptimo contenido de humedad, siendo la densidad máxima de la muestra 1,146 gr/cc con un contenido de humedad del 43%.

6.1.2.7. Determinación de la permeabilidad

Los resultados de la permeabilidad se la obtuvieron por medio del permeámetro de cabeza constante, esta mide a través del coeficiente de permeabilidad k , los resultados se presenta (Tabla 22).

Tabla 22.

Valores de permeabilidad de la muestra de suelo

Replica	Textura	Conductividad Hidráulica (k)			Resultado GRASSI	Velocidad Villón
		k cm/s	Resultado BRAJA DAS	k m/d		
I		1,10E-08	Arcillas	0,0000095	Arcilla compactada	
II	Arcillosa	2,47E-08	Arcillas	0,0000214	Arcilla compactada	Muy lenta
III		1,09E-08	Arcillas	0,0000094	Arcilla compactada	

6.1.2.8. Determinación de la permeabilidad en campo

Los valores obtenidos (Tabla 23) en el ensayo de campo para la permeabilidad de la arcilla, se realizó mediante el análisis visual y la medición de tasa de permeabilidad.

Tabla 23.*Tasa de permeabilidad en campo*

ITEM	DÍA	HORA	LECTURA (mm)	RECARGA (mm)
1	Jueves	11:00 a. m.	100	
2	viernes	10:00 a. m.	55	45
3	Sábado	10:00 a. m.	60	40
4	Domingo	8:00 a. m.	80	20
5	Lunes	9:00 a. m.	85	15
6	Martes	10:00 a. m.	87	13
7	Miércoles	10:00 a. m.	87	13
8	Jueves	1:00 p. m.	90	10
9	Viernes	10:00 a. m.	90	10
Tasa de permeabilidad mm/día				20,8

La tasa promedio de permeabilidad determinada en campo es de $2,41 \times 10^{-5}$ cm/s (20,8 mm/día), es decir que en lapso de 9 días se tuvo que realizar recarga de agua entre 4,5, 2 y 1,3 mm.

6.1.3. Caracterización Química de la arcilla

6.1.3.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La (Tabla 24) muestra los resultados de la CIC, la cual permite clasificar la arcilla siendo esta Illita.

Tabla 24.*Resultados Capacidad del Intercambio Catiónico de la muestra de suelo*

DETARMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO				
FECHA	GASTO (Na OH)	GASTO (Na OH) blanco	CIC (meq/100 g suelo)	Promedio
12-abr-23		1,6		
12-abr-23	17,18		31,16	30,53
12-abr-23	16,55		29,9	

La capacidad de intercambio catiónico para la muestra de suelo se presenta con un promedio de 30,53 meq/100g de suelo, esto en relación al gasto de formaldehído con el índice en blanco en las dos repeticiones es constante.

6.1.4. Estimación de la escorrentía y área de recarga

Los valores obtenidos (Tabla 25) presentan los valores mediante el método del número de curvas (CN) presentado por la SCS-USDA, cabe mencionar que los valores de CN se escogen

en función de las características y condiciones hídricas del suelo y posterior se aplica la fórmula de estimación.

Tabla 25.

Estimación de la escorrentía y valor del número de curva (CN)

<i>zona</i>	<i>Uso del suelo</i>	<i>Condición Hidrológica</i>	<i>Grupo hidrológico</i>	<i>Numero de curva</i>
Simón Bolívar	Pastizales, sabana, campos de pastoreo	Buena	D	80
	S: potencial máximo de retención			63,5
	Q: Escorrentía (mm/mes)			140,63
	Q: TOTAL PARA 2ha			2 812,6 m ³
	Q: TOTAL PARA 3ha			4 218,9 m ³
	Q: TOTAL PARA 5ha			7 031,5 m ³
	Q: TOTAL PARA 10ha			14 063 m ³

El valor para el numero de curva es de 80, para este valor se tomó en cuenta que el lugar presenta vegetación de pastoreo no continuo y se revisó las tablas propuestas por la FAO (2013), obteniendo el resultado de 140,63 mm de escorrentía para el mes con mayor precipitación que es marzo.

6.1.5. Diseño y construcción del reservorio

Se presenta (Anexo 5, Anexo 6) los planos del diseño del reservorio donde tomando en cuenta las características del terreno y el área de escurrimiento siendo **2 ha** para almacenar un aproximado de 2 400L de agua lluvia, (Tabla 26) se muestra las dimensiones del reservorio.

Tabla 26.

Dimensiones del reservorio excavado

Ítem	Detalle	Dimensión	Unidad de medida
Base superior			
1	Largo	30	m
2	Ancho	20	m
Base inferior			
3	Largo	18	m

4	Ancho	8	m
5	Altura	4	m
6	Corona	2	m
7	Volumen	2 400	L

Cabe mencionar que el diseño propuesto en el presente trabajo de titulación es viable para el sector de estudio, si se desea replicarlo en otra zona se deberá realizar los estudios respectivos de la arcilla presente en el área, así mismo se describe las obras complementarias como tubería corrugada de 800 mm para el lavado del reservorio o el desagüe del mismo, tubería de salida de 125 mm para acoplar a mangueras (Anexo 5).

El (Anexo 7) se presenta el proceso de la construcción del prototipo de reservorio, mencionando que la excavación se la realizó con una retroexcavadora Komatsu, tomando un tiempo de 3 horas valoradas en \$ 75, 00 dólares americanos, seguidamente se impermeabilizó sus paredes a una altura de 10cm con un espesor de arcilla de 5cm y se procedió a evaluar el tiempo de infiltración del agua (Anexo 8).

7. Discusión

Clasificación del área de estudio

El suelo constituye el material de construcción más antiguo en el ámbito del diseño y construcción de embalses o reservorios de tierra. Por esta razón, al examinar y evaluar las características físicas y mecánicas del mismo, el objetivo radica en asegurar la menor permeabilidad posible para prevenir posibles fallas durante su trabajo (Armas, 2002).

La parroquia de Chuquiribamba muestra varias formaciones geológicas, donde la formación Sacapalca es la que predomina cubriendo una superficie de 4 464 ha siendo el 62.09% del total, ubicándose en la parte céntrica y al este de la parroquia, en esta área se sitúa el sector Simón Bolívar, seguidamente la formación geológica denominada rocas intrusivas situada al oeste con una superficie de 2 609ha con un porcentaje de 36.39% del total, esta información se corrobora con Montaña (2021) en su estudio menciona que la zona de estudio corresponde a la gran Cordillera de los Andes, y siendo la formación Sacapalca la que ocupa la mayor parte del territorio de Chuquiribamba. El uso del suelo para el sector de Simón Bolívar se basa en la protección o producción con un 4.17% equivaliendo a 2 99,58 ha y la cobertura del suelo en su mayor parte son pastizales, Sivisaca (2012) menciona que esto es debido a sus pendientes que van de 15% a 35%, ampliamente dispersos en el territorio, ocupando 21,91 km², o el 61,64% de toda la parroquia; luego tenemos pendientes empinadas cuyo rango va de 35° a 55° ubicándose al oeste de la zona de estudio, esto conlleva a dificultar las labores agrícolas Montaña (2021).

El área de investigación presenta condiciones climáticas (Tabla 12); temperatura máxima de 13.14 °C durante el mes de febrero, mientras que la temperatura mínima se presenta en julio con 10.94°C. La temperatura media anual es de 12,24°C. Se identifican meses con bajos niveles de precipitación específicamente en agosto con 20,2 mm y septiembre con 37 mm, la mayor cantidad de precipitación se presenta en el mes de marzo con 200,8 mm, siendo la precipitación media anual de 1066,40mm Livisaca, (2022). Lo que corresponde a un clima templado frío (Caldas-Lang), por lo que Sivisaca, (2012) menciona que el sector presenta un clima en el piso alto (2800 msnm) templado frío, con una temperatura promedio de 11,0 °C y una precipitación media anual de 1000 mm. En el piso bajo el clima es templado subhúmedo, con una temperatura promedio de 15,3 °C y una precipitación media anual de 700 mm.

Caracterización física-mecánica de las arcillas

7.1.1. Contenido de humedad

En el área de incidencia del proyecto para el sector Simón Bolívar, presenta un contenido promedio de humedad 30.64% (Tabla 13), estos datos facilitan la medición de la cantidad de agua presente en el suelo al momento de tomar la muestra, González, (2020) Respecto a la humedad del suelo, es esencial considerar que su nivel es relativo al mes en el cual se recolectó la muestra, ya que este factor guarda una conexión estrecha con las estaciones de invierno y verano en la ubicación.

7.1.2. Clasificación del suelo.

La clasificación del suelo en estudio pertenece a suelos de granos finos (Tabla 20) se observa que más del 50% es retenido en el tamiz N° 200, así mismo el ensayo por hidrómetro (Tabla 15) se evidencia que el porcentaje de arcilla es del 54% obteniendo una clase textural arcilloso, según la clasificación USDA, y concuerda con el estudio realizado por González, L. (2020), donde clasifica en su investigación al suelo como grano fino debido a que más del 50 % del suelo paso por el tamiz N° 200.

Dado que la clasificación granulométrica no constituye un indicador significativo para describir las propiedades del suelo, se tomó en cuenta otros parámetros como los límites de Atterberg, donde el índice de plasticidad es del 43% en el suelo presente por lo que Armas (2002) establece un índice de plasticidad mayor al 15% son materiales no propensos al agrietamiento. En la carta de plasticidad de Casagrande la muestra de suelo se clasifica como suelo MH u OH, específicamente limos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas, estos resultados se dan debido a que en la carta de plasticidad el grupo MH o OH comprende la zona abajo de la línea A, definida por $LL > 50\%$.

Suárez, (2016) indica que, dentro de los suelos adecuados para emplear en los terraplenes de presas de tierra, se incluye el tipo ML, además de que los suelos clasificados como ML y MH también son aptos para los núcleos de las presas de tierra, además Villamizar, (1989) asegura que un porcentaje superior al 20% de arcilla, representa un material de calidad que no requiere medidas particulares, es considerada adecuada. De manera similar, sugiere la utilización de materiales limosos en los terraplenes de presas, siempre y cuando la altura de estas estructuras no supere los 8 metros.

7.1.3. Curva de compactación.

Los resultados del ensayo Proctor Estándar (Tabla 21) determina una densidad máxima de 1,146 gr/cc, siendo la humedad óptima 43% es decir que mientras aumenta el contenido de humedad incrementa también el peso específico hasta cierto punto que empieza a decrecer, González (2020) en su estudio presenta valores de pesos específicos de 1.24, 1.35 gr/cc y valores de humedad óptima de 33 y 28% en suelos con características similares.

Revolorio, (2013) asegura que después de alcanzar el punto de humedad óptima, el peso específico seco disminuye, ya que el agua comienza a ocupar los espacios que normalmente estarían ocupados por las partículas del suelo. A partir de este punto, añadir más agua solo resulta en una separación de las partículas y una reducción en la densidad.

7.1.4. Permeabilidad del suelo.

La conductividad hidráulica para el suelo en estudio con la prueba en laboratorio presenta valores de $1,10 \times 10^{-8}$, $2,47 \times 10^{-8}$ y $1,09 \times 10^{-8}$ cm/s, valores que están dentro de los rangos según Grassi (1969) y Villón-Béjar (2007) con velocidades muy lenta correspondientes a arcillas compactadas, en donde se relaciona con la textura y el drenaje. Por lo que González de Vallejo *et al.* (2002) mencionan que la conductividad hidráulica está en función directa con la textura del suelo y el tamaño del grano correspondientes al ensayo granulométrico.

El suelo del sector clasificado de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), pertenecen a la categoría de suelos de grano fino, los resultados indicaron niveles de permeabilidad relativamente bajos, por lo que Alarcón y Alva (s.f) en su clasificación de suelos, mencionan que los suelos limosos arcillosos (> 20% arcilla) son prácticamente impermeable con valores de 10^{-8} , esta afirmación concuerda con Whitlow (1994), de la misma manera el manual presentado (MEFCCA et al, 2018) indican que se ha comprobado que los suelos con mejores resultados para la impermeabilización de reservorios son los que presentan proporciones de 20 al 40% de arcilla y arena, es decir suelos que presenten un mayor porcentaje de arcilla permitiendo la estanquidad del agua.

7.1.5. Permeabilidad de suelo en campo

La permeabilidad del suelo en campo permite corroborar los resultados obtenidos en laboratorio siendo estos valores, dando una tasa promedio de permeabilidad de 20.8 mm/día, valores que están dentro del rangos, según la FAO los suelos que presentan permeabilidad menor a 48mm/día, es una infiltración aceptable es decir un suelo apto para el almacenamiento o estanquidad del agua.

8. Conclusiones

- El área seleccionada para el presente trabajo de integración curricular, presenta características favorables para la construcción de reservorios impermeabilizados con arcilla, ya que el estudio de arcillas evidencio que son impermeable con valores de $1,10 \times 10^{-8}$, $2,47 \times 10^{-8}$ y $1,09 \times 10^{-8}$ cm/s, situándose en la categoría de permeabilidad muy lenta siendo arcillas compactadas. Esto es característico por las condiciones naturales del suelo, lo que sugiere que cualquier modificación, como la compactación, resultaría en coeficientes de permeabilidad bajos. Dicha arcilla se encuentra en la clase de granos finos, o limos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas (MHo OH).
- La evaluación de permeabilidad de la arcilla en campo permitió corroborar los valores obtenidos en laboratorio presentando características idóneas para ser usada como material alternativo de impermeabilización en reservorios.
- La construcción del reservorio se facilitó ya que durante la excavación la arcilla obtenida se utilizó en el proceso de impermeabilización reduciendo costos en comparación con otros materiales utilizados para este mismo fin, además de presentar características favorables al medio ambiente, ya que se encuentra presente en su entorno, siendo su recuperación de manera efectiva.

9. Recomendaciones

- Considerar espacios abiertos comunales para llevar a cabo un proyecto de construcción de reservorios que permitan mejorar las condiciones de captación de agua del sector y por ende evitar inconvenientes en el aspecto social con los moradores.
- Potenciar y mejorar programas dirigidos a las familias del sector rural que motiven el mejoramiento para el manejo adecuado de los recursos hídricos, así como en la implementación de reservorios en áreas que presenten características idóneas para su construcción, mencionado los beneficios que presentan los reservorios impermeabilizados con arcilla ya que son alternativas tecnológicas viables y económicas para el almacenamiento de agua y su utilidad en actividades agrícolas.
- Sugerir a las Universidades continuar con investigaciones en cuanto al manejo de las arcillas como material impermeabilizante, así como también en el estudio de la construcción de reservorios como tecnologías alternativas para el manejo adecuado del recurso hídrico para épocas de sequía.
- Para los ensayos de laboratorio realizarlos conforme lo establecen las normas INEN, ASSTHO O ASTM, acompañado de los técnicos de los laboratorios, así como la utilización de materiales detallados en las normas, con la finalidad de obtener resultados fiables y verídicos que permitan una adecuada caracterización físico mecánicas de las arcillas en estudio.
- En cuanto el ensayo Proctor Estándar recomiendo que la muestra a ser utilizada sea secada naturalmente y no al horno ya que no permite una disgregación correcta del suelo, en cuanto al ensayo de permeabilidad utilizar el permeámetro de cabeza variable, siendo el más recomendable para suelos de partículas muy finas como las arcillas y suelos limosos.
- Evaluar la conductividad hidráulica en suelos saturados con permeámetros de carga variable para identificar el comportamiento del suelo con dichas condiciones e identificar la diferencia del movimiento del agua en condiciones del área de estudio.

10. Bibliografía

- Angelone, S., Garibay, M., y Cauhapé, M. (2006). Geología y geotecnia “Permeabilidad de Suelos”. Universidad Nacional del Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
- Armas, R. (2002). “Criterios para diseñar presas de tierra: Prioridad y secuencia”, Conferencia. Taller nacional sobre fallos de presas de tierra, Ciudad de la Habana, Cuba.
- Alarcón y Alva (s.f.). Ensayos de permeabilidad en suelos compactados [Diapositiva de PowerPoint]. DOCPLAYER. <https://docplayer.es/45242060-Ensayos-de-permeabilidad-en-suelos-compactados.html>
- Benedí, Á., Sinovas, D., & Muñoz, R. (2003). *Determinación de la conductividad hidráulica en suelos mediante un permeámetro de carga variable automatizado.*
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de Arcillas de Suelos* (IICA).
- Buol, S. W., Hole, F. D., & McCracken, R. J. (2011). Soil genesis and classification (7th ed.). Ames, IA: Iowa State University Press.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). The nature and properties of soils (15th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Caro, J. G. O., & Jiménez, L. F. P. (2020). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUAS LLUVIAS PARA PRODUCCIÓN AGRICOLA EN EL MUNICIPIO DE LA MESA - CUNDINAMARCA.* <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/2f116324-bea4-4200-974d-ae560fe4aa0c/content>
- Correa, A. (2016). *Importancia del recurso agua y algunas tecnologías destinadas a mejorar su calidad.*
- Déleg, O. (2017). *Procesos de implementación de los microreservorios y riego por aspersión en el cantón Nabón.*

- Díaz Rodríguez, L. A., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: Una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 41(5), 459-470. <https://doi.org/10.3989/cyv.2002.v41.i5.665>
- FAO. (s. f.). *PERMEABILIDAD DEL SUELO*. Recuperado 21 de enero de 2024, de https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm#77a
- FAO. (2004). Manual de piscicultura. Roma, Italia: FAO.
- FAO. (2009). 6. *TEXTURA DEL SUELO*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*. <https://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- Fattorelli, S., & Fernandez, P. C. (2011). *Diseño hidrológico* (Segunda). Fernandez-Dorca.
- GARCÍA, FLÓREZ, & MEDINA. (2018). *Caracterización física de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción en Ocaña Norte de Santander (Colombia)*. 39(3), 53.
- Geotechnical. (s. f.). *Limites Atterberg—Geotecnia y Mecánica de Suelos*. Recuperado 26 de mayo de 2023, de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/limites-atterberg/>
- Gee, G. W., & Or, D. (2002). Particle-size analysis. In *Methods of soil analysis: Part 4. Physical methods* (pp. 255–293). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Global Water Partnership. (2013). *Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal*. <https://www.gwp.org/es/GWP-Centroamerica/CONOCIMIENTO/herramientas-girh/guia-girh-a-nivel-municipal/>
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. (1.^a ed.). Pearson Educación.

- https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%20.pdf
- González, L. (2020). *Estudio de propiedades físico- mecánicas de arcillas existentes en el Canton Gonzanamá como material impermeabilizante en pequeños embalses de uso agrícola*. Universidad Nacional de Loja.
- Hincapie, M. C. R., & Rubio, J. J. (2014). *Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas de lluvia. 1*.
- Norman W. Hudson y Asociados de Silsoe (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Boletín de Suelos de la FAO 68, Roma.
- MEFCCA, COSUDE, & CATIE. (2018). *Construcción y supervisión de reservorios para captación de escorrentía* (MEFCCA, CATIE, Vol. 3).
- Minka, Sumak, & Kawsay. (2015). *Guía Técnica para Cosechar el Agua de Lluvia*.
- Muñoz, R. (1977). *Capacidad de intercambio catiónico en suelos*.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/15736/25594_10672.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ordoñez, J. (2011). *Ciclo Hidrológico*. Sociedad Geográfica de Lima.
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf
- Orellana, M. J. D., & León, P. A. P. (2013). *Estudio para determinar la variación del coeficiente de escorrentía y su impacto en la capacidad de la red de alcantarillado en los colectores de las calles Arirumba e Imbabura*.
- PASOLAC. (s. f.). *Guía Técnica—Manejo y aprovechamiento de agua con fines agropecuarios*.
- Prefectura de Loja. (2016). *Comunidades de Loja reciben reservorios como medidas de adaptación al Cambio Climático*. <https://www.ambiente.gob.ec/comunidades-de-loja-reciben-reservorios-como-medidas-de-adaptacion-al-cambio-climatico/>

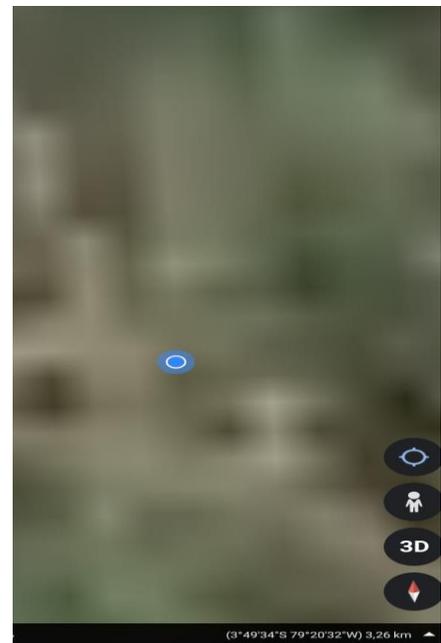
- Qotasata-Amtasiñani, J. J. (2019). *Cosecha de agua de lluvia*.
https://datos.siarh.gob.bo/archivo_cuencas/index/?&accion=itemDescarga&id=4
- Romero, E. G., & Barrios, M. S. (2016). *LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS*.
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). *Técnicas de cosecha de agua | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx*.
<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tecnicas-de-cosecha-de-agua>
- Sivisaca, L. (2012). *GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA EN LA MICROCUENCA CHUQUIRIBAMBA-CHANTACO*. Universidad Nacional de Loja.
- Suárez, J. (2016). *Contrucción de presas de Tierra*.
- Vega, G., & Lujan, L. (2021). *Reservorios de agua, alternativa para mejorar la producción*. Estación Experimental Agropecuaria La Rioja, INTA.
<http://hdl.handle.net/20.500.12123/11385>
- Verduch, A. G. (1985). *ORIGEN Y COMPOSICIÓN DE LAS ARCILLAS CERAMICAS*^>.
- whitlon, roy. (1994). *Fundamentos de la mecánica de suelos Roy Whitlow*. uDocz.
<https://www.udocz.com/apuntes/100234/fundamentos-de-la-mecanica-de-suelos-roy-whitlow>

11. Anexos

Anexo 1. Reconocimiento del área de estudio



Anexo 2. Toma de muestra para ensayos de laboratorio



Anexo 3. Ensayos de laboratorio

Figura 27. Límites de atterberg

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA					
METODO DE PRUEBA PARA LIMITE LIQUIDO, PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS ASTM 422-63							
PROYECTO: DISEÑO DE RESERVOIRIO IMPERMEABILIZADO CON ARCILLA, PARA LA COSECHA Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES							
PARROQUIA: CHUQUIRIBAMBA				OPERADOR: Ing. Dans Vilela, Pedro Gonzalez			
BARRIO:				CODIGO: ch			
FECHA :				PROFUND.: 1,00 m.			
	GOLPES	PESO HM.	SECO	DE CAPS	w %	RESULTADO	
1.- CONTENIDO DE AGUA		68,00	56,00	17,60	31,25	30,85	
		68,00	56,30	17,50	30,15		
		68,00	56,20	18,30	31,13		
2.- LIM. LIQUIDO	19,00	17,30	12,40	7,40	98,00	98,23	
	26,00	20,10	15,00	9,80	98,08		
	32,00	21,30	14,40	7,40	98,57		
	32,00	21,30	14,40	7,40	98,57		
3.- LIMITE PLASTICO		10,60	9,50	7,20	47,83	54,86	
		11,10	9,80	7,40	54,17		
		11,50	10,00	7,30	55,56		
4.- GRANULOMETRIA				5.- CLASIFICACION.-			
PESO IN= 71,00 (H/S)		S		GRAVA= 1 %			
PESO INICIAL DE CALCULO: 71,00				ARENA= 6 %			
				FINOS= 93 %			
TAMIZ	PESO R.	% R.A.	% PASA				
1 1/2"	0,00	0,00	100		LL = 98,00 %		
1"	0,00	0,00	100		LP = 55,00 %		
No. 4	0,00	0,00	100		IP = 43,00 %		
No. 10	0,00	0,00	100				
No. 20	0,20	0,28	100		CLASIFICACION:		
No. 40	0,20	0,56	99		SUCS = MH1		
No. 60	0,50	1,27	99		AASHTO= A-7-5		
No. 100	0,70	2,25	98		IG(86)= 54		
No. 200	3,40	7,04	93		IG(45)= 20		
COLOR=					actividad= 0,46		



Figura 28. Granulometría

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA						
ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELO (ASTM D-422-63)								
PROYECTO:		Las arcillas como material de impermeabilización a ser utilizado en la infraestructura rural para cosecha de aguas en el cantón Loja.						
PARROQUIA:		Chuquiribamba		OPERADOR: Ing. Dans Vilela y Pedro González				
BARRIO:				CODIGO: Ch3				
FECHA:		jul-05		PROFUND.: m.				
	ingresar datos	W.inicial seco	1000,00	gr	mat. Perdido=	1,60 gr		
	resultado	W.lavado seco	1000,00	gr	%error < 1% =	0,2 OK		
	Tamiz	tamiz mm	W. Ret Par.	W Ret. Parc. Corr.	Ret. Acum.	%Ret Parcial	%Ret Acum.	% Pasa
GRAVA	4"	100	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	3"	80	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	2 1/2"	63	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	2"	50,8	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	1 1/2"	38,1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	1"	25,4	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
ARENA	3/4"	19,1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	1/2"	12,7	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	3/8"	9,52	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
	4	4,76	286,7	287,16	287,16	28,72	28,72	71,28
LIMO	10	2,0	392,8	393,43	680,59	39,34	68,06	31,94
	20	0,84	222,8	223,16	903,75	22,32	90,37	9,63
	40	0,42	64,00	64,10	967,85	6,41	96,78	3,22
ARCILLA	60	0,25	16,3	16,33	984,17	1,63	98,42	1,58
	100	0,148	7	7,01	991,19	0,70	99,12	0,88
	200	0,074	5,1	5,11	996,29	0,51	99,63	0,37
	< 200		3,7	3,71	1000,00	0,37	100,00	0,00
TOTAL			998,40	1000,00				

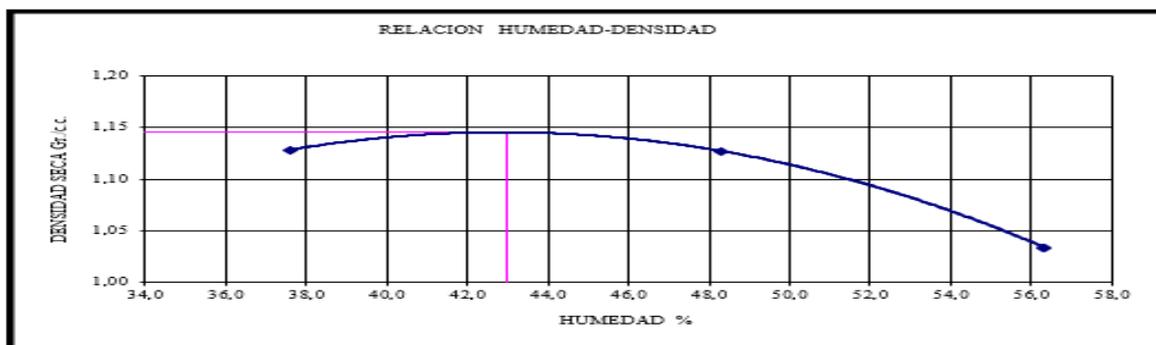
Figura 29. Ensayo de compactación.

ENSAYO DE COMPACTACION - CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM D698

ENSAYO DE COMPACTACION
 Proyecto: TIC
 Localización del Proyecto:
 Profundidad de la Muestra:

Trabajo: Chuquiribamba
 Muestra N° P2
 Realizada por: Dans Vilela y Pedro Gonzalez

Ensayo	N°	1	2	3	4	5
PESO ESPECIFICO						
Peso de muestra húmeda + r	Grs.	4877,5	4989,4	4937,6	4937,6	
Peso del molde	Grs.	3416,6	3416,6	3416,6	3416,6	
Peso de la muestra húmeda	Grs.	1460,9	1572,8	1521	1521	
Volumen del molde	c.c.	940,8	940,8	940,8	940,8	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1,553	1,672	1,617	1,617	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara	N°	6G	21G	11G	11G	
Peso muestra húmeda + tara	Grs.	67,00	65,40	69,30	69,30	
Peso muestra seca + tara	Grs.	53,50	49,70	50,60	50,60	
Peso del agua	Grs.	13,50	15,70	18,70	18,70	
Peso de la tara	Grs.	17,6	17,2	17,4	17,4	
Peso de la muestra seca	Grs.	35,9	32,5	33,2	33,2	
Contenido de humedad	%	37,6	48,3	56,3	56,3	
PESO ESPECIFICO SECO						
Densidad seca	Gr/c.c.	1,13	1,13	1,03	1,03	



OBSERVACIONES: TERRENO NATURAL

Densidad máxima 1,146 gr/cc
 Humedad óptima 43,00 %

Figura 30. Ensayo de permeabilidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES		CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA																																																																																																																																											
ENSAYO PERMEÁMETRO CARGA VARIABLE PARA SUELOS FINOS																																																																																																																																															
PROYECTO: PARROQUIA: CHUQUIRIBAMBA X: Y: FECHA: 05/06/2023 OPERADOR: Pedro González PROFUND. (m): 1																																																																																																																																															
$K = \frac{\alpha \cdot L}{A(t_2 - t_1)} + \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$																																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra / Horizonte</th> <th colspan="3">CHUQUIRIBAMBA</th> </tr> <tr> <th>Réplica</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Textura</td> <td colspan="3">Arcillosa</td> </tr> <tr> <td>Método</td> <td colspan="3">Carga variable</td> </tr> <tr> <td>Fecha inicio</td> <td>5/6/2023</td> <td>9/6/2023</td> <td>28/6/2023</td> </tr> <tr> <td>Hora inicio</td> <td>9:19</td> <td>12:28</td> <td>10:00</td> </tr> <tr> <td>Fecha final</td> <td>9/6/2023</td> <td>28/6/2023</td> <td>3/6/2023</td> </tr> <tr> <td>Hora final</td> <td>11:51</td> <td>8:45</td> <td>11:55</td> </tr> <tr> <td>Tiempo total</td> <td>4d 2h 32min</td> <td>18d 20h 17min</td> <td>5d 1h 55min</td> </tr> <tr> <td>Tiempo (seg)</td> <td>354723.84</td> <td>1714616.64</td> <td>438903.36</td> </tr> <tr> <td>Vol. Inicial (ml)</td> <td>2000</td> <td>2000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>Vol. Final (ml)</td> <td>1930</td> <td>1360</td> <td>1915</td> </tr> <tr> <td>Altura Carga</td> <td>250</td> <td>230</td> <td>230</td> </tr> <tr> <td>Ø Cilindro (cm)</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>H cilindro (cm)</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>área alimentador</td> <td>78.54</td> <td>78.54</td> <td>78.54</td> </tr> <tr> <td>área alimentador</td> <td>0.79</td> <td>0.79</td> <td>0.79</td> </tr> <tr> <td>K (cm/s)</td> <td>1.10E-08</td> <td>2.47E-08</td> <td>1.09E-08</td> </tr> <tr> <td>K (m/d)</td> <td>0.000010</td> <td>0.000021</td> <td>0.000009</td> </tr> </tbody> </table>			Muestra / Horizonte	CHUQUIRIBAMBA			Réplica	I	II	III	Textura	Arcillosa			Método	Carga variable			Fecha inicio	5/6/2023	9/6/2023	28/6/2023	Hora inicio	9:19	12:28	10:00	Fecha final	9/6/2023	28/6/2023	3/6/2023	Hora final	11:51	8:45	11:55	Tiempo total	4d 2h 32min	18d 20h 17min	5d 1h 55min	Tiempo (seg)	354723.84	1714616.64	438903.36	Vol. Inicial (ml)	2000	2000	2000	Vol. Final (ml)	1930	1360	1915	Altura Carga	250	230	230	Ø Cilindro (cm)	10	10	10	H cilindro (cm)	11	11	11	área alimentador	78.54	78.54	78.54	área alimentador	0.79	0.79	0.79	K (cm/s)	1.10E-08	2.47E-08	1.09E-08	K (m/d)	0.000010	0.000021	0.000009	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Permeabilidad</th> </tr> <tr> <th>Tipo de suelo</th> <th>Rango de K (cm/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grava Limpia</td> <td>100 - 1</td> </tr> <tr> <td>Arena Gruesa</td> <td>1 - 0.01</td> </tr> <tr> <td>Arena Fina</td> <td>1.00E-02 - 1.00E-03</td> </tr> <tr> <td>Arcillas Limosas</td> <td>1.00E-03 - 1.00E-05</td> </tr> <tr> <td>Arcillas</td> <td>1.00E-06</td> </tr> </tbody> </table>			Permeabilidad		Tipo de suelo	Rango de K (cm/s)	Grava Limpia	100 - 1	Arena Gruesa	1 - 0.01	Arena Fina	1.00E-02 - 1.00E-03	Arcillas Limosas	1.00E-03 - 1.00E-05	Arcillas	1.00E-06	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Textura</th> <th>K (m/día)</th> <th>Descripción</th> <th>K' (m/día)</th> <th>K' (cm/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arena gruesa con grava</td> <td>10 - 50</td> <td>Muy lenta</td> <td>< 0.03</td> <td>< 0.1</td> </tr> <tr> <td>Franco arenosa fina; arena fina</td> <td>1 - 5</td> <td>Lenta</td> <td>0.03 - 0.12</td> <td>0.1 - 0.5</td> </tr> <tr> <td>Franco; franco arcillosa bien estructurada</td> <td>1 - 3</td> <td>Moderadamente lenta</td> <td>0.12 - 0.50</td> <td>0.5 - 2</td> </tr> <tr> <td>Franco arenosa muy fina</td> <td>0.5 - 2</td> <td>Moderada</td> <td>0.50 - 1.50</td> <td>2 - 6</td> </tr> <tr> <td>Arcilla con grietas</td> <td>0.5 - 2</td> <td>Moderadamente rápida</td> <td>1.50 - 3.00</td> <td>6 - 12</td> </tr> <tr> <td>Arena muy fina</td> <td>0.2 - 0.5</td> <td>Rápida</td> <td>3.00 - 4.50</td> <td>12 - 18</td> </tr> <tr> <td>Franco arcillosa, arcillosa mal estructurada</td> <td>0.002 - 0.2</td> <td>Muy rápida</td> <td>> 4.50</td> <td>> 18</td> </tr> <tr> <td>Arcilla compactada</td> <td>< 0.002</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Textura	K (m/día)	Descripción	K' (m/día)	K' (cm/día)	Arena gruesa con grava	10 - 50	Muy lenta	< 0.03	< 0.1	Franco arenosa fina; arena fina	1 - 5	Lenta	0.03 - 0.12	0.1 - 0.5	Franco; franco arcillosa bien estructurada	1 - 3	Moderadamente lenta	0.12 - 0.50	0.5 - 2	Franco arenosa muy fina	0.5 - 2	Moderada	0.50 - 1.50	2 - 6	Arcilla con grietas	0.5 - 2	Moderadamente rápida	1.50 - 3.00	6 - 12	Arena muy fina	0.2 - 0.5	Rápida	3.00 - 4.50	12 - 18	Franco arcillosa, arcillosa mal estructurada	0.002 - 0.2	Muy rápida	> 4.50	> 18	Arcilla compactada	< 0.002			
Muestra / Horizonte	CHUQUIRIBAMBA																																																																																																																																														
Réplica	I	II	III																																																																																																																																												
Textura	Arcillosa																																																																																																																																														
Método	Carga variable																																																																																																																																														
Fecha inicio	5/6/2023	9/6/2023	28/6/2023																																																																																																																																												
Hora inicio	9:19	12:28	10:00																																																																																																																																												
Fecha final	9/6/2023	28/6/2023	3/6/2023																																																																																																																																												
Hora final	11:51	8:45	11:55																																																																																																																																												
Tiempo total	4d 2h 32min	18d 20h 17min	5d 1h 55min																																																																																																																																												
Tiempo (seg)	354723.84	1714616.64	438903.36																																																																																																																																												
Vol. Inicial (ml)	2000	2000	2000																																																																																																																																												
Vol. Final (ml)	1930	1360	1915																																																																																																																																												
Altura Carga	250	230	230																																																																																																																																												
Ø Cilindro (cm)	10	10	10																																																																																																																																												
H cilindro (cm)	11	11	11																																																																																																																																												
área alimentador	78.54	78.54	78.54																																																																																																																																												
área alimentador	0.79	0.79	0.79																																																																																																																																												
K (cm/s)	1.10E-08	2.47E-08	1.09E-08																																																																																																																																												
K (m/d)	0.000010	0.000021	0.000009																																																																																																																																												
Permeabilidad																																																																																																																																															
Tipo de suelo	Rango de K (cm/s)																																																																																																																																														
Grava Limpia	100 - 1																																																																																																																																														
Arena Gruesa	1 - 0.01																																																																																																																																														
Arena Fina	1.00E-02 - 1.00E-03																																																																																																																																														
Arcillas Limosas	1.00E-03 - 1.00E-05																																																																																																																																														
Arcillas	1.00E-06																																																																																																																																														
Textura	K (m/día)	Descripción	K' (m/día)	K' (cm/día)																																																																																																																																											
Arena gruesa con grava	10 - 50	Muy lenta	< 0.03	< 0.1																																																																																																																																											
Franco arenosa fina; arena fina	1 - 5	Lenta	0.03 - 0.12	0.1 - 0.5																																																																																																																																											
Franco; franco arcillosa bien estructurada	1 - 3	Moderadamente lenta	0.12 - 0.50	0.5 - 2																																																																																																																																											
Franco arenosa muy fina	0.5 - 2	Moderada	0.50 - 1.50	2 - 6																																																																																																																																											
Arcilla con grietas	0.5 - 2	Moderadamente rápida	1.50 - 3.00	6 - 12																																																																																																																																											
Arena muy fina	0.2 - 0.5	Rápida	3.00 - 4.50	12 - 18																																																																																																																																											
Franco arcillosa, arcillosa mal estructurada	0.002 - 0.2	Muy rápida	> 4.50	> 18																																																																																																																																											
Arcilla compactada	< 0.002																																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Conductividad Hidráulica (k)</th> </tr> <tr> <th>Muestra</th> <th>Réplica</th> <th>Textura</th> <th>k cm/s</th> <th>k m/d</th> <th>Velocidad Villón</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">CHUQUIRIBAMBA</td> <td>I</td> <td rowspan="3">Arcillosa</td> <td>1.10E-08</td> <td>0.0000095</td> <td rowspan="3">Muy lenta</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>2.47E-08</td> <td>0.0000214</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>1.09E-08</td> <td>0.0000094</td> </tr> </tbody> </table>						Conductividad Hidráulica (k)						Muestra	Réplica	Textura	k cm/s	k m/d	Velocidad Villón	CHUQUIRIBAMBA	I	Arcillosa	1.10E-08	0.0000095	Muy lenta	II	2.47E-08	0.0000214	III	1.09E-08	0.0000094																																																																																																																		
Conductividad Hidráulica (k)																																																																																																																																															
Muestra	Réplica	Textura	k cm/s	k m/d	Velocidad Villón																																																																																																																																										
CHUQUIRIBAMBA	I	Arcillosa	1.10E-08	0.0000095	Muy lenta																																																																																																																																										
	II		2.47E-08	0.0000214																																																																																																																																											
	III		1.09E-08	0.0000094																																																																																																																																											



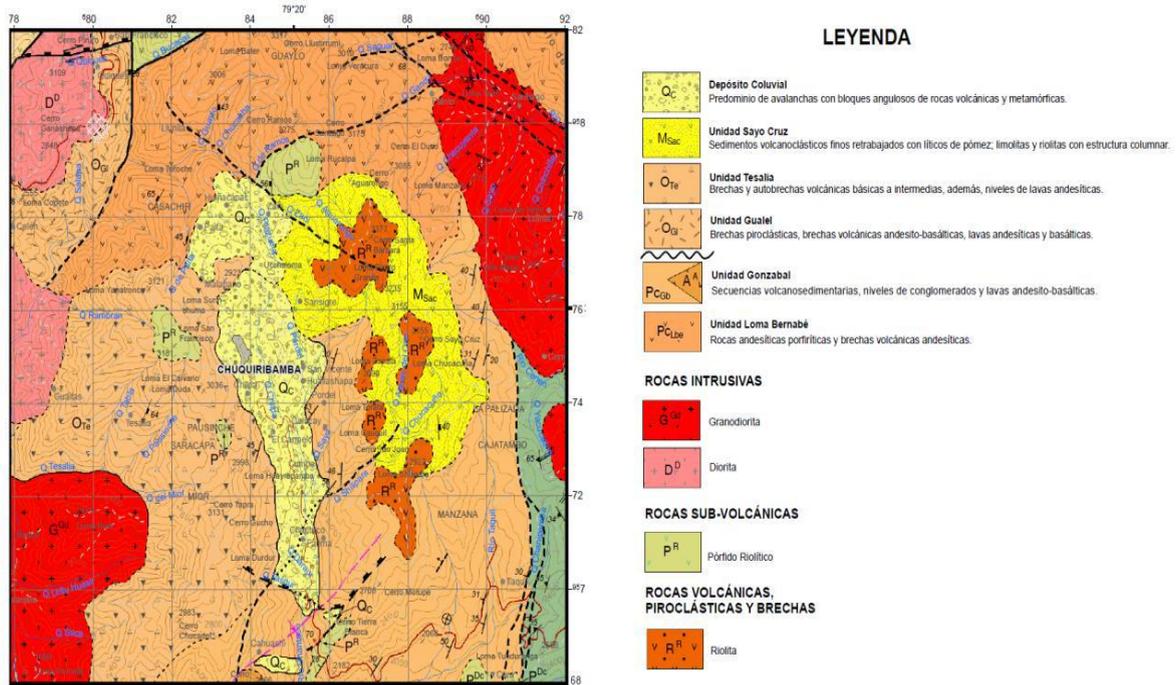
Figura 31. Capacidad de intercambio catiónico



Anexo 4. Levantamiento Topográfico

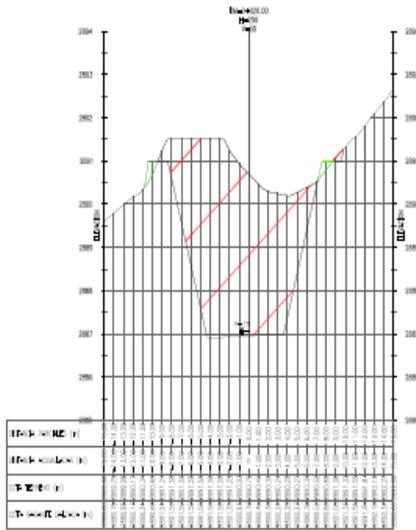


Anexo 5. Hoja geológica del área de estudio

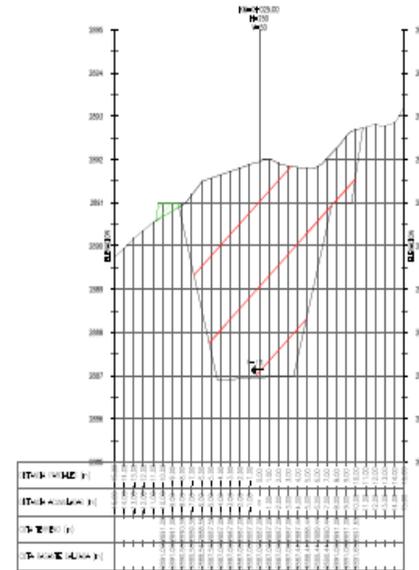


Anexo 5. Diseño de reservorio

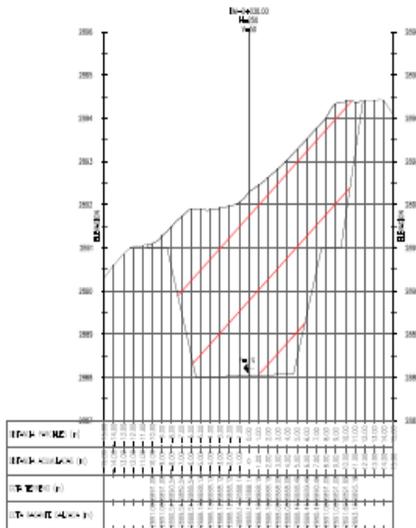




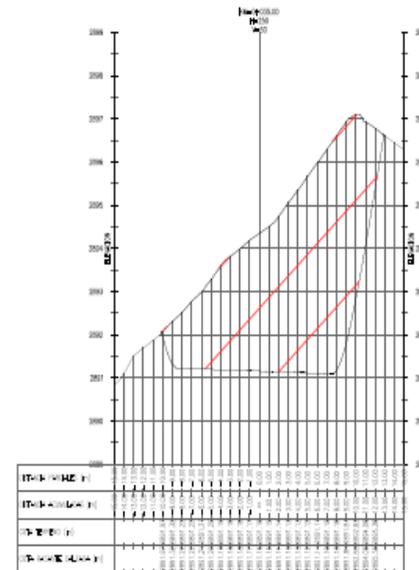
Total Volume at Station 0+020.00	
Area de corte	46.72
Area de relleno	0.60
Volumen de corte	222.44
Volumen de relleno	6.29
Volumen total de corte	526.58
Volumen total de relleno	26.60
Volumen neto	499.98



Total Volume at Station 0+025.00	
Area de corte	63.27
Area de relleno	0.56
Volumen de corte	274.98
Volumen de relleno	2.89
Volumen total de corte	801.56
Volumen total de relleno	29.49
Volumen neto	772.07



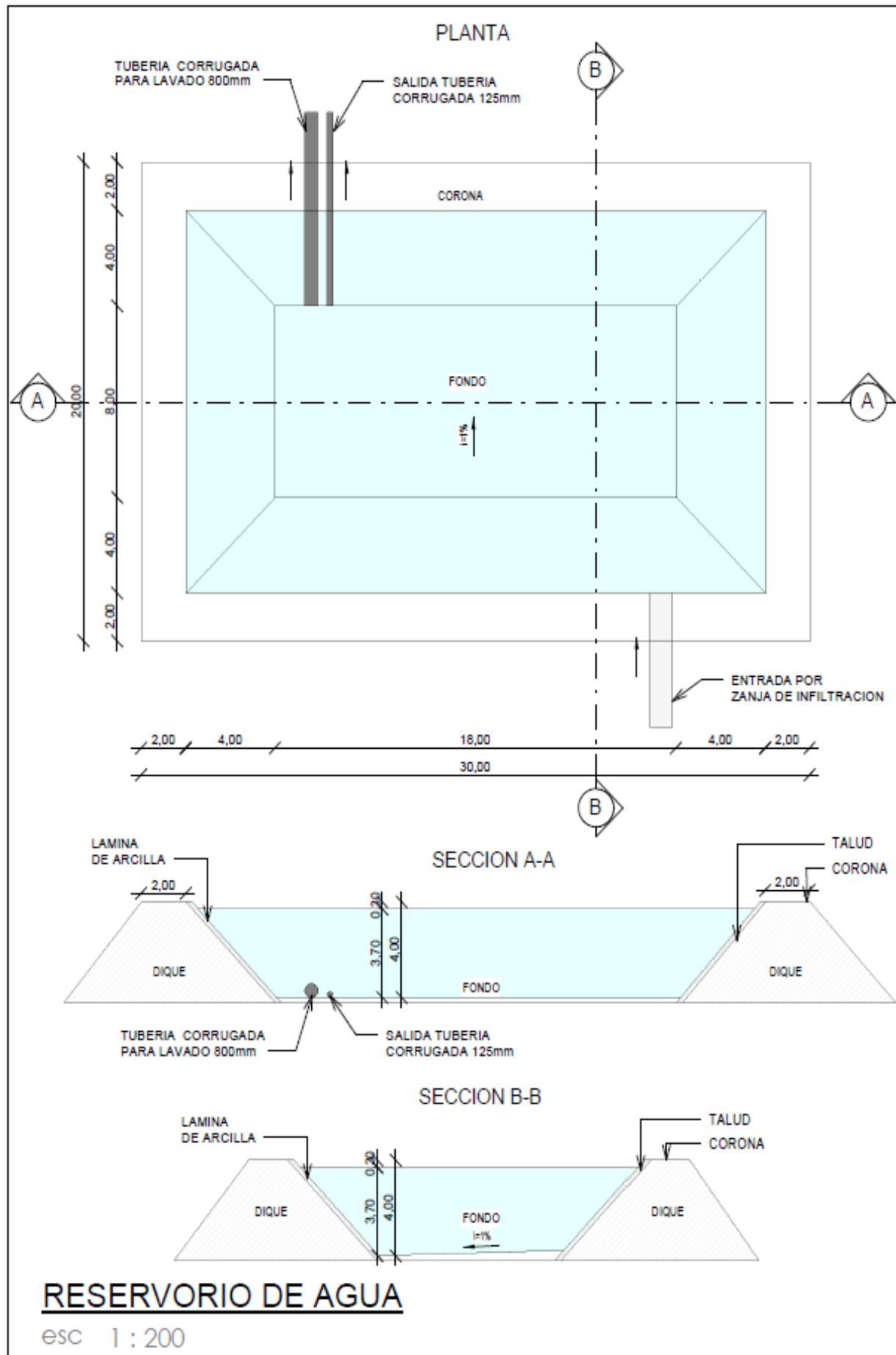
Total Volume at Station 0+030.00	
Area de corte	71.16
Area de relleno	0.00
Volumen de corte	336.08
Volumen de relleno	1.39
Volumen total de corte	1137.64
Volumen total de relleno	30.88
Volumen neto	1106.76



Total Volume at Station 0+035.00	
Area de corte	70.71
Area de relleno	0.00
Volumen de corte	354.67
Volumen de relleno	0.00
Volumen total de corte	1492.31
Volumen total de relleno	30.88
Volumen neto	1461.43

 CORTE
 RELLENO

Anexo 6. Planos Reservorio



Anexo 7. Excavación de reservorio



Anexo 8. Impermeabilización del reservorio



Anexo 9. Evaluación en campo de la permeabilidad



Anexo 10. Certificado de traducción del resumen

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

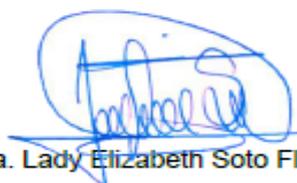
A quien corresponda:

Yo, **Lady Elizabeth Soto Flores**, portadora de la cedula de identidad número **110473540-0**, en mi calidad de Licenciada en Pedagogía del Idioma Inglés, con capacidad para realizar traducciones de textos misma que puede ser probada a través de la certificación B2 en el idioma inglés, certifico que:

La traducción del Resumen (Abstract) del trabajo de titulación denominado **"Diseño de un reservorio impermeabilizado con arcilla, para el aprovechamiento de aguas pluviales en la parroquia de Chuquiribamba del Cantón Loja"** de autoría del estudiante **Pedro Alejandro González Sarango** con cedula de identidad número **110455673-1** fue traducido del idioma español al idioma inglés. Declaro que esta traducción es una traducción exacta y completa del documento original.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, y autorizo al interesado hacer uso de este como estime conveniente.

Loja 25 de abril de 2024



Lcda. Lady Elizabeth Soto Flores

Nro. Registro Senecyt 1031-2023-2757747