

UNIVERSIDAD NACIONAL, COSTA RICA

SEDE REGIONAL CHOROTEGA

CAMPUS LIBERIA

Proyecto

Determinación del Balance Hídrico para estimar la recarga potencial del Reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica

Sustentables:

Ing. Carlos José Castillo Zamora

Cédula: 504320467

Ing. Humberto Sequeira Gómez

Cédula: 504290146

Equipo Supervisor:

Ing. Rubén Román Zeledón

INDER, Cañas

Ing. Rolando Madriz Vargas

Universidad Nacional, Costa Rica

Liberia, Guanacaste.

Febrero, 2023.

ACTA DEL TRIBUNAL EVALUADOR

Liberia, Guanacaste.

Febrero, 2023.

Integrantes Tribunal Evaluador

MSc. Adolfo Salinas Acosta

Tutor

MSc. William Gómez Solís

Lector

MSc. Ronald Sánchez Brenes

Lector

MSc. Medardo Moscoso Vidal

Representante de Decanatura

MSc. Rolando Madriz Vargas

Representante de Dirección Académica, Campus Liberia

Agradecimientos y Dedicatoria

En este apartado queremos agradecer primero al INDER, Cañas, por abrirnos las puertas para realizar el Proyecto Final de Graduación (PGF) y vivir experiencias tanto en el ámbito profesional como social, ya que tuvimos la oportunidad de conocer a muchas personas que nos ayudaron a crecer y aprender en aspectos sociales, morales, éticos y profesional.

Queremos agradecer a los dos tutores en la empresa los cuales son la Lcda. Sidey Cortés Osorno y el Ing. Rubén Román Zeledón, que son personas muy amables, responsables, bondadosas y que siempre cumplen con su trabajo en la empresa y hasta más.

Además, queremos agradecer a los tutores y profesores que nos ayudaron en este proyecto por la paciencia, herramientas brindadas, consejos, observaciones y además por todo el apoyo en cada etapa del PFG con el fin de obtener el mayor aprendizaje posible y realizar todas las etapas de la mejor manera. Especialmente a los profesores Rolando Madriz, Ronald Sánchez y Adolfo Salinas.

Agradecimiento especial al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) por brindarnos de forma gratuita datos hidrometeorológicos de estaciones cercanas al sitio de estudio, indispensables para el desarrollo del trabajo.

Finalmente, y no menos importante, queremos agradecer y dedicar este trabajo a nuestras familias, las cuales nos han apoyado y motivado a lo largo de todo este camino. Sin su respaldo y cariño, nada de esto fuera posible.

Resumen Ejecutivo

Este proyecto se basó en realizar un balance hídrico para estimar la recarga potencial del área de estudio y la velocidad de infiltración del reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas, Guanacaste, Costa Rica; con el fin de analizar la recarga e infiltración del manto acuífero. El reservorio tiene un área aproximada de 800 m² y una capacidad de almacenaje de 10 mil m³.

Este reservorio pertenece al proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia del Instituto de Desarrollo Rural (INDER), y desde su construcción en el año 2019, no cuenta con ningún estudio hidrológico que analice y valide las condiciones y el funcionamiento de este. De ahí, es que surge la necesidad por parte del INDER de estudiar y comprender estas estructuras.

Para cumplir con los objetivos del trabajo, se realizaron pruebas de infiltración según el Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas y un balance hídrico según el modelo de cálculo planteado por Schosinsky. Además, se reconocerán los posibles servicios ecosistémicos del reservorio y se brindará una serie de mejoras para optimar el funcionamiento del reservorio.

Al realizar las pruebas de infiltración en el reservorio se logra estimar una tasa de infiltración de 10 cm/min y una velocidad de recarga para el reservorio de 0,040 m/día. Una vez realizado el balance hídrico de suelos, se logra estimar la recarga potencial anual de la zona de estudio, la cual es de 325,93 mm, lo que equivale a 6 551,19 m³ de agua, la cual infiltra y recarga al acuífero.

Se concluye que el reservorio permite la infiltración y alimentación de las zonas bajas, lo cual fomenta la creación de ojos de agua; además, mediante esta metodología se permite dotar de agua a zonas rurales de la provincia para sus actividades productivas y económicas, especialmente en los meses de mayor necesidad por la escasez hídrica, mediante el aprovechamiento del agua de las lluvias.

Summary

This project was based on carrying out a water balance to estimate the potential recharge of the study area and the infiltration rate of the Los Lirios reservoir, Agua Caliente, Cañas, Guanacaste, Costa Rica; to analyze the recharge and infiltration of the aquifer mantle. The reservoir has an approximate area of 800 m² and a storage capacity of 10,000 m³.

This reservoir belongs to the INDER rainwater planting and harvesting project, and since its construction in 2019, it does not have any hydrological study that analyzes and validates its conditions and operation. Hence, the need for INDER to study and understand these structures arises.

The objectives of the research were, infiltration tests according to the regulation for the disposal of treated ordinary wastewater into the subsoil and a water balance according to the calculation model proposed by Schosinsky. In addition, the possible ecosystem services of the reservoir will be recognized, and a series of improvements will be provided to optimize the functioning of the reservoir.

When carrying out the infiltration tests in the reservoir, it is possible to estimate an infiltration rate of 10 cm/min and a recharge speed for the reservoir of 0.040 m/day. Once the soil water balance has been highlighted, it is possible to estimate the potential annual recharge of the study area, which is 325.93 mm, which is equivalent to 6,551.19 m³ of water, which infiltrates and recharges the aquifer.

It is concluded that the reservoir allows the infiltration and feeding of the low areas, which encourages the creation of water eyes; In addition, through this methodology it is possible to provide water to rural areas of the province for their productive and economic activities, especially in the months of greatest need due to water scarcity, using rainwater.

Índice de contenido

| | |
|---|----|
| <i>Capítulo 1 – Introducción</i> | 14 |
| 1.1 Introducción | 15 |
| 1.2 Declaración del Problema. | 16 |
| 1.3 Justificación | 17 |
| 1.4 Objetivos | 19 |
| 1.4.1. Objetivo General..... | 19 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 19 |
| 1.5 Alcances y Limitaciones | 19 |
| 1.5.1. Alcances | 19 |
| 1.5.2. Limitaciones..... | 20 |
| 1.6 Resumen del reporte..... | 21 |
| 1.6.1. Capítulo 1. Introducción del proyecto de estudio. | 21 |
| 1.6.2. Capítulo 2. Antecedentes. | 21 |
| 1.6.3. Capítulo 3. Marco Teórico..... | 22 |
| 1.6.4. Capítulo 4. Prefactibilidad..... | 22 |
| 1.6.5. Capítulo 5. Metodología..... | 22 |
| <i>Capítulo 2-Antecedentes</i> | 23 |
| 2.1. Introducción | 24 |
| 2.2. Descripción de la zona de estudio. | 24 |
| 2.2.1. Aspectos demográficos. | 26 |
| 2.2.2. Aspectos socioeconómicos..... | 26 |
| 2.3. Hidrográfica | 27 |
| 2.4 Conclusión | 29 |
| <i>Capítulo 3-Marco Teórico</i> | 30 |
| 3.1. Introducción..... | 31 |
| 3.2 Conceptos importantes | 32 |
| 3.2.1 Cosecha de Agua | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.2. Cosecha de agua de lluvia | 32 |
| 3.2.3. Reservorios para almacenar agua..... | 33 |
| 3.2.4. Balance Hídrico | 33 |
| 3.2.5. Balance Hídrico Parcial | 33 |
| 3.2.6. Ciclo Hidrológico..... | 33 |
| 3.2.7. Precipitación | 34 |
| 3.2.8. Temperatura | 34 |
| 3.2.9. Caudal | 34 |
| 3.2.10. Evaporación..... | 34 |
| 3.2.11. Permeabilidad..... | 35 |
| 3.2.12. Textura del suelo | 35 |
| 3.2.13. Profundidad del perfil del suelo..... | 35 |
| 3.2.14. Pruebas de Infiltración | 35 |
| 3.3 Teoría y prácticas de referencia..... | 36 |
| 3.4 Conclusión. | 37 |
| <i>Capítulo 4-Estudios de Prefactibilidad</i> | <i>38</i> |
| 4.1. Introducción..... | 39 |
| 4.2. Prefactibilidad Legal | 39 |
| 4.3. Prefactibilidad Social | 42 |
| 4.4. Prefactibilidad Ambiental | 44 |
| 4.5. Prefactibilidad Técnica. | 45 |
| 4.6. Prefactibilidad Financiera. | 46 |
| 4.7 Conclusión | 49 |
| <i>Capítulo 5- Metodología</i> | <i>51</i> |
| 5.1. Introducción..... | 52 |
| 5.2. Descripción de la metodología. | 52 |
| 5.3 Métodos y herramientas..... | 53 |
| 5.3.1. Recopilación de datos e información | 53 |
| 5.3.2. Prueba de infiltración | 54 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3.3. Tasa de infiltración..... | 56 |
| 5.3.4. Velocidad de infiltración..... | 56 |
| 5.3.5. Balance hídrico..... | 58 |
| 5.3.6. Precipitación y temperatura..... | 59 |
| 5.3.7. Precipitación que infiltra el suelo..... | 60 |
| 5.3.8. Escorrentía superficial..... | 62 |
| 5.3.9. Evapotranspiración..... | 63 |
| 5.3.10. Profundidad de raíces..... | 66 |
| 5.3.11. Humedad disponible..... | 67 |
| 5.3.12. Recarga potencial del acuífero..... | 68 |
| 5.3.13. Déficit de capacidad de campo..... | 69 |
| 5.3.14. Necesidad de riego..... | 69 |
| 5.4. Identificación de los servicios ecosistémicos de la zona de estudio..... | 70 |
| 5.5. Conclusión..... | 71 |
| 5.6. Cronograma de actividades y presupuesto..... | 72 |
| <i>Capítulo 6- Resultados y Discusión.....</i> | <i>73</i> |
| 6.1. Introducción..... | 74 |
| 6.2. Pruebas de Infiltración realizada en el reservorio..... | 74 |
| 6.2.1. Cálculo de la tasa de Infiltración (T)..... | 76 |
| 6.2.2. Cálculo de la Velocidad de infiltración (Vp)..... | 77 |
| 6.3. Balance Hídrico de Suelos en el reservorio Los Lirios..... | 79 |
| 6.3.1. Descripción de la zona de estudio..... | 79 |
| 6.3.2. Precipitación..... | 80 |
| 6.3.3. Evapotranspiración..... | 81 |
| 6.3.4. Tipo de suelo y uso de suelo..... | 81 |
| 6.3.5. Recarga Potencial..... | 82 |
| 6.3.6. Presentación del Balance Hídrico de Suelos..... | 83 |
| 6.4. Lista de mejoras y observaciones para el reservorio..... | 85 |
| 6.5. Determinar los posibles usos potenciales ecosistémicos del reservorio Los Lirios ... | 86 |

| | |
|--|-----------|
| 6.6. Conclusión | 90 |
| <i>Capítulo 7-Conclusiones y Recomendaciones</i> | <i>91</i> |
| 7.1. Introducción..... | 92 |
| 7.2. Conclusiones y Recomendaciones | 92 |
| <i>Bibliografía</i> | <i>95</i> |
| <i>Anexos</i> | <i>98</i> |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Mapa de ubicación del poblado Agua Caliente. | 25 |
| Figura 2.2. Mapa de ubicación del reservorio Los Lirios. | 25 |
| Figura 2.3. Reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas, Guanacaste..... | 27 |
| Figura 2.4. Pueblo Agua Caliente, Cañas, Guanacaste. | 27 |
| Figura 2.5. Mapa de la hidrografía de la zona de estudio. | 28 |
| Figura 4.1. Viabilidades del proyecto según Sapag et al., (2014). | 39 |
| Figura 5.1. Métodos y herramientas para desarrollar el proyecto. | 52 |
| Figura 5.2. Datos base recopilados | 53 |
| Figura 5.3. Realización de las gavetas para las pruebas de infiltración. | 55 |
| Figura 5.4. Pruebas de infiltración. | 55 |
| Figura 5.5. Mapa de zonas de vida y ubicación del reservorio Los Lirios. | 60 |
| Figura 5.6. Valores de K_p y K_v para el cálculo del coeficiente de infiltración (C_i). | 62 |
| Figura 5.7. Metodología para la identificación de los servicios ecosistémicos. | 70 |
| Figura 5.8. Descripción estructural propuesta para la identificación de los servicios ecosistémicos. | 71 |
| Figura 5.9. Cronograma de actividades del PFG. | 72 |
| Figura 6.1. Observación de las características del reservorio Los Lirios..... | 75 |
| Figura 6.2. Mapa de ubicación del terreno en estudio. | 79 |
| Figura 6.3. Tipo de suelo de la zona de estudio..... | 82 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 4.1. Marco de referencia legal aplicable al proyecto..... | 40 |
| Tabla 4.2. Actores sociales clave para la determinación de la percepción social | 42 |
| Tabla 4.3. Presupuesto de la prefactibilidad técnica. | 46 |
| Tabla 4.4. Costos directos del PFG..... | 48 |
| Tabla 4.5. Costos indirectos del PFG..... | 48 |
| Tabla 4.6. Otros gastos y costos del PFG..... | 49 |
| Tabla 4.7. Costos totales del PFG..... | 49 |
| Tabla 5.1. Toma de datos de campo para la prueba de infiltración. | 54 |
| Tabla 5.2. Velocidad de infiltración..... | 57 |
| Tabla 5.3. Información de la estación de Tierras Morenas..... | 59 |
| Tabla 5.4. Porcentaje de horas de sol mensual (Ps), respecto al año, en la latitud 10° Norte | 64 |
| Tabla 5.5. Capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente para diferentes texturas..... | 66 |
| Tabla 5.6. Profundidad de raíz según tipo de cultivo..... | 66 |
| Tabla 6.1. Tabla de resultados de la prueba de Infiltración 1. | 75 |
| Tabla 6.2. Tabla de resultados de la prueba de Infiltración 2. | 76 |
| Tabla 6.3. Tabla de Tasa de Infiltración. | 76 |
| Tabla 6.4. Velocidad de infiltración..... | 77 |
| Tabla 6.5. Lluvia mensual de la estación Tierras Morenas (76006) para el periodo comprendido entre los años 2006-2021..... | 80 |
| Tabla 6.6. Evapotranspiración promedio mensual potencial (mm) de la zona de estudio, reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas..... | 81 |
| Tabla 6.7. Lista de mejoras recomendadas para implementar en el reservorio Los Lirios. . | 85 |
| Tabla 6.8. Identificación de los posibles servicios ecosistémicos encontrados para un reservorio de agua en estudio. | 86 |

Tabla de Anexos

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Reservorio Los Lirios, espejo de agua..... | 98 |
| Anexo 2. Fotografía con el dueño del reservorio..... | 98 |
| Anexo 3. Paisajismo del reservorio Los Lirios..... | 99 |
| Anexo 4. Fauna existente en el reservorio..... | 99 |
| Anexo 5. Trabajo de campo en el reservorio..... | 100 |
| Anexo 6. Patos dentro del reservorio..... | 100 |
| Anexo 7. Reservorio Los Lirios | 101 |
| Anexo 8. Entrada al reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas..... | 101 |
| Anexo 9. Reunión con funcionarios del INDER..... | 102 |
| Anexo 10. Tabla para toma de datos en campo para realizar las pruebas de infiltración. | 102 |
| Anexo 11. Tabla de velocidades de infiltración. | 103 |
| Anexo 12. Excavación para construir las gavetas para realizar las pruebas de infiltración. | 103 |
| Anexo 13. Prueba de infiltración en proceso y medición del nivel del agua. | 104 |

Índice de Abreviaciones y Acrónimos

- **ICE:** Instituto Costarricense de Electricidad.
- **IGN:** Instituto Geográfico Nacional.
- **INDER:** Instituto de Desarrollo Rural.
- **INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- **MINAE:** Ministerio de Ambiente y Energía.
- **OMM:** Organización Mundial Meteorológica.
- **SCALL:** Sistema de Captación de Agua de Lluvia.
- **SETENA:** Secretaría Técnica Nacional Ambiental.

Capítulo 1 – Introducción

Este capítulo tiene como objetivo recapitular la información introductoria para el posterior desarrollo del proyecto, se presenta, el problema que se identificó, la justificación, los objetivos y, los alcances y limitaciones del proyecto.

1.1 Introducción

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) han existido desde hace muchos años, de diversas maneras. Según Salinas (2010), las diversas sociedades humanas han luchado por su sobrevivencia durante varios milenios en ambientes áridos, semiáridos y secos, donde hay carencia de agua.

La siembra y cosecha de agua es una de las opciones que está tomando fuerza en las zonas rurales para aprovechar en la agricultura y la ganadería es la siembra y cosecha de agua. Esta propuesta tiene grandes ventajas las cuales deberían ser conocidas por más personas y con esto fomentar a más instituciones y personas a participar de procesos que incentiven la creación de más sistemas de Captación de agua (Anaya,1998).

Para comprender un poco más el tema la siembra y cosecha de agua de lluvia es importante tener el concepto claro, el cual se puede definir como una técnica para producir agua. Además, es importante destacar que el almacenamiento de agua en reservorios es relevante porque permite cultivar de manera rentable en regiones donde la temporada de sequía es prolongada (Cubero 1996).

La recarga de agua subterránea es un proceso mediante el cual el agua superficial o de lluvia se percola a través del suelo hasta alcanzar el nivel de agua subterránea (Davis & Wiest, 1971).

El balance hídrico se basa en el principio de la conservación de la masa, donde toda el agua que entra al suelo debe ser igual a la cantidad de agua que se almacena más el agua que sale de él. Las entradas al sistema son debidas a la precipitación que se infiltra del agua hacia el suelo y las salidas se deben a la evapotranspiración y la descarga hacia los acuíferos (Fetter, 2001).

Según Alvarado y Barahona (2017), los factores que influyen en el balance hídrico son parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura, horas de sol, etc.), geográficas (uso del suelo y pendiente) y geológicas (textura del suelo, velocidad de infiltración, permeabilidad).

Para el manejo eficiente de los recursos hídricos subterráneos, la cuantificación de la recarga natural es un requisito fundamental, sobre todo en regiones de alta demanda de agua subterránea, en zonas áridas que carecen de ríos y lagos, y donde este recurso es la llave para el desarrollo económico (Sophocleous, 1991).

Este proyecto se basó en el desarrollo de un balance hídrico en el reservorio Los Lirios en Agua Caliente con el objetivo de estimar la recarga potencial al acuífero mediante el cálculo de entradas y salidas que se producen en el reservorio. Además, se realizaron pruebas de infiltración para determinar la velocidad de recarga y la estimada recarga potencial, así como también se estudió el aporte del reservorio a las funciones ecosistémicas de la zona.

1.2 Declaración del Problema.

El proyecto Siembra y Cosecha de Agua de Lluvia del INDER desarrolló un reservorio en Agua Caliente con el fin de alimentar las zonas bajas por medio de la infiltración, la cual permite la formación de ojos de agua. Pese a esto, desde su elaboración, este reservorio no cuenta con estudios y análisis hidrológicos que permitan conocer las capacidades por las cuales fue construido.

Actualmente, no se conoce la velocidad de infiltración, por ende, no se conoce la recarga potencial que está aportando el área de estudio, ubicada en Agua Caliente al acuífero de la zona. Tampoco se conocen los potenciales recursos del reservorio

para cría de animales (porcinos, bovinos, vacunos y equinos), agricultura y para consumo humano.

Dentro del programa de Siembra y Cosecha de Agua de Lluvia, cabe destacar que se han construido más reservorios en distintas zonas de los cantones de Cañas, Bagaces, Tilarán y La Cruz, para los cuales el INDER tampoco tiene estudios técnicos previos que evalúen y determinen el funcionamiento de estos; razón que imposibilita garantizar la viabilidad del programa y la calidad de los reservorios.

El INDER necesita estudios técnicos propios del reservorio Los Lirios, ubicado en Agua Caliente, que permitan garantizar las actividades sociales, económicas y ecológicas de la zona, para así, disminuir el grado de vulnerabilidad socioambiental en relación con el recurso hídrico y mejorar la toma de decisiones por parte de los entes encargados.

1.3 Justificación

Un balance hídrico permite estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero y que se encuentra ubicado debajo de este (Faustino, 2011), así como también permite estimar las entradas y demás salidas del agua. Además, permitirá desarrollar una mejor gestión integral del recurso y una mejor planificación en estas zonas que sufren de estrés hídrico durante gran parte del año, con el fin de garantizar la sostenibilidad, los procesos productivos y el acceso al agua potable como lo establece el artículo 50 de la Constitución Política, mediante la Ley N°9849.

El siguiente documento expone la importancia de elaborar un balance hídrico en el reservorio Los Lirios en Agua Caliente con el fin de estimar la recarga potencial

y el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico, con base en los siguientes criterios:

En primer lugar, desarrollar un estudio técnico que permita al conocer la recarga y la velocidad de infiltración para evaluar el funcionamiento y el potencial aprovechamiento del reservorio para las actividades productivas de la zona y las funciones ecológicas. Actualmente, el INDER no cuenta con ninguna herramienta para realizar estos estudios, los cuales son de gran relevancia para la viabilidad del proyecto de Siembra y Cosecha de Agua de Lluvia.

En segundo lugar, la comunidad de Agua Caliente ubicada en Cañas, Guanacaste, demanda un proyecto como este para satisfacer las actividades diarias y productivas de los pobladores de la zona, así como garantizar la disponibilidad del recurso hídrico, especialmente para los meses de temporada de verano; el cual sea de calidad y en cantidad necesaria como lo establece el artículo 50 de la Constitución Política de nuestro país.

Por último, la importancia de este trabajo radica en el desarrollo de información técnica y metodologías aplicadas al reservorio Los Lirios, ubicado en Agua Caliente, las cuales se puedan aprovechar y replicar por parte del INDER y las demás comunidades que presentan un reservorio de este proyecto, con el fin de estimar las entradas y salidas de agua mediante el balance hídrico y el cálculo de la recarga potencial anual de este y demás reservorios del proyecto de Siembra y Cosecha de Agua de Lluvia. Esto permite disminuir las vulnerabilidades hídricas propias de cada zona y asegurando un adecuado ciclo de vida útil para el agua.

Con relación a los argumentos anteriormente citados, este proyecto beneficiará tanto al reservorio ubicado en Agua Caliente, como al programa de Siembra y

Cosecha de Agua de lluvia del INDER, mediante el desarrollo de información técnica, hidrológica e hidráulica que permita mejorar las condiciones de los reservorios y la disponibilidad y calidad del agua para las personas.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Elaborar un balance hídrico para estimar la recarga potencial del acuífero del Reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

1.4.2. Objetivos específicos

Calcular la velocidad de recarga potencial del reservorio a partir de pruebas de infiltración de suelos para estimar la recarga potencial del acuífero.

Determinar los posibles usos potenciales ecosistémicos del reservorio Los Lirios con el fin de dimensionar su potencial mediante el análisis de las interacciones naturales de su entorno.

Elaborar una propuesta de mejora en el reservorio que coadyuve a la maximización de la capacidad recarga y el aprovechamiento del recurso.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1. Alcances

- Fortalecer el proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia en Guanacaste brindando herramientas con alto potencial en el presente y a futuro de dicho proyecto.

- Exponer de una manera positiva la creación de reservorios y sus ventajas con el fin de que esta práctica sea más habitual tanto en Guanacaste como en todo el país.
- Dar a conocer la importancia de realizar balances hídricos y los resultados positivos que permite obtener un estudio como estos.
- Comprobar el buen funcionamiento de los reservorios mediante el balance de suelos y así dejar una herramienta al INDER para seguir replicando la metodología.
- Aportar instrumentos y tareas a realizar a futuro para mejorar la calidad de los reservorios y que estos cumplan su vida útil con las condiciones adecuadas.

1.5.2. Limitaciones

- Falta de estudios previos sobre el tema de investigación.
- La zona de estudio es de difícil acceso y un poco alejado del lugar de residencia por lo cual realizar las visitas conllevan bastante planificación y costos.
- Es necesario conseguir información hidrometeorológica, la cual una parte debe ser suministrada por instituciones gubernamentales o privadas y esto a veces es un poco tedioso o conlleva bastante tiempo, por lo cual retrasa un poco el proceso del proyecto.
- Falta de equipo técnico y presupuesto para poder realizar estudios de suelos y servicios ecosistémicos.

1.6 Resumen del reporte

1.6.1. Capítulo 1. Introducción del proyecto de estudio.

Este capítulo permite tener un acercamiento con el contenido en general del proyecto. Se detallan aspectos del como: la declaración problema donde se expresa la necesidad de conocer las condiciones de los reservorios, su funcionalidad y sostenibilidad por medio de distintas propuestas de aplicación, así como también se expone la justificación con el fin de aclarar de manera detallada los enfoques para el cual el proyecto es realizado.

Por otra parte, esta sección también abarca los objetivos tanto general como específicos, con el fin de destacar lo que se desea lograr a lo largo de este proyecto, además el apartado de alcances y limitaciones, esto para tener claro las pautas del proyecto y finalmente el capítulo concluye con el apartado de resumen del informe del proyecto.

1.6.2. Capítulo 2. Antecedentes.

En este capítulo se detallan los aspectos de la zona de estudio, los cuales permiten exponer la situación local y así como generar una idea del entorno en general de la zona. En este apartado se abordan la descripción de la zona con características geográficas, demográficas, así como sus interacciones socioeconómicas y se concluye presentando la situación Hidrográfica de la zona, esto porque son datos importantes para los estudios a realizar y permiten tener claro detalles de la cuenca y subcuenca que se trabaja.

1.6.3. Capítulo 3. Marco Teórico.

Esta sección básicamente abarca los conceptos más importantes y necesarios para el desarrollo y comprensión del proyecto. Este apartado es muy importante ya que permite a cualquier persona que lea el documento comprender términos complejos que se desarrollan a lo largo del proyecto. Además de mencionar instrumentos implementados en el proyecto para el buen desarrollo de este.

1.6.4. Capítulo 4. Prefactibilidad.

Este capítulo presenta un análisis de prefactibilidad utilizando una clasificación basada en la metodología que plantean Sapag y otros (2014), por las implicaciones del proyecto se analizaran las prefactibilidades legal, social, ambiental, financiera-económica y técnica. Posteriormente se presenta la evaluación y detalle de cada una y se concluyó que el proyecto es viable.

1.6.5. Capítulo 5. Metodología.

El capítulo cinco expone las pautas metodológicas requeridas para el proyecto y así se el cumplimiento de sus objetivos, estas pautas están compuestas por métodos y herramientas que se divide en recopilación de información, desarrollo de pruebas de infiltración, la realización del balance hídrico y, por último, identificación de los posibles servicios ecosistémicos de la zona de estudio y una lista de mejoras recomendadas.

Capítulo 2-Antecedentes

Este capítulo tiene como finalidad realizar una presentación de la descripción del área de estudio en cuanto a aspectos geográficos, demográficos, socioeconómicos e hidrográficos.

2.1. Introducción

El presente capítulo describe características del área de estudio que permiten adaptar la realidad local. Se presenta una descripción de la zona en base a sus características geográficas, demográficas y actividades socioeconómicas, esto con el fin de exponer y conocer más la zona de estudio. En esta zona de estudio se encuentra el reservorio Agua Caliente el cual es el instrumento de trabajo principal dentro de la zona de estudio.

2.2. Descripción de la zona de estudio.

El reservorio en estudio se encuentra en el pueblo de agua Caliente, que se localiza entre las coordenadas 1170000 - 1180000 metros este y 380000 - 390000 metros norte en la proyección CRTM05, pertenece al Distrito de Palmira en Cañas, Guanacaste. Limita al norte con el Parque Nacional Volcán Tenorio, al este con el pueblo de Nueva Guatemala, al sur con la ruta nacional 927 y al oeste con el Río Corobicí (Figura 2.1 y 2.2). La zona de Agua Caliente es de carácter rural, presenta asentamientos de vivienda, una iglesia católica, una escuela del Ministerio de Educación Pública, una plaza de fútbol, un centro de salud y un campo ferial.

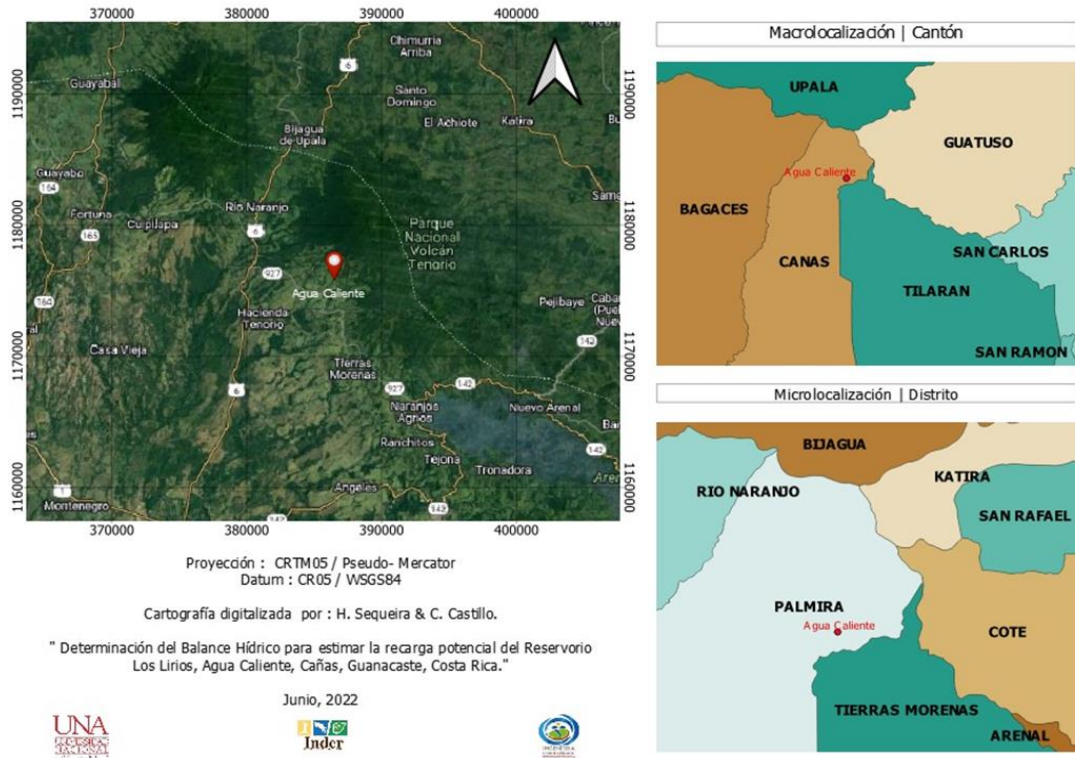


Figura 2.1. Mapa de ubicación del poblado Agua Caliente.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

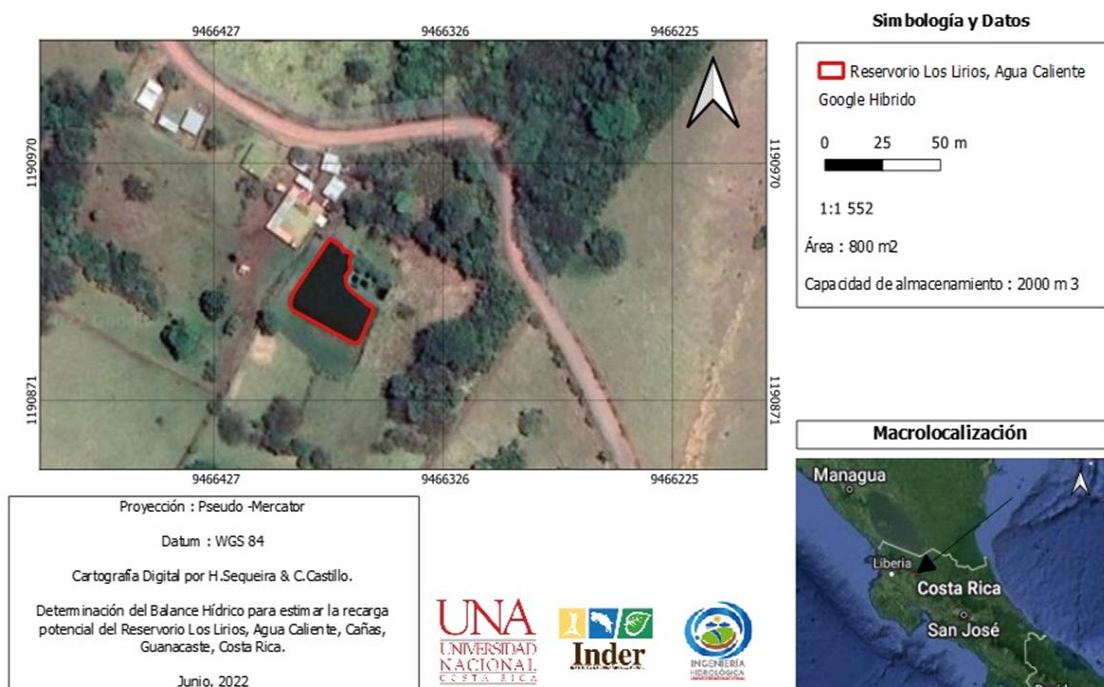


Figura 2.2. Mapa de ubicación del reservorio Los Lirios.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

2.2.1. Aspectos demográficos.

Agua Caliente es un pueblo ubicado en el distrito de Palmira, el cual pertenece al cantón de Cañas, por lo cual en este apartado se comentarán datos del distrito de Palmira para contextualizar la situación del pueblo de Agua Caliente, ya que el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en el 2011 muestra a detalle solo los datos del distrito y no de los barrios. Según el INEC (2011), Palmira cuenta con una población total de 988 personas, porcentaje de alfabetismo de 5,2%, la escolaridad promedio es de 5,8% y el porcentaje de población con secundaria y más es del 25,9 %. Además, se contabilizan 300 hogares, con una densidad de población de 4,8 % y una población urbana del 37,4%.

2.2.2. Aspectos socioeconómicos

En el pueblo de Agua Caliente las principales actividades económicas es la ganadería y la agricultura, donde los cultivos más frecuentes son de: frijoles, café, tomate, pero como detalle a destacar se menciona que una parte de la población se desplaza a otras áreas en busca de trabajo, como es común en las zonas rurales. Cuenta con atractivos turísticos cercanos como el Monumento el Farallón y el Volcán Tenorio, esto permite desarrollar ingresos para el pueblo ya que los turistas por lo general pasan por la zona para llegar a los atractivos turísticos. (Municipalidad de Cañas, 2020). Cabe destacar que la mayoría de las personas desarrollan labores que requieren poca preparación escolar lo que conlleva a que los ingresos sean poco significativos.



Figura 2.3. *Reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas, Guanacaste.*

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*



Figura 2.4. *Pueblo Agua Caliente, Cañas, Guanacaste.*

Fuente: *Asociación de Desarrollo Integral Agua Caliente de Cañas, (2022).*

2.3. Hidrográfica

Agua Caliente consta de una red fluvial definida, compuesta principalmente por el río Corobicí y los ríos de orden 1 llamados río Mauricio y río San Lorenzo.

La cuenca de estudio según el área de influencia entre las fuentes de abastecimiento de esta zona es la cuenca del Río Tempisque y la cual según Atlas del Tecnológico de Costa Rica (2014), forma parte de la subcuenca del río Corobicí-Magdalena.

La cuenca del río Tempisque presenta un área de: 3.382,07 Km² y la subcuenca del río Corobicí - Magdalena tiene un área de 344.9489km².

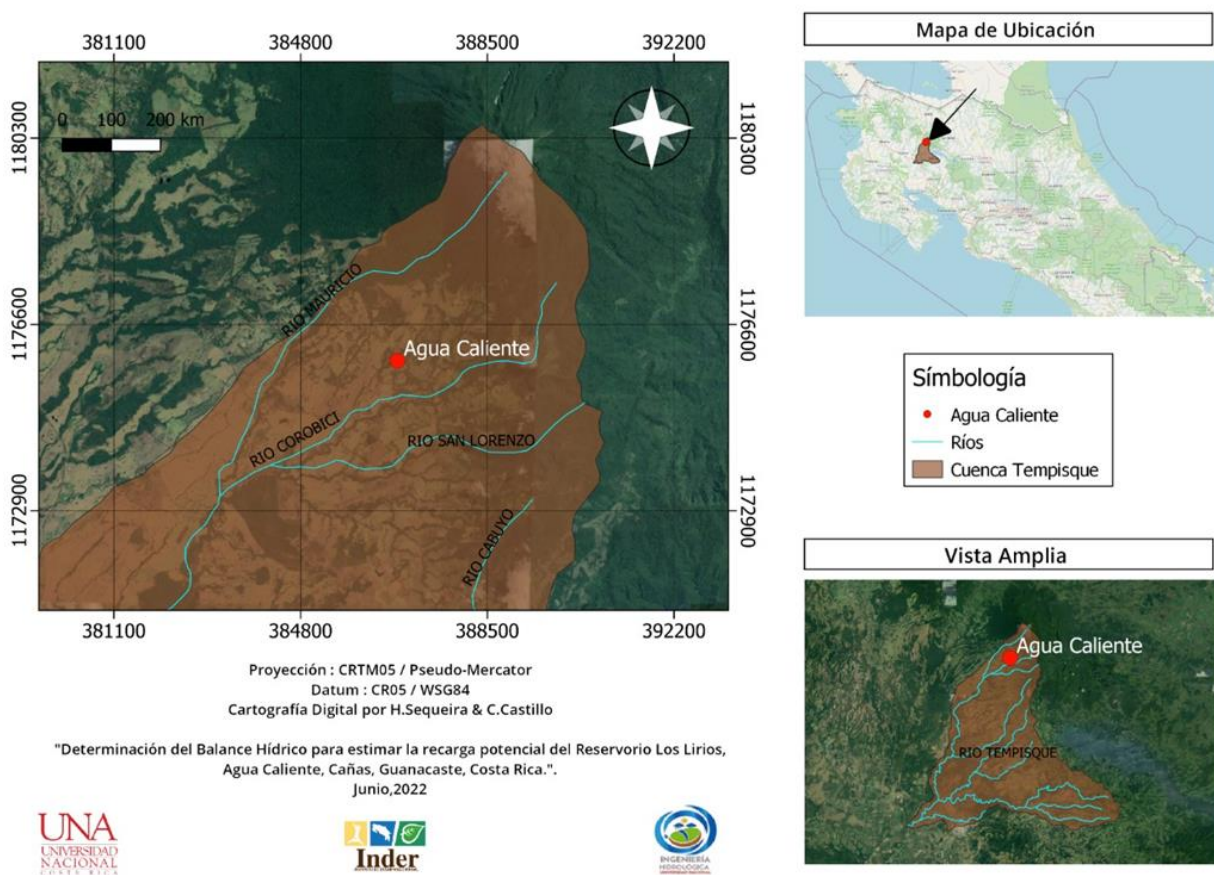


Figura 2.5. Mapa de la hidrografía de la zona de estudio.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

2.4 Conclusión

En este capítulo se detallaron los aspectos de la zona de estudio, en la que se conocieron las condiciones de la situación local y generar una idea del entorno en general de la zona. En este capítulo se desarrolló la descripción de la zona, mediante características geográficas, demográficas, así como sus interacciones socioeconómicas y se concluye presentando la situación hidrográfica de la zona en estudio.

Capítulo 3-Marco Teórico

La siguiente sección sintetiza conceptos de importancia que permiten comprender el propósito de este proyecto.

3.1. Introducción

La recolección de agua para el consumo humano o animal es una actividad tan antigua como el ser humano. Muchas de las obras históricas de captación de agua de lluvia para uso doméstico se originaron principalmente en Europa y Asia. Es muy posible que las primeras formas de recoger el agua fueran simples hoyos excavados en la roca, que captarán y almacenarán la escorrentía producida durante las tormentas. Por lo que estas técnicas de captación de agua de lluvia desempeñaron un papel importante en la producción agrícola y vida en general de las poblaciones antiguas (Mongil, Martínez de Azagra, 2007 y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2000).

Diversas sociedades humanas han luchado por su sobrevivencia durante varios milenios en ambientes áridos, semiáridos y secos, donde hay carencia de agua. Los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia ayudan a resolver los problemas de abastecimiento para su uso doméstico y riego, asimismo, representan opciones reales para incrementar los volúmenes disponibles de agua.

Lamentablemente, en América Latina y el Caribe, su utilización aún es limitada. Debido a esto, los gobiernos y comunidades buscan estrategias y unifican esfuerzos para enfrentar la creciente demanda, de ahí la urgencia de masificar la cultura del buen aprovechamiento del agua, mediante campañas masivas, utilizando todos los medios de comunicación y estableciendo programas y proyectos que conduzcan a mejorar el nivel de vida de los vecinos de zonas rurales (Anaya, 1998).

En ese sentido, producir agua es un término poco familiar por tratarse de un recurso que hasta hace poco era de fácil acceso, pero su escasez como problema global nos obliga a comprender que se corre el riesgo de su inminente agotamiento.

Producir agua debe entenderse como las acciones encaminadas a proteger y recuperar las áreas vitales para la existencia del agua, como son las zonas de filtración, áreas de recarga acuífera, nacientes, ríos y quebradas (Salinas, 2010).

Una de las opciones con las que se cuenta es la cosecha de agua de lluvia. La utilización de agua de lluvia ha estado presente por muchas generaciones, como una forma de suplir las necesidades de agua para diferentes usos como la agricultura, la atención de animales y el uso doméstico. Aunque por mucho tiempo ha sido relegada como una fuente de agua para las diversas actividades, en los últimos años esta práctica ha venido recobrando fuerza. (Rodríguez et al., 2010).

3.2 Conceptos importantes

3.2.1 Cosecha de Agua

La cosecha de agua se debe entender como la captación del agua de lluvia o de otra fuente en un sitio o suelo determinado, evitando su escurrimiento y pérdida innecesaria. Esto con el propósito de recoger, almacenar y conservar escorrentía local y superficial para la agricultura en regiones áridas y semiáridas principalmente, realizando su cosecha en algunas obras de captación construidas para este fin (Mongil y Martínez de Asagra, 2007; Orsag, 2010).

3.2.2. Cosecha de agua de lluvia

Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y distribuir el agua de lluvia de la mejor forma dentro de los distintos subsistemas de la unidad productiva (FAO, 2013).

3.2.3. Reservorios para almacenar agua

El almacenamiento de agua en reservorios permite tener, al productor agropecuario un suministro de agua de buena calidad en la estación seca o durante las sequías o veranillos que se presentan en la estación lluviosa (Salinas. 2010).

3.2.4. Balance Hídrico

El balance hídrico según la Organización Mundial Meteorológica (2011) está basado en el principio de que durante un cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de la cuenca o masa de agua. Además, es una herramienta útil para el planeamiento y manejo del recurso hídrico y sobre todo si se considera de manera integral, tanto el agua superficial como el agua subterránea.

3.2.5. Balance Hídrico Parcial

Según Paredes (2017), pueden realizarse en cualquier elemento físico del ciclo hidrológico ya sea natural (lagos) o artificial (reservorio). Generalmente se suelen realizar balances diarios para la determinación de las aportaciones al embalse a partir de los datos de oscilación del nivel del reservorio y de los caudales desaguados. En épocas de estiaje los balances se usan principalmente para el cálculo de las pérdidas por evaporación.

3.2.6. Ciclo Hidrológico

Sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masa de agua y evaporación (Campos, 1998).

3.2.7. Precipitación

La precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo (Villón, 2002).

3.2.8. Temperatura

La cantidad de energía solar retenida entre la superficie terrestre y el ozono en un momento dado, se le denomina temperatura y depende principalmente de la radiación solar. A pesar de esto, existen otros factores climáticos que alteran funcionalmente la temperatura, estos son: la altitud, la latitud y la proximidad al mar; se le adiciona también los cambios térmicos producidos por los movimientos de traslación y rotación de la tierra (Paredes, 2017).

3.2.9. Caudal

Se le denomina así a la relación existente entre el volumen de agua que fluye en una sección transversal (regular o irregular) y un intervalo de tiempo determinado en un río, canal o tubería (Paredes, 2017).

3.2.10. Evaporación

Es una etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y en toda superficie húmeda. Considerada un fenómeno permanente físico, la evaporación es el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso; sin embargo, hay otra evaporación provocada por actividad de las plantas, el cual recibe el nombre de transpiración (Villón, 2002).

3.2.11. Permeabilidad

La permeabilidad de las rocas del basamento está estrechamente ligada con su fisuramiento, originado por la meteorización. Estas rocas se distinguen por una permeabilidad muy irregular lo que hace notar en iguales límites inferiores de la variación del coeficiente de permeabilidad para diferentes zonas. (Paredes, 2017).

3.2.12. Textura del suelo

Se refiere a su composición en tamaños de las partículas minerales que lo componen, lo que tiene influencia sobre diversas características importantes, incluyendo la velocidad de infiltración y la capacidad de retención de agua disponible (FAO, 2000).

3.2.13. Profundidad del perfil del suelo

Este parámetro es particularmente importante para el sistema de captación de agua de lluvia. Los suelos profundos tienen la capacidad de almacenar más escorrentía superficial captada, mientras que los suelos con menos de un metro de profundidad son poco apropiados para la captación de agua de lluvia (FAO, 2013).

3.2.14. Pruebas de Infiltración

Según Geo Costa Rica (2022) la infiltración del agua en el suelo juega un papel fundamental en el ciclo hidrológico ya que determina la cantidad del agua superficial que permanecerá en el suelo, la que ocurrirá como flujo superficial o la que se recargará en los mantos acuíferos. Esta varía y depende directamente de las particularidades geológicas de cada sitio presentando una mayor infiltración en sitios donde el suelo está compuesto por materiales permeables como arenas o rocas y por lo contrario una menor infiltración cuando hay presencia de materiales impermeables

como por ejemplo las arcillas. Para determinar la velocidad de infiltración del agua se realizan pruebas de infiltración en el campo para lo cual existen diversos métodos entre los que se pueden mencionar Lefranc, Doble Anillo o Pourchet entre otros.

Las pruebas de infiltración, o de percolación como también se les conoce, comprenden procedimientos para evaluar la cantidad de agua que penetra en el suelo en un determinado intervalo de tiempo para determinar la permeabilidad del suelo y el tránsito de contaminantes de la superficie hacia los mantos acuíferos.

Establecer la velocidad de infiltración de las aguas en el suelo es de suma importancia para fijar la permeabilidad del suelo que es utilizado entre otras razones para diseñar campos de infiltración para el diseño de tanques sépticos, el estudio de tránsito de contaminantes de la superficie hacia los mantos acuíferos, elaboración de modelos hidrogeológicos, estudios de balance hídrico, entre otros.

3.3 Teoría y prácticas de referencia.

El proyecto “Fortalecimiento del Uso del Recurso Hídrico mediante Siembra y Cosecha de Agua de Lluvia para los territorios Abangares-Cañas-Bagaces-Tilarán y Liberia-La Cruz” realizado por el INDER y demás empresas gubernamentales tiene como fin la creación de distintos reservorios en el área de Guanacaste y uno de estos fue el seleccionado para realizar un balance hídrico de suelos con el fin de comprobar la función principal de estos que es la recarga hídrica de los mantos acuíferos.

Se busca ofrecer a los usuarios, resultados que comprueben con dicho estudio que el reservorio cumple su función y garantizar la funcionalidad de este.

En Costa Rica los reservorios son un instrumento que va en aumento y se está en proceso el que más personas a lo largo del país vean su potencialidad y esto se refleja en que el Gobierno de la República publicara un “Reglamento para la cosecha de Lluvia N° 43100-MINAE”, esto para regular la construcción de estos, así como fomentar su uso.

3.4 Conclusión.

El capítulo tres expuso los conceptos claves para el desarrollo de los posteriores capítulos, además evidenció la importancia de practicar la siembra y cosecha de agua ya que esta trae consigo gran cantidad de beneficios para la población, en especial en la época seca. Esto también incluye la importancia y descripción a base de conceptos claves de un balance hídrico y por último el concepto y detalles importantes de las pruebas de infiltración. Cabe destacar que estos tres aspectos se complementan y su correcta comprensión permite completar con éxito los objetivos y metas a cumplir.

Capítulo 4-Estudios de Prefactibilidad

Para este capítulo se sigue la metodología de Sapag y otros (2014), en donde se proponen cinco estudios para la evaluación de este proyecto, estos son: Técnico, Legal, Ambiental, Económico-Financiero y Social.

4.1. Introducción.

Según (Sapag et al., 2014), en la sección de prefactibilidad se presentan los aspectos importantes vistos desde diferentes perspectivas según la metodología expuesta. Esta posee nueve clasificaciones de las cuales se seleccionaron cinco por la naturaleza del proyecto (Figura 4.1).



Figura 4.1. Viabilidades del proyecto según Sapag et al., (2014).

Fuente: Sequeira & Castillo,2022.

4.2. Prefactibilidad Legal

En la **tabla 4.1** se presenta el marco regulatorio del proyecto a desarrollar. Dentro de este se encuentra el orden jerárquico de jurídico de la República de Costa Rica con relación al derecho que posee toda persona al agua, al ambiente, al recurso hídrico, el uso sostenible de este y la conservación, con el objetivo de comprobar la viabilidad legal del proyecto.

Tabla 4.1. Marco de referencia legal aplicable al proyecto.

| Marco Legal | Descripción y relación con el proyecto |
|---|--|
| Constitución Política de Costa Rica | El Artículo 50 establece que toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Además, toda persona tiene el derecho humano, básico e irrenunciable de acceso al agua potable, como bien esencial para la vida. El objetivo de los reservorios y del Proyecto de siembra y cosecha de agua es el de garantizar el acceso al recurso por parte de los pobladores de la zona para su uso en actividades productivas y para contribuir a la recarga de acuíferos, que asegure la disponibilidad del agua a futuro en cantidad y calidad. Partiendo de esto mencionado, el estudio se sustenta con la finalidad del artículo 50. |
| Ley Orgánica del Ambiente N° 7554 | Los Artículos 50, 51 y 52 inciso b establecen que el agua es de dominio público, su conservación y uso sostenible son de interés social, así como que existen una serie de criterios para la conservación y uso sostenible del agua, lo que expresa la finalidad del proyecto. |
| Reglamento para la cosecha de lluvia N° 43100-MINAE | En este reglamento se definen los procedimientos a cumplir para la instalación de los sistemas de cosecha de lluvia, que contribuyan a la disponibilidad de recurso hídrico para el uso en actividades productivas y sociales. Toda persona, física o jurídica podrá realizar cosecha de lluvia y almacenarla, hasta por un volumen de 5000 metros cúbicos dentro de su propiedad, sin que se requiera contar con viabilidad ambiental emitida por SETENA. Con base en lo anterior, se evidencia la necesidad legal del estudio del reservorio y por ende la del proyecto a realizar. |

| | |
|--|---|
| <p>Decretos Ejecutivos N° 38642-MP-MAG, 41944-MP-MAG y N° 41852-MP-MAG.</p> | <p>Se declara estado de emergencia la situación generada por el déficit hídrico del país, consecuencia del comportamiento anormal de las precipitaciones, que afecta a la zona donde se realiza el estudio, poniendo en riesgo la disponibilidad del recurso para personas de la zona y el aumento de la vulnerabilidad de la zona ante eventos hidrometeorológicos extremos. Con base en lo anteriormente mencionado, se justifica el proyecto por realizar.</p> |
| <p>Decreto Ejecutivo N° 40453-MINAE-MAG-TUR</p> | <p>El artículo 1 establece que se debe promover el acceso al agua por la población, priorizando el consumo humano y atendiendo los requerimientos de agua para el desarrollo económico de la Vertiente Pacífico Norte; todo bajo un escenario de sostenibilidad hídrica y protección al medio ambiente. Dentro de esta perspectiva, que se encuentra dentro del trabajo, se justifica el estudio.</p> |
| <p>Modificación al Artículo 7 de la Resolución N° 2373-2016-SETENA. Proyecto de muy bajo impacto. Resolución N° 1462-2018-SETENA</p> | <p>El Artículo 5 – Actividades, determina los proyectos, actividades u obras que se consideran de muy bajo impacto ambiental, que no ameritan la realización de evaluaciones de impacto ambiental de SETENA. El proyecto por realizar se considera de muy bajo impacto ambiental.</p> |

Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

De acuerdo con el marco de referencia legal expuesto, el proyecto posee viabilidad legal para su desarrollo.

4.3. Prefactibilidad Social

La percepción social en base al proyecto es un elemento importante ya que permite conocer el pensar de los actores claves y con esto se logra un diálogo entre todas las partes y evitar conflictos a futuro sobre el proyecto por falta de información o consulta.

Por ende, para determinar el estudio de prefactibilidad social se identificaron los actores sociales importantes para el proyecto, los cuales tienen funciones vitales en el mismo y permiten una mejor logística dentro del proyecto (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Actores sociales clave para la determinación de la percepción social.

| Grupos de actores Claves | Cantidad de personas que representan |
|--|--------------------------------------|
| Oficina de Desarrollo Territorial INDER Cañas | 2 |
| Dueño del Reservorio | 1 |
| Universidad Nacional (UNA) | 2 |

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

Una vez identificados los grupos de actores claves, se aplicaron cuatro tipos de mecanismos de consulta.

El primer mecanismo fue una reunión virtual con el tutor representante de la Universidad Nacional especialista en el tema con el fin de mostrar el proyecto y obtener retroalimentación y aceptación y así tener una mejor presentación del

proyecto para las siguientes reuniones con los actores claves en las que el proyecto sería presentado.

El segundo correspondió a reuniones tanto virtuales como presenciales con los representantes del INDER Cañas para comentarles sobre el proyecto y la idea inicial para conocer sus puntos de vista y aceptación de este, así como responder consultas, aceptar sugerencias y finalmente la aceptación del proyecto.

El tercero fue una reunión presencial con el dueño del reservorio para explicarle el proyecto que queríamos realizar en su reservorio y los beneficios que se obtendrían a partir del mismo, así mismo escuchar las consultas e inclusive algunas sugerencias con el fin de llegar a un acuerdo con él y poder tener el permiso para el acceso al reservorio. Finalmente se llegó al acuerdo deseado y se obtuvo el permiso del dueño del reservorio.

El cuarto y último mecanismo fueron las giras al reservorio donde estuvieron presentes el personal del INDER Cañas y el dueño del reservorio, esto con el fin de realizar una reunión presencial con los actores claves en conjunto y así conocer algunos puntos de vista nuevos, comentar temas importantes del proyecto hasta la fecha y por último obtener el último visto bueno y aprobación del proyecto, el cual se logró con éxito.

Considerando la posición de los actores y los desarrolladores del estudio, el proyecto posee viabilidad social para su realización.

4.4. Prefactibilidad Ambiental.

Inicialmente es importante conocer el concepto de un proyecto de muy bajo impacto ambiental potencial:

“se refiere a las actividades humanas que, por su naturaleza no provocan alteración negativa del ambiente y que no representan una desmejora de la calidad ambiental del entorno en general o de alguno de sus componentes, ni afectación a la salud de la población, debido a que las emisiones atmosféricas, vertidos de aguas residuales, manejo de residuos ordinarios y especiales y ruido se ajustan a las disposiciones establecidas en la regulación vigente. Además, no se utilizan productos peligrosos y no generan residuos de este tipo.”. (SETENA, 2018).

Basándose en la definición anterior fundamentada en la “Resolución N° 1462-2018-SETENA”, además del artículo cinco del mismo, donde se engloban de manera implícita estudios técnicos como el propuesto, ya que no se requiere intervención humana que provoque alteración en el medio ambiente para su realización. Además, la propuesta se orienta en la optimización técnica del servicio existente y así lograr un mejor rendimiento de dicha herramienta que es de aprovechamiento ambiental, social esto por sus funciones y usos, lo cual expone implicaciones socio ambientales positivas relacionadas a este proyecto.

Según lo argumentado anteriormente el proyecto no requiere la viabilidad-licencia ambiental de SETENA, ya que se considera como una actividad de muy bajo impacto ambiental potencial y deduce que es viable ambientalmente.

4.5. Prefactibilidad Técnica.

Según Sapag et (2014) este estudio tiene por objeto proveer información para cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación pertinentes a esta área, además se determinarán los requerimientos de equipos de fábrica para la operación y el monto de la inversión correspondiente. Uno de los resultados esperados al realizar este estudio es que se defina la función de producción que optimice el empleo de los recursos disponibles en la producción del bien o servicio del proyecto.

Para realizar este proyecto se necesita la utilización de dos softwares, los cuales permiten el completo desarrollo de las distintas etapas a realizar. Cabe destacar que el software QGIS es de código libre por lo cual es gratis, mientras que el software Excel 365 si requiere de un costo para obtener la licencia, pero en este caso, se utilizará la licencia de estudiante.

Con respecto a los costos de inversión necesarios para la adquisición de los recursos materiales, se adjuntan dos, la computadora y el teléfono celular, por ende, con estos datos se deduce un total de costos equivalente a ₡ 2 000 000 (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. *Presupuesto de la prefactibilidad técnica.*

| Material | Cantidad | Observaciones |
|------------------|----------|--|
| Computadora | 2 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Teléfono Celular | 2 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Pala | 2 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Cinta métrica | 1 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Botas de hule | 2 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Capa para lluvia | 2 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Plan de Internet | 2 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |

Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

4.6. Prefactibilidad Financiera.

Según Sapag et al., (2014) los objetivos de esta etapa son ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionaron las etapas anteriores, elaborar los cuadros analíticos y datos adicionales para la evaluación del proyecto y estudiar los antecedentes para determinar su rentabilidad.

Este estudio a su vez permite identificar y organizar los distintos puntos de inversión, ingresos y costos que puedan resultar de los estudios previamente realizados. Con respecto al proyecto existen resultados de forma intangible ya que se necesita generar información con respecto a la metodología, pero claramente existen resultados tangibles que corresponden a giras y procesos necesarios por realizar.

Un estudio financiero involucra una organización y sistematización de toda la información financiera suministrada preliminarmente, la cual es de utilidad para realizar un análisis de esta y así lograr determinar su viabilidad en términos financieros (Sapag et al., 2014).

Los costos corresponden al valor sacrificado de manera que se obtengan bienes y servicios, estos pueden dividirse entre los costos directos e indirectos. Los primeros refieren el costo de los insumos del proyecto, mientras que los costos indirectos corresponden a los cambios asociados en los consumos de bienes y servicios durante la ejecución del proyecto (Sapag et al., 2014). En la **Tabla 4.4** y **Tabla 4.5** se desglosan los costos directos e indirectos del proyecto a realizar en el reservorio Los Lirios, en Agua Caliente, Cañas, Guanacaste.

Para el desarrollo de este presupuesto se dividieron los egresos en costos directos, dentro de los cuales están las pruebas de infiltración, los datos meteorológicos de precipitaciones y el equipo técnico indispensable para realizar el proyecto, como lo son las computadoras y los teléfonos celulares.

Para los costos indirectos, estos se dividen en las giras de campo al reservorio Los Lirios en Agua Caliente, gastos asociados a alimentación (desayuno y almuerzo), pasajes El Salto- Cañas y transporte hasta Agua Caliente de Cañas. Para la categoría Otros, se destina un presupuesto del 10% para posibles imprevistos del proyecto y los honorarios profesionales como desarrolladores del proyecto.

Tabla 4.4. Costos directos del PFG.

| Descripción | Precio(₡) | Unidad | Cantidad | Precio Total(₡) | Observaciones |
|--------------------------|-----------|--------|-----------------|-----------------|--|
| Costos Directos | | | | | |
| Pruebas de infiltración | 139 600 | Unidad | 2 | 279 200 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Datos de Precipitaciones | - | Unidad | - | - | Suministrados por el ICE |
| Computadora | 500 000 | Unidad | 2 | 1 000 000 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Teléfono Celular | 500 000 | Unidad | 2 | 1 000 000 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| | | | Subtotal | 2 279 200 | |

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

Tabla 4.5. Costos indirectos del PFG.

| Descripción | Precio(₡) | Unidad | Cantidad | Precio Total(₡) | Observaciones |
|-------------------|-----------|--------|-----------------|-----------------|--|
| Costos Indirectos | | | | | |
| Giras de campo | 25 400 | Global | 6 | 152 400 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto e INDER |
| QGIS | 0 | Unidad | 2 | 0 | Uso libre |
| Excel 365 | 0 | Unidad | 2 | 0 | Licencia estudiantil |
| Pala | 5 495 | Unidad | 2 | 10 990 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Cinta métrica | 5 450 | Unidad | 1 | 5 450 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Botas de hule | 9 850 | Unidad | 2 | 19 700 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Capa para lluvia | 7 950 | Unidad | 2 | 15 900 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| | | | Subtotal | 204 440 | |

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

Tabla 4.6. Otros gastos y costos del PFG.

| Descripción | Precio(₡) | Unidad | Cantidad | Precio Total(₡) | Observaciones |
|--------------------------|-----------|--------|-----------------|------------------|--|
| Otros | | | | | |
| Honorarios profesionales | 12 000 | Hora | 320 | 3 840 000 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto (160 horas por ingeniero) |
| Imprevistos | 248 364 | – | – | 248 364 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| Botiquín médico | 9 525 | unidad | 1 | 9 525 | Costo asumido por desarrolladores del proyecto |
| | | | Subtotal | 4 097 889 | |

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Tabla 4.7. Costos totales del PFG.

| Tipo de costo | Monto (₡) |
|---------------------------------|------------------|
| Costos Directos | 2 279 200 |
| Costos Indirectos | 204 440 |
| Otros | 4 097 889 |
| Costo Total del Proyecto | 6 581 529 |

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Una vez determinados los costos directos, indirectos y otros costos, se obtiene un costo total del proyecto de 6 581 529 millones de colones. Estos montos serán asumidos por los desarrolladores del proyecto junto con el apoyo del INDER. Se determina que el proyecto cuenta con la viabilidad financiera.

4.7 Conclusión

Este capítulo mostró un análisis de prefactibilidad utilizando una clasificación basada en la metodología planteada por Sapag y otros (2014). Al desarrollar las

prefactibilidades del proyecto por realizar (legal, social, ambiental, financiera-económica y técnica), se concluye que el proyecto es viable para su ejecución.

Capítulo 5- Metodología

En este capítulo se presentará la metodología a utilizar, esto con el fin de cumplir los objetivos planteados, este capítulo para su mejor comprensión se dividirá en tres etapas, las cuales son: recopilación de información, estimación de parámetros y resultados esperados.

5.1. Introducción

Al retomar lo mencionado en la conclusión del capítulo cuatro, el presente apartado permitirá desglosar y detallar la estrategia metodológica definida para cumplir los objetivos del proyecto.

5.2. Descripción de la metodología.

Este proyecto referencia el uso de dos tipos de información. La cuantitativa, traducida en la recopilación de datos hidrometeorológicos necesarios para el desarrollo del proyecto, así como los datos que se elaborarán, a partir del balance hídrico del reservorio y las pruebas de infiltración. La información cualitativa será reflejada en insumos de percepción sobre las funciones y beneficios ecosistémicos del reservorio, por parte del dueño del reservorio, personeros del INDER y los desarrolladores del proyecto.

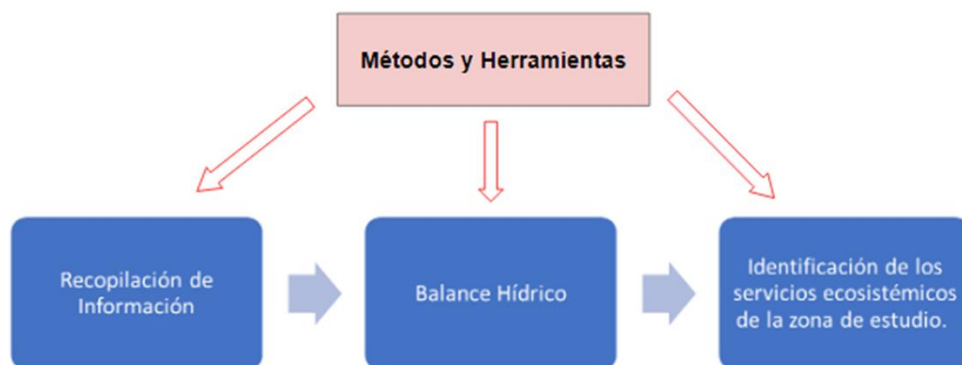


Figura 5.1. *Métodos y herramientas para desarrollar el proyecto.*

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

En consideración con lo antes mencionado, el abordaje metodológico del proyecto comprende una estrategia mixta (Sapag et al., 2014).

5.3 Métodos y herramientas.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se requiere del seguimiento cronológico de los pasos a detallar en las próximas subsecciones.

5.3.1. Recopilación de datos e información

El desarrollo del proyecto iniciará con la recopilación de una serie de datos predeterminados como información base para la aplicación de los métodos del balance hídrico para el reservorio, las pruebas de infiltración y el análisis ecosistémico (Figura 5.2).

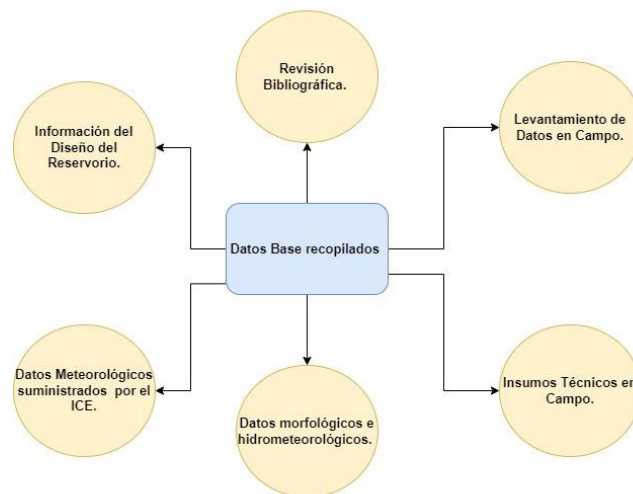


Figura 5.2. Datos base recopilados.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Una vez realizada la recopilación de datos base para el desarrollo del proyecto, se procedió a iniciar con la implementación del balance hídrico y las pruebas de campo.

5.3.2. Prueba de infiltración

Se realizaron dos pruebas de infiltración en el reservorio según la metodología propuesta por Giusti & Spoerl (2020), en el Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas, Decreto N°42075-S-MINAE (Anexo 3).

A continuación, se detalla la metodología a seguir:

- a) Se realizó un agujero o gaveta de $\varnothing 80-100$ cm * 30-60 cm.
- b) Se realizó una segunda excavación dentro de la gaveta de 10-30 cm de ancho y 30 cm de profundidad.
- c) Se llenó la segunda excavación con una capade grava fina de 5 cm.
- d) Se realizaron la prueba una vez obtenida la saturación del suelo.
- e) Se llenó con agua la segunda excavación y se anotarán los niveles de agua cada 30 minutos. Se realizarán 8 anotaciones en un lapso de 4 horas (240 minutos).

Tabla 5.1. Toma de datos de campo para la prueba de infiltración.

| Datos para la prueba de infiltración | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Intervalo de medición | Hora inicial | Hora final | Lectura inicial (Li) | Lectura final (Lf) | Diferencia (Lf-Li) |
| | | | Centímetros | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |

Fuente: Giusti & Spoerl (2020).



Figura 5.3. *Realización de las gavetas para las pruebas de infiltración.*

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*



Figura 5.4. *Pruebas de infiltración.*

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

5.3.3. Tasa de infiltración

Con los datos que se obtengan de la prueba de infiltración se calculó la tasa de infiltración que, de acuerdo con la metodología mencionada anteriormente, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Ti = \frac{30 \text{ minutos de lectura}}{\text{Diferencia de nivel de agua en la última medición}} \text{ Ecuación [2]}$$

Este dato es de suma importancia porque permitirá estimar en nivel se encuentra la recarga potencial del reservorio por medio de su infiltración.

5.3.4. Velocidad de infiltración.

Una vez calculada la tasa de infiltración, se utilizarán los valores brindados por Giusti & Spoerl (2020) en el Anexo 3 del reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas. Los valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.2. *Velocidad de infiltración.*

| Tasa de infiltración min/cm | Vp (m/s) | Vp (l/m ² /día) |
|--------------------------------|-------------|-------------------------------|
| <2 | | |
| 2 | 10,50E-07 | 90,33 |
| 3 | 8,54E-07 | 73,76 |
| 4 | 7,39E-07 | 63,88 |
| 5 | 6,6 1E-07 | 57,13 |
| 6 | 6,04E-07 | 52,15 |
| 7 | 5,59E-07 | 48,28 |
| 8 | 5,23E-07 | 45,17 |
| 9 | 4,93E-07 | 42,58 |
| 10 | 4,68E-07 | 40,40 |
| 11 | 4,46E-07 | 38,52 |
| 12 | 4,27E-07 | 36,88 |
| 13 | 4,10E-07 | 35,43 |
| 14 | 3,95E-07 | 34,14 |
| 15 | 3,82E-07 | 32,98 |
| 16 | 3,70E-07 | 31,94 |
| 17 | 3,59E-07 | 30,98 |
| 18 | 3,49E-07 | 30,11 |
| 19 | 3,39E-07 | 29,31 |
| 20 | 3,31E-07 | 28,57 |
| 21 | 3,23E-07 | 27,88 |
| 22 | 3,15E-07 | 27,24 |
| 23 | 3,08E-07 | 26,64 |
| 24 | 3,02E-07 | 26,08 |

Fuente: *Giusti & Spoerl (2020).*

Para realizar este balance se utilizaron los registros de precipitaciones de la zona para el cálculo de los volúmenes de escorrentía y escurrimiento, siendo estos considerados como entradas del sistema u oferta, y los datos obtenidos de la infiltración, evaporación y evapotranspiración serán considerados como salidas de sistema o demanda del entorno.

A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del ser humano. El conocimiento de la estructura del balance hídrico es fundamental para conseguir un uso más racional de los recursos de agua en el espacio y en el tiempo, así como para mejorar el control y redistribución de estos; por ejemplo: trasvases de cuencas, control de máximas crecidas, etc. (Sokolov y Chapman, 1974).

Para el manejo eficiente de los recursos hídricos subterráneos, la cuantificación de la recarga natural es un requisito fundamental, sobre todo en regiones de alta demanda de agua subterránea, en zonas áridas que carecen de ríos y lagos, y donde este recurso es la llave para el desarrollo económico (Sophocleous 1991).

La recarga de agua subterránea es un proceso mediante el cual el agua superficial o de lluvia se percola a través del suelo hasta alcanzar el nivel de agua subterránea (Davis & Wiest 1971).

Los modelos de balance de agua en proyectos cerrados son una herramienta que permite proyectar, pronosticar y conocer con un alto grado de certeza los requerimientos y factores importantes a la hora de realizar proyectos hidrológicos.

Estos pueden realizarse en cualquier elemento físico del ciclo hidrológico ya sea natural (lagos) o artificial (reservorio). Generalmente se suelen realizar balances diarios para la determinación de las aportaciones al embalse a partir de los datos de oscilación del nivel del reservorio y de los caudales desaguados. En épocas de estiaje los balances se usan principalmente para el cálculo de las pérdidas por evaporación.

Por ende, para el reservorio Los Lirios ubicado en Agua Caliente, Cañas, Guanacaste se desarrolló un balance hídrico basado en datos obtenidos de distintas fuentes, así como las giras realizadas que se detallaran en cada apartado.

5.3.5. Balance hídrico

Para realizar el balance hídrico se determinó el área de estudio, se recopiló toda la información bibliográfica requerida y se realizaron los cálculos siguiendo la metodología propuesta por Schosinsky, mediante la hoja de cálculo de Excel para realizar los filtros y obtener los datos necesarios. A continuación, se presenta la

secuencia de cálculos y las consideraciones para el cálculo del balance hídrico de suelos desarrollado en el reservorio Los Lirios.

5.3.6. Precipitación y temperatura

Los datos de precipitación se obtuvieron para el periodo comprendido entre los años 2006 – 2021, por medio de una solicitud al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), para la estación llamada Tierras Morenas, que es la más cercana al área de estudio.

Tabla 5.3. Información de la estación de Tierras Morenas.

| NÚMERO | NOMBRE DE LA ESTACIÓN | NORTE | ESTE | ELEVACIÓN (m.s.n.m.) | SISTEMA DE COORDENADAS |
|--------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|------------------------|
| 76006 | Tierras Morenas | 116881 7,29 | 387648 ,618 | 683,403 | CRTM-05 |

Fuente: ICE, 2022.

Las temperaturas se obtuvieron de los promedios de temperatura anual de las zonas de vida correspondiente, se ponderaron según el área de cobertura de cada zona, ya que las estaciones brindadas por el ICE no tenían datos de precipitación, ya que al ser estaciones tipo C (tipo de estaciones del ICE que no cuentan con medición de temperatura), no se cuenta con medición de temperatura.

Mapa Referente a la zona de vida en la que se ubica el Reser vorio Los Lirios

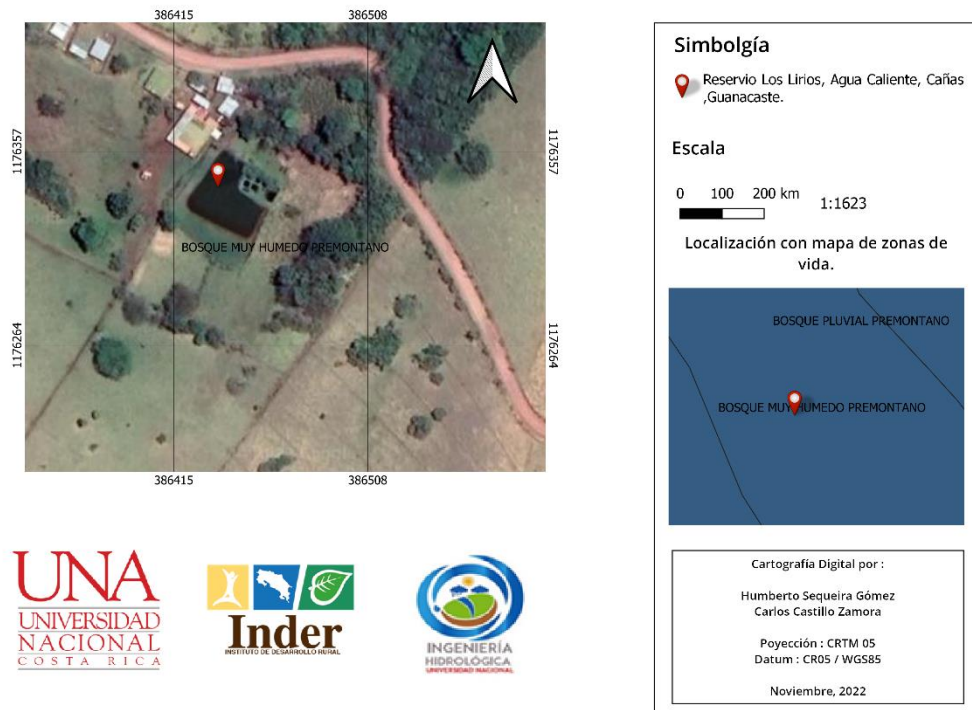


Figura 5.5. Mapa de zonas de vida y ubicación del reservorio Los Lirios.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Mediante el Atlas y utilizando las zonas de vida, se define que el área de estudio se encuentra dentro del clima tipo Bosque Muy Húmedo Premontano. Con esto se determina que la temperatura promedio de la zona de estudio oscila entre los 18- 24 C °; para este caso en estudio por criterio propio de los desarrolladores del proyecto, se utilizará una temperatura de 24° C para el cálculo del balance hídrico.

5.3.7. Precipitación que infiltra el suelo

En el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (Pi), se consideraron las siguientes variables:

- La precipitación mensual (P)
- La precipitación retenida (Ret)

- El coeficiente de infiltración (Ci)

$$P_i = (C_i)(P-R_{et}) \quad \text{Ecuación [1]}$$

El coeficiente de infiltración Ci se calculó considerando tres factores que afectan la infiltración, la textura del suelo, la pendiente del suelo y la cobertura vegetal del suelo, así:

$$C_i = K_p + K_v + K_{fc}. \quad \text{Ecuación [2]}$$

Donde:

Ci = Coeficiente de infiltración [adimensional].

Kp = Fracción que infiltra por efecto de pendiente [adimensional] (Figura 5.5).

Kv = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal [adimensional] (Figura 5.5).

Kfc = Fracción que infiltra por textura del suelo [adimensional] Ecuación [3]

El Kfc o coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo, se calculó con la siguiente ecuación (Schosinsky & Losilla, 2000):

$$K_{fc} = 0,267 \ln(fc) - 0,000154fc - 0,723 \quad \text{Ecuación [3]}$$

Si fc es menor a 16 mm/día Kfc = 0,0148fc /16

Si fc es mayor de 1568 mm/día Kfc = 1

fc: capacidad de infiltración del suelo

| Por pendiente: | Pendiente | Kp |
|----------------|-------------|------|
| Muy plana | 0,02%-0,06% | 0,30 |
| Plana | 0,3%-0,4% | 0,20 |
| Algo plana | 1%-2% | 0,15 |
| Promedio | 2%-7% | 0,10 |
| Fuerte | mayor de 7% | 0,06 |

| Por cobertura vegetal: | Kv |
|------------------------------------|------|
| Cobertura con zacate menos del 50% | 0,09 |
| Terrenos cultivados | 0,10 |
| Cobertura con pastizal | 0,18 |
| Bosques | 0,20 |
| Cobertura con zacate más del 75% | 0,21 |

Figura 5.6. Valores de K_p y K_v para el cálculo del coeficiente de infiltración (C_i).

Fuente: Schosinsky & Losilla (2000).

En ningún caso el coeficiente de infiltración (C_i) ha de ser mayor de 1, si así fuese, se le asigna a C_i el valor de 1.

5.3.8. Escorrentía superficial

Una vez obtenidos los valores de precipitación, precipitación retenida e infiltración se calculó el valor de la escorrentía superficial que corresponde a la precipitación mensual menos la precipitación retenida en el follaje menos la infiltración.

$$ESC = P - Ret - Pi \quad \text{Ecuación [4]}$$

ESC = Escorrentía superficial en mm/mes.

P = Precipitación en mm/mes (dato meteorológico).

Ret = Precipitación retenida en mm/mes.

Pi = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en mm/mes *Ecuación* [1]

5.3.9. Evapotranspiración

Esta variable se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo. La evapotranspiración potencial real se consideró proporcional a la humedad del suelo considerando los valores de capacidad de campo y punto de marchitez en la siguiente ecuación:

$$\text{ETPR} = (\text{HS} - \text{PM}) (\text{ET}) / (\text{CC} - \text{PM}) \quad \text{Ecuación [5]}$$

Donde:

ETPR [mm/día] = Evapotranspiración potencial real

HS [%] = Humedad del suelo

ET [mm/día] = Evapotranspiración de la planta a capacidad de campo

CC [%] = Capacidad de campo

PM [%] = Punto de marchitez permanente

Sin embargo, en áreas extensas es complicado poder determinar con exactitud las características de cada tipo de cultivo. Por lo tanto, se calculó la evaporación potencial con la información obtenida de la estación meteorológica y utilizando la fórmula de Blaney & Criddle, recomendada por Schosinsky:

$$\text{ETPo} = (8.10 + 0.46 T) \text{Ps}$$

Donde T es la temperatura media y el PS es un valor porcentual de corrección mensual que se muestra en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Porcentaje de horas de sol mensual (Ps), respecto al año, en la latitud 10° Norte.

| Mes | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|-----|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| % | 8.13 | 7.47 | 8.45 | 8.37 | 8.81 | 8.6 | 8.86 | 8.71 | 8.25 | 8.34 | 7.91 | 8.1 |

Fuente: Valverde, 2000.

Como la evapotranspiración y la infiltración ocurren juntas en el mes, la siguiente fórmula las relaciona

$$\text{ETPR (mm/mes)} = ((C1+C2) / 2) \text{ ETP} \quad \text{Ecuación [6]}$$

Donde:

ETPR= Evapotranspiración real tentativa promedio, en una zona, ocurrida durante el mes [mm/mes]

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración.

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1.

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

Los valores de C1 se calcularon con la siguiente ecuación:

$$C1 = (HSi - PM + Pi) / (CC-PM) \quad \text{Ecuación [7]}$$

Donde:

C1 = Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.

Hsi = Humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].

PM = Punto de marchitez en [mm].

Pi = Precipitación que infiltra en [mm/mes].

CC = Capacidad de campo en [mm].

Por su parte los valores del coeficiente C2 se calcularon con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{C2 = (HSi - PM + Pi - ETR1) / (CC-PM)} \quad \text{Ecuación [8]}$$

con ETR1 = (C1) (ETP)

Donde:

C2 = Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.

ETR1 = Evapotranspiración potencial real [mm/ mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente C1.

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

Para determinar la capacidad de campo, punto de marchitez y la densidad aparente del tipo de suelo donde se desarrolla el balance hídrico de suelos se utilizaron los valores propuestos por Israelsen y Hasen (2007). Se definirá el tipo de suelo de la zona de estudio según el Atlas del IGN (2014), y se utilizarán valores intermedios para el cálculo del balance.

Tabla 5.5. Capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente para diferentes texturas.

| % de peso de suelo seco TEXTURA DEL SUELO | PMP % | CC % | Densidad aparente (g/cm ³) |
|--|----------|---------|---|
| Arenoso | 2-6 | 6-12 | 1.55-1.80 |
| Franco-arenoso | 4-8 | 10-18 | 1.40-1.60 |
| Franco | 8-12 | 18-26 | 1.35-1.50 |
| Franco- arcilloso | 11-15 | 23-31 | 1.30-1.40 |
| Arcillo-arenoso | 13-17 | 27-31 | 1.25-1.35 |
| Arcilloso | 15-19 | 31-39 | 1.20-1.30 |

Fuente: Illescas, 2007.

Una vez definidas todas las variables y características necesarias para realizar el balance hídrico y la capacidad de recarga del terreno. Se utilizó una hoja de cálculo hecho por Schosinsky para obtener los resultados de este proyecto.

5.3.10. Profundidad de raíces

La profundidad de raíces varía dependiendo del tipo de cobertura vegetal y se obtuvo utilizando la **tabla 5.6**.

Tabla 5.6. Profundidad de raíz según tipo de cultivo.

| Cobertura vegetal | Profundidad de raíz (m) |
|-------------------|-------------------------|
| Alfalfa (pastos) | 1-2 |
| Algodón | 1-1.7 |
| Banano | 0.5-0.8 |
| Caña Azúcar | 1.20-2 |
| Frijol | 0.5-0.7 |
| Cebolla | 0.3-0.5 |
| Cítricos | 1.20-2.0 |
| Bosques | 2.0-3.0 |

Fuente: Schosinsky, 2006.

Como se puede apreciar en el Anexo 1 (registro fotográfico), el tipo de cobertura vegetal presente en la zona es alfafa (pastos), por lo que se utilizará un valor de profundidad de raíz promedio de 1.5 metros.

5.3.11. Humedad disponible

Es la humedad que pueden tomar realmente las raíces de las plantas, para poder evapotranspirar. Se calculó con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{HD \text{ (mm/mes)} = HSi + Pi - PM} \quad \text{Ecuación [9]}$$

Donde:

HD = Humedad disponible [mm/mes].

Hsi = Humedad de suelo inicial (al inicio del mes) [mm].

Pi = Precipitación que infiltra [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

Conociendo este valor se modificó la ecuación 9, según la condición:

Si $((C1+C2) / 2)$ ETP es menor o igual a HD, **ETR = $((C1+C2) / 2)$ ETP**

Ecuación [10]

Si $((C1+C2) / 2)$ ETP es mayor que HD, **ETR = HD** *Ecuación [11]*

Donde:

ETR = Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración

[adimensional].

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1, [adimensional].

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/ mes].

HD = Humedad disponible [mm/mes]

5.3.12. Recarga potencial del acuífero

Esta condición se da cuando el suelo llega a capacidad de campo y además el agua infiltrada cubre la evapotranspiración de las plantas, en ese caso hay agua sobrante con la que se realiza la recarga al acuífero. Se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR \quad \text{Ecuación [12]}$$

Donde:

R_p = Recarga potencial mensual en mm/mes.

P_i = Precipitación que infiltra en mm/mes.

H_{Sf} = Humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

La humedad final del suelo se calculó con la siguiente consideración:

Si $(HD + PM - ETR)$ es menor que la capacidad de campo, $H_{Sf} = HD + PM - ETR$

Si $(HD + PM - ETR)$ es mayor o igual que la capacidad de campo, $H_{Sf} = CC$

tomando en consideración también que:

HSi = Es igual a la humedad de suelo final del mes anterior

5.3.13. Déficit de capacidad de campo

La humedad en mm que falta para que la humedad del suelo alcance la capacidad de campo se calculó con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{DCC = CC - HSf} \quad \text{Ecuación [13]}$$

Donde:

DCC = Déficit de capacidad de campo, al final del mes [mm].

CC = Capacidad de campo en [mm].

HSf = Humedad del suelo al final del mes [mm].

5.3.14. Necesidad de riego

La cantidad de agua, mediante riego, que habría que agregar al suelo durante el mes, para mantener el suelo siempre a capacidad de campo y proporcionar al suelo la humedad ideal para obtener la máxima producción de un cultivo. Se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{NR = DCC - ETR + ETP} \quad \text{Ecuación [14]}$$

Donde:

NR = Necesidad de riego mensual [mm/mes].

DDC = Déficit de capacidad de campo, al final del mes [mm].

ETR = Evapotranspiración real [mm/mes].

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

5.4. Identificación de los servicios ecosistémicos de la zona de estudio.

A continuación, se presenta un diagrama con la metodología a seguir para cumplir con la identificación de los servicios ecosistémicos en la zona de estudio.

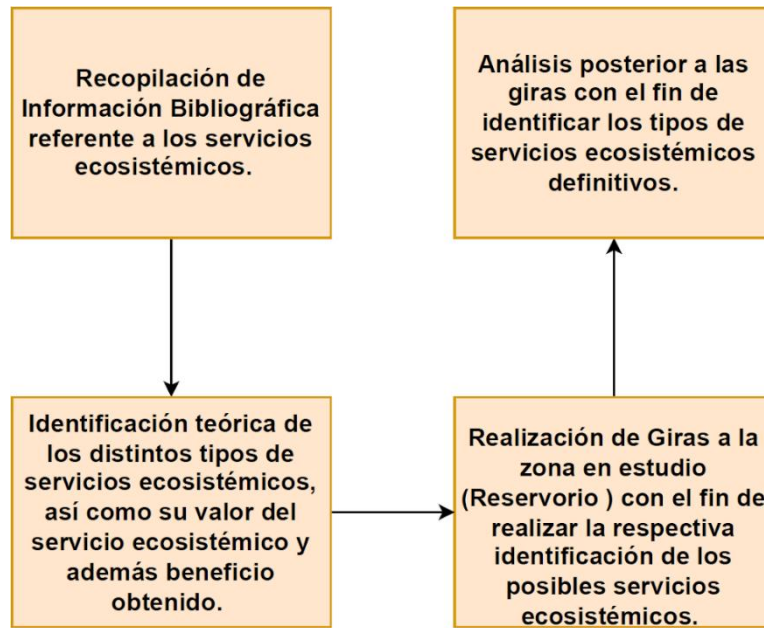


Figura 5.7. Metodología para la identificación de los servicios ecosistémicos.

Fuente: Sequeira & Castillo,2022.

Con base al punto anterior, se identificarán los posibles tipos de servicios ecosistémicos, así como el potencial valor del servicio ecosistémico que posee cada tipo y posterior a este el beneficio que cada valor del servicio ecosistémico podría brindar.



Figura 5.8. Descripción estructural propuesta para la identificación de los servicios ecosistémicos.

Fuente: Sequeira & Castillo,2022.

Por último, se realizó una lista de mejoras con una serie de recomendaciones según nuestro criterio profesional, con el fin de mejorar y potenciar las condiciones y características del reservorio Los Lirios, ubicado en Agua Caliente, Cañas, Guanacaste.

5.5. Conclusión.

Este capítulo expuso la estrategia metodológica y los pasos requeridos para el desarrollo del proyecto y el cumplimiento de los objetivos. Una vez explicado el marco metodológico, el capítulo seis presentará los resultados y la discusión de resultados derivados de la aplicación de la metodología.

5.6. Cronograma de actividades y presupuesto

En la figura 5.9 se presenta el cronograma de actividades referente a la metodología que se plantea para llevar a cabo este proyecto.

| Cronograma PFG | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|---|---|---|------------|---|---|---|---------|----|----|----|-----------|----|----|
| Actividades | Agosto | | | | Septiembre | | | | Octubre | | | | Noviembre | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Giras de campo y recopilación de datos en la zona de estudio. | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Giras de campo y realización de pruebas de infiltración para estimar la velocidad de recarga | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| Elaboración del balance hídrico general del reservorio Los Lirios | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| Giras de campo e identificación de los servicios ecosistémicos del reservorio | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| Análisis y discusión de los resultados obtenidos | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| Reuniones con personeros del INDER y el propietario del reservorio para mostrar los resultados obtenidos y las recomendaciones para la mejoras por realizar | | | | | | | | | | | | | | | ■ |

Figura 5.9. Cronograma de actividades del PFG.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Capítulo 6- Resultados y Discusión

La siguiente sección sintetiza los resultados y discusión de resultados obtenidos en el proyecto, con el fin de cumplir con los objetivos de este proyecto.

6.1. Introducción

Con base a lo comentado en la metodología se presentarán los cálculos, datos y demás información utilizada para completar el proyecto y cumplir con los objetivos estipulados.

6.2. Pruebas de Infiltración realizada en el reservorio.

La función principal y por la cual se construyó el reservorio Los Lirios es para facilitar y fortalecer la recarga de acuíferos, mediante el aprovechamiento de las condiciones del suelo y de la zona en estudio. Para poder determinar que el reservorio esté cumpliendo con este objetivo se desarrollaron dos pruebas de infiltración en este, con el fin de calcular y conocer la tasa de infiltración del suelo y con ello, estimar una velocidad de infiltración que permita cuantificar la recarga del reservorio mediante la percolación a los cuerpos de agua subterránea.

Antes de realizar las pruebas de infiltración, se reconocen las características y las condiciones en las cuales se encuentra el reservorio, que son de suma importancia para el óptimo funcionamiento. Es importante mencionar que a lo largo de todas las visitas que se realizaron al lugar el reservorio se encontraba en muy buenas condiciones, con un volumen de agua a su mayor capacidad, la cual es de 10 000 metros cúbicos, lo que permite un adecuado funcionamiento.

El reservorio Los Lirios es el resultado de la siembra y cosecha de agua, que empieza con la identificación de hondonadas naturales, en donde se construye un dique a base de arcilla compactada. Mediante este almacenaje y cosecha de agua, que se lleva a cabo a través de la captación de agua de lluvia, ayuda a que el reservorio pueda alimentar las zonas bajas por medio de la infiltración, la cual permite la creación de ojos de agua.



Figura 6.1. Observación de las características del reservorio Los Lirios.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Una vez realizadas las pruebas de infiltración, se procede a determinar los datos de tasa de infiltración y la velocidad de infiltración. En las siguientes tablas se presentan los datos y cálculos promediados de las pruebas de infiltración realizadas.

Tabla 6.1. Tabla de resultados de la prueba de Infiltración 1.

| Datos de Campo | | | | | |
|----------------|--------------|-------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| Prueba | Hora Inicial | Hora Final | Lectura Inicial (cm) | Lectura Final (cm) | Diferencia (cm) |
| 1 | 10: 00 a.m. | 10: 30 a.m. | 26 | 17 | 9 |
| 2 | 10: 30 a.m. | 11: 00 a.m. | 17 | 13 | 4 |
| 3 | 11: 00 a.m. | 11: 30 a.m. | 20 | 16 | 4 |
| 4 | 11: 30 a.m. | 12: 00 m.d. | 16 | 13 | 3 |
| 5 | 12: 00 m.d. | 12: 30 p.m. | 20 | 16 | 4 |
| 6 | 12: 30 p.m. | 01: 00 p.m. | 16 | 14 | 2 |
| 7 | 01: 00 p.m. | 01: 30 p.m. | 14 | 12 | 2 |
| 8 | 01: 30 p.m. | 02: 00 p.m. | 20 | 17 | 3 |

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Tabla 6.2. *Tabla de resultados de la prueba de Infiltración 2.*

| Datos de Campo | | | | | |
|-----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| Prueba | Hora Inicial | Hora Final | Lectura Inicial (cm) | Lectura Final (cm) | Diferencia (cm) |
| 1 | 10: 00 a.m. | 10: 30 a.m. | 30 | 20 | 10 |
| 2 | 10: 30 a.m. | 11: 00 a.m. | 20 | 15 | 5 |
| 3 | 11: 00 a.m. | 11: 30 a.m. | 15 | 11 | 4 |
| 4 | 11: 30 a.m. | 12: 00 m.d. | 25 | 21 | 4 |
| 5 | 12: 00 m.d. | 12: 30 p.m. | 21 | 18 | 3 |
| 6 | 12: 30 p.m. | 01: 00 p.m. | 18 | 15 | 3 |
| 7 | 01: 00 p.m. | 01: 30 p.m. | 15 | 13 | 2 |
| 8 | 01: 30 p.m. | 02: 00 p.m. | 13 | 10 | 3 |

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

Es importante mencionar que durante la prueba de infiltración (una vez realizada alguna lectura), si se consideraba necesario se le agregaba más agua al agujero, para que este contara con la suficiente agua que demanda la prueba de infiltración. Además, para el cálculo de la tasa de infiltración se necesita la diferencia de nivel de la última lectura, en ambos casos fue de 3 cm, razón por la cual se utiliza este valor promediado en ambas pruebas para obtener la tasa de infiltración.

6.2.1. Cálculo de la tasa de Infiltración (T)

$$T_i = \frac{30 \text{ minutos de lectura}}{\text{Diferencia de nivel de agua en la última medición}}$$

Tabla 6.3. *Tabla de Tasa de Infiltración.*

| | | | |
|---------------------------------|-------------------|---|-----------|
| Tasa de Infiltración (T) | 30 minutos / 3 cm | = | 10 cm/min |
|---------------------------------|-------------------|---|-----------|

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

Al realizar los cálculos establecidos en el Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (Decreto N° 42075-S-MINAE), en el Anexo 3 (Procedimiento para pruebas de infiltración), **se obtiene una tasa de infiltración de 10 cm/min**, la cual es indispensable tanto para obtener una estimación de la velocidad de infiltración de este suelo arcilloso, así como la posible recarga de agua al acuífero en un determinado lapso.

6.2.2. Cálculo de la Velocidad de infiltración (Vp)

Según el Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (Decreto N° 42075-S-MINAE), en el Anexo 3 establece las velocidades de infiltración según la tasa de infiltración calculada. A continuación, se muestran los valores de velocidad de infiltración (Vp):

Tabla 6.4. Velocidad de infiltración.

| Tasa de infiltración min/cm | Vp (m/s) | Vp (l/m ² /día) |
|-----------------------------|-----------|----------------------------|
| < 2 | | |
| 2 | 10,50E-07 | 90,33 |
| 3 | 8,54E-07 | 73,76 |
| 4 | 7,39E-07 | 63,88 |
| 5 | 6,61E-07 | 57,13 |
| 6 | 6,04E-07 | 52,15 |
| 7 | 5,59E-07 | 48,28 |
| 8 | 5,23E-07 | 45,17 |
| 9 | 4,93E-07 | 42,58 |
| 10 | 4,68E-07 | 40,40 |
| 11 | 4,46E-07 | 38,52 |
| 12 | 4,27E-07 | 36,88 |
| 13 | 4,10E-07 | 35,43 |
| 14 | 3,95E-07 | 34,14 |
| 15 | 3,82E-07 | 32,98 |
| 16 | 3,70E-07 | 31,94 |
| 17 | 3,59E-07 | 30,98 |
| 18 | 3,49E-07 | 30,11 |
| 19 | 3,39E-07 | 29,31 |
| 20 | 3,31E-07 | 28,57 |
| 21 | 3,23E-07 | 27,88 |
| 22 | 3,15E-07 | 27,24 |
| 23 | 3,08E-07 | 26,64 |
| 24 | 3,02E-07 | 26,08 |

Fuente: Giusti & Spoerl (2020).

Una vez determinada la velocidad de infiltración del reservorio, se obtiene un valor estimado de V_p de $4,68 \cdot 10^{-7}$ m/s, lo que representa al día el siguiente valor:

$$4,68 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s} * \frac{86\ 400\ seg}{1\ día} = 0,040\ m/día$$

Con esto se determinó, que el reservorio Los Lirios **posee una velocidad de infiltración estimada de 0,040 m/día**, y se evidencia que la función principal del reservorio se cumple, mediante la alimentación a los mantos acuíferos.

El proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia desarrollado por el INDER se encuentra en las primeras fases, actualmente, el objetivo sigue siendo la construcción de más reservorios en los cantones de Guanacaste, que permitan garantizar no solo el acceso al agua para las actividades agropecuarias y productivas de las comunidades rurales de la provincia, sino que también, el asegurar la disponibilidad del recurso para los próximos años.

Canija Canelo y Faustino (2007) mencionan que la captación de agua de lluvia es un medio para obtener agua para consumo humano y/o agrícola. Este proyecto nos muestra cómo se pueden aprovechar los recursos naturales, como lo es la lluvia, para manejar los recursos hídricos de forma sostenible y fomentar el sector económico y productivo de las zonas rurales.

Es importante recalcar que el proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia no solo debe de tener una visión por desarrollar más reservorios, los estudios técnicos a las estructuras hidráulicas, el mantenimiento y la investigación se deben de convertir en parte indispensable del proyecto, para un adecuado manejo integral que permita el fortalecimiento de las características de estos reservorios.

Este es el primer estudio técnico y científico que se desarrolla en estos reservorios, el cual demuestra no solo el amplio abanico de beneficios, sino que, evidencia que existe una recarga estimada considerable a partir del cálculo de

velocidades de infiltración. El objetivo es que se pueda llevar a cabo este estudio técnico en los demás reservorios del proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia del INDER y que compruebe la funcionalidad potencial de estos reservorios.

6.3. Balance Hídrico de Suelos en el reservorio Los Lirios.

6.3.1. Descripción de la zona de estudio

El área de estudio es la correspondiente a la finca en la cual se encuentra el reservorio Los Lirios, proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia del INDER. El terreno seleccionado tiene una extensión de 20.1 km² y actualmente su uso corresponde a área de potrero, explotación ganadera, viviendas y el reservorio de arcilla compactada.



Figura 6.2. Mapa de ubicación del terreno en estudio.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

6.3.2. Precipitación

A continuación, se presenta la precipitación mensual (mm) de la estación Tierras Morenas para los años comprendidos entre 2006-2021, así como el promedio mensual de precipitación para este periodo.

Tabla 6.5. Lluvia mensual de la estación Tierras Morenas (76006) para el periodo comprendido entre los años 2006-2021.

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | Total |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 2006 | 102 | 53 | 10 | 8 | 127 | 458 | 289 | 109 | 153 | 120 | 148 | - | 1 649 |
| 2007 | 60 | 35 | 23 | 89 | 320 | 188 | 237 | 522 | 418 | 696 | 141 | 308 | 3 035 |
| 2008 | 133 | 40 | 1 | 14 | 378 | 171 | 368 | 216 | - | 628 | 233 | 219 | 2 602 |
| 2009 | 58 | 109 | 50 | 5 | 139 | 293 | - | 134 | 49 | - | - | - | 1 091 |
| 2010 | 165 | - | - | - | 255 | 385 | 494 | 518 | 942 | 182 | 329 | 98 | 3 438 |
| 2011 | 65 | 70 | 19 | 1 | 308 | 383 | 366 | 145 | 259 | 764 | 123 | 126 | 2 629 |
| 2012 | 93 | - | - | 81 | 147 | 365 | - | 0 | - | 0 | - | - | 733 |
| 2013 | - | - | 65 | - | 213 | 158 | - | - | 470 | - | - | - | 1 691 |
| 2014 | 38 | 14 | 11 | - | - | 152 | 202 | 154 | - | - | 137 | 89 | 1 261 |
| 2015 | - | 53 | 93 | 85 | 82 | - | 99 | 112 | 161 | 343 | 202 | 106 | 1 833 |
| 2016 | 42 | 174 | 3 | 33 | 144 | 319 | 156 | 231 | 311 | 263 | 320 | 318 | 2 312 |
| 2017 | 203 | 21 | 57 | 65 | 374 | 222 | 128 | 291 | 331 | - | 209 | 113 | 2 582 |
| 2018 | 129 | - | 13 | 4 | 372 | 186 | 290 | 178 | 133 | 353 | 130 | 63 | 1 914 |
| 2019 | 19 | 10 | 31 | 18 | 153 | 181 | - | 230 | - | 286 | - | 182 | 1 602 |
| 2020 | 113 | 41 | 23 | 6 | 198 | 380 | 146 | - | 234 | 494 | 370 | 65 | 2 299 |
| 2021 | 140 | 30 | 39 | 70 | 90 | 354 | 319 | 322 | 298 | 138 | 184 | 143 | 2 126 |
| Precipitación mensual Promedio (mm) | 97 | 54 | 31 | 37 | 220 | 280 | 258 | 226 | 313 | 356 | 211 | 153 | 2050 |

Fuente: ICE, 2022.

Como se muestra en la tabla anterior, el mes de marzo es el que presenta menos precipitaciones en el área de estudio, con un promedio de 31 mm de lluvia. El mes más lluvioso es octubre, con una precipitación promedio mensual de 356 mm. También es importante destacar, que la precipitación promedio anual es de 2050 mm.

6.3.3. Evapotranspiración

Se realizó el cálculo propuesto por Blaney & Criddle y se obtuvieron los valores de evapotranspiración mensual potencial para la zona en estudio en el reservorio Los Lirios en Agua Caliente, Cañas (Tabla 6.6).

Tabla 6.6. *Evapotranspiración promedio mensual potencial (mm) de la zona de estudio, reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas.*

| Variable | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Evapotranspiración Potencial (mm) | 151 | 143 | 162 | 160 | 169 | 165 | 170 | 167 | 158 | 160 | 151 | 155 |

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

El mes que presenta la menor evapotranspiración promedio mensual potencial es el mes de febrero, con 143 mm. A su vez, el mes con mayor evapotranspiración promedio mensual potencial es julio, con un valor de 170 mm.

6.3.4. Tipo de suelo y uso de suelo

El tipo de suelo según el Atlas del IGN (2014), corresponde a suelos de tipo andisoles, caracterizados por ser suelos de tipo franco arcillosos para la zona de Agua Caliente, Cañas. El uso actual del suelo de la zona en estudio es de potreros para ganadería, con un alto porcentaje de suelo con pastos (alfafa).



Figura 6.3. Tipo de suelo de la zona de estudio.

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

6.3.5. Recarga Potencial

Para el cálculo de la capacidad de recarga potencial de la zona de estudio al acuífero, se utilizó una hoja de cálculo con las fórmulas activadas para calcular cada variable requerida.

A continuación, se muestran los resultados de dicha hoja de cálculo en los que se puede apreciar el comportamiento hidrológico de la zona de estudio, mes a mes.

6.3.6. Presentación del Balance Hídrico de Suelos

Gunther Schosinsky

Zona de estudio: Finca Reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas, Guanacaste.

Fecha: 20 de noviembre del 2022.

Tipo de suelo: Franco arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

| | | | |
|---|-------------|----------|------|
| fc [mm/d] | 300,0 0 | | |
| Kp [0.01%] | 0,15 | | |
| Kv [0.01%] | 0,20 | | |
| Kfc [0.01%] | 0,753 71 | | |
| I [0.01%] = | 1 | | |
| DS (g/cm ³): | 1,35 | | |
| PR (mm) | 750,0 0 | | |
| HSi (mm) | 157,5 0 | | |
| Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? | 10 | | |
| Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12 | 0,12 | | |
| | | por peso | |
| | | (%) | (mm) |
| CC | 27,00 | 273,3 | 8 |
| PM | 13,00 | 131,6 | 3 |
| (CC- PM) | 14,00 | 141,7 | 5 |

| Concepto | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Total |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| P (mm) | 97,0 0 | 54,0 0 | 31,0 0 | 37,0 0 | 220,0 0 | 280,0 00 | 258,0 00 | 226,0 0 | 313,0 00 | 356,0 00 | 211,0 00 | 153,0 00 | 2236,0 00 |
| Ret [mm] | 11,6 4 | 6,48 | 5,00 | 5,00 | 26,40 | 33,6 0 | 30,9 6 | 27,12 | 37,5 6 | 42,7 2 | 25,3 2 | 18,3 6 | 270,1 6 |
| Pi (mm) | 85,3 6 | 47,5 2 | 26,0 0 | 32,0 0 | 193,6 0 | 246,40 | 227,04 | 198,8 8 | 275,44 | 313,28 | 185,68 | 134,64 | 1965,84 |
| ESC (mm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ETP (mm) | 151,00 | 143,00 | 162,00 | 160,00 | 169,00 | 165,00 | 170,00 | 167,00 | 158,00 | 160,00 | 151,00 | 155,00 | 1911,00 |
| HSi (mm) | 264,15 | 238,38 | 208,71 | 175,81 | 164,81 | 239,46 | 273,38 | 273,38 | 273,38 | 157,50 | 273,38 | 273,38 | |
| C1 | 1,00 | 1,00 | 0,73 | 0,54 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| C2 | 0,47 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,41 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,86 | |
| HD (mm) | 217,88 | 154,28 | 103,09 | 76,18 | 226,79 | 354,24 | 368,79 | 340,63 | 417,19 | 339,16 | 327,43 | 276,39 | |
| ETR (mm) | 111,12 | 77,19 | 58,91 | 42,99 | 118,95 | 165,00 | 170,00 | 167,00 | 158,00 | 160,00 | 151,00 | 143,87 | 1524,03 |
| HSf (mm) | 238,38 | 208,71 | 175,81 | 164,81 | 239,46 | 273,38 | 273,38 | 273,38 | 273,38 | 273,38 | 273,38 | 264,15 | |
| DCC (mm) | 34,99 | 64,66 | 97,57 | 108,56 | 33,91 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,23 | |
| Rp (mm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 47,49 | 57,04 | 31,88 | 117,44 | 37,41 | 34,68 | 0,00 | 325,93 |
| NR (mm) | 74,87 | 130,47 | 200,66 | 225,57 | 83,96 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,36 | 735,89 |

Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Una vez realizado el balance hídrico de suelos se obtiene que, para los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre no existe un volumen de infiltración, esto debido a que los valores de evapotranspiración, intercepción y demás componentes de salida, son mayores a la precipitación que se da en esos meses.

En este periodo donde no existe la infiltración del agua por los factores antes mencionados, el reservorio cumple con un valor vital, ya que al contar con un volumen de agua almacenado de 10 mil m³, permite no solo la alimentación de las zonas bajas del suelo, sino que también el fortalecimiento y la estabilidad de los procesos hidrológicos y ecosistémicos de la zona.

Para el periodo entre junio y noviembre, existe un volumen de infiltración, el cual alimenta las zonas bajas del suelo. El mes que presenta una recarga potencial mayor es septiembre, con un valor estimado de 117,44 mm. El volumen de recarga potencial del acuífero que se produce en estos 6 meses es de 325,93 mm, lo que equivale a 6 551,19 m³ de agua anuales.

A continuación, se presenta la conversión para obtener la recarga anual en m³:

- Es importante destacar que un milímetro de lluvia equivale a 1 litro/metro².
- El área de estudio tiene una extensión de 20 100 m².

Conversión realizada para obtener a recarga potencial en m³:

$$325,93 \frac{l}{m^2} * 20\ 100\ m^2 = 6\ 551\ 193\ litros.$$

$$6\ 551\ 193\ litros * \frac{1\ m^3}{1000\ litros} = 6\ 551,19\ m^3$$

6.4. Lista de mejoras y observaciones para el reservorio.

A continuación, se presenta una lista de mejoras para el reservorio y actividades recomendadas según el criterio técnico propio.

Tabla 6.7. Lista de mejoras recomendadas para implementar en el reservorio Los Lirios.

| Lista de mejoras Reservorio Los Lirios |
|--|
| Sembrar árboles en las orillas del reservorio para disminuir la evaporación, se recomienda que no sean árboles de raíz gruesa. |
| Realizar pruebas de infiltración en el reservorio al menos cada 6 meses, con el fin de conocer los valores de infiltración. |
| Realizar evaluaciones de la estructura del reservorio cada 6 meses, con el objetivo de garantizar un óptimo estado. |

| |
|---|
| Mantener las orillas del reservorio con una adecuada altura del pasto. |
| Fomentar el paisajismo del reservorio, mediante el aprovechamiento e integración de la comunidad de Agua Caliente, Cañas. |
| Realizar un plan de gestión para suplir las necesidades estructurales y técnicas del reservorio a largo plazo. |
| Mantener comunicación constante entre el INDER y el propietario del reservorio, para un adecuado aprovechamiento. |

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

Con esta lista de mejoras se pretende potenciar la capacidad del reservorio y la conservación de este durante el paso de los años. Es indispensable el apoyo del INDER para con los propietarios, razón por la cual requiere compromiso e interés de ambas partes para cumplir con los objetivos del proyecto.

6.5. Determinar los posibles usos potenciales ecosistémicos del reservorio Los Lirios

Con respecto a la identificación de los potenciales servicios ecosistémicos encontrados en el ámbito de un reservorio de agua de lluvia; se detallan en la siguiente tabla donde se pueden observar el tipo de servicio ecosistémico, valor del servicio y el beneficio que brinda

Tabla 6.8. *Identificación de los posibles servicios ecosistémicos encontrados para un reservorio de agua en estudio.*

| Identificación de los servicios ecosistémicos de un reservorio | | |
|--|---------------------------------|--|
| Tipo de servicio ecosistémico | Valor del servicio ecosistémico | Beneficios que brinda el servicio ecosistémico |
| Soporte | Ciclo del agua | <ul style="list-style-type: none"> • Frescura • Agua para el futuro • Regulación del clima • Renovación del agua |

| | | |
|------------|---|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Agua continua de calidad |
| | Equilibrio de especies de vida silvestre y sus hábitats | <ul style="list-style-type: none"> • Interdependencia ecológica • Preservación de hábitats • Corredores biológicos |
| | Ciclo de carbono | <ul style="list-style-type: none"> • Fijación del carbono • Descomposición de materia orgánica • Intercambio de materia |
| | Ciclo de nutrientes y productividad primaria | <ul style="list-style-type: none"> • Reciclaje de nutrientes |
| Regulación | Control de clima | <ul style="list-style-type: none"> • Clima más estable |
| | Calidad del aire | <ul style="list-style-type: none"> • Aire más limpio • Generación de espacios verdes |
| Cultural | Salud humana | <ul style="list-style-type: none"> • Salud mental y física • Estilos de vida más saludables |
| | Tradiciones y costumbres | <ul style="list-style-type: none"> • Intercambio de experiencias • Variedad cultural |
| | Investigaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Generar oportunidad de estudios académicos • Estudios técnicos |
| Provisión | Usos del agua | <ul style="list-style-type: none"> • Aseguramiento de riego • Garantizar la disponibilidad del recurso • Utilización de tecnologías más limpias |
| | Agua potable | <ul style="list-style-type: none"> • Acceso al agua dulce • Salud física |

Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

Analizando los posibles servicios ecosistémicos encontrados para el reservorio de agua en estudio, es importante destacar dado a que las funciones o los posibles servicios que brindan son de vital importancia; por ejemplo, podemos ver que, en los servicios ecosistémicos del tipo de soporte, estos aportan en los procedimientos naturales de los ecosistemas, ya que brindan estabilidad y regeneración a los ciclos que necesitan los otros servicios ecosistémicos.

Un beneficio primordial de tipo soporte es el garantizar la disponibilidad de agua para las necesidades básicas de las personas que viven en zonas rurales, así como garantizar el durante todo el año a agua de calidad a los pobladores de estas comunidades, en las cuales se han desarrollado reservorios.

Agua Caliente es una comunidad que mediante esta metodología se adapta y busca cambios oportunos y preventivos frente al cambio climático, de una forma sostenible y renovable. Todos estos aportes mejorarán la calidad de los productos y actividades de la zona, así como la calidad de vida de las personas, en la cual el acceso al agua es un derecho innegable que tienen todas las comunidades rurales.

En los servicios ecosistémicos de tipo soporte se recalca que la presencia de los ciclos del agua, carbono y nutrientes son vitales para la generación de otros servicios, esto debido a que, al estar hablando de un cuerpo de agua, es evidente que el tipo de servicio de soporte tendrá su presencia dentro del ecosistema, generando las condiciones óptimas para producir la estabilidad ecológica que demandan los demás servicios, así como generar la presencia de un equilibrio entre especies y los hábitats que se producen de la interacción natural del ambiente.

Por otro lado, se considera que, con respecto a los servicios ecosistémicos del tipo de regulación, son aquellos que proveen a los ecosistemas al contribuir a mantener la calidad del aire y suelo, a controlar las inundaciones y enfermedades y polinizar cultivos; además de que su regulación en el clima aporta como una solución para combatir el inminente cambio climático.

Sin embargo, dentro de los servicios de regulación es importante destacar que, aportan a mantener un control del aire y el suelo adecuado, proporcionando un ambiente de suelos fértiles y un aire más limpio con su capacidad de generar espacios verdes. En este caso, el reservorio Los Lirios se presenta como un gran espacio de recreación y armonía tanto para el ambiente, como para los pobladores de la zona.

En cuanto a los servicios ecosistémicos de carácter cultural es importante saber que estos servicios comprenden la inspiración estética, la identidad cultural, el sentimiento de apego y la experiencia espiritual relacionada con el entorno natural.

Adaptándolo al panorama de los reservorios de agua, como lo es en este caso el reservorio Los Lirios, se puede decir que este aporta el servicio de este tipo en el momento que existe un intercambio de experiencias y culturas entre los indígenas peruanos, país el cual tiene una alta experiencia en la cosecha de lluvia, los cuales transmitieron a los costarricenses sus técnicas y metodologías para combatir la escasez hídrica mediante este tipo de ecosistemas.

También, es importante considerar que un aspecto cultural que brindan estos reservorios es que abre posibilidades de generar estudios técnicos y académicos para poder abordar más las temáticas de este tipo de técnicas, con el fin de combatir la escasez hídrica, lo cual aportará para la creación de planes reguladores y toma de decisiones más acertadas en ámbitos similares.

Con respecto a los servicios ecosistémicos del tipo de provisión se conoce que estos describen los productos materiales procedentes de los ecosistemas en lo que incluyen los alimentos, el agua y otros recursos, por lo que para el caso de los reservorios de agua en análisis, es evidente que este tipo de servicios son valiosos en este tipo de metodología del agua, de forma que como estos fueron implementados en el país, con el fin de combatir la escasez hídrica y potenciar el riego de cultivos, la industria agropecuaria, propia de las zonas rurales guanacastecas y el acceso al agua a comunidades vulnerables en las cuales se caracterizan condiciones de desabastecimiento de agua potable.

El reservorio Los Lirios cuenta con una capacidad de 10 mil metros cúbicos de agua, que, en caso de ser necesarios en épocas o situaciones hídricas extremas, servirán como sostén para mantener las necesidades y requerimientos de demanda gran parte de las actividades productivas de la comunidad.

6.6. Conclusión

Con estos datos analizados y presentados se cumplen los objetivos del trabajo desarrollado, con el fin de tener un análisis más completo y detallado del reservorio y que esto se replique en los demás reservorios construidos, para que su vida útil sea lo más prolongada posible y se puedan optimar los beneficios de estos brindan.

Capítulo 7-Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se pretende presentar algunas observaciones, mejoras y detalles a destacar del proyecto realizado.

7.1. Introducción

Se procede a mencionar las conclusiones del trabajo realizado en el reservorio Los Lirios, así como las recomendaciones propuestas.

7.2. Conclusiones y Recomendaciones

Se concluye que el reservorio Los Lirios, ubicado en Agua Caliente, Cañas, se encuentra en óptimas condiciones de mantenimiento, lo cual permite un adecuado funcionamiento del mismo. Los esfuerzos integrales entre el propietario del reservorio y el INDER han permitido que, desde su construcción en el año 2019, este no sufra un deterioro significativo, logrando así cumplir con el fin del proyecto, el cual es sembrar y cosechar agua de lluvia.

Una vez realizadas las pruebas de infiltración en el reservorio para determinar la alimentación de las zonas bajas, se obtiene una tasa de infiltración estimada de 10 cm/min. Mediante el cálculo de la tasa de infiltración, se pudo calcular una velocidad de infiltración potencial del suelo del reservorio (arcilla compactada), la cual fue 0,040 m/día.

El reservorio permite la infiltración y alimentación de las zonas bajas, lo cual fomenta la creación de ojos de agua; además, mediante esta metodología se permite dotar de agua a zonas rurales de la provincia para sus actividades productivas y económicas, especialmente en los meses de mayor necesidad por la escasez hídrica, mediante el aprovechamiento del agua de las lluvias.

Realizar un balance hídrico de suelos en el reservorio Los Lirios permite tener una herramienta efectiva e indispensable para un mejor control y gestión del recurso hídrico, mediante la estimación de la recarga potencial. Esto permitirá obtener una

mejora progresiva en la disponibilidad y en los usos que tiene el agua en un lugar, como lo es en este caso en la comunidad de Agua Caliente.

Cuando se habla del balance hídrico del suelo existe un análisis inicial de las fases del ciclo hidrológico superficial, pero en ese se hace un análisis profundo de como este es determinante en el suelo y de sus distintas variables, como la escorrentía, la infiltración y la evapotranspiración.

Se obtiene que el mes que presenta menores precipitaciones promedio mensuales en la zona de estudio es marzo, con 31 mm de lluvia. El mes con mayores precipitaciones es octubre con 356 mm de lluvia en promedio. El promedio anual de precipitaciones para los años de estudio comprendidos entre 2006-2021 es de 2050 mm de lluvia.

Realizado el balance hídrico de suelos, se consigue estimar la recarga potencial anual de la zona de estudio, la cual es de 325,93 mm, lo que equivale a 6 551,19 m³ de agua, la cual infiltra y recarga al acuífero.

Se concluye que, el reservorio Los Lirios posee un gran potencial en cuanto a posibles usos ecosistémicos de soporte, regulación, cultural y de provisión. Mediante las giras de campo y el reconocimiento de las características del reservorio se muestran los valores ecosistémicos y posibles beneficios a la comunidad de Agua Caliente, Cañas.

Se recomienda realizar un plan de evaluación que permita conocer y mejorar las condiciones del reservorio. Además, se recomienda realizar estudios hidrológicos de forma periódica, no solo en este, sino en todos los reservorios del proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia.

Para una mejor exactitud y precisión de los valores obtenidos al realizar el balance hídrico de suelo en el reservorio, se recomienda trabajar con un mayor número de estaciones hidrometeorológicas y con serie de datos de muchos más años.

Se recomienda al INDER que estudios como este se puedan replicar y desarrollar en los demás reservorios del proyecto de siembra y cosecha de agua de lluvia, con el fin de analizar, mejorar y garantizar las condiciones y el adecuado funcionamiento de estas estructuras.

Bibliografía

Alvarado, C. y Barahona, M. (2017). *Comparación de tres métodos de infiltración*.

Anaya, M. (1998). *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe. Manual Técnico*. México: IICA.

Campos, A. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico- Tercera Reimpresión*. D.F., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería.

Canija Canelo, M. J., y Faustino, J. (2007). Alternativas de captación de agua, la esperanza de mejores cosechas y la conservación ambiental. CATIE.

Davis SN, Wiest DR (1971). Hidrogeología. Ed. Ariel, Barcelona.

FAO. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas No. 13*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile.

FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y El Caribe*. Santiago. Chile.

Fetter, C. (2001,1994). Applied Hydrogeology. 3rd ed. New Jersey, USA: Macmillan College Publishing Comp.

Geo Costa Rica. (2022). *Pruebas de Infiltración*. Costa Rica.

Giusti, A. V., y Spoerl, L. (2020). *Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas. Decreto N°42075-S-MINAE*. Ministerio de Salud.

Illescas, J. (2007). Principio de riego y drenaje. Editorial Universitaria del Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2022). Datos de estaciones meteorológicas. Estación Tierras Morenas (76006). Precipitación promedio mensual (mm), periodo 2006-2021.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2022). Capa de suelos de suelos, subórdenes CR (2013). Atlas 2014.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2011). *Censo Nacional de Población y VI de Vivienda: Características Sociales y Demográficas Tomo II.--1 ed.* - San José, Costa Rica.

Municipalidad de Cañas. (2020). *Distrito Palmira*, Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

Organización Mundial Meteorológica (OMM), (2011). *Guía de prácticas hidrológicas - Volumen I: De la medición a la información hidrológica*. Suiza

Orsag. V. (2010). *El recurso suelo principios para su manejo y conservación*. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.

Paredes, D. (2017). *Balance hídrico y cálculo de eficiencia de riego del reservorio Garrapón – Valle Chicama, para evaluación de áreas de influencia*. Para obtener el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Trujillo.

Rodríguez R; Morales D; Morris H. (2010). *Compendio con información de las opciones técnicas de cosecha de agua aplicadas a nuestro medio* Nicoya, Universidad Nacional- CEDEME. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica.

Salinas, A. (2010). *de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización*. Nicoya: Universidad Nacional, CEMEDE.

Sapag, N, Sapag, R. y Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* - 6. ed. 6ª ed. D.F., México: McGraw-Hill Interamericana.p.349

Schosinsky, G. y Losilla, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. - Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55.

Schosinsky, G., 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. - Rev. Geol. América Central, 34-35: 13-30.

Setena. (2018). *Acuerdo de la comisión plenaria modificación al artículo 7 de la resolución no. 2373-2016-SETENA*. Costa Rica.

Sophocleous, M. (1991). *Combining the soilwater balance and water-level fluctuations methods to estimate natural groundwater recharge: Practical Aspects*. Kansas, USA: Journal of Hydrology Kansas Geological Survey, The University of Kansas.

Valverde, J. (2000). *Riego y Drenaje*. UNED, San José, Costa Rica.

Villón, M. (2002). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Anexos

Registro fotográfico del proyecto y de las actividades realizadas en el
reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas.

Anexo 1. *Reservorio Los Lirios, espejo de agua.*



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

Anexo 2. *Fotografía con el dueño del reservorio.*



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

Anexo 3. Paisajismo del reservorio Los Lirios.



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

Anexo 4. Fauna existente en el reservorio.



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

Anexo 5. Trabajo de campo en el reservorio.



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

Anexo 6. Patos dentro del reservorio.



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

Anexo 7. *Reservorio Los Lirios*



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

Anexo 8. *Entrada al reservorio Los Lirios, Agua Caliente, Cañas.*



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*

Anexo 9. Reunión con funcionarios del INDER.



Fuente: Sequeira & Castillo, 2022.

Datos y trabajo en campo para pruebas de infiltración.

Anexo 10. Tabla para toma de datos en campo para realizar las pruebas de infiltración.

| Datos para la prueba de infiltración | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Intervalo de medición | Hora inicial | Hora final | Lectura inicial (Li) | Lectura final (Lf) | Diferencia (Lf-Li) |
| | | | Centímetros | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |

Fuente: Giusti & Spoerl, 2020.

Anexo 11. *Tabla de velocidades de infiltración.*

| Tasa de infiltración min/cm | Vp (m/s) | Vp (l/m ² /día) |
|--------------------------------|-------------|-------------------------------|
| < 2 | | |
| 2 | 10,50E-07 | 90,33 |
| 3 | 8,54E-07 | 73,76 |
| 4 | 7,39E-07 | 63,88 |
| 5 | 6,61E-07 | 57,13 |
| 6 | 6,04E-07 | 52,15 |
| 7 | 5,59E-07 | 48,28 |
| 8 | 5,23E-07 | 45,17 |
| 9 | 4,93E-07 | 42,58 |
| 10 | 4,68E-07 | 40,40 |
| 11 | 4,46E-07 | 38,52 |
| 12 | 4,27E-07 | 36,88 |
| 13 | 4,10E-07 | 35,43 |
| 14 | 3,95E-07 | 34,14 |
| 15 | 3,82E-07 | 32,98 |
| 16 | 3,70E-07 | 31,94 |
| 17 | 3,59E-07 | 30,98 |
| 18 | 3,49E-07 | 30,11 |
| 19 | 3,39E-07 | 29,31 |
| 20 | 3,31E-07 | 28,57 |
| 21 | 3,23E-07 | 27,88 |
| 22 | 3,15E-07 | 27,24 |
| 23 | 3,08E-07 | 26,64 |
| 24 | 3,02E-07 | 26,08 |

Fuente: *Giusti & Spoerl, 2020.*

Anexo 12. *Excavación para construir las gavetas para realizar las pruebas de infiltración.*



Fuente: *Sequeira & Castillo, 2022.*

Anexo 13. *Prueba de infiltración en proceso y medición del nivel del agua.*



Fuente: *Sequeira & Castillo,2022.*