

Universidad Nacional de Costa Rica

Sede Regional Chorotega, Campus Liberia

Proyecto Final de Graduación

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

Título:

Estudio hidrológico para el aprovechamiento del recurso hídrico en el sector agrícola del Proyecto PAACUME en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, Guanacaste, Costa Rica

Sustentantes:

Paula Nicole Escobar Castellón

1-1767-0092

Denier Viales Ríos

5-0424-0838

Ciudad de Liberia, Guanacaste, Costa Rica

Febrero, 2024

Agradecimientos y dedicatoria

En este apartado, queremos externar nuestros más sinceros agradecimientos, en primer lugar, a Dios, quien nos permitió culminar esta etapa en nuestras vidas. En segundo lugar, a nuestros padres, quienes fueron nuestros pilares en este proceso, brindándonos apoyo y atención, seguidamente a nuestros hermanos quienes nos apoyaron y comprendieron para concluir esta etapa. Por último, pero no menos importante, al resto de nuestros familiares y docentes, los cuales estuvieron pendientes e involucrados en este proyecto.

Seguidamente, nuestra dedicatoria está dirigida a nuestros padres Sergio Escobar Vargas, Jeanette Castellón Padilla, José Geovanny Viales Espinoza y Auria Ríos Peralta, y a nuestros hermanos Joselyn Escobar Castellón y Leyner Viales Ríos. Finalmente, una persona muy especial que fue una guía de vida, a Nelly Padilla Toruño, quien siempre estará en nuestros corazones.

Resumen ejecutivo

El presente proyecto aborda la problemática de disponibilidad hídrica en Guanacaste, Costa Rica, al ser la provincia con mayor afectación del recurso por sus extenuantes periodos de sequía. Por lo tanto, se brindan medidas de aprovechamiento óptimo del recurso en especial para la producción agrícola de los cantones de Nicoya, Carrillo y Santa Cruz, los cuales se encuentran abastecidos por el PAACUME. De acuerdo con las necesidades presentes en la provincia, se realiza un balance hídrico de los cultivos característicos de los cantones en estudio, donde se determinó que los cultivos más representativos son los siguientes: sandía, melón, maíz, arroz y caña de azúcar. Este último desempeña una función importante en la economía de la provincia al contar con un mayor mercado de su producto, así como sus subproductos. Es importante mencionar que, a su vez, la caña de azúcar es el cultivo con mayor demanda hídrica, por lo tanto, se recomienda la aplicación de sistemas de riego por goteo según la eficiencia obtenida como resultado de los balances hídricos por cultivo y sistemas de riego.

Palabras claves: guía de eficiencia, sequía y recursos económicos

Abstract

This project aims to address the problem of water availability in Guanacaste, Costa Rica, as it is the province with the greatest affection of the resource due to its exhausting periods of droughts. Therefore, it seeks to provide measures for optimal use of the resource, especially for agricultural production in the cantons of Nicoya, Carrillo and Santa Cruz, which are supplied by the PAACUME project. In accordance with the present needs of the province, a water balance of the characteristic crops of the study cantons is carried out, where it was determined that the most representative crops are the following: watermelon, melon, corn, rice and sugar cane. The latter plays an important role in the province's economy by having a larger market for its product as well as its byproducts. It is important to mention that sugar cane is the crop with the highest drip water demand, so the application of irrigation systems is recommended according to the efficiency obtained as a result of the water balances per crop and irrigation systems. irrigation.

Keywords: efficiency guide, drought and economic resources.

Tabla de contenido

Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas	VIII
Capítulo 1- Introducción	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Declaración del problema.....	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Alcances y limitaciones.....	6
1.5.1 Alcances.....	6
1.5.2 Limitaciones	6
1.6 Resumen del reporte	6
1.6.1 Capítulo 1-Introducción.....	6
1.6.2 Capítulo 2- Contexto del proyecto	6
1.6.3 Capítulo 3- Marco teórico.....	6
1.6.4 Capítulo 4- Estudios de prefactibilidad.....	7
1.6.5 Capítulo 5- Metodología	7
1.6.6 Capítulo 6- Resultados y discusión	7
1.6.7 Capítulo 7- Conclusiones y recomendaciones	7
Capítulo 2- Contexto del proyecto	8
2.1 Antecedentes de PAACUME	9
2.1.2. Características demográficas	12
2.1.3 Características climáticas	13
2.1.4 Características hidrográficas	15
2.1.5 Disponibilidad del recurso hídrico.....	17
2.1.6 Infraestructura propuesta por el Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME).....	18
2.2 Estrés hídrico en la zona de estudio	19
2.3 Estudios previos sobre la implementación del PAACUME.....	20
2.4 SENARA	22

Capítulo 3- Marco teórico	23
3.1 Estudio hidrológico	24
3.1.1 Balance hídrico	25
3.2 Riego	25
3.2.1 Inconvenientes del riego	26
3.2.2 Riego por gravedad	26
3.2.3 Riego por aspersión	26
3.2.4 Riego por goteo	27
3.2.5 Riego por surcos	27
3.3 Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME)	28
3.4 Casos de estudio	30
Capítulo 4-Estudios de prefactibilidad	31
4.1 Prefactibilidad técnica	32
4.2 Prefactibilidad financiera	33
4.3 Prefactibilidad legal	34
4.4 Prefactibilidad ambiental	36
4.5 Prefactibilidad social	37
Capítulo 5-Metodología	39
5.1 Descripción general de la metodología	40
5.2 Población y muestra de estudio	41
5.3 Métodos y herramientas seleccionados	41
5.3.1 Para obtención de datos	41
5.3.2 Para procesamiento de datos	42
5.3.3 Para interpretación de datos	42
5.4 Otros aspectos por considerar	43
5.4.1 Presupuesto	43
5.4.2 Cronograma	43
5.4.3 Ruta crítica	44
5.4.4 Ética en la investigación	45
5.5 Fórmulas utilizadas para el balance hídrico	45
Cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto)	45
Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (Etc)	46
Cálculo del módulo de riego	46
Cálculo del caudal de riego	46

Capítulo 6- Resultados y discusión	47
6.1 Resultados cualitativos	48
6.1.1 Entrevistas	48
6.1.2 Consultas a expertos	49
6.1.3 Revisión literaria	49
6.1.4 Identificación de cultivos	51
6.2. Resultados cuantitativos	52
6.2.1 Delimitación del área	52
6.2.2 Demanda hídrica	53
6.3 Discusión de resultados	59
6.3.1 Respecto de principales hallazgos	59
6.4.2 Relativo a los objetivos	60
6.4.3 Respecto de la metodología aplicada	60
6.4.4 Respecto de la propuesta de la guía de eficiencia	60
Capítulo 7- Conclusiones y recomendaciones	61
7.1 Conclusiones	62
7.1.1 Derivado a las entrevistas	62
7.1.2 Derivado a las consultas a expertos	62
7.1.3 Derivado a los cultivos	62
7.1.3 Derivado a los sistemas de riego	62
7.2 Recomendaciones	63
7.2.1 Derivado de las entrevistas	63
7.2.2 Derivado de las consultas de expertos	63
7.2.3 Derivado de cultivos	63
7.2.4 Derivado de los sistemas de riego	64
Bibliografía	65
Anexos	70

Índice de figuras

Figura 1.1 Terreno en época de sequía utilizado para siembra de maíz en Cartagena, Santa Cruz, Guanacaste.....	4
Figura 2.1 Área de estudio del PAACUME.....	9
Figura 2.2 Distribución de las obras del PAACUME.....	10
Figura 2.3 Comparación de datos de lluvia media anual en °C, de todas las subregiones del Pacífico Norte, Costa Rica.....	14
Figura 2.4 Días con lluvia en el año y zonificación propuesta en Costa Rica.....	14
Figura 2.5 Comparación de temperaturas medias anuales (máx., mín., med.) de todas las subregiones del Pacífico Norte, Costa Rica.....	15
Figura 2.6 Cuencas pertenecientes a la Región Chorotega.....	16
Figura 2.7 Ubicación de los componentes del PAACUME.....	18
Figura 3.1 Cuenca del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica.....	28
Figura 3.2 Acuíferos de la Región Chorotega, Costa Rica.....	29
Figura 5.1 Resumen de metodología por utilizarse en el desarrollo del proyecto.....	40
Figura 5.2 Cronograma de actividades del proyecto.....	43
Figura 5.3 Actividades de relevancia para la ejecución del proyecto.....	44
Figura 6.1 Inflación mundial del año 2022.....	48
Figura 6.2 Distribución de los cultivos seleccionados para dichos cantones.....	51
Figura 6.3 Mapa de los cantones por estudiar.....	53
Figura 6.4 Uso de suelos en épocas de siembra o cosecha en hectáreas (ha).....	54
Figura 6.5 Comparación de la demanda hídrica por método de riego.....	58

Índice de tablas

Tabla 2.1 Distribución de distritos que comprenden los cantones de Carrillo, Nicoya y Santa Cruz.....	10
Tabla 2.2 Tipos de cultivos en la zona de estudio.....	11
Tabla 2.3 Población actual de los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo.....	12
Tabla 2.4 Condiciones climáticas de la Región Pacífico Norte por subregión de Costa Rica.....	13
Tabla 2.5 Datos de demanda hídrica total de la cuenca río Tempisque.....	17
Tabla 2.6 Obras de infraestructura del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME).....	19
Tabla 2.7 Productos esperados de las obras con respecto a la distribución del recurso hídrico de infraestructura dentro del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME).....	19
Tabla 4.1 Requerimientos técnicos para el proyecto.....	32
Tabla 4.2 Presupuesto del proyecto.....	33
Tabla 4.3 Debilidades de gestión ingresos y egresos del PAACUME.....	34
Tabla 4.4 Marco de referencia legal aplicable al proyecto.....	35
Tabla 4.5 Impactos ambientales positivos del PAACUME de acuerdo con la matriz de importancia de impactos ambientales.....	36
Tabla 4.6 Actores sociales claves.....	37
Tabla 6.1 Revisión literaria del PAACUME y los cultivos característicos.....	50
Tabla 6.2 Distribución de la cobertura de suelo por cantones (ha.).....	52
Tabla 6.3 Costos de producción de cada cultivo por tonelada.....	54
Tabla 6.4 Eficiencia de los métodos de riego.....	55
Tabla 6.5 Valores de coeficientes de Kc para los cultivos estudiados, ETP y eficiencia.....	55
Tabla 6.6 Cálculos de demanda hídrica por riego de gravedad.....	56
Tabla 6.7 Resultados de la demanda hídrica de los cultivos por método de riego por total de hectáreas.....	57
Tabla 6.8 Resultados de la demanda hídrica de los cultivos por método de riego por una hectárea ...	57
Tabla 6.9 Agua disponible en el suelo para cultivos.....	58

Lista de siglas

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

CATSA: Central Azucarera Tempisque S.A.

PAACUME: Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras

SETENA: Secretaría Técnica Nacional Ambiental

SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

PIAAG: Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste

DRAT: Distrito de Riego Arenal Tempisque

MINAE: Ministerio del Ambiente y Energía

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

BTS: Bosque tropical seco

PMPD: Presa Miguel Pablo Dengo

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

ASADAS: Sistemas comunales

AYA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

PIAAG: Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste

SEPSA: Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria

Capítulo 1- Introducción

En este capítulo, se recopiló la información introductoria para el desarrollo del proyecto. Por consiguiente, se presenta la declaración del problema, la justificación y los objetivos, tanto general, como específicos. Por último, se evidencian los alcances y las limitaciones del proyecto.

Uno de las principales problemáticas afrontadas por los seres humanos y el medio ambiente es la alta demanda del recurso hídrico. Lo anterior porque no solamente afecta en ámbitos de salud o consumo de la población, sino, que al ser un recurso indispensable, influye en el crecimiento socioeconómico mediante actividades de diversas índoles. Entre estas, se pueden destacar ganadería y agricultura.

En los años recientes, esta última actividad productiva evidencia un desarrollo ascendente, lo cual genera una alta demanda de agua por la naturaleza de producción comercial. Dicha situación se agrava aún más en nuestro país, pues se evidencia una creciente en relación con la sequía en comparación con años anteriores. Esta variable afecta en mayor manera a la provincia de Guanacaste al poseer períodos de sequía más marcados que otras zonas de Costa Rica.

Considerando lo anterior, el gobierno de la República creó el Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME) de la mano con otras instituciones. Dicho proyecto busca hacer frente a las adversidades de la provincia con respecto al recurso con el cambio climático.

Con base en lo expuesto con anterioridad, el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento SENARA (2023) menciona que, actualmente, las aguas provenientes del embalse Arenal son utilizadas en tres ocasiones por el Instituto Costarricense de Electricidad ICE para generación eléctrica. Una vez que el agua pasa el embalse de Sandillal, se entrega al SENARA, donde el recurso hídrico es distribuido por los canales del sur y oeste, donde dicho recurso es aprovechado para riego agropecuario en los cantones de Liberia, Cañas y Bagaces.

Es importante destacar, que en el canal Oeste ingresa el agua por el cantón de Bagaces y recorre el Río Piedras. Donde se da el inicio al ingreso del recurso hídrico para el PAACUME en los cantones de Santa Cruz, Carrillo y Nicoya, donde se tiene una red de distribución con capacidad de mil propietarios en diecisiete mil hectáreas, de posibles sectores productivos agrícolas de diferentes cultivos.

1.1 Antecedentes

En los últimos años, Costa Rica ha evidenciado efectos negativos con respecto al cambio climático. En ese sentido, la provincia con mayor afectación es Guanacaste por sus periodos más extenuantes de sequías y altas temperaturas. Según Blanco (2019), en la provincia de Guanacaste, se presentan sequías de manera regular, pero, al transcurrir diez años, estas se tornan más prolongadas como consecuencia de diversos factores que favorecen este fenómeno. Es importante resaltar que, en Guanacaste, no se percibe una alteración en las lluvias, pero sí un incremento en las temperaturas y su aridez, de manera que, al subir la temperatura, se presenta una mayor demanda de agua de la atmósfera.

En la provincia de Guanacaste, se cuenta con el proyecto de Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT), el cual busca optimizar el uso del recurso hídrico de la provincia mediante una red de distribución de aguas para suelos fértiles en las temporadas de sequías y desastres naturales. De acuerdo con O'Neal (2017), se creó el DRAT en 1984 con el fin de administrar las aguas generadas por el complejo hidroeléctrico Arenal-Dengo-Sandillal para la irrigación de fincas agroproductivas. Este proyecto favoreció el desarrollo de la agricultura en los cantones de Cañas, Bagaces, Liberia y Carrillo a través del uso y la distribución del agua sobrante de la generación eléctrica.

En dichos cantones, se cultivan productos como arroz, azúcar, papaya, piña, algodón, cebolla, cobertura vegetal como el pasto y sandía. Además de la generación de productos agrícolas, también se practican las actividades productivas de ganadería, tanto de engorde, como de leche. Ambas actividades son de alta relevancia en la economía del país.

Este esfuerzo, es reforzado con la creación del PAACUME perteneciendo al Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste (PIAAG), bajo el liderazgo de SENARA, es importante mencionar que más allá del área de enfoque del estudio hídrico en la agricultura de los cantones, se efectúan más operaciones con obras específicas en diversas áreas del Proyecto PAACUME, como lo sería el turismo, reservas de agua potable y producción eléctrica utilizadas por el ICE.

1.2 Declaración del problema

La problemática de la escasez de agua en la Región Chorotega afecta a la población desde hace varios años, causando conflictos por tan preciado líquido. Por este motivo, hacer un uso racional de este líquido garantiza un futuro prometedor, pues se garantiza el agua para años venideros.

El sector agrícola de la Región Chorotega se ve afectado por la escasez del agua que afecta cultivos como café, hortalizas, frijol, arroz, caña de azúcar, entre otros, además de provocar la muerte de animales en el sector ganadero (Orjuela, 2019). Al observar tal afectación, las personas se ven obligadas a extraer agua de ríos o a crear pozos para mantener sus cultivos, especialmente en época seca, cuando las precipitaciones son muy escasas. Se debe considerar que no todos los agricultores o dueños de fincas tienen la facilidad económica de establecer un sistema de riego o comprar artículos como bombas para regar sus cultivos, lo cual provoca que muchos de ellos pierdan sus cultivos o sus animales.

Es necesario tomar en cuenta que, en la provincia de Guanacaste, las sequías ocurren en forma muy recurrente. No obstante, cada diez años, estas sequías se vuelven más prolongadas debido a variados factores, los cuales favorecen esta condición (Blanco, 2019). Por lo tanto, el gobierno costarricense, bajo el mandato del presidente Carlos Alvarado, firmó la ley N°10230. Dicha ley menciona que los servicios públicos brindados por el SENARA en el DRAT para los diferentes usos, incluyendo riego agrícola, piscicultura, agua para ser potabilizada por entidades prestatarias de servicio de agua potable, agua para uso industrial y todo servicio de agua que se dé para otros usos en el DRAT, serán regulados por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos, incluyendo las respectivas fijaciones tarifarias de conformidad con la ley (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2023).

En ocasiones, la extracción de agua de los ríos o acuíferos suele ser muy alta y mucha de esta agua se desperdicia debido a que se utiliza más cantidad de la necesaria por los cultivos. Por este motivo, es de gran importancia brindarles conocimiento a las personas sobre cuál es la manera correcta de utilizar tan preciado líquido. De acuerdo con Serradilla (2021), los acuíferos y las aguas subterráneas constituyen la mayor parte del agua accesible para el humano como agua de consumo humano, entre otras necesidades como el riego y la agricultura.

Dicha educación ambiental se puede lograr instruyendo a el sector productor de nuestro país como los son los agricultores mediante una guía de eficiencia de agua la cual indicará la cantidad de agua que necesita cada cultivo para que esté pueda producir de una manera óptima. Además, que es importante tener el conocimiento de cuáles son los mayores gastos de agua que generan algunas fincas, como los solventan y de que poder darles herramientas para que el gasto de agua sea menor.

Es necesario hacer un análisis general de la problemática en la provincia guanacasteca, por tanto, se deben observar modelos implementados en otros lugares del mundo, o bien, del país y observar que los resultados obtenidos sean favorables. Asimismo, se debe tomar en cuenta el factor climático, ya que este puede variar considerablemente con respecto a otras zonas. Ello provocaría que los proyectos puestos en práctica en estos lugares no tengan el mismo desempeño que en la región en estudio.

Por ende, el hecho de saber interpretar la inquietud experimentada por estas personas por falta de estos recursos ayuda a llevar a cabo este proyecto. Consecuentemente, realizar entrevistas a agricultores y empresas dedicadas a esta labor brindará un panorama más claro. Por otro lado, se recopiló información consultando a distintas entidades relacionadas con el tema, tales como MAG y

SENARA, pues dichas instituciones trabajan muy de la mano con estas personas y realizan trabajos día a día con el fin de hacer que todas estas personas tengan una mejor calidad de vida.

Figura 1.1 Terreno en época de sequía utilizado para siembra de maíz ubicado en Cartagena, Santa Cruz. Guanacaste



Fuente: Escobar y Viales (2023)

1.3 Justificación

Uno de los principales retos afrontados por Costa Rica es la demanda de agua en riego relacionada con la producción de alimentos. De acuerdo con O'Neal (2017), Guanacaste es una provincia donde el desarrollo de la agricultura ha ido en crecimiento, lo cual es acompañado por un aumento en su población y el auge turístico. Esta provincia ha enfrentado históricamente el reto de controlar y distribuir las aguas en las áreas fértiles durante las fuertes épocas de sequía o durante las inundaciones.

Como primer argumento, se evidencia un aumento en el requerimiento del agua por un alza en la producción agrícola debido al gran desarrollo del sector productor. Este crecimiento afecta al cultivo de alimentos por el estrés hídrico de la zona. De acuerdo con Global Water Partnership (2013, p.15), “a nivel mundial, la superficie bajo riego ha crecido a un ritmo constante de alrededor de un 5% cada diez años”. Se estima que, del recurso hídrico explotado, un 70% se utiliza en la producción de alimentos”. Por lo tanto, es fundamental brindar alternativas para un uso sostenible del recurso, además de hacer frente a las condiciones adversas evidenciadas en la provincia de Guanacaste en periodos de sequía.

Seguidamente, como segundo argumento, la provincia de Guanacaste es la más castigada en lo referente al recurso hídrico, ya que presenta una etapa de sequía de alrededor de cuatro a cinco meses, lo cual evidencia una sobreexplotación de acuíferos y estrés hídrico. En consecuencia, ocasiona que la capacidad de los productores de la región disminuya o, incluso, estos abandonen el gremio, afectando así la economía nacional. En respuesta a esta problemática, se planteó el PAACUME con la finalidad de impulsar una sustitución de utilización de aguas subterráneas por superficiales. Ello permitiría que los acuíferos costeros se recuperen y, al mismo tiempo, promuevan la sostenibilidad de los ecosistemas del área de estudio. Asimismo, presenta un plan de desarrollo que apoya los procesos de producción y comercio, lo cual beneficia a los productores agrícolas de los cantones de Santa Cruz, Carrillo y Nicoya (SETENA, 2023).

Ahora bien, como tercer argumento, dicho proyecto, de acuerdo con la Presidencia de la República de Costa Rica (2022), busca inyectar 20 mil litros por segundo en agua superficial a unas 18.639 hectáreas que estarán habilitadas para riego en todos los meses del año, beneficiando así a 746

productores agropecuarios de la margen derecha del río Tempisque. Si bien es cierto, la agricultura es una de las actividades más demandantes de agua, estos parámetros varían con cada producto que se desee cultivar y su respectiva cantidad. Por lo tanto, es necesario analizar el consumo de los diversos cultivos característicos de la zona de estudio para tener una visión integral de la problemática del sector.

Finalmente, el realizar una guía de eficiencia para el recurso hídrico de los diversos cultivos producidos en los tres cantones es de relevancia, ya que permite tener referencia de las cantidades óptimas para un buen manejo del agua en periodos de vulnerabilidad en los cantones de Carrillo, Nicoya y Santa Cruz. El presente trabajo investigativo se basará en un estudio hidrológico para el aprovechamiento del recurso hídrico en el sector agrícola del Proyecto PAACUME con la visión de brindar alternativas que favorezcan a la sostenibilidad del recurso en relación con los diferentes cultivos que contemplan las zonas de interés.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Elaborar un estudio hidrológico para el aprovechamiento del recurso hídrico mediante una guía de eficiencia para el sector agrícola del PAACUME en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información hidrológica mediante una revisión literaria y visitas de campo a distintos entes gubernamentales y fincas dentro del PAACUME para contar con una base de datos de disponibilidad del recurso hídrico en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.
- Identificar los tipos de cultivos más frecuentes en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, Guanacaste mediante información geográfica para la delimitación del área de estudio para la generación de la base de datos del área de estudio.
- Determinar los requerimientos hídricos de los cultivos para el conocimiento del estado actual del recurso mediante el diseño de una guía de eficiencia de cada cultivo en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, Guanacaste.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

- Se estudiaron los factores causantes de esta problemática en la región de Guanacaste, principalmente en los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya, debido a la falta del recurso hídrico en algunas fincas del sector de Guanacaste.
- Se consultó a expertos de la zona de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya con la finalidad de recopilar la mayor información posible de la zona y de los cultivos producidos a partir de la realización de diversas entrevistas.
- Se buscó brindar herramientas a los agricultores de la zona para solventar el faltante de agua experimentado y puedan tener una producción de sus cultivos.
- Se realizó una guía de eficiencia del recurso hídrico, la cual se espera sirva de guía acerca de la cantidad adecuada necesaria para los cultivos característicos de los cantones en estudio para evitar el desperdicio de agua.

1.5.2 Limitaciones

- Falta de planificación del uso del recurso hídrico.
- Mala gestión del recurso hídrico.
- Poco conocimiento de las personas productoras de la cantidad de recurso hídrico utilizado debido a la falta de recursos económicos para la compra de equipo o la contratación de expertos en la materia.

1.6 Resumen del reporte

Según Evans, et al. (2014), se adaptaron partes y capítulos descritos a continuación:

1.6.1 Capítulo 1-Introducción

En este capítulo, se abordan contenidos de manera general, esto como primer acercamiento con la problemática de los cantones de Santa Cruz, Nicoya y Carrillo. Se abarca la declaración de problemas, donde se resaltan las afecciones de dichos cantones respecto al recurso hídrico en condiciones de sequía para la producción de los diversos cultivos característicos de la zona, además se presenta la justificación con la necesidad de detallar los argumentos del proyecto realizado.

De igual manera, en este capítulo, se comentan los objetivos del estudio tanto generales como específicos, con la finalidad de exponer las metas que se desean lograr a lo largo de la investigación. Asimismo, finalmente, se evidencian los alcances y limitaciones, donde se comentan las restricciones y pautas que se enfrentan a la hora de la elaboración del proyecto.

1.6.2 Capítulo 2- Contexto del proyecto

En el presente capítulo, se detallan las características del área de estudio del proyecto, los cuales facilitan visualizar el estado del recurso hídrico de la zona. Por lo tanto, se aborda la descripción de la zona mediante antecedentes del PAACUME contemplando las características demográficas, hidrográficas, y las actividades socioeconómicas con énfasis a la agricultura y su disponibilidad hídrica dentro de dicho proyecto.

1.6.3 Capítulo 3- Marco teórico

En este capítulo, se presentarán los conceptos claves para el desarrollo del proyecto de investigación y la oportuna comprensión de este. Este apartado es de suma relevancia, pues les facilita, a los lectores, el comprender los términos complejos del proyecto.

1.6.4 Capítulo 4- Estudios de prefactibilidad

Este capítulo presenta un análisis de prefactibilidad utilizando la metodología planteada por Sapag, et al. (2014). Por la naturaleza del presente trabajo, se realizaron los estudios técnicos, financieros, legales y ambientales por la necesidad de determinar la viabilidad con la que cuenta la investigación.

1.6.5 Capítulo 5- Metodología

Este apartado expone la metodología utilizada para el proyecto en relación con los objetivos propuestos. Esta se realizó contemplando la población y muestra seleccionada para el análisis, y, posteriormente, los métodos y las herramientas que faciliten la interpretación y obtención de información, los cronogramas de actividades y la forma ética en la que se procede.

1.6.6 Capítulo 6- Resultados y discusión

El capítulo 6 presentó los resultados obtenidos siguiendo la metodología planteada en el capítulo anterior, donde se especifican las clasificaciones de los cultivos característicos de los cantones en estudio y su respectiva demanda hídrica para la implementación de la guía de eficiencia por los cultivos seleccionados, donde, además, se contemplan las eficiencias de los diversos sistemas de riego.

1.6.7 Capítulo 7- Conclusiones y recomendaciones

Finalmente, en este apartado, se exponen las conclusiones del proyecto, donde se contemplan las aportaciones de las entrevistas, consultas a expertos, selección de cultivos y demandas. Asimismo, se brindaron las recomendaciones y consideraciones sobre el proyecto.

Capítulo 2- Contexto del proyecto

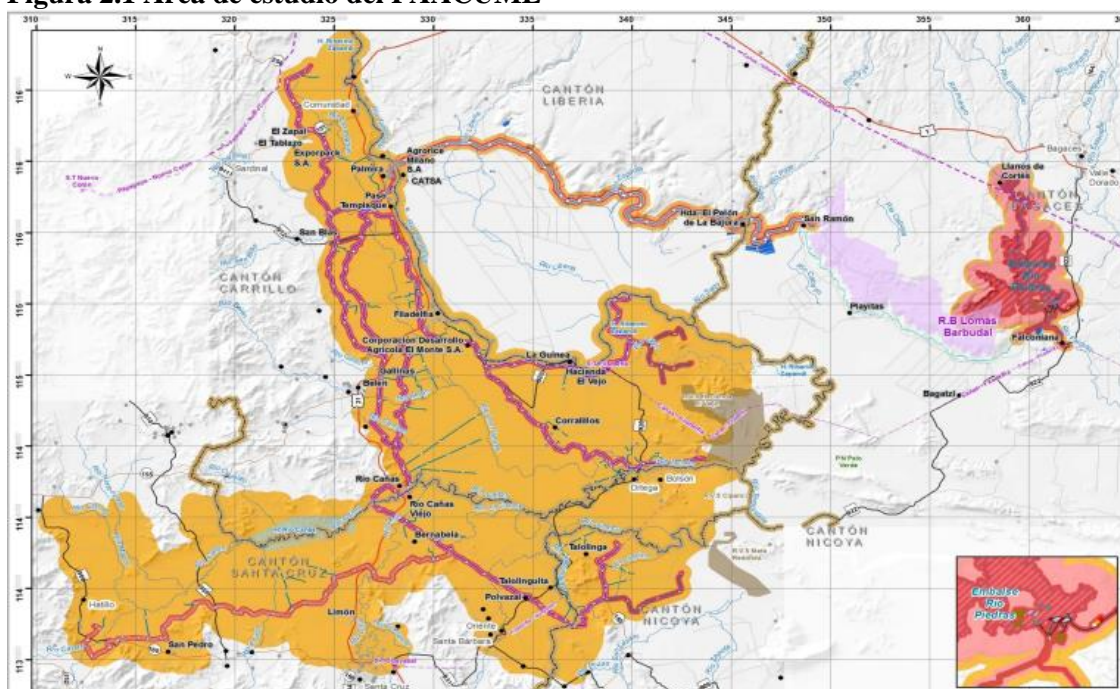
Este capítulo tiene la finalidad de presentar una descripción de la zona de estudio a partir de estudios demográficos, geográficos, climáticos, hidrográficas, así como las actividades socioeconómicas con énfasis en la agricultura dentro del PAACUME.

En el presente capítulo, se describe la zona de estudio con la finalidad de comprender y visualizar la realidad actual sobre la alta demanda de producción de cultivos en la provincia de Guanacaste, aun en periodos de sequías marcados, lo cual dificulta la capacidad de los productores en los cantones de Carrillo, Nicoya y Santa Cruz. Lo anterior se realizó de la mano de la descripción de la zona con respecto a los aspectos socioeconómicos con énfasis en la agricultura, características demográficas, hidrográficas y climáticas, y disponibilidad del recurso hídrico en el Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME).

2.1 Antecedentes de PAACUME

El PAACUME se encuentra localizado en la Región Chorotega en la provincia de Guanacaste, Costa Rica, y comprende, como zona de influencia para riego, a los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya (Figura 2.1). Es importante resaltar que, para poder abarcar dichos cantones, se requiere de instalaciones del proyecto (DRAT).

Figura 2.1 Área de estudio del PAACUME



Fuente: SENARA (2017)

Cabe resaltar que este proyecto, además de abarcar los tres cantones ya mencionados, contempla el cantón de Bagaces, debido a la red de distribución de aguas del Sistema Hidroeléctrico Arenal, Dengo, Sandillal (ARDESA) mediante a la entrega del agua al SENARA por los canales sur y oeste es utilizada Liberia, Cañas y Bagaces con fines de agricultura y ganadería. Seguidamente, atraviesa el río Piedras y distribuye a los cantones principales de PAACUME, destinando el recurso hídrico en sistemas productivos de riego para la agricultura de bajo impacto. Por otra parte, dicha red de distribución no abastece en su totalidad a los tres cantones, sino a nueve de sus distritos (Tabla 2.1).

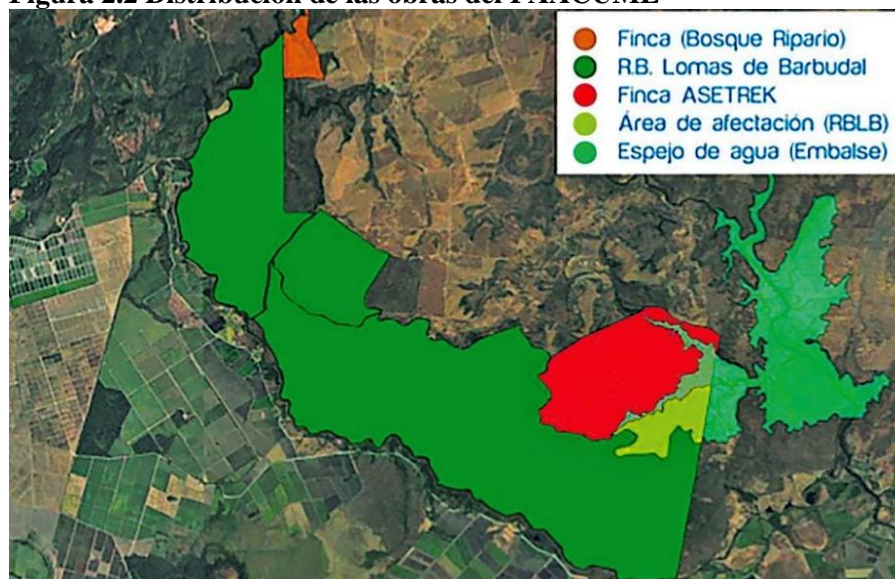
Tabla 2.1 Distribución de los distritos que comprenden los cantones de Carrillo, Nicoya y Santa Cruz

Cantón	Distrito
Carrillo	<i>Palmira</i>
	<i>Sardinal</i>
	<i>Filadelfia</i>
	<i>Belén</i>
Nicoya	<i>San Antonio</i>
Santa Cruz	<i>Santa Cruz</i>
	<i>Diriá</i>
	<i>Bolsón</i>
	<i>Cartagena</i>

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Ahora bien, este proyecto cuenta con obras de infraestructura y distribución. Esto debido a que contempla el riego en zonas turísticas, embalse con espejo de agua, producción hidroeléctrica en tres ocasiones por el ICE, además de la actividad productiva de agricultura de los diversos cultivos característicos de la zona, lo cual es el enfoque principal de nuestro estudio hidrológico (Figura 2.2).

Figura 2.2 Distribución de las obras del PAACUME



Fuente: Chacón (2018)

2.1.1 Actividades agrícolas

La zona de Guanacaste posee suelos que ayudan a desarrollar actividades agrícolas y pecuarias. En mayor proporción, se encuentran los inceptosoles con un 38%, lo cual es equivalente a 384.000 hectáreas. Este tipo de suelos es muy utilizado en pastos, granos básicos, frutales, café, forestales y, en menor escala, en hortalizas. En segundo lugar, están los alfisoles con un 23% equivalente a 230.810 hectáreas, mientras, en tercer lugar, los entisoles con un 19%, lo que en hectáreas serían 194.233 (MAG, 2018).

En la zona, se pueden encontrar otros tipos de suelos, tales como vertisoles y ultisoles, entre otros. Sin embargo, estos se encuentran en menor cantidad. Cabe recalcar que, en todos estos suelos, se producen cultivos como granos básicos, hortalizas, cítricos y también se utilizan para pastoreo de ganado.

En el sector de Carrillo, en gran cantidad, se cultiva la caña de azúcar, ya que se encuentra el ingenio Central Azucarera Tempisque S.A. (CATSA). Este ingenio produce el 73% que se cultiva en toda la región y tiene una capacidad de molienda de aproximadamente siete mil toneladas métricas de caña por día. Produce azúcar blanco, azúcar blanco especial y azúcar en bruto, y tiene una planta de refinación de azúcar con la capacidad de producir azúcar refinada de alta calidad. Otros cultivos que se dan en esta zona a gran escala son el melón, sandía, arroz y maíz (CATSA, 2020).

Como se muestra en la tabla 2.2, la caña de azúcar es el cultivo que más se produce en la Región Chorotega por encima del arroz, el cual es un grano básico de suma importancia en la dieta de los costarricense. Por otro lado, es posible observar que el melón y la sandía no se quedan atrás, ya que grandes extensiones de terreno se utilizan para cultivar estos productos, aunque gran parte de lo producido se utiliza mayormente para la exportación a países como Holanda, Reino Unido, Estados Unidos, Bélgica y Canadá, entre otros (Monge, 2018) (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Tipos de cultivos en la zona de estudio

Cultivo	Fincas destinadas a tal fin (número de fincas)	Área sembrada (ha)
Caña de azúcar	743	35754,6
Arroz	1250	24313
Melón	36	4416,5
Sandía	104	553,7
Total	2133	65037,8

Fuente: INEC (2015)

En la provincia de Guanacaste, la ganadería es otra de las actividades que se genera en gran proporción en la zona. Como se pudo observar anteriormente, los suelos de la región hacen que el crecimiento de pasto para ganadería sea muy bueno, lo cual provoca que esta actividad se dé con una mayor facilidad. De acuerdo con el periódico Mensaje (2016), la ganadería sigue siendo un sector importante en la economía de Guanacaste. En todos los cantones de la provincia, se puede encontrar ganadería a pesar de que los últimos años han sido difíciles para este sector especialmente para los pequeños y medianos productores debido a las afectaciones que genera el fenómeno del niño con la faltante de agua en la zona. El sector ha sabido salir adelante implementando técnicas nuevas para tener un mayor rendimiento de pastos y también garantizarse agua para la época seca.

2.1.2. Características demográficas

El proyecto se llevó a cabo en la Región Chorotega específicamente en los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya. El total de habitantes es de 171 469, personas. El cantón que mayor población posee es Santa Cruz, seguidamente Nicoya y, por último, Carrillo que es el que posee menor población, la mayor parte de esta población son hombres y en menor cantidad mujeres (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Población actual de los cantones de Carrillo, Nicoya y Santa Cruz

Cantón	Población.	Hombres	Mujeres
Carrillo	45 939	23 602	22 337
Santa Cruz	68 939	35 471	33 468
Nicoya	56 591	28 783	27 808
Población total	171 469	87 856	83 613

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Es necesario considerar que, en cada uno de estos cantones, habrá lugares específicos, los cuales se verán directamente influenciados por PAACUME. En el caso del cantón de Carrillo, todos los distritos de este cantón tendrán una influencia directa de este proyecto, mientras que el cantón de Santa Cruz solo los distritos de Santa Cruz, Bolsón, Diría y Cartagena están directamente influenciados por el proyecto. Lo anterior representaría una cantidad de 39160 habitantes, los cuales tendrán la oportunidad de aprovechar este proyecto directamente. Mientras tanto, en el cantón de Nicoya, solo el distrito de San Antonio es influenciado en forma directa por el proyecto, lo cual sería una cantidad de habitantes de siete mil noventa y uno.

Gran parte de las personas de esta zona viven de la actividad turística, ya que la cantidad de hoteles es muy grande debido a la gran cantidad de turistas que visitan nuestras playas y también las distintas atracciones turísticas, como los parques nacionales que guardan gran cantidad de flora de fauna autóctona de la zona. En la región de Santa Cruz, Carrillo y Nicoya, se ha visto muy evidenciado el cambio de actividades propias del sector hacia actividades del sector terciario, pues pasó de un 65% de actividades del sector primario a un 65% de actividades del sector terciario. Dicho en otras palabras, se ha presentado un cambio económico y social, ya que ha pasado de una economía basada en la agricultura, ganadería y extracción de recursos naturales a una economía orientada a los servicios de índole turísticos y de comercio relacionado con servicios hacia la industria turística y hacia la construcción (El País, 2018).

Las personas habitantes de estos lugares están relacionadas directa o indirectamente por la agricultura y la ganadería, pues, en estas zonas, la actividad agrícola es una de las principales fuentes de trabajo. Asimismo, mantiene la economía de estos lugares debido a que muchos de los productos que se cultivan en estos lugares son vendidos en la misma zona.

Los cultivos generados en esta zona mayormente son caña de azúcar, melón, maíz, frijoles y arroz. Estos cultivos se producen mayormente en forma anual, una vez al año y en época lluviosa por la gran falta de agua en la estación seca (MAG, 2018).

2.1.3 Características climáticas

Los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, se encuentran ubicados en la provincia de Guanacaste en la Región Pacífico Norte, específicamente en la Subregión Central del Pacífico Norte (PN2). Donde se presentan sequías y temperaturas en un rango de 22 °C a 33 °C (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Condiciones climáticas de la Región Pacífico Norte (PN), por subregión de Costa Rica.

Subregión	Lluvia media anual (mm)	Temperatura máxima media anual (°C)	Temperatura Mínima Media Anual (°C)	Temperatura media anual (°C)	Promedio de días con lluvia	Duración del período seco (meses)
PN1 (Cabo Velas hasta Bahía Ballena)	2385	30	23	25 a 30	99	4
PN2 (La Cruz, hasta el puerto de Puntarenas)	1800	33	22	28	97	5
PN3 (Falda de los volcanes Orosi, Rincón de la Vieja, Miravalles y Tenorio)	2462	25	17	21	173	3
PN4 (Miramar, Esparza, San Mateo, Orotina y Tárcoles)	2637	27 a 30	20 a 23	25 a 28	111	4

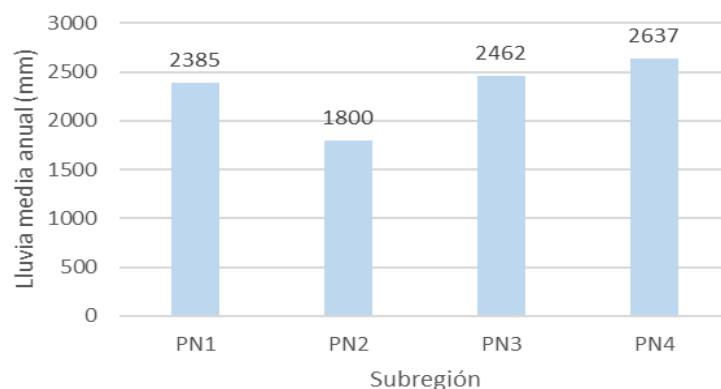
Fuente: Solano (1992)

Con base en Solano y Villalobos (2023):

En el Pacífico Norte, se evidencian áreas con climas templados en altitudes de 800 a 1500 msnm. También, cuenta con climas de las faldas de la cordillera del lado del Pacífico, por encontrarse en regiones montañosas. Por lo tanto, se destaca por sus temperaturas de moderadas a altas, con periodos secos de tres a seis meses (p.4).

Es importante mencionar que están los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo al pertenecer a la subregión PN2, donde se evidencian menores cantidades de precipitaciones de las cuatro del Pacífico Norte con alrededor de 1800 mm media anual (Figura 2.3). De acuerdo con lo anterior, Jankilevic, et al (2019) indican que “se estima que Costa Rica dispone de poco más de 110.000 millones de m³ de agua distribuidos en una red hídrica que contempla dos vertientes: Caribe y Pacífico, y precipitaciones que fluctúan entre 1.300 mm y 7.500 mm/anales” (p.25).

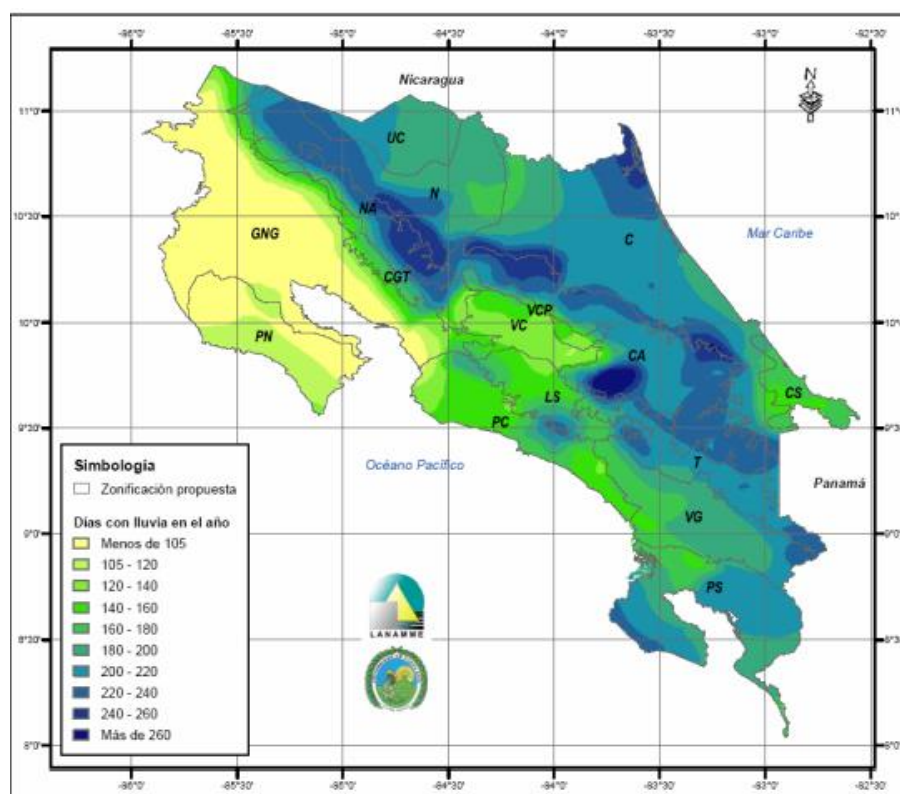
Figura 2.3 Comparación de datos de lluvia media anual en °C de todas las subregiones del Pacífico Norte, Costa Rica



Fuente: Escobar y Viales (2023)

La provincia de Guanacaste presenta periodos considerablemente largos de sequías y menores cantidades de precipitaciones del país, lo cual afecta, en gran medida, a los sectores productores característicos de la zona en referencia a agricultura y ganadería. Estas actividades son totalmente dependientes al recurso hídrico para su producción, por lo tanto, la escasez y estrés térmico de la provincia son las mayores limitantes de la zona. Es necesario enfatizar que dicha región cuenta con menos de 105 días de lluvia en todo el año (Figura 2.4) con un promedio de 97 días y 5 meses de periodo de sequía.

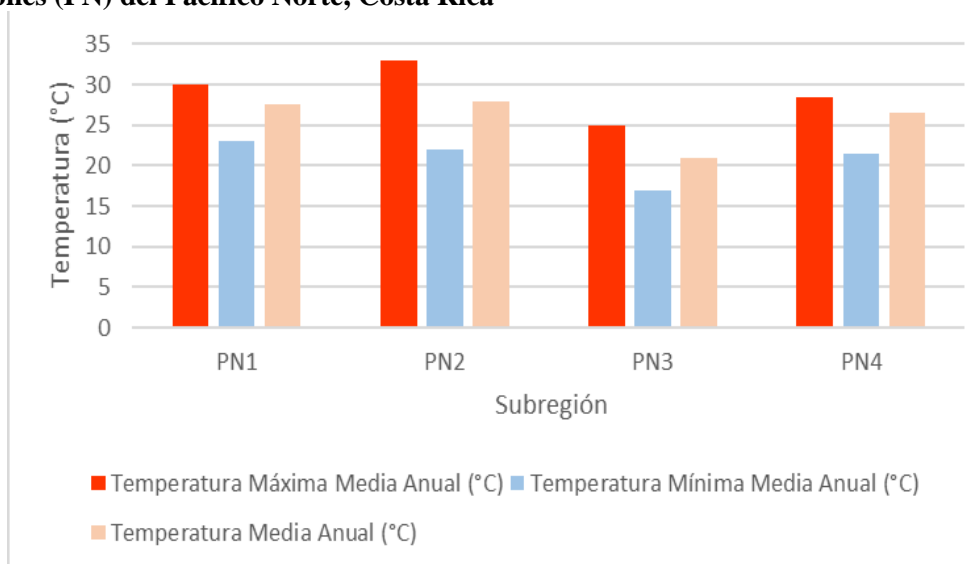
Figura 2.4 Días con lluvia en el año y zonificación propuesta en Costa Rica



Fuente: Orozco (2007)

Más allá de la problemática de sequía y poca precipitación de la provincia, se evidencian altas temperaturas, donde la subregión PN2 presenta la mayor temperatura máxima media anual de las cuatro subregiones, con una máxima de 33 °C (Figura 2.5). Ello dificulta aún más la necesidad hídrica para la producción de los cultivos con la finalidad de compensar y proteger las producciones en periodos de sequías y altas temperaturas.

Figura 2.5 Comparación de temperaturas medias anuales (máx., min., med.) de todas las subregiones (PN) del Pacífico Norte, Costa Rica



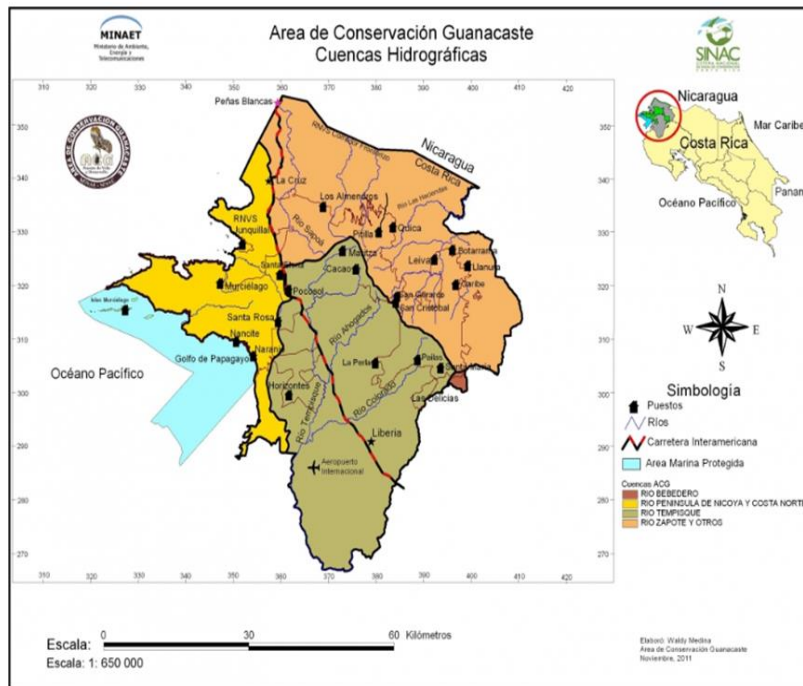
Fuente: Escobar y Viales (2023)

Todas las condiciones climatológicas argumentadas anteriormente se justifican, pues la provincia de Guanacaste pertenece al bosque tropical seco según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967), por lo tanto, se evidencian periodos largos de sequía. De acuerdo con Leiva, et al. (2009), los bosques tropicales estacionalmente secos se presentan en áreas donde la temperatura promedio oscila entre 24-28°C, la precipitación anual varía entre 1000-2000 mm y la relación entre la evapotranspiración y la precipitación anuales es > 1 . La principal característica climática del BTS, que define la mayoría de sus procesos ecológicos, es la incidencia de un periodo de sequía.

2.1.4 Características hidrográficas

Esta cuenca pertenece a la Región del Pacífico al ser una de las cuatro principales cuencas en la Región Chorotega (Figura 2.6). Por consiguiente, presenta dos estaciones definidas: la época lluviosa y la época seca. Según el MAG (2020), la época seca se evidencia en los meses de diciembre hasta marzo y el mes de abril se considera como el transitorio entre las diferentes estaciones. Por otra parte, la lluviosa se presenta entre los meses de mayo hasta octubre donde el mes transitorio sería en noviembre, evidenciándose además una disminución de precipitación entre julio y agosto, pero un aumento en vientos.

Figura 2.6 Cuencas pertenecientes a la Región Chorotega



Fuente: Medina (2011)

De acuerdo con el IMN (2023), se aporta la información de delimitación de la cuenca Tempisque (Figura 2.5):

Esta cuenca tiene un área de 3.354,83 Km², lo que representa el 6,56% de la superficie nacional. La misma está conformada por la confluencia de los ríos Tempisquito y Ahogados. La delimitación de la cuenca se ubica entre las coordenadas planas 232.300 - 328.800 de latitud norte y 340.900 - 400.175 de longitud oeste (p.360).

En esta cuenca, se presentan las actividades productivas de ganadería, turismo y agricultura. Para fines de este proyecto investigativo, se dará un énfasis al sector agrícola por el consumo de recurso hídrico en sistemas de riego, ya que, en la cuenca, se cuenta con cultivos de caña de azúcar, melón, pasto, arroz y sandía. Se debe mencionar que algunos de estos productos son de exportación.

De acuerdo con la figura 2,6, se observa que contiene a los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo. Por tanto, es la cuenca con la que se trabaja en el PAACUME. Es necesario conocer la demanda de agua total de la cuenca con fines de contextualización acerca del recurso hídrico, donde se destaca que el consumo más requerido de la cuenca es para el riego de cultivos, agroindustria y acueducto (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Datos de demanda hídrica total de la cuenca río Tempisque en sus respectivas actividades

Usos del recurso hídrico	Porcentaje de demanda del recurso hídrico
Comercial	0.01%
Consumo humano	0.13%
Riego	77.90%
Agroindustrial	16.78%
Agropecuario	0.99%
Turismo	0.47%
Acueducto	3.57%
Industrial	0.16%
Total	100%

Fuente: Escobar y Viales (2023)

2.1.5 Disponibilidad del recurso hídrico

El agua es un recurso indispensable para la vida, pero no solo se puede decir que para la vida humana, sino que también para la vida del planeta. Es necesario saber que el planeta Tierra es un solo ecosistema con múltiples y maravillosas formas. Uno de los recursos en la salud de nuestro planeta sin dudas es el agua, la cual es considerada como un epicentro para el desarrollo sostenible y para un crecimiento socioeconómico clave.

Actualmente, a nivel mundial, la posición referente al agua es de alerta, pues el cambio climático y el calentamiento global hacen que las estaciones lluviosas no sean como, por lo general, solían ser. Estos factores afectan a Guanacaste, en donde los inviernos en los últimos años no han sido como se esperaban y, por el contrario, la sequía es lo que nos hemos encontrado en los meses lluviosos (Gutiérrez, 2017).

En la provincia de Guanacaste, algunas localidades tienen un acceso fácil a este recurso, ya que, con solo abrir la llave del tubo, pueden tener acceso a este preciado líquido, tal es el caso de las comunidades de mayor tamaño como Liberia, Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, entre otras. Para las personas que viven en estos lugares, tener agua todo el día todos los días es algo normal, pero existen otras comunidades o lugares cercanos a estos mencionados anteriormente que no poseen este privilegio, En muchos cantones guanacastecos, el acceso al agua potable es una tarea cotidiana para las familias; mientras en algunas comunidades es escasa o inexistente, en otras regiones dedicadas a la industria turística, es abundante. Las problemáticas del recurso hídrico en esta región van más allá de las épocas de sequía (El País.cr, 2022). Por este motivo, muchas personas se ven en la necesidad de construir pozos artesanales con el fin de tener acceso a este recurso hídrico. La falta de dinero de las personas propietarias de los pozos hace que la gran mayoría de estos pozos construidos no cuenten con análisis de ningún tipo, lo cual pone en riesgo la salud de las personas que utilizan esta agua para consumo y para sus quehaceres diarios.

La provincia de Guanacaste enfrenta muchos desafíos con respecto al tema del recurso hídrico. Uno de ellos es la falta de infraestructura existente y las pocas inversiones hechas al respecto por el Estado. Otras preocupaciones expresadas por las personas de la zona es la falta de acompañamiento

técnico en los procesos y tecnologías para llevar agua de calidad a cada hogar. Asimismo, se debe tomar en cuenta la ausencia de financiamiento enfrentado por las ASADAS para la compra de insumos y equipos tecnológicos (El País.cr, 2022).

A pesar de que el gobierno está poniendo en práctica muchos proyectos para mitigar la faltante de recurso hídrico en estas zonas como PAACUME, el cual es un proyecto que traerá agua a los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya, esta agua será utilizada, tanto para consumo humano, como para riego de cultivos y hasta para turismo. Aún no es un proyecto que esté en funcionamiento, por lo tanto, la problemática en la zona sigue siendo el mismo, además de que no toda la región se verá beneficiada, ya que el canal no recorre toda la provincia.

En ese sentido, se podría decir que la disponibilidad del recurso hídrico en Guanacaste no es abundante y tiene un déficit, ya que, año tras año, las lluvias disminuyen y causan que los ríos y acuíferos cada vez tengan menor recarga. Ello conlleva a un faltante hídrico y que las sequías sean más extensas, provocando menor cultivos y una mortalidad más grande de animales, lo cual provoca pérdidas económicas al sector agrícola de la zona. Además, afecta, de manera directa, la salud humana al no contar con acceso a agua, o bien, se poseen fuentes de agua con influencia de agentes contaminantes.

2.1.6 Infraestructura propuesta por el Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME)

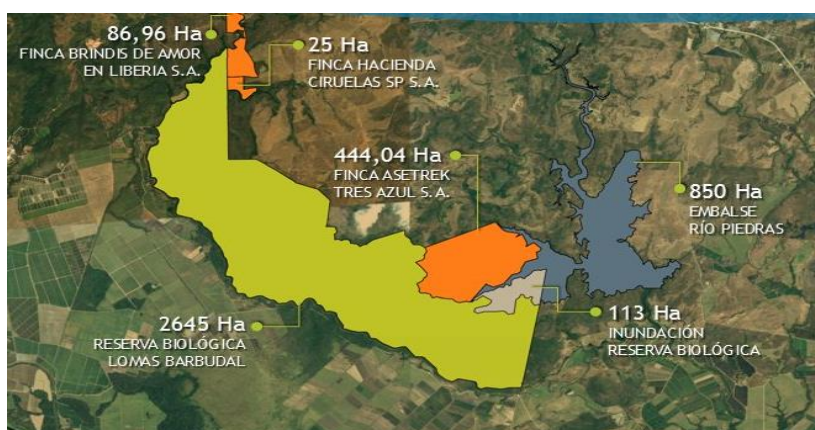
El PAACUME, como se ha mencionado anteriormente en los antecedentes, busca aprovechar el agua del Sistema Hidroeléctrico Arenal, Dengo, Sandillal (ARDESA) para actividades productivas de manera responsable y sostenible con el medio ambiente, en especial, con el recurso hídrico. Dicho aprovechamiento se logra con la utilización de infraestructura (DRAT).

Con base en lo anterior, SENARA (2022) aduce que estas instalaciones son requeridas para los procesos de captación y distribución del recurso hídrico, específicamente, la Presa Miguel Pablo Dengo (PMPD) y el Canal Oeste Tramo I. Además, se cuenta con un embalse en un área cercana al río Piedras y se va a ampliar y mejorar el Canal Oeste desde el río Piedras hasta el río Tempisque.

Es necesario resaltar que este proyecto se encuentra conformado por cuatro componentes:

1. Embalse Río Piedra
2. Ampliación del Canal Oeste
3. Red de distribución margen derecho del río Tempisque
4. implementación de un plan de desarrollo para el área directa e indirectamente como trabajo en conjunto con el DRAT (Figura 2.7).

Figura 2.7 Ubicación de los componentes del PAACUME, además de los canales e instalaciones del DRAT



Fuente: SENARA (2017)

Por otra parte, las obras de infraestructuras propias del Proyecto PAACUME abarcan más de diecisiete mil hectáreas y cincuenta y cinco kilómetros (Tabla 2.6) con el propósito de cumplir con las necesidades en las diferentes actividades productivas de los tres cantones. Dichas actividades van desde la producción eléctrica, agricultura, turismo y reservas donde se estiman distribuir 40 m³/s repartidas en las cuatro fuentes de trabajo estipuladas en las proyecciones del proyecto (Tabla 2.6).

Tabla 2.6 Obras de infraestructura dentro del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME)

Obras	Área
Presa que crea un embalse.	850 hectáreas
Infraestructura para generación hidroeléctrica en la presa.	-
Un canal para trasladar el agua desde el embalse hasta Palmira, donde se atravesaría el río Tempisque mediante un sifón.	55 kilómetros
La red de conducción y distribución atiende a más de 1000 propietarios de fincas en los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya.	17 mil hectáreas

Fuente: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (2023)

Tabla 2.7 Productos esperados de las obras con respecto a la distribución del recurso hídrico de infraestructura dentro del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME).

Actividades	Cantidad recurso hídrico
Generación eléctrica	20m ³ /s
Riego agropecuario	16.5m ³ /s
Riego en zonas turísticas	1.5 m ³ /s
Reserva para agua potable	2m ³ /s

Fuente: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (2023)

2.2 Estrés hídrico en la zona de estudio

Es necesario saber a qué se hace referencia con el concepto estrés hídrico. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023), la extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles es la razón entre el total de agua dulce extraída por los principales sectores económicos y el total de recursos hídricos renovables, teniendo en cuenta las necesidades ambientales de agua. En otras palabras, esta zona sufre de un estrés hídrico importante, el cual aumenta día tras día. El aumento de la población, la toma de grandes cantidades de agua del sector industrial, el riego de cultivos y la alta demanda de agua en las zonas

costeras generan que los acuíferos y ríos de la zona se vean sometidos diariamente a un estrés hídrico importante.

Además, cabe recalcar que, en los últimos años, la época lluviosa no ha sido muy activa como sí lo eran hace varios años atrás. Esto, sin duda alguna, genera menor capacidad de recarga y la construcción de edificaciones en zonas de recarga de acuíferos provoca un agravamiento mayor del problema. Dicha demanda de agua requerida por la población de estas zonas obliga a las ASADAS y al AyA a tomar medidas nuevas para poder abastecer y lograr que la gran mayoría de personas pueda disfrutar de este recurso tan valioso.

Asimismo, la industria hotelera se ha visto afectada en los últimos años debido a que los sitios utilizados para abastecer de agua a sus propios hoteles, en la actualidad, no cuentan con la suficiente cantidad de agua o, en muchas ocasiones, están secos o se han salinizado. Por este motivo, recurren a los sistemas comunales (ASADAS) y al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) para tener una solución a sus problemas, lo cual genera una gran disconformidad en las personas usuarias de este recurso, ya que temen quedarse sin agua para ellos. Este tipo de conflictos ha sido muy común en la zona de Guanacaste en tiempos recientes.

Por otra parte, existen dos casos que se dieron últimamente en Sardinal y Nimboyore. Estos conflictos se producen por causa de cambios en las formas de gestión del agua en los cuales el Estado ha querido tomar el control de estructuras de gestión comunitarias con el fin de garantizar el servicio a proyectos turísticos (Cañada, 2019).

Guanacaste es una provincia donde el desarrollo de la agricultura ha ido en crecimiento, lo cual es acompañado por un aumento en su población y el auge turístico. Asimismo, las plantaciones de caña de azúcar en esta zona provocan un gran consumo de agua y aproximadamente el 66% de estas plantaciones de caña están bajo riego, ya sea por aspersión, superficie o goteo. Esta práctica el aumento de las temperaturas del medio ambiente y la disminución en el aporte de las lluvias ha generado un estrés hídrico en la zona (Ángulo, 2019).

A pesar de que uno de los principales retos de la humanidad es la gran demanda de agua para riego, que, a la vez, es necesaria para la producción de alimentos. La FAO estima que la superficie de riego ha aumentado a un ritmo constante del 5% cada diez años y, en Costa Rica, no es la excepción (O'Neal, 2017). Por ende, se le debe dar prioridad al consumo de agua potable, ya que, aunque los alimentos son necesarios para poder sobrevivir y que muchas personas dependen de ellos para obtener sustento económico, no se puede dar prioridad al agua de riego sobre la de consumo. Por esta razón, es necesario implementar técnicas de ahorro y reutilización de agua con el fin de lograr una producción óptima, pero con un gasto de agua menor.

2.3 Estudios previos sobre la implementación del PAACUME

De acuerdo con la búsqueda de información realizada, se encontraron varios estudios relacionados con este proyecto, los cuales son de mucha utilidad para entender, de una manera más clara, qué se pretende realizar y cómo se va a hacer, además de las limitaciones que se pueden encontrar y aportan, en gran manera, a la realización del presente proyecto:

- a) “Generación de curvas de intensidad-duración-frecuencia del periodo de 1999-2019 para la zona de influencia del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME)” (Vargas, 2020).

En este proyecto, se desarrollan curvas intensidad-duración-frecuencia a partir de las ecuaciones calculadas para la zona de influencia del PAACUME en el período de 1999-2019. Estas curvas son de gran utilidad, ya que servirán como línea base en la actualización de este

tipo de información, la cual es necesaria para llevar a cabo estimaciones de índole hídrica en el proyecto, permitiendo avanzar con futuros estudios a nivel hidrológico.

- b) “Apoyo para la estimación de niveles máximos de cuatro cauces naturales involucrados en el trazo del Canal Oeste, tramos II y III del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME)” (Vargas, 2021).

El proyecto mencionado determina los caudales máximos de cuatro cauces naturales ubicados en los puntos de intersección con el Canal Oeste, Tramos II y III, en donde se colocarán los sifones del PAACUME. Este trabajo pretende brindar solución al problema de faltante de datos para la estimación de caudales máximos, que es necesario para el dimensionamiento de obras de infraestructura hidráulica como sifones, los cuales se colocarán con la intención de que las aguas que se transportarán por el Canal Oeste hacia la margen derecha del río Tempisque no se alteren de manera física, biológica y química al pasar por los puntos de intersección con cuatro cauces naturales.

- c) “Apoyo en diseños y análisis hidráulicos e hidrológicos a la Unidad Gestora del Proyecto PAACUME SENARA” (Hurtado, 2021).

Para este proyecto, se hizo una determinación de los caudales máximos para un periodo de retorno de 50 años de las cuencas Tempisque, Moral, Zopilota y Cabuyo hasta el punto en que sus cauces principales intersecan con el canal oeste de SENARA. Dada la importancia que representa este canal para los usuarios de la margen derecha del río Tempisque y el alto riesgo que representan los cauces naturales a la integridad de la estructura, es necesario realizar un estudio hidrológico que permita calcular los caudales máximos de cada uno de los cauces en el punto por donde se construirán los sifones para evitar daños en el futuro.

- d) “Diseño hidráulico de alcantarillas para la evacuación de aguas del canal oeste (tramo III) del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras” (Arriola, 2020).

En el presente proyecto, se realizó un diseño hidráulico de alcantarillas en el Canal Oeste (tramo III) en la nueva infraestructura del PAACUME para evacuar las aguas pluviales. El agua proveniente de la precipitación pluvial sin evacuar puede generar efectos negativos, tales como: erosión de suelos, arrastre de sedimentos, desestabilización de taludes, socavación de la estructura de conducción de agua, reducción acelerada de la vida útil del canal y costos elevados de mantenimiento.

Tener estos estudios previos es de mucha importancia para la realización del presente proyecto, ya que, con la información brindada, se tiene un conocimiento más amplio de esos sectores y las características del canal.

2.4 SENARA

De acuerdo con el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) (2023), este organismo fue concebido como una institución vanguardista en la gestión del recurso hídrico y en la articulación estratégica, con otras instituciones del sector agropecuario y ambiental. Dicha institución tiene bajo su directriz numerosos proyectos que buscan aminorar o tratar de manera sostenible los recursos del medio ambiente, desde fenómenos naturales, sistemas de riego y aprovechamiento del recurso hídrico y drenaje, entre otros. Dichos proyectos se mencionan a continuación:

1. Control de inundaciones
2. Drenaje
3. Riego
4. PARD
5. PAACUME
6. Distrito de Riego Arenal Tempisque
7. Aguas subterráneas

Dentro de las funciones del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, se encuentran el de ejecutar políticas que contempla el aprovechamiento y la distribución del recurso hídrico con la necesidad de impulsar el desarrollo de producción, tanto agrícola, como ganadera, administrar el recurso hídrico para riego y control de amenazas de fenómenos naturales, además de velar por la protección del agua en el país a nivel subterráneo (acuíferos) como superficiales. De igual manera, busca promover la investigación de posibles factores que alteren la calidad y cantidad de recurso hídrico. Asimismo, propone posibles medidas de mitigación de riesgos de los recursos ambientales mediante concesiones y disposiciones legales.

El PAACUME es liderado por esta institución de manera articulada con el proyecto DRAT, además de realizar un enfoque integral y articulado entre instituciones, tanto públicas, como privadas con el objetivo de brindar alternativas de ejecución sostenibles para un uso responsable de los recursos ambientales. Dicho proyecto forma parte del Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste (PIAAG) y, para esto, se debió obtener la validación de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental.

Este capítulo permite la contextualización de los aspectos más relevantes para la descripción del área de estudio dentro del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME) mediante la exposición de antecedentes del proyecto y estudios previos. En conjunto con lo expuesto en el capítulo uno, se definen los conceptos fundamentales por describir en el capítulo tres.

Capítulo 3- Marco teórico

En este apartado, se sintetizan los conceptos de mayor relevancia sobre las variables expectantes al estudio, lo cual permite comprender el propósito del proyecto.

El análisis y estudio del recurso hídrico es indispensable, tanto para la ejecución y mantenimiento de proyectos, como para el abastecimiento, consumo y actividades productivas. Con base en lo anterior, es fundamental conocer las condiciones y variables que contemplen el área por analizar. De acuerdo con la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA) (2018), en Costa Rica, cerca de dos millones y medio de hectáreas y más de doscientos cincuenta mil personas se dedican a cultivar los alimentos. Lo anterior con un crecimiento de producción de ocho por ciento, lo cual permite dar una reducción de pobreza rural de treinta por ciento a veinticuatro por ciento de la mano con un aumento en la comercialización de dos y medio en ventas.

Esta actividad productiva es de las más importantes respecto de la economía del país, pues atribuye alrededor de doscientos millones, según Arias (2005, p.158) el desarrollo económico y social de nuestro país ha estado ligado a la producción agrícola como actividad generadora de divisas, fuentes de trabajo y riqueza. El sector agropecuario es el segundo generador de empleo del país, actualmente 15% de la población económicamente activa depende en forma directa de la agricultura.

Ahora bien, la provincia con mayor producción es Guanacaste, donde se cuenta con diversas cantidades de hectáreas de terreno para la producción de cultivos, pero es de las más castigadas en términos de disponibilidad del recurso hídrico, debido a extensos períodos de sequías y estrés hídrico característicos de la zona por diversos factores como cambio climático, entre otros. Por lo tanto, es fundamental conocer el estado actual del recurso hídrico de las mayores zonas productivas en la provincia de Guanacaste con la necesidad de contemplar vías y maneras que fomenten el aprovechamiento del agua, al igual que un desarrollo sostenible.

3.1 Estudio hidrológico

Es necesario conocer que existen diversos tipos de estudios hidrológicos, los cuales se enfocan en distintos aspectos como: morfología del terreno, cantidad de lluvia, geología y realización de balances hídricos.

Un estudio hidrológico es el método a través del cual se miden las características geológicas y físicas de un terreno. Los científicos realizan este estudio para determinar si el suelo es adecuado y soporta las necesidades de un proyecto. El objetivo principal del estudio es determinar las condiciones de permeabilidad del terreno, es decir, si existe o no infiltración en el suelo y la velocidad de infiltración (Umaña. 2014).

Para que sea un estudio hidrológico, se deben obtener datos sobre el uso del agua para cada fuente. Entonces, se calculan parámetros como: caudal aportado por cada sistema o acuífero, presión distribución, evapotranspiración potencial y demanda quemante localizadas dentro de esa misma área (Umaña, 2014).

Los estudios hidrológicos se hacen con la finalidad de que la infraestructura o el proyecto desarrollado no corra riesgos de destrucción por crecidas de ríos o bien de inundación. Para realizar un estudio hidrológico, es muy importante tener bien definida el área de estudio, así como conocer las características físicas de la zona.

Un estudio hidrológico se puede enfocar en diversas áreas, las cuales van desde la escorrentía del agua de lluvia hasta la realización de balances hídricos. El agua de escorrentía generada por la lluvia suele ocasionar muchos problemas en infraestructuras y pone en riesgo la vida humana.

Para el presente proyecto, se realizará un balance hídrico mediante el cual se pretende obtener la cantidad de recurso hídrico que cada cultivo demanda en las diferentes fases de su crecimiento y hasta su cosecha, así como la disponibilidad existente de este recurso en las fincas.

3.1.1 Balance hídrico

El balance hídrico superficial de oferta y demanda es una herramienta para evaluar cuantitativamente, en las dimensiones espaciales y temporales, los recursos hídricos en una unidad geográfica. Las técnicas para su evaluación proveen medios útiles desde una perspectiva científica y práctica. Su potencial es tal que permiten la inferencia de posibles efectos de los múltiples niveles de interacción de los parámetros del ciclo hidrológico proveen medios para definir magnitudes de variables no cuantificables por métodos o cálculos directos (Shuttleworth, 1993) y proporcionan información para identificar deficiencias y fortalezas en las redes de monitoreo e identificar errores sistemáticos en las mediciones (Moreira y Ortuño, 2016).

Los estudios de balance hídrico brindan los medios para asesorar las condiciones y así entender los requerimientos del sistema intervenido. Cuando el análisis realizado sugiere la existencia de déficit en el sistema, las soluciones serán enfocadas hacia un diseño de estrategias de almacenamiento de agua en época de lluvias para su utilización durante la época de estiaje, la planificación de estrategias para lograr una distribución equitativa principalmente durante la época de carencia, el análisis de posibilidades de transferencia del recurso desde otros sistemas, el reúso o reciclaje de agua, la necesidad de definir estrategias alternativas para proveer el recurso y la administración de la energía necesaria para que aquellas alternativas sean viables, entre otros (Moreira y Ortuño, 2016).

3.2 Riego

El riego es una práctica utilizada para estimular la producción agrícola, compensando la falta de agua en zonas donde la lluvia es escasa, o bien, se distribuyen de forma irregular. Las técnicas utilizadas en el pasado eran poco eficaces en cuanto al uso del agua. Actualmente, las técnicas han mejorado ya que la tecnología de regadío ha ido avanzando, esto a partir de la distribución del agua a presión. En ese sentido, aún se utilizan antiguos sistemas de riego, como los del cultivo del arroz en el Asia Monzónica, lo cual se utilizaba desde la era cristiana (Martínez, 2014).

El riego permite la accesibilidad del cultivo donde no es viable por las características climáticas, también permite intensificar la producción de áreas de cultivo. Por ejemplo, del 17% de las tierras cultivables del mundo, se obtiene más del 50% de toda la producción agrícola (Enciso, 2021)

El acceso al riego permite practicar la agricultura en lugares donde no es viable hacerlo. Además, incrementa la productividad y diversifica las cosechas, lo cual genera un incremento del ingreso de los campesinos. Por estas razones, el riego no solo contribuye a la tecnificación del campo, sino también al crecimiento sostenido del sector agropecuario (Enciso, 2021)

Luego de la segunda mitad de este siglo, cuando las nuevas técnicas de riego empiezan a surgir, con el uso de agua más eficaz, se contribuye a la gran expansión de regadío en el mundo, generando que se dé agricultura en zonas donde antes era impensable que esto sucediera (Martínez, 2014).

3.2.1 Inconvenientes del riego

Es necesario estudiar las consecuencias que traen las malas prácticas de irrigación, como lo es las pérdidas de agua por un mal manejo de los sistemas de riego, contaminación del agua y salinización de ella. Las pérdidas de agua por el manejo de los sistemas se dan al no llegar a la zona de las raíces, esto es causado por agregar agua a una velocidad mayor de la que se infiltra en el suelo, causando escurrimiento y evaporación de la misma causando pérdidas de agua.

Este escurrimiento causa contaminación en cuerpos de agua como ríos o mantos acuíferos ya que arrastra químicos que se disuelven con el agua que se encuentran en superficie del suelo como lo son fertilizantes nitrogenados los cuales son una amenaza ambiental (Enciso, 2021).

La salinidad en la tierra puede ser originado por muchos factores, uno de ellos puede ser que el agua ya se encuentre salinizada o que bien el cultivo transpire agua pura, los climas calurosos y secos son más propensos a tener tierras salinizadas. Asimismo, la falta de drenajes es otro factor que puede llegar a aumentar la salinidad, debido a que, sin estos drenajes, el riego siempre irá acompañado de sales que se encuentran en el suelo y se genera una acumulación de estas (Enciso, 2021).

En la actualidad, las técnicas utilizadas son muchas. Entre ellas, puede haber unas de mayor eficiencia que otras. Algunas de las técnicas utilizadas son las siguientes:

3.2.2 Riego por gravedad

En el riego por gravedad, se utiliza una técnica común, la cual es aplicar el agua sobre la superficie del suelo y, por medio de la gravedad, esta se distribuye por el campo. Mientras el agua se va regando, el caudal disminuye debido a la infiltración en el terreno.

El hecho de que la fuerza de la gravedad realice la distribución del agua hace que no sea necesario disponer de complejas estructuras de distribución de agua cubriendo la parcela a regar, como las tuberías de los sistemas de aspersión o goteo. Por otro lado, tampoco es necesario presurizar el agua para obtener una correcta y uniforme distribución (Arteaga, 2015).

Lo anterior provoca que los sistemas de riego por gravedad tengan ventajas económicas claras: no necesitan complejos equipos que graven al agricultor con sus amortizaciones. Tampoco es preciso bombear el agua por encima del nivel de la parcela, con el consiguiente ahorro energético (Arteaga, 2015).

Cuando los sistemas de riego por superficie están bien diseñados y son manejados en forma adecuada, el riego por superficie es muy eficiente y permite el riego uniforme de la parcela. Sin embargo, cuando estos sistemas están mal diseñados y operados o no están adaptados a las condiciones particulares de la finca donde se utiliza o la región en que se encuentra, estas ventajas se ven disminuidas por otros costos que pueden estar ligados al sistema, como unas elevadas necesidades de mano de obra, disminuciones en la producción o poca eficiencia en el uso del agua (Arteaga, 2015).

3.2.3 Riego por aspersión

El riego por aspersión se basa en aplicar agua al suelo simulando la lluvia. El efecto se logra gracias a la presión en la que el agua fluye dentro del sistemas de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor. La presión necesaria para lograr este efecto se obtiene normalmente de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno por regar (Peralta & Simpfendörfer, 2001).

Este tipo de riego ofrece ventajas que el riego por gravedad no nos da como, por ejemplo: se puede utilizar en terrenos irregulares, en suelos delgados, suelos con alta velocidad de infiltración, en suelos susceptibles a la erosión, además de cuando se dispone de poco caudal (Peralta & Simpfendörfer, 2001).

3.2.4 Riego por goteo

Este riego consiste básicamente en la aplicación diaria del agua en forma de gotas continuas en la cantidad requerida en el área cubierta por las raíces, formando un bulbo húmedo cuya distribución depende de la textura del suelo y del caudal utilizado principalmente. Cuando son cultivos de alta densidad como el culantro y la lechuga, se forma una hilera húmeda, pero dicha humedad no debe alcanzar el entre surco. Si se trata de frutales, se instalan varios emisores de caudales altos, del orden de 8 lph o más, que establecen un bulbo húmedo en el área dominada por las raíces (Valverde, 2022).

Debido a que los emisores están conformados por agujeros muy pequeños, es de vital importancia el uso de filtros con rangos mayores de 120 mesh, (Nº de hilos por pulgada lineal) con la finalidad de evitar problemas de obstrucción (Valverde, 2022).

El riego por goteo se caracteriza porque requiere de bajas presiones para operar, en un rango de 5 a 10 m, la eficiencia es sumamente alta, superior al 90 %. Además, se aplica solamente el agua que se evapotranspira diariamente (Valverde, 2022).

Con este sistema de riego, el suelo no se considera un almacén de agua como en los otros sistemas de riego, sino solamente como un sustrato, de manera que se puede usar con cualquier tipo de material que sirva de sostén a la planta (Valverde, 2022).

3.2.5 Riego por surcos

El riego por surcos consiste en correr el agua a través de pequeños canales, zanjas o surcos por todo el terreno. El agua llega hasta las raíces de los cultivos introduciéndose hacia los lados y hacia el fondo del surco de riego, lo cual es muy utilizado en la agricultura (PASOLAC. 2021).

Los surcos se hacen en forma de V con una profundidad de 15-20 centímetros y 25 a 30 cm de ancho en la parte de arriba y con un desnivel del 1% para que el agua corra sin dificultad y sin causar erosión (PASOLAC. 2021).

Con el riego por surcos, el productor busca sacar producción en la época de verano que es cuando más hace falta el agua para las plantas. Durante el invierno, es una alternativa para suplir riego en períodos críticos, como en la canícula que, a veces, se extiende por un periodo largo de tiempo.

La implementación de riego por surcos no demanda la adquisición de insumos externos debido a que las herramientas y equipos utilizados se encuentran normalmente en la finca de los productores. Los materiales usados son: el aparato A para el trazado de curvas a nivel, arado de cualquier tipo, azadones y palas. La implantación de la tecnología no demanda de mucha mano de obra; el mayor requerimiento se da en el trazado de los surcos en curvas a nivel o con un pequeño desnivel no mayor del 1 %; luego, para el riego, la mano de obra necesaria es mínima.

3.3 Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME)

El PAACUME cuenta con implicaciones sociales, económicas y ambientales dentro de la Región Chorotega, ya que abarca lo que son los cantones de Bagaces, Liberia, Carrillo, Santa Cruz y Nicoya. De acuerdo con SENARA (2017), se ubica entre las coordenadas planas 366384.46 – 312223.32 F. E y 1159753.3 – 1136311.41 F. N del sistema de proyección CRTM05. Se encuentra en las hojas cartográficas Belén, Carrillo Norte, Diríá, Monteverde, Talolinga y Tempisque.

En seguida se observan los límites de la cuenca del Tempisque, la cual es la que abarca la zona de estudio del proyecto. Por lo tanto, se observa la distribución de la cuenca con sus límites con La Cruz de Guanacaste, Tilarán, Abangares, el Golfo de Nicoya y sectores de la provincia de Alajuela como lo serían: Upala y Guatuso (Figura 3.1).

Figura 3.1 Cuenca del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica



Fuente: La Gaceta (2016)

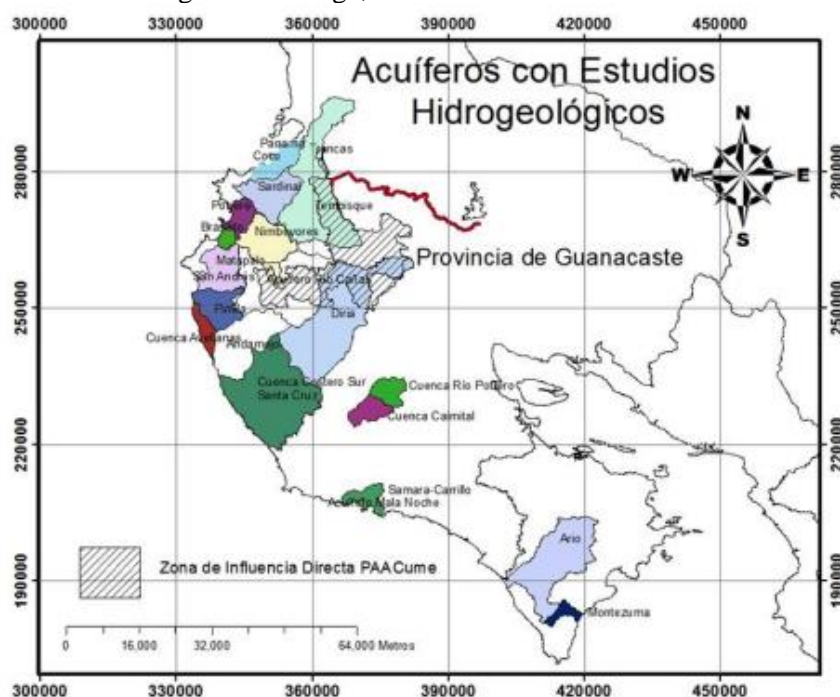
Es importante resaltar que, a pesar de que el proyecto abarca desde el cantón de Bagaces y Liberia. Los únicos cantones que contarán con la red de distribución de riego son los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya. Con base en lo anterior, este proyecto busca hacer frente ante el problema más característico de la provincia de Guanacaste: el déficit hídrico, en especial, la margen derecha del río Tempisque.

Ahora bien, la entidad encargada del funcionamiento del Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME) es el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). Además, según SENARA (2022), PAACUME, al ser un proyecto con inversión pública, está vinculado al Decreto Ejecutivo N°38536-MP-PLAN del Reglamento Orgánico del Poder Ejecutivo del 2014 y al Sector Ambiente, Energía, Mares y Ordenamiento Territorial por la medida de adaptación al cambio climático y disponibilidad del recurso hídrico y, finalmente, al Sector Desarrollo Agropecuario y Rural por su impacto en la seguridad alimentaria y el posible desarrollo social de los cantones en estudio.

Posteriormente, el agua que se propone utilizar será mediante desde las instalaciones del DRAT, el cual es la dependencia perteneciente al SENARA encargada de regular la distribución del recurso hídrico para riego en fincas o terrenos en la provincia de Guanacaste. Si bien es cierto, también será aprovechada para el uso agrícola como un apoyo adicional del DRAT a los productores que lo requieran, también se prevé agua en las zonas turísticas y para agua potable con un total de inversión de 457.797.287,8 dólares, donde se estima que en el 2028 se finalice la construcción de la red de distribución en la margen derecha del río Tempisque.

Es necesario recalcar que Guanacaste, a pesar de su déficit hídrico tan severo, es el más activo en la producción agrícola. Por lo tanto, una pregunta muy acertada es cómo Guanacaste hace frente a la alta demanda de producción de cultivos con épocas de sequías tan marcadas. Para esto, SENARA realizó análisis sobre los acuíferos de la Región Chorotega con la finalidad de determinar las implicaciones o condiciones de estos en el área de influencia del proyecto (Figura 3.2).

Figura 3.2 Acuíferos de la Región Chorotega, Costa Rica



Fuente: SENARA (2022)

Dicho estudio, según SENARA (2022), determina que, en la ampliación del DRAT, con el conjunto de obras que se construirán a futuro, PAACUME tendrá un impacto en los acuíferos del río Tempisque (margen derecha e izquierda) y el acuífero de río Cañas. Además, el proyecto tendrá un impacto en el uso de agua subterránea de todos los acuíferos localizados al oeste del área de influencia directa (acuífero de Santa Cruz, Nimboyore y costero).

Dichos impactos están moderados o estimados por las matrices de impactos ambientales para cada etapa del proyecto donde se ven desde impactos compatibles, moderados, severos y críticos. En ese sentido, los más persistentes son los moderados y severos, y los críticos derivan de la construcción y llenado del embalse donde se debe modificar el tipo de hábitat lótico, reducir los bosques secundarios y riparios, además de la alteración de la calidad bioquímica del agua y ecosistemas acuáticos naturales.

3.4 Casos de estudio

El agua es vital, necesaria e insustituible para lograr el bienestar humano, la competitividad y la sostenibilidad. Consecuentemente, el faltante hídrico es un problema que aqueja a todo el mundo y no solo a nuestra provincia. Por lo tanto, los gobiernos de distintos países buscan la manera de solucionar este problema realizando obras de infraestructura. En México, se realiza un proyecto similar al PAACUME. Dicho proyecto se desarrolla en Monterrey y tiene el nombre de “Monterrey VI”.

Este proyecto pretende darle 473 millones de metros cúbicos al año, lo cual garantiza, según estimaciones, un abasto de 50 años hasta para seis millones de personas mediante la construcción de un acueducto de 372 kilómetros, desde el río Pánuco en Veracruz, hasta la presa Cerro Prieto en Linares Nuevo León con el fin de abastecer a la población metropolitana la cual es de 4.2 millones de habitantes por los próximos 30 años (Tovar, 2021).

Monterrey VI ha sufrido varios problemas para su desarrollo entre ellos es el gran impacto ambiental que causa en esta región razón por la cual ha sufrido muchas trabas se tiene identificado que habrá impactos a la flora y fauna de la región, contaminación, manejo de residuos, emisión de gases, suelo, entre otros. Aunque se explican medidas de prevención para cada una de estas afectaciones, en la realidad, siempre se sabe que no se llevan a cabo al pie de la letra (Soto, et al., 2020).

El capítulo tres explicó los conceptos importantes para el desarrollo de los posteriores capítulos, donde se destaca la necesidad de conservar y aprovechar el recurso hídrico en especial en el ámbito del riego para la actividad productiva de la agricultura en la provincia de Guanacaste. Mediante la descripción de conceptos asociados con las condiciones, tanto climáticas, como de disponibilidad del agua de las zonas de estudio contemplado por el PAACUME, cabe destacar que estos aspectos se complementan y permiten ejecutar, de correcta manera, los objetivos del proyecto.

Capítulo 4-Estudios de prefactibilidad

En este capítulo, se trabajó con la metodología de Sapag, et al. (2014), donde se contemplan cinco estudios que favorecen la evaluación del presente proyecto: legal, ambiental, social, económico-financiero y técnico.

Este capítulo corresponde a la interrogante sobre si es conveniente o no la ejecución del presente proyecto. Este análisis se realizó teniendo en consideración elementos fundamentales para una toma de decisiones con base en la metodología propuesta por Sapag, et al., (2014). Dicha metodología responde a un estudio previo de ventajas y desventajas mediante estudios de prefactibilidad en diversos ámbitos. De acuerdo con la naturaleza del proyecto, se aplican estudios de viabilidad técnica, financiera, legal, ambiental y social.

4.1 Prefactibilidad técnica

Con base en la metodología de Sapag, et al. (2014), el estudio de prefactibilidad técnico permite cuantificar los requerimientos de mano de obra, determinar los insumos, la materia prima y otros aspectos necesarios para la elaboración del proyecto de la mano con el estudio de prefactibilidad financiero (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Requerimientos técnicos para el proyecto

Actividades	Cantidad
Insumos	
Levantamientos topográficos	1
Equipos	
Computadora	2
Herramientas de procesamiento	2
Microsoft Excel	2
QGIS	2
Otros	
Materiales de campo	2
Transporte y alimentación (giras)	5
Servicio telefónico	2
Servicio de Internet	1
Ingenieros hidrológicos	2

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Cabe mencionar que dichos implementos son de relevancia para una ejecución óptima del proyecto, pues los equipos son instrumentos claves para la elaboración de mapas o estudios de datos propios de las zonas abarcadas por el proyecto y los servicios que facilitan, tanto el traslado, como la conectividad a Internet. De la misma forma, permiten un mayor acceso a datos y reuniones con profesionales del PAACUME.

4.2 Prefactibilidad financiera

Con base en el enunciado anterior de la prefactibilidad técnica, se pueden desglosar y ordenar las necesidades técnicas del proyecto con la cantidad monetaria del mismo, estos aspectos consideran tiempos de elaboración. En ese sentido, este estudio analizó la sostenibilidad en relación técnico-costos considerando los insumos, equipos y otras eventualidades (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Presupuesto del proyecto.

Categoría de costo	Rubro	Monto unitario	Cantidad	Unidad	Costo total	Observaciones
Directo	Levantamiento topográfico	₡ 830.000	1	Unidad	₡ 830.000	Pago por servicios profesionales.
	Computadora	₡500.000	2	Unidad	₡1.000.000	Manejo de datos y ejecución de programas.
Directo	Giras de campo	₡15.000 (c/u)	5	Unidad	₡200.000	Transporte, alimentación y hospedaje.
	Materiales de campo	₡20.000	2	Varios	₡40.000	-
Directo	Servicios profesionales	₡900.000	2	Mes	₡3.000.000	Ingenieros hidrológicos
Indirecto	QGIS	-	2	Unidad	-	Sistema de información geográfica
	Microsoft Excel	-	2	Varios	-	-
Indirecto	Servicio Internet	₡ 25.000	1	Unidad	₡ 25.000	Se necesita una red estable para la búsqueda de información relevante al estudio.
	Servicio telefónico	₡ 10.000	2	Unidad	₡40.000	Servicio telefónico
Subtotal					₡3.885.000	
Imprevistos				5%	₡194.250	
IVA				13%	₡505.050	
Total					₡5.844.300	

Fuente: Escobar y Viales (2023)

En el PAACUME, se cuenta, tanto con debilidades en gestión de ingresos y egresos, como con financiamiento del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). De acuerdo con lo anterior, la Presidencia de la República de Costa Rica (2022), de los \$457 millones para la ejecución de este proyecto, \$425 millones provendrán del préstamo con el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) y el resto será aportado como contrapartida por el Estado.

Por otra parte, con las debilidades de gestión económicas se tiene que en el Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras se omiten costos de relevancia (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Debilidades de gestión ingresos y egresos del PAACUME

Construcción de la casa de máquinas para generación eléctrica	Estimaciones por indemnizaciones producto del daño al remanente de terrenos en las expropiaciones del componente “Mejoramiento y ampliación de Canal Oeste”, componente “Red de conducción y distribución en la margen derecha del río Tempisque” y las áreas para reservorios en las distintas comunidades
Indemnizaciones del Tramo II relativas al componente denominado “Mejoramiento y ampliación de Canal Oeste”	Indemnización por la adquisición de la hacienda Ciruelas para la compensación biológica por la construcción del componente embalse Río Piedras.

Fuente: Contraloría General de la República de Costa Rica (2019)

Según la Contraloría General de la República de Costa Rica (2019), lo anterior representa una subestimación de costos asociados al proyecto equivalente a ₡10.096,9 millones, de los cuales ₡2.478,4 millones corresponden a expropiaciones y ₡7.618,6 millones a casa de máquinas que no fueron contemplados.

Por consiguiente, es fundamental tener un balance económico claro e integral donde se contemplen los aspectos expuestos como debilidad en gestión de ingresos y egresos para tener una perspectiva clara acerca de las inversiones para satisfacer las necesidades reales de la población de las zonas de interés del PAACUME.

4.3 Prefactibilidad legal

Según Sapag, et al. (2014), los aspectos de institucionalidad, organismos fiscalizadores o por un marco regulatorio deben ser satisfechos en un proyecto, ya que, por aspectos legales, se pueden restringir diversas actividades que terminan generando más costos al proyecto porque influye sobre la cuantificación de sus desembolsos.

Para que el presente proyecto garantice su legalidad, es necesario realizar una revisión de documento acerca del marco regulatorio legal de Costa Rica con el fin de conocer las leyes y normas que se deben acatar para llevar a cabo el proyecto, además de la vinculación que estas tienen con la protección de entornos ambientales, sociales y económicos.

A continuación, se observa el marco regulatorio del proyecto por desarrollar. En este, se encuentra el orden jerárquico jurídico de la República de Costa Rica en relación con el derecho que toda persona posee al agua, al recurso hídrico, al uso sostenible de este y a la conservación (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Marco de referencial legal aplicable al proyecto

Marco legal	Artículo	Descripción
Constitución Política	50	El Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza. Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.
Ley Constitutiva de SENARA N°6877	2	Fomentar el desarrollo agropecuario en el país mediante el establecimiento y funcionamiento de sistemas de riego, avenamiento y protección contra inundaciones. Contribuir a desarrollar preferentemente aquellos proyectos de desarrollo agropecuario sustentados en una justa distribución de la tierra.
Ley forestal	1	La presente ley establece, como función esencial y prioritaria del Estado, velar por la conservación, protección y administración de los bosques naturales y por la producción, el aprovechamiento, la industrialización y el fomento de los recursos forestales del país destinados a ese fin de acuerdo con el principio de uso adecuado y sostenible de los recursos naturales renovables.
Ley de aguas	1	Son aguas de dominio público: Las de los ríos y sus afluentes directos o indirectos, arroyos o manantiales, desde el punto en que broten las primeras aguas permanentes, hasta su desembocadura en el mar o lagos, lagunas o esteros. Las de las corrientes constantes o intermitentes cuyo cauce, en toda su extensión o parte de ella, sirva de límite al territorio nacional, debiendo sujetarse el dominio de esas corrientes a lo que se haya establecido en tratados internacionales celebrados con los países limítrofes y, a falta de ellos, o en cuanto a lo no previsto, a lo dispuesto por esta ley.
Ley de expropiaciones	3	Estudios previos. Ningún propietario o poseedor, por cualquier título, podrá oponerse a que se practiquen, sobre sus bienes inmuebles, los estudios necesarios para construir, conservar o mejorar una obra pública. También, están obligados a mostrar los bienes muebles para su examen cuando en ellos exista un interés público previamente declarado.
Ley de biodiversidad N°7788 y su reglamento	45 y 47	Artículo 45. El Estado tiene la obligación de evitar cualquier riesgo o peligro que amenace la permanencia de los ecosistemas. También deberá prevenir, mitigar o restaurar los daños ambientales que amenacen la vida o deterioren su calidad. Artículo 47. Cualquier persona podrá ser parte del proceso de tramitación del permiso y suministrar, por escrito, sus observaciones y documentos

Fuente: Escobar y Viales (2023)

4.4 Prefactibilidad ambiental

En la elaboración del proyecto, se consideró el ámbito ambiental con la necesidad de no producir daños o alteraciones al medio ambiente. Bajo esta premisa, el presente proyecto no incurre en ninguna alteración al ambiente. Esto se debe a que es un estudio hidrológico basado en datos existentes, lo cual brindará alternativas acerca del manejo del recurso hídrico en especial para el sector productor agrícola de la provincia de Guanacaste, principalmente en la cuenca media del río Tempisque (Santa Cruz, Carrillo y Nicoya).

Ahora bien, este estudio se basa en datos del PAACUME, por lo tanto, es necesario conocer los impactos o factibilidad del proyecto en el ámbito social. Según SENARA(2022):

Los impactos críticos se vislumbran para el medio biótico principalmente respecto la fauna acuática y por la reducción del área de bosque maduro ripario, por ser un ecosistema de alta fragilidad y, por ende, la pérdida de hábitat de aves, mamíferos, anfibios y reptiles por la inundación de la cobertura vegetal reduciendo los sitios de alimentación, refugio y reproducción de las especies presentes en el sitio (p.388).

De acuerdo con lo anterior, dichos impactos críticos derivan de la construcción del embalse y de la presa. Este aspecto cuenta con medidas de control para nivelar los daños. Por otra parte, es importante resaltar que, más allá de los aspectos negativos, se tienen resultados positivos (Tabla 4.5), tanto por cambio paisajístico, aumento de trabajo por actividades turísticas y una mayor disponibilidad de agua para riego con un caudal disponible de 16,5 m³/s, agua potable un caudal de 2,0 m³/s y para aprovechamiento en riego turístico un caudal de 1,5 m³/s (SENARA, 2022).

Tabla 4.5 Impactos ambientales positivos del PAACUME de acuerdo con la matriz de importancia de impactos ambientales

Plan pronóstico de gestión ambiental	Impacto positivo (+)	Significancia de impacto ambiental
100	Disminución del estrés hídrico a mediano y largo plazo del recurso hídrico.	56
88	Amortiguamiento natural de las avenidas del río Piedras por el efecto del embalse.	39
-	Mayor disponibilidad de agua y alimento a mediano y largo plazo.	71
97	Incremento del valor escénico y calidad del paisaje regional	62
101	Aumento en la disponibilidad de agua en la margen derecha del río Tempisque.	59
102	Disminución del uso de agua extraída de los acuíferos y de las fuentes superficiales.	54
98	Surgimiento de nuevas	45

	actividades agropecuarias por el acceso al agua de riego.	
59	Mejoramiento de las condiciones laborales en la zona durante la etapa constructiva de las obras	58
55	Incremento en la demanda de mano de obra temporal para la construcción del proyecto.	60
99	Cambio en el patrón del uso de la tierra en las futuras áreas asociadas a la red.	51
	Recuperación y traslado de petroglifos a las oficinas administrativas del proyecto.	49

Fuente: SENARA (2022)

4.5 Prefactibilidad social

Es muy importante conocer la percepción social con base en el proyecto, ya que este es un elemento importante que brinda la oportunidad de conocer el pensar de los actores claves. Con esto, se logra un diálogo entre todas las partes y se evitan conflictos que se puedan generar en el futuro por falta de información. El proyecto realizado está dirigido principalmente a las personas de los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya, ya que ellos son los que se ven influenciados directamente con la realización del PAACUME y será a quienes se les realizará un estudio para conocer el uso que hacen actualmente del recurso hídrico disponible en la zona. Es necesario tomar muy en cuenta que hay actores sociales claves, los cuales son de gran importancia para que este proyecto de realice de una manera correcta. Estos actores pueden influir de manera directa o indirecta (Tabla 4.6).

Tabla 4.6 Actores sociales claves para la determinación de la percepción

Relación con el proyecto	Actores sociales
Directo	PIAAG, SENARA y SINAC
	Habitantes de los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya
Indirecto	Gobiernos locales

Fuente. Escobar y Viales (2023)

Al observar la tabla 4.6, se percibe que uno de los actores directos de este proyecto es el PIAAG, ya que el PAACUME es un proyecto de dicha entidad. SENARA es la entidad encargada de administrar el proyecto de abastecimiento de agua para Guanacaste. Esta entidad, como administradora del proyecto, busca que las aguas provenientes del embalse Arenal, las cuales son utilizadas por el ICE en tres ocasiones para generar energía eléctrica utilizada por el sector agropecuario de los cantones de Liberia, Carrillo, Santa Cruz y Nicoya (SENARA, 2022).

Otro actor directo de este proyecto es el SINAC, pues dicha entidad pretende dar seguimiento a un plan ambiental junto con SETENA bajo novedosos esquemas para garantizar la gestión y conservación de diversos sistemas. Este proyecto impulsa la adaptación al cambio climático a las personas en el área de Guanacaste, ya que esta presenta afectaciones por los largos periodos de sequías, los cuales se verán más intensificados (SETENA, 2023).

Las personas que habitan en los cantones mencionados en la tabla 4.6 se verán impactados, pues dicho proyecto trae consigo no solo agua, sino que también un mejoramiento en la economía. Esto porque los productores contarán con agua para sus cultivos, lo cual permite una producción mayor, ya que se podrá cultivar durante todo el año. Además, generará una mayor cantidad de empleos debido al desarrollo que tendrá la zona, tanto en el ámbito agrícola y ganadero, como también en el turístico. La percepción social de las personas en relación con el proyecto es muy buena, debido a que ven con buenos ojos el desarrollo de este por todos los beneficios que traerá consigo (Presidencia de la República, 2022).

Es importante tener en cuenta que el SENARA se ha encargado de informar a la gran mayoría de personas realizando reuniones en las zonas impactadas. Esto con el fin de que ellos tengan una mejor percepción del proyecto, así como los cambios que este generará. Tener un diálogo con estas personas evita tener conflictos a futuro, ya que pueden tener claridad de lo que se quiere hacer y de la manera como provocará impactos.

Los gobiernos locales como las municipalidades son actores indirectos, pero, de igual manera, brindan su aporte, así como reciben sus beneficios, pues se sabe que todos estos gobiernos tendrán un gran cambio al tener un mayor desarrollo. Esto debido a que el agua es un gran impulsor de proyectos, lo cual genera recurso económico para las municipalidades al igual que el turismo, el cual también se ve beneficiado, ya que se recibe un porcentaje de esta agua.

Se realizó una pequeña encuesta a profesionales consultando la factibilidad del proyecto que se está realizando, el cual es un estudio hidrológico para el aprovechamiento del recurso hídrico en el sector agrícola del PAACUME en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo. A lo que respondieron que sí, que era un proyecto muy viable, pues permite conocer el uso que las personas le están dando al agua actualmente.

Con base en los análisis realizados de prefactibilidades técnica, legal, ambiental, financiera y social descritas en el presente capítulo, se concluye que el proyecto es viable en cada uno de estos estudios particulares. Por lo tanto, es posible continuar con el desarrollo de este proyecto.

Capítulo 5-Metodología

En este capítulo, se presentará la metodología por utilizar en el proyecto con la necesidad de cumplir con los objetivos planteados. Por lo tanto, este capítulo se dividió en tres secciones: recopilación de información, determinación características físicas y fisiológicas de la cuenca, y resultados esperados.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente en el capítulo cuatro sobre estudios de factibilidad, en la presente sección, se desglosa la metodología coherente con los objetivos planteados para el proyecto, donde se contemplan los ámbitos económicos, el tiempo de elaboración y la ética profesional.

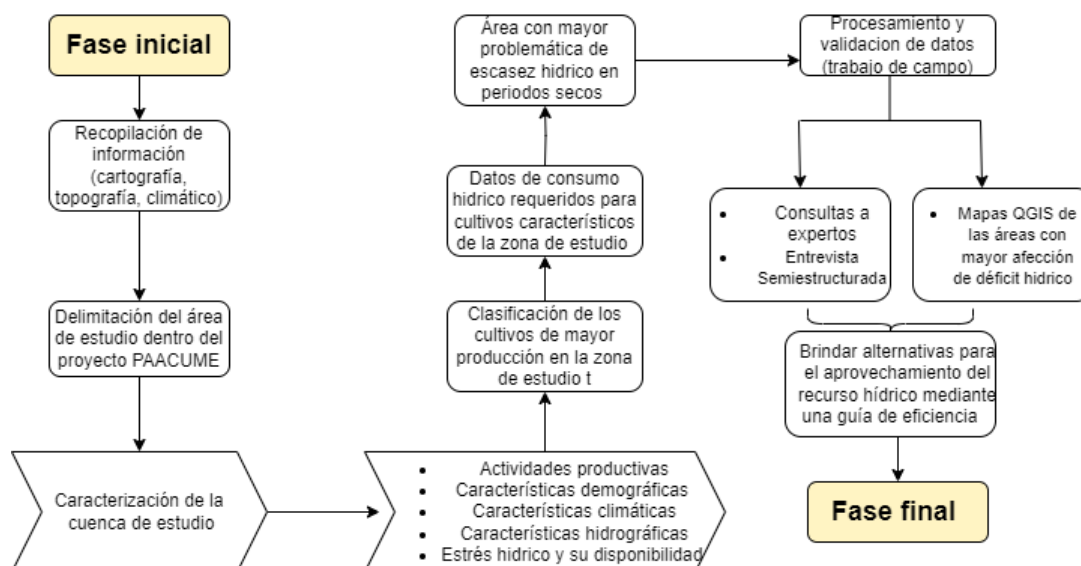
5.1 Descripción general de la metodología

El tipo de metodología que se aplicará para la ejecución del proyecto fue investigación mixta, ya que incorporó los métodos, tanto cuantitativos, como cualitativos al estar orientada al análisis del estado actual de los cantones donde está enfocado el proyecto con la finalidad de brindar alternativas que favorezcan al cultivo de alimentos en periodos de sequía y, a su vez, se tenga un uso razonable del mismo.

Con base en lo anterior, para la realización del proyecto, se siguieron diversos procesos. En primer lugar, se delimitó la zona de estudio ubicada dentro del PAACUME. Seguidamente, se procedió con la caracterización de la cuenca y se clasificaron los cultivos de mayor producción de los tres cantones (Santa Cruz, Nicoya y Carrillo) y su respectivo consumo. Luego, se evaluaron los meses con mayor afección, el caudal y consumo aproximado en las plantaciones.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se consideraron las respuestas de los procesos que validarán los datos recopilados y por criterio profesional. En ese sentido, se brindaron recomendaciones y alternativas que fomenten un uso responsable y sostenible, además de que respondan a la problemática que aflige a la provincia de Guanacaste, en especial, al área de estudio (Figura 3.5).

Figura 5.1 Resumen de metodología que se utilizará para el desarrollo del proyecto



Fuente: Elaboración propia de las personas investigadoras para efectos del presente trabajo investigativo (2023)

La primera etapa es la recopilación de datos de diferentes ámbitos que sean relevantes para la evaluación del estado hídrico actual de las regiones estudiadas, así como la determinación de la ruta crítica del proyecto. La evolución de la investigación se verá acompañada con las observaciones de las encuestas y entrevistas realizadas de manera imparcial, con la finalidad de dar medidas respetuosas con el ambiente y el ámbito socio-económico de los cantones seleccionados.

Ahora bien, a través de la validación de datos, se determinó la viabilidad del proyecto y las respuestas otorgadas ante la problemática presentada mediante entrevistas semiestructuradas a funcionarios productores de la zona con el objetivo de validar y recolectar la recepción del proyecto ante dicha problemática.

5.2 Población y muestra de estudio

El estudio hidrológico tuvo como zona de estudio a tres cantones de Guanacaste: Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, por lo cual, en este apartado, se brindó información sobre la población de estos 3 cantones.

El PAACUME influye, de manera directa, sobre los agricultores de la zona, ya que los beneficia en una forma directa. En ese sentido, 746 productores agropecuarios de la margen derecha del río Tempisque se ven beneficiados con este proyecto, pues verán sus fincas adaptadas al cambio climático en los cantones que abarca el proyecto. Cabe recalcar que este proyecto no solo vendrá a beneficiar a productores pequeños, sino también a grandes empresas y a medianos productores.

El estudio hidrológico que se está realizando toma en cuenta, al igual que el PAACUME a los agricultores pequeños, medianos y grandes. De esta manera, se podrá conocer la utilización actual que le dan al recurso hídrico que poseen a disposición y los métodos utilizados para poder mantenerse con agua en la época seca.

No todos los agricultores de estos cantones se tomaron en cuenta para dicho estudio, pues sería complicado debido a la limitante de tiempo. Por ende, se les consultó a los agricultores ubicados justo en el sector atravesado por el canal, pues son los que tendrán, de manera directa, la disponibilidad del recurso hídrico.

5.3 Métodos y herramientas seleccionados

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se requirió del seguimiento cronológico de los métodos que se mencionarán a continuación para, de esta manera, obtener resultados confiables y acertados. A continuación, se mostrarán los métodos por seguir.

5.3.1 Para obtención de datos

Para este estudio hidrológico, se obtuvieron datos cualitativos y cuantitativos necesarios para llevar a cabo el estudio, así como toda la información de los cantones. Como se deduce, esto va a generar información, por lo tanto, se debe llevar un orden en todos los aspectos. En ese sentido, se decidió implementar una pequeña guía cronológica y estructurada para manejar esta información. Dicha guía se explica a continuación:

En primer lugar, se realizó una búsqueda bibliográfica detallada en distintas páginas web para contar con una base de datos de disponibilidad del recurso hídrico en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. Posterior a eso, también se realizaron visitas de campo con el fin de no solo obtener información por medio de literatura, sino en el campo y observar la situación en tiempo real de los cantones.

Asimismo, por medio de las visitas de campo antes mencionadas, se obtuvo información para clasificar cuáles son los tipos de cultivos más frecuentes en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carrillo, Guanacaste y comparar la demanda hídrica que requieren en su producción mediante una base de datos de consumo por cultivo y así lograr realizar un análisis de información cualitativa y cuantitativa del sector agrícola.

Por último, se investigó la cantidad de agua utilizada por los distintos cultivos en la zona de estudio para generar una guía de eficiencia de recursos hídricos de estos cantones y así promover un mejor manejo del recurso hídrico.

5.3.2 Para procesamiento de datos

Se realiza mediante el uso de los programas como Excel y QGIS, además del análisis del levantamiento topográfico de la zona. Es la manera mediante el cual los datos serán procesados para obtener los resultados y generar el estudio hidrológico, así como recomendaciones y mejoras.

Además, se comparará la oferta hídrica estimada a partir de los datos hidrológicos y el modelado con la demanda hídrica de los cultivos agrícolas mediante el cálculo de un balance hídrico. Ello permitirá identificar posibles déficits o excesos de agua y tomar decisiones sobre el riego y la gestión del recurso hídrico en el sector agrícola.

5.3.3 Para interpretación de datos

En esta fase, se realizó una revisión exhaustiva de los datos recopilados en las distintas páginas web y documentos encontrados, asegurándose de tener una comprensión completa de la naturaleza y las características de los datos. Esto implica examinar la calidad de los datos, identificar posibles errores o inconsistencias y comprender las unidades de medida utilizadas.

Asimismo, se realizó un análisis descriptivo de los datos para resumir y presentar información básica sobre el conjunto de datos. Esto puede incluir mapas realizados en QGIS, tablas de Excel, información del levantamiento topográfico, información característica de los cantones en estudio, procesos hidrológicos necesarios para determinar la viabilidad del estudio. Por último, en esta fase, se comparan los resultados obtenidos con los objetivos y estándares establecidos previamente para el proyecto. Lo anterior implica evaluar si los datos cumplen con los criterios de rendimiento o calidad esperados.

5.3.4 Para validación de datos

Primera validación

En primer lugar, se realizó una validación de los datos interna, la cual consistía en que los creadores del proyecto revisaran su estudio para corregir datos o inquietudes que puedan afectar el proyecto. Luego, se realizó una evaluación con el coordinador y tutores del proyecto para realizar esta misma función, validar los datos e identificar errores que afecten a futuro el estudio. Asimismo, se realizaron entrevistas semiestructuradas, las cuales estarán dirigidas a profesionales y expertos en el tema para tener una validación más completa por parte de todas las personas involucradas.

Herramientas utilizadas

Las herramientas necesarias para llevar a cabo todos estos procesos básicamente fueron la computadora y programas como QGIS y Excel. De la misma forma, se realizarán entrevistas a los agricultores de la zona, por lo tanto, se utilizará un machote de preguntas.

5.4 Otros aspectos por considerar

5.4.1 Presupuesto

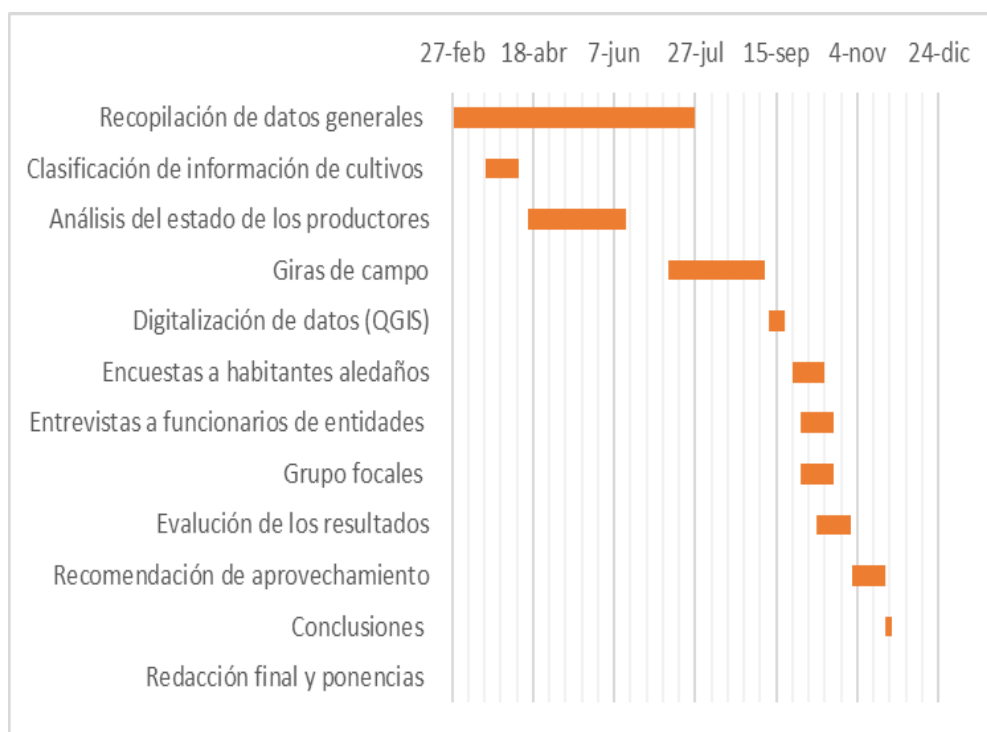
Ahora bien, de acuerdo con el capítulo cuatro sobre prefactibilidades en especial con el ámbito financiero, se estimó el valor del proyecto en ₡5.844.300 aproximadamente. Este presupuesto se encuentra desglosado en el apartado de prefactibilidad financiera en el capítulo cuatro.

Dicho presupuesto contempla gastos de carácter directo e indirecto, donde, directamente, el mayor gasto presentado es el de servicios profesionales de ambos ingenieros hidrológicos por tres millones de colones por el plazo total de la investigación (9 meses), giras de campo e implementos requeridos. Por otra parte, los gastos indirectos serían los servicios de oficina.

5.4.2 Cronograma

El cronograma de las actividades por realizar para la ejecución del presente proyecto contempla un periodo de diez meses, iniciando desde el mes de febrero, hasta el mes de diciembre, incluyendo el plazo de preparación de ponencias y correcciones. Se requiere de una densa investigación de datos por lo que es una actividad recurrente en todo el plazo del proyecto, se presentan también actividades que se realizan de manera paralela.

Figura 5.2 Cronograma de actividades del proyecto



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Las actividades planteadas de manera simultánea fueron las validaciones de datos mediante entrevistas realizadas a pequeños agricultores y medianos agricultores debido a que se asocian y se complementan de manera directa, ya que brindarán retroalimentación para la mejora de estas. De igual modo, se inició la evaluación de resultados obtenidos, desde el inicio del proyecto, hasta los obtenidos en los meses concluyentes.

5.4.3 Ruta crítica

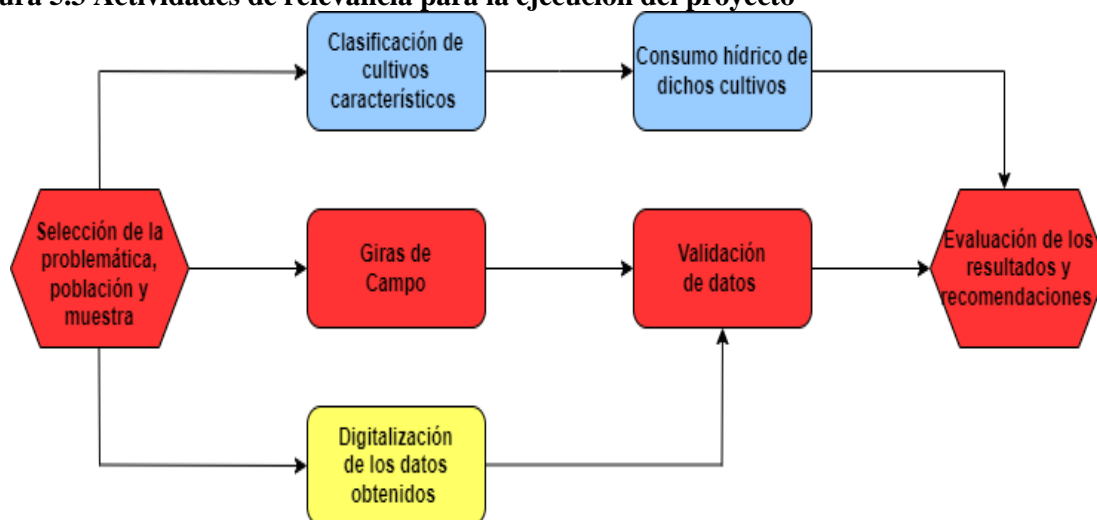
Es importante determinar las actividades de relevancia para la correcta ejecución del proyecto (Figura 5.3). Por lo anterior, el proceso de métodos y herramientas es indispensable a la hora de la ejecución de la investigación de carácter no probabilístico intencionado.

Por consiguiente, el proceso de recopilación de datos es extenso, tanto por trabajo de campo, como por vía web, ya que se busca fundamentar los argumentos de los autores del proyecto, así como justificar ciertos aspectos ambientales de la zona y sus respectivos cultivos. El procesamiento e interpretación de datos permitirá visualizar con mayor claridad los resultados obtenidos a lo largo de la investigación a través de mapas, evaluaciones sociales y ambientales.

La validez de datos es confirmada mediante encuestas donde se conocerá el impacto que presente el proyecto, sea negativo o positivo al medio ambiente y a la estabilidad socioeconómica de los habitantes de los tres cantones seleccionados para el estudio.

Por lo tanto, se tiene, como ruta crítica, la selección de población, la obtención de datos por giras de campo y la realización de la validación explicada en forma detallada en el párrafo anterior para, finalmente, brindar las alternativas pertinentes al caso.

Figura 5.3 Actividades de relevancia para la ejecución del proyecto



Fuente: Escobar y Viales (2023)

5.4.4 Ética en la investigación

Los sustentantes del presente proyecto trabajaron de manera imparcial y sin conflictos de intereses, por tanto, se veló por el seguimiento de los principios y valores determinados por Código de Ética Profesional del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) en el transcurso de toda la ejecución del proyecto de investigación.

De acuerdo con artículo 1 del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2023) los miembros incorporados al CFIA están al servicio de la sociedad. Por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la protección de la vida, a la adecuada utilización de los recursos y a la conservación de un ambiente sano, tomando medidas para prevenir, minimizar o mitigar potenciales impactos ambientales negativos.

Según lo anterior, el presente proyecto busca aportar al bienestar de los habitantes de los cantones afectados que son abordados en la investigación de manera sostenible con el medio ambiente. Por ende, se respetaron los protocolos e infraestructura del proyecto donde se trabajará y, a su vez, se dio un uso responsable a la información obtenida, ya que será de carácter protegida solo con fines académicos y no se revelará datos sensibles provenientes de las encuestas y entrevistas ejercidas en los procesos de validación de datos. Dicha información será almacenada por cinco años para su posterior eliminación.

Por lo tanto, los sustentantes del proyecto registrarán su trabajo mediante los artículo 9 y 10 del CFIA. Los miembros incorporados actuarán de manera seria, objetiva, leal y veraz en sus informes, declaraciones o testimonios profesionales (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2023). En el presente capítulo, se definieron todos los procesos necesarios para la obtención de información y generación de resultados, el cual será el siguiente capítulo. Por consiguiente, será fundamental tener claros los procesos detallados, tanto cualitativos, como cuantitativos del presente proyecto.

5.5 Fórmulas utilizadas para el balance hídrico

Cálculo de la evapotranspiración de referencia (E_{to})

$$E_{to}: (0.0023 * (T_{med} + 17.8) * (T_{maz} - T_{maz})^{0.5} * R_a$$

Donde se define los parámetros utilizados:

E_{to} : evapotranspiración (mm/día).

T_{med} : temperatura media del aire (°C).

T_{maz} : temperatura máxima del aire (°C).

R_a : radiación extraterrestre (mm/día).

Observación: según Solano y Villalobos (2023), las temperaturas promedio de la Subregión Occidental de la Península de Nicoya (PN1) son las siguientes: temperatura máxima media anual: 30°C, la temperatura mínima media anual: 23°C y la temperatura media anual: 28°C (p.6).

La radiación extraterrestre utilizada fue de latitud 10 (anexo 3).

Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (Etc)

$$E_{tc} = K_c * E_{t0}$$

Donde se definen los parámetros utilizados:

Eto: evapotranspiración de referencia (mm/día).

Etc: evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Kc: coeficiente de cultivo (adimensional).

Cálculo del módulo de riego

$$M_R = E_{tc} / E_f * 0.116$$

Donde se definen los parámetros utilizados:

Etc: evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Mr: módulo de riego (l/s/ha).

Ef: eficiencia del sistema de riego (%).

Cálculo del caudal de riego

$$Q = M_r * A$$

Donde se definen los parámetros utilizados:

Mr: módulo de riego (l/s/ha).

Q: caudal de riego (l/s).

A: área de cultivo regado por día (ha).

Capítulo 6- Resultados y discusión

En este capítulo, se sintetizaron los resultados y la discusión. Se busca el cumplimiento de los objetivos planteados para el proyecto de investigación de acuerdo con el aprovechamiento del recurso hídrico en el sector agrícola en la provincia de Guanacaste.

6.1 Resultados cualitativos

De acuerdo con lo planteado en la metodología para el desarrollo del proyecto, se tomaron los datos cualitativos relevantes para la generación de un enfoque integral del estado actual del recurso hídrico en el sector agrícola de los cantones de Santa Cruz, Nicoya y Carrillo. Dichos datos fueron obtenidos por medio de entrevistas, revisión literaria, clasificación de los cultivos y finalmente por consultas a expertos.

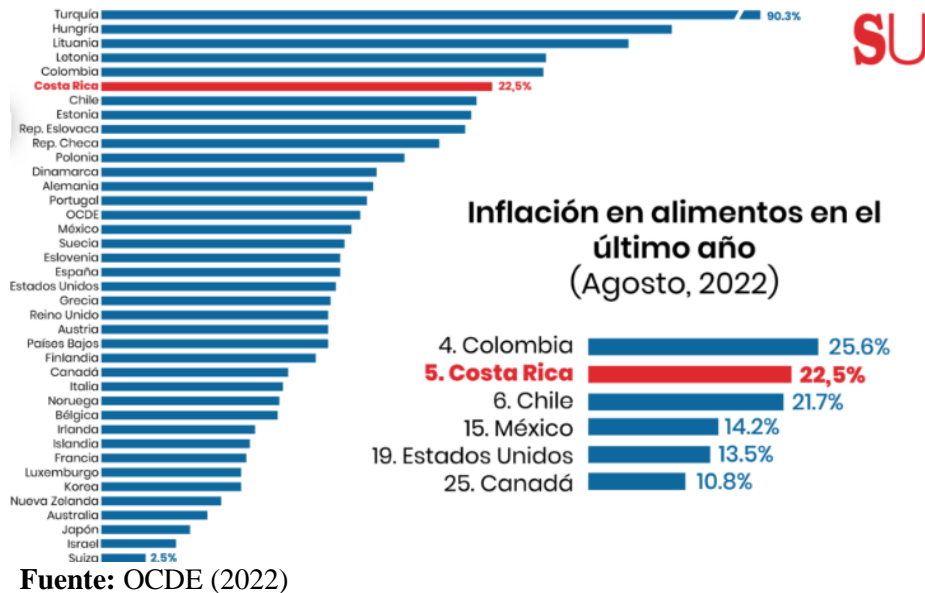
6.1.1 Entrevistas

Se realizaron entrevistas a empresas productoras de los cultivos de arroz y cañas, se argumentó dificultades económicas y de apoyo nacional con los pequeños productores, donde además también se ven perjudicadas las grandes empresas debido a alzas en propuestas por el ARESEP donde se pasaría al doble de costos por metro cúbico de agua.

Se observa que este sector productivo está influenciado con las alzas de inflación. De acuerdo con la Universidad de Costa Rica (2023), en enero del 2023, la inflación de los alimentos y de las bebidas no alcohólicas de Costa Rica se posicionó con una cifra de inflación del 18.5 %. Dicho porcentaje hizo que el país costarricense ocupará el lugar número 17 entre las naciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) con mayor inflación en ese mes de enero.

En años anteriores, de igual manera, el país se encuentra entre las listas de países con mayor inflación alimentaria, tal fue el caso del 2022. Según la OCDE, Costa Rica se posicionó de número 5 (ver figura 6.2) entre los países con mayores aumentos presentados en producción de alimentos.

Figura 6.1. Inflación mundial del año 2022



Ahora bien, de acuerdo con las respuestas obtenidas (ver anexo 2), se determina una mayor demanda en el sector cañero, ya que no solamente se vende el cultivo como tal, sino que se derivan muchos más productos del mismo, como lo sería el alcohol a partir de la melaza y miel que se maquila y vende. Esto ocasiona una mayor generación de empleos como aperturas de restaurantes dentro de ingenios y tours de las instalaciones.

Un aspecto de relevancia abordado en ambas empresas fue que sí contaban con prácticas o medidas de conservación del recurso hídrico, donde se evidencian medidas variadas como lo sería el reúso de aguas y utilización de la soca en caso del arroz, lo cual permite un ahorro del 20% de agua, tuberías flexibles para evitar pérdidas por percolación, además de tener sensores de humedad y sistemas de presurizado por PVC.

Asimismo, se observó la utilización de múltiples sistemas de riego. En el caso del arroz, mayoritariamente, consiste en sistemas de riego y gravedad, mientras que, en la caña de azúcar, se utilizan Pivote, Poly Pipe, además de sistemas presurizados (goteo, microaspersión y aspersión), siendo el de goteo el más eficiente con un 95% (ver anexo 17).

6.1.2 Consultas a expertos

La escogencia de estos cultivos se debe a la gran influencia que estos poseen sobre la región, ya que al realizar la consulta a los expertos en el tema nos recomendaron tomar en cuenta productos populares como la caña de azúcar, arroz, melón, sandía y maíz, los cuales poseen una mayor información sobre el proceso de siembra y producción lo que facilita la obtención de resultados y la realización de la guía de eficiencia. Otro tipo de cultivos no se tomaron en cuenta debido a que en esta zona aún no se cultivan en grandes cantidades como lo son por ejemplo cebolla, tomates, entre otros, debido a la falta de agua en época seca, motivo por el cual hay poca información de ese tipo de productos en esta zona.

Para la realización de la guía es necesario tener el consumo de agua que cada cultivo necesita por hectárea y para conocer este dato recurrimos al manual técnico de dotaciones el cual nos lo recomendó una de los expertos consultados y de esta manera se realizarán los cálculos para conocer la cantidad necesaria de agua que se necesita para una producción óptima evitando el desperdicio de tan preciado recurso.

6.1.3 Revisión literaria

Se realizó una revisión literaria en distintas páginas web, las cuales proporcionaron información de gran utilidad para la realización de dicho proyecto. Entre las páginas visitadas, estaba la página oficial de SENARA. En esta página web, se encontró documentación útil como el estudio de factibilidad de PAACUME. En dicho documento, se describen aspectos como PAACUME, problemática, búsqueda de soluciones y metodología usada. Este documento es muy completo y ha sido de gran ayuda para obtener información, tanto de los cultivos, como de las características de las áreas estudiadas.

De igual manera, se accedió a la página de la Dirección de Aguas, donde se obtuvo el manual técnico de dotaciones documento que ayudó a conocer la cantidad de agua necesaria para los cultivos estudiados y las fórmulas para calcular la cantidad requerida por hectárea. Dicho manual establece la cantidad de agua requerida por unidad de producción o necesidad para cada una de las actividades humanas, lo cual servirá de base para la evaluación técnica de necesidades y para resolver sobre las solicitudes de asignación de caudal en las concesiones e inscripciones, según los usos establecidos en la Ley de Aguas N°276 y Decreto Ejecutivo N°32868-MINAE del Canon por Concepto de Aprovechamiento de Aguas. Su uso es complementario con otros instrumentos y procedimientos ordinarios de la Dirección de Agua y Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE, 2021).

Las páginas del MAG y de SETENA también fueron de gran ayuda, pues ahí se encontraron documentos de gran importancia para la realización de este proyecto.

Tabla 6.1 Revisión literaria sobre el PAACUME y los cultivos característicos

Nombre del documento	Autor
Estudio de factibilidad	SENARA
Manual técnico de dotaciones	MINAE y Dirección de Aguas
Plan operativo institucional- Región Brunca- 2025- 2018.	MAG
Estadísticas vitales 2020, población, nacimientos, defunciones y matrimonios	INEC
VI Censo Nacional Agropecuario	INEC
Código de Ética	CFIA
Declaratoria de impacto ambiental	SENARA
Estudio de factibilidad PAACUME	SENARA
Agua para Guanacaste: SETENA da viabilidad ambiental para proyecto PAACUME	SETENA

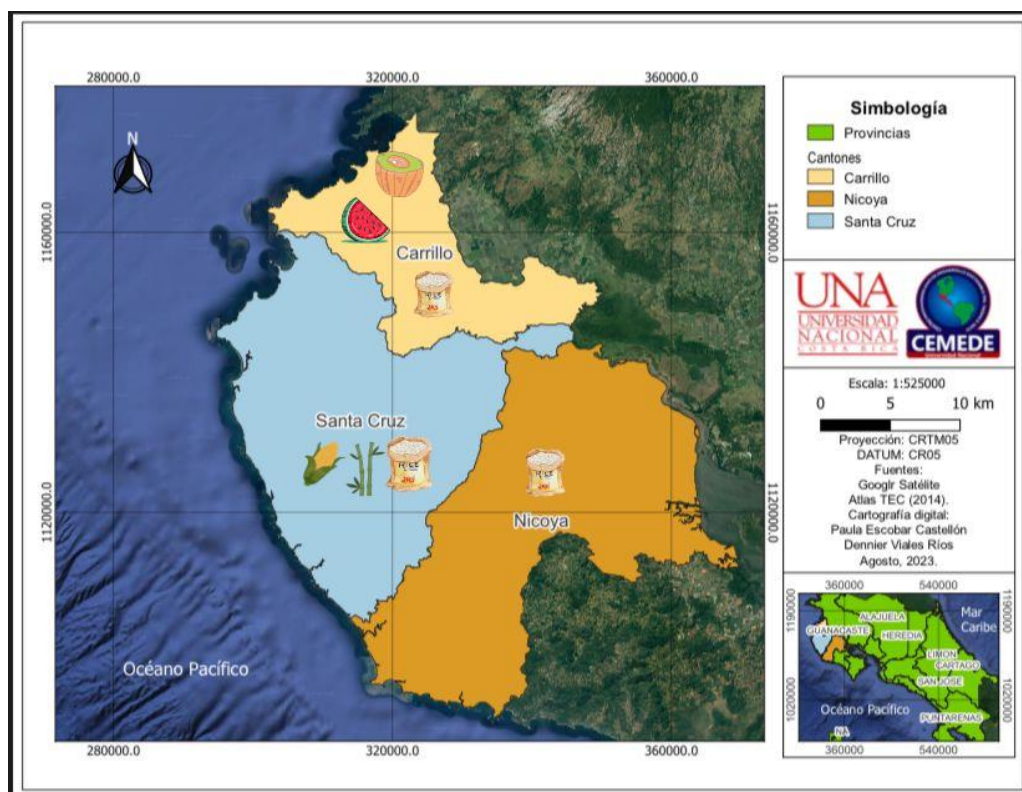
Fuente: Escobar y Viales (2023)

6.1.4 Identificación de cultivos

De acuerdo con las consultas realizadas a expertos, se seleccionaron los cultivos con mayor producción en los cantones en estudio. Es importante mencionar que, para ser considerados como medianos o grandes productores, se deben tener fincas con extensiones iguales o mayores a 100 hectáreas.

Con base en lo anterior, para el presente proyecto, se seleccionaron los cultivos de sandía, melón, maíz, arroz y caña de azúcar, siendo los últimos dos los cultivos más representativos y de mayor producción no solo en los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya, sino de la Región Chorotega con áreas de cultivo entre a 1000 a 9000 hectáreas. Según el estudio de factibilidad realizado por SENARA (2022), en los ya mencionados cantones, se cuenta con alrededor de 35 % de la distribución de la cobertura del suelo en hectáreas para la producción agrícola, se puede determinar que el producto con mayor cobertura tanto en hectáreas como por porcentajes es la caña de azúcar (ver figura 6.2). Esto porque cuenta con mayor apertura comercial debido a que se pueden producir más productos, como miel y alcohol. Es importante mencionar que, a pesar de ser el cultivo de mayor importancia en la zona, no es el más costoso de producir, siendo los frutales los que rondan los cinco a siete millones en costos de producción. Inclusive, el arroz tiene un precio más elevado (ver tabla 6.2).

Figura 6.2 Distribución de los cultivos seleccionados para dichos cantones



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Tabla 6.2 Distribución de la cobertura de suelo por cantones (ha)

Cultivo	Carrillo	Nicoya	Santa Cruz	Total (ha)	Total (%)
Arroz	700,6	145,3	69,4	915,4	2,0%
Caña de azúcar	10.119,3	515,3	2.268,7	12.903,4	28,7%
Cultivo agrícola	221,4	20,1	517,9	759,3	1,7%
Cultivos anuales	737,1	0,00	22,8	759,8	1,7%
Frutales	111,8	1,2	181,7	294,7	0,7%

Fuente: Escobar y Viales (2023)

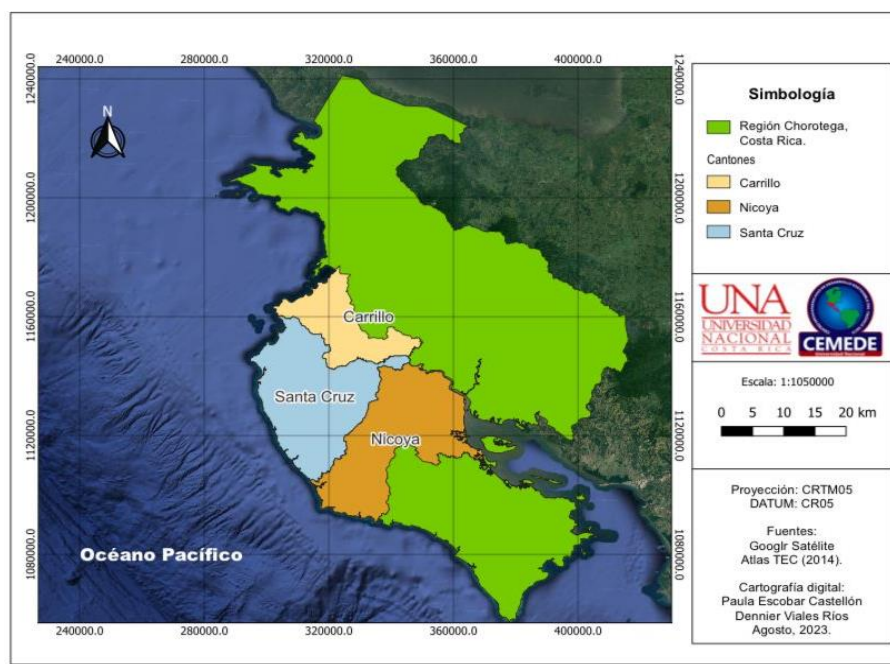
6.2. Resultados cuantitativos

Seguidamente, de acuerdo con la metodología, se trabajó con los datos cuantitativos, donde se obtuvieron las delimitaciones del área de estudio y los respectivos cálculos sobre la demanda hídrica de los cultivos seleccionados. Los resultados de los cálculos serán fundamentales en la elaboración de la propuesta de guía de eficiencia sobre los cultivos.

6.2.1 Delimitación del área

En su totalidad, el PAACUME abarca seis cantones: Liberia, Cañas, Bagaces, Carrillo, Santa Cruz y Nicoya mediante los canales oeste y sur. Con fines del presente proyecto, se delimita el área de estudio a la margen derecha del río Tempisque, por tanto, se seleccionaron los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya (Figura 6.3). Ello con la finalidad de analizar la demanda hídrica real de los cultivos característicos de dichos cantones y compararla con la que se propone en la construcción total del PAACUME.

Figura 6.3 Mapa de los cantones por estudiar



Fuente: Escobar y Viales (2023)

A la hora de delimitar el área de estudio, se contemplaron los cantones mencionados anteriormente, ya que la construcción de la red de distribución de la margen derecha del río Tempisque está prevista en el PAACUME. Como se puede apreciar en la topografía del proyecto (anexo 16), este finaliza en el año 2028, por lo tanto, se busca brindar un panorama sobre los cultivos característicos de los cantones y su consumo hídrico con la finalidad de brindar recomendaciones sobre el aprovechamiento de dicho recurso desde la perspectiva de ingenieros hidrológicos.

La construcción de la red de distribución buscará abastecer de agua a los cantones para hacer frente a la escasez hídrica que se enfrenta en la provincia cada año. Con base en esto, SENARA (2022) menciona que, con el Canal Oeste, Tramo III, se llevará el agua (20 m³/s) a la margen derecha del río Tempisque. Además, se establecerá la red de conducción y distribución del agua hasta las propiedades de los usuarios de riego, los sitios de entrega para agua potable y para los desarrollos turísticos (p.158).

6.2.2 Demanda hídrica

Ahora bien, luego de realizar las entrevistas, se encontró que la producción de arroz tiene un consumo más elevado de agua en comparación con la producción de caña de azúcar. Esto porque, para la producción anual de arroz, se necesitan aproximadamente 35 122,78 m³ de agua, mientras, para la caña de azúcar, se necesitan 19 495,84 m³ por año. Cabe destacar que estos consumos pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas, pues una variación en el clima como una sequía prolongada puede generar un aumento del consumo de agua en estos cultivos.

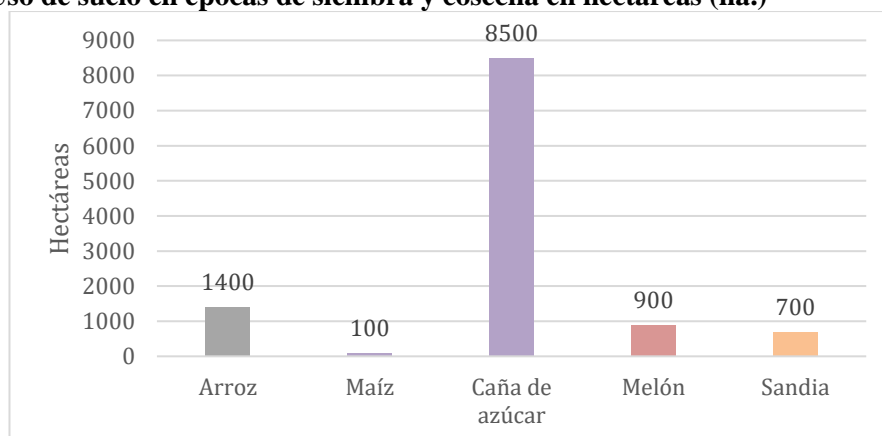
Con base en las entrevistas realizadas a encargados de las áreas de agronomía de las entidades consultadas, se determina que el cultivo con mayor costo de producción es la sandía al contar con un mayor costo total y de insumos con un valor alrededor de casi 8 millones debido al alto costo de labores manuales y de insumos (Tabla 6.3).

Tabla 6.3 Costos de producción de cada cultivo por tonelada

Cultivos	Costo total ¢	Costo total (US)
Caña de azúcar	125 851.92	235.2
Costo unitario	6292.60	11.76
Arroz	1 070 169.40	2000
Costo unitario	152 879.05	285.71
Sandía	7 910 884.4	14 641.1
Costo unitario	282 531.6	522.9
Maíz	551 423.5	997,1
Costo unitario	306 346.4	554,0
Melón	5 693 900.5	9 989.3
Costo unitario	237 245.9	416.2

Fuente: Escobar y Viales (2023)

De acuerdo con SENARA (2022), el cultivo que presenta más hectáreas sembradas es la caña de azúcar con un total de 8500 hectáreas. Esto se debe a la gran demanda existente y a los productos derivados que se pueden obtener de la caña de azúcar, así como a la incorporación de la tecnología en los procesos de siembra y recolección, los cuales facilitan y aceleran estos procesos, a diferencia del maíz, el cual es el cultivo con menor cobertura dentro de los cultivos analizados con un total de 100 hectáreas (Figura 6.4).

Figura 6.4 Uso de suelo en épocas de siembra y cosecha en hectáreas (ha.)

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Según Fernández (2018), es importante destacar que Guanacaste es la provincia con mayor actividad en el sector agrícola. En granos básicos, es el principal productor de arroz en el país y el tercer productor de frijoles. Además, es el segundo de cítricos, el primero de melón y el primero de caña de azúcar y sandía. Consecuentemente, es necesario implementar los sistemas de riego adecuados según las necesidades del cultivo y de los cantones, por lo tanto, es fundamental conocer cuál sistema tiene mayor eficiencia de rendimiento o implementar un conjunto entre métodos- Según lo anterior expuesto, el riego por goteo presenta una eficiencia de 90% (Tabla 6.4). De acuerdo con el MAG (2022), este método requiere bajas presiones para operar. En un rango de 5 a 10 m, se humedece solamente una porción del suelo, los caudales utilizados son pequeños y la aplicación del agua se hace con una alta frecuencia, normalmente, en forma diaria.

Tabla 6.4 Eficiencia de los métodos de riego

Tipo	Método de riego	Eficiencia (%)
Presurizado	Goteo	95
	Microaspersión	95
	Aspersión	85
Superficial	Gravedad	60

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Por otra parte, una vez analizada la eficiencia de los sistemas de riego, la ocupación y los usos de suelo, además de los costos de producción por cultivo seleccionado en los cantones en estudio, se procede a realizar los cálculos sobre la demanda hídrica. Por consiguiente, se utilizan las fórmulas del manual de dotaciones (2023) facilitadas en el capítulo cinco de metodología.

Para realizar dichos cálculos, se requiere de datos de Kc y ETP específicos de cada cultivo (Tabla 6.5). Es importante mencionar que, con fines de los cálculos, se utilizará la Kc media y la eficiencia de los sistemas de riego presentados en la tabla 6.4.

Tabla 6.5 Valores de coeficientes de Kc para los cultivos estudiados, ETP y eficiencia

Cultivo	Kc máx.	Kc media	ETP (mm/día)	Eficiencia
Melón	0,85	0,85	7,76	0,90
Sandía	1,0	1,0	7,76	0,90
Arroz	1,20	1,2	7,76	0,40
Cañas de azúcar	1,25	1,25	7,76	0,70
Maíz	1,05	1,15	-	-

Fuente: Escobar y Viales (2023)

A continuación, se realizarán los cálculos correspondientes sobre la demanda hídrica por cultivo. Inicialmente, se utilizará la eficiencia de riego por gravedad, sin embargo, se calcularán con cada sistema de riego propuesto en la tabla 6.5. Por lo tanto, se explicará paso a paso con el primer sistema de gravedad y se cambiará el porcentaje de eficiencia por sistema y su respectivo kc medio por cultivo a través de la aplicación de las fórmulas expuestas en la metodología en el apartado 5.5:

Tabla 6.6 Cálculos de demanda hídrica por riego de gravedad

Melón	Sandía	Caña de azúcar	Arroz	Maíz
$E_{to}: (0.0023 * (T_{med} + 17.8) * (T_{maz} - T_{maz})^{0.5} * R_a)$ $E_{to}: (0.0023 * (28^{\circ}C + 17.8) * (30^{\circ}C - 23^{\circ}C)^{0.5} * 14,5)$ Eto: 4.04 mm/día.	$E_{to}: (0.0023 * (T_{med} + 17.8) * (T_{maz} - T_{maz})^{0.5} * R_a)$ $E_{to}: (0.0023 * (28^{\circ}C + 17.8) * (30^{\circ}C - 23^{\circ}C)^{0.5} * 14,5)$ Eto: 4.04 mm/día.	$E_{to}: (0.0023 * (T_{med} + 17.8) * (T_{maz} - T_{maz})^{0.5} * R_a)$ $E_{to}: (0.0023 * (28^{\circ}C + 17.8) * (30^{\circ}C - 23^{\circ}C)^{0.5} * 14,5)$ Eto: 4.04 mm/día.	$E_{to}: (0.0023 * (T_{med} + 17.8) * (T_{maz} - T_{maz})^{0.5} * R_a)$ $E_{to}: (0.0023 * (28^{\circ}C + 17.8) * (30^{\circ}C - 23^{\circ}C)^{0.5} * 14,5)$ Eto: 4.04 mm/día.	$E_{to}: (0.0023 * (T_{med} + 17.8) * (T_{maz} - T_{maz})^{0.5} * R_a)$ $E_{to}: (0.0023 * (28^{\circ}C + 17.8) * (30^{\circ}C - 23^{\circ}C)^{0.5} * 14,5)$ Eto: 4.04 mm/día.
Etc: $K_c * E_{to}$ Etc: $0.85 * 4.04$ mm/día. Etc: 3.43 mm/día.	Etc: $K_c * E_{to}$ Etc: $1.0 * 4.04$ mm/día. Etc: 4.04 mm/día.	Etc: $K_c * E_{to}$ Etc: $1.25 * 4.04$ mm/día. Etc: 5.05 mm/día.	Etc: $K_c * E_{to}$ Etc: $1.2 * 4.04$ mm/día. Etc: 4.85 mm/día.	Etc: $K_c * E_{to}$ Etc: $1.15 * 4.04$ mm/día. Etc: 4.65 mm/día.
$M_R : Etc / Ef * 0.116$ $M_R : (3.43 \text{ mm/día} / 0.6) * 0.116$ MR: 0.66 l/s/ha.	$M_R : Etc / Ef * 0.116$ $M_R : (4.04 \text{ mm/día} / 0.6) * 0.116$ MR: 0.78 l/s/ha.	$M_R : Etc / Ef * 0.116$ $M_R : (5.05 \text{ mm/día} / 0.6) * 0.116$ MR: 0.98 l/s/ha.	$M_R : Etc / Ef * 0.116$ $M_R : (4.85 \text{ mm/día} / 0.6) * 0.116$ MR: 0.94 l/s/ha.	$M_R : Etc / Ef * 0.116$ $M_R : (4.65 \text{ mm/día} / 0.6) * 0.116$ MR: 0.90 l/s/ha.
$Q: M_r * A$ $Q: 0.66 \text{ l/s/ha} * 900 \text{ ha}$ Q: 594 l/s.	$Q: M_r * A$ $Q: 0.78 \text{ l/s/ha} * 700 \text{ ha}$ Q: 546 l/s.	$Q: M_r * A$ $Q: 0.98 \text{ l/s/ha} * 8500 \text{ ha}$ Q: 8330 l/s.	$Q: M_r * A$ $Q: 0.94 \text{ l/s/ha} * 1400 \text{ ha}$ Q: 1316 l/s.	$Q: M_r * A$ $Q: 0.90 \text{ l/s/ha} * 100 \text{ ha}$ Q: 90 l/s.

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Con fines de orden, se realizó un ejemplo del cálculo completo para el cultivo de melón para el sistema de gravedad. Al ser cálculos sistemáticos, se realizan de la misma forma y solo se sustituyen los kc y la eficiencia por sistema. Para mayor visualización, se adjunta la memoria de cálculo en el anexo 3, donde se observan los cálculos por sistemas y cultivos, los cuales generan, como resultado, los siguientes caudales por hectáreas totales, así como por una hectárea:

Tabla 6.7. Resultados de la demanda hídrica de los cultivos por método de riego por el total de hectáreas

Cultivo	Caudal por método de riego (l/s)			
	Goteo	Aspersión	Surcos	Gravedad
Melón	378	421,2	549	594
Sandía	345,1	385,7	504	546,7
Arroz	826	924	1218	1316
Caña de azúcar	5270	5865	7650	8330
Maíz	57	63	83	90

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Tabla 6.8 Resultados de la demanda hídrica de los cultivos por método de riego por hectárea

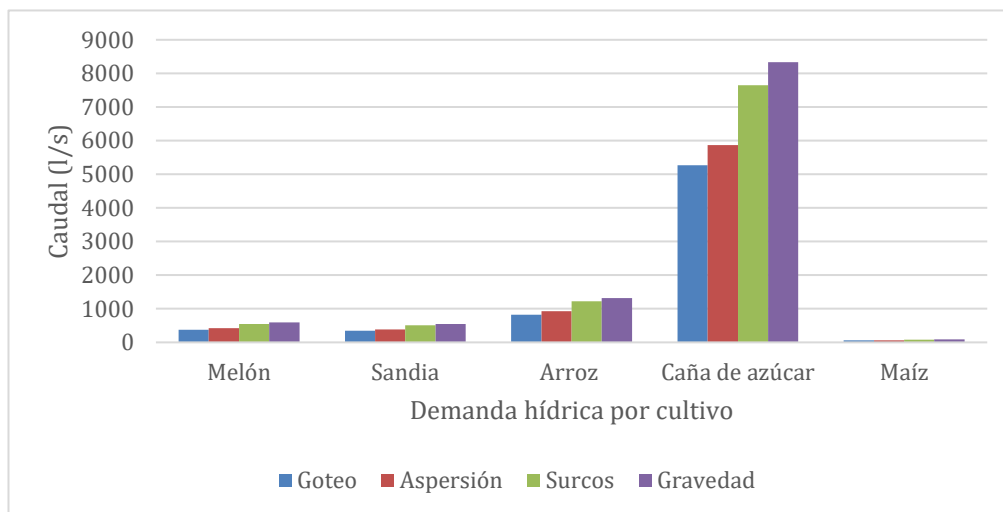
Cultivo	Caudal por método de riego (l/s)			
	Goteo	Aspersión	Surcos	Gravedad
Melón	0.42	0.47	0.61	0.66
Sandía	0.49	0.55	0.72	0.78
Arroz	0.59	0.66	0.87	0.94
Caña de azúcar	0.62	0.69	0.90	0.98
Maíz	0.57	0.63	0.83	0.09

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Con base en los resultados obtenidos mediante el cálculo de la demanda hídrica por cultivo y el método de riego, se observa que el sistema de riego más eficiente es el de goteo al tener menor demanda de agua para la producción de los cultivos por hectárea, mientras el menos efectivo en gasto hídrico sería el de gravedad. De acuerdo con la Universidad de Costa Rica (2023), el riego por goteo o también la microaspersión favorecen la eficiencia del uso del agua, ya que se reduce el desperdicio. Además, se pueden programar, con mayor exactitud, las cantidades de agua requeridas por un cultivo, así como el momento del día cuando lo necesita.

De la misma forma, de manera comparativa, se realiza un gráfico donde se distribuye la demanda hídrica obtenida anteriormente por sistema de riego y cultivos (Figura 6.5) con la finalidad de observar el consumo hídrico de los cultivos más predominantes en los cantones en estudio.

Figura 6.5. Comparación de la demanda hídrica por método de riego por total de hectáreas



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Por otra parte, de acuerdo con los cantones en estudio, se determina que el tipo de suelo es vertisol. Por lo tanto, según MAG (2015), se menciona que estos suelos son minerales muy arcillosos y que, para que se originen, es necesaria la interacción de ciertos factores como una zona baja y plana que impida el buen drenaje y la acumulación de los materiales ricos en silicio, calcio y magnesio. Es importante mencionar que dichos suelos presentan diversas características fisicoquímicas, las cuales se deben considerar para el correcto análisis de la prueba. Por consiguiente, se menciona que cuenta con drenaje de lento a muy lento, presenta agrietamiento en época seca y tiene texturas muy arcillosas con baja infiltración, fertilidad alta y pH alcalino.

Lo anterior quiere decir que, de acuerdo con los datos obtenidos, al ser suelos arcillosos, se puede suministrar el agua total de 230 (mm/m de suelo) y fácilmente solo el 115 (mm/m de suelo) es utilizable por cultivo. Ello implica que solamente la mitad de lo regado es aprovechada por el drenaje muy lento y su baja infiltración (Tabla 6.9).

Tabla 6.9 Agua disponible en el suelo para cultivos

Textura del tipo de suelo	Agua total utilizable por cultivo (mm/m de suelo)	Agua fácilmente utilizable por el cultivo (mm/m de suelo)
Arenoso	80	40
Franco arenoso	120	60
Franco	170	85
Franco arcilloso	190	95
Arcilloso	230	115

Fuente: Ministerio de Agricultura (2000)

Finalmente, con base en los resultados obtenidos sobre la demanda hídrica por cultivo, se puede determinar que el cultivo con mayor necesidad hídrica es la caña de azúcar, la cual es uno de los productos estrella de la provincia y de mayor mercado. Además, el sistema de riego más recomendado de acuerdo con su eficiencia y resultados obtenidos es el de goteo.

6.3 Discusión de resultados

Una vez obtenidos los resultados planteados en el apartado 6.2.2, se procede a discutirlos, a destacar los principales hallazgos y a determinar si se cumplen, tanto los objetivos del proyecto, como la correspondiente metodología.

6.3.1 Respetto de principales hallazgos

1. La inflación generada en los productos químicos utilizados, por ejemplo, los pesticidas, así como la elevación del precio del metro cúbico del agua en el DRAT han generado que muchos agricultores, tanto medianos, como pequeños hayan salido del medio, ya que, para ellos, no era rentable.
2. Agricultores dedicados a la siembra de arroz han dejado de cultivar este grano, pues, para ellos, es más fácil cultivar caña de azúcar, pues se utiliza menos agua. Por lo tanto, se requieren menos gastos y hay más mercado, ya que de la caña de azúcar se derivan otros productos, además el apoyo hacia los agricultores de arroz es muy poco por parte del gobierno.
3. Las grandes empresas productoras de caña de azúcar y arroz suelen alquilar terrenos cercanos de otros propietarios para expandir los sembrados y, de esta manera, tener más área de cultivo. Con ello, se generan más ganancias y una mayor producción, ya sea de azúcar o de arroz.
4. El tipo de riego más eficiente es el riego por goteo. Sin embargo, se debe hacer una inversión económica para poder utilizarlo. Por este motivo, muchos agricultores prefieren seguir usando otros métodos más sencillos como el riego por gravedad, aunque esto implique un mayor gasto de agua.
5. Los tipos de suelos influyen en la cantidad de agua suministrada, ya que, en suelos arenosos, el agua se mantiene menos tiempo. Por lo tanto, se debe regar con más frecuencia, mientras que, en suelos arcillosos, el agua dura más, lo cual provoca que el riego sea menor.
6. La utilización del riego por gravedad es muy frecuente en la zona a pesar de que es uno de los menos eficiente, pues no se controla la cantidad de agua suministrada al cultivo y la mayoría se desperdicia. No obstante, el fácil manejo de este riego lo hace atractivo para los agricultores debido a que no se necesita una infraestructura especial.

6.4.2 Relativo a los objetivos

Con respecto al objetivo 1, se da por cumplido, pues se realizó la literatura de línea base de información hidrológica (tabla 6.1) y, como se evidencia en el apartado de anexos, las visitas de campo realizadas a actores claves del PAACUME (anexos del 5 al 9).

Con respecto al objetivo 2 referente a la identificación de cultivos, se da por cumplido, como se evidencia en el apartado 6.1.4, donde se muestra, de manera geográfica, la distribución de los cultivos característicos por cantón (Figura 6.2).

Finalmente, con base en el objetivo 3, se da por cumplido a partir de los cálculos realizados sobre la demanda hídrica en la tabla 6.6 respecto de la demanda por cultivo y sistemas. Además, se realizó una comparativa de la misma en la figura 6.5. De acuerdo con lo anterior, se realizó la respectiva propuesta de guía de eficiencia sobre la producción de los cultivos seleccionados en el objetivo 2.

6.4.3 Respeto de la metodología aplicada

Para la obtención de los presentes resultados, fue necesario realizar entrevistas a distintas empresas relacionadas con el cultivo de estos productos. Al respecto, se recopiló información trascendental, como la cantidad de terreno sembrado, la demanda hídrica que estos cultivos demandan y los requerimientos necesitados por cada cultivo. Aparte de las entrevistas, se hicieron consultas a profesionales y expertos en el área de agronomía, así como en el área de la hidrología. Aplicando esta metodología, se cumplió con el objetivo propuesto, el cual era obtener datos con base en la realidad y cómo estas empresas manejan los cultivos, ya que es de suma importancia conocer el manejo en el campo de estos productos y todo el trabajo que conlleva cada uno de ellos.

Asimismo, fue necesario consultar el manual técnico de dotaciones brindado por la Dirección de Aguas y el MINAE con el fin de conocer las fórmulas necesarias para poder hacer los cálculos respectivos de la demanda hídrica requerida por cada cultivo. Utilizando este manual y las fórmulas respectivas incluidas en este, se cumplió con el objetivo principal, el cual era conocer el gasto de agua requerido por cada cultivo y, de esta manera, poder realizar la guía de eficiencia.

6.4.4 Respeto de la propuesta de la guía de eficiencia

De acuerdo con lo planteado en los objetivos y lo obtenido en los resultados, se cumple con la propuesta de elaboración de una guía de eficiencia (anexos 10 al 15), donde se tienen, de manera clara, las características de cada cultivo seleccionado. Dichas características van desde los meses de cultivo, consumo de agua por sistema de riego y recomendaciones.

Por lo tanto, se evidencia, de manera texto-visual, la información por cultivo con la finalidad de facilitar la comprensión de lectura e interpretación de los resultados obtenidos. Por otra parte, la elaboración de la presente guía pretende brindar alternativas de riego y consejos que favorezcan el ahorro del recurso hídrico.

A la hora de implementar la guía de eficiencia, es fundamental comprender las necesidades de los agricultores, así como de grandes empresas productoras a la hora de determinar su consumo hídrico. Por ende, se abordó dicho consumo por total de hectáreas, así como también de manera unitaria con la finalidad de brindar la información contemplando la diversidad del mercado y su interpretación.

Capítulo 7- Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo, se presentan las observaciones acerca de los resultados obtenidos en el capítulo anterior y las posibles mejoras en caso de replicar dicho proyecto, además de aspectos relevantes de este.

A continuación, se presentan las conclusiones en conjunto con las recomendaciones del proyecto elaborado sobre una guía de eficiencia para los cantones de Santa Cruz, Nicoya y Carrillo en Guanacaste, Costa Rica.

7.1 Conclusiones

7.1.1 Derivado a las entrevistas

De acuerdo con las entrevistas realizadas en las giras de campo del proyecto, se encontró que existe una visión negativa en cuanto al futuro o permanencia en el sector productivo agrícola, ya que, cada día, los cantones en estudio se ven más afectados por las sequías prolongadas que se están experimentando en los últimos años. Ello genera familias con menos trabajo y con menos ingresos económicos.

7.1.2 Derivado a las consultas a expertos

Con base en las consultas realizadas a múltiples expertos de diferentes entidades, se obtuvo una retroalimentación variada, donde se obtuvo, como factor en común, el centralizar los productos con mayor extensión de hectáreas en producción de los cantones en estudio con la finalidad de brindar un panorama más certero de los productos arraigados de dichas zonas.

7.1.3 Derivado a los cultivos

Respecto de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se determinó que el cultivo con mayor demanda hídrica por hectárea fue la caña de azúcar. Es importante mencionar que este cultivo es el más predominante y característico de las zonas de estudio. Esto se debe al gran mercado que posee, ya que no solo se vende el cultivo, sino que existen subproductos de este que fomentan la reactivación económica de las zonas mediante el ecoturismo, que además incursiona más allá del sector comestible, sino también en el energético, cosmético y salud.

Por otra parte, los cultivos con menor producción y de extensión de terreno fueron el melón, la sandía y el maíz, pues dichas plantaciones son menores a 900 hectáreas. Mientras tanto, el arroz cuenta con una extensión de 1400 hectáreas y la caña de azúcar, al ser el cultivo más dominante, tiene la extensión más grande de alrededor de 8500 hectáreas.

7.1.3 Derivado a los sistemas de riego

En la presente investigación, se analizaron cuatro sistemas de riego, donde se determinó que el riego por goteo cuenta con una mayor eficiencia hídrica sobre los demás con base en la cuantificación del área de estudio y su consumo por sistemas, así como también por cultivo.

De acuerdo con lo anterior, es importante mencionar que, a pesar de tener una eficiencia evidente, es un sistema que no es utilizado por todos los agricultores, ya que tiene una inversión inicial superior a los demás sistemas. Por tanto, se incurre en gastos de instalación del sistema y sus respectivos mantenimientos.

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Derivado de las entrevistas

Las sequías experimentadas en esta región provocan que, a muchos agricultores medianos y pequeños, se les haga difícil visualizar un futuro próspero. Por esta razón, es recomendable realizar un plan de manejo del recurso hídrico, el cual enseñaría a los agricultores a cosechar agua de lluvia y con sistemas sencillos y no tan costosos, utilizando la guía de eficiencia como una base para conocer la cantidad necesaria para solventar las necesidades del cultivo y tener un desarrollo óptimo.

De la misma forma, se recomienda seguir las normativas relevantes al uso hídrico para actividades de riego, donde se tiene a esta actividad como sexto puesto en la preferencia de la Ley de Aguas N°276 y también se menciona el reúso agrícola para cultivos en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601. Estas son buenas prácticas agrícolas, las cuales, al cumplirse, garantizan un manejo adecuado del agua.

7.2.2 Derivado de las consultas de expertos

Tomar en cuenta las recomendaciones de los expertos brindó un panorama de los cultivos más comunes producidos en la zona, por lo cual se pudo centralizar el trabajo en ellos. En ese sentido, a la hora de realizar un trabajo o proyecto, se recomienda consultar a expertos, ya que ellos tienen un conocimiento mayor de lo que está pasando en la zona estudiada y podrían brindar una perspectiva diferente que podría hacer tomar buenas decisiones y generar un buen trabajo.

Al consultar a expertos, fue posible conocer que los cultivos como la caña de azúcar y el arroz son los de mayor producción en la zona debido a la gran demanda que estos poseen y, en el caso de la caña, la gran variedad de productos que de esta se derivan. Por lo tanto, se recomienda darles un mayor auge a productos como el maíz, ya que este es un grano emblemático de la zona de Guanacaste. Esto porque muchas de las comidas son derivadas de este producto y proporcionan identidad a nivel país y fuera de él. Por lo tanto, generar un poco más de apoyo a los agricultores medianos y pequeños haría que la producción de este grano crezca, lo cual haría crecer el mercado en la zona.

7.2.3 Derivado de cultivos

La caña de azúcar es el cultivo más popular en la región estudiada. Este tipo de cultivo utiliza varios sistemas de riego, entre ellos, el riego por gravedad, el cual es un riego que tiene la menor eficiencia de todos los estudiados, debido a que no se lleva un control del agua utilizada y tampoco de la que el cultivo necesita, lo cual genera que mucha de esta agua se desperdicie por la evaporación o bien por escorrentía. En ese sentido, es recomendable utilizar riego por goteo para tener un uso más razonable del agua y un gasto menor, lo que, a largo plazo, generará un ahorro de agua muy grande.

Se recomienda seleccionar variedades de cultivo tolerantes a climas con predominancia a sequías con pocos meses de lluvia. Esto reduciría pérdidas de cultivos no aptos para la zona, además de que requieren menor cantidad de agua al estar adaptadas a dichos climas.

Se recomienda, encarecidamente, estudiar el comportamiento de las precipitaciones de las zonas donde se realicen los cultivos con el propósito de evitar contaminaciones puntuales por infiltración a cuerpos de agua por la aplicación de plaguicidas.

7.2.4 Derivado de los sistemas de riego

Debido a su eficiencia, se recomienda la utilización del riego por goteo en los cultivos. Este tipo de riego genera un gran ahorro de agua, pues se suministra el agua necesaria para la planta. Al respecto, el riego por goteo se puede utilizar en todo tipo de cultivo, lo cual genera un ahorro global independientemente del cultivo.

Es importante conocer las necesidades hídricas del cultivo. De esta manera, se sabrá el periodo de tiempo con el que se debe regar. Considerando lo anterior, un periodo de riego de cada tres días debería ser suficiente para mantener el suelo húmedo y la planta hidratada. Por tanto, se recomienda regar los cultivos en horas de la mañana o de la tarde para evitar que haya evaporación de agua.

De igual forma, si se encuentra dentro de las posibilidades del agricultor, se aconseja el implementar sistemas de captación o cosecha de lluvia en los respectivos tanques para dicha actividad, así como también la construcción de reservorios, esto como alternativa para reducir el consumo hídrico y tener alternativas en periodos de sequía muy marcados.

Bibliografía

- Ángulo, A. (2019). Diagnóstico de campo sobre el efecto del estrés hídrico en las plantaciones de caña de azúcar en Cañas, Guanacaste, afectadas por la sequía. Acceso 20 de mayo 2023. <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/EjABopZtASTkDZzVsJckWGfAuETCELqf>
- Blanco, P. (2019). Guanacaste en la encrucijada. Acceso 8 de mayo 2023. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/07/10/guanacaste-en-la-encrucijada-frente-al-clima.htm>
- Cañada, E. (2019). Conflictos por el agua en Guanacaste, Costa Rica: respuesta al desarrollo turístico. Acceso 20 de mayo 2023. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/aec/v45/2215-4175-aec-45-323.pdf>
- Chacón, V. (2018) Con polémica, avanza proyecto de abastecimiento hídrico en Guanacaste. Acceso 15 de mayo 2023. <https://semanariouniversidad.com/pais/con-polemica-avanza-proyecto-de-abastecimiento-hidrico-en-guanacaste/>
- CATSA (2020). Información. Acceso 20 de mayo 2023. <https://laica.cr/ingenio/catsa/>
- Contraloría General de la República de Costa Rica (2019) Informe de la auditoría de carácter especial acerca de la gestión relativa al programa integral de abastecimiento de agua para Guanacaste. Acceso 6 de junio 2023. https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2019/SIGYD_D_2019018817.pdf
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (s.f.) Código de Ética. Acceso 17 de junio 2023. <https://cfia.or.cr/legal/archivos/Codigo%20de%20Etica.pdf>
- Enciso, J. (2021). El riego. Acceso 11 de octubre 2023. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/itinerario-2-riego/capitulo-1-riego/65948136>
- El País.cr (2015). Diputados preocupados por la sequía en Guanacaste. Acceso 13 de mayo 2023, <https://www.elpais.cr/2015/06/09/diputados-preocupados-por-la-sequia-en-guanacaste/>
- El País.cr (2018). El indeseado desarrollo de Santa Cruz, Guanacaste. Acceso 20 de mayo 2023, <https://www.elpais.cr/2015/05/26/el-indeseado-desarrollo-de-santa-cruz-guanacaste/>
- El País.cr (2022). Guanacastecos luchan por agua de calidad. Acceso 20 de mayo 2023. <https://www.elpais.cr/2022/11/01/guanacastecos-luchan-por-agua-de-calidad/>
- El Viejo (2012). Promotores de desarrollo ambiental. Acceso 7 de enero 2024. <https://azucareraelviejo.com>
- FAO (2023). Objetivos de desarrollo sostenible. Acceso 20 de mayo 2023. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/642/es/>
- Fernández, E (2018) Guanacaste: Un pilar en la seguridad alimentaria del país. Acceso 15 noviembre 2023. <https://www.periodicomensaje.com/guanacaste/2633-guanacaste-un-pilar-en-la-seguridad-alimentaria-del-pais>
- Global Water Partership (2013) "Tecnologías para el uso sostenible del agua: una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático" Acceso 8 de mayo 2023, https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/tecnologias-para-el-uso-sostenible-del-agua.pdf

- Gutiérrez, D. (2017) Los problemas de agua en Guanacaste. Acceso 20 de mayo 2023. <https://www.diarioextra.com/Noticia/detalle/320480/los-problemas-de-agua-en-guanacaste->
- INEC (2020). Estadísticas vitales 2020. Población, nacimientos, defunciones y matrimonios. Acceso 19 de mayo 2023. <https://inec.cr/tematicas/listado?topics=91%252C528&filtertext=poblacion%2520de%2520Santa%2520Cruz>
- INEC (2025) VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados generales. Acceso 20 de mayo 2023. https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reagropeccenagro2014-002_1_2.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2021). Indicadores cantonales. Censos Nacionales de Población y Vivienda 2000 y 2011. Acceso 15 de junio. <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentosbiblioteca-virtual/reoblaccenso2011-05.pdf>
- Jankilevic, C., Aravena, J. y Von Breyman, R. (2019) Contribución al observatorio de indicadores relativos al recurso hídrico como factor primordial para la sostenibilidad ambiental y paisajística en Costa Rica. Acceso 17 de mayo 2023. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/78048/Separata%20Indicadores%20HC3%ADdricos.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- La Gaceta (2016). Ley de ordenamiento y manejo integral de la cuenca Río Tempisque. Acceso 20 de mayo 2023 <http://www.mag.go.cr/legislacion/2016/proyecto%2020.088.pdf>
- Leiva, A., Rocha, O., Mata, R. y Gutiérrez, M. (2009) Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. Acceso 18 de mayo 2023. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442009000300029
- Loria, M. y Monge, J. (2018). Melón (*Cucumis melo* L.) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. Acceso 20 de mayo 2023. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v32n1/0379-3982-tem-32-01-134.pdf>
- MAG (2018). Plan operativo institucional- Región Brunca- 2025- 2018. Acceso 19 de mayo 2023. <https://www.mag.go.cr/regiones/chorotega/REGION-CHOROTEGA.pdf>
- Medina, W. (2011). Área de Conservación Guanacaste Cuenca Hidrográficas. Acceso 20 de mayo 2023. <https://www.acguanacaste.ac.cr/component/phocagallery/28-mapas-del-acg/detail/597-mapas-del-acg?tmpl=component>
- Monge, J. (2018). Producción y explotación de melón (*Cucumis melo*) en Costa Rica. Acceso 20 de mayo 2023). <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/76658/Art%C3%ADculo%20mel%C3%B3n%20publicado%20Tecnolog%C3%ADa%20en%20Marcha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreira, A. y Ortuño, C. (2016). Guía metodológica para la elaboración de balances hídricos superficiales (Análisis de variabilidad climática de oferta y demanda hídrica). Acceso 19 de agosto 2023. https://www.researchgate.net/publication/318646276_Guia_metodologia_para_la_elaboracion_de_balances_hidricos_superficiales_version_resumida#fullTextFileContent

- Soto, D., Morales, A., Salazar, F. y Domínguez, A. (2020). Proyecto de Investigación Monterrey VI. Acceso 25 de junio 2023. <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Faguaparatodos.org.mx%2Fwp-content%2Fuploads%2FProyecto-Final-Monterrey-VI.docx&wdOrigin=BROUSELINK>
- MAG (2022) Sistemas de riego por goteo. Acceso 12 de octubre 2023. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-2235.pdf>
- MAG (2015) Suelos de Costa Rica orden vertisol. Acceso 1 de noviembre 2023. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1823.PDF>
- MINAE (2021) Manual Técnico de Dotaciones de Agua. Acceso 12 de octubre 2023. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL_TECNICO_DE_DOTACIONES_DE_AGUA.pdf
- Ministerio de Agricultura (2000). Validación y transferencia de tecnología de riego y sistemas productivos en áreas regadas. Acceso 27 de octubre 2023. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/9851/CNR-0244.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Municipalidad de Santa Cruz (2022). Entorno y demografía cantón Santa Cruz. Acceso 18 de junio. <https://santacruz.go.cr/index.php/canton/entorno-demografia>.
- Municipalidad de Carrillo (2017). Datos demográficos. Acceso 17 de junio. <https://www.municarrillo.go.cr/index.php/nuestro-canton/entorno-y-demografia>
- Obando, L. (2022). Caracterización de la población del cantón de Nicoya. Universidad Nacional, Sede Regional Chorotega, CEMEDE, UNED, Sede Nicoya, Municipalidad de Nicoya. Acceso 15 de junio 2023.
- O'Neal Coto, K. (2017). Así enfrentamos el reto de llevar agua a los cultivos en Guanacaste. Acceso 10 de mayo 2023. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/10/10/asi-enfrentamos-el-reto-de-llevar-agua-a-los-cultivos-en-guanacaste.html>
- Orjuela, L. (2019) Gobierno declaró emergencia por sequía en Guanacaste y otras regiones del país *Teletica.com*. Acceso 15 de mayo 2023, https://www.teletica.com/nacional/gobierno-declaro-emergencia-por-sequia-en-guanacaste-y-otras-regiones-del-pais_231629
- Orozco, E. (2007). Zonificación climática de Costa Rica para la gestión de infraestructura vial. Acceso 18 de mayo 2023 <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/449/CILA-05-07.%20ZONIFICACION%20CLIMATICA%20DE%20COSTA%20RICA%20PARA%20LA%20GESTION%20DE%20INFRAESTRUCTURA%20VIAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PASOLAC (2021). Riego por surco (descripción de la tecnología). Acceso 15 de noviembre 2023. <https://www.mag.gob.sv/wp-content/uploads/2021/06/39riego-por-surco.pdf>
- Presidencia de la República de Costa Rica (2022) PAACUME es el principal proyecto de adaptación climática del país que asegurará el futuro de Guanacaste. Acceso 14 de mayo 2023. <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2022/05/paacume-es-el-principal-proyecto-de-adaptacion-climatica-del-pais-que-asegurara-el-futuro-de-guanacaste/>


- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) (2017). Declaratoria de Impacto Ambiental. Acceso 22 de junio 2023. <https://www.bcie.org/fileadmin/bcie/projects/Declaratoria%20de%20Impacto%20Ambienta%20%20PAACUME.pdf>.
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) (2022). Estudio de factibilidad PAACUME. Acceso 11 de junio 2023. [https://www.senara.go.cr/proyectos/paacume/componentes/Estudio%20de%20Factibilidad%20proyecto%20PAACUME%20\(marzo%202022\).pdf](https://www.senara.go.cr/proyectos/paacume/componentes/Estudio%20de%20Factibilidad%20proyecto%20PAACUME%20(marzo%202022).pdf)
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) (2023). PAACUME. Acceso 10 de mayo 2023. <https://www.senara.or.cr/proyectos/paacume/Paacume.aspx>
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) (2022). Estudio de factibilidad. Acceso 15 de mayo 2023. [https://www.senara.go.cr/proyectos/paacume/componentes/Estudio%20de%20Factibilidad%20proyecto%20PAACUME%20\(marzo%202022\).pdf](https://www.senara.go.cr/proyectos/paacume/componentes/Estudio%20de%20Factibilidad%20proyecto%20PAACUME%20(marzo%202022).pdf)
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) (2023). ¿Quiénes somos? Acceso 19 de mayo 2023. https://www.senara.or.cr/acerca_del_senara/quienes_somos.aspx#:~:text=El%20Servicio%20Nacional%20de%20Aguas,del%20sector%20agropecuario%20y%20ambiente.
- Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) (2023). Agua para Guanacaste: SETENA da viabilidad ambiental para proyecto PAACUME. Acceso 10 de mayo 2023. <https://www.setena.go.cr/es/Noticias/PAACUME>
- Serradilla, E. (2021) Los acuíferos: extracción y contaminación del agua subterránea. Acceso 20 de diciembre 2023. <https://aqmlaboratorios.com/agua-subterranea-extraccion-contaminacion-agricultura/>
- Solano, J. y Villalobos, R. (s.f.) Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. Acceso 18 de mayo 2023. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- Solano, J. (1992). Características básicas del período seco en la vertiente del Pacífico de Costa Rica. Tesis para optar al grado académico de Licenciatura en Geografía, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Acceso 18 de mayo, 2023.
- Tovar, R. (2021). Resucita Monterrey VI: AyD lo ve como solución a crisis. Acceso 25 de junio 2023. <https://www.elhorizonte.mx/local/resucita-monterrey-vi-ayd-lo-ve-como-solucion-crisis/4054708>
- Umaña, B. (2014). Análisis hidrológico de la cuenca del río Toyores utilizando el modelo HEC-HMS. Acceso 19 de agosto 2023. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6148/Analisis_Hidrologico_Cuenca_Rio_Toyogres_Modelo_HEC_HMS.pdf?sequence=1
- Universidad de Costa Rica (2023). Costa Rica, el país que condimenta la malnutrición con el alto precio de los alimentos. Acceso 12 de setiembre 2023. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2023/6/07/costa-rica-el-pais-que-condimenta-la-malnutricion-con-el-alto-precio-de-los-alimentos.html>

Universidad de Costa Rica (2023). Manejo eficiente del agua de riego. Acceso 2 de noviembre 2023.
<http://www.buenaspracticasadagricolas.ucr.ac.cr/index.php/manejo-de-aguas-de-riego/manejo-eficiente-del-agua-de-riego>

Valverde, J.C. (2022). Sistemas de riego. Acceso 4 de noviembre 2023.
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-2235.pdf>

Anexos

Anexo 1. Machote de giras de campo

Recolección de datos: giras de campo		
Información general: entrevistas de carácter confidencial con empresa productora		
Fecha: 22/8/2023	Cantón: Carrillo	Distrito: Filadelfia
Relacionado con personas involucradas de las comunidades afectadas en los diferentes tipos de roles.	<input type="radio"/> Propietarios <input checked="" type="radio"/> Entidades productoras <input type="radio"/> Habitantes de las comunidades <input type="radio"/> Otros <i>stakeholders</i>	
En cuanto a cuál fase de los proyectos	<input type="radio"/> Preparación <input type="radio"/> Diseño <input type="radio"/> Implementación <input checked="" type="radio"/> Monitoreo y evaluación	
En cuanto al área de estudio	<input type="radio"/> Productores de frutas <input type="radio"/> Productores de verduras <input checked="" type="radio"/> Empresas productoras a gran escala	
Fuente de la información	<input type="radio"/> Propietarios de fincas <input type="radio"/> Habitantes aledaños de la zona <input type="radio"/> Empleados de fincas <input checked="" type="radio"/> Empleados empresas productoras <input checked="" type="radio"/> Internet <input type="radio"/> Otro	
Evidencia de la actividad (fotos) y descripción		
		

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 2. Guía de entrevistas

Fecha: 22/8/2023

Propietario/a: confidencial

Respuestas			SÍ	NO
¿Cuáles cultivos producen?	Arroz	Caña de azúcar, alcohol a partir de la melaza y miel, que se maquila y se vende.		
¿Cuál es el costo de la producción de cada cultivo?	Por siembra directa, 2000 mil dólares por hectárea de arroz (producción de 6 a 7 toneladas por hectáreas).	El bulto de 50 kg tiene el costo de 11,76 dólares.		
¿Cuál es la fuente de agua?	Se tiene una concesión con el DRAT de 3 metros cúbicos por segundo y se paga una tarifa actual de 2.41 colones por metro cúbico.	Se tiene el apoyo del DRAT por el Canal Oeste, donde se aportan 3 m3. Además, se tiene el apoyo de concesiones como sería la agrícola y la agroindustrial, las cuales aportan 7000 galones y 9200 galones, respectivamente. De igual manera, en las fincas, se tienen aproximadamente 30 pozos con capacidad de 10 a 50 litros.		
¿Cuál es la variedad de especies que utilizan?	Las principales variedades fueron: senomisa 6, 2 y 20, Lasa arroz. En la época de verano, se utiliza lasa arroz, mientras que, en la época de invierno, se utiliza senomisa 6 y 20.	Las principales variedades fueron: Caña Mex 79-431, Caña CP 00-2150, BC00-1220 y NA 85-1602.		

¿Cuánto se consume en agua para los procesos de siembra, cultivo y cosecha?	Se utilizan 800 mil metros cúbicos por hectárea para germinación, mientras, para el mantenimiento del cultivo, de 15 a 16 mil metros cúbicos de agua por hectárea.	El consumo varía de acuerdo con el sistema utilizado: 1,1 l/s en Pivote, 1,6 a 1,8 l/s en Poly Pipe y 1,6 l/s en sistemas presurizados.		
¿Cuentan con prácticas para la conservación del recurso hídrico?	Reúso de aguas. Utilización de la soca, lo cual permite un ahorro del 20% de agua.	Se utilizan tuberías flexibles para evitar pérdidas por percolación, además de tener sensores de humedad y sistemas de presurizado por PVC.	✓	

Observaciones:

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 3. Tabla de radiación solar extraterrestre en mm/día

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Fuente: Allen, et al., 1998

Anexo 4. Cálculos sobre la demanda hídrica de los cultivos seleccionados por sistema de riego

Riego por gravedad									
Melón	Sandía			Arroz		Caña de azúcar		Maíz	
Eto=Kc*Eeto	3,434	Eto=Kc*Eeto	4,04	Eto=Kc*Eeto	4,85	Eto=Kc*Eeto	5,05	Eto=Kc*Eeto	4,646
Mr=Eto/Ef*0,116	0,663	Mr=Eto/Ef*0,116	0,781	Mr=Eto/Ef*0,116	0,94	Mr=Eto/Ef*0,116	0,98	Mr=Eto/Ef*0,116	0,90
Q=Mr*A	594	Q=Mr*A	546,7	Q=Mr*A	1316	Q=Mr*A	8330	Q=Mr*A	90
Litros									
Caudal por hectare	0,66		0,781		0,94		0,98		0,9
Riego por goteo									
Eto=Kc*Eeto	3,434	Eto=Kc*Eeto	4,04	Eto=Kc*Eeto	4,85	Eto=Kc*Eeto	5,05	Eto=Kc*Eeto	4,646
Mr=Eto/Ef*0,116	0,419	Mr=Eto/Ef*0,116	0,493	Mr=Eto/Ef*0,116	0,59	Mr=Eto/Ef*0,116	0,62	Mr=Eto/Ef*0,116	0,57
Q=Mr*A	378	Q=Mr*A	345,1	Q=Mr*A	826	Q=Mr*A	5270	Q=Mr*A	57
Litros									
Caudal por hectare	0,42		0,49		0,59		0,62		0,57
Riego por aspersión									
Eto=Kc*Eeto	3,434	Eto=Kc*Eeto	4,04	Eto=Kc*Eeto	4,85	Eto=Kc*Eeto	5,05	Eto=Kc*Eeto	4,646
Mr=Eto/Ef*0,116	0,47	Mr=Eto/Ef*0,116	0,55	Mr=Eto/Ef*0,116	0,66	Mr=Eto/Ef*0,116	0,69	Mr=Eto/Ef*0,116	0,63
Q=Mr*A	423	Q=Mr*A	385,7	Q=Mr*A	924	Q=Mr*A	5865	Q=Mr*A	63
Litros									
Caudal por hectare	0,47		0,55		0,66		0,69		0,63
Riego por surcos									
Eto=Kc*Eeto	3,434	Eto=Kc*Eeto	4,04	Eto=Kc*Eeto	4,85	Eto=Kc*Eeto	5,05	Eto=Kc*Eeto	4,646
Mr=Eto/Ef*0,116	0,61	Mr=Eto/Ef*0,116	0,72	Mr=Eto/Ef*0,116	0,87	Mr=Eto/Ef*0,116	0,90	Mr=Eto/Ef*0,116	0,83
Q=Mr*A	549	Q=Mr*A	504	Q=Mr*A	1218	Q=Mr*A	7650	Q=Mr*A	83
Litros									
Caudal por hectare	0,61		0,72		0,87		0,9		0,83

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 5. Visita a la empresa productora en Carrillo, Guanacaste

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 6. Visita a la empresa Carrillo, Guanacaste

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 7. Sembradío de caña de azúcar empresa en Carrillo

Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 8. Ingenio de empresa productora

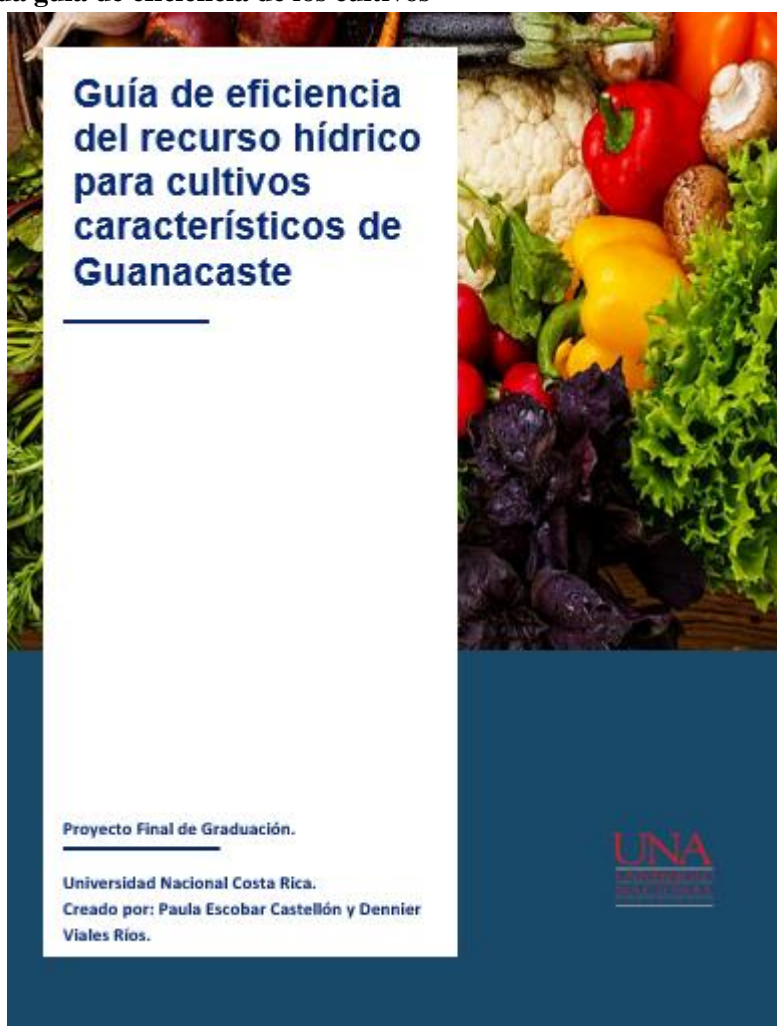
Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 9. Visita a la zona administrativa de empresa productora



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 10. Portada guía de eficiencia de los cultivos



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 11. Ficha hídrica de la sandía para la guía de eficiencia



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 12. Ficha hídrica del melón para la guía de eficiencia

Melón



Nombre científico: *Cucumis melo*

Familia: *Cucurbitaceae*

- Demanda hídrica por cultivo y sistema de riego.

Cultivo	Caudal por método de riego (l/s)				
	Hectareas cultivadas	Goteo	Aspercion	Surcos	Gravedad
Melón	900	378	421,2	549	594
	1	0,42	0,47	0,61	0,66

- Costo de producción

Cultivo	Costo total colones	Costo total dolares
Melón	5 693 900.5	9 989.3
Costo Unitario	237 245.9	416.2

- Recomendaciones

Es importante hacer uso de sistemas de riego eficiente como lo es el riego por goteo, ya que se puede utilizar en cualquier tipo de cultivos y genera un gran ahorro de agua debido a que suministra lo necesario y de igual forma el uso de sensores de humedad ayudan a que el agua se use de una manera correcta.



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 13. Ficha hídrica del arroz para la guía de eficiencia



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 14. Ficha hídrica del maíz para la guía de eficiencia



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 15. Ficha hídrica de la caña de azúcar para la guía de eficiencia



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 16. Topografía de la zona de estudio



Fuente: Escobar y Viales (2023)

Anexo 17. Riego tipo pivote utilizado en la caña de azúcar

Fuente: Azucarera El Viejo (2012)