

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL IN SITU PARA IMPERMEABILIZAR EN
BASE A CAL-ARENA-ARCILLA Y MEJORAR LA EFICIENCIA DE
CONDUCCION DEL CANAL GOCHIRCA-TAYABAMBA”**

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

HIDRÁULICA

AUTORES:

Br. CASTILLO MELGAREJO, ISAIAS KENLY

Br. RODRIGUEZ VALENCIA, RENATO ALDAIR

ASESOR:

Ms. Ing. NARVAEZ ARANDA, RICARDO ANDRES

TRUJILLO - PERÚ

2019

Fecha de sustentación: 2019/11/29

ACREDITACIONES

TITULO: “ESTUDIO EXPERIMENTAL IN SITU PARA IMPERMEABILIZAR EN BASE A CAL-ARENA-ARCILLA Y MEJORAR LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN DEL CANAL GOCHIRCA-TAYABAMBA”

AUTOR (ES):

BR. CASTILLO MELGAREJO ISAIAS KENLY

BR. RODRIGUEZ VALENCIA RENATO ALDAIR

APROBADO POR:

Ing. Guillermo Juan Cabanillas Quiroz
PRESIDENTE
N° CIP 17902

Ing. José Luis Serrano Hernández
SECRETARIO
N° CIP 54464

Ing. Víctor Manuel Moran Guerrero
VOCAL
N° CIP 50648

Ms. Ing. Ricardo Andrés Narváez Aranda
ASESOR
N° CIP 58776

DEDICATORIA

Dedico esta tesis:

A mis padres Eustaquio y Rosalvina, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. A mis hermanos Keyla y Kevin, y a mi familia en general quienes me brindan su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

Es por Ellos que he logrado conquistar mis metas. Los amo con mi vida.

Isaías Kenly Castillo Melgarejo

Dedico esta tesis:

Principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres Julio y Esther, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño, apoyo incondicional y mostrarme el camino a la superación.

A mi hermana Celeste, por brindarme su tiempo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento, son el amor más bonito que tengo en la vida.

Esto es posible gracias a Ustedes.

Renato Aldair Rodriguez Valencia

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos parte de este estudio experimental.

Por esto agradecemos al Ing. Narváz Aranda Ricardo, quienes a lo largo de este tiempo ha puesto a prueba sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de este proyecto de investigación.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Los Autores

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo principal realizar un estudio experimental in situ para impermeabilizar en base a cal-arena-arcilla y mejorar la eficiencia de conducción del canal Gochirca-Tayabamba.

El desarrollo del proyecto se realizó en tres etapas, la primera, consistió en calcular el caudal del canal mediante medición directa (método del cubo) siendo este de 4.61 L/s, hallar la pérdida de caudal del canal por infiltración siendo este de 1.41 L/s (30.56 % de caudal total), calcular la eficiencia de conducción hidráulica obteniendo un resultado de 69.41 % y determinar las diferentes proporciones del mortero hecho a base de arcilla, arena y cal, las cuales tuvieron las siguientes proporciones respectivamente: Muestra 1 (70%, 20%, 10%), muestra 2 (60%, 30%, 10%), muestra 3 (50%, 25%, 25%).

En la segunda etapa para determinar las propiedades mecánicas de la arcilla y arena se realizó los ensayos en laboratorio obteniendo su clasificación respectivamente según SUCS arcilla de baja plasticidad (CL) y arena pobremente graduada (SP), y según la clasificación AASHTO material arcilloso A4 y material granular del grupo A-1-b; y por último se realizó el ensayo de infiltración cuyo proceso inició con la excavación in situ de 03 calicatas con una profundidad y diámetro de 0.30 m cada una, luego se revistió con el mortero en estudio con un espesor de 0.03 m, se agregó agua para observar y anotar 2 veces al día su descenso, el periodo de evaluación duró 8 semanas (56 días) y al final se analizó los resultados del ensayo y se determinó cual es la dosificación más eficiente contra la infiltración, siendo esta la muestra N°1 con una dosificación: 7:2:1.

La tercera y última etapa, consistió en realizar el ensayo de infiltración en un tramo de canal de 2.8 m revestido con la mejor dosificación de mortero, primero se midió el caudal inicial (4.07 L/s) y final (3.93 L/s) del tramo sin revestimiento, luego se procedió a medir el caudal inicial (4.05 L/s) y final (4.04 L/s) del tramo revestido para determinar el nivel de infiltración del caudal, siendo este de 0.01 L/s; y finalmente se comparó con los resultados obtenidos de las mediciones hechas en el canal sin revestir, hallando así una eficiencia de 99.8 %.

Se concluyó que se puede aumentar la eficiencia de conducción del agua de un canal impermeabilizándolo con el mortero con proporciones: 70 % arcilla, 20 % arena y 10 % cal, debido a que, la arcilla es un material con bajo nivel de permeabilidad, la arena ayuda para mejorar la consistencia y trabajabilidad, y la cal es un ligante natural siendo capaz de unir diferentes materiales y mejorando la adherencia de éstos.

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to carry out an experimental in situ study to waterproof the Gochirca-Tayabamba canal based on lime-sand clay and improve its conduction efficiency.

The development of the project was carried out in three stages, the first, consisted in calculating the flow of the channel by means of direct measurement (bucket method) being this one of 4.61 L/s, to find the loss of flow of the channel by infiltration being this one of 1.41 L/s (30.56 % of total flow), to calculate the efficiency of hydraulic conduction obtaining a result of 69.41 % and to determine the different proportions of the mortar made with clay, sand and lime, which had the following proportions respectively: Sample 1 (70%, 20%, 10%), sample 2 (60%, 30%, 10%), sample 3 (50%, 25%, 25%).

In the second stage to determine the mechanical properties of the clay and sand, laboratory tests were carried out, obtaining their classification respectively according to SUCS low plasticity clay (CL) and poorly graded sand (SP), and according to the AASHTO classification, clay material A4 and granular material of group A-1-b; and finally, the infiltration test was carried out, the process of which began with the excavation in situ of 03 calicatas with a depth and diameter of 0.30 m each, then coated with the mortar under study with a thickness of 0.03 m, water was added to observe and note twice a day its decline, the evaluation period lasted 8 weeks (56 days) and at the end the results of the test were analyzed and it was determined which is the most efficient dosage against infiltration, being this sample No. 1 with a dosage: 7:2:1.

The third and last stage consisted of performing the infiltration test in a 2.8 m section of channel lined with the best mortar dosage, first the initial flow (4.07 L/s) and final flow (3.93 L/s) of the section without lining was measured, then proceeded to measure the initial flow (4.05 L/s) and final (4.04 L/s) of the lined

section to determine the level of infiltration of the flow, being this of 0.01 L/s; and finally it was compared with the results obtained from the measurements made in the unlined channel, thus finding an efficiency of 99.8 %.

It was concluded that it is possible to increase the water conduction efficiency of a waterproofing channel by using mortar with proportions: 70% clay, 20% sand and 10% lime, due to the fact that clay is a material with a low level of permeability, sand helps to improve consistency and workability, and lime is a natural binder being able to join different materials and improving their adherence.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento con los requisitos estipulados en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, ponemos a vuestra disposición la presente Tesis titulada: “ESTUDIO EXPERIMENTAL IN SITU PARA IMPERMEABILIZAR EN BASE A CAL-ARENA-ARCILLA Y MEJORAR LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN DEL CANAL GOCHIRCA-TAYABAMBA.”, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación profesional en la universidad, consulta de fuentes bibliográficas especializadas y con la experiencia del asesor.

Atentamente,

Br. Castillo Melgarejo, Isaías Kenly

Br. Rodriguez Valencia Renato Aldair

Trujillo, 29 de noviembre de 2019

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
PRESENTACIÓN	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xv
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de Investigación.....	2
1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática	2
1.1.2. Descripción del Problema.....	3
1.1.3. Formulación del Problema.....	4
1.2. Objetivos de la Investigación	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. Justificación del Estudio.....	5
1.4. Aporte del Trabajo.	5
1.5. Alcance.....	5
CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA	6
2.1. Antecedentes del Estudio.....	7
2.2. Marco Teórico.	9
2.2.1. Eficiencia del Sistema de Riego.....	9
2.2.1.1. Eficiencia de Conducción.....	10
2.2.1.2. Eficiencia de Distribución.....	11
2.2.1.3. Eficiencia de aplicación.	12
2.2.2. Métodos de Medición de Caudal.....	13
2.2.2.1. Velocidad y Sección.	13
2.2.2.1.1. Método del correntómetro.....	14
2.2.2.1.2. Método del flotador.....	16
2.2.2.1.3. Método del Cubo	17
2.2.3. Perdida por Infiltración en Canales.	19

2.2.3.1. Factores que Influyen en las Perdidas de Infiltración	20
2.2.4. Métodos para Determinar las Perdidas por Infiltración	21
2.2.4.1. Medida Directa en Campo	21
2.2.4.2. Formulas Empíricas.....	23
2.2.4.2.1. Formula de T. Ingham	23
2.2.4.2.2. Formula de Etcheverry	24
2.2.4.2.3. Formula de Pavlovski	24
2.2.4.2.4. Formula de Davis – Wilson.....	25
2.2.5. Ventajas del Revestimiento.....	26
2.2.6. Materiales que se Usan para el Revestimiento de Canales.....	28
2.2.6.1. Concreto	28
2.2.6.2. Mampostería.....	29
2.2.6.3. Suelo más aglomerante	30
2.2.6.4. Revestimiento de Tierra.....	30
2.2.7. Variables Climatológicas.....	31
2.2.7.1. Evaporación.....	31
2.2.7.2. Temperatura	31
2.2.7.3. Radiación Solar	32
2.2.7.4. Humedad Atmosférica	32
2.2.7.5. Vientos.....	33
2.2.7.6. Precipitación	34
2.2.8. Influencia de los Factores Climáticos.....	35
2.2.8.1. Influencia de la Evaporación.....	35
2.2.8.2. Influencia de la Precipitación	37
2.2.9. La Cal.....	38
2.2.9.1. Calicanto.....	39
2.2.9.2. Tipos de Cal por su Naturaleza.	40
2.2.9.3. Tipos de Cal por su Composición	41
2.2.9.4. Propiedades de la Mezcla en Cal.	42
2.2.9.5. Aplicaciones de la Cal	42
2.2.10. La Arcilla	43
2.2.10.1. Maduración de Arcilla	43
2.2.10.2. Podrido de Arcilla.....	43

2.3. Marco Conceptual	44
2.3.1. Definiciones de Términos Básicos	44
2.4. Hipótesis.....	45
2.5. Variables e Indicadores (Cuadro de Operacionalización de Variables).....	45
2.5.1. Variables	45
2.5.2. Cuadro de Operacionalización de Variables	45
CAPITULO III: METODOLOGIA EMPLEADA	47
3.1. Material y Métodos	48
3.1.1. Material	48
3.1.1.1. Arcilla	48
3.1.1.2. Arena	48
3.1.1.3. Cal	49
3.1.2. Métodos	49
3.1.3. Equipamiento Experimental	51
3.1.3.1. Instrumentos	51
3.1.4. Diseño del Material y de los Modelos Hidráulicos	52
3.1.4.1. Diseño del Material	52
3.1.4.2. Diseño de los Modelos Hidráulicos	55
3.1.4.2.1. Diseño de las Calicatas	55
3.1.4.2.2. Diseño de Tramo del Canal	55
3.1.5. Fabricación del Material y de los Modelos Hidráulicos	56
3.1.5.1. Fabricación de Material Impermeabilizante	56
3.1.5.2. Fabricación de Modelos Hidráulicos	58
3.1.5.2.1. Construcción de las Calicatas	58
3.1.5.2.2. Acondicionamiento del Tramo de Canal	59
CAPITULO IV: DESARROLLO Y RESULTADOS	60
4.1. Desarrollo	61
4.1.1. Alcances y Procedimientos	61
4.1.1.1 Alcances	61
4.1.1.2. Procedimientos	61
4.1.1.2.1. En el Canal Gochirca sin Revestimiento.....	61
4.1.1.2.2. Pruebas de Infiltración en las Calicatas.....	62
4.2. Resultado de la Investigación.....	63
4.2.1. Cálculo de Pérdida del Caudal.....	63
4.2.1.1. Métodos Indirectos	63
4.2.1.2. Métodos Directos	63

4.2.2. Resultados de los Ensayos de Campo	66
4.2.3. Resultados de los Ensayos en el Laboratorio	66
4.2.3.1. Arcilla	66
4.2.3.2. Arena	71
4.2.4. Resultados de las Pruebas de Infiltración en Calicatas.	74
4.2.5. Resultados de la Prueba de Evaporación	89
4.2.6. Resultados de las Pruebas de Infiltración en un Tramo del Canal.....	93
4.2.6.1. Canal sin Revestimiento.	93
4.2.6.2. Canal con revestimiento.	94
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	98
5.1. Ensayo de Infiltración en el Canal Gochirca.....	99
5.1.1. Mediciones del Caudal.....	99
5.1.2. Pérdida de Caudal por Infiltración.....	100
5.2. Ensayo de Infiltración en las Calicatas.....	100
5.2.1 Pérdida Total del Volumen de Agua.	100
5.2.2. Cálculo del Volumen de agua Evaporada	102
5.2.3. Pérdida de Volumen de Agua por Infiltración.....	103
5.2.4. Análisis de la Presencia de Fisuras y Grietas en Calicatas	106
5.3. Eficiencia de Conducción Hidráulica	107
5.3.1. Análisis de la Presencia de Fisuras	109
5.4. Análisis de Costos Unitarios.....	110
5.4.1. Mortero Hecho a Base de Cemento y Arena	110
5.4.2. Mortero Hecho a Base de Arcilla, Arena y Cal.....	112
CONCLUSIONES.....	113
RECOMENDACIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	116
ANEXOS	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Profundidad según el Tirante.	15
Tabla 2. Coeficiente de Permeabilidad según Etcheverry.....	24
Tabla 3. Coeficiente de Permeabilidad según Pavlovski.....	25
Tabla 4. Coeficiente de Permeabilidad según Davis-Wilson.....	26
Tabla 5. Magnitudes de Lluvia.	35
Tabla 6. Variables e Indicadores.....	46
Tabla 7. Dosificación de la Muestra N°1.	53
Tabla 8. Dosificación de la Muestra N°2.	53
Tabla 9. Dosificación de la Muestra N°3.	54
Tabla 10. Resumen de las Muestras en Estudio.....	55
Tabla 11. Medidas de las Calicatas Construidas.	55
Tabla 12. Medidas del Tramo del Canal.	56
Tabla 13. Características de las Calicatas.	58
Tabla 14. Resultados de los Métodos Indirectos.....	63
Tabla 15. Resultados del Cálculo Perdida del Canal sin Revestir.....	64
Tabla 16. Análisis Granulométrico de Arcilla por Tamizado.....	67
Tabla 17. Datos Obtenidos del Ensayo Copa Casagrande.....	68
Tabla 18. Datos Obtenidos del Ensayo de Limite Plástico.....	68
Tabla 19. Resumen de Límites de Consistencia.....	68
Tabla 20. Resultados de Ensayo de Peso Específico de Masa.	69
Tabla 21. Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad.....	70
Tabla 22. Resumen de los ensayos realizados a la muestra de arcilla.....	70
Tabla 23. Análisis Granulométrico de Arena por Tamizado.	71
Tabla 24. Resultados de Ensayo de Contenido de Humedad.....	73

Tabla 25. Resumen de los Ensayos Realizados a la Muestra de Arena.....	73
Tabla 26. Resultado de la Prueba de Infiltración en Calicata N°1.....	75
Tabla 27. Resultado de la Prueba de Infiltración en Calicata N°2.....	80
Tabla 28. Datos obtenidos de la Prueba de Infiltración en la Calicata N°3.	85
Tabla 29. Datos Obtenidos de la Prueba de Evaporación.	90
Tabla 30. Medición del Caudal del Canal sin Revestimiento.....	93
Tabla 31. Resultados de la Prueba de Infiltración en el Canal Revestido.....	95
Tabla 32. Fisuras y Grietas en Calicatas.	106
Tabla33. Fisuras y Grietas en Canal Revestido.....	109
Tabla34. Presupuesto Mortero de Concreto.	111
Tabla35. Presupuesto de Mortero: Arcilla, Arena y Cal.	112

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Método del Correntómetro.	16
Figura 2. Aplicación del Método Flotador.....	17
Figura 3. Construcción de la Presa de Tierra.....	18
Figura 4. Colocación de Tubo de 5-7cm de Diámetro.....	18
Figura 5. Cálculo de Caudal con el Método del Cubo.	18
Figura 6. Cálculo de Caudal con el Método del Cubo.	19
Figura 7. Medida de Caudal con el Aforador Parshall.....	22
Figura 8. Cálculo de Perdidas Aislado un Tramo de un Canal.....	22
Figura 9. Datos Hidrometeorológicos a Nivel Nacional.	103

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Una de las principales fuentes de desarrollo económico y sustentación familiar de la población en el distrito de Tayabamba proviene de la agricultura, debido a que es una actividad ancestral y de fácil acceso para todo poblador.

Pero debido a la precaria infraestructura para esta actividad como, por ejemplo: presas de almacenamiento, canales de regadío, equipos motorizados, asesoramiento técnico, etc. Limita mucho más el desarrollo de esta actividad comercial en comparación con otras provincias de la región La Libertad.

Los escasos recursos de agua motivaron a gestionar proyectos de cosecha de agua ante la gerencia regional de agricultura. Preocupado por la agricultura y desarrollo de su distrito, el alcalde de Santiago de Challas, viene gestionando varios proyectos ante la gerencia regional de agricultura de La Libertad, uno de los proyectos que viene gestionando es la construcción de reservorios de geo membrana, para la cosecha y almacenamiento de agua en su distrito. La escasez de agua, habría conllevado al alcalde a emprender este gran proyecto de cosecha y almacenamiento de agua, un recurso tan importante para la agricultura: este proyecto que beneficiaría a más de 2500 pobladores de su distrito.

La situación de los demás distritos de la provincia de Patate es muy similar y en algunos casos hasta peor que la situación del distrito de Tayabamba.

Finalmente creemos que es conveniente e importante desarrollar el proyecto “Estudio experimental in situ para impermeabilizar en base a cal-arena-arcilla y mejorar la eficiencia de conducción del canal Gochirca - Tayabamba”, y dar una solución a estos problemas que afecta a la mayoría de agricultores de la sierra liberteña.

1.1.2. Descripción del Problema

Unos de los principales problemas que enfrenta la población Tayabambina es el escaso acceso al líquido elemental de la vida en épocas de verano debido a que las precipitaciones se detienen y solo se puede aprovechar el agua de algunos ríos aledaños de bajo caudal, algunas lagunas y pocos manantiales que ofrece la geografía del lugar. El principal problema que existe en la zona es la deficiencia del uso del agua debido a muchas razones, la más significativa es la pérdida de esta por infiltración debido a que en algunas zonas del canal rústico presenta tipos de suelos que son propensos a este fenómeno. Es por ello que en muchos canales sin revestimiento solo se aprovecha entre el 40-50% del caudal de captación.

La solución idónea sería revestir con concreto todos los canales de regadío, para aprovechar de manera más eficiente el agua, pero existe otro problema que es el gran presupuesto para cubrir toda la demanda de canales sin revestimiento; el bajo presupuesto del gobierno local, además de la ineficiencia de las autoridades hacen inviable que se apruebe proyectos para revestir al menos los canales más susceptibles a la infiltración.

Es así que podemos evidenciar que existe un gran problema con el canal de regadío en la zona rural conocida como Gochirca del distrito de Tayabamba, el cual tiene dimensiones de 0.30x0.30m aproximadamente, la infiltración y la vegetación que crece alrededor de este dificultan mucho más el correcto aprovechamiento del agua.

Lo mismo sucede con los demás canales de los pueblos aledaños del distrito de Tayabamba, problemas que deben ser resueltos lo más antes posible para un mayor aprovechamiento de sus aguas en la agricultura y en la ganadería.

En el distrito de Tayabamba cuenta con minas de cal, el cual puede aprovecharse para estabilizar el fondo y laterales del canal evitando la pérdida de agua por infiltración.

1.1.3. Formulación del Problema

¿Cuál es la dosificación de cal-arena-arcilla para impermeabilizar y mejorar la eficiencia de conducción del canal Gochirca?

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Determinar la dosificación de cal, arena y arcilla para mejorar la eficiencia de conducción del canal Gochirca.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la eficiencia de conducción del canal de tierra.
- Determinar las propiedades mecánicas del material: Arena y arcilla.
- Realizar la prueba de infiltración en 03 calicatas con una profundidad de 0.30m y diámetro de 0.30m revestido con material de diferentes proporciones. ($e=0.03m$).
- Analizar los resultados y determinar cuál es la mejor dosificación para el revestimiento del canal.
- Realizar la prueba de infiltración en el canal de Gochirca de 0.34x0.34x2.80m con la mejor dosificación del mortero en estudio ($e=0.03m$).

1.3. Justificación del Estudio

La presente investigación se enfocará en determinar la correcta dosificación a base de cal, arena y arcilla, para suplir los problemas de infiltración en el canal de Gochirca, dado que hasta hoy no se ha logrado solucionar el problema de infiltración que limita el uso correcto del agua para la agricultura y ganadería.

La importancia de este proyecto radica en que nos permitirá mejorar la eficiencia de conducción en el canal de Gochirca y otros canales aledaños sin revestimiento, con materiales propios de la zona que reducirá el costo en la preparación de este novedoso “mortero” y generar un antecedente el cual podrá ser tomado en consideración en futuros proyectos para el mejoramiento de canales de regadío, siendo los distritos de la provincia de Patatz los principales beneficiarios en este estudio.

1.4. Aporte del Trabajo.

Este trabajo de investigación será de gran utilidad como fuente de información para los alumnos de Ingeniería Civil, Ingeniería Agrícola e Ingeniería Agrónoma que cursan las materias de Mecánica de Fluidos, Hidrología, Irrigaciones e Hidráulica. Además de brindar una visión experimental que ayudara a comprender lo importante que es el revestimiento en canales, mejorando así la eficiencia de conducción con materiales ecológicos y una significativa reducción de costos.

1.5. Alcance.

El alcance del proyecto de investigación a nivel académico es contribuir con criterios, alcances y experiencias nuevas en el revestimiento de canales, ayudando así en la formación profesional de los estudiantes y fomentando la experimentación en los mismos.

CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del Estudio.

“DETERMINACIÓN DE PERDIDAS DE AGUA EN CANALES PEQUEÑOS, CON REVESTIMIENTO DE AGREGADO GLOBAL Y MEZCLA: CEMENTO-ARENA-SUELO”.

Autor:

BCH. RUIZ RODRIGUEZ JAQUELINE

BCH. VELASQUEZ MARIN TANIA JUACQUELINE

Objetivo:

El presente proyecto tiene como finalidad disminuir el costo de los revestimientos en canales de entrega, haciendo uso de materiales no convencionales, propio de las zonas aledañas a la ciudad de Cajamarca. Así como también se busca disminuir las pérdidas generadas por la infiltración, haciendo así más aprovechable el recurso del agua.

Resumen:

En la ciudad de Cajamarca existen varias canteras, las cuales han sido estudiadas por tesis de la Facultad de Ingeniería de la U.N.C. Basándonos en estos estudios, se creyó pertinente el uso de los materiales de tres de estas, realizando varios diseños de mezcla, para que pudieran ser usados como revestimientos, especialmente en canales pequeños, para lo cual se analizó la eficiencia contra la infiltración a través de estos. El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Cajamarca. El tipo de investigación que se realizó es aplicativo, con ensayos a escala 1:1, en once modelos

físicos, eligiendo las dosificaciones y espesores más representativos para el estudio.

Se usaron los materiales de las siguientes canteras: Arena de Cerro de la Cantera El Gavilán, Suelo de la Cantera Cruz Blanca y Agregado Global de la Cantera Rio Chonta, por ser las más adecuadas.

La parte experimental consistió en determinar las dosificaciones y espesores de los revestimientos que fueron sometidos a pruebas de infiltración de agua, por lo cual se llevó a cabo la lectura y toma de datos de pérdidas de agua tanto por infiltración como por evaporación, así como el incremento del nivel de agua producido por las precipitaciones dadas en la zona de trabajo, ya que las observaciones se realizaron en circunstancias naturales.

Luego de hacer las pruebas pertinentes, se dieron como válidas las dosificaciones de 1:2:2, 1:2:4 y 1:4:5 para las mezclas cemento-arena-suelo y de 1:4 para la mezcla de cemento-agregado global, teniendo un rango de espesores de revestimiento entre 2.5" a 5.5", el tiempo que duro el trabajo de campo fue de 6 meses (de Julio a Diciembre) y el procesamiento de datos demoro 3 meses.

Ya realizado el procesamiento de los datos, se procedió hacer las comparaciones de los resultados, obteniendo que el revestimiento que presento una mayor eficiencia fue el de mezcla cemento-arena-suelo, con dosificación 1:2:4 y espesor de revestimiento de 3.5", este modelo presento una eficiencia contra la infiltración de 98.45%.

Conclusiones:

Los proyectos de aprovechamiento del recurso de agua son de vital importancia, por lo cual existen muchos estudios y experiencias sobre revestimientos de canales, sin embargo, se utiliza el concreto como material importante en la ingeniería hidráulica a pesar de existir

otros materiales que en la práctica no se los utiliza debido a que no han sido evaluados sistemáticamente, por esto que en este presente estudio se analizaron materiales tales como la mezcla de arena-suelo-cemento y además el agregado global, realizando una comparación entre estos.

Como es sabido por factores económicos los canales se quedan solo a nivel de excavación sin llegar a ser revestidos y dependiendo del tipo de suelo donde se emplazan, estas pérdidas pueden darse en mayor o menor cantidad, lo cual afecta a la población necesitada del líquido elemento, para las diversas actividades en que este es de vital importancia; es por esto que las obras hidráulicas deben ser las óptimas y de acuerdo a nuestra realidad.

Relación con el proyecto de investigación:

Nos permite almacenar y aplicar información sobre métodos para la infiltración en nuestro estudio experimental.

2.2. Marco Teórico.

2.2.1. Eficiencia del Sistema de Riego.

La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la bocatoma, la cantidad de agua que es captada de alguna fuente natural de un sistema de riego esta conducida a través de un canal principal y luego derivada el agua por un canal de distribución y finalmente se deriva el agua a nivel parcela para algún cultivo del productor agrario.

Que finalmente se evaluara del caudal captado en la bocatoma cuánta agua de esta es utilizada para el riego del cultivo y para ello es

importante determinar la eficiencia de riego a fin de determinar la demanda de agua que se requiere en un proyecto de riego siendo esta un factor importante en el cálculo de la demanda hídrica de todo proyecto de riego.

La eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción en el canal principal, eficiencia de distribución en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela, el producto de estas tres eficiencias nos determina la eficiencia de riego de un sistema.

$$E_{fr} = E_{fc} * E_{fd} * E_{fa}$$

Donde:

- ✓ Eficiencia de conducción (Efc)
- ✓ Eficiencia de distribución (Efd)
- ✓ Eficiencia de aplicación (Efa)

2.2.1.1. Eficiencia de Conducción.

La eficiencia de conducción permite evaluar la pérdida de agua en el canal principal desde la bocatoma hasta el punto final del canal principal.

$$E_{fc} = \frac{\text{Caudal que llega al final del Canal principal} + \sum \text{caudales de distribución}}{\text{Caudal de agua que entra al canal principal}} * 100$$

Si el porcentaje de eficiencia es alto, significa que las pérdidas de agua son mínimas debido al buen estado del canal principal que conduce el agua, esto quiere decir lo siguiente:

- ✓ Que, de preferencia el canal principal sea revestido, para evitar que haya perdidas de infiltración.
- ✓ Que no tenga roturas, ni en la base, ni en los taludes ni en los bordes.
- ✓ Que no tenga mucho espejo de agua expuesto a la evaporación.
- ✓ Que no se reproduzcan hurtos o sustracción de agua en el recorrido, como el caso de usuarios informales, carguío de agua en cisternas, abastecimiento permanente de uso pecuario etc.
- ✓ Que se deriven los caudales mínimos recomendables técnicamente, para tener velocidad aceptable y no producir sedimentación que reduce la capacidad del canal o erosión que deforma la sección, exponiendo una mayor superficie a la infiltración.

2.2.1.2. Eficiencia de Distribución.

Se obtiene de todos los canales de distribución de 1ero, 2do, 3er orden, que sirven para distribuir el agua hacia las parcelas o chacras de los usuarios. Mide la perdida que se produce entre la toma lateral del canal principal, hasta la entrega a los usuarios de una zona de riego. La ecuación para determinar la eficiencia de un canal de distribución es:

$$E_{fd} = \frac{\text{Caudal que llega al final del Canal de Distribución} + \sum \text{caudales de los laterales}}{\text{Caudal de agua que entra al canal lateral}} * 100$$

Por lo tanto, de existir en un sistema de riego que contiene varios canales de distribución la eficiencia de ella, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E_{fd} = \frac{\text{Sumatoria de eficiencias de Distribución de 1er, 2do, 3er, 4to, ... "n" orden}}{\text{Numero total de canales de Distribución}}$$

De igual forma que en el canal de conducción, la distribución deberá presentar una alta eficiencia al tener pérdidas de infiltración mínimas, el valor de dicha eficiencia será mayor cuanto mejor sea el estado de los canales y estructuras de distribución. Esto quiere decir:

- ✓ Que no haya fugas en la toma y estructuras de retención, partidores y otros debido a deterioros o daños causados a veces por los mismos usuarios.
- ✓ Que se programen uno, dos o tres canales para turno de riego con un caudal suficiente y no todos los canales al mismo tiempo, con caudales muy bajos que originan velocidades muy bajas.

2.2.1.3. Eficiencia de aplicación.

La eficiencia de aplicación de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados. El valor de la eficiencia se verá afectada por la superficie de la parcela, para lo cual tendrá una relación de proporcionalidad. Teniendo esto en cuenta se empleará la siguiente ecuación en caso de tener varias parcelas:

$$Ef_a(\%) = \frac{A_1 * E_{r1} + A_2 * E_{r2} + \dots + A_n * E_{rn}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Donde:

A_n = Área de Parcela

E_{rn} = Eficiencia de riego en parcela

Mejorar la eficiencia de aplicación de riego es regar mejor, por lo que se recomienda:

- ✓ Mantener la zona de raíces de los cultivos sin excesos ni falta de agua.
- ✓ Evitar inundaciones en los sectores más bajos de la chacra, con lo que se evitan las coceaduras y enfermedades del cuello de las plantas.
- ✓ Disminuir los problemas de drenaje.
- ✓ Aumentar los rendimientos de los cultivos.
- ✓ Regar más áreas de superficie con la misma agua que llega al predio.

2.2.2. Métodos de Medición de Caudal.

Existen diferentes métodos para medir el caudal de agua que atraviesa una sección, a continuación, se describirá algunos de los métodos de aforo más utilizados:

2.2.2.1. Velocidad y Sección.

Este método es el más usado y se requiere medir el área de la sección transversal del flujo de agua y la velocidad media del flujo, para el cálculo del caudal se aplica la relación siguiente:

Donde:

$$Q = A * V$$

- ✓ Q: Caudal del agua en litros por segundo (l/s) o en metros cúbicos por segundo (m³/s).
- ✓ A: Área de la sección transversal del flujo de agua.
- ✓ V: Velocidad media del agua.

El problema principal es medir la velocidad media en los canales o cauces ya que la velocidad varia en los diferentes puntos de la sección.

Los métodos más conocidos para determinar la velocidad de agua son los siguientes:

2.2.2.1.1. Método del correntómetro.

En este método la velocidad del agua se mide por medio de un instrumento llamado correntómetro que mide la velocidad en un punto dado de la sección del canal.

Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula para calcular la velocidad sabiendo el número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo. Estos correntómetros se calibran en laboratorios de hidráulica por medio de una fórmula de calibración, que es la siguiente:

$$v = a * n + b$$

Donde:

v= Velocidad del agua (m/s).

n= Numero de vueltas de la hélice por segundo.

a= Paso real de la hélice en metros.

b= es la llamada velocidad de frotamiento en (m/s).

Como el correntómetro mide la velocidad en un punto, para obtener la velocidad media de un curso de agua se deben en ciertos casos, medir la velocidad en dos, tres o más puntos, a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de la superficie del agua.

Tabla 1. Profundidad según el Tirante.

TIRANTE (d) (cm)	PROFUNDIDAD DE LECTURA DEL CORRENTÓMETRO (cm)
<15	d/2
15<d<45	60d
>45	0.2 y 0.8d o 0.2, 0.6d y 0.8d

Fuente: Manual de Hidrometría INRENA-PSI, 2005.

Las profundidades en las cuales se mide las velocidades con el correntómetro en función de la altura del tirante de agua (d). Conocidas las profundidades se calcula el área de la sección transversal, la que se utilizara para el cálculo del caudal:

$$Q = A * V$$

Donde:

V=Velocidad medida con el correntómetro

A=Área de la sección transversal (m²)

Q= Caudal (m³/s)

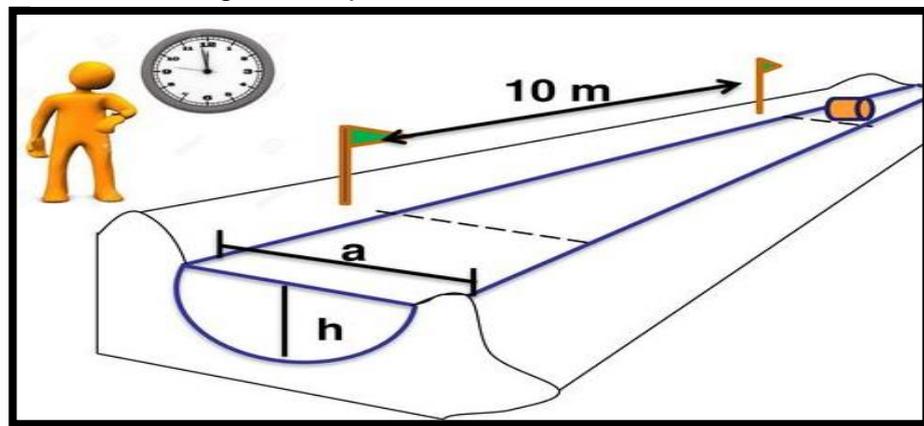
Procedimiento:

- ✓ Buscar un sitio adecuado, de preferencia un tramo recto con sección uniforme.
- ✓ La sección se divide en varios tramos dependiendo de la anchura del canal.
- ✓ En cada tramo hallar el área parcial, la cual se obtiene al multiplicar la profundidad media (se calcula midiendo la profundidad del agua en el extremo de cada tramo) por su anchura.
- ✓ La velocidad media se mide en el centro de cada área parcial a una distancia 40% de abajo hacia arriba cuando la profundidad es menor de 0.60 m. Si es mayor, se hacen mediciones a 20% y 80% de la profundidad.

El procedimiento para la toma de datos es el siguiente:

Para medir la velocidad en canales o causes pequeños, se coge un tramo recto del curso de agua y alrededor de 5 a 10m, se deja caer el flotador al inicio del tramo que está debidamente señalado y al centro del curso del agua en lo posible y se toma el tiempo inicial t_1 , luego se toma el tiempo t_2 , cuando el flotador alcanza el extremo final del tramo que también está debidamente marcado, y sabiendo la distancia recorrida y el tiempo que el flotador demora en alcanzar el extremo final del tramo, se calcula la velocidad.

Figura 2. Aplicación del Método Flotador.



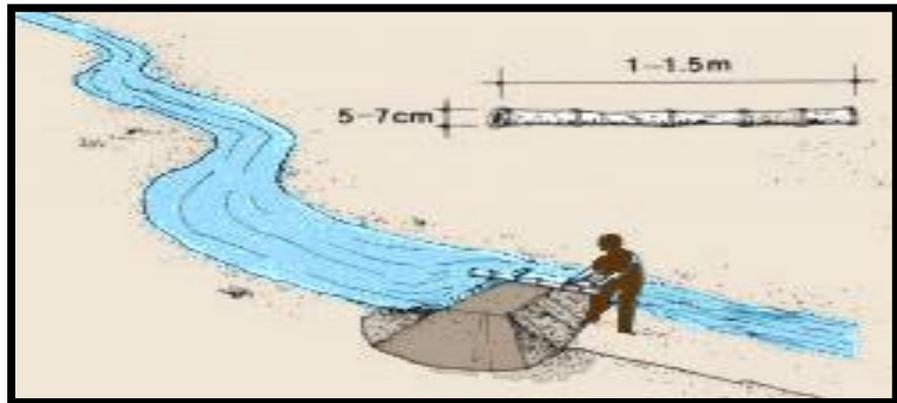
Fuente: Google/Imágenes.

2.2.2.1.3. Método del Cubo

Es un método sencillo para medir caudales muy pequeños de menos de 5 l/s con gran precisión.

- Se comienza construyendo una presa pequeña de tierra a través del canal para detener el agua. Se pueden emplear postes de madera, bambú o ramas de árboles para retener la tierra en su lugar mientras se construye la presa.

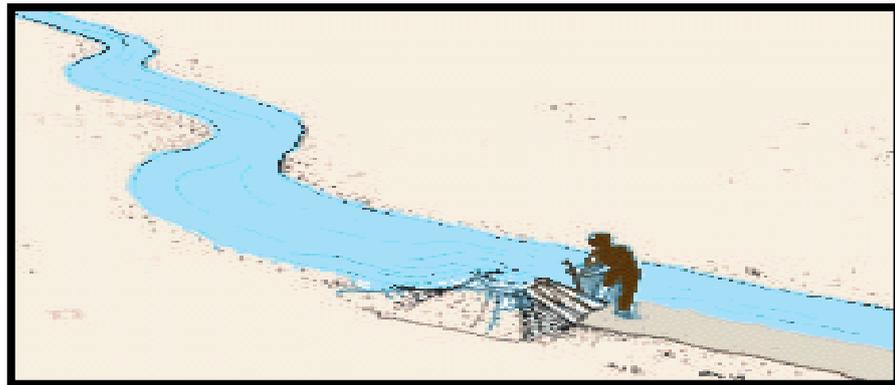
Figura 3. Construcción de la Presa de Tierra.



Fuente: Google/Imágenes.

- Cuando la presa está a medio construir, se pone un tubo de 5 a 7 cm de diámetro y de 1 a 1,5 m de longitud, que puede ser de bambú.

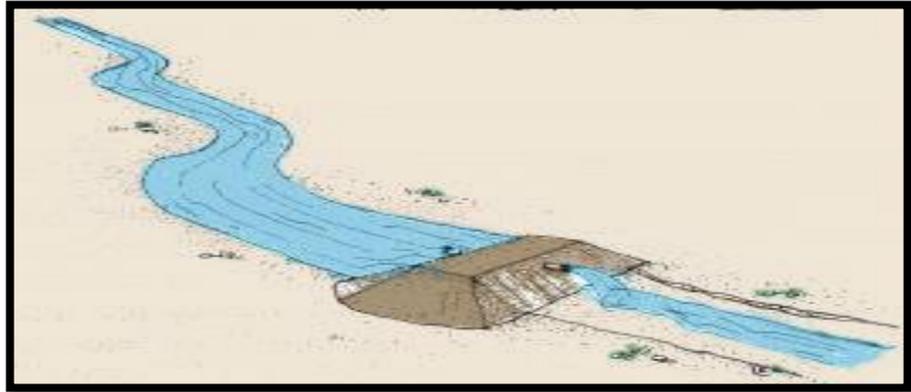
Figura 4. Colocación de Tubo de 5-7cm de Diámetro.



Fuente: Google/Imágenes.

- Se busca por lo menos dos cubos u otros recipientes similares que se emplea para llenarlos del agua que pasa por el tubo. También se necesitará una botella u otro recipiente pequeño de 1 litro.
- Empleando el recipiente de 1 litro, se cuenta el número de litros que necesita para llenar de agua los cubos, a fin de determinar cuánta contiene cada uno.

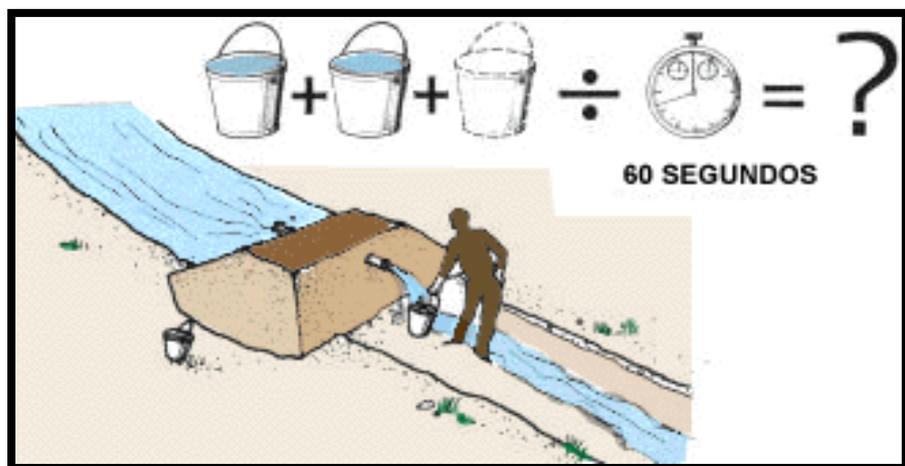
Figura 5. Cálculo de Caudal con el Método del Cubo.



Fuente: Google/Imágenes.

- Empleando un cubo tras otro, se recoge toda el agua que pasa por el tubo durante un minuto (60 segundos). Cuento el número de cubos que puede llenar durante ese tiempo. Calcule el caudal total de agua (en l/s).

Figura 6. Cálculo de Caudal con el Método del Cubo.



Fuente: Google/Imágenes.

2.2.3. Perdida por Infiltración en Canales.

Los canales son conductos que sirven para el transporte del agua, desde el punto de captación hasta el punto de entrega para su uso (generación de energía eléctrica, riego, uso poblacional, etc.). Generalmente los canales que sirven a las plantas hidroeléctricas son revestidos, en cambio, por razones de costo en lo que se refiere a la

inversión inicial, en la mayoría de los casos, los canales con fines de irrigación se dejan sin revestir. De los materiales que se usan como lecho del canal ninguno de ellos es 100% impermeable, pero cuando los canales no se revisten, las pérdidas por infiltración se hacen muy considerables.

El cálculo de las pérdidas por infiltración en un canal, resulta de gran importancia para la evaluación económica de los canales que se van a ejecutar o de los que ya están ejecutados, el cálculo se efectúa con base en un examen de las propiedades hidráulicas del suelo donde intervienen muchas variables.

Las pérdidas por infiltración en los canales, reducen la eficiencia del sistema, ya que representan pérdidas de agua valiosa para los cultivos, además las pérdidas elevan el nivel freático, lo que causa efectos perjudiciales a las plantas, ayuda a la salinización del suelo y se convierte en foco de enfermedades.

Las pérdidas se producen en el canal principal entre la toma y los canales secundarios y entre éstos y las zonas de riego. También hay pérdidas en el momento de aplicación del agua a los campos cultivados, pero éstas no son afectadas por el revestimiento del canal y queda a manos de los agricultores controlarlas para aumentar la eficiencia del riego.

2.2.3.1. Factores que Influyen en las Perdidas de Infiltración

Dentro de los factores que afectan a las perdidas por infiltración, se tienen:

- ❖ **La permeabilidad del lecho del canal:** La percolación depende de la permeabilidad del suelo y son tanto mayores cuando más poroso y grueso es el suelo.

- ❖ **Edad del canal:** La pérdida de agua en los canales es generalmente máxima inmediatamente después de construidos, y después disminuye gradualmente con el tiempo a medida que el fondo y los lados son cubiertos por el fango. Las partículas de limo y arcillas llevadas por el agua son atraídas por las corrientes de percolación y se incrustan en los poros obstruyéndolos.

- ❖ **Caudal:** Las pérdidas son proporcionalmente menores en los canales grandes que en los pequeños.

- ❖ **Longitud de canal:** Las pérdidas son directamente proporcionales a la longitud del canal de conducción.

2.2.4. Métodos para Determinar las Perdidas por Infiltración

Para calcular las perdidas por infiltración en canales se puede utilizar:

2.2.4.1. Medida Directa en Campo

La medida directa en el campo de las perdidas por infiltración se puede hacer:

- Midiendo los caudales que entran y salen de un tramo de canal, siendo la diferencia entre ellos las perdidas. Para el aforo de los caudales se pueden usar molinetes, vertederos o el aforador Parshall. La exactitud del método depende de la exactitud del aforo. La gran ventaja de este método es que no interfiere con el funcionamiento normal del canal y cuesta poco.

Figura 7. Medida de Caudal con el Aforador Parshall.



Fuente: Google/Imágenes.

- Aislando un tramo de un canal por medio de un relleno de tierra al principio y al final del tramo. El método consiste en medir la velocidad de infiltración del agua en el estanque que se forma en el tramo. El método tiene la desventaja de ser costoso, además de interrumpir el servicio del canal durante la medición.

Figura 8. Cálculo de Perdidas Aislando un Tramo de un Canal.



Fuente: Google/Imágenes.

La fórmula que se usa para el cálculo es la siguiente:

$$S = \frac{W(Y1 - Y2)L}{pL}$$

Donde:

S= infiltración media a lo largo de la longitud L, en m³/m²-24 horas

W= espejo de agua medio en el tramo estancado

Y1= tirante de agua al inicio de la medición

Y2= tirante al cabo de 24 horas

p= perímetro promedio

2.2.4.2. Formulas Empíricas

Las fórmulas empíricas únicamente dan aproximaciones no muy exactas del cálculo de las pérdidas de infiltración, pero a pesar de todo sirve para hacer una estimación preliminar del problema.

Existen varias fórmulas empíricas para calcular las perdidas por infiltración en canales no revestidos, dentro de los cuales se puede mencionar:

2.2.4.2.1. Formula de T. Ingham

Ingham desarrollo su fórmula empírica en 1896 con base en las observaciones hechas en los canales de Punjab, India, su expresión es:

$$p = 0.0025\sqrt{y}(b + 2Zy)$$

Donde:

P= perdidas, en m³/s-km

b= ancho, de solera en m

y= tirante, en m

z= talud

2.2.4.2.2. Formula de Etcheverry

Etcheverry encontró para el cálculo de las perdidas la siguiente ecuación:

$$p = 0.0064Ce\sqrt{y}(b + 1.33y\sqrt{1 + Z^2})$$

Donde:

p= perdidas, en m³/s-km

Ce= coeficiente que representa la permeabilidad

b= ancho, de solera en m

y= tirante, en m

Z= talud

Tabla 2. Coeficiente de Permeabilidad según Etcheverry.

CLASE DE SUELO	Ce
Arcillosos	0.25-0.50
Franco arcillosos	0.50-0.75
Limosos y francos	0.75-1.00
Francos arenosos	1.00-1.50
Arenas finas	1.50-1.75
Arenas gruesas	2.00-2.50
Gravas	2.50-6.00

Fuente: Diseños de Estructuras Hidráulicas – Máximo Villon Béjar.

2.2.4.2.3. Formula de Pavlovski

Pavlovski determino la siguiente formula empírica:

$$p = 1000K[b + 2y(1 + Z)]$$

Donde:

p = pérdidas, en $m^3/s-km$

K =coeficiente de permeabilidad en m/s

b = ancho, de solera en m

y = tirante, en m

Z = talud

El coeficiente de permeabilidad es muy variable K , dependiendo de muchos factores, como orientación se muestran los siguientes valores:

Tabla 3. Coeficiente de Permeabilidad según Pavlovski.

CLASE DE SUELO	$K(cm/s)$
Grava	$10^2 - 10^{-1}$
Arena gruesa	$10^{-1} - 10^{-3}$
Arena fina	$10^{-2} - 10^{-4}$
Tierra arenosa	$10^{-3} - 10^{-5}$
Tierra franco arcillosa	$10^{-5} - 10^{-9}$
Tierra franca	$10^{-4} - 10^{-7}$
Limo	$10^{-4} - 10^{-5}$
Arcilla	$10^{-6} - 10^{-8}$
Arcilla compacta	$10^{-7} - 10^{-10}$

Fuente: Diseños de Estructuras Hidráulicas – Máximo Villon Béjar.

2.2.4.2.4. Formula de Davis – Wilson

Davis y Wilson encontraron la siguiente ecuación:

$$p = \frac{C_d y^{1/3} (b + 2y\sqrt{1 + Z^2})}{8861 + 8\sqrt{v}}$$

Donde:

p = pérdidas, en $m^3/s-km$

b =ancho, de solera en m

y = tirante, en m

Z = talud

v = velocidad, media en m/s

C_d = coeficiente que representa la permeabilidad, en m/s

Tabla 4. Coeficiente de Permeabilidad según Davis-Wilson.

MATERIAL	C_d
Hormigón de 10 cm de espesor	1
Arcilla de 15 cm de espesor	4
Enlucido de cemento de 2.5 cm	6
Suelo arcilloso	12
Suelo franco arcilloso	15
Suelo franco	20
Suelo franco arenoso	25
Suelo arcillo limoso	30
Arena	40-70

Fuente: Diseños de Estructuras Hidráulicas – Máximo Villon Béjar.

2.2.5. Ventajas del Revestimiento

Los beneficios de revestir los canales provienen de ventajas como la conservación del agua, la disminución del anegamiento para reducir así las obras de drenaje, la baja de los costos de excavación, servidumbre de paso, explotación y mantenimiento y la seguridad de las estructuras.

❖ **Conservación del agua**

La conservación del suministro de agua preocupa cada vez más en todas partes del mundo, ya que la demanda de este producto vital continúa aumentando rápidamente y son día en día más escasas las nuevas fuentes de abastecimiento a que cabe recurrir. Esta cercando el momento en que, para disponer de mayores cantidades de agua, no habrá otra solución que economizarla evitando las pérdidas actuales.

Una de las principales maneras de lograr el pleno aprovechamiento de las fuentes naturales de abastecimiento de agua para fines agrícolas es la reducción de las pérdidas por infiltración que se producen durante el transporte de este elemento.

❖ **Prevención de daños a las tierras adyacentes**

Las infiltraciones que se producen en los canales, pueden crear problemas de drenaje en los predios ubicados aguas abajo de ellos. Estos problemas son difíciles de solucionar, porque es necesario cuantificar las infiltraciones y el área de las zonas afectada, lo que se complica porque el agua puede desaparecer en una capa permeable del subsuelo y reaparecer en una zona más baja, situada a alguna distancia del canal.

❖ **Reducción de las dimensiones de los canales**

En los canales revestidos de materiales de superficie dura al descubierto como el hormigón, la mampostería, el ladrillo y otros tipos de revestimiento, son admisibles mayores velocidades y poseen una menor rugosidad que en los canales de tierra. Por lo anterior, para una misma capacidad de conducción, puede reducirse el área de la sección del canal.

Si se utilizan revestimientos resistentes a la erosión (como el concreto), se puede aumentar los taludes de la sección y la pendiente del canal. De este modo se disminuye la anchura de la parte superior y por consiguiente la faja de tierra ocupada por el canal; produciendo grandes economías de costo de las servidumbres de paso.

Con mayores velocidades del agua transportada se reducen los costos de mantenimiento si la sedimentación constituye un problema. Los sedimentos quedan en suspensión y no obstruyen el canal, sino que se depositan en las tierras regadas.

❖ **La seguridad estructural y otras ventajas**

La estabilidad de los lados y el fondo de los canales sin revestimiento constituye un problema importante en las zonas de suelo arenoso y limoso, sobre todo si las prácticas de riego requieren que el canal se explote en forma intermitente.

En tales circunstancias, con el uso de revestimiento se aminora el peligro de roturas del canal a consecuencias de la erosión.

2.2.6. Materiales que se Usan para el Revestimiento de Canales

Se pueden utilizar diferentes técnicas para el revestimiento de canales. El uso de uno u otro dependerá de las características del canal y del costo del material necesario.

2.2.6.1. Concreto

❖ **Concreto simple**

Es el material más utilizado para el revestimiento de canales, pues un revestimiento de concreto bien construido puede prestar servicio

durante mucho tiempo con un gasto mínimo en reparaciones y conservación, pues este material es muy resistente a daños mecánicos y a la erosión.

El uso de concreto presenta limitaciones en suelos que sufran dilataciones y en los que no se pueda lograr un buen drenaje del suelo.

❖ **Concreto armado**

El uso de concreto armado se justifica en aquellos casos en que el canal, está sometido a las siguientes limitaciones:

- Problemas de derrumbe de terreno en que está construido el canal.
- Paredes muy esbeltas, esto significa que su altura es muy superior a su ancho.
- Cruce de camino por el fondo del canal
- Cualquier otro problema que afecte la resistencia estructural del canal.

2.2.6.2. Mampostería

❖ **Revestimiento de mampostería de piedra**

El revestimiento de mampostería de piedra es una buena alternativa cuando el canal este ubicado cerca del lecho de un rio donde abunde este material. Por esta razón es una de las técnicas más utilizadas en los canales de riego de la zona central.

2.2.6.3. Suelo más aglomerante

❖ Suelo – cemento

Consiste en ocupar para el revestimiento una mezcla de suelo a la que se le ha agregado cemento para que actúe como aglomerante.

❖ Arcilla

Este tipo de revestimiento consiste en incorporar al suelo material arcilloso que actúa como aglomerante de las partículas de suelo. Se han utilizado otro tipo de aglomerantes como cal y asfalto.

2.2.6.4. Revestimiento de Tierra

Entre los revestimientos de tierra se incluyen los de tierra compactada, tierra suelta, mezclas de arcilla y tierras revueltas con ciertos aditivos estabilizadores.

Los revestimientos de tierra tienen que ser protegidos contra la erosión, los construidos con materiales limosos-arenosos y poca grava gruesa están expuestos a desmoronarse. Si hubiera de recurrirse a estos materiales, el costo de reducir la velocidad aumentando la sección transversal deberá evaluarse en comparación con el costo de mantener una sección transversal más pequeña con la correspondiente mayor velocidad de la corriente y de proteger el revestimiento con una cubierta de grava.

2.2.7. Variables Climatológicas

Es muy importante analizar los diferentes parámetros climatológicos que intervienen en este estudio ya que tienen relación directa e influyen de acuerdo al cambio de estos como se verán en los resultados.

2.2.7.1. Evaporación

La evaporación es el proceso físico por el cual el agua líquida pasa al estado de vapor; ya sea desde una superficie de agua libre (lagos, ríos represas), desde la humedad del suelo o bien a través de la transpiración de las plantas.

La evaporación natural tiene lugar solamente cuando la presión de vapor actual de la atmósfera es menor que la presión de vapor de la superficie evaporante y puede continuar solamente si existe una fuente adicional de energía.

2.2.7.2. Temperatura

La temperatura es un factor importante del ciclo hidrológico, pues interviene en todas sus etapas. Desde el punto de vista práctico, la temperatura interviene o influye en la evaporación del agua. Para que pueda calentarse la atmósfera se necesita que primero se caliente la superficie de la tierra (partes sólidas y líquidas) y por diferencia de temperaturas el calor se difundirá en la atmósfera.

La temperatura del aire constituye una de las variables meteorológicas más importantes en el estudio del tiempo y el clima.

2.2.7.3. Radiación Solar

La radiación solar es la fuente de energía del ciclo hidrológico, esta debe ser considerada como el factor más importante del ciclo hidrológico. Produce variaciones de calor que se traducen en mayor o menor evaporación.

La tendencia actual en hidrología es que la radiación solar sustituya a la temperatura como parámetro de cálculo de la evaporación y de la transpiración.

2.2.7.4. Humedad Atmosférica

La humedad atmosférica es el contenido de vapor de agua que se halla en la atmósfera, el cual proviene de la evaporación que tiene lugar en los espejos de agua, en las superficies húmedas o a través de la respiración y transpiración de los seres vivos.

La humedad atmosférica interesa a la hidrología, básicamente por dos motivos:

- Primero por ser el origen de las aguas que caen por precipitación.
- Segundo porque determina en cierta manera la velocidad con que tiene lugar la evaporación.

❖ Tensión de vapor

En toda mezcla de gases cada gas ejerce una presión parcial independientemente de los otros gases; la atmósfera es una mezcla de gases; la presión parcial que ejerce el vapor de agua se llama tensión de vapor. Por lo tanto, se puede escribir:

$$e_a = p - p'$$

Donde:

e_a = Tensión de vapor.

p = Presión del aire húmedo.

p' = Presión del aire seco.

❖ Tensión de vapor de saturación

Un mismo volumen de aire puede contener cantidades variables de vapor de agua, cuando un volumen de aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua para una temperatura dada, se dice que el aire está saturado.

Se llama tensión de vapor de saturación a la tensión de vapor en un volumen de aire saturado. Es decir que, a una temperatura del aire corresponde un par de valores donde el primero es la tensión de vapor actual y el segundo es la tensión de vapor de saturación.

2.2.7.5. Vientos

La distribución de energía no es uniforme sobre la superficie terrestre: por consiguiente, existen variaciones de temperatura y de presión, conduciendo a un desplazamiento del aire, que trata de buscar una condición de equilibrio; estos equilibran el calor de los trópicos y el frío de los polos. El viento es el aire en movimiento, es un factor importante del ciclo hidrológico porque influye en el transporte del calor y la humedad en el proceso de la evaporación.

El viento es muy susceptible a la influencia del relieve y de la vegetación, por lo que su medida se estandariza a algunos metros sobre el suelo.

2.2.7.6. Precipitación

La precipitación, es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control de agua.

Una nube está constituida por pequeñísimas gotas de agua, que se mantienen estables gracias a su pequeño tamaño, algunas características de las gotitas de las nubes son:

- Diámetro aproximado de las gotitas 0.02 mm.
- Espaciamiento entre gotitas 1 mm.
- Masa 0.5 a 1 gr./m³.
- Por el contrario, las gotas de lluvia, tienen un diámetro de 0.5 a 2 mm, es decir, un aumento en el volumen de las gotitas de las nubes, de 100.000 a 1.000.000 de veces.
- En este sorprendente aumento, está el origen de las precipitaciones y se asume principalmente gracias a dos fenómenos:
 - Unión entre sí de numerosas gotitas
 - Engrosamiento de una gota por la fusión y condensación de otras.

En una manera genérica la lluvia se identifica según su identidad en:

Tabla 5. Magnitudes de Lluvia.

Ligera	Para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h.
Moderada	Desde 2.5 hasta 7.6 mm/h.
Fuerte	Por encima de 7.6 mm/h.

Fuente: Tratamientos de Datos Hidrometeorológicos.

2.2.8. Influencia de los Factores Climáticos

Para este estudio es de gran importancia la influencia de los factores climáticos ya que existe una relación directa entre el clima ocurrente y los resultados obtenidos; puesto que las observaciones del estudio son hechas en circunstancias naturales, para lo cual las observaciones climatológicas son de suma importancia y gracias a la observación de los factores influyentes se llega a determinar el comportamiento de este fenómeno para optar por la solución más adecuada.

2.2.8.1. Influencia de la Evaporación

La evaporación se constituye en un factor importante a través del cual se producen pérdidas del agua estacionaria en los modelos, a la vez la tasa de evaporación del agua depende de una serie de factores.

El poder evaporante de la atmósfera es la capacidad que esta tiene para incrementar o disminuir el proceso de evaporación; depende a su vez de los siguientes factores:

❖ Déficit higrométrico

Es la cantidad de vapor de agua que le falta a la atmósfera para saturarse, por eso se denomina también déficit de saturación.

Saltón en 1802 demostró que la tasa de evaporación de una superficie de agua libre es proporcional al déficit higrométrico, siempre que los demás factores permanezcan invariables; es decir:

$$E_V = k(e_s - e)$$

Donde:

k: constante de proporcionalidad y depende de los demás factores

e_s : presión de vapor saturante correspondiente a la temperatura de la superficie.

e : presión de vapor actual en la atmosfera circundante.

❖ Temperatura

La evaporación es directamente proporcional a la temperatura del agua y del aire; cuanto más alta sea la temperatura del agua, menor será la cantidad de energía necesaria para la evaporación. Además, la temperatura del aire determina el valor de la presión de saturación del vapor de agua; por lo tanto, interviene también en déficit higrométrico.

❖ Radiación solar

La evaporación implica cambio de estado, de líquido a vapor; o sea, de un estado menos dinámico hacia otro más dinámico, siendo necesario el consumo de energía, la misma que procede del sol. A la cantidad de energía para producir la evaporación se denomina calor latente de evaporación (LE); depende de la temperatura del agua (t), y se puede determinar a través de la siguiente relación.

$$LE = (596.4 - 0.56t)cal/g$$

❖ **Viento**

El viento es una forma de energía (cinética), contribuye al desprendimiento de las moléculas de agua que se encuentran en la interfase agua – aire. Por otro lado, el viento reemplaza la masa aire más o menos saturada que descansa sobre la superficie evaporante, por masas relativamente más secas, procedentes de los alrededores; a este fenómeno se denomina Efecto de Oasis.

La evaporación es directamente proporcional a la velocidad del viento, hasta cierto nivel crítico, luego se reduce.

❖ **Presión atmosférica**

La influencia de la presión atmosférica sobre la evaporación es a veces muy discutida; se admite, sin embargo, que es inversamente proporcional a la evaporación; puesto que, cuando se incrementa el peso de la atmósfera sobre la superficie evaporante, dificulta la difusión del vapor.

2.2.8.2. Influencia de la Precipitación

La intensidad de la lluvia se define, como la relación entre la cantidad de agua precipitada por unidad de área y se expresa en mm/m²; es de vital interés para los hidrólogos que tratan de evitar la erosión del suelo y para el manejo de la escorrentía superficial.

La lluvia que es un fenómeno natural, ocurre en cantidad y distribución en tiempos diferentes sobre la superficie de la tierra. Estas diferencias son marcadas a nivel regional, y aun a nivel local, sin embargo, la lluvia es la principal fuente directa de abastecimiento de agua en el mundo.

El diseño racional de las obras de desagüe, urbanas o agrícolas exige el conocimiento de la intensidad máxima de la lluvia calculada a intervalos de tiempo bastante cortos (de 1 a 5 mín. o excepcionalmente, algunas horas).

Además de las aplicaciones antes mencionadas, esta información puede afectar el diseño de las obras de excedencias de los almacenamientos agrícolas y municipales, la anchura profundidad y pendientes de las zanjas de drenaje, el tamaño y la capacidad de las bombas para el drenaje interno de zonas protegidas contra aguas altas por bordes, el tamaño y número de las aberturas o claros de los puentes. En esto el análisis de lluvias juega un rol preponderante.

2.2.9. La Cal

La cal es un material cementante que se obtiene de la roca sedimentaria caliza; la cual es un carbonato de calcio, que, al ser calcinado a una temperatura elevada, se convierte en un óxido de calcio que es lo que comúnmente se conoce como cal viva y ésta al contacto con el agua, se hidrata formando el polvo blanco conocido como hidróxido de calcio o cal hidratada.

Éste es el producto que se comercializa envasado y que se utiliza en construcción primordialmente, sin ser esta aplicación excluyente de las demás en la industria alimenticia y farmacéutica entre otras.

La cal tiene múltiples propiedades entre las que podemos destacar la afinidad con el agua y agregados pétreos, la dureza, el color brillante, la estabilidad y el alto pH.

Es importante conocer las variaciones existentes entre un producto y otro, ya que de ello dependerán su correcta selección y aplicación.

Por su excelente desempeño en tareas de albañilería como las mamposterías, repellados, enlucidos, pinturas, impermeabilizantes y demás; la cal ha sido utilizada en la construcción desde tiempos remotos y en diversas latitudes. Esto también se debe a que los yacimientos de caliza son abundantes en el planeta.

La cal es un producto de origen natural que ofrece grandes beneficios a un costo razonable y lo mejor de todo, es que fue, es y promete ser una alternativa de construcción a largo plazo; que se integra al ambiente de forma respetuosa y coadyuvando de muchas formas a combatir el deterioro del medio circundante.

2.2.9.1. Calicanto

El calicanto es un mortero con proporción variable de cal, cuya principal característica es la presencia significativa proporción de mampuestos, de gran tamaño formando tongadas, en este caso las grandes piedras lanzadas desde cierta altura realizan la labor de apisonado.

El tapial más usado en fortificación medieval conservada hasta hoy es el de calicanto, buenos maestros del calicanto fueron los romanos, los bizantinos y los beréberes.

➤ **Descripción:** El calicanto deriva su nombre de la mampostería hecha con piedra de canto rodado, ligada con mortero de cal, arena y tierra “saborrada”, dos bateas de arena y dos de tierra y una de cal, algunas veces incluía ladrillo cocido y también clara de huevo, para aumentar la estabilidad y cohesión de la estructura.

➤ **Composición:** La base de este calicanto es la cal y la arena a la que se añaden distintas proporciones de cerámica molida y cenizas.

La fórmula tradicional era: de 5 a 7 partes de arena, una de tierra cocida y otra de cal. Sin embargo, en las partes más expuestas al impacto de máquinas de asedio se reforzaba aumentando la proporción de cal y reduciendo la de arena.

➤ **Enlucido:** El enlucido del tapial solía hacerse con una mezcla casi pura de cal y arena a la que a veces se añadía yeso y otras arcillas. Este enlucido tenía dos finalidades: embellecer un conjunto que de otro modo resultaría paupérrimo y protegerlo, impermeabilizándolo y aislándolo de los elementos más activamente erosivos como la lluvia y el viento.

➤ **Ventajas:** Por la naturaleza de su material tan completo era un material muy resistente a las inclemencias del tiempo y más resistentes a la humedad que a muchas construcciones de tierra. El calicanto se presentó como un material no solo para paredes, si no por su resistencia, también en arcos, bóvedas, columnas, pilastras y cúpulas.

➤ **Desventajas:** Aunque las desventajas de este material son muy pocas el calicanto debe protegerse contra la humedad del ambiente, las lluvias con fuertes vientos que ocasionan la erosión de la superficie, aunque en menor grado que en otras construcciones de tierra como el adobe.

2.2.9.2. Tipos de Cal por su Naturaleza.

a. Cal hidráulica

Cales constituidas por mezcla de margas y arcillas ricas en sílice aluminio y hierro, que endurecen tanto en contacto con el aire como en el agua.

b. Cal aérea

Cales constituidas principalmente por óxido o hidróxido de calcio que endurecen mediante carbonatación expuestas al aire.

c. Cal viva

Constituidas principalmente por óxido de calcio y de magnesio, producidos por calcinación de caliza y/o dolomita. Esta cal tiene una reacción exotérmica en contacto con el agua. Se pueden presentar en distintas granulometrías.

d. Cal hidratada

Cal resultante del apagado controlado de la cal viva. Se producen en forma de polvo seco, de pasta o de lechada.

2.2.9.3. Tipos de Cal por su Composición

a. Cal dolomítica

Se la denomina también cal gris o cal magra. Es una cal aérea con un contenido de óxido de magnesio superior al 5%. Al apagarla, forma una pasta gris, poco trabada, que no reúne unas condiciones satisfactorias para ser utilizada en construcción.

b. Cal grasa

Es la cal aérea que contiene como máximo un 5% de óxido magnésico, después de apagada da una pasta fina, trabada, blanda y untuosa.

2.2.9.4. Propiedades de la Mezcla en Cal.

- **Trabajabilidad:** Refiere a la facilidad o dificultad para aplicar y extender la mezcla, siendo esto una combinación de consistencia, plasticidad, cohesión y adhesión del mortero.
- **Retención de agua:** Es la capacidad de retener o liberar el agua contenida en el mortero, frente a la absorción que presenten las unidades de mampostería, durante su aplicación.
- **Retención de aire:** Capacidad del mortero de retener aire de manera intersticial, favoreciendo la trabajabilidad, adherencia y capacidad de soportar expansiones sin sufrir fracturas.
- **Tiempo de fraguado:** Tiempo que tarda un mortero en adquirir su resistencia inicial, se percibe cuando las mezclas pierden su estado plástico y aparentan tener una dureza relativamente alta.
- **Resistencia a la compresión:** Fuerza que resiste un mortero al ser sometido a dos cargas en los ejes verticales.
- **Durabilidad:** Es la capacidad de una estructura para mantenerse estable en su apariencia original, a través del tiempo.

2.2.9.5. Aplicaciones de la Cal

a. La piedra caliza.

Se utiliza con gran resultado en la ganadería como suplemento mineral, en el consumo animal, aportando el calcio necesario para el desarrollo de los animales.

b. La cal hidratada.

Sea esta, cálcica, dolomítica o magnesiana, mejora la adherencia del asfalto con los agregados, lo cual reduce el peligro de los daños por humedad, reduce el tiempo de endurecimiento por estabilización química de los compuestos polares que se encuentran en los asfaltos y aumenta la rigidez inicial de las mezclas de asfalto.

c. Otros usos

- Fabricación de morteros.
- Revoques interiores y exteriores.
- Enlosados y pavimentos.
- Neutralización y estabilización de suelos.

2.2.10. La Arcilla

Es el agregado mineral terroso o pétreo que contiene esencialmente silicatos de aluminio hidratados. La arcilla es plástica cuando está suficientemente pulverizada y saturada, es rígida cuando está seca y es vidriosa cuando se quema a temperatura de 1 000 °C.

2.2.10.1. Maduración de Arcilla

La maduración es un tratamiento de reposo de corta duración, impidiendo su desecación y tiene como objetivo homogeneizar la humedad en la arcilla.

2.2.10.2. Podrido de Arcilla

El podrido es un proceso de arcilla de larga duración, tiene como objetivo mejorar la plasticidad y reducir la tendencia al agrietamiento de la arcilla.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Definiciones de Términos Básicos

- **Cal:** Es una sustancia alcalina de color blanco o blanco grisáceo que, al contacto con el agua, se hidrata o se apaga, desprendiendo calor.
- **Arena:** Es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeño tamaño.
- **Arcilla:** Es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas.
- **Caudal:** Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.
- **Canal:** Conducto artificial por donde se conduce el agua para distribuirla, para el riego u otros usos.
- **Infiltración:** Una pérdida de agua que llena de humedad las paredes que hace que el agua pase.
- **Impermeabilización:** Es el sistema de protección y sellamiento de las superficies para que la humedad o agua no se filtre en la superficie donde se aplica la impermeabilización, similar a usar una capa para nuestro cuerpo conocidas como impermeables, la impermeabilización es precisamente ese "impermeable" donde el agua no logra mojarnos.

2.4. Hipótesis

Impermeabilizando el canal Gochirca a base de cal, arena y arcilla con una dosificación 1:2:3 se logrará mejorar la eficiencia de conducción a 90 %.

2.5. Variables e Indicadores (Cuadro de Operacionalización de Variables)

2.5.1. Variables

❖ Independiente

- Canal de Gochirca
- Caudal
- Arcilla
- Arena
- Cal
- Impermeabilizante

❖ Dependiente

- Nivel de Infiltración
- Dosificación
- Eficiencia

2.5.2. Cuadro de Operacionalización de Variables

Tabla 6. Variables e Indicadores.

VARIABLE	TIPO	INDICADOR	UNIDAD	INSTRUMENTO
Nivel de infiltración	Dependiente	Volumen de agua que se infiltra	m ³	Métodos directos en el campo y métodos empíricos
Dosificación	Dependiente	Porcentaje de Materiales	%	Ensayos y cálculos
Eficiencia	Dependiente	Volumen de agua que se infiltra	%	Ensayos y cálculos in situ
Canal de Gochirca	Independiente	Tipo de suelo	-	Ensayos granulométricos y cálculos
Caudal	Independiente	Volumen de agua que se capta	m ³	$Q=V/T$
Arcilla	Independiente	Porcentaje total de arcilla	%	Balanza de precisión y cálculos
Arena	Independiente	Porcentaje total de arena	%	Balanza de precisión y cálculos
Cal	Independiente	Porcentaje total de cal	%	Balanza de precisión y cálculos
Impermeabilizante	Independiente	Dosificación de materiales en estudio	%	Ensayo in situ y calculo

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO III: METODOLOGIA EMPLEADA

3.1. Material y Métodos

3.1.1. Material

Para la ejecución del proyecto de investigación se ha utilizado diferentes porciones de arcilla, arena y cal, debido a que son la materia prima del mortero impermeabilizante que se desarrolló.

Estos materiales tienen diferentes propiedades físicas y químicas, pero esencialmente fueron tomados en cuenta para nuestra investigación porque la arcilla es un material con bajo nivel de permeabilidad, la arena ayuda para mejorar la consistencia y trabajabilidad, y la cal es un ligante natural siendo capaz de unir diferentes materiales y mejorando la adherencia de éstos. Además, son muy comunes en nuestro país y sobre todo tienen un bajo costo, lo que hace que sea accesible para muchas personas de bajos recursos económicos.

3.1.1.1. Arcilla

Este material fue extraído de una cantera ubicada a 1.5 km de la ciudad de Tayabamba, el lugar tiene acceso por el camino principal de Tayabamba al centro poblado de Collay. Antiguamente los pobladores cercanos usaron esta cantera como fuente de material para la fabricación artesanal de tejas. Para el proyecto se necesitó 108 kg. de arcilla, pero por seguridad se acarrió 120 kg.

3.1.1.2. Arena

Este material fue obtenido desde las riberas del río Marañón, que es la cantera con mayor capacidad para cubrir la demanda del distrito de Tayabamba; se envió algunas muestras para realizar los ensayos pertinentes en laboratorio. Para realizar el proyecto de investigación se necesitó 50 kg. de arena.

3.1.1.3. Cal

Este material proviene de las minas de cal ubicadas en el distrito de Huaylillas que está a 30 minutos del distrito de Tayabamba, el acceso es por vía afirmada que conecta los dos distritos. Para poder realizar el material impermeabilizante se necesitó 20 kg de cal, pero se compró 100 kg por seguridad.

También se ha utilizado 03 calicatas circulares excavados en suelo propenso a infiltraciones, y un tramo del canal Gochirca. Estos elementos fueron acondicionados y revestidos con el material en estudio, para luego ser sometidos a pruebas de infiltración.

3.1.2. Métodos

El proyecto de investigación se efectuó considerando parámetros de la investigación experimental, la cual consiste en la preparación, manipulación y evaluación de ensayos, que en este caso viene a ser las calicatas antes mencionadas, en condiciones rigurosamente supervisadas, con el objetivo de investigar el nivel de infiltración de cada calicata revestido con el material impermeabilizante hecho a base de arcilla, arena y cal en diferentes proporciones.

El trabajo realizado es un experimento porque esencialmente el investigador puede manipular ciertas variables para observar y analizar el comportamiento de otras variables en situaciones controladas; para ello es necesario crear un contexto donde se va introducir determinadas variables manipuladas, y así poder controlar el incremento o reducción otras variables, para luego analizar las conductas observadas.

La metodología para medir el nivel de infiltración, está dada básicamente por el tipo de suelo, la dimensión granular, el nivel de porosidad y la fuerza de cohesión de las partículas.

Para poder evaluar la composición y las propiedades de los materiales usados en el proyecto (arcilla, arena y cal) se hicieron algunos ensayos de campo como: prueba de color, prueba de brillo, prueba de adherencia, prueba de plasticidad, consistencia de suelo seco, prueba de plasticidad, prueba de gradación, entre otros.

Además, se tomó algunas muestras de arcilla y arena para luego ser sometidas a ensayos de laboratorio como: análisis granulométrico, límite de consistencia, peso específico de masa y contenido de humedad.

También se hizo uso del método empírico de maduración con el objetivo de incrementar la adhesión molecular de la arcilla. El método consiste en reducir el tamaño del material extraído hasta cuerpos menor a 1", luego se agrega agua y se crea una masa húmeda la cual tiene que ser apisonada por todas partes hasta lograr transformar en una masa con mayor plasticidad, bajo grado de adherencia, contextura más rígida y cambio de tono a uno más oscuro; una vez logrado el objetivo se cubre con plástico y se deja reposar por periodos de tiempo comprendidos entre 1 y 3 meses.

Finalmente, para poder medir el caudal del canal se utilizaron métodos directos como es el método del cubo debido a que es práctico y muy eficiente para medir un caudal; y métodos indirectos como el uso de fórmulas como de T. Ingham, de Etcheverry, de Pavlovski y de Davis – Wilson.

3.1.3. Equipamiento Experimental

Para poder realizar la experimentación del proyecto se necesitó la construcción y acondicionamiento de modelos hidráulicos como calicatas y un tramo del canal Gochirca, para ello se necesitó instrumentos y herramientas.

Las herramientas que se utilizaron durante el proceso son:

- Barreta.
- Picota.
- Palana.
- Nivel.
- Plancha.
- Espátula.
- Reglas.
- Baldes.
- Jarras escaladas.

3.1.3.1. Instrumentos

Los instrumentos que se usaron durante la investigación son los siguientes:

❖ **Wincha:** Este instrumento fue usado para poder medir y luego marcar las dimensiones tanto de las calicatas como del tramo de canal acondicionado para nuestro proyecto.

❖ **Cronometro:** Por la naturaleza del proyecto fue necesario el uso de este instrumento ya que tiene una gran precisión para medir el tiempo de cada prueba realizada. Este instrumento fue esencial para poder realizar la experimentación y luego analizar los resultados.

❖ **Celular:** Se usó para recopilar la evidencia fotográfica de todos los ensayos realizados tanto en las calicatas como en el propio canal.

❖ **Vernier:** Este instrumento fue usado para medir las dimensiones de las fisuras y grietas que se presentaron en las superficies de las calicatas y tramo de canal revestido.

3.1.4. Diseño del Material y de los Modelos Hidráulicos

3.1.4.1. Diseño del Material

Para el diseño del material impermeabilizante que se usó como revestimiento de las calicatas y un tramo del canal de Gochirca fue hecho de arcilla, arena y cal. La metodología empleada indica que para una investigación experimental se debe realizar diferentes tipos de ensayos a un determinado número de ejemplares, en diferentes periodos de tiempo y condiciones, es por ello que se hizo 03 muestras de material, los cuales tienen una diferente proporción de arcilla, arena y cal en su composición.

Para calcular las cantidades de material base se tomó en consideración las dosificaciones del calicanto usado en la antigua Grecia y Roma, pero para nuestro proyecto la arcilla tuvo una mayor predominancia puesto es un material abundante e impermeabilizante, mientras que la arena y cal fueron usadas principalmente por brindar mayor consistencia y adhesión, pero en menor cantidad.

❖ Muestra N°1.

Mezcla de arcilla-arena-cal, se utilizó 3 litros de agua para poder mezclar los materiales y el espesor de diseño fue de 3 cm.

Tabla 7. Dosificación de la Muestra N°1.

MATERIAL	CANTIDAD (Kg)	PORCENTAJE (%)	DOSIFICACIÓN
ARCILLA	14	70	7
ARENA	4	20	2
CAL	2	10	1
Σ	20	100	

Fuente: Elaboración Propia.



Grafica 1. Proporción del Mortero N°1.

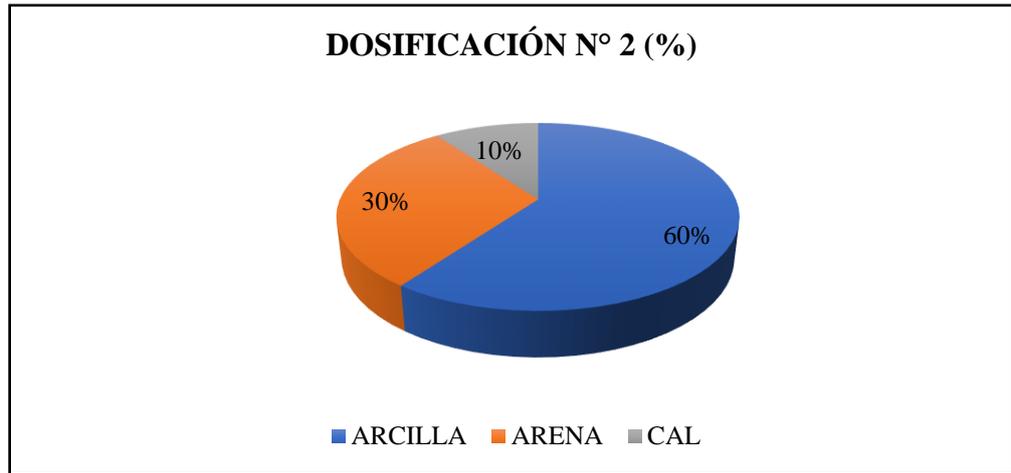
❖ Muestra N°2

Mezcla de arcilla-arena-cal, se utilizó 3 litros de agua para poder mezclar los materiales y el espesor de diseño fue de 3 cm.

Tabla 8. Dosificación de la Muestra N°2.

MATERIAL	CANTIDAD (Kg)	PORCENTAJE (%)	DOSIFICACIÓN
ARCILLA	12	60	6
ARENA	6	30	3
CAL	2	10	1
Σ	20	100	

Fuente: Elaboración Propia.



Grafica 2. Proporción del Mortero N°2.

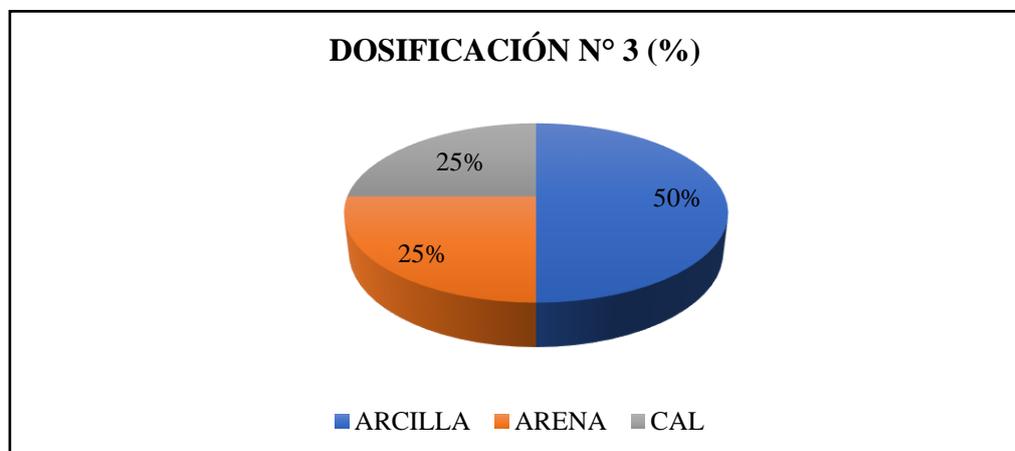
❖ **Muestra N°3**

Mezcla de arcilla-arena-cal, se utilizó 4 litros de agua para poder mezclar los materiales y el espesor de diseño fue de 3 cm.

Tabla 9. Dosificación de la Muestra N°3.

MATERIAL	CANTIDAD (Kg)	PORCENTAJE (%)	DOSIFICACIÓN
ARCILLA	10	50	5
ARENA	5	25	2.5
CAL	5	25	2.5
Σ	20	100	

Fuente: Elaboración Propia



Grafica 3. Proporción del Mortero N°3.

Tabla 10. Resumen de las Muestras en Estudio.

MUESTRA	ARCILLA (kg)	ARENA (kg)	CAL (kg)	AGUA (lt)	DOSIFICACIÓN
M1	14	4	2	3	7:2:1
M2	12	6	2	3	6:3:1
M3	10	5	5	4	5:2.5:2.5

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.4.2. Diseño de los Modelos Hidráulicos

3.1.4.2.1. Diseño de las Calicatas

Se diseñó 03 calicatas cilíndricas para poder realizar las pruebas de infiltración, las dimensiones fueron tomadas en cuenta de acuerdo a la metodología nombrada anteriormente, las calicatas tienen las siguientes características:

Tabla 11. Medidas de las Calicatas Construidas.

CALICATA	RADIO (m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL DEL AGUA (m)	ESPESOR DE REVESTIMIENTO (m)
N°1	0.15	0.33	0.26	0.03
N°2	0.15	0.33	0.26	0.03
N°3	0.15	0.33	0.26	0.03

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.4.2.2. Diseño de Tramo del Canal

Para poder realizar la prueba final de infiltración se acondicionó un tramo del canal de Gochirca que es de sección rectangular, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 12. Medidas del Tramo del Canal.

TRAMO	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	ESPESOR DE REVESTIMIENTO (m)	TALUD
N°1	2.80	0.34	0.34	0.03	1:1

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.5. Fabricación del Material y de los Modelos Hidráulicos

3.1.5.1. Fabricación de Material Impermeabilizante

Para poder elaborar el material usado como impermeabilizante de canales, primero se realizó la extracción de la arcilla usando algunas herramientas que nos facilitó el proceso para luego ser depositados en sacos que sumaron en total aproximadamente 70 kg, después se realizó el acarreo de materiales como arcilla-arena-cal desde canteras y minas artesanales descritas anteriormente.

Antes de elaborar las muestras de material impermeabilizante, se tuvo que dar el tratamiento de maduración para la arcilla durante 2 semanas, un método ancestral que fue descrito anteriormente.

❖ Muestra N°1

Para la fabricación de la primera muestra se usó la dosificación: 7:2:1 arcilla – arena – cal, la cual tiene claramente un alto porcentaje de arcilla, esto debido a la propiedad impermeabilizante del material en su estado natural.

El proceso consistió en hacer una mezcla de 4 kg. de arena, 2 kg. de cal y 3 lt. de agua, para luego agregar 14 kg. de arcilla tratada, que previamente fue medido y puesto en reposo para su respectiva maduración, todos los materiales fueron mezclados homogéneamente de tal manera que se obtuvo una pasta de consistencia plástica.

Con este material se procedió a revestir la calicata N°1 con un espesor de 3 cm.

❖ Muestra N°2

Respecto a la fabricación de la segunda muestra se usó la dosificación: 6:3:1 arcilla – arena – cal, ésta muestra tiene un mayor porcentaje de arena en su contenido ya que se buscó tratar de mejorar la consistencia del material al momento de hacer el revestimiento.

El proceso consistió en hacer una mezcla de 6 kg. de arena, 2 kg. de cal y 3 lt. de agua, para luego agregar 12 kg de arcilla tratada que previamente fue medido y puesto en reposo para el proceso de maduración, todos los materiales fueron mezclados homogéneamente de tal manera que se obtuvo una pasta de consistencia plástica pero un poco más seca que la muestra N°1.

Con este material se procedió a revestir la calicata N°2 con un espesor de 3 cm.

❖ Muestra N°3

Para la fabricación de la tercera muestra se usó la dosificación: 5:2.5:2.5 arcilla – arena – cal, esta muestra tiene un mayor porcentaje de arena y cal, esto con el propósito de incrementar las propiedades de trabajabilidad y adhesión de los materiales.

El proceso consistió primeramente en hacer una mezcla de 5 kg. de arena, 5 kg. de cal y 3 lt. de agua, para luego agregar 10 kg de arcilla que previamente fue medida y sometido al proceso de maduración, todos los materiales fueron mezclados homogéneamente de tal manera que se obtuvo una pasta de consistencia húmeda pero no lo suficientemente maleable, así que se agregó 1 lt. más de agua.

Con este material se procedió a revestir la calicata N°3 con un espesor de 3 cm.

3.1.5.2. Fabricación de Modelos Hidráulicos

3.1.5.2.1. Construcción de las Calicatas

Para la construcción de las calicatas primero se seleccionó el lugar, de todas las posibles opciones se seleccionó el suelo más susceptible a infiltración ya que en su mayoría está compuesto por piedra caliza en un alto grado de descomposición y porosidad.

Después con ayuda de algunas herramientas se procedió con la excavación de las calicatas en el mismo suelo teniendo en cuenta las dimensiones previamente diseñadas, durante este proceso hubo algunas complicaciones ya que ese tipo de suelo es difícil de moldear a las dimensiones fijadas, es por esto que varió las dimensiones de 02 calicatas.

Tabla 13. Características de las Calicatas.

CALICATA	DIÁMETRO (m)	PROFUNDIDAD (m)
N°1	0.30	0.33
N°2	0.31	0.33
N°3	0.30	0.34

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez concluido la excavación de las calicatas se procedió a rellenar los espacios extras que dejó el proceso de excavación, el material usado fue el mismo que se extrajo, pero mezclado con agua para darle mayor maleabilidad y se dejó secar por 5 días.

Luego se procedió a revestir las paredes y el fondo con el material en estudio con un espesor de 3 cm. La muestra N°1, N°2 y N°3 se usó para revestir a la calicata N°1, N°2 y N°3 respectivamente para luego ser sometidos a la prueba de infiltración durante un periodo de 02 meses.

3.1.5.2.2. Acondicionamiento del Tramo de Canal

Para poder realizar la última prueba de infiltración fue necesaria el acondicionamiento de un tramo del canal de Gochirca que previamente fue construido por los agricultores de la zona.

- En primer lugar, se tuvo que hacer una limpieza de la maleza que estaba en los bordes del canal, luego con la ayuda de algunas herramientas se procedió a nivelar y acondicionar el canal con las medidas previamente diseñada; este proceso consistió en hacer cortes y rellenos en ambas caras laterales del canal.
- El material usado para el relleno es el mismo suelo donde se ubica el canal; en este proceso hubo algunas complicaciones ya que el tipo de suelo es el mismo que el de las calicatas por lo que fue difícil moldear a las dimensiones previamente delineadas, al final se logró moldear el tramo de canal teniendo 0.34 m de altura, 0.34 m de ancho, 2.80 m de largo y talud 0.
- Al final se realizó el revestimiento con la muestra N°1, ya que luego de evaluar los resultados obtenidos de las pruebas de infiltración de las calicatas revestidas con las muestras ya descritas fue la que registró un menor índice de infiltración. El espesor del revestimiento utilizado fue de 3 cm.

CAPITULO IV: DESARROLLO Y RESULTADOS

4.1. Desarrollo

4.1.1. Alcances y Procedimientos

4.1.1.1 Alcances

Se recopiló antecedentes de la zona de estudio para poder desarrollar un proyecto óptimo, posteriormente se realizó visitas al área de estudio, se obtuvo muestras para el estudio de mecánica de suelos y finalmente se realizó la experimentación in situ.

Mediante las pruebas de infiltración en un tramo del canal de Gochirca revestido con el material impermeabilizante, se buscó mejorar la eficiencia de conducción y aprovechamiento del agua para los sembríos locales.

Además, este proyecto hizo uso de materiales propios y materiales de las zonas aledañas, reduciendo así el impacto ambiental de éstos en su entorno.

4.1.1.2. Procedimientos

4.1.1.2.1. En el Canal Gochirca sin Revestimiento

Para empezar con el estudio experimental del canal se hizo la medición del caudal mediante el método del cubo ya que es un método simple y preciso, se realizó varias mediciones en 6 puntos diferentes a lo largo de los 1.3 km del canal, la primera medición se realizó en la cota km 0+0010, la segunda fue en el km 0+250, la tercera fue en la cota km 0+500, la cuarta fue en la cota km 0+750, la quinta fue en la cota km 1+000 y la última fue en la cota km 1+250.

Con los datos obtenidos se determinó el caudal inicial, final y promedio, además se determinó el nivel de pérdida de agua por infiltración. Para el tramo de canal donde se realizó las pruebas de infiltración, se midió el caudal de entrada y el caudal de salida varias veces para evaluar la pérdida de agua por infiltración.

4.1.1.2.2. Pruebas de Infiltración en las Calicatas

En primer lugar, se realizó la excavación de las 03 calicatas de acuerdo a las dimensiones previamente diseñadas, con la ayuda de herramientas e instrumentos se procuró tener el mínimo error posible.

Luego se procedió con el revestimiento ($e=0.03$ m.) de las 03 calicatas con el material en estudio, dosificadas en diferentes proporciones. Luego de una semana se añadió un volumen de agua de 0.018 m³ para cada calicata, de esta manera empezaron las pruebas de infiltración.

Durante este proceso se realizaron mediciones en diferentes periodos de tiempos (6 horas, 12 horas, 1 día, 2 días, 4 días, 1 semana, 2 semanas, 4 semanas y 8 semanas), que en total suman 56 días. Se observó y se anotó todas las ocurrencias durante ese tiempo, para luego analizar la calicata que tuvo la mayor y menor pérdida de agua, y finalmente analizar cuál es la mejor dosificación del mortero en estudio.

Con la mejor dosificación de las pruebas hechas anteriormente en las calicatas, se revistió el canal para medir el caudal que entra y que sale, para así analizar la pérdida de agua que existe y finalmente comparar las diferencias de pérdidas de agua con el canal sin revestir; además se analizó la eficiencia de conducción que se obtuvo en el canal con revestimiento.

4.2. Resultado de la Investigación

4.2.1. Cálculo de Pérdida del Caudal

4.2.1.1. Métodos Indirectos

Se aplicó las fórmulas de T. Ingham, de Etcheverry, de Pavlovski y de Davis – Wilson, para poder calcular la pérdida de caudal; los datos para el cálculo lo tomados de la cota 0+408 del canal Gochirca y los resultados podemos apreciar en el siguiente cuadro.

-Base (b): 0.24 m.

-Tirante (y): 0.075 m.

-Talud (z): 0

Tabla 14. Resultados de los Métodos Indirectos.

MÉTODO	CAUDAL (L/s)
Fórmula de T. Ingham	1.612
Formula de Etcheverry	1.741
Formula de Pavlovski	3.93
Formula de Davis – Wilson	2.284

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1.2. Métodos Directos

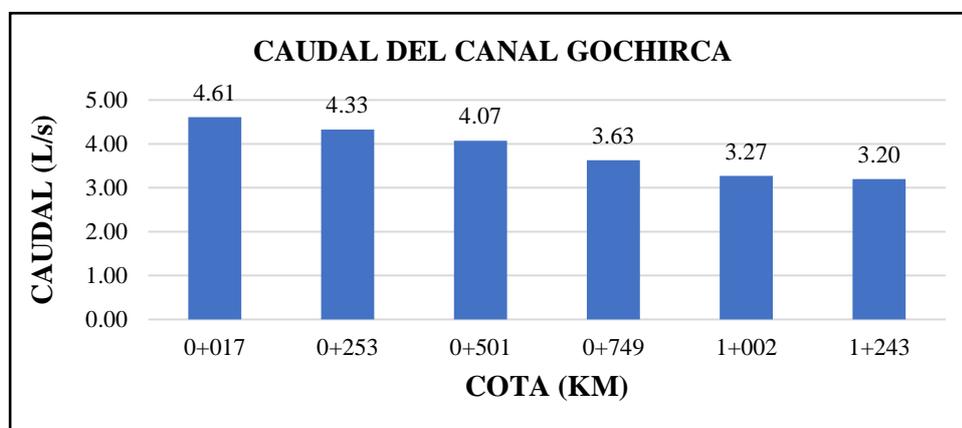
Se aplicó el método del cubo para medir el caudal del canal sin revestimiento en su totalidad, cada medición se hizo aproximadamente cada 250 m.

Tabla 15. Resultados del Cálculo Perdida del Canal sin Revestir.

MEDICIÓN	COTA (Km)	VOLUMEN DE AGUA (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL (L/s)	PÉRDIDA DE CAUDAL (L/s)	PERDIDA DE CAUDAL (%)
1°	0+017	20	4.34	4.61	0.00	0.00
2°	0+253	20	4.62	4.33	0.28	6.06
3°	0+501	20	4.91	4.07	0.26	5.55
4°	0+749	20	5.51	3.63	0.44	9.63
5°	1+002	20	6.12	3.27	0.36	7.85
6°	1+243	20	6.25	3.20	0.07	1.48
Σ					1.41	30.56

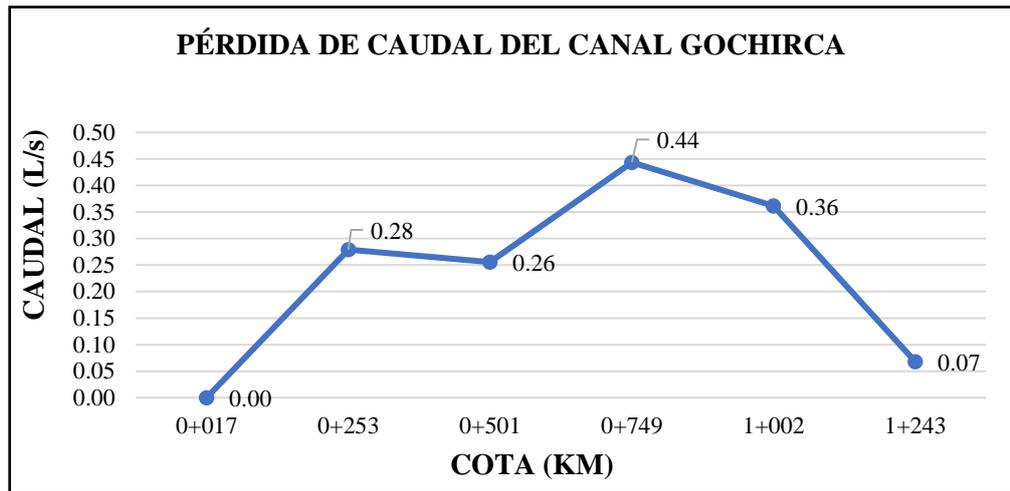
Fuente: Elaboración Propia

El registro del caudal más alto del canal Gochirca fue de 4.61 L/s y el registro del más bajo fue de 3.20 L/s, por lo que en promedio tiene un caudal de 3.79 L/s.

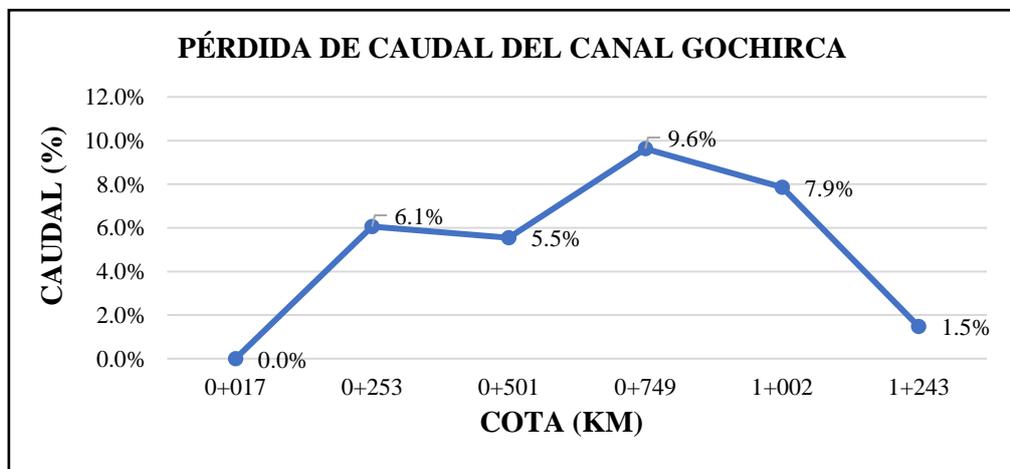


Grafica 4. Método del Cubo en Canal sin Revestir.

La pérdida de caudal es progresiva conforme avanza el canal, y el registró más alto se produjo entre la cota 0+501 y 0+749 siendo ésta de 0.44 L/s, lo que representa el 9.63 % del caudal inicial.

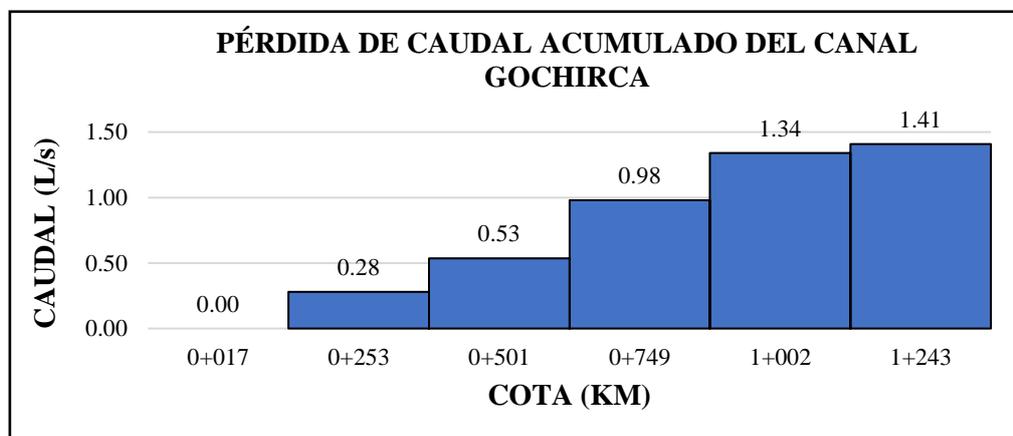


Grafica 5. Perdida de Caudal (L/s) a canal sin Revestir.

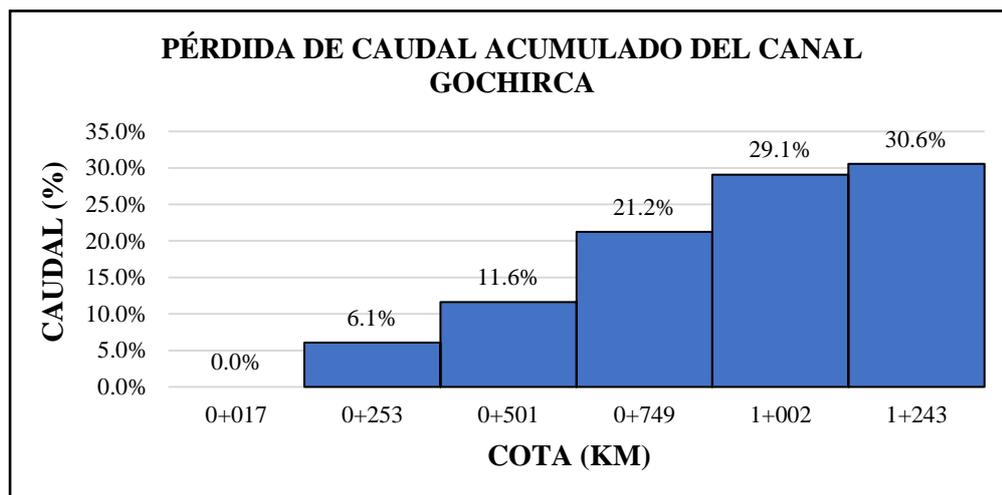


Grafica 6. Perdida de Caudal (%) a Canal sin Revestir.

En total se registró una pérdida de caudal de 1.41 l/s por infiltración, lo que representa el 30.56 % de pérdida de agua del caudal inicial.



Grafica 7. Perdida de caudal acumulado (L/s) en Canal sin Revestir.



Grafica 8. Perdida de Caudal Acumulado (%) en Canal sin Revestir.

4.2.2. Resultados de los Ensayos de Campo

❖ Arcilla

- Prueba de color: Rojo oscuro.
- Prueba de brillo: Brillante.
- Prueba dental: Suelo blando.
- Prueba de Adherencia: Adherente.
- Prueba de Plasticidad: Plástico.
- Consistencia de suelo seco: Duro.
- Prueba de resistencia seca (Bolitas): Alta.
- Prueba de caída de 1 m: No presenta grietas.
- Prueba de plasticidad rollo: Largo >15 cm.
- Prueba de gradación: Horas > 5 hr.
- Prueba de textura: Arena: 16% / Limo + arcilla: 84%

4.2.3. Resultados de los Ensayos en el Laboratorio

4.2.3.1. Arcilla

➤ Ensayo granulométrico (NTP 400.012)

Peso Inicial: 505 gr.

% Pasante N°200: 57%

Tabla 16. Análisis Granulométrico de Arcilla por Tamizado.

TAMICES		MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA
		PESO	PARCIAL	ACUMULADO	
Pulg.	mm	(g)	(%)	(%)	(%)
Nº 8	2.36	2.5	0.5	0.5	99.5
Nº16	1.19	32.8	6.5	7.0	93.0
Nº 30	0.60	30.4	6.0	13.0	87.0
Nº 40	0.42	20.2	4.0	17.0	83.0
Nº 50	0.30	15.2	3.0	20.0	80.0
Nº 100	0.15	40.5	8.0	28.0	72.0
Nº 200	0.074	75.8	15.0	43.0	57.0
BANDEJA		287.6	57.0	100.0	

Fuente: Elaboración Propia.

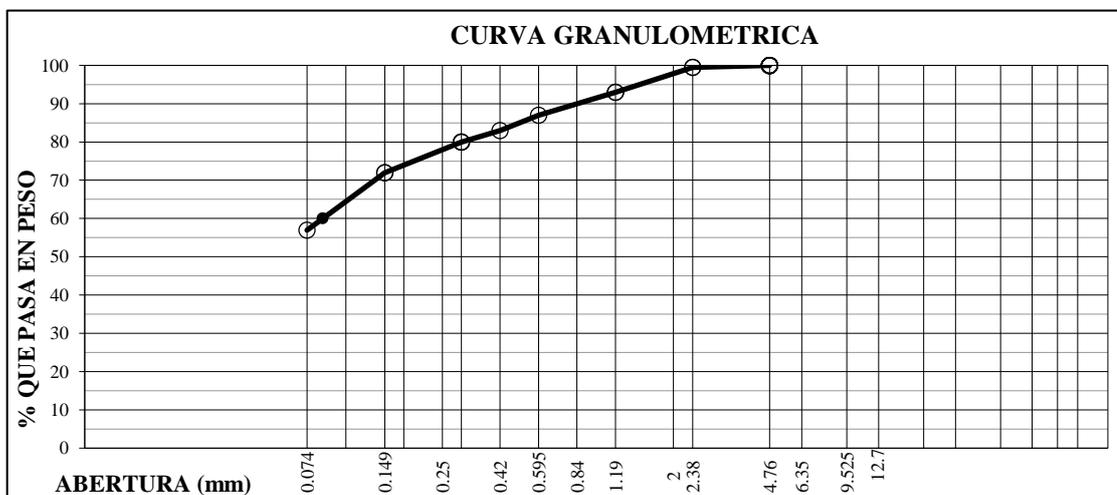
$$D_{10} = -$$

$$D_{30} = -$$

$$D_{60} = 0.085$$

➤ Módulo de finura

$$MF = \frac{\% \text{ retenido acum. en mallas } 8, 16, 30, 50, 100}{100} = \frac{68.5}{100} = 0.69$$



Gráfica 9. Curva Granulométrica de Arcilla.

➤ **Límites de consistencia pasante malla N°.40 (NTP 339.129)**

Tabla 17. Datos Obtenidos del Ensayo Copa Casagrande.

LIMITE LIQUIDO (LL)				
NUMERO DE GOLPES		35	22	15
N.º DE DEPOSITO		3	2	1
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO	(g)	17.56	18.23	19.55
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO	(g)	14.35	14.67	15.48
PESO DEL AGUA	(g)	3.21	3.56	4.07
PESO DEL DEPOSITO	(g)	3.07	2.98	2.77
PESO DEL SUELO SECO	(g)	11.28	11.69	12.71
CONTENIDO DE AGUA	(%)	28.50	30.45	32.02

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 18. Datos Obtenidos del Ensayo de Limite Plástico.

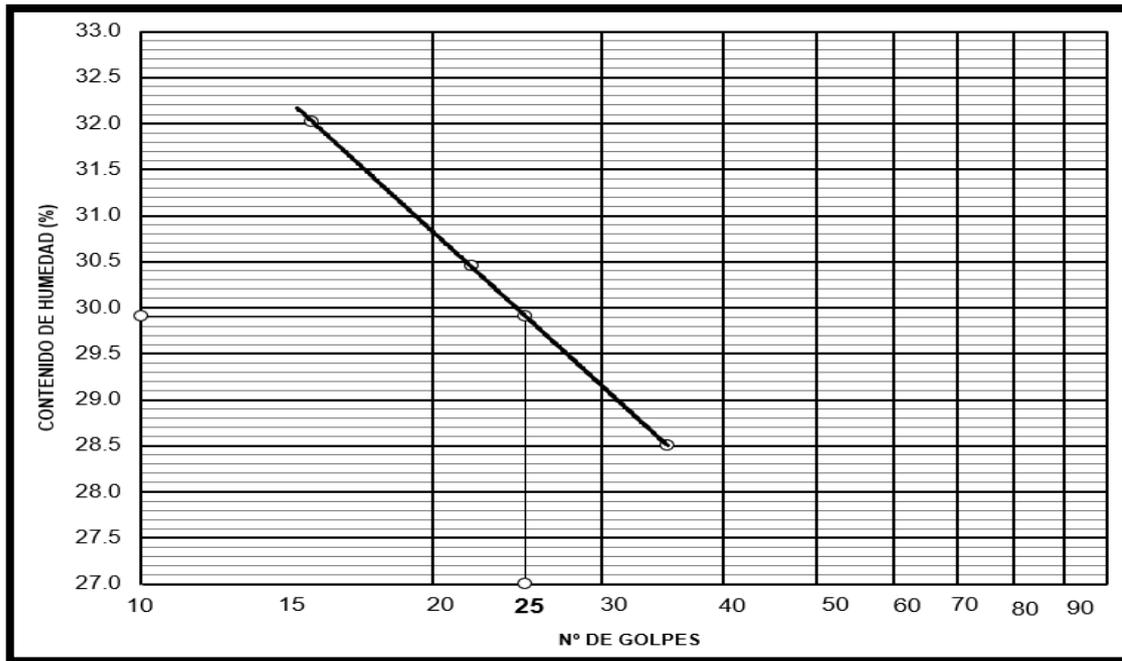
LIMITE PLASTICO (LP)			
Nº DEL DEPOSITO		1	2
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO	(g)	13.87	16.28
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO	(g)	12.05	14.02
PESO DEL AGUA	(g)	1.82	2.26
PESO DEL DEPOSITO	(g)	2.56	2.63
PESO DEL SUELO SECO	(g)	9.49	11.39
CONTENIDO DE AGUA	(%)	19.20	19.85

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19. Resumen de Límites de Consistencia.

LIMITES	
LL	30 %
LP	20 %
IP	10 %

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica 10. Determinación del Límite Líquido de la Arcilla.

➤ **Peso específico de masa (NTP 400.022).**

Tabla 20. Resultados de Ensayo de Peso Específico de Masa.

Nº DE MUESTRA		1	2
a)	P. Picnómetro más agua aforado (g)	2137.0	2137.0
b)	P. de la muestra seca al horno (g)	491.7	488.0
c)	P. de la muestra saturada superficialmente seca (g)	504.0	500.0
d)	P. Picnómetro más agua más muestra aforado (g)	2299.5	2299.3

Nº MUESTRA	1	2	PROMEDIO
P. específico sobre base seca $B/(C-(D-A))$ (g/cm ³)	1.44	1.45	1.44
P. específico sobre base saturada superficialmente seca $C/(C-(D-A))$ (g/cm ³)	1.48	1.48	1.48
P. específico aparente $B/(B-(D-A))$ (g/cm ³)	1.49	1.50	1.50
Absorción de agua $((C-B) * 100) / B$ (%)	2.5	2.5	2.50

Fuente: Elaboración Propia.

➤ **Contenido de humedad (NTP 339.185).**

Tabla 21. Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad.

N.º RECIPIENTE		1
Peso del suelo húmedo + recipiente	(g)	549.9
Peso del suelo seco + recipiente	(g)	505.0
Peso del agua	(g)	44.9
Peso del recipiente	<small>Peso recipiente = 0.00 g. Programado en balanza digital</small>	0.0
Peso del suelo seco	(g)	505.0
Humedad	(%)	8.9
Promedio		(%) 8.9

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22. Resumen de los ensayos realizados a la muestra de arcilla.

DESCRIPCION DE LA MUESTRA			
PESO INICIAL:		505 g	
% DE HUMEDAD:		8.9	
TAMAÑO MAXIMO:		No 4	
% DE ARENA:		43.0	
% PASANTE N.º 200:		57.0	
L. L. :		30 %	
L. P. :		20 %	
I. P. :		10 %	
M.F. :		0.69	
CLASIFIC. SUCS:		CL	
CLASIF. AASHTO:		A-4 (3)	
D₁₀	-	C_u	-
D₃₀	-	C_c	-
D₆₀	0.085		

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3.2. Arena

➤ Ensayo Granulométrico (NTP 400.012)

Peso inicial: 1500 gr.

%Pasante N° 200: 1.0%

Tabla 23. Análisis Granulométrico de Arena por Tamizado.

TAMICES		MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA
		PESO	PARCIAL	ACUMULADO	
Pulg.	mm	(g)	(%)	(%)	(%)
N° 8	2.36	44.4	3.0	3.0	97.0
N°16	1.19	34.9	2.3	5.3	94.7
N° 30	0.60	530.6	35.4	40.7	59.3
N° 40	0.42	365.1	24.3	65.0	35.0
N° 50	0.30	321.5	21.4	86.4	13.6
N° 100	0.15	99.6	6.6	93.1	6.9
N° 200	0.074	88.9	5.9	99.0	1.0
BANDEJA		15.0	1.0	100.0	

Fuente: Elaboración Propia.

$$D_{10} = 0.207$$

$$D_{30} = 0.388$$

$$D_{60} = 0.608$$

✓ Coeficiente de uniformidad. (C_u)

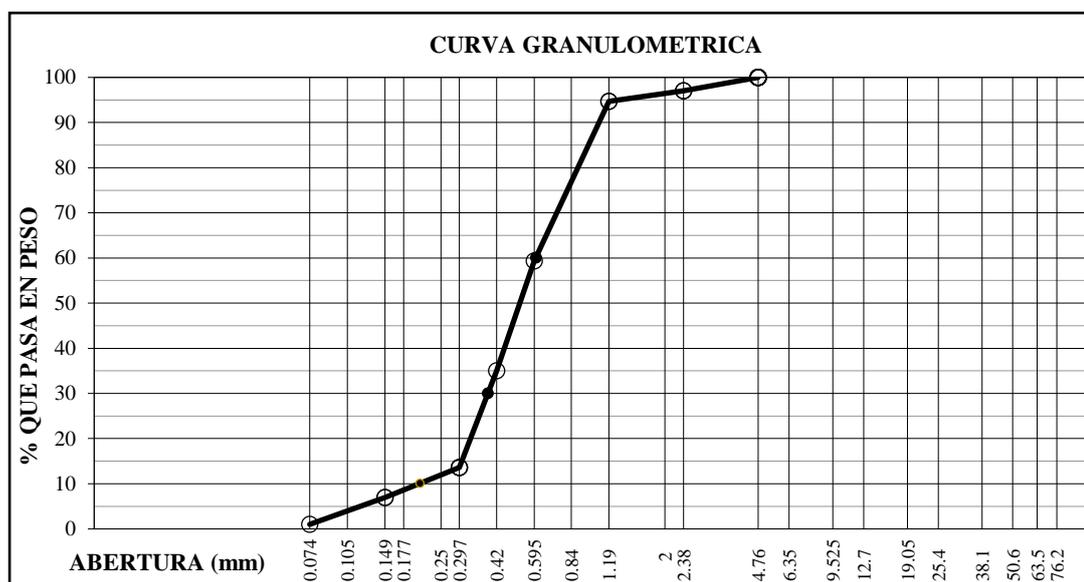
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.608}{0.207} = 2.94$$

✓ Coeficiente de curvatura. (C_c)

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{0.388^2}{0.608 * 0.207} = 1.20$$

✓ Módulo de finura. (MF)

$$MF = \frac{\% \text{ retenido acum. en mallas } 8, 16, 30, 50, 100}{100} = \frac{228.5}{100} = 2.28$$



Gráfica 11. Curva Granulométrica de Arena.

➤ **Peso específico de masa (NTP 400.022)**

a)	P. Picnómetro más agua aforado (g)	2137.0	2137.0
b)	P. de la muestra seca al horno (g)	511.0	500.1
c)	P. de la muestra saturada superficialmente seca (g)	515.0	504.0
d)	P. Picnómetro más agua más muestra aforado (g)	2459.2	2451.9

N° MUESTRA		1	2	PROMEDIO
P. específico sobre base seca B/(C-(D-A))	(g/cm ³)	2.650	2.645	2.648
P. específico sobre base saturada superficialmente seca C/(C-(D-A))	(g/cm ³)	2.671	2.665	2.668
P. específico aparente B/(B-(D-A))	(g/cm ³)	2.707	2.700	2.704
Absorción de agua ((C-B) *100) /B	(%)	0.78	0.78	0.78

➤ **Contenido de humedad (NTP 339.185)**

Tabla 24. Resultados de Ensayo de Contenido de Humedad.

N.º RECIPIENTE		1
Peso del suelo húmedo + recipiente	(g)	604.7
Peso del suelo seco + recipiente	(g)	600.0
Peso del agua	(g)	4.7
Peso del recipiente	<small>Peso recipiente = 0.00 g. Programado en balanza digital</small> (g)	0.0
Peso del suelo seco	(g)	600.0
Humedad	(%)	0.8
PROMEDIO		0.8

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 25. Resumen de los Ensayos Realizados a la Muestra de Arena

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
PESO INICIAL:		1500 g	
% DE HUMEDAD:		0.8	
TAMAÑO MÁXIMO:		No 4	
% DE ARENA:		99.0	
% PASANTE Nº 200:		1.0	
L. L. :		-	
L. P. :		-	
I. P. :		NP	
M.F. :		2.28	
CLASIFIC. SUCS:		ZSP	
CLASIF. AASHTO:		A-1-b (0)	
D₁₀	0.207	C_u	2.94
D₃₀	0.388	C_c	1.20
D₆₀	0.608		

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4. Resultados de las Pruebas de Infiltración en Calicatas.

❖ Calicata N°1

Las dimensiones de la calicata revestida son: 0.30 m de altura y 0.12 m de radio. Para nuestro proyecto se llenó de agua hasta los 0.26 m, cubriendo así un área de 0.045 m² y un volumen de 0.012 m³ (11.76 L), finalmente se anotó todos niveles de agua que marca la regla colocada dentro de la calicata durante el periodo (56 días) que duró los ensayos.

- Durante las primeras 04 semanas de evaluación se registró un descenso del nivel de agua de 26.0 cm a 16.1 cm, lo que representa una pérdida total de agua de 4.614 L, la pérdida neta por infiltración fue 1.855 L, el registro más alto fue de 0.271 L, el registro más bajo fue de 0.045 L y un promedio de 0.165 L de pérdida de agua diaria.
- En las últimas 4 semanas de evaluación se registró un descenso del nivel de agua de 15.8 cm a 5.6 cm, lo que representa una pérdida total de agua de 4.886 L, la pérdida neta por infiltración fue 1.538 L, el registro más alto fue de 0.271 L, el registro más bajo fue de 0.045 L y un promedio de 0.174 L de pérdida diaria.

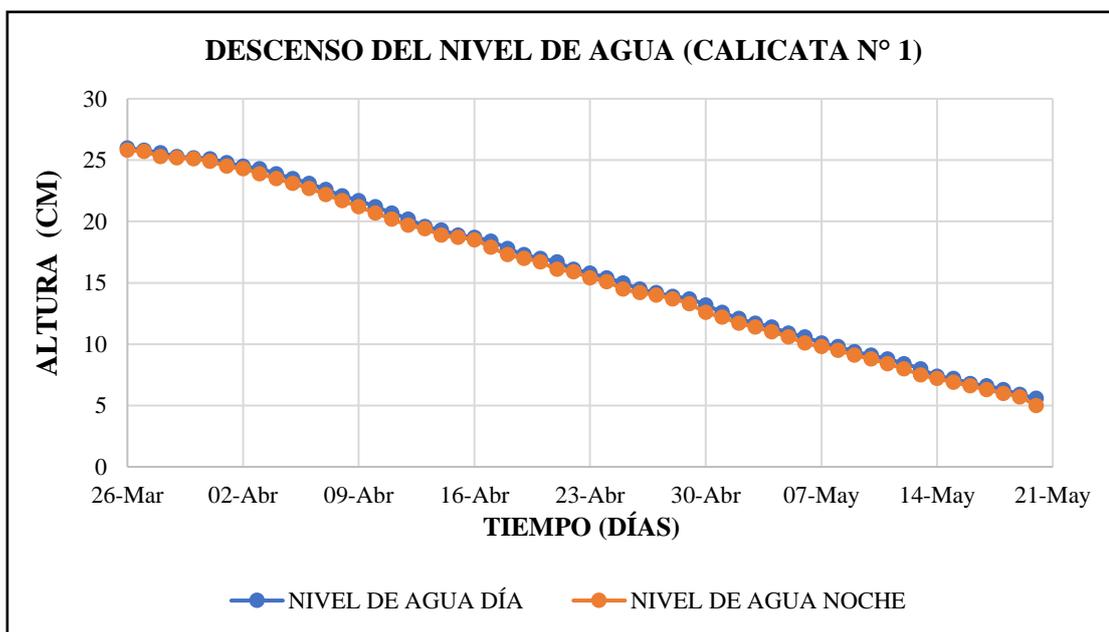
Tabla 26. Resultado de la Prueba de Infiltración en Calicata N°1.

DÍA	NIVEL DE AGUA EN EL DÍA (cm)	NIVEL DE AGUA EN LA NOCHE (cm)	PÉRDIDA DE AGUA EN EL DÍA (L/día)	PÉRDIDA DE AGUA EN LA NOCHE (L/día)	EVAPORACIÓN (L/Día)	PÉRDIDA NETA DE AGUA (L/día)	PÉRDIDA TOTAL DE AGUA (L/día)
26/03/2019	26.0	25.8	0.090	0.000	0.000	0.090	0.090
27/03/2019	25.8	25.7	0.045	0.045	0.090	0.000	0.090
28/03/2019	25.6	25.3	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
29/03/2019	25.3	25.2	0.045	0.000	0.045	0.000	0.045
30/03/2019	25.2	25.1	0.045	0.000	0.000	0.045	0.045
31/03/2019	25.1	24.9	0.090	0.045	0.090	0.045	0.136
1/04/2019	24.8	24.5	0.136	0.000	0.045	0.090	0.136
2/04/2019	24.5	24.3	0.090	0.000	0.000	0.090	0.090
3/04/2019	24.3	23.9	0.181	0.000	0.090	0.090	0.181
4/04/2019	23.9	23.5	0.181	0.000	0.045	0.136	0.181
5/04/2019	23.5	23.1	0.181	0.000	0.090	0.090	0.181
6/04/2019	23.1	22.7	0.181	0.045	0.136	0.090	0.226
7/04/2019	22.6	22.2	0.181	0.045	0.045	0.181	0.226
8/04/2019	22.1	21.7	0.181	0.000	0.181	0.000	0.181
9/04/2019	21.7	21.2	0.226	0.000	0.136	0.090	0.226
10/04/2019	21.2	20.7	0.226	0.000	0.181	0.045	0.226
11/04/2019	20.7	20.2	0.226	0.000	0.090	0.136	0.226
12/04/2019	20.2	19.7	0.226	0.045	0.090	0.181	0.271
13/04/2019	19.6	19.4	0.090	0.045	0.090	0.045	0.136
14/04/2019	19.3	18.9	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
15/04/2019	18.9	18.7	0.090	0.000	0.090	0.000	0.090
16/04/2019	18.7	18.5	0.090	0.045	0.136	0.000	0.136
17/04/2019	18.4	17.9	0.226	0.045	0.181	0.090	0.271
18/04/2019	17.8	17.3	0.226	0.000	0.181	0.045	0.226
19/04/2019	17.3	17.0	0.136	0.000	0.136	0.000	0.136
20/04/2019	17.0	16.7	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
21/04/2019	16.7	16.1	0.271	0.000	0.181	0.090	0.271
22/04/2019	16.1	15.9	0.090	0.045	0.090	0.045	0.136

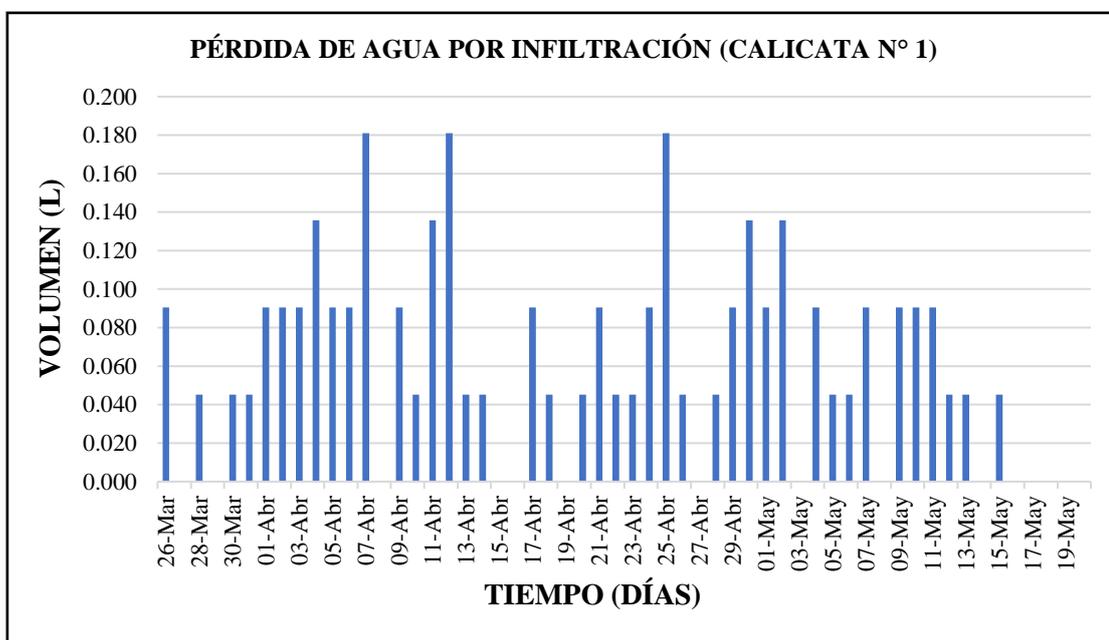
DÍA	NIVEL DE AGUA EN EL DÍA (cm)	NIVEL DE AGUA EN LA NOCHE (cm)	PÉRDIDA DE AGUA EN EL DÍA (L/día)	PÉRDIDA DE AGUA EN LA NOCHE (L/día)	EVAPORACIÓN (L/Día)	PÉRDIDA NETA DE AGUA (L/día)	PÉRDIDA TOTAL DE AGUA (L/día)
23/04/2019	15.8	15.4	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
24/04/2019	15.4	15.1	0.136	0.045	0.090	0.090	0.181
25/04/2019	15.0	14.5	0.226	0.000	0.045	0.181	0.226
26/04/2019	14.5	14.2	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
27/04/2019	14.2	14.0	0.090	0.045	0.136	0.000	0.136
28/04/2019	13.9	13.7	0.090	0.000	0.045	0.045	0.090
29/04/2019	13.7	13.3	0.181	0.045	0.136	0.090	0.226
30/04/2019	13.2	12.6	0.271	0.000	0.136	0.136	0.271
1/05/2019	12.6	12.2	0.181	0.045	0.136	0.090	0.226
2/05/2019	12.1	11.7	0.181	0.000	0.045	0.136	0.181
3/05/2019	11.7	11.4	0.136	0.000	0.136	0.000	0.136
4/05/2019	11.4	11.0	0.181	0.045	0.136	0.090	0.226
5/05/2019	10.9	10.6	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
6/05/2019	10.6	10.1	0.226	0.000	0.181	0.045	0.226
7/05/2019	10.1	9.8	0.136	0.000	0.045	0.090	0.136
8/05/2019	9.8	9.5	0.136	0.045	0.181	0.000	0.181
9/05/2019	9.4	9.1	0.136	0.000	0.045	0.090	0.136
10/05/2019	9.1	8.8	0.136	0.000	0.045	0.090	0.136
11/05/2019	8.8	8.4	0.181	0.000	0.090	0.090	0.181
12/05/2019	8.4	8	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
13/05/2019	8.0	7.5	0.226	0.045	0.226	0.045	0.271
14/05/2019	7.4	7.2	0.090	0.000	0.090	0.000	0.090
15/05/2019	7.2	6.9	0.136	0.045	0.136	0.045	0.181
16/05/2019	6.8	6.6	0.090	0.000	0.090	0.000	0.090
17/05/2019	6.6	6.3	0.136	0.000	0.136	0.000	0.136
18/05/2019	6.3	6.0	0.136	0.045	0.181	0.000	0.181
19/05/2019	5.9	5.7	0.090	0.045	0.136	0.000	0.136
20/05/2019	5.6	5.0	0.271	0.000	0.271	0.000	0.271

Fuente: Elaboración Propia.

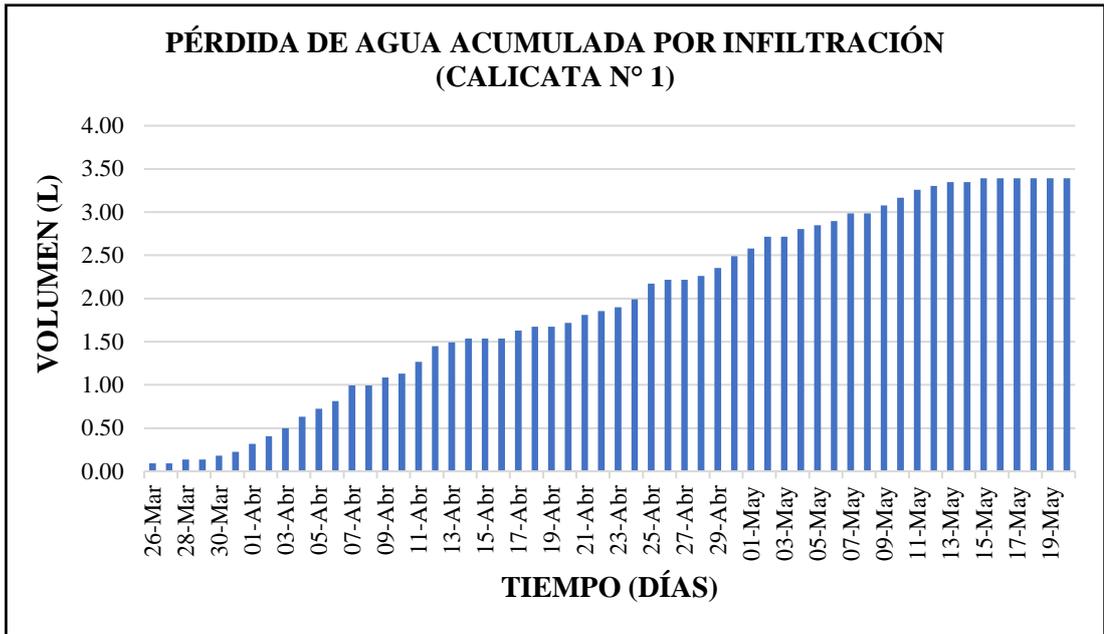
Los siguientes gráficos muestran el comportamiento del agua durante el periodo de evaluación:



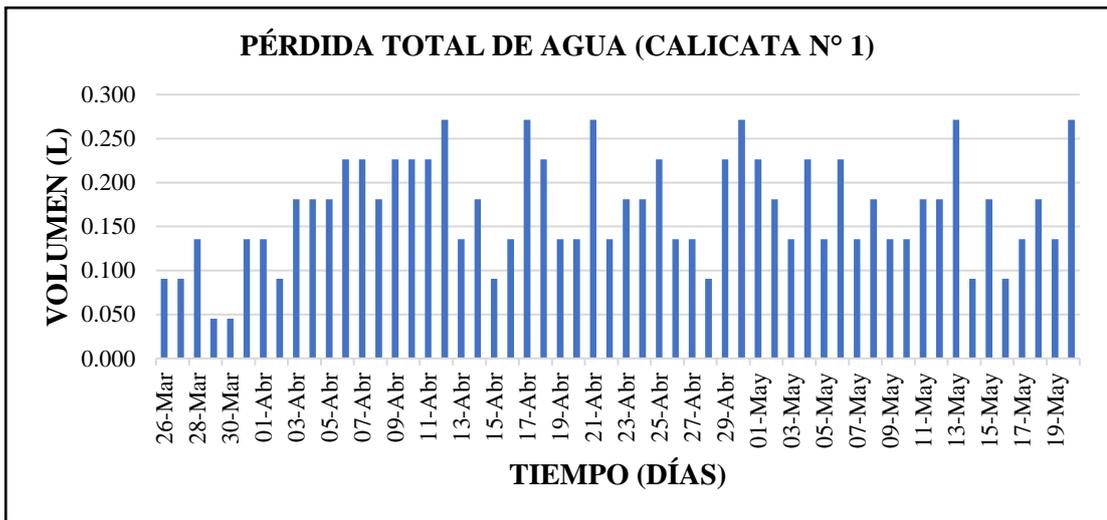
Grafica12. Descenso de Agua por Infiltración en Calicata N°1.



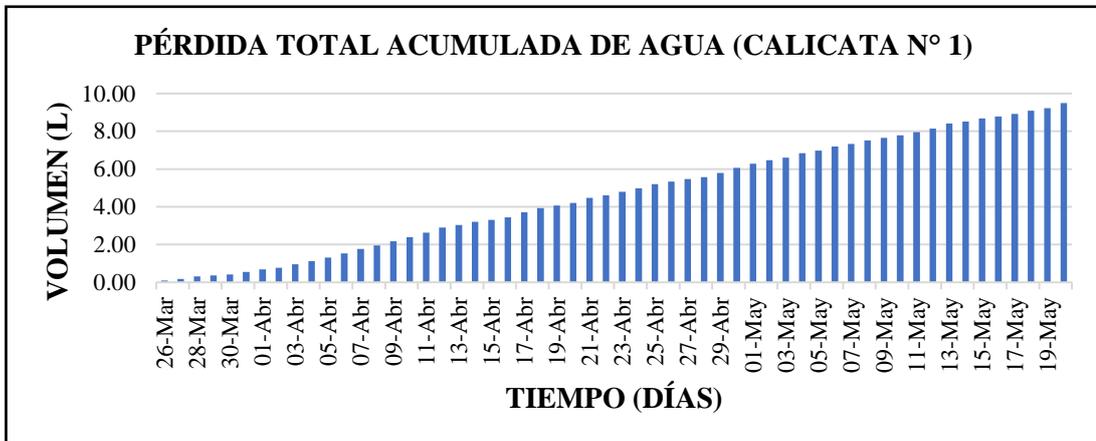
Grafica 13. Perdida de Agua por Infiltración en Calicata N°1.



Grafica 14. Perdida de Agua Acumulada por Infiltración en Calicata N°1.



Grafica 15. Pérdida Total de Agua en Calicata N°1.



Grafica 16. Pérdida Total Acumulada de Agua en Calicata N°1.

❖ Calicata N°2

Las dimensiones de la calicata 02 revestida es: 0.30 m de altura y 0.12 m de radio. Para nuestro proyecto se llenó de agua hasta los 0.26 m, cubriendo así un área de 0.045 m² y un volumen de 0.012 m³ (11.76 L), finalmente se anotó todos niveles de agua que marca la regla colocada dentro de la calicata durante el periodo (56 días) que duró los ensayos.

- Durante las primeras 04 semanas de evaluación se registró un descenso del nivel de agua de 26.0 cm a 13.0 cm, lo que representa una pérdida total de agua de 5.972 L, la pérdida neta por infiltración fue 3.212 L, el registro más alto fue de 0.362 L, el registro más bajo fue de 0.090 L y un promedio de 0.213 L de pérdida de agua diaria.
- En las últimas 4 semanas de evaluación se registró un descenso del nivel de agua de 12.8 cm a 2.4 cm, lo que representa una pérdida total de agua de 4.976 L, la pérdida neta por infiltración fue 1.629 L, el registro más alto fue de 0.271 L, el registro más bajo fue de 0.045 L y un promedio de 0.178 L de pérdida diaria.

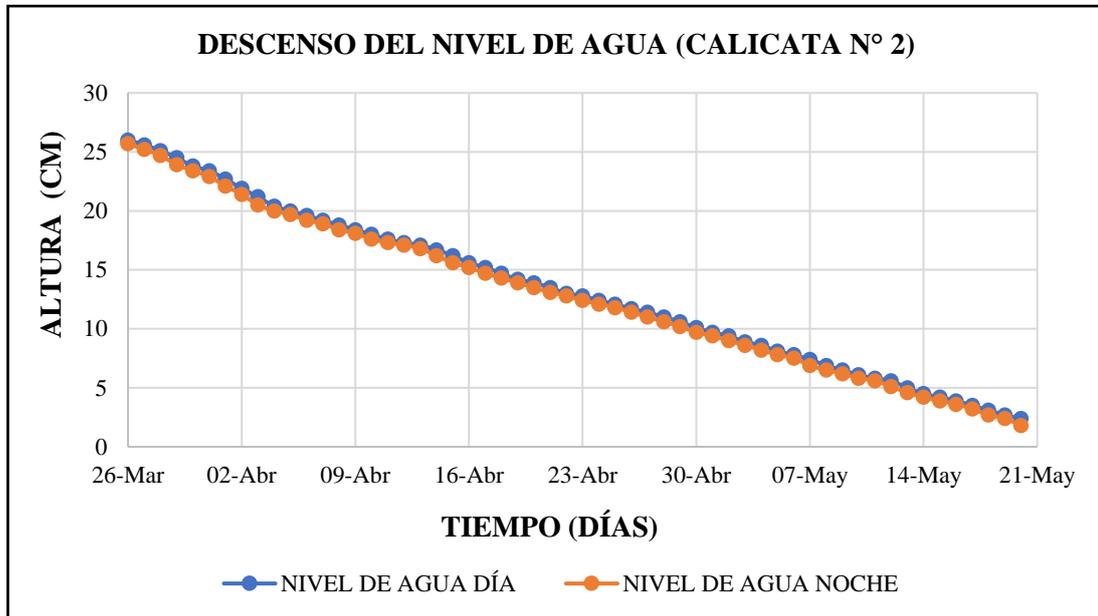
Tabla 27. Resultado de la Prueba de Infiltración en Calicata N°2.

DÍA	NIVEL DE AGUA EN EL DÍA (cm)	NIVEL DE AGUA EN LA NOCHE (cm)	PÉRDIDA DE AGUA EN EL DÍA (L/día)	PÉRDIDA DE AGUA EN LA NOCHE (L/día)	EVAPORACIÓN (L/Día)	PÉRDIDA NETA DE AGUA (L/día)	PÉRDIDA TOTAL DE AGUA (L/día)
26/03/2019	26.0	25.7	0.136	0.045	0.000	0.181	0.181
27/03/2019	25.6	25.2	0.181	0.045	0.090	0.136	0.226
28/03/2019	25.1	24.7	0.181	0.090	0.090	0.181	0.271
29/03/2019	24.5	23.9	0.271	0.045	0.045	0.271	0.317
30/03/2019	23.8	23.4	0.181	0.000	0.000	0.181	0.181
31/03/2019	23.4	22.9	0.226	0.090	0.090	0.226	0.317
1/04/2019	22.7	22.1	0.271	0.090	0.045	0.317	0.362
2/04/2019	21.9	21.4	0.226	0.090	0.000	0.317	0.317
3/04/2019	21.2	20.5	0.317	0.045	0.090	0.271	0.362
4/04/2019	20.4	20.00	0.181	0.000	0.045	0.136	0.181
5/04/2019	20.0	19.7	0.136	0.045	0.090	0.090	0.181
6/04/2019	19.6	19.2	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
7/04/2019	19.2	18.9	0.136	0.045	0.045	0.136	0.181
8/04/2019	18.8	18.4	0.181	0.000	0.181	0.000	0.181
9/04/2019	18.4	18.1	0.136	0.045	0.136	0.045	0.181
10/04/2019	18.0	17.6	0.181	0.000	0.181	0.000	0.181
11/04/2019	17.6	17.3	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
12/04/2019	17.3	17.1	0.090	0.000	0.090	0.000	0.090
13/04/2019	17.1	16.8	0.136	0.045	0.090	0.090	0.181
14/04/2019	16.7	16.2	0.226	0.000	0.136	0.090	0.226
15/04/2019	16.2	15.6	0.271	0.000	0.090	0.181	0.271
16/04/2019	15.6	15.2	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
17/04/2019	15.2	14.7	0.226	0.000	0.181	0.045	0.226
18/04/2019	14.7	14.3	0.181	0.045	0.181	0.045	0.226
19/04/2019	14.2	13.9	0.136	0.000	0.136	0.000	0.136
20/04/2019	13.9	13.5	0.181	0.000	0.090	0.090	0.181
21/04/2019	13.5	13.1	0.181	0.045	0.181	0.045	0.226
22/04/2019	13.0	12.8	0.090	0.000	0.090	0.000	0.090

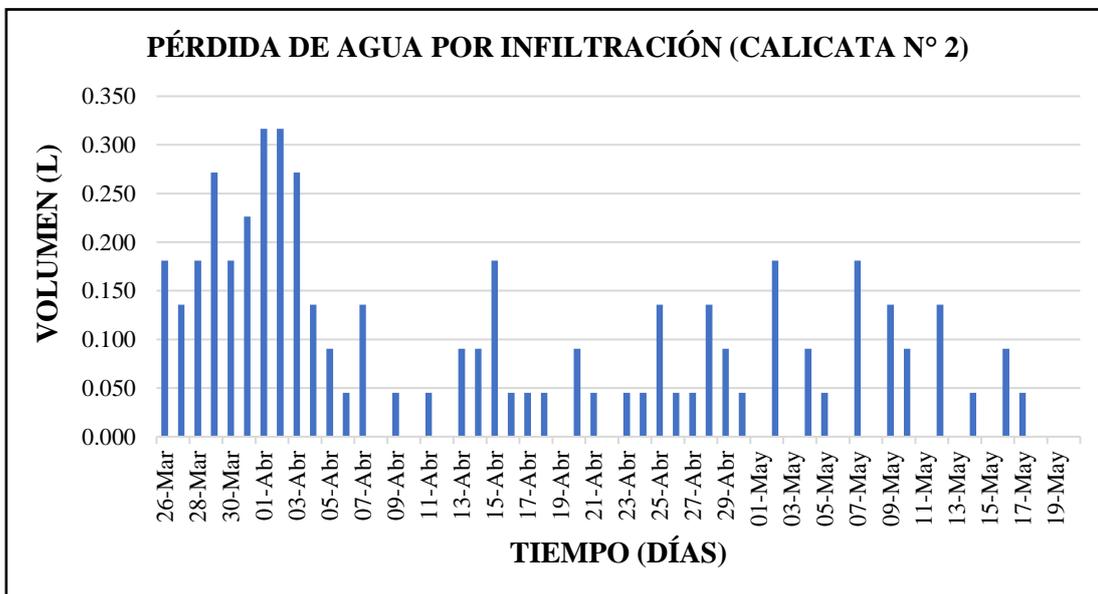
DÍA	NIVEL DE AGUA EN EL DÍA (cm)	NIVEL DE AGUA EN LA NOCHE (cm)	PÉRDIDA DE AGUA EN EL DÍA (L/día)	PÉRDIDA DE AGUA EN LA NOCHE (L/día)	EVAPORACIÓN (L/Día)	PÉRDIDA NETA DE AGUA (L/día)	PÉRDIDA TOTAL DE AGUA (L/día)
23/04/2019	12.8	12.4	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
24/04/2019	12.4	12.1	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
25/04/2019	12.1	11.8	0.136	0.045	0.045	0.136	0.181
26/04/2019	11.7	11.4	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
27/04/2019	11.4	11.0	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
28/04/2019	11.00	10.6	0.181	0.000	0.045	0.136	0.181
29/04/2019	10.6	10.2	0.181	0.045	0.136	0.090	0.226
30/04/2019	10.1	9.7	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
1/05/2019	9.7	9.4	0.136	0.000	0.136	0.000	0.136
2/05/2019	9.4	9	0.181	0.045	0.045	0.181	0.226
3/05/2019	8.9	8.6	0.136	0.000	0.136	0.000	0.136
4/05/2019	8.6	8.2	0.181	0.045	0.136	0.090	0.226
5/05/2019	8.1	7.8	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
6/05/2019	7.8	7.5	0.136	0.045	0.181	0.000	0.181
7/05/2019	7.4	6.9	0.226	0.000	0.045	0.181	0.226
8/05/2019	6.9	6.5	0.181	0.000	0.181	0.000	0.181
9/05/2019	6.5	6.2	0.136	0.045	0.045	0.136	0.181
10/05/2019	6.1	5.8	0.136	0.000	0.045	0.090	0.136
11/05/2019	5.8	5.6	0.090	0.000	0.090	0.000	0.090
12/05/2019	5.6	5.1	0.226	0.045	0.136	0.136	0.271
13/05/2019	5.0	4.6	0.181	0.045	0.226	0.000	0.226
14/05/2019	4.5	4.2	0.136	0.000	0.090	0.045	0.136
15/05/2019	4.2	3.9	0.136	0.000	0.136	0.000	0.136
16/05/2019	3.9	3.6	0.136	0.045	0.090	0.090	0.181
17/05/2019	3.5	3.2	0.136	0.045	0.136	0.045	0.181
18/05/2019	3.1	2.7	0.181	0.000	0.181	0.000	0.181
19/05/2019	2.7	2.4	0.136	0.000	0.136	0.000	0.136
20/05/2019	2.4	1.8	0.271	0.000	0.271	0.000	0.271

Fuente: Elaboración Propia.

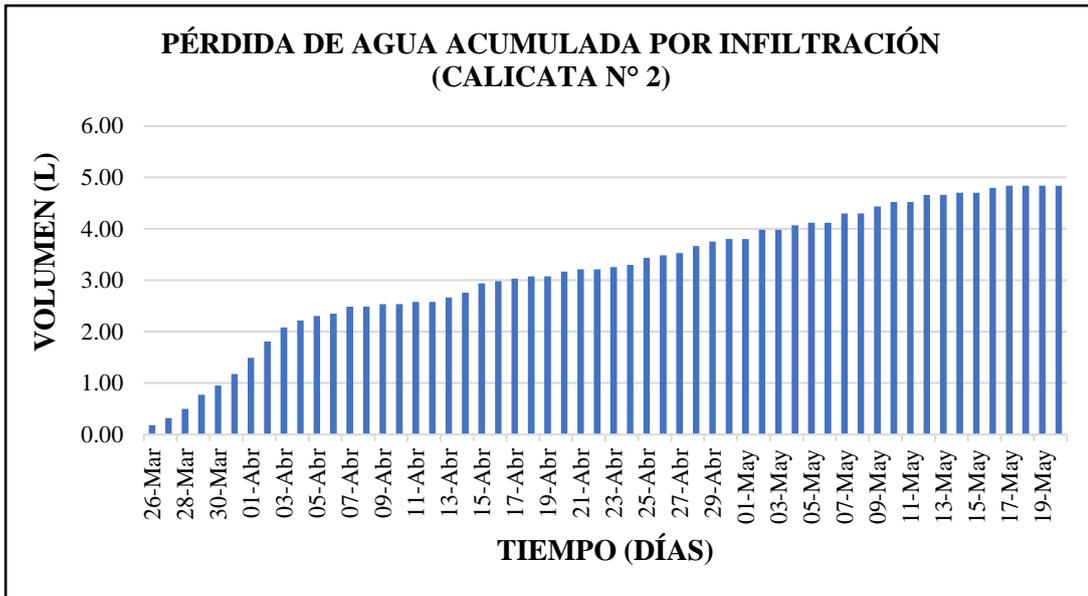
Los siguientes gráficos muestran el comportamiento del agua durante el periodo de evaluación.



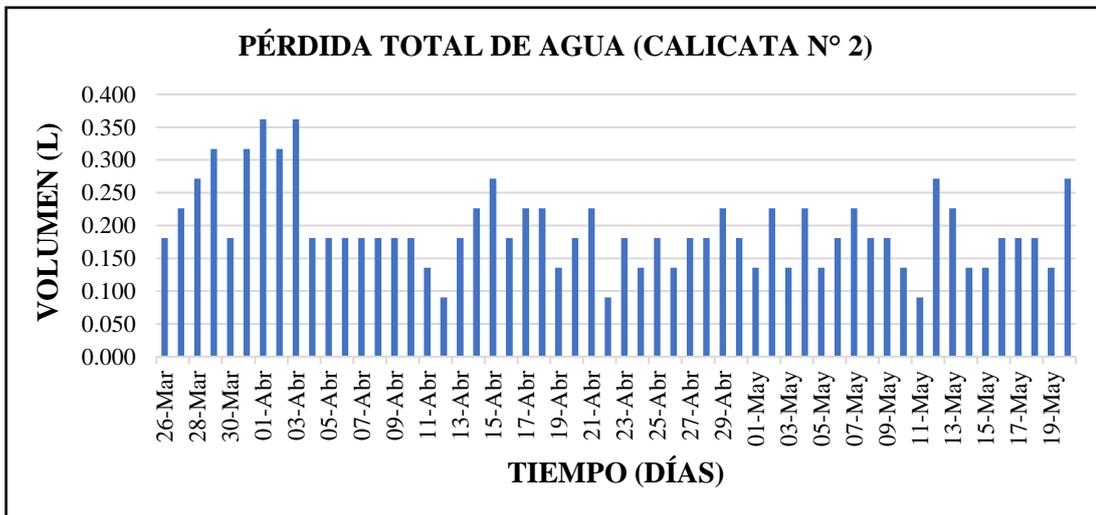
Grafica 17. Descenso de Agua por Infiltración en Calicata N°2.



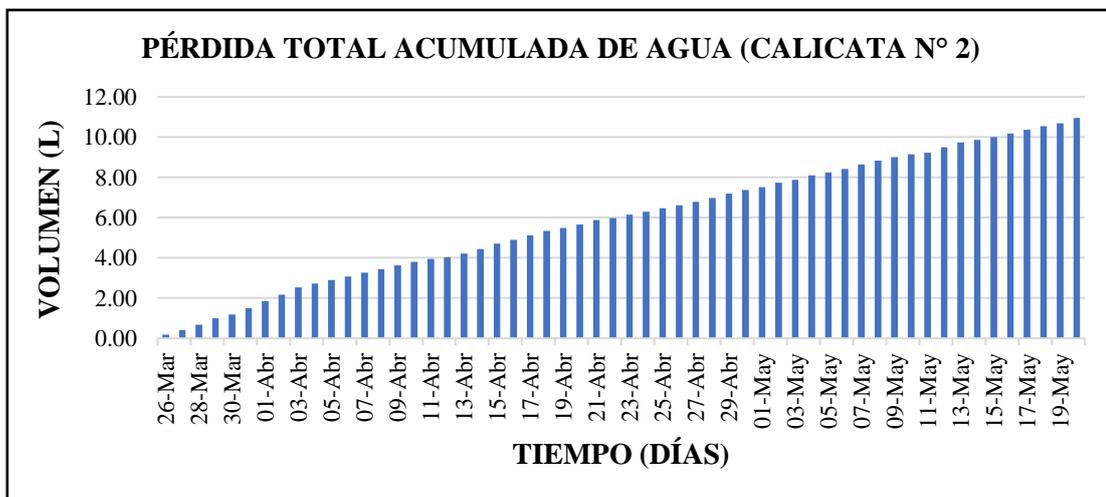
Grafica 18. Perdida de Agua por Infiltración en Calicata N°2



Grafica 19. Pérdida Total de Agua por Infiltración en Calicata N°2.



Grafica 20. Pérdida de Agua Acumulada por Infiltración en Calicata N°2.



Grafica 21. Pérdida Total Acumulada de Agua por Infiltración en Calicata N°2.

❖ Calicata N°3

Las dimensiones de la calicata 03 revestida es: 0.30 m de altura y 0.12 m de radio. Para nuestro proyecto se llenó de agua hasta los 0.26 m, cubriendo así un área de 0.045 m² y un volumen de 0.012 m³ (11.76 L), finalmente se anotó todos niveles de agua que marca la regla colocada dentro de la calicata durante el periodo (56 días) que duró los ensayos.

- Durante las primeras 04 semanas de evaluación se registró un descenso del nivel de agua de 26.0 cm a 8.1 cm, lo que representa una pérdida total de agua de 8.342 L, la pérdida neta por infiltración fue 5.564 L, el registro más alto fue de 0.407 L, el registro más bajo fue de 0.181 L y un promedio de 0.297 L de pérdida de agua diaria.
- En las últimas 4 semanas de evaluación se registró un descenso del nivel de agua de 7.6 cm a 0.0 cm, lo que representa una pérdida total de agua de 3.438 L, la pérdida neta por infiltración fue 1.855 L, el registro más alto fue de 0.362 L, el registro más bajo fue de 0.045 L y un promedio de 0.123 L de pérdida diaria.

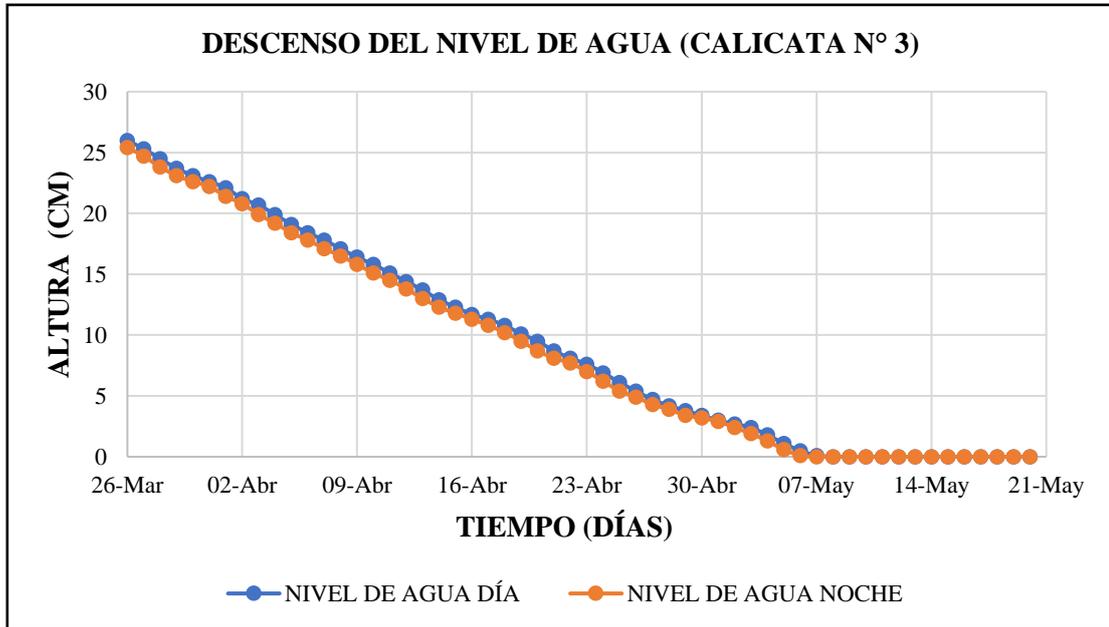
Tabla 28. Datos obtenidos de la Prueba de Infiltración en la Calicata N°3.

DÍA	NIVEL DE AGUA EN EL DÍA (cm)	NIVEL DE AGUA EN LA NOCHE (cm)	PÉRDIDA DE AGUA EN EL DÍA (L/día)	PÉRDIDA DE AGUA EN LA NOCHE (L/día)	EVAPORACIÓN (L/Día)	PÉRDIDA NETA DE AGUA (L/día)	PÉRDIDA TOTAL DE AGUA (L/día)
26/03/2019	26.0	25.4	0.271	0.045	0.000	0.317	0.317
27/03/2019	25.3	24.7	0.271	0.090	0.090	0.271	0.362
28/03/2019	24.5	23.8	0.317	0.045	0.090	0.271	0.362
29/03/2019	23.7	23.1	0.271	0.000	0.045	0.226	0.271
30/03/2019	23.1	22.6	0.226	0.000	0.000	0.226	0.226
31/03/2019	22.6	22.2	0.181	0.045	0.090	0.136	0.226
1/04/2019	22.1	21.4	0.317	0.090	0.045	0.362	0.407
2/04/2019	21.2	20.8	0.181	0.045	0.000	0.226	0.226
3/04/2019	20.7	19.9	0.362	0.000	0.090	0.271	0.362
4/04/2019	19.9	19.2	0.317	0.045	0.045	0.317	0.362
5/04/2019	19.1	18.4	0.317	0.000	0.090	0.226	0.317
6/04/2019	18.4	17.8	0.271	0.000	0.136	0.136	0.271
7/04/2019	17.8	17.1	0.317	0.000	0.045	0.271	0.317
8/04/2019	17.1	16.5	0.271	0.045	0.181	0.136	0.317
9/04/2019	16.4	15.8	0.271	0.000	0.136	0.136	0.271
10/04/2019	15.8	15.1	0.317	0.000	0.181	0.136	0.317
11/04/2019	15.1	14.5	0.271	0.045	0.090	0.226	0.317
12/04/2019	14.4	13.8	0.271	0.045	0.090	0.226	0.317
13/04/2019	13.7	13	0.317	0.045	0.090	0.271	0.362
14/04/2019	12.9	12.3	0.271	0.000	0.136	0.136	0.271
15/04/2019	12.3	11.8	0.226	0.045	0.090	0.181	0.271
16/04/2019	11.7	11.3	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
17/04/2019	11.3	10.8	0.226	0.000	0.181	0.045	0.226
18/04/2019	10.8	10.2	0.271	0.045	0.181	0.136	0.317
19/04/2019	10.1	9.5	0.271	0.000	0.136	0.136	0.271
20/04/2019	9.5	8.7	0.362	0.000	0.090	0.271	0.362
21/04/2019	8.7	8.1	0.271	0.000	0.181	0.090	0.271
22/04/2019	8.1	7.7	0.181	0.045	0.090	0.136	0.226

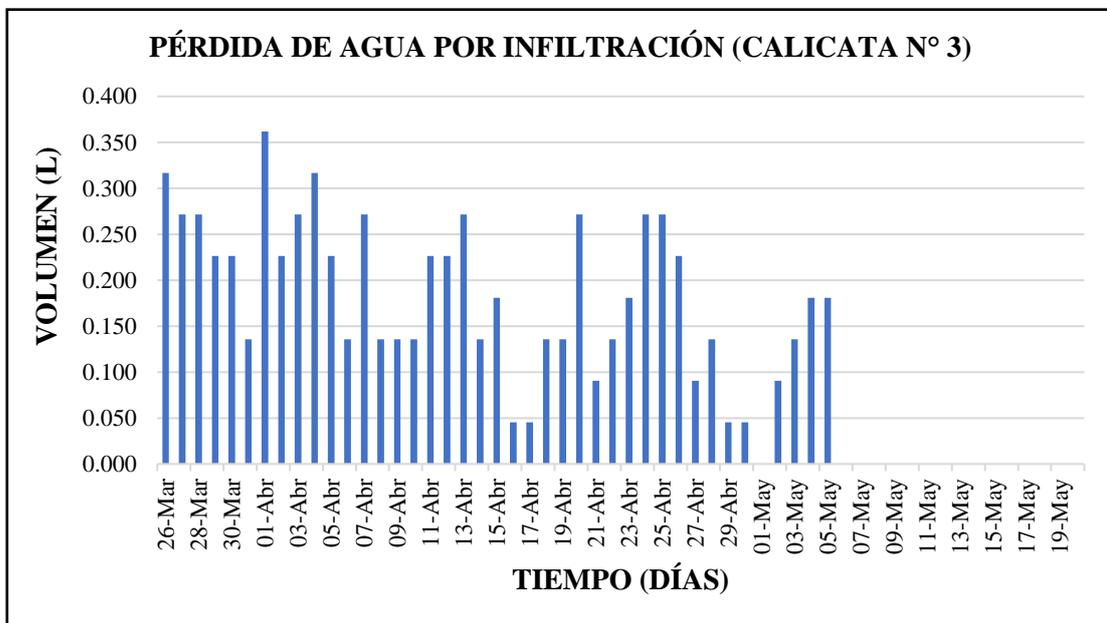
DÍA	NIVEL DE AGUA EN EL DÍA (cm)	NIVEL DE AGUA EN LA NOCHE (cm)	PÉRDIDA DE AGUA EN EL DÍA (L/día)	PÉRDIDA DE AGUA EN LA NOCHE (L/día)	EVAPORACIÓN (L/Día)	PÉRDIDA NETA DE AGUA (L/día)	PÉRDIDA TOTAL DE AGUA (L/día)
23/04/2019	7.6	7.0	0.271	0.045	0.136	0.181	0.317
24/04/2019	6.9	6.2	0.317	0.045	0.090	0.271	0.362
25/04/2019	6.1	5.4	0.317	0.000	0.045	0.271	0.317
26/04/2019	5.4	4.9	0.226	0.090	0.090	0.226	0.317
27/04/2019	4.7	4.3	0.181	0.045	0.136	0.090	0.226
28/04/2019	4.2	3.9	0.136	0.045	0.045	0.136	0.181
29/04/2019	3.8	3.4	0.181	0.000	0.136	0.045	0.181
30/04/2019	3.4	3.2	0.090	0.090	0.136	0.045	0.181
1/05/2019	3.0	2.9	0.045	0.090	0.136	0.000	0.136
2/05/2019	2.7	2.4	0.136	0.000	0.045	0.090	0.136
3/05/2019	2.4	1.9	0.226	0.045	0.136	0.136	0.271
4/05/2019	1.8	1.3	0.226	0.090	0.136	0.181	0.317
5/05/2019	1.1	0.6	0.226	0.045	0.090	0.181	0.271
6/05/2019	0.5	0.1	0.181	0.000	0.181	0.000	0.181
7/05/2019	0.1	0.0	0.045	0.000	0.045	0.000	0.045
8/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20/05/2019	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

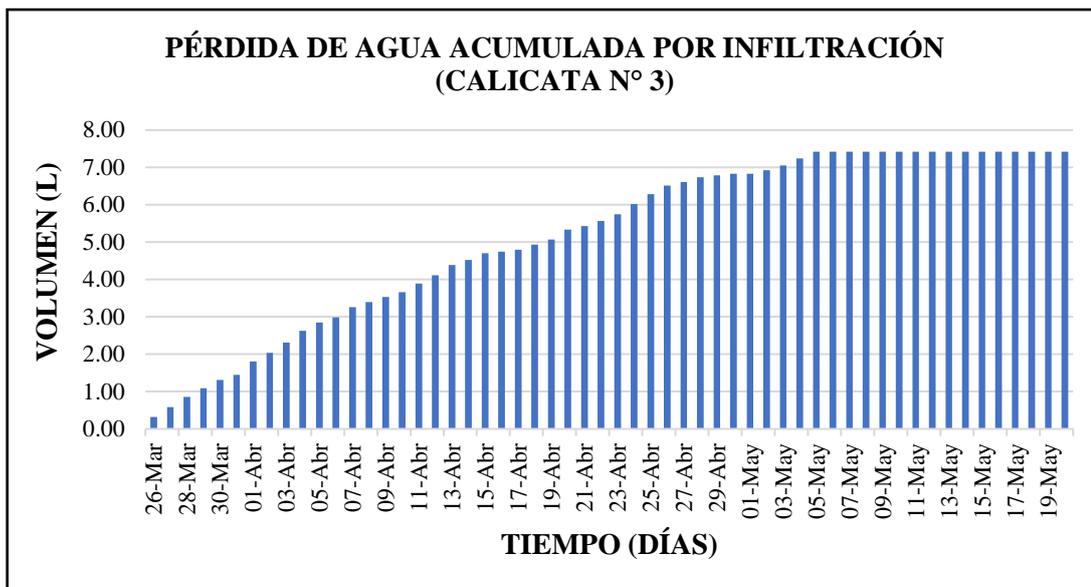
Los siguientes gráficos muestran el comportamiento del agua durante el periodo de evaluación.



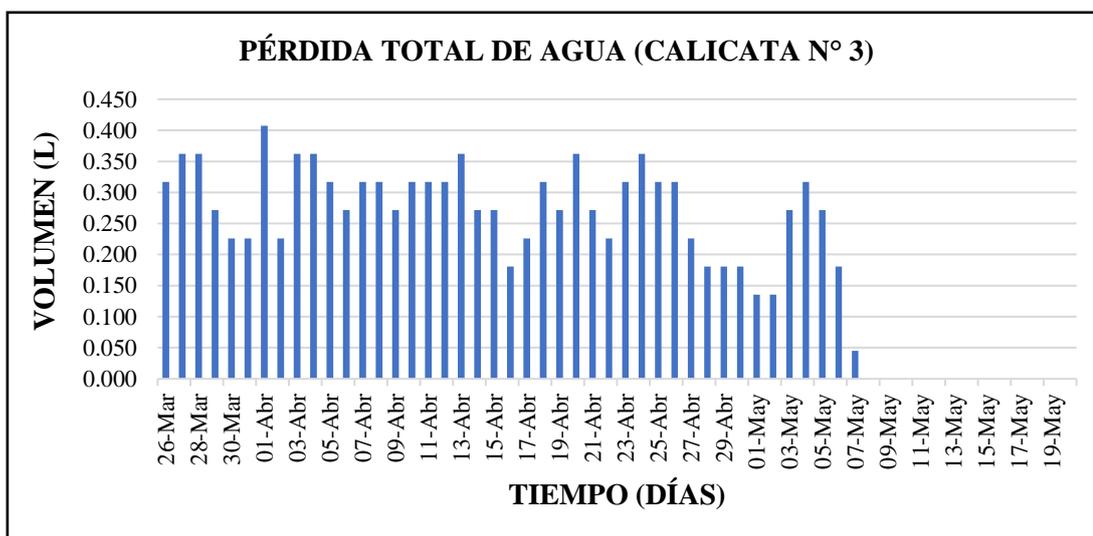
Grafica 22. Descenso de Agua por Infiltración en Calicata N°3.



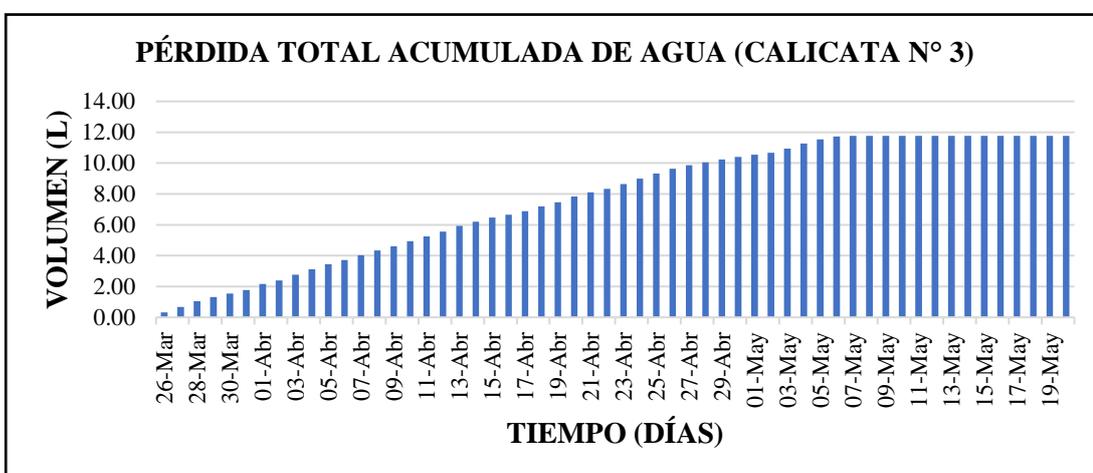
Grafica 23. Perdida de Agua por Infiltración en Calicata N°3.



Grafica 24. Perdida de Agua Acumulada por Infiltración en Calicata N°3.



Grafica 25. Pérdida Total de Agua por Infiltración en Calicata N°3.



Grafica 26. Pérdida Total Acumulada de Agua por Infiltración en Calicata.

4.2.5. Resultados de la Prueba de Evaporación

Se usó un cubo de plástico graduado en milímetros, sus dimensiones son: 0.40 m de altura y 0.10 m de radio.

Para nuestro proyecto se llenó de agua hasta los 0.26 m, obteniendo así un área de 0.031 m² y un volumen de 0.008 m³ (8.17 l), finalmente se colocó al lado de las calicatas para los ensayos de infiltración correspondientes que tuvo un periodo de 56 días de duración.

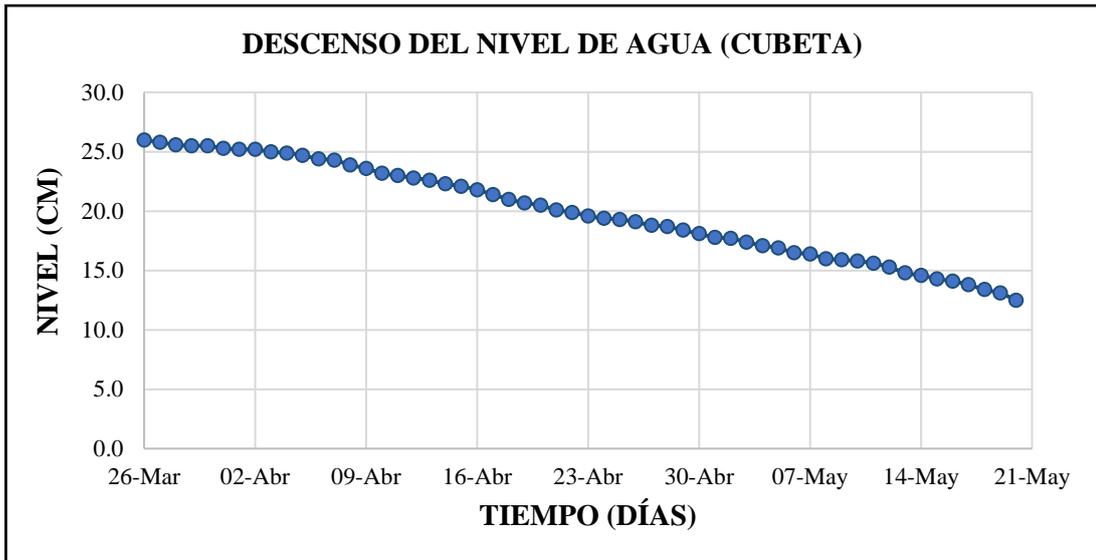
- Durante las primeras 04 semanas de evaluación se registró un descenso del nivel de agua de 26 cm a 19.9 cm, lo que representa una pérdida total de agua por evaporación de 2.76 L, el registro más alto fue de 0.181 L, el registro más bajo fue de 0.045 L y un promedio de 0.099 L de pérdida de agua diaria.
- En las últimas 4 semanas de evaluación se registró un descenso del nivel de agua de 19.9 cm a 12.5 cm, lo que representa una pérdida total de agua por evaporación de 3.348 L, el registro más alto fue de 0.271 L, el registro más bajo fue de 0.045 L y un promedio de 0.120 L de pérdida diaria.

Tabla 29. Datos Obtenidos de la Prueba de Evaporación.

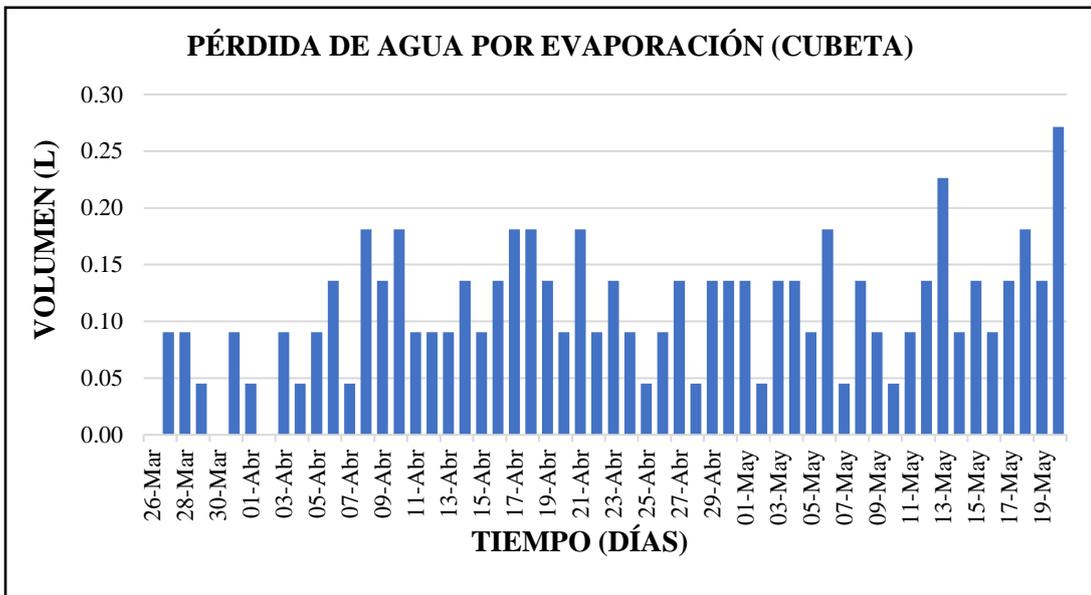
DÍA	NIVEL DE AGUA (cm/día)	EVAPORACIÓN (m ³ /día)	EVAPORACIÓN (L/día)	PRECIPITACIÓN N (mm/día)	PÉRDIDA DE AGUA TOTAL (L/día)
26/03/2019	26.0	0.00000	0.000	0.000	0.000
27/03/2019	25.8	0.00009	0.090	0.000	0.090
28/03/2019	25.6	0.00009	0.090	0.000	0.090
29/03/2019	25.5	0.00005	0.045	0.000	0.045
30/03/2019	25.5	0.00000	0.000	0.000	0.000
31/03/2019	25.3	0.00009	0.090	0.000	0.090
01/04/2019	25.2	0.00005	0.045	0.000	0.045
02/04/2019	25.2	0.00000	0.000	0.000	0.000
03/04/2019	25.0	0.00009	0.090	0.000	0.090
04/04/2019	24.9	0.00005	0.045	0.000	0.045
05/04/2019	24.7	0.00009	0.090	0.000	0.090
06/04/2019	24.4	0.00014	0.136	0.000	0.136
07/04/2019	24.3	0.00005	0.045	0.000	0.045
08/04/2019	23.9	0.00018	0.181	0.000	0.181
09/04/2019	23.6	0.00014	0.136	0.000	0.136
10/04/2019	23.2	0.00018	0.181	0.000	0.181
11/04/2019	23.0	0.00009	0.090	0.000	0.090
12/04/2019	22.8	0.00009	0.090	0.000	0.090
13/04/2019	22.6	0.00009	0.090	0.000	0.090
14/04/2019	22.3	0.00014	0.136	0.000	0.136
15/04/2019	22.1	0.00009	0.090	0.000	0.090
16/04/2019	21.8	0.00014	0.136	0.000	0.136
17/04/2019	21.4	0.00018	0.181	0.000	0.181
18/04/2019	21.0	0.00018	0.181	0.000	0.181
19/04/2019	20.7	0.00014	0.136	0.000	0.136
20/04/2019	20.5	0.00009	0.090	0.000	0.090
21/04/2019	20.1	0.00018	0.181	0.000	0.181
22/04/2019	19.9	0.00009	0.090	0.000	0.090

DÍA	NIVEL DE AGUA (cm/día)	EVAPORACIÓN (m³/día)	EVAPORACIÓN (L/día)	PRECIPITACIÓN (mm/día)	PÉRDIDA DE AGUA TOTAL (L/día)
23/04/2019	19.6	0.00014	0.136	0.000	0.136
24/04/2019	19.4	0.00009	0.090	0.000	0.090
25/04/2019	19.3	0.00005	0.045	0.000	0.045
26/04/2019	19.1	0.00009	0.090	0.000	0.090
27/04/2019	18.8	0.00014	0.136	0.000	0.136
28/04/2019	18.7	0.00005	0.045	0.000	0.045
29/04/2019	18.4	0.00014	0.136	0.000	0.136
30/04/2019	18.1	0.00014	0.136	0.000	0.136
01/05/2019	17.8	0.00014	0.136	0.000	0.136
02/05/2019	17.7	0.00005	0.045	0.000	0.045
03/05/2019	17.4	0.00014	0.136	0.000	0.136
04/05/2019	17.1	0.00014	0.136	0.000	0.136
05/05/2019	16.9	0.00009	0.090	0.000	0.090
06/05/2019	16.5	0.00018	0.181	0.000	0.181
07/05/2019	16.4	0.00005	0.045	0.000	0.045
08/05/2019	16.0	0.00018	0.181	0.000	0.181
09/05/2019	15.9	0.00005	0.045	0.000	0.045
10/05/2019	15.8	0.00005	0.045	0.000	0.045
11/05/2019	15.6	0.00009	0.090	0.000	0.090
12/05/2019	15.3	0.00014	0.136	0.000	0.136
13/05/2019	14.8	0.00023	0.226	0.000	0.226
14/05/2019	14.6	0.00009	0.090	0.000	0.090
15/05/2019	14.3	0.00014	0.136	0.000	0.136
16/05/2019	14.1	0.00009	0.090	0.000	0.090
17/05/2019	13.8	0.00014	0.136	0.000	0.136
18/05/2019	13.4	0.00018	0.181	0.000	0.181
19/05/2019	13.1	0.00014	0.136	0.000	0.136
20/05/2019	12.5	0.00027	0.271	0.000	0.271

Fuente: Elaboración Propia.



Grafica 27. Nivel de Agua en Cubeta por Evaporación.



Grafica 28. Perdida de Agua en Cubeta por Evaporación.



Grafica 29. Perdida de Agua Acumulada en Cubeta por Evaporación.

4.2.6. Resultados de las Pruebas de Infiltración en un Tramo del Canal

4.2.6.1. Canal sin Revestimiento.

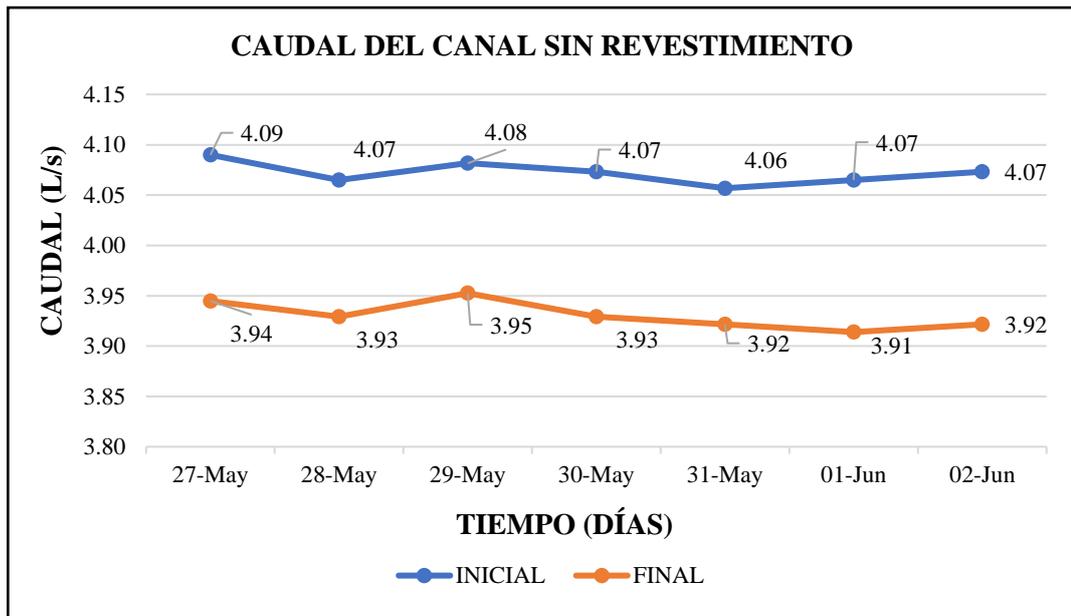
Para medir el caudal inicial y final se aplicó el método del cubo y se realizó 7 mediciones de caudal en la cota 0+406 del canal Gochirca, en diferentes periodos de tiempo.

Tabla 30. Medición del Caudal del Canal sin Revestimiento.

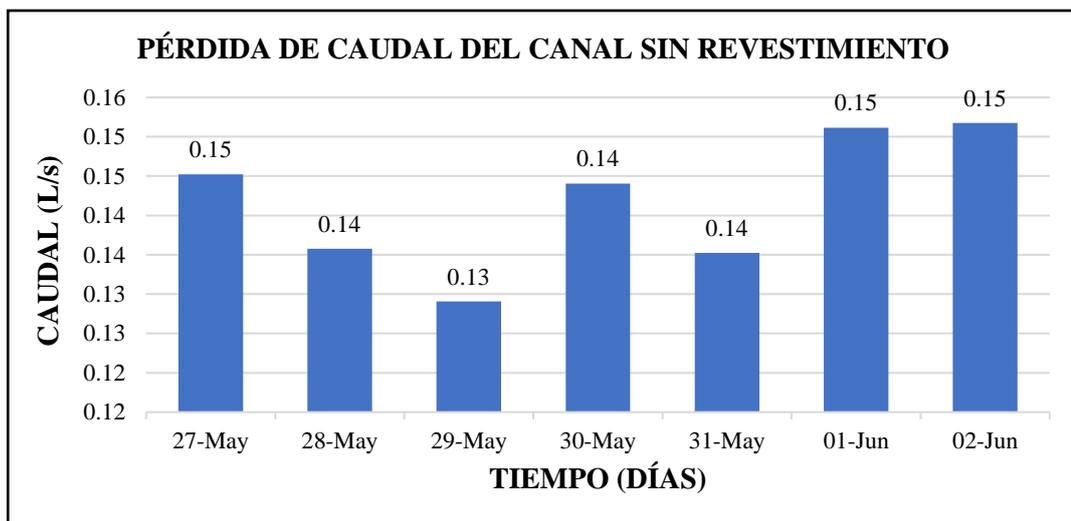
MEDICIÓN	VOLUMEN DE AGUA (L)	TIEMPO (s)		CAUDAL (L/s)		CAUDAL PERDIDO (L/s)	CAUDAL PERDIDO (%)
		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
27/05/2019	20	4.89	5.07	4.09	3.94	0.15	3.55
28/05/2019	20	4.92	5.09	4.07	3.93	0.14	3.34
29/05/2019	20	4.90	5.06	4.08	3.95	0.13	3.16
30/05/2019	20	4.91	5.09	4.07	3.93	0.14	3.54
31/05/2019	20	4.93	5.10	4.06	3.92	0.14	3.33
01/06/2019	20	4.92	5.11	4.07	3.91	0.15	3.72
02/06/2019	20	4.91	5.10	4.07	3.92	0.15	3.73

Fuente: Elaboración Propia.

El promedio del caudal inicial es de 4.07 L/s y del caudal final es de 3.93 L/s, por lo que la pérdida de agua por infiltración es de 0.14 L/s, lo que a su vez representa el 3.48 % del caudal inicial (4.07 L/s).



Grafica 30. Nivel de Caudal en Canal sin Revestimiento.



Grafica 31. Perdida de Caudal en Canal sin Revestimiento.

4.2.6.2. Canal con revestimiento.

Se revistió el canal con la muestra de mortero N°01 teniendo este un espesor de 3 cm, para la prueba se recubrió: 0.32 m de ancho (base), 0.34 m de altura (cara lateral) y 2.80 m de largo.

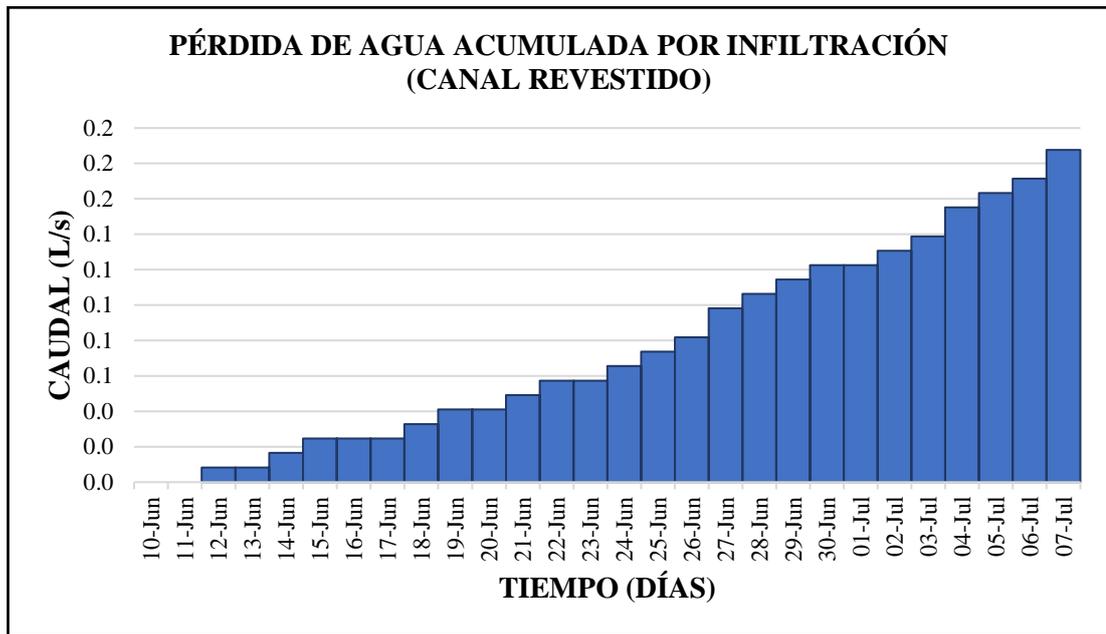
El ensayo inició el día 27 de mayo y culminó el día 23 de junio en la cual se midió el caudal inicial y final para poder evaluar la pérdida de agua y la eficiencia de la muestra seleccionada.

Tabla 31. Resultados de la Prueba de Infiltración en el Canal Revestido

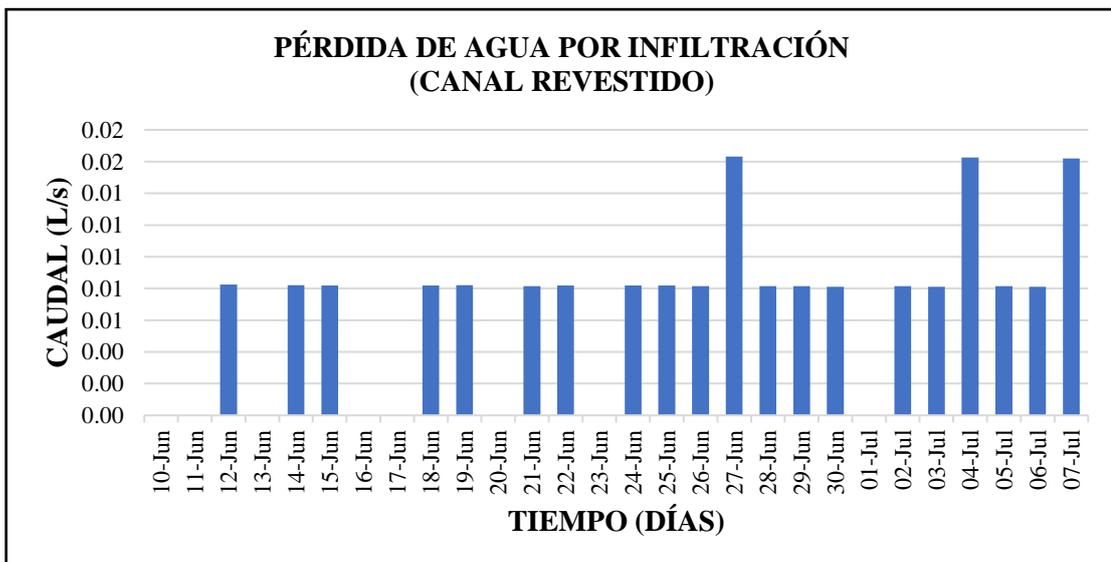
DÍA	VOLUMEN DE AGUA (L)		TIEMPO (s)		CAUDAL (L/s)		CAUDAL PERDIDO (L/s)	CAUDAL PERDIDO (%)
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
10/06/2019	20.00	20.00	4.92	4.92	4.07	4.07	0.00	0.00
11/06/2019	20.00	20.00	4.93	4.92	4.06	4.07	0.00	0.00
12/06/2019	20.00	20.00	4.92	4.93	4.07	4.06	0.01	0.20
13/06/2019	20.00	20.00	4.93	4.93	4.06	4.06	0.00	0.00
14/06/2019	20.00	20.00	4.93	4.94	4.06	4.05	0.01	0.20
15/06/2019	20.00	20.00	4.94	4.95	4.05	4.04	0.01	0.20
16/06/2019	20.00	20.00	4.93	4.93	4.06	4.06	0.00	0.00
17/06/2019	20.00	20.00	4.94	4.94	4.05	4.05	0.00	0.00
18/06/2019	20.00	20.00	4.94	4.95	4.05	4.04	0.01	0.20
19/06/2019	20.00	20.00	4.93	4.94	4.06	4.05	0.01	0.20
20/06/2019	20.00	20.00	4.95	4.95	4.04	4.04	0.00	0.00
21/06/2019	20.00	20.00	4.95	4.96	4.04	4.03	0.01	0.20
22/06/2019	20.00	20.00	4.94	4.95	4.05	4.04	0.01	0.20
23/06/2019	20.00	20.00	4.95	4.95	4.04	4.04	0.00	0.00
24/06/2019	20.00	20.00	4.94	4.95	4.05	4.04	0.01	0.20
25/06/2019	20.00	20.00	4.94	4.95	4.05	4.04	0.01	0.20
26/06/2019	20.00	20.00	4.95	4.96	4.04	4.03	0.01	0.20
27/06/2019	20.00	20.00	4.94	4.96	4.05	4.03	0.02	0.40
28/06/2019	20.00	20.00	4.95	4.96	4.04	4.03	0.01	0.20
29/06/2019	20.00	20.00	4.95	4.96	4.04	4.03	0.01	0.20
30/06/2019	20.00	20.00	4.96	4.97	4.03	4.02	0.01	0.20
1/07/2019	20.00	20.00	4.97	4.97	4.02	4.02	0.00	0.00
2/07/2019	20.00	20.00	4.95	4.96	4.04	4.03	0.01	0.20
3/07/2019	20.00	20.00	4.96	4.97	4.03	4.02	0.01	0.20
4/07/2019	20.00	20.00	4.95	4.97	4.04	4.02	0.02	0.40
5/07/2019	20.00	20.00	4.95	4.96	4.04	4.03	0.01	0.20
6/07/2019	20.00	20.00	4.96	4.97	4.03	4.02	0.01	0.20
7/07/2019	20.00	20.00	4.96	4.98	4.03	4.02	0.02	0.40

Fuente: Elaboración Propia.

- Durante la primera y segunda semana de evaluación se produjeron algunas pérdidas de caudal de 0.01 L/s lo que representa el 0.20 % del caudal inicial; durante la semana 03 se presencié la aparición de algunas fisuras en las paredes del canal pero a pesar de esto la pérdida de caudal aumento un poco (0.02 L/s), y en la semana 04 de evaluación se registró dos pérdidas de 0.02 L/s durante los últimos días del mes de junio, lo que a su vez es la pérdida máxima registrada durante el periodo de evaluación.



Grafica 32. Perdida de Caudal en Canal Revestido.



Grafica 33. Perdida de Agua Acumulada por Infiltración en Canal Revestido.

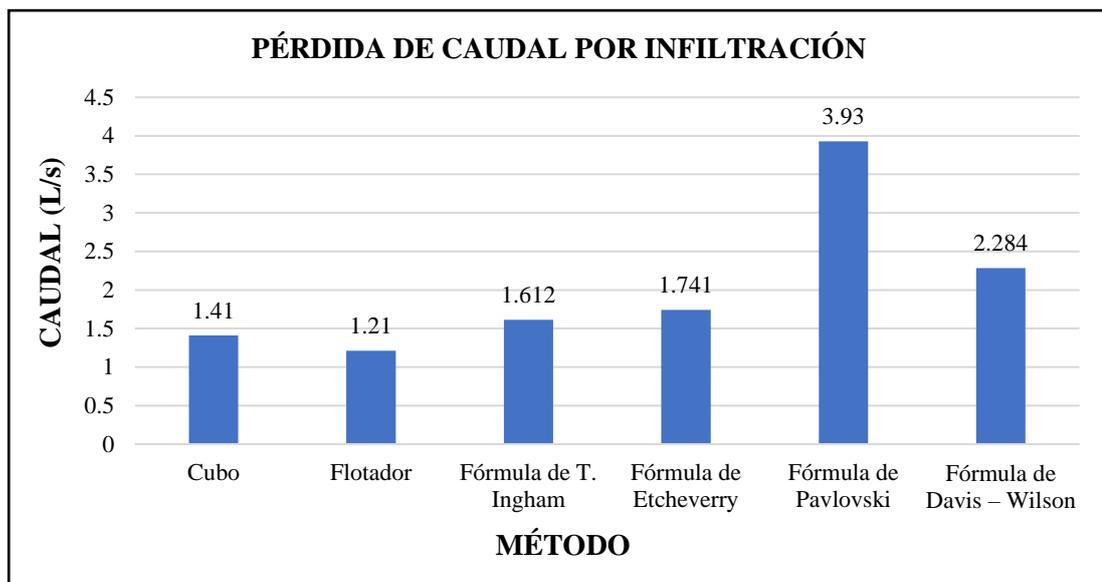
- En las gráficas se puede observar el comportamiento del caudal durante el periodo que duró el ensayo de infiltración, al finalizar las pruebas el caudal promedio y total que se infiltró son 0.01 L/s y 0.19 L/s respectivamente; lo que a su vez representa el 0.19 % y 4.64 % del caudal inicial respectivamente.

CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Ensayo de Infiltración en el Canal Gochirca.

5.1.1. Mediciones del Caudal

Las mediciones del caudal del canal de Gochirca se realizaron con métodos directos e indirectos de los cuales los más exactos son el método del cubo y la fórmula de T. Ingham respectivamente.



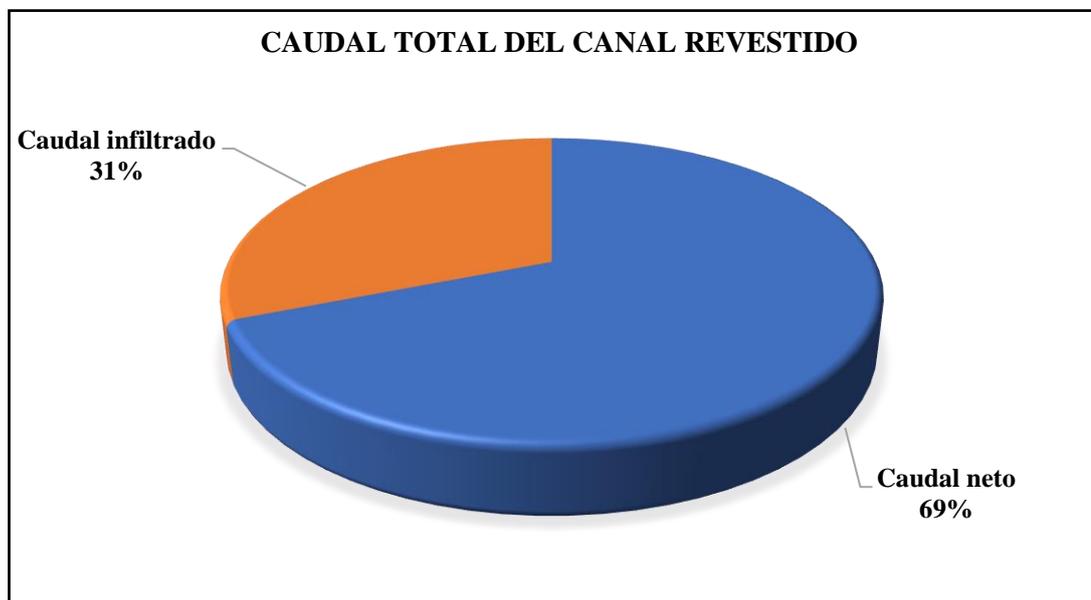
Grafica 34. Medición de Caudal en Canal Revestido con diferentes Métodos.

La fórmula de T. Ingham calculó una pérdida de caudal por infiltración de 1.612 L/s y este resultado es aproximado al cálculo del método del cubo (1.41 L/s), esto se debe a que esta fórmula no utiliza constantes de infiltración; mientras que en las otras fórmulas si hay un valor predeterminado y en muchas ocasiones se elige el equivocado o las constantes no representan al tipo de suelo de nuestra realidad, es por esto que los valores salen defectuosos.

5.1.2. Pérdida de Caudal por Infiltración

A lo largo del canal de Gochirca existen tramos que presentan suelos compuestos de roca metamórfica con alto nivel de porosidad y alto porcentaje de restos orgánicos (la mayoría son hojas de eucaliptos y alisos aledaños), esto ocasiona que se pierda un caudal de 1.41 L/s, que representa el 30.56 % del caudal total.

Es por esto que, la eficiencia de conducción del canal es de 69.44 %.

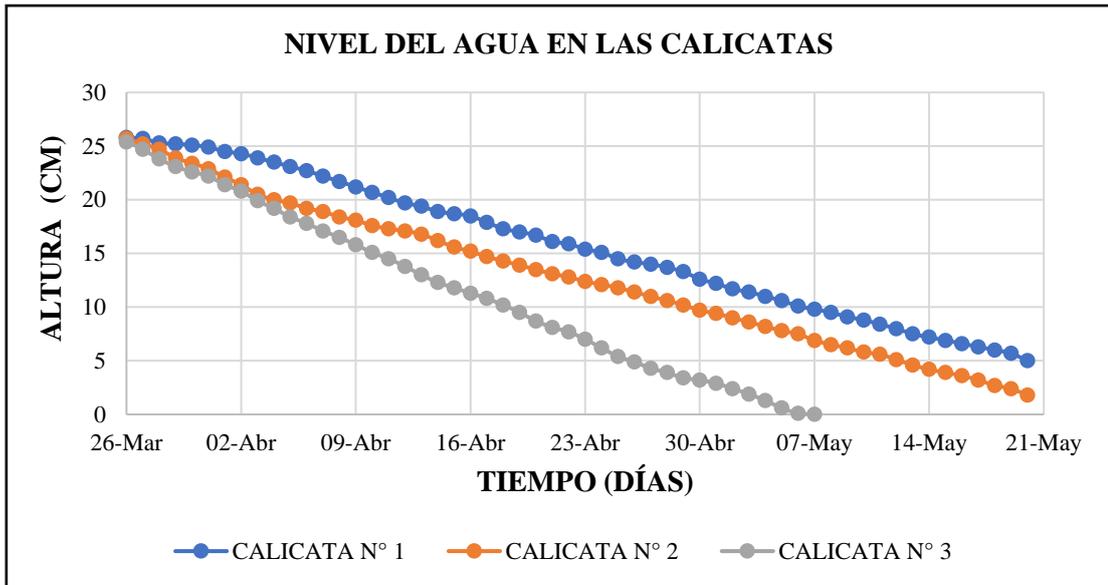


Grafica 35. Caudal Total del Canal Revestido.

5.2. Ensayo de Infiltración en las Calicatas

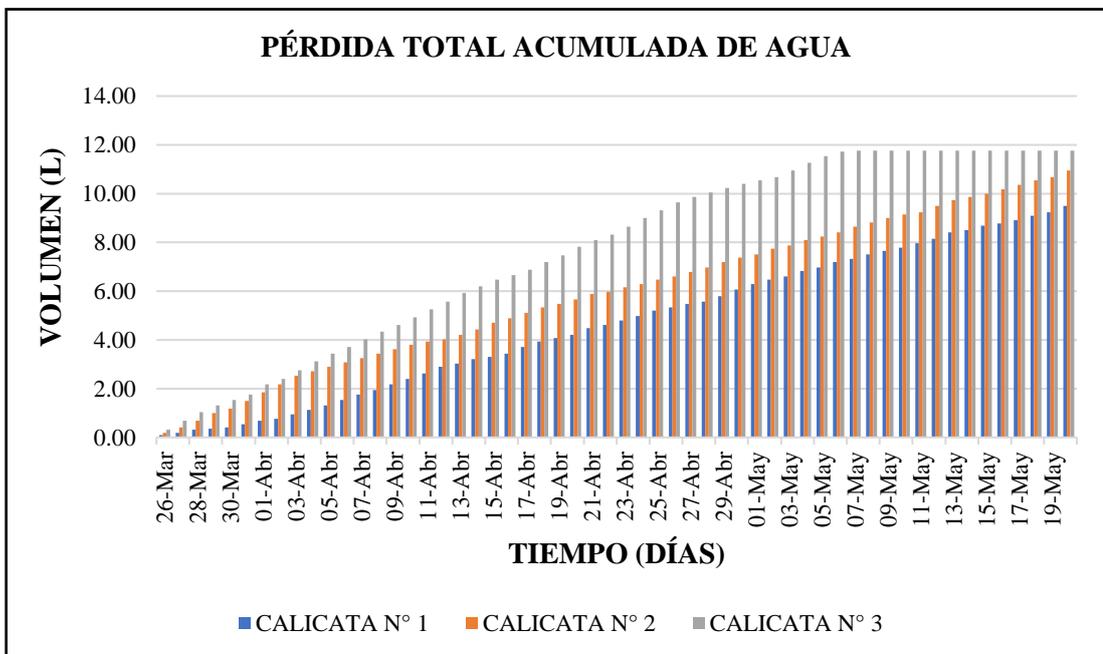
5.2.1 Pérdida Total del Volumen de Agua.

Luego de obtener los datos de las 03 calicatas y de la cubeta, en las siguientes gráficas se puede observar el comportamiento del volumen de agua infiltrada en cada calicata.

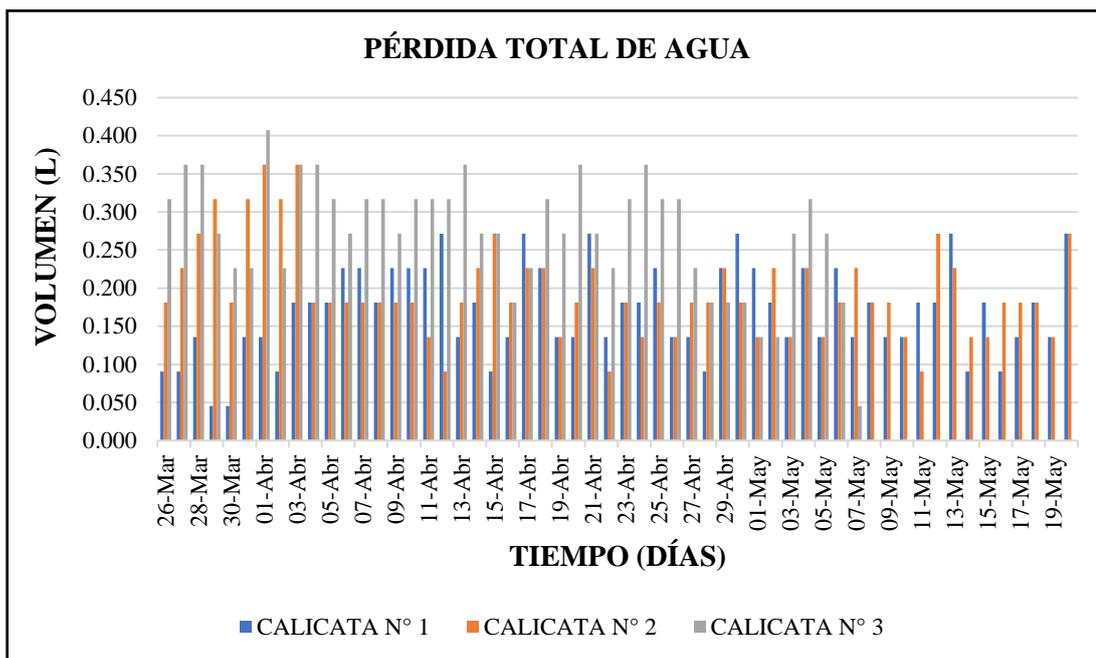


Grafica 36. Nivel de Agua en las Calicatas.

La tendencia de la serie de datos de la calicata 01 y 02 es muy parecida durante todo el periodo de evaluación, pero la calicata 03 tuvo una caída precipitada durante las primeras 04 semanas de evaluación, para finalizar pereciendo en las próximas 02 semanas.



Grafica 37. Pérdida Total Acumulada de Agua en Calicatas.



Grafica 38. Pérdida Total de Agua en Calicatas.

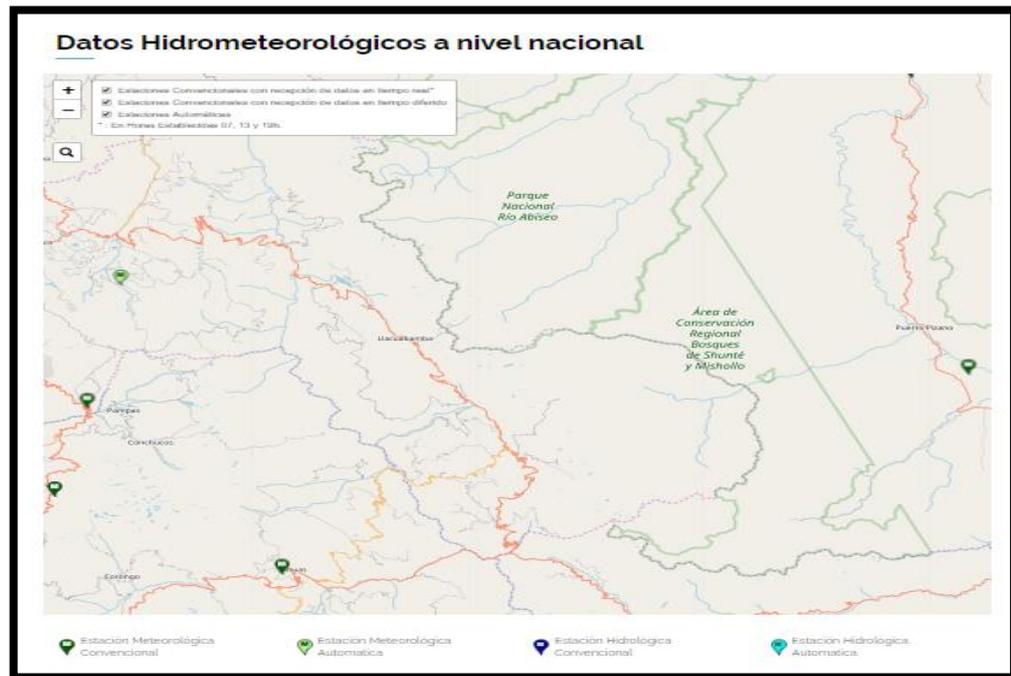
5.2.2. Cálculo del Volumen de agua Evaporada

En toda la provincia de Pataz no existe ninguna estación climática o meteorológica que nos pueda ayudar a conocer el nivel de evaporación diaria de la zona en la cual se hizo la experimentación o al menos para tomar algún dato como referencia, además los estudios sobre evapotranspiración en su totalidad son aplicados a volúmenes grandes de agua como lagunas, lagos o ríos por lo que no se puede aplicar a nuestro modelo de investigación; es por esto se optó por el método de la medición directa, la cual es simple y muy exacta, siempre y cuando se tomen las medidas necesarias para no alterar los resultados.

El resultado de ésta prueba manifiestan que en las 04 últimas semanas de evaluación hay un incremento en la cantidad de agua evaporada respecto a las 04 primeras semanas, esto se debe al cambio de estación, ya que las primeras 04 semanas se evaluó durante la estación de primavera donde las temperaturas durante el

día oscilan entre los 14°C - 16 °C y las 04 últimas semanas se evaluó en la estación de verano donde la temperatura durante el día oscila entre 18°C – 20°C. Las mediciones de la temperatura se hicieron directamente mediante una aplicación con información satelital y un termómetro electrónico.

Figura 9. Datos Hidrometeorológicos a Nivel Nacional.

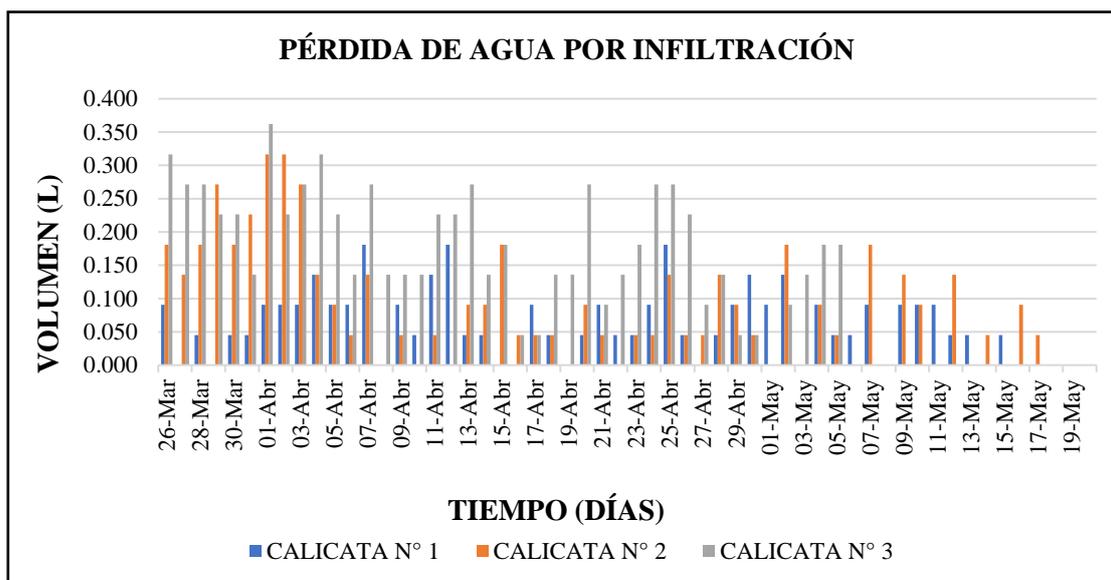


Fuente: SENAMHI.

5.2.3. Pérdida de Volumen de Agua por Infiltración

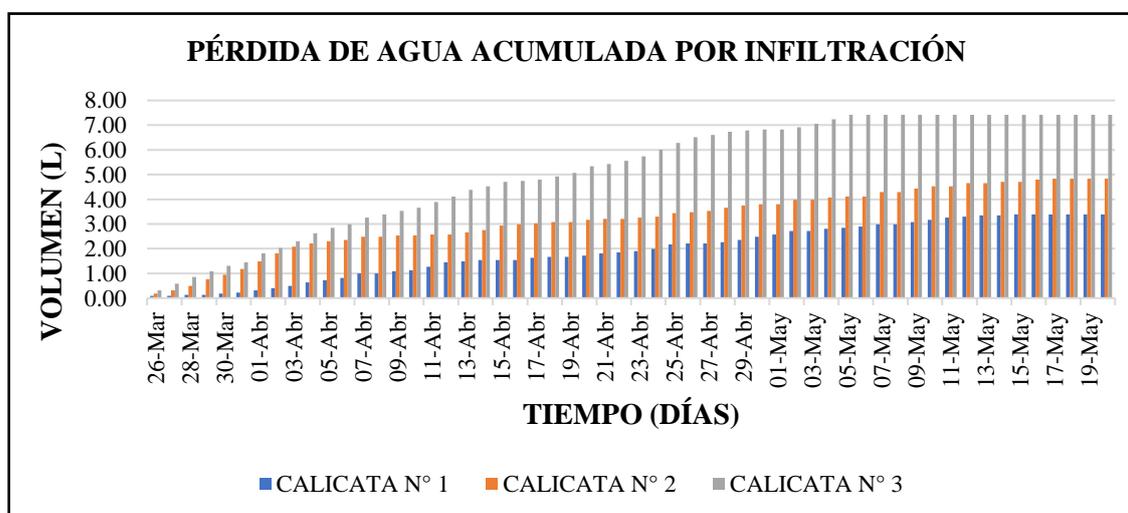
El volumen de agua producto de la infiltración se calculó restando el volumen de agua evaporada al volumen de pérdida total de agua; puesto que la evaporación influyó de manera uniforme en las 03 calicatas al estar expuestas en el mismo ambiente, durante el mismo periodo de tiempo y sujeto a las mismas asistencias que demanda la investigación.

El nivel de infiltración tuvo un comportamiento diferente en cada calicata, debido a variables como las diferentes proporciones de arcilla, arena y cal del cual está hecho el mortero, además del espesor de revestimiento y la intensidad y dimensiones de fisuras y grietas presentes en cada calicata. En los siguientes gráficos se puede observar el comportamiento de volumen de agua infiltrada en cada calicata.

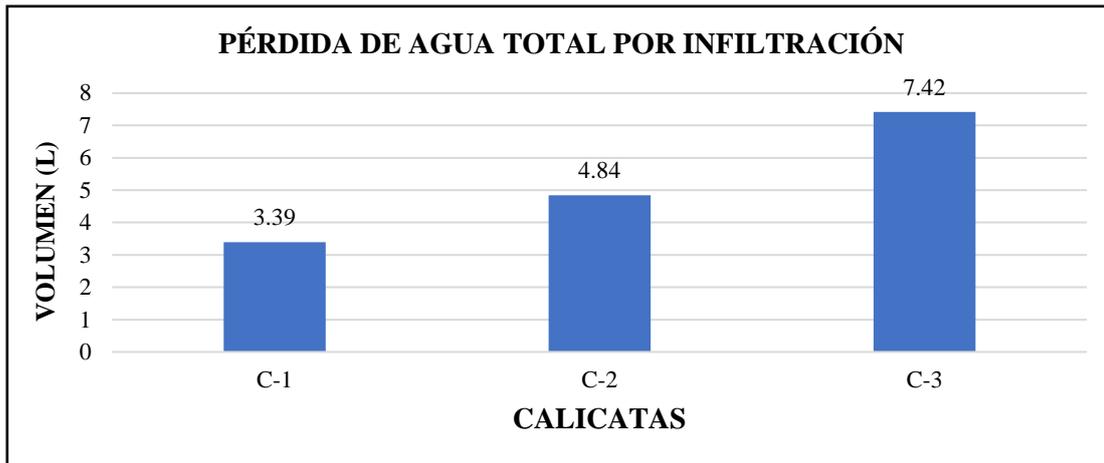


Grafica 39. Perdida de Agua en Calicatas por Infiltración.

El siguiente gráfico muestra la pérdida acumulada de agua durante todo el periodo de evaluación. La pérdida de agua de cada calicata se dio principalmente por la aparición de fisuras y grietas.



Grafica 40. Perdida de Agua Acumulada en Calicatas por Infiltración.



Grafica 41. Perdida de Agua Total en Calicatas por Infiltración.

- La calicata N°1 que estuvo revestida con un mortero con dosificación 7:2:1 de arcilla, arena y cal respectivamente, es la que menos agua perdió por infiltración, acumulando un volumen total de 3.39 L; este volumen es incluso menor que el volumen perdido por evaporación que es de 6.11 L.
- La calicata N°2 que estuvo revestida con un mortero con dosificación 6:3:1 de arcilla, arena y cal respectivamente, tuvo una pérdida máxima de agua durante los primeros días de la segunda semana de evaluación debido a una fisura de dimensiones considerables; además obtuvo una pérdida de agua total de 4.84 L quedando en el segundo lugar.
- La calicata N°3 que estuvo revestida con un motero con dosificación 5:2.5:2.5 de arcilla, arena y cal respectivamente registró la mayor pérdida de agua por infiltración (7.42 L), debido principalmente a la presencia excesiva de grietas y fisuras.

Según los datos obtenidos de los ensayos realizados el nivel de infiltración está relacionado directamente con la cantidad de arcilla que compone a cada mortero, por lo que, el mortero N°1 que tuvo mayor porcentaje de arcilla fue más eficiente contra la infiltración.

5.2.4. Análisis de la Presencia de Fisuras y Grietas en Calicatas

La aparición de fisuras y grietas en las calicatas revestidas con el mortero en estudio, se produjo principalmente por el asentamiento diferencial del terreno debido a las lluvias, al tipo de suelo y la cantidad de materia orgánica que contiene.

En el siguiente cuadro se aprecia las características de las fisuras y grietas encontradas en cada calicata.

Tabla 32. Fisuras y Grietas en Calicatas.

CALICATA		FISURAS (mm)		GRIETAS (mm)	
		ANCHO	LARGO	ANCHO	LARGO
N° 1	MAYOR	0.9	36.1	1.1	37.0
	MENOR	0.4	25.6	-	-
	TOTAL	7		1	
N° 2	MAYOR	0.9	86.0	1.9	118.0
	MENOR	0.5	34.3	1.1	53.4
	TOTAL	5		2	
N° 3	MAYOR	0.8	29.9	2.4	108.4
	MENOR	0.4	21.5	1.1	89.0
	TOTAL	5		4	

Fuente: Elaboración Propia.

- Las fisuras y grietas sólo se presenciaron en las paredes revestidas de las calicatas, mas no en la base de las mismas.
- El modelo con mayor presencia de fisuras fue el N° 1, pero a pesar de ello fue el más eficiente contra la infiltración, esto debido a que las fisuras son de dimensiones pequeñas y a la vez no son tan profundas. La única grieta de la calicata originó la pérdida de agua máxima por día durante la segunda semana de evaluación.

- El modelo más afectado por el asentamiento diferencial fue la calicata N°3, debido a que presentó más grietas que los otros modelos, esto fue causa para que tenga la mayor pérdida de agua diaria y acumulada.
- La gran cantidad de cal también podría ser la causa de las grietas de este modelo, puesto que al generar un gran calor de hidratación; por lo que sería conveniente volver a evaluar este modelo en un terreno estable para evaluar todos los factores que intervengan.

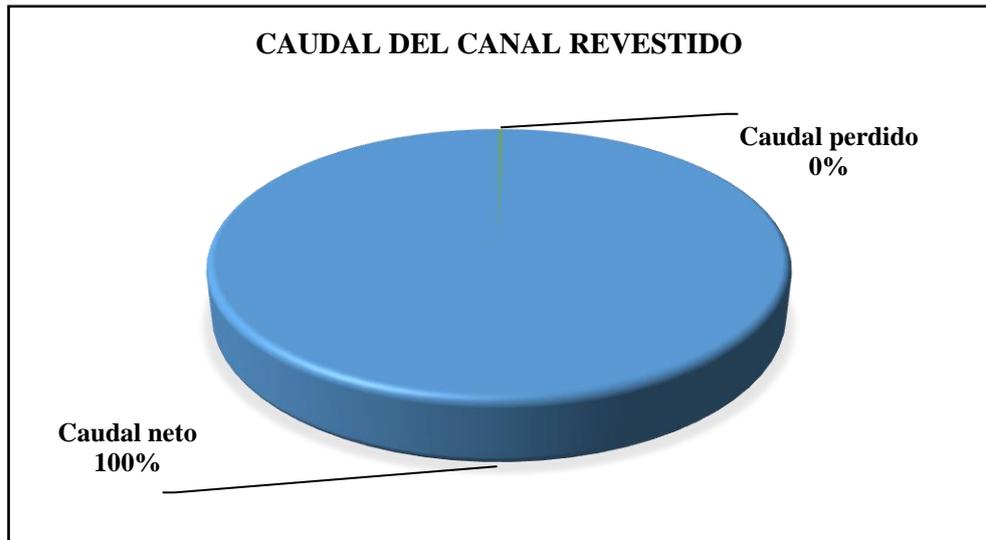
5.3. Eficiencia de Conducción Hidráulica

Los resultados de este ensayo fueron muy satisfactorios, ya que se logró reducir la infiltración del canal aproximadamente un 10 % más de lo inicialmente proyectado.

La pérdida de caudal por infiltración del canal sin revestimiento es 0.142 L/s y la pérdida de caudal por infiltración del tramo revestido fue de 0.008 L/s, esto indica que la eficiencia contra la infiltración es del 99.8 %.



Grafica 42. Caudal de Canal sin Revestimiento.



Grafica 43. Caudal de Canal Revestido.

Haciendo un cálculo simple para el tramo de canal donde se realizó el estudio experimental, el caudal del canal sin revestimiento en sólo 2 horas de riego pierde 60 480 L de agua (60.48 m^3), en caso contrario el caudal que se pierde en el caudal revestido en el mismo periodo de tiempo, es de 3456 L (3.456 m^3).

El ahorro de agua es grande tan solo en ese tramo de canal, ahora si se lograra revestir los tramos restantes del canal donde se produce grandes pérdidas de caudal que en total suman 1.41 L/, se lograría maximizar la eficiencia de conducción hidráulicas hasta un 99 %. El tramo que se ubica en la cota 0+406 presenta un tipo de suelo susceptible a la infiltración, en este lugar el caudal que se pierde es de 0.14 L/s lo que representa el 3.44 % del caudal total.

La aparición de fisuras en el canal revestido durante la semana 03 y 04, provocó que se incremente el promedio de la pérdida de caudal de 0.004 L/s a 0.009 L/s, lo que representa un 56% respecto a las primeras 02 semanas de evaluación; estas cantidades son insignificantes si las comparamos con las pérdidas de caudal del canal sin revestimiento. La pérdida total de caudal revestido es de 0.008 L/s esto representa el 0.2 % del caudal total.

5.3.1. Análisis de la Presencia de Fisuras

La arcilla usada para revestir el tramo de canal para el ensayo de infiltración tuvo un proceso de maduración de tan solo un mes y medio, por lo que era de esperar que durante el transcurso del periodo de evaluación aparezcan fisuras en las paredes del canal, en el siguiente cuadro se detalla las características de las fisuras.

Tabla33. Fisuras y Grietas en Canal Revestido.

TRAMO DE CANAL		FISURAS (mm)		GRIETAS (mm)	
		ANCHO	LARGO	ANCHO	LARGO
PARED IZQ	MAYOR	0.8	36.1	1.4	38.5
	MENOR	0.5	25.6	1.1	10.6
	TOTAL	9		5	
BASE	MAYOR	0.6	76.8	-	-
	MENOR	0.4	38.7	-	-
	TOTAL	2		0	
PARED DER	MAYOR	1	41.3	1.2	34.9
	MENOR	0.4	21.8	1	16.7
	TOTAL	12		3	

Fuente: Elaboración Propia.

El intemperismo y la humedad de la zona ayudaron a causar grietas en la parte superior de las paredes del canal revestido por lo que no afectó al caudal, pero la presencia de fisuras tanto en las paredes como en la base del canal provocó la infiltración de una pequeña parte de caudal.

La maduración de la arcilla es un proceso primordial que tiene como objetivo incrementar la plasticidad y evitar la aparición excesiva de fisuras y posteriormente grietas durante el secado de las pastas, por lo que, es necesario que la arcilla tenga un periodo mínimo de maduración de 03 meses.

Otra opción evitar las fisuras durante el secado, consiste en agregar pajilla a la pasta y dejarla reposar por un periodo de tiempo comprendido entre 02 – 04 meses, pero a su vez trae problemas ya que en futuro la degradación de la paja provocaría el incremento de fisuras.

5.4. Análisis de Costos Unitarios.

5.4.1. Mortero Hecho a Base de Cemento y Arena

El siguiente gráfico muestra el precio unitario del revestimiento de un canal de dimensiones 0.30x0.30x1.00 m, el costo fue adecuado a nuestra realidad.

Tabla34. Presupuesto Mortero de Concreto.

Partida: Concreto para revestimiento de canales						
Especificación: Dosificación 1:4						
Unidad: ml						
Rendimiento: 100.00 ml/día						
Descripción	Cuadrilla	Und.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales						S/ 31.77
Cemento		bolsa	1.106	S/ 25.42	S/ 28.13	
Arena Gruesa		m3	0.071	S/ 21.19	S/ 1.50	
Piedra chancada de 1/2"		m3	0.072	S/ 29.66	S/ 2.14	
Agua		litros	24.413	S/ -	S/ -	
Mano de Obra						S/ 8.12
Capataz	0.10	hh	0.01	S/ 15.00	S/ 0.12	
Operario	4.00	hh	0.32	S/ 12.50	S/ 4.00	
Oficial	0.00	hh	0.00	S/ 9.38	S/ -	
Peón	8.00	hh	0.64	S/ 6.25	S/ 4.00	
Equipos y herramientas						S/ 2.21
Herramientas manuales		%MO	0.05	S/ 8.12	S/ 0.41	
Mezcladora	1.00	hm	0.08	S/ 22.50	S/ 1.80	
Costo Unitario						S/ 42.10

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.2. Mortero Hecho a Base de Arcilla, Arena y Cal

El siguiente gráfico muestra el precio unitario del revestimiento de un canal de dimensiones 0.30x0.30x1.00 m.

El costo de los materiales, mano de obra y transporte a la realidad del distrito de Tayabamba.

Tabla35. Presupuesto de Mortero: Arcilla, Arena y Cal.

Partida: Revestimiento de canal con arcilla, arena y cal.						
Especificación: Dosificación 7:3:1						
Unidad: ml						
Rendimiento: 90.00 ml/día						
Descripción	Cuadrilla	Und	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales						S/ 13.87
Arcilla		kg	49.50	S/ 0.10	S/ 5.00	
Arena		kg	14.10	S/ 0.18	S/ 2.48	
Cal		kg	7.10	S/ 0.90	S/ 6.39	
Agua		litros	6.00	S/ -	S/ -	
Mano de Obra						S/ 9.02
Capataz	0.10	hh	0.01	S/ 15.00	S/ 0.13	
Operario	4.00	hh	0.36	S/ 12.50	S/ 4.44	
Oficial	0.00	hh	0.00	S/ 9.38	S/ -	
Peón	8.00	hh	0.71	S/ 6.25	S/ 4.44	
Equipos y herramientas						S/0.45
Herramientas manuales		%MO	0.05	S/ 9.02	S/ 0.45	
Costo Unitario						S/23.34

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

- Se ha evaluado la eficiencia de conducción con respecto al área mojada de infiltración del canal sin revestimiento, cuyo caudal inicial es 4.61 L/s y final 3.20 L/s, por lo cual se calculó que tiene una pérdida de caudal de 1.41 L/s y representa el 30.56%.

Por lo tanto, la eficiencia de conducción del área mojada del canal sin revestimiento es de 69.44%.

- Se realizó los estudios en laboratorio a la muestra de arcilla y arena, según la clasificación SUCS obtuvimos una arcilla de baja plasticidad (CL) y arena pobremente graduada (SP) respectivamente, y según la clasificación AASHTO obtuvimos material arcilloso del grupo A-4 y material granular del grupo A-1-b respectivamente.
- Mediante la visualización se pudo verificar que la mayor parte del suelo presenta rocas en descomposición con alto grado de porosidad.
- La eficiencia del canal de acuerdo a estudio corresponde a un área hidráulica que conduce caudal máximo y a la vez tiene pérdidas mínimas por infiltración (sección que corresponde a diseño de canales sin revestir), por lo cual se ha determinado una dosificación del mortero en estudio de 7:2:1, en concordancia a los ensayos realizados en las tres calicatas el cual se obtuvo que el modelo más eficiente para contrarrestar la infiltración fue la calicata N°1.
- En la cota 0+406 para la prueba de infiltración del caudal en el canal sin revestimiento se registró una pérdida de agua de 0.14 L/s, lo que a su vez representa el 3.48% del caudal inicial (4.07 L/s). Luego se revistió 2.80m de canal con un espesor de 0.03m con la dosificación del mortero más eficiente producto del ensayo en las calicatas, obteniendo una pérdida de agua de 0.01 L/s y representa el 0.17% del caudal inicial (4.07 L/s), obteniendo una eficiencia de 99.8 % en contra de la infiltración.

- Para disminuir la aparición de fisuras y grietas, el periodo de maduración de la arcilla debe darse entre 03 y 06 meses.
- En las calicatas la evaporación produjo mayor pérdida de agua respecto a la infiltración.
- Para obtener mejores resultados en la impermeabilización de canales con el material estudiado, el espesor de revestimiento debe ser mayor a 3.5cm.

RECOMENDACIONES

- Es preferible seleccionar arcilla con una alta composición en hierro y sílice, debido a que estos elementos tienen una mejor interacción con los elementos de la cal.
- Antes de revestir el canal es necesario compactar el terreno para evitar el agrietamiento de la base y paredes a causa del asentamiento diferencial.
- Se debe colocar juntas de dilatación cada 2.5 m. para evitar la aparición excesiva de fisuras y posteriormente grietas, en la base y paredes del canal.
- Para contrarrestar en mayor medida la erosión del canal, es necesario apisonar con un pequeño mazo la base y paredes revestidas del canal, para que las partículas tengan una mayor adhesión.
- Para ayudar a mejorar la eficiencia de conducción hidráulica del canal, se tiene que detectar todos los tramos donde se producen las infiltraciones más significativas.
- Para una investigación futura se podría agregar o reemplazar a la cal por una proporción de ceniza (ya que este material tiene componentes similares a la cal) para ser sometidos a los ensayos correspondientes y quizás así lograr mejorar las propiedades del material impermeabilizante.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ruiz, J., & Velásquez, T. (2004). *Determinación de pérdidas de agua en canales pequeños, con revestimiento de agregado global y mezcla cemento, arena, suelo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Arumi, J. (1993). *Revestimiento de canales de riego*. Recuperado de <http://www.bibliodigital.udec.cl>

Núñez, L. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe>

Villón, M. (2003). *Diseño de estructuras hidráulicas*. Lima, Perú.

Meza, F. (2004). *Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento, con adición de cal aérea*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Morán, W. (sf). *Mecánica de fluidos 2*. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe>

McPhee, T. (2013). *Guía de aforos en canales abiertos y estimación de tasas de infiltración*. Recuperado de <https://www.u-cursos.cl>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2006). *Manual de ensayo de materiales*. Recuperado de <https://portal.mtc.gob.pe>

ANEXOS

PANEL FOTOGRAFICO

❖ VERIFICACIÓN DEL CANAL GOCHIRCA



❖ EXTRACCIÓN DE ARCILA DE LA CANTERA



❖ PROCESO DE MADURACIÓN DE LA ARCILLA



❖ CONSTRUCCIÓN DE LAS CALICATAS IN SITU



❖ PREPARACIÓN DE MORTERO PARA REVESTIR LAS CALICATAS



❖ LLENADO DE AGUA EN CALICATAS PARA PRUEBA DE INFILTRACIÓN



❖ REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE EVAPORACIÓN



❖ MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL CANAL GOCHIRCA





- ❖ REVESTIMIENTO DE UN TRAMO DEL CANAL PARA SU RESPECTIVA PRUEBA DE INFILTRACIÓN





❖ PRESENCIA DE FISURAS EN CALICATAS Y CANAL

