

Universidad Nacional de Costa Rica
Sede Regional Chorotega
Campus Liberia

**Estudio hidrológico para la determinación del uso consuntivo de los productos agrícolas en
Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica**

Trabajo Final de Graduación – Modalidad de artículo científico
para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica

Sustentante:

Heriberto Ruiz Aguilar
Céd. de ident. 5-0441-0697

Supervisor:

M.Ed. Wagner Castro Castillo.
Programa de Gestión Ambiental Institucional, Universidad Nacional de Costa Rica (PGAI-UNA).

Equipo asesor:

Dr. Ronald Sánchez Brenes.
Programa de Gestión Ambiental Institucional, Universidad Nacional, Costa Rica (PGAI-UNA).

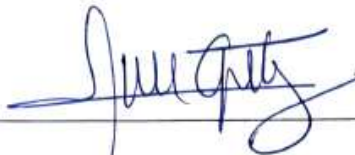
(Tutor)

M.Sc. Esteban Arboleda Julio.
Universidad Nacional de Costa Rica.
(Asesor 1)

M.Sc. Ada Luz Jorquera García.
Universidad Nacional de Costa Rica.
(Asesor 2)

Liberia, Costa Rica.
Noviembre, 2025

Acta del jurado examinador



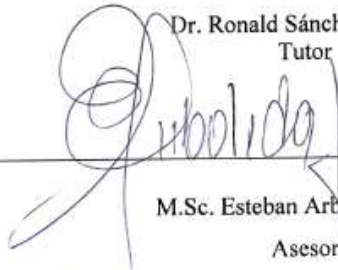
Dr. Fernando Gutiérrez Coto
Representante de Decanatura, Sede Regional Chorotega



MAP. Jorge Loáiciga Gutiérrez
Representante de Dirección Académica Universidad Nacional, Sede Regional Chorotega



Dr. Ronald Sánchez Brenes
Tutor



M.Sc. Esteban Arboleda Julio.
Asesor



M.Sc. Alta Luz Jorquera García.
Asesor

Agradecimiento

En primer lugar les expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, por permitirme culminar esta labor de mi vida; y en segundo lugar a mi madre y a mi abuelo, por su apoyo y su guianza incondicional a lo largo de mi carrera, ya que por su dedicación y amor incondicional su ayuda fue fundamental para que yo alcanzara mi meta. Al *doc* Ronald Sánchez Brenes, en su función de tutor y como guía que fue esencial para el desarrollo de esta investigación, lo mismo que a la Universidad Nacional por proporcionarme los recursos necesarios y un entorno propicio para el aprendizaje y mi desarrollo profesional.

A todos, muchas gracias.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi madre Celia María Aguilar Espinoza y a mi abuelo Juan José Aguilar Jirón, quienes con su apoyo y comprensión han sido mi mayor inspiración y motivación. A ellos, que siempre me impulsaron a seguir adelante y a nunca rendirme hasta cumplir con mis metas y sueños.

Es por y para ellos.

Tabla de contenido

Declaración jurada.....	¡Error! Marcador no definido.
Agradecimiento	ii
Dedicatoria	ii
Tabla de contenido.....	iii
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Glosario y abreviaciones	vii
Glosario	vii
Abreviaciones.....	viii
Resumen.....	ix
Summary	x
1 Capítulo introductorio.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivos general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Pregunta de investigación e hipótesis.	5
1.4.1 Pregunta de investigación.....	5
1.4.2 Hipótesis	5
1.5 Revista objetivo	5
1.6 Alcances y limitaciones	6
1.6.1 Alcances	6
1.6.2 Limitaciones	6
2 Capítulo - Revisión de la literatura	7
2.1 Pertinencia con respecto a los objetivos de desarrollo sostenible.....	8
2.2 Estudios hidrológicos para actividades agrícolas.....	9
2.2.1 Síntesis de estudios hidrológicos de referencia en la agricultura	10
2.2.2 Balance hídrico en cultivos.....	12
2.3 Riego en cultivos.....	13
2.3.1 Riego por superficial	14

2.4	Características del área de estudio	16
3	Capítulo - Diseño metodológico	20
3.1	Descripción del diseño metodológico	20
3.2	Métodos y herramientas	21
3.2.1	Recopilación de datos	22
3.2.2	Procesamiento de datos	24
3.2.3	Interpretación de datos.....	25
3.2.4	Herramientas utilizadas	25
3.3	Procedimiento metodológico del balance hídrico de los usos consultivos de los cultivos.	25
3.3.1	Evapotranspiración de referencia	25
3.3.2	Evapotranspiración del cultivo	26
3.3.3	Módulo de riego.....	26
3.3.4	Caudal de riego.....	27
3.4	Otros aspectos por considerar	27
3.4.1	Consideraciones éticas.....	27
3.4.2	Cronograma y presupuesto	28
4	Capítulo – Resultados y discusión	29
4.1	Resultados	29
4.1.1	Análisis cualitativo de entrevistas	29
4.1.2	Distribución de la cobertura de suelo según el cultivo	32
4.1.3	Resultados cuantitativos	33
4.2	Discusión de resultados.....	39
4.2.1	Respecto a los principales hallazgos.....	40
4.2.2	Relativo a los objetivos específicos.....	41
4.2.3	Respecto al diseño metodológico aplicado.....	42
5	Capitulo Conclusiones y recomendaciones	42
5.1	Conclusiones	42
5.2	Recomendaciones	45
6	Referencias bibliográficas.....	47
7	Anexos	55

Índice de tablas

Tabla 2-1. Estudios hidrológicos sobre agricultura.	10
Tabla 2-2. Métodos de balance hídrico para la agricultura	12
Tabla 4-1. Extensión porcentual de los productos agrícolas en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica....	32
Tabla 4-2. Valores de coeficientes de Kc para los cultivos estudiados y evo-potranspiración de referencia (Eto) en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.	33
Tabla 4-3. Necesidad hídrica de los cultivos del distrito de Santa Cecilia según su extensión (m2) en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.	34
Tabla 4-4. Eficiencia de los sistemas de riego.....	35
Tabla 4-5. Resultados de la demanda hídrica de los cultivos por método de riego por el total de hectáreas en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.	36

Índice de figuras

Figura 2-1. Red temática de revisión de la literatura	8
Figura 2-2. Zona de estudio del distrito de Santa Cecilia en el cantón de La Cruz, Área de Conservación Guanacaste.	17
Figura 2-3. Actividades productivas del distrito de Santa Cecilia, La Cruz.	18
Figura 2-4. Índice de Desarrollo Humano Cantonal y sus componentes (2016).....	19
Figura 3-1. Resumen del diseño metodológico que se utilizara en el desarrollo de esta investigación.	21
Figura 4-1. Distribución espacial de los productores del distrito de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.	30
Figura 4-2. Clasificación de los productos según la actividad agrícola del distrito de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.	31
Figura 4-3. Comparación de la demanda hídrica por método de riego por total de hectáreas (Sección A. Caudales menores a 2.50 l/s y Sección B. Caudales superiores a 5 l/S) en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.....	37
Figura 4-4. Comparación de la demanda hídrica por método de riego por hectárea en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.	38

Glosario y abreviaciones

Glosario

Disponibilidad hídrica: Es la cantidad de agua con que un lugar cuenta para la utilización en sus actividades (agricultura, domésticas, industriales), libre de contaminantes.

Estaciones meteorológicas: Infraestructura equipada con instrumentos especializados que le permiten medir, registrar y transmitir datos atmosféricos y climáticos en un punto geográfico determinado.

Gestión integrada del recurso hídrico: Coordinación de desarrollo en la gestión del recurso hídrico en donde se propone maximizar el bienestar económico y social sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas.

Lámina de riego: Cantidad de agua que se debe aplicar a un cultivo para reponer la humedad del suelo hasta el nivel adecuado para su desarrollo.

Riego: Proceso de suministrar agua a los cultivos para satisfacer las necesidades hídricas para su desarrollo.

Sostenibilidad hídrica: Capacidad de gestionar los recursos hídricos necesarios para satisfacer las necesidades humanas, pero resguardando el ambiente.

Uso consuntivo: Cantidad de agua que las plantas utilizan para crecer, germinar y producir.

Abreviaciones

ASADA: Asociación administradora de sistemas de acueductos y alcantarillados,

Etc: Evapo-transpiración de los cultivos

Eto: Evapo-transpiración de referencia

K_c: Coeficiente del cultivo

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

PGAI: Programa de Gestión Ambiental Institucional

P_m: Precipitación media

Q: Caudal (l/s)

R_a: Radiación solar

T_p: Temperatura promedio

INDER: Ministerio de Desarrollo Rural

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

AGRIS: FOA-Biblioteca Agrícola Mundial

ODS: Objetivos de desarrollo sostenible

CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica

Resumen

El uso sustentable del suelo y del agua en la agricultura requiere una gestión racional del riego a fin de aplicar solo la cantidad necesaria en el momento oportuno. La determinación de la demanda hídrica de los cultivos y la disponibilidad de agua es fundamental para una planificación eficiente y sostenible del recurso. Por ello, en el presente estudio se determina el uso consuntivo de agua en los principales cultivos agrícolas, para la gestión eficiente del recurso hídrico en el distrito de Santa Cecilia del cantón de La Cruz, Guanacaste.

Por lo dicho, en el presente estudio se plantean la problemática del incremento en la demanda de agua para la agricultura, la presión ejercida por la variabilidad climática y la necesidad de fortalecer prácticas sostenibles de riego. Se abordaron los conceptos de balance hídrico, evapo-transpiración y métodos de riego, en concordancia con los objetivos de desarrollo sostenible vinculados con la seguridad alimentaria, la gestión integral del agua y la acción climática.

En el planteamiento de la metodología se combinó un enfoque mixto, con análisis de datos meteorológicos, la revisión bibliográfica y las entrevistas semiestructuradas hechas a 165 productores agrícolas. Se calcularon las demandas hídricas a partir de coeficientes de cultivo y de la evapo-transpiración de referencia de la zona.

Los resultados mostraron que el frijol (*Phaseolus vulgaris (L)*), maíz (*Zea mays (L)*) y tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium (L)*) son los cultivos de mayor extensión y consumo de agua, mientras que el arroz (*Oryza sativa*), aunque más demandante por hectárea, se cultiva en menor escala. El análisis comparativo evidenció que el riego por goteo y la microaspersión son los sistemas más eficientes.

Finalmente, se llega a la conclusión de que la sostenibilidad agrícola en Santa Cecilia requiere adoptar tecnologías de riego eficientes, seleccionar cultivos estratégicos y planificar con base en la disponibilidad hídrica y la adaptación al cambio climático.

Palabras clave: agricultura, demanda, eficiencia hídrica, sistemas agrícolas, uso consuntivo.

Summary

Sustainable soil and water use in agriculture requires rational irrigation management, applying only the necessary amount at the right time. Determining crop water demand and water availability is essential for efficient and sustainable resource planning. This study determined the consumptive water use of the main agricultural crops for efficient water resource management in the district of Santa Cecilia, canton of La Cruz, Guanacaste. The issue of increasing water demand for agriculture, the pressure exerted by climate variability, and the need to strengthen sustainable irrigation practices were raised. The concepts of water balance, evapotranspiration, and irrigation methods were addressed, in accordance with the Sustainable Development Goals linked to food security, integrated water management, and climate action. The methodology combined a mixed approach with meteorological data analysis, a literature review, and semi-structured interviews with 165 agricultural producers. Water demands were calculated using crop coefficients and the area's reference evapotranspiration. The results showed that beans (*Phaseolus vulgaris (L)*), corn (*Zea mays (L)*) and squid (*Xanthosoma sagittifolium (L)*) are the crops with the greatest area and water consumption, while rice (*Oryza sativa*), although more demanding per hectare, is grown on a smaller scale. The comparative analysis showed that drip and micro-sprinkler irrigation are the most efficient systems. It is concluded that agricultural sustainability in Santa Cecilia requires the adoption of efficient irrigation technologies, strategic crop selection, and planning based on water availability and adaptation to climate change.

Keywords: Agriculture, agricultural systems, demand, efficiency, water.

1 Capítulo – Introductorio

En este capítulo se procede a ordenar la información introductoria para el desarrollo del capítulo. En este apartado se presentan la introducción, la justificación del estudio, los objetivos, tanto generales como específicos. Posteriormente, se plantean la pregunta de investigación, la hipótesis, la revista objetivo, los alcances y las limitaciones del proyecto.

1.1 Introducción

El uso del agua ha aumentado en el nivel global, impulsado por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y cambios en los patrones de consumo (Loures *et al*, 2024). Por tal motivo, actualmente se vive una competencia intensa entre los diferentes sectores de usuarios, por lo que cada vez son más escasos los recursos hídricos disponibles, lo que causa estrés hídrico en las cuencas hidrográficas y que el agua que contienen no sea suficiente para atender todas las demandas (Paz *et al*, 2012).

En el caso de la agricultura, es la actividad que demanda el mayor consumo de agua, que es responsable de 72% de todas las captaciones de aguas superficiales y subterráneas en el nivel mundial (Loures *et al*, 2024). La gestión del agua es fundamental para la estabilidad de la producción mundial de alimentos, a fin de garantizar un acceso fiable que incremente la producción agrícola y ofrezca un suministro estable de numerosos productos agrícolas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2011). Por esta razón es necesario analizar las alternativas para incrementar la eficiencia y la productividad en el uso del agua, así como conocer la respuesta del rendimiento de los cultivos al agua (FAO, 2012).

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos, ya que variables climáticas claves para el crecimiento de los cultivos, como precipitación y la temperatura, están alteradas e tendrán su impacto en la producción agrícola (Jácome, 2023). Aunque los efectos de las variaciones en el clima sobre la producción de cultivos se presentan ampliamente de una región a otra, se espera que los cambios tengan grandes efectos, principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo, con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (González, 2016).

Costa Rica cuenta con una densa red hídrica distribuida en dos vertientes, la del Caribe y la del Pacífico, en donde el recurso hídrico se encuentra sometido a una creciente demanda (Valverde,

2010). Además, en donde los eventos de sequía y variabilidad climática afectan la producción agropecuaria e hídrica, los cuales se genera a raíz de los niveles de precipitación inferiores a lo normal y que, cuando se prolongan, esto hace que las precipitaciones no sean suficientes para satisfacer las demandas de la sociedad y del ambiente (Rodríguez, 2018); y esto genera que se imposibilite cumplir con la demanda de agua para la producción agrícola y que, por ende, haya disminución.

Guanacaste es una provincia en la que el desarrollo de la agricultura haya ido en crecimiento, acompañado por un aumento en su población y un auge turístico (O'neal, 2017). Esto por las afectaciones por sequias, en que esta variable afecta en mayor manera a la dicha provincia, al presentar períodos de sequía más marcados que en otras zonas de Costa Rica (Escobar y Viales, 2024).

En el cantón de La Cruz, específicamente en el distrito de Santa Cecilia, la agricultura constituye una actividad económica fundamental, a la cual se dedica la mayoría de la población (Ministerio de Desarrollo Rural (INDER), 2021); en donde gran parte de la superficie cantonal tiene aptitud para usar el agua en cultivos anuales o permanentes; sin embargo, debido a algunos factores limitantes esto obliga a una selección cuidadosa de los cultivos y a ejecución de prácticas especiales de conservación de los recursos naturales (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2021).

Por lo tanto, en la agricultura es necesario tener en cuenta el uso sustentable de los recursos suelo y agua, en que el del agua es deficitario, por lo que es imperativo su uso racional en las prácticas del riego, aplicando la cantidad necesaria en el tiempo oportuno (Villanueva *et al*, 2017). El aplicar y optimizar adecuadamente los sistemas de riego en la producción agrícola incrementa la productividad y la rentabilidad si se favorecen las relaciones ambientales (Radulovich, 2006).

Conocer la cantidad necesaria de agua para la aplicación del riego implica determinar la demanda o requerimiento hídrico del cultivo (Villanueva *et al*, 2017). Así, también, el conocimiento de la disponibilidad hídrica es esencial para ayudar en el uso racional de los recursos hídricos, para contribuir en la toma de decisiones enfocadas en una planificación hídrica eficiente y sostenible (Loures *et al*, 2024).

La efectuar estudios hidrológicos es fundamental en la gestión hídrica, debido a que estos son instrumentos que ayudan a conocer las situaciones actuales de un sector y a decidir sobre las afectaciones (Escobar y Viales, 2024). Por tanto, en esta investigación se procura determinar los usos consuntivos de los principales productos agrícolas en Santa Cecilia para la gestión eficiente del recurso hídrico.

1.2 Justificación

La provincia de Guanacaste ha enfrentado, históricamente, el reto de controlar y distribuir las aguas durante fuertes épocas de sequías o durante las inundaciones, aspecto que es de gran importancia para su desarrollo. De acuerdo con O'neal (2017), en Guanacaste el desarrollo agrícola ha ido en crecimiento, acompañado por un aumento en su población y en el auge turístico. Por ello se dan cuatro argumentos para el desarrollo del proyecto, que son lo limitado del recurso, las malas prácticas agrícolas, el estrés hídrico en las fuentes y los efectos del cambio climático.

El primero es lo limitado del recurso hídrico para la producción agrícola, aspecto que es uno de los factores principales para que la actividad tenga un rango alto de efectividad. Como menciona la FAO (2012), con la competencia cada vez mayor por recursos hídricos no renovables en todo el mundo y por la creciente demanda de productos agrícolas, nunca ha sido tan apremiante la necesidad de mejorar la eficiencia y la productividad del uso. Dado lo anterior, es necesario analizar las alternativas para incrementar la eficiencia y la productividad en el uso del agua.

Seguidamente, un segundo argumento es el del enriquecimiento de los conocimientos de los productores en el distrito de Santa Cecilia en el uso de tecnología que mejore la producción en sus actividades agrícolas. Según Otárola (2021), todavía en la agricultura se emplean sistemas de riego que presentan menor eficiencia, como es el riego por gravedad; así como por sistemas de conducción que actualmente no son las formas adecuadas, además del desconocimiento de los efectos que causa la sobreexplotación del recurso.

El tercer argumento es del combate de un factor limitante de la producción agrícola, como lo son el estrés hídrico y la consecuencia negativa que esto conlleva. Como lo mencionan Pliego *et al* (2013), muchos de los suelos presentan baja fertilidad, en donde el agua es otro factor limitante que reduce en gran medida la producción. El estrés hídrico generado en tales condiciones es uno

de los factores abióticos que afectan en mayor proporción la producción de los cultivos, como consecuencia de los bajos potenciales hídricos de los suelos en donde se desarrollan las plantas.

Ahora bien, el cuarto argumento, como es el cambio climático en el nivel mundial afecta la producción agrícola debido a la disminución de las precipitaciones y al aumento de las temperaturas. Según Jácome (2023), los efectos del cambio climático en la producción agrícola y en la vida de las personas serán más fuertes en las poblaciones que dependen de la agricultura, ya que esta actividad es su medio de subsistencia y la base de su economía.

Finalmente, el otro argumento es el poder realizar un estudio en el cual se permite observar la mayor eficiencia del recurso hídrico de los diversos cultivos que se producen en distrito de Santa Cecilia, en el que se permite tener referencia a las cantidades óptimas para un buen manejo del agua en periodos de vulnerabilidad.

Por ello, el presente documento consiste en un estudio hidrológico para la determinación del uso consuntivo de los productos agrícolas, para ofrecer una guía técnica que contribuya a la gestión eficiente del recurso hídrico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar, mediante un estudio hidrológico, el uso consuntivo de los productos agrícolas en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste, para la gestión eficiente del recurso hídrico en la zona.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar las condiciones climáticas e hidrológicas de la región, así como los cultivos agrícolas de mayor relevancia mediante revisión bibliográfica para generación de la base de datos del área de estudio.

Determinar los requerimientos hídricos de cada uno de los cultivos seleccionados mediante el cálculo de la evapo-transpiración de referencia y la evapo-transpiración del cultivo, para proponer alternativas para su optimización.

Generar una guía técnica para la gestión eficiente del recurso hídrico en la producción agrícola de Santa Cecilia basada en los resultados del estudio hidrológico.

1.4 Pregunta de investigación e hipótesis

1.4.1 Pregunta de investigación

¿Cómo varía el uso consuntivo del agua en los cultivos agrícolas para, con la estimación de este en Santa Cecilia, contribuir al diseño de estrategias de manejo sostenible del recurso hídrico?

1.4.2 Hipótesis

El uso consuntivo de agua varía en los diferentes cultivos agrícolas en Santa Cecilia, y la determinación precisa de este uso permite identificar la demanda hídrica y, al planificar un modelo con base en este, dicho modelo contribuye al diseño de estrategias de manejo sostenible del recurso hídrico en la región.

1.5 Revista objetivo

En el caso de que este proyecto sea publicado para su proyección se tiene como objetivo a la revista Iberoamericana & Sustentabilidad (RIAS), que está dirigida fundamentalmente a docentes, investigadores y estudiantes que tengan interés en publicar los resultados más relevantes de sus investigaciones por medio de ella. Su política se acoge al sistema de publicaciones continuas, con un único volumen anual (sin números). Asimismo, se adhiere a la iniciativa de acceso abierto, con el fin de propiciar la socialización inmediata de los resultados que se exponen, previa revisión por pares ciegos. RIAS no cobra tasas por la recepción de manuscritos, y tampoco por la gestión editorial, la publicación o la indexación de los artículos publicados.

En una segunda opción, sería la revista Perspectivas Rurales de la Universidad Nacional de Costa Rica, dado que esta se centra en las ciencias agrícolas. Siendo este proyecto un estudio hidrológico con enfoque del uso consuntivo de los cultivos en la zona de Santa Cecilia, se adapta de gran manera a lo que busca la revista; además de que para el público al cual va dirigida es de interés conocer los estados actuales que se viven en el mundo en esta rama de la ciencia.

1.6 Alcances y limitaciones

1.6.1 Alcances

El presente estudio se enfoca en la cuantificación del uso consuntivo del agua en los cultivos agrícolas más representativos de la zona de Santa Cecilia, mediante el análisis hidrológico y climático.

Se utilizan datos climáticos históricos y actuales (precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento) para estimar la evapo-transpiración de referencia y, posteriormente, de la evapo-transpiración del cultivo.

La presente investigación permite identificar el comportamiento del recurso hídrico en función de las necesidades hídricas de los cultivos, lo cual servirá de base para propuestas de gestión eficiente del agua en el sector agrícola.

El estudio está enfocado, geográficamente, en la zona de Santa Cecilia, dentro del cantón de La Cruz, en la provincia de Guanacaste, y se centra en cultivos identificados como prioritarios por su importancia económica o territorial.

1.6.2 Limitaciones

El análisis no contempla otros usos del agua en la región (domésticos, industriales o ecológicos), ya que se limita únicamente al sector agrícola, específicamente al uso consuntivo de los cultivos.

La precisión de los resultados dependerá de la calidad y disponibilidad de los datos climáticos e hidrometeorológicos locales. En caso de falta de información se utilizarán datos de estaciones cercanas o modelos estimados.

En el capítulo 1 se exponen el apartado introductorio de la investigación, en donde se problematizan y justifican los alcances y las limitaciones. En el siguiente capítulo se aborda la revisión de la literatura para tener así una contextualización de información relevante para lo investigado.

2 Capítulo - Revisión de la literatura

En este apartado se sintetiza la información de mayor relevancia localizada sobre las variables del estudio, actividad que tuvo como propósito fundamental establecer el marco conceptual y teórico en el que se sustenta la investigación. Mediante la revisión de la literatura se buscó emplear los principales términos y enfoques analíticos en la gestión integral del recurso hídrico.

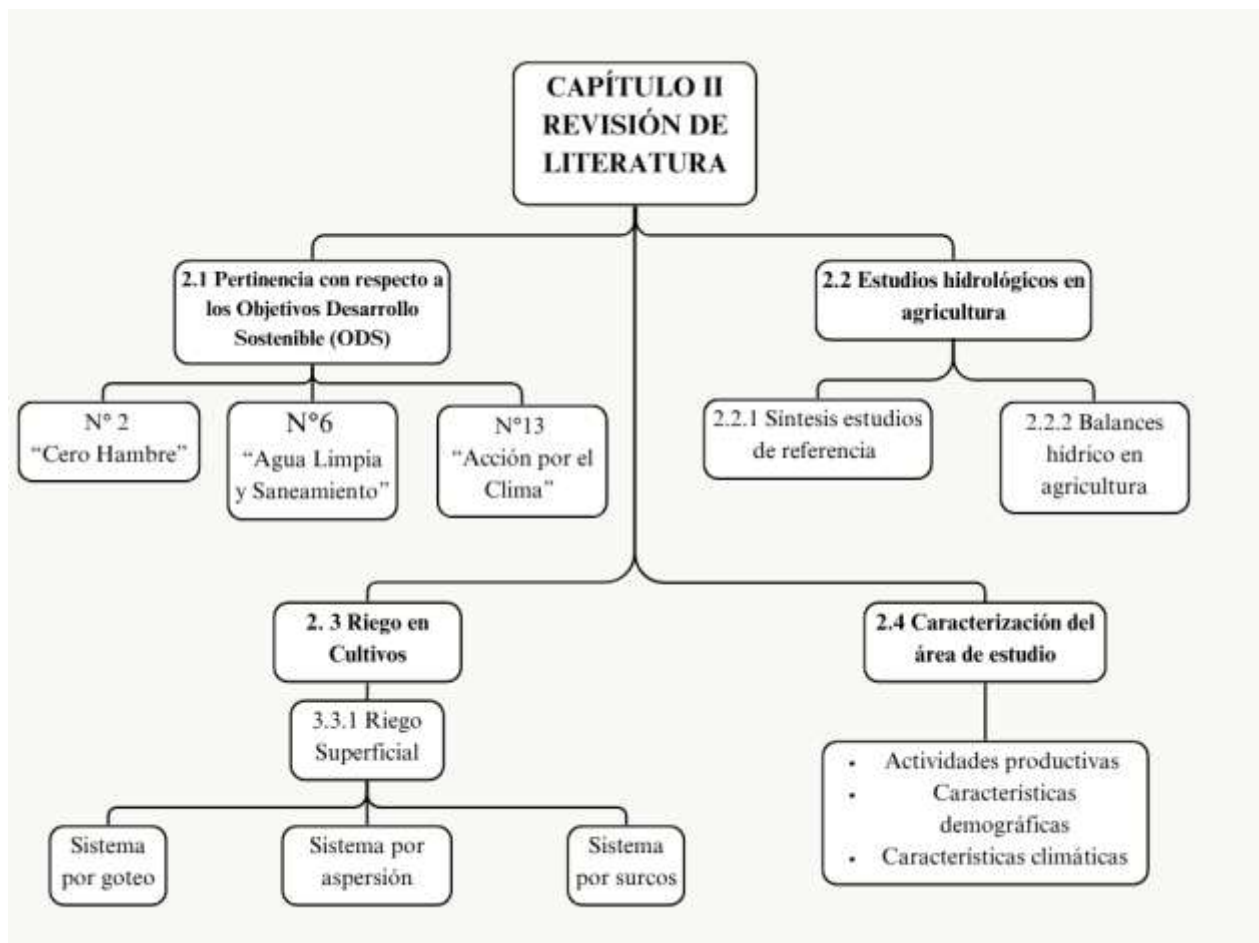
Por lo mencionado, se hizo una búsqueda de información bibliográfica en diferentes fuentes de información: Google académico, SciELO, Dialnet, FOA-Biblioteca Agrícola Mundial (AGRIS), reservorios universitarios, etc. Se utilizaron palabras o frases clave como: Hidrología, Estudios hidrológicos en agricultura, riego y usos consuntivos de los cultivos. El periodo de búsqueda abarcó de 1994 hasta el 2024 para el desarrollo del tema, lo que sumó un periodo de 30 años.

El alcance de las publicaciones abarcó estudios de relevancia de la agricultura con respeto al uso del recurso hídrico, los cuales permitieron contextualizar el presente dentro de una perspectiva crítica y fundamentada, que facilite la comprensión de los elementos clave por los que se guiará el análisis de la problemática abordada.

La revisión incluyó los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), específicamente los relacionados con el recurso hídrico y con las actividades agrícolas. También se consideran los estudios hidrológicos, como una herramienta para los análisis de la distribución espacial y temporal del agua; por ejemplo, el balance hídrico para la determinación de la capacidad de almacenamiento del suelo para el crecimiento de los cultivos.

Posteriormente, el riego para evaluar la eficiencia que existe en ellos entre uno y otro y, por último, se caracteriza el área de estudio en la que se enfoca la investigación. Estas temáticas fueron seleccionadas para ofrecer una comprensión integral de los aspectos hidrológicos y agrícolas que influyen en los usos consuntivos de los cultivos (**figura 2-1**).

Figura 2-1. Red temática de la revisión de la literatura



Fuente: Elaboración propia (2025).

Por lo tanto, a continuación se presentan los resúmenes de la revisión de la literatura dividida en cuatro apartados, los cuales consisten en los siguientes: pertinencia con respecto a los objetivos de desarrollo sostenible, estudios hidrológicos para actividades agrícolas, riego en cultivos y caracterización del área de estudio.

2.1 Pertinencia con respecto a los objetivos de desarrollo sostenible

Los objetivos de desarrollo sostenible constituyen una pronunciación universal de la acción, así como un camino de sostenibilidad mundial. Por esta razón se relacionan con los objetivos números 2, 6 y 13 dentro del desarrollo de este proyecto. 2, 6, 3.

El objetivo número 2 “Cero hambre”, dado que el estudio tiene como fin mejorar la eficiencia en el uso del agua para incrementar o sostener la producción agrícola. Para colaborar con el cumplimiento de las metas 2.3 duplicar la productividad y los ingresos de los pequeños productores agrícolas, y 2.4 Implementar sistemas de producción de alimentos sostenibles.

El objetivo 6, “Agua limpia y saneamiento”, busca garantizar la gestión hídrica eficiente y sostenible, por lo cual el proyecto busca colaborar en el cumplimiento de las metas 6.4 - Aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos y, 6.5, Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos en todos los niveles.

En el objetivo 13 “Acción por el clima” se analizan la variabilidad climática y se busca adaptar las prácticas agrícolas a las nuevas condiciones hidrológicas. Para cumplir con las metas 12.2 se procura lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales y, 12.8, se procura garantizar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos necesarios para el desarrollo sostenible.

En síntesis, el presente proyecto se enmarca en los objetivos de desarrollo sostenible como una contribución concreta a la sostenibilidad agrícola, la gestión eficiente del recurso hídrico y la adaptación al cambio climático. Al vincular los ODS 2, 6 y 13 se propone una estrategia integral que promueve la seguridad alimentaria, la conservación del agua y la resiliencia ante la variabilidad climática, que consolida así una base sólida para el desarrollo rural sostenible y equitativo.

2.2 Estudios hidrológicos para actividades agrícolas

La hidrología incluye el estudio de las aguas subterráneas, las potenciales fuentes de agua potable, así como las precipitaciones y la evaporación. También aborda cuestiones relacionadas con la gestión del agua, incluido el suministro de agua potable, el diseño de obras de retención para el suministro de energía hidroeléctrica o de riego, o la mitigación de los efectos de fenómenos extremos, como inundaciones, sequías y erosión del suelo (Singh y Woolhiser, 2002).

Según Bejar (2005), los estudios hidrológicos requieren el análisis de cuantiosa información hidro-meteorológica. Esta información puede consistir en datos de precipitación, caudales, temperatura y evaporación. Los datos recopilados solo representan una información en bruto; pero si estos se organizan y se analizan en forma adecuada proporcionan una herramienta de gran utilidad que permite tomar decisiones.

Por lo tanto, los estudios hidrológicos tienen como funcionalidad estudiar el comportamiento del recurso hídrico, como pueden ser flujos de agua para la generación de energía hasta la realización de balances hídricos en la agricultura. Lo que se pretende con esta investigación es obtener la cantidad de recurso hídrico que cada cultivo demanda en las diferentes fases de su crecimiento, y hasta su cosecha, y la disponibilidad hídrica de la zona de Santa Cecilia por medio de un balance hídrico.

2.2.1 Síntesis de estudios hidrológicos de referencia en la agricultura

En este apartado se presentan estudios hidrológicos aplicados en el sector la agricultura bajo la gestión hídrica, en la cual se presentan estudios realizados en el nivel latinoamericano, posteriormente nacional y por último, en el ámbito de la provincia de Guanacaste (**Tabla 2-1**).

Tabla 2-1. Estudios hidrológicos en los cultivos

País	Referencia	Lugar	Temática	Método aplicado
Latinoamérica	Balbotín <i>et al</i> (2023)	Latinoamérica	Análisis del uso y la gestión del agua en la agricultura, con énfasis en eficiencia y desafíos.	Uso de tecnologías de precisión, como la teledetección y los sensores de humedad
Argentina	Wyatt <i>et al</i> (2023)	Río Bermejo Superior	Aplicación de modelos hidrológicos para la gestión del agua en cuencas agrícolas.	Modelo hidrológico Hydro-BID con asistencia técnica del BID y RTI.
Colombia	Cascante <i>et al</i> (2017)	Latinoamérica	Aplicación de la metodología de huella	Huella hídrica basada en la guía del

			hídrica en cuencas hidrográficas para mejorar la gestión del recurso hídrico en la agricultura.	IICA/Hoekstra <i>et al.</i> (2011)
Costa Rica	Escobar y Viales (2024)	Guanacaste	Evaluación hidrológica para optimizar el uso del recurso hídrico en la agricultura, en el marco del Proyecto PAACUME.	Método del balance hídrico según el Manual Técnico de Dotaciones de Agua (2021)
Costa Rica	Bustamante (2023)	La Garita de La Cruz, Guanacaste	Evaluación hidrológica de subcuencas para optimizar el riego por goteo en cultivos de naranja.	Balance hídrico, metodologías de polígonos de Thiessen e isoyetas
Costa Rica	Instituto de Desarrollo Rural. (2021)	Abangares, Cañas, Bagaces, Tilarán, Liberia, La Cruz	Construcción de reservorios para agricultura y ganadería.	Implementó infraestructura hídrica mediante construcción de reservorios de 50 000 m ³
Costa Rica	Méndez <i>et al</i> (2020)	Guanacaste	Valoración de tierras agrícolas según acceso al agua.	Método de precios hedónicos (HPM) para valorar tierras agrícolas en función del acceso al agua

Fuente: Elaboración propia (2025)

La presente tabla de síntesis permite visualizar los principales enfoques y metodologías en estudios hidrológicos aplicados a la agricultura. Esta recopilación facilita la identificación de tendencias y vacíos de conocimiento, por lo cual aporta una base para orientar futuras investigaciones y tomar decisiones técnicas en el manejo sostenible del recurso hídrico en sistemas agrícolas.

2.2.2 Balance hídrico en cultivos

Los balances hídricos son técnicas que permiten el cálculo y el análisis del comportamiento del recurso hídrico, en su capacidad de retención y en el movimiento de aguas, junto con los procesos hidrológicos y los periodos en los que ocurren. La aplicación de balances hídricos anuales permite cuantificar los distintos fenómenos hidrológicos en una cuenca: precipitación, evapotranspiración y escorrentía (Santillán *et al*, 2013).

El balance hídrico se realiza utilizando datos reales o simulados de precipitación e información climatológica, con el fin de calcular el requerimiento hídrico de una zona en particular. Existen diferentes tipos de balances hídricos: climáticos, agroclimáticos, hidrológicos, agroforestales, de cuencas, de drenaje y riego (Cleves *et al*, 2016).

La planificación agrícola se ve beneficiada con el conocimiento del balance hídrico, ya que la utilización del agua para el consumo de las plantas, así como el estudio de los excesos y deficiencias de agua, condiciona las posibilidades de desarrollar con éxito los cultivos. El balance hídrico está relacionado con la capacidad de almacenamiento del suelo, con los factores climáticos tales como temperatura, humedad relativa, radiación solar, insolación y velocidad de viento, y esto depende muy poco de la fisiología de la planta (Burbano y Benavides, 1997).

A continuación se presenta la **tabla 2-2**, que sintetiza los métodos utilizados para el cálculo del balance hídrico en la agricultura:

Tabla 2-2. Métodos de balance hídrico en la agricultura

Método	Aplicación	Ventajas
Balance contable / ET	Riego diario y déficit hídrico	Fácil de implementar y monitorear
Modelos (SaltMod, BHAg)	Estacional/diaria a escala regional	Simula escenarios y salinidad

Lisímetro y sensores	Medición precisa de ET y humedad	Datos reales del campo
CropWat, AquaCrop	Simulación agroclimática integrada	Planeación climática y agronómica
Deficit irrigation	Riego estratégico en fases clave	Optimiza el uso del agua

Fuente: Elaboración propia (2025)

En síntesis, el conocimiento y la aplicación de los distintos métodos de balance hídrico constituyen herramientas para una gestión agrícola eficiente y sostenible del recurso hídrico. Estos enfoques permiten no solo cuantificar la disponibilidad y la demanda de agua en función de las condiciones climáticas y característica del suelo, sino que también se toman decisiones informadas en la planificación del riego y en la selección de cultivos.

2.3 Riego en cultivos

La disponibilidad de agua en el suelo y la posibilidad de que sea absorbida por las plantas constituye la base de toda vida vegetal. En este contexto, el riego es la práctica de aplicar agua al suelo para mantener el nivel de humedad que el cultivo necesita, siempre que las lluvias sean insuficientes. Cuándo, cuánto y cómo regar son preguntas frecuentes a la hora de reponerle al suelo la cantidad de agua que consume el cultivo (Van Konijnenburg, 2006).

Es común referirse al riego en la parcela utilizando dos términos, métodos de riego y sistemas de riego; a veces como sinónimos. Se hace aquí una distinción: se entiende por método de riego el conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a las parcelas regadas, y se entiende por sistema de riego el conjunto de equipamientos y técnicas que proporcionan esa aplicación, siguiendo un método dado (Pereira *et al*, 2010).

La importancia del riego se define como una ciencia para la sobrevivencia humana, en que la presión demográfica y las necesidades de cantidades adicionales de alimento imponen el desarrollo rápido del regadío en todo el mundo. Además, si bien reviste capital interés para las regiones de más acusada aridez, no hay que olvidar el papel cada vez más importante que desempeña en las regiones húmedas (Israelsen y Hansel, 2021).

El acceso al riego permite practicar la agricultura en lugares en donde no es viable hacerlo, pues el riego incrementa la productividad y diversifica las cosechas, lo que 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).

En la actualidad, la agricultura necesita aplicar nuevas tecnologías para mejorar la producción agrícola; por ello es necesario desarrollar y aplicar métodos de riego. Lo más importante es lograr que el sistema de riego sea lo más eficiente posible, para que quede la mayor cantidad de agua disponible para el cultivo (Ruiz *et al*, 2022).

En el siguiente apartado se describen el riego superficial, así como los principales sistemas de riego superficial utilizados en la agricultura. Se analizan las características técnicas y funcionales del riego por goteo, el riego por aspersión y el sistema de surcos. Con esta revisión se busca aportar elementos clave para una adecuada selección e implementación de métodos de riego que optimicen el uso del recurso hídrico y mejoren la productividad agrícola.

2.3.1 Riego superficial

El riego por superficie incluye una variedad de tipos de riego que tienen la característica común de que el agua se aplica en la superficie del suelo y se distribuye en el campo por gravedad, de modo que el caudal de riego disminuye a lo largo del campo debido a la infiltración del 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 que cubren la parcela en riego, como las tuberías de los sistemas de aspersión o goteo (Faci, 1994).

Por otro lado, tampoco es necesario presurizar el agua para obtener una correcta y uniforme distribución. Cuando los sistemas de riego por superficie están bien diseñados y son manejados de forma adecuada, el riego por superficie es muy eficiente y permite el riego uniforme de la parcela (Faci, 1994)

➤ Sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo es un método de irrigación utilizado en las franjas áridas que permite la utilización óptima de agua y abonos, con que se distribuye el agua en manera moderada y con una zona de humedecimiento radicular. El agua aplicada con este método de riego se infiltra en el interior de las raíces de las plantas e irriga directamente la

zona de influencia de las raíces, a través de un sistema de tuberías y emisores o goteros (Andrade, 2018).

Con este sistema se utilizan pequeños caudales de agua a baja presión, y de esta forma las zonas agrícolas que no tienen fuentes de agua pueden obtenerla del agua de lluvia o de zonas subterráneas. Es utilizado para un riego controlado y para plantaciones delicadas. Así, cada tipo de planta tiene la cantidad necesaria de agua para que pueda crecer según las especificaciones de calidad (Andrade, 2018).

➤ **Sistema de riego de aspersión**

El riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en la que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías, y es expulsada al exterior por las boquillas de un aspersor. Normalmente, la presión requerida se obtiene 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 la del terreno por regar (Peralta y Simpfendörfer, 2001).

La red de distribución del agua está formada por conducciones cerradas que llevan el agua a presión hasta los aspersores. El agua sale de ellos a gran velocidad y cae en forma de lluvia sobre el terreno, en donde se infiltrará al pasar desde la superficie del suelo hasta capas cada vez más profundas, y queda así a disposición del cultivo. En un sistema de riego por aspersión bien diseñado no debe producirse escorrentía, es decir, cada gota de agua debe infiltrarse en el mismo punto donde cae (Fernández, 2010).

➤ **Sistemas de riego de surcos**

Este tipo de riego se caracteriza porque la superficie del suelo es ondulada y forma pequeños canales a lo largo de los cuales circula el agua de forma independiente. Una característica importante del riego por surcos es que la parcela puede tener una pendiente lateral. La longitud de los surcos puede llegar a ser de hasta 300 metros, en ocasiones. Generalmente los surcos tienen pendiente longitudinal, aunque son frecuentes también los surcos nivelados a cero pendiente. Los surcos a nivel no suelen permitir escorrentía,

mientras que los surcos con pendiente precisan de un sistema de desagüe similar al necesario para el riego por escurrimiento libre (Faci y Playán, 1994).

El riego por surcos es agrónomicamente muy aconsejable para algunos cultivos que son muy sensibles al encharcamiento, ya que al sembrarse sobre la parte superior del surco se evita mojar el cuello de la planta y el sistema radicular nunca se cubre por completo de agua, por lo que se garantiza su aireación aun durante riegos de elevada duración. También es un sistema indicado para suelos de mala estructura en los que el contacto con el agua de riego produce costras que inducen compactación y reducen el intercambio gaseoso del suelo (Faci y Playán, 1994).

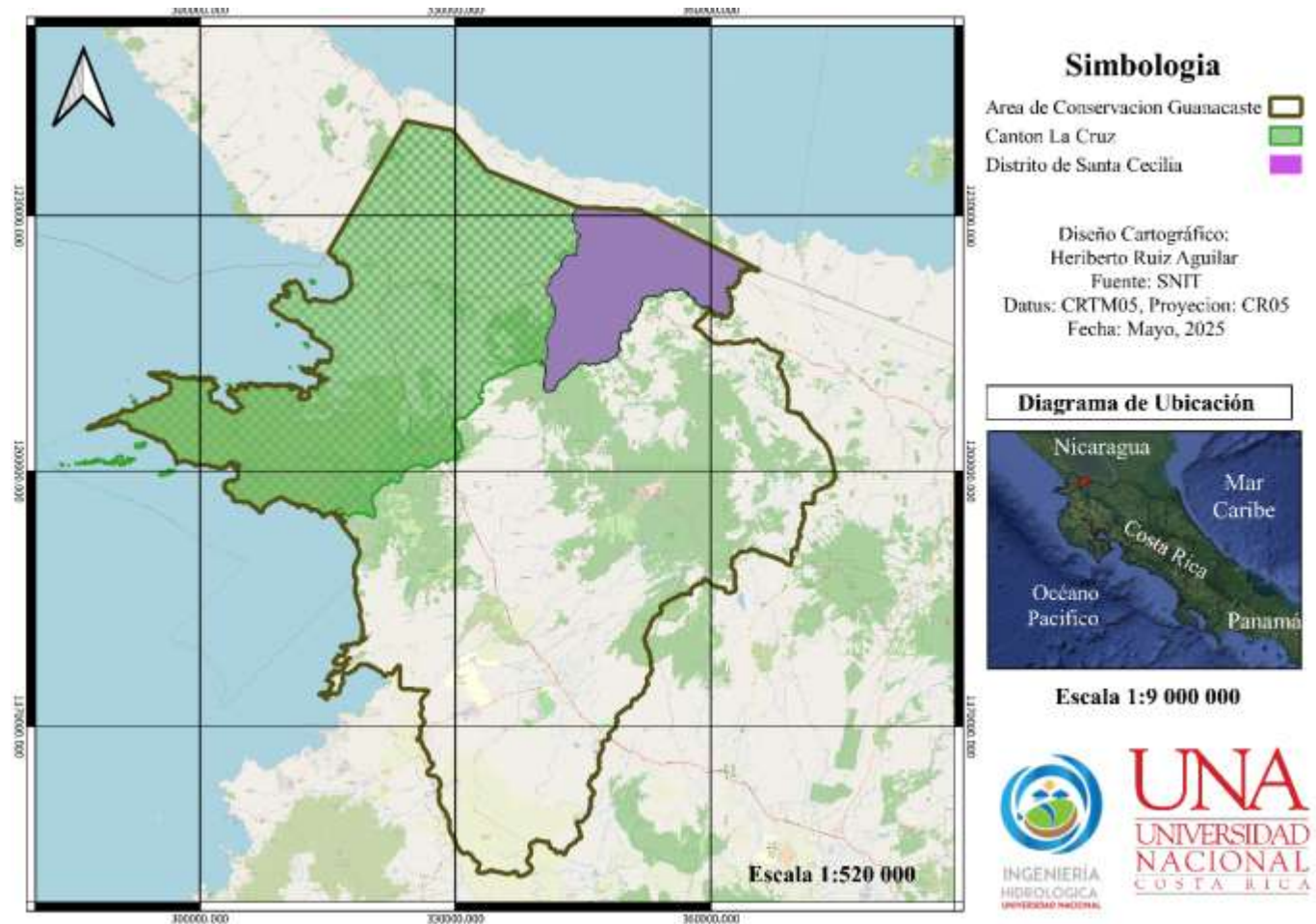
2.4 Características del área de estudio

El estudio se realiza en la localidad de Santa Cecilia, distrito del cantón de La Cruz, en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. Esta región forma parte de la Región Chorotega y se caracteriza por un clima tropical estacional, con una marcada estación seca que puede prolongarse de noviembre a mayo. Cabe anotar que la agricultura en esta zona se encuentra entre las principales actividades económicas de subsistencia y comercialización.

El clima del cantón de La Cruz comparte características propias de los dos regímenes climáticos del país (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2021). Santa Cecilia es la cabecera del distrito homónimo del cantón. Se sitúa al sur del límite internacional con Nicaragua, a 337 msnm, sobre la ruta 4 o Corredor Noratlántico, en una zona de transición entre el régimen climático de la Vertiente del Pacífico y la Vertiente del Caribe dentro del CSC (Bolaños *et al*, 2023).

En el distrito Santa Cecilia los promedios de precipitación anual exceden los 2 500 mm, que alcanzan extremos de hasta 4000 mm. En él la distribución de la lluvia es más regular, ya que solo los meses de marzo y abril se pueden considerar como secos, puesto que el promedio de lluvia está por debajo de los 50 mm y los meses más lluviosos son julio y octubre, con promedios que exceden los 350 mm. La temperatura es alta y constante durante todo el año y el promedio anual es de 25,8°C (MAG, 2021) (**Figura 2.2**).

Figura 2-2. Zona de estudio del distrito de Santa Cecilia en el cantón de La Cruz, Área de Conservación Guanacaste.



Fuente: Elaboración propia (2025).

En el ámbito socioeconómico, la agricultura es la principal actividad económica, con un enfoque en cultivos de granos básicos y tubérculos (**figura 2.3**), aunque existen oportunidades para diversificar y mejorar la productividad con el uso de nuevas tecnologías y prácticas (Hidalgo et al, 2024). También el turismo rural, de la mano con la reforestación, tiene una presencia importante. En el pueblo de Santa Cecilia hay supermercados, tiendas, ferreterías, panaderías, almacenes, carnicerías y restaurantes. Entre las actividades comerciales se puede mencionar el intercambio de productos agrícolas y ganaderos, propiamente en el pueblo de Santa Cecilia (Ramírez et al, 2010).

Figura 2-3. Actividades productivas del distrito de Santa Cecilia, La Cruz.

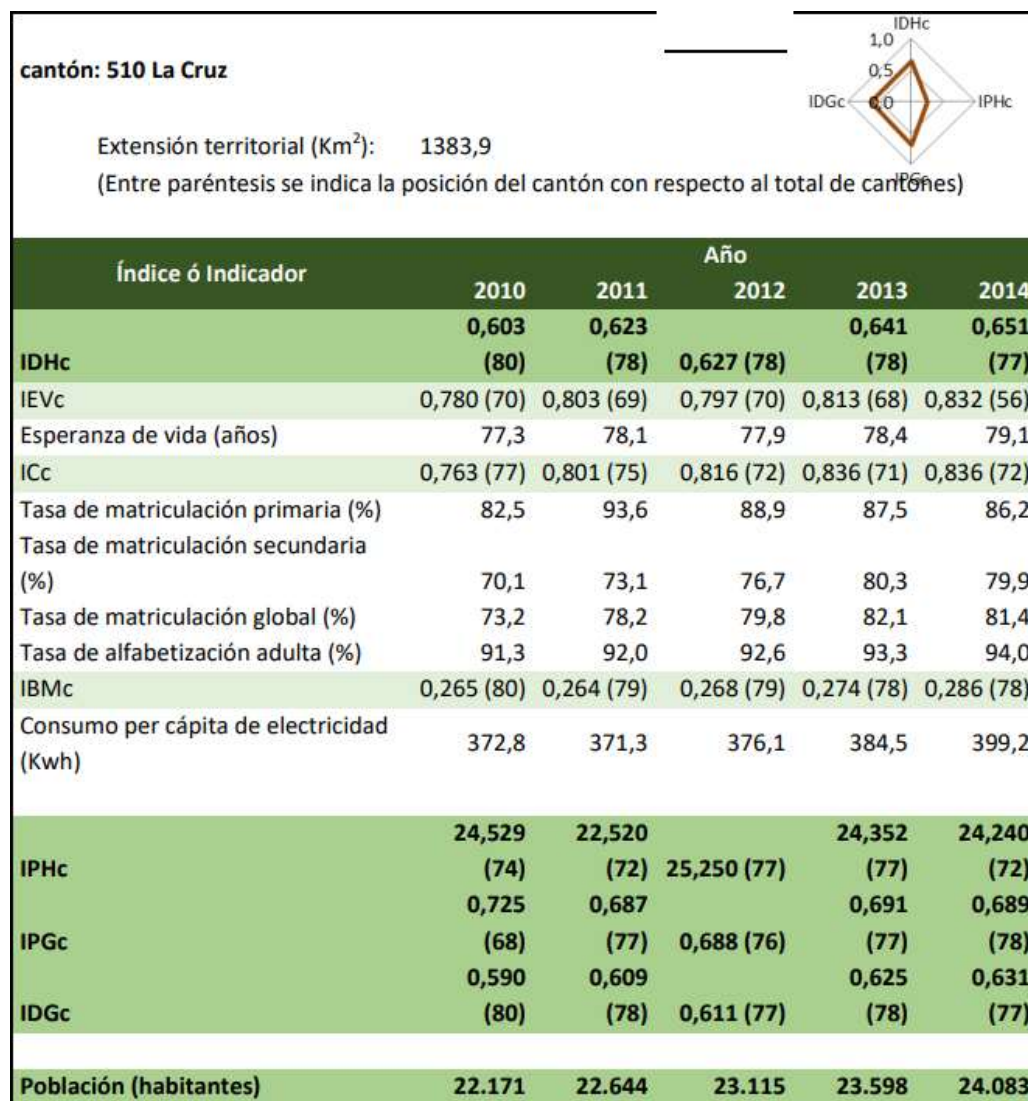


Fuente: Periódicos El mensaje (2020) y La Voz de Guanacaste (2022).

De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda del 2011 del cantón de La Cruz, la situación del cantón ha experimentado, entre el 2010 y el 2014, una leve recuperación en el Índice General de Desarrollo Humano Cantonal, al pasar de la posición 80 en el 2010 a la 77 en el 2014; y, de igual forma, la esperanza de vida ha aumentado (**figura2-4**) (Municipalidad de La Cruz, 2016).

En el año 2016, el porcentaje de alfabetismo fue de 93,8%, población que fue de entre 10 y 24 años de mayor porcentaje (98,6%); en relación con la de 25 y más años, que cuenta con 90,5%. En cuanto a la asistencia de la educación, la población de entre 5 y 17 años es la que más asiste, con 82,7% (Municipalidad de La Cruz, 2016).

Figura 2-4. Índice de Desarrollo Humano Cantonal y sus componentes (2016).



Fuente: Municipalidad de La Cruz (2016)

El distrito de Santa Cecilia, en el cantón de La Cruz, Guanacaste, se configura como un espacio estratégico para el análisis del uso del agua en la agricultura dadas sus condiciones agroclimáticas particulares y su vocación productiva.

En el siguiente apartado se exponen los métodos y herramientas que se utilizaron en el desarrollo de esta investigación.

En el capítulo 2 se hizo la revisión de la literatura estudiada a fin de contextualizar información relevante para la investigación. En ella se expusieron conceptos, métodos, estudios de referencia y la caracterización de la zona en estudio, por lo que en el siguiente capítulo se aborda el diseño metodológico empleado en la investigación.

3 Capítulo - Diseño metodológico

En este capítulo se presenta el diseño metodológico que permitirá cumplir con los objetivos propuestos, por lo que este capítulo se divide en dos secciones: recopilación de información y determinación de los usos consultivos de los productos agrícolas.

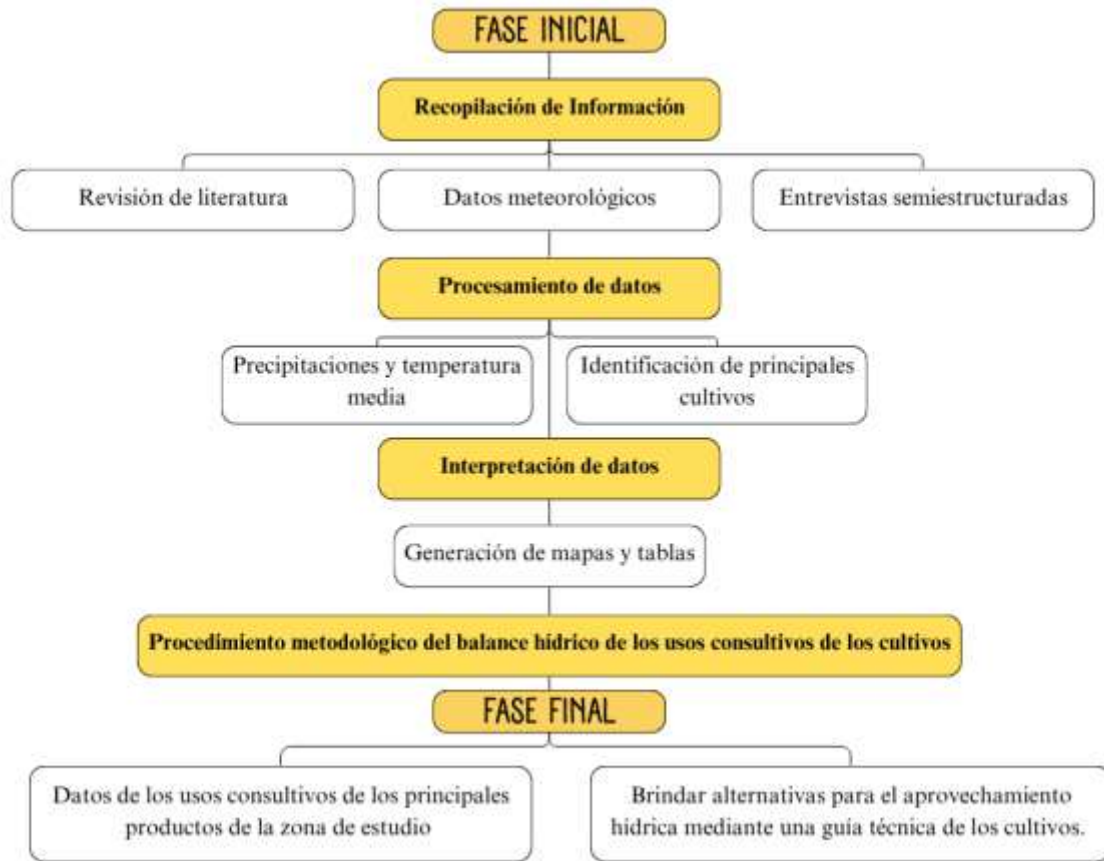
3.1 Explicación del diseño metodológico

En la presente investigación se adoptó un enfoque mixto debido a que se abarcaron tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Según Hernández *et al* (2014), la investigación cuantitativa considera que el conocimiento debe ser objetivo por medio de la medición numérica y el análisis estadístico inferencial, ya cualitativa suele partir de una pregunta de investigación. Este enfoque busca explorar la complejidad de factores que rodean un fenómeno y la variedad de perspectivas y significados que tiene para los implicados.

En el caso del enfoque cuantitativo se buscó cuantificar el uso consuntivo del agua por parte de los principales cultivos agrícolas en Santa Cecilia, Guanacaste. Por otro lado, se adopta por un enfoque cualitativo, dado que se buscó conocer las perspectivas de los productos agrícolas, así como mediante la recolección de información de relevancia para el estudio: tipos de riego, tipos de cultivos y áreas de cultivación. Esto en función de proponer alternativas que favorezcan el cultivo de alimentos durante los periodos de sequía, y que al mismo que promueva un uso racional de los recursos disponibles.

En la **Figura 3.1** se presenta un resumen del diseño metodológico de la investigación, orientada a proponer alternativas para el aprovechamiento hídrico en el área de estudio. Este diseño tiene las siguientes etapas, recopilación de información, caracterización de la zona de estudio, procesamiento y validación de datos, así como determinación de los principales cultivos, datos sobre usos consultivos y para generar las guía técnicas.

Figura 3-1. Resumen del diseño metodológico que se utilizará en el desarrollo de esta investigación.



Fuente: Elaboración propia (2025)

La metodología empleada en este estudio responde al enfoque de una investigación mixta, cuya finalidad es resolver una problemática concreta en el uso eficiente del recurso hídrico en la agricultura. La estructuración del diseño metodológico, basada en la recopilación de datos climáticos y agronómicos, entrevistas semiestructuradas, revisión bibliográfica y aplicación de modelos hidrológicos, permite establecer una ruta lógica y coherente para alcanzar los objetivos de investigación.

3.2 Métodos y herramientas

Para el desarrollo del proyecto se requirió del seguimiento cronológico de los métodos que se mencionarán a continuación, para de esta manera tener resultados confiables y acertados. A continuación se muestran los métodos seguidos.

3.2.1 Recopilación de datos

El desarrollo del proyecto se inició con la recopilación de una serie de datos predeterminados como información base para la aplicación de los métodos por utilizar, según lo cual se divide en dos fases de investigación, de escritorio e investigación de campo.

➤ Investigación de escritorio

Esta base consiste en una investigación exhaustiva de información de fuentes de información, en que el método aplicado es el descriptivo:

I. Revisión de literatura

Se recopiló información bibliográfica de importancia para la obtención de datos, así como el coeficiente de cultivo respecto al tipo de cultivos considerados en el presente estudio y los métodos de balance hídrico para usos consultivos.

De igual manera que en el capítulo 2, se realizó búsqueda de información bibliográfica en diferentes fuentes de información: Google académico, SciELO, Dialnet, Researchgate, FOA-Biblioteca Agrícola Mundial (AGRIS), y reservorios universitarios. El periodo de búsqueda abarcó de 2014 hasta el 2024 para el desarrollo del tema, con el fin de identificar elementos clave por lo que se guiará el análisis de la problemática abordada.

➤ Investigación de campo

En el caso de la investigación de campo, esta se realizó por medio de visitas a la zona de estudio e instituciones gubernamentales. Esta etapa se divide en dos: obtención de datos meteorológicos y entrevistas semiestructuradas.

I. Datos meteorológicos

La información meteorológica se obtuvo mediante la solicitud de ella por escrito al Instituto Meteorológico Nacional de datos meteorológicos, y los parámetros solicitados son las precipitaciones y temperaturas. Los datos solicitados fueron los registrados por la Estación Meteorológica N°69735, ubicada en el distrito de Santa Cecilia; así como información histórica de estudios anteriormente realizados de igual manera en la zona de estudio o en sus cercanías.

II. Entrevistas semiestructuradas

Para esos fines se elaboró una encuesta digital mediante la herramienta Kobo Tool Box (de igual manera se tendrá un modelo o machote en físico por posibles inconvenientes), el cual fue aplicado a pequeños productores del distrito de Santa Cecilia. Esto con el fin de conocer las actividades agrícolas a la cuales se dedican. Las entrevistas semiestructuradas se realizaron en el año 2024.

- **Recolección de datos, tipo y tamaño de la muestra.** Las entrevistas fueron de carácter no probabilístico, con un muestro intencional, y se le realizaron a la población de pequeños y medianos productores agrícolas. En ellas se tomó una muestra de 168 agricultores, las cuales se realizaron mediante un recorrido por la zona de estudio.
- **Diseño de la entrevista.** El diseño de la herramienta (encuesta) consta de los siguientes apartados:
 - **Sección A.** Se recolectó información general de los productores del distrito de Santa Cecilia: nombre completo, actividad socioeconómica a la que se dedican, ubicación de las fincas, terrenos propios o de alquiler y toma del punto por GPS.
 - **Sección B.** En esta sección se consultó sobre variables clave como: productos agrícolas que producen, así como por la extensión total cultivada.
- **Análisis y sistematización de la información.** El proceso de análisis y sistematización de la información se hizo mediante la estadística descriptiva, con el programa Excel mediante gráficos de barras y tablas. En ellas se digitalizaron los datos obtenidos de las encuestas realizadas a los productores de Santa Cecilia.

III. Georreferencia de la distribución de las fincas agrícolas

Para la identificación de las fincas agrícolas del distrito se siguió un método basado en la recopilación de información geográfica mediante receptores GPS durante las visitas de campo. Se registraron los puntos de localización de cada finca, vinculando cada coordenada con el nombre del productor y con los

datos obtenidos en las entrevistas. Esto permitió establecer una base espacial de las unidades productivas existentes en el territorio. Posteriormente, se le solicitó a la Municipalidad de La Cruz el mapa catastral de las fincas del cantón, y con el software Qgis se procedió a hacer una correlación de los puntos geográficos de los encuestados en el mapa catastral.

En síntesis, la recopilación de datos constituyó una etapa fundamental para el desarrollo del proyecto, dado que proporciona los insumos necesarios para la aplicación de los métodos seleccionados. La combinación de información meteorológica, las entrevistas semiestructuradas y la revisión bibliográfica permitió construir una base sólida y contextualizada.

3.2.2 Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó mediante el uso de los programas Excel y Qgis. De esa manera los datos fueron procesados para obtener los resultados y generar el estudio hidrológico, así como recomendaciones sobre mejoras.

➤ Precipitación y temperatura promedio

El cálculo de la precipitación y la temperatura media mensual del distrito de Santa Cecilia se obtuvo calculando el valor medio de los datos mensual de la estación meteorológica N.º 69735. Se utilizó el registro histórico del año 2015 al año 2024, y el análisis estadístico se realizó por medio de la herramienta Microsoft Excel.

➤ Identificación de los principales cultivos

Con la base de datos generada por medio de las entrevistas en Kobo Tool Box se trataron los registros por medio de la herramienta Microsoft Excel, en la cual se identificaron los principales cultivos de la zona y se hizo una sumatoria de las áreas de extensión de cada una. Esto con el fin de generar mapas de distribución espacial por medio del software Qgis, versión 3.28.5.

Además, se comparó la oferta hídrica estimada a partir de los datos hidrológicos y se hizo el modelado con los usos consuntivos de los cultivos agrícolas. Esto mediante el cálculo de un balance hídrico, lo que permitió identificar posibles déficits o excesos de agua y tomar decisiones sobre el riego y la gestión del recurso hídrico en el sector agrícola.

3.2.3 Interpretación de datos

En esta fase se realizó una revisión detallada y sistemática de los datos obtenidos durante el proceso de recopilación y procesamiento, con el objetivo de garantizar su coherencia y utilidad para el análisis hidrológico. En el caso de los datos meteorológicos estos consistieron en verificar datos faltantes y atípicos que puedan afectar los resultados, así como, la línea temporal y espacial.

Esta etapa incluyó con la elaboración de gráficos, tablas y mapas temáticos mediante el uso de herramientas como Excel y QGIS, las cuales permitieron visualizar la distribución espacial de los cultivos y zonas agrícolas. Además, se hicieron los cálculos necesarios para determinar la evapo-transpiración de referencia (Eto) y la evapo-transpiración del cultivo, utilizando las ecuaciones establecidas en el Manual Técnico de Dotaciones de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía Dirección de Agua (MINAE) (2021). Estos valores fueron fundamentales para estimar el módulo de riego y el caudal requerido por hectárea para los cultivos principales de la zona.

Finalmente, los resultados fueron comparados con los objetivos del proyecto, lo cual permitió evaluar si los datos generados cumplían o no con los criterios técnicos establecidos, y si eran suficientes para sustentar propuestas de la guía técnica de los usos consultivos de los principales cultivos del área de estudio.

3.2.4 Herramientas utilizadas

Para llevar a cabo todos los procesos de procesamiento e interpretación de datos fueron utilizados los programas computacionales y software como Qgis y Excel. En el caso de las entrevistas semiestructuradas hechas a los pequeños y medianos productores agrícolas se diseñó un modelo y se utilizó la herramienta Google Form.

3.3 Procedimiento metodológico del balance hídrico de los usos consultivos de los cultivos

Se realizó el cálculo de los usos consultivos de los cultivos de la zona agrícola según la redacción del documento del MINAE (2021), que lleva por nombre Manual Técnico de Dotaciones de Agua, el cual menciona las ecuaciones necesarias para el cálculo, como evapo-transpiración de referencia, evapo-transpiración del cultivo, módulo de riego y caudal de riego.

3.3.1 Evapo-transpiración de referencia

La evapo-transpiración de referencia consiste, según Bustamante (2023), en el consumo diario de agua de una planta que corresponde al proceso combinado del agua perdida por evaporación

directa, desde la superficie del suelo y de la absorbida por las raíces de la planta. Por eso posteriormente se pierde casi en su totalidad por la transpiración a través de la superficie de las hojas, en que, la evapo-transpiración es afectada por factores del suelo, la planta y el clima.

$$Eto = (0.0023 * (Tmed + 17.8) * (Tmax - Tmin) 0.5 * Ra)$$

Ecuación 3.1 (MINAE, 2021)

Donde:

Eto: Evapo-transpiración de referencia (mm/día).

Tmed: Temperatura media del aire (°C).

Tmax: Temperatura máxima del aire (°C).

Ra: Radiación extraterrestre (mm/día).

3.3.2 Evapo-transpiración del cultivo

La evapo-transpiración del cultivo es la que se presenta en el crecimiento y desarrollo de este sin restricciones hídricas, en condiciones óptimas de crecimiento y con un borde ampliado para evitar una advección de calor sensible proveniente de áreas adyacentes. Como es el resultado del producto de la evapo-transpiración de referencia y el coeficiente del cultivo, esta es la estimación de un consumo de agua (Chavarría *et al*, 2023).

$$Etc = KC * Eto$$

Ecuación 3.2 (MINAE, 2021)

Donde:

Etc.: Evapo-transpiración del cultivo (mm/día).

Kc: Coeficiente de cultivo (adimensional).

Eto: Evapo-transpiración de referencia (mm/día).

3.3.3 Módulo de riego

Un módulo de riego, en términos de eficiencia, se refiere a un sistema de riego diseñado y gestionado para optimizar el uso del agua, minimizar las pérdidas y maximizar la productividad de los cultivos. Estos módulos pueden variar en diseño y tecnología, pero todos tienen en común el objetivo de aplicar agua de manera precisa y eficiente (Palerm, 2020).

$$MR = Etc Ef * 0.116$$

Ecuación 3.3 (MINAE, 2021)

Donde:

Mr: Módulo de riego (l/s/ha).

Etc: Evapo-transpiración del cultivo (mm/día).

Ef: Eficiencia del sistema de riego (% en decimal).

0.116: Factor de conversión de unidades.

3.3.4 Caudal de riego

El caudal de riego consiste, según La Mattina, en la cantidad de agua que se usa para regar un área determinada en un período. Se mide en unidades como litros por minuto (l/min) o metros cúbicos por hora (m³/h), y se usa para calcular la cantidad de agua necesaria y el tiempo de riego (Carrión y La Mattina, 2015).

$$Q = Mr * A$$

Ecuación 3.4 (MINAE, 2021)

Donde:

Q: Caudal de riego (l/s).

Mr: Módulo de riego (l/s/ha).

A: Área de cultivo regada por día (ha).

3.4 Otros aspectos por considerar

En este apartado se exponen otros aspectos importantes para la realización de la investigación. Por lo tanto, este apartado se divide en tres: consideraciones éticas, cronograma y presupuesto.

3.4.1 Consideraciones éticas

En la presente investigación su autor se compromete a trabajar de manera imparcial para velar y seguir los códigos éticos profesional determinados por Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA). Así como, los principios y valores estipulados por la Universidad Nacional de Costa Rica durante el transcurso de todo el desarrollo de la ejecución de la investigación.

Como primer criterio ético se trabaja según el artículo 1 del Código Ético del CFIA (2024), pues los miembros de este incorporados están al servicio de la sociedad. Por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano y deben darle importancia primordial a la protección de la vida, a la adecuada utilización de los recursos y a la conservación de un ambiente

sano, y tomar medidas para prevenir, minimizar o mitigar potenciales impactos ambientales negativos.

El segundo criterio es el del valor del Estatuto Orgánico de la Universidad Nacional de Costa Rica (2015) que, según menciona, es la orientación de las tareas institucionales hacia el bien común, en particular hacia la promoción y la consecución de una mejor calidad de vida para los sectores sociales menos favorecidos. Es el del principio de que es deber de todo universitario actuar con honestidad y rectitud en el ejercicio de los derechos y deberes que la institución le otorga, así como bajo la debida administración y tutela de los recursos públicos bajo su responsabilidad.

3.4.2 Cronograma y presupuesto

Se elaboró un cronograma en el cual se contemplan las actividades necesarias para el desarrollo del proyecto (**anexo 5-2**). El presupuesto del presente proyecto se conforma de costos indirectos e directos, que suman un total de ₡ 4 073 635, en el que se toman en cuenta insumos como giras y material de campo para cubrir los costos directos. En el caso de costos indirectos comprende el pago de honorarios y servicio de telefonía e internet (**anexo 5-1**).

En el capítulo 3 se expusieron los métodos y herramientas metodológicas utilizados en el proyecto para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos.

En el siguiente capítulo se exponen los resultados obtenidos del análisis.

4 **Capítulo – Resultados y discusión**

En este capítulo se sintetizan los resultados de la discusión para determinar si se cumplieron los objetivos planteados para el proyecto de investigación en cuanto al aprovechamiento del recurso hídrico en el sector agrícola del distrito de Santa Cecilia de La Cruz.

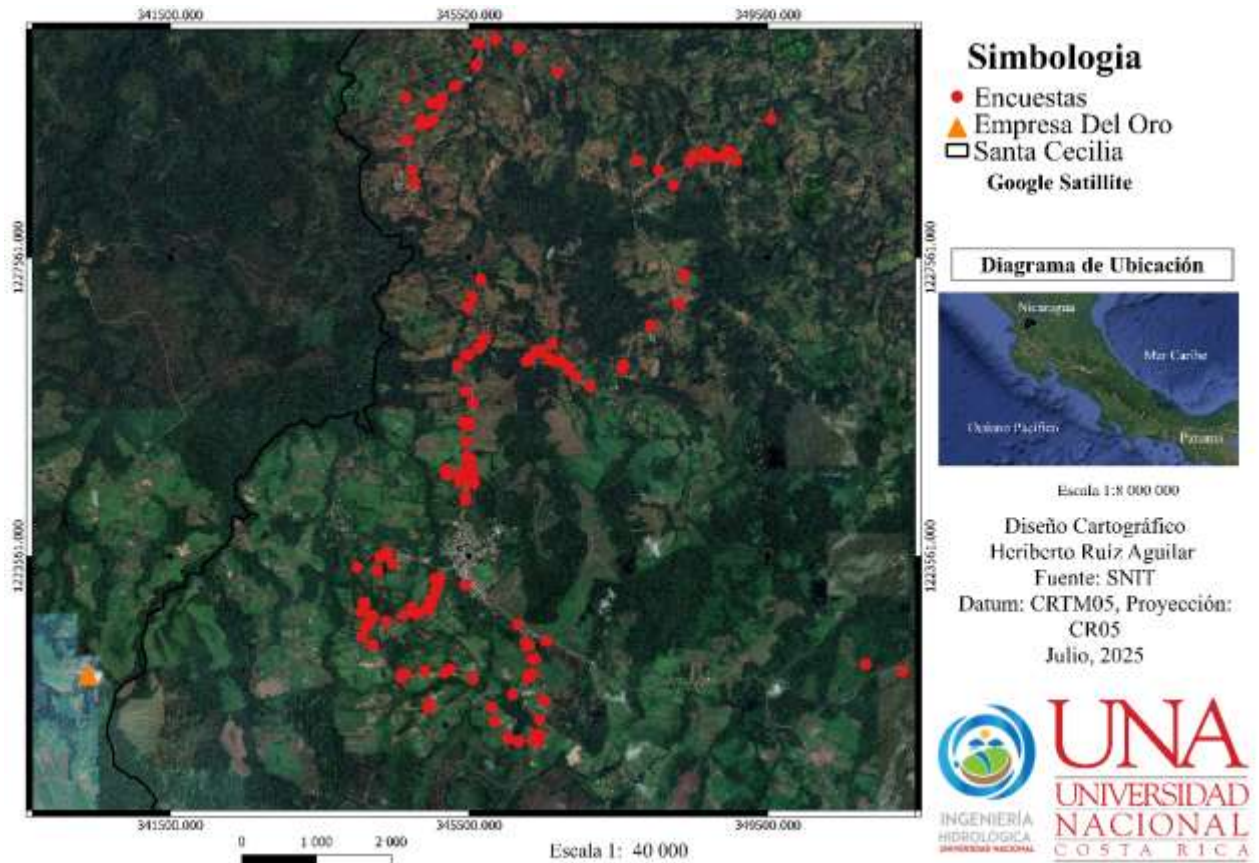
4.1 **Resultados**

Con base en lo planteado en la metodología elegida para el desarrollo de la investigación, se obtuvieron datos cualitativos y cualitativos relevantes para la generación de un enfoque integral del estado actual del recurso hídrico en el sector agrícola del distrito de Santa Cecilia. Dichos datos fueron obtenidos por medio de entrevistas, clasificación de los cultivos y finalmente por consultas a expertos.

4.1.1 **Análisis cualitativo de las entrevistas**

Se identificó un total de 165 pequeños y medianos productores en Santa Cecilia por medio de un recorrido en el poblado. La mayoría de los agricultores (70%) se ubican en la zona noroeste del distrito. La ubicación de la empresa Del Oro se encuentra marcada en el mapa con la representación de un triángulo naranja. Esta empresa representa a uno de los principales actores agroindustriales de la zona, cuya cercanía a los pequeños productores podría influir en las dinámicas agrícolas locales (**figura 4.1**).

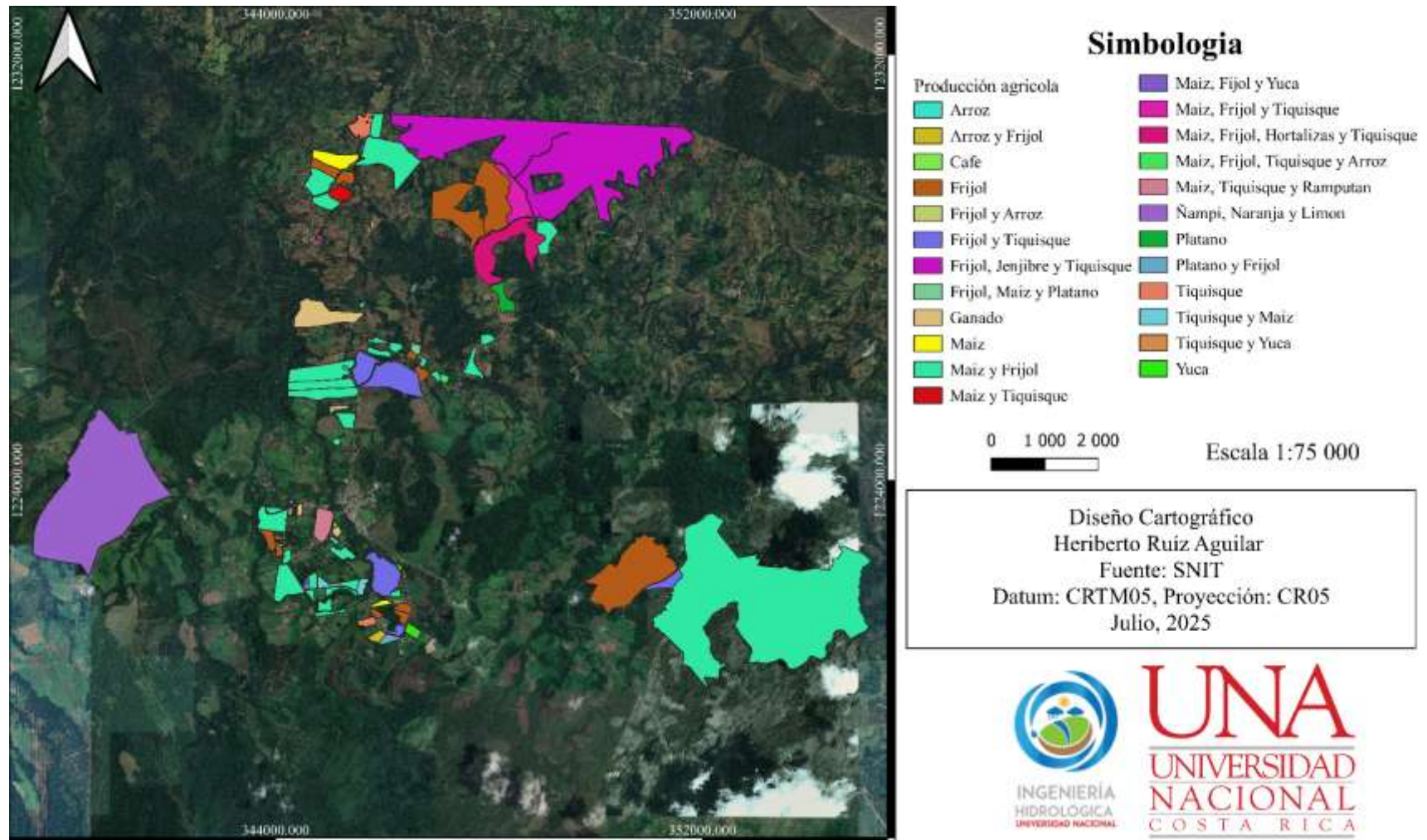
Figura 4-1. Distribución espacial de los productores del distrito de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2025).

En las entrevistas realizadas se identificó a qué parte de la producción agrícola se dedica cada productor de la zona, que en la mayoría de los casos tiene un cultivo principal al que dedican la mayoría de los terrenos, y una o varias opciones como producción secundaria (**figura 4.2**). La producción agrícola más común es la de siembra y cosecha de frijol, maíz y tiquisque, o la combinación de estas. Al contrario, la producción de naranjas y limones es menor posiblemente debido a la presencia de la empresa Del Oro, la cual es una gran cultivadora de estos productos para su comercialización en diferentes productos.

Figura 4-2. Clasificación de los productores según su actividad agrícola en el distrito de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2025)

4.1.2 Distribución de la cobertura del suelo según el cultivo

En la producción de la zona se observó una predominancia del cultivo de frijol, que representa 48,8% del total del área cultivada (205,45 ha), y este cultivo se consolida como el principal producto agrícola de la zona. En segundo lugar se encuentra el maíz, con 22,4%, que históricamente ha complementado la producción de frijol como parte del sistema agrícola tradicional de rotación de granos básicos en Guanacaste. Asimismo, otros cultivos presentes fueron jengibre, rambután, yuca y plátano, con una producción media, así como productos agrícolas con menor cantidad de siembra (*tabla 4.1*).

Tabla 4-1. Extensión porcentual de los productos agrícolas en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica

Cultivo	Nombre científico	Extensión total (ha)	Porcentaje
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris (L).</i>	205.45	48.8
Maíz	<i>Zea mays (L).</i>	94.2	22.4
Tiquisque	<i>Xanthosoma sagittifolium (L)</i>	75.01	17.8
Jengibre	<i>Zingiber officinale (Roscoe)</i>	12	2.9
Rambután	<i>Nephelium lappaceum (L)</i>	12	2.9
Yuca	<i>Manihot esculenta (Crantz)</i>	8.6	2.0
Plátano	<i>Musa sp</i>	4.4	1.0
Café	<i>Coffea arabica (L).</i>	3	0.7
Arroz	<i>Oryza sativa (L)</i>	2	0.5
Ñampí	<i>Colocasia esculenta (L)</i>	2	0.5
Naranja	<i>Citrus sinensis (L)</i>	1.5	0.4
Limonos	<i>Citrus limón (L)</i>	0.5	0.1
Aguacate	<i>Persea americana (Mill).</i>	0.1	0.0
Cacao	<i>Theobroma cacao (L)</i>	0.1	0.0
Total de área		420.86	100.0

Fuente: Elaboración propia (2025).

Con los datos obtenidos por medio de las entrevistas en la **sección 4.1.1** se hizo una filtración de todos los datos, la cual consistió en una revisión manual de las respuestas dadas por los productores de la zona. En ella se eliminaron inconsistencias, que correspondieron a una mala digitación de extensiones de cultivos, o bien, a falta de aclaración correcta de que con exactitud se cosecha en las tierras perteneciente a ese agricultor. Esta aclaración se hace para tener la mayor certidumbre de que los datos no son incorrectos.

4.1.3 Resultados cuantitativos

Seguidamente, de acuerdo con la metodología se trabajó con los datos cuantitativos de la que se obtuvieron la demanda hídrica de los cultivos y los respectivos cálculos de los caudales de riego de los cultivos seleccionados. Los resultados de los cálculos fueron fundamentales en la elaboración de la propuesta de guía de eficiencia de los cultivos.

➤ Demanda hídrica

Con los resultados obtenidos de las entrevistas de extensión de uso de suelo de los diferentes cultivos de los productores del distrito de estudio se procede a realizar los cálculos de la demanda hídrica de ellos. Por consiguiente, se utilizan las fórmulas del manual de dotaciones (2023) comentadas en la **sección 3.3** del diseño metodológico. Se presentan los valores de los coeficientes de cultivo (Kc) correspondientes a las especies analizadas, obtenidos a partir del Manual de Dotaciones de Aguas de Costa Rica. Estos coeficientes reflejan las necesidades hídricas de cada cultivo, en que las de mayor demanda es el arroz, con 1.2 Kc medio; seguido por el frijol y el maíz, ambos con 1.15 Kc medio. Asimismo, la evapotranspiración de referencia (Eto), con un valor de 2,28 mm/día, calculado para las condiciones climáticas del distrito de Santa Cecilia de La Cruz (**Tabla 4.2**)

Tabla 4-2. Valores de los coeficientes de Kc para los cultivos estudiados y evapo-transpiración de referencia (Eto) en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.

Cultivo	Kc medio	Eto
Maíz	1,15	2.28
Frijol	1,15	
Tiquisque	0,7	
Plátano	1,1	
Arroz	1,2	
Yuca	1,1	
Café	1,1	
Jengibre	0,95	
Ñampí	0,7	
Rambután	0,75	
Aguacate	0,85	
Cacao	1,05	
Limonos	0,85	
Naranja	0,85	

Fuente: Elaboración propia (2025).

Ahora bien, con los datos de Kc medio de los cultivos y la Eto del distrito de Santa Cecilia presentados en la **tabla 4.2**, se realizó el cálculo de la necesidad hídrica de los cultivos a lo largo de un año. El cultivo de frijol fue el que presentó la mayor demanda hídrica del distrito, con un consumo anual de 5 066,29 m³, en que se necesitan 13,88 m³/día, debido a su amplia extensión (**tabla 4.1**). Le siguen el maíz con 3 556,77 m³/año (9,74 m³/día) y el tiquisque con 3 396,39 m³/año (9,31 m³/día); ambos también de gran relevancia agrícola. En niveles intermedios se ubican el jengibre, la yuca y el rambután, cuyos consumos rondan entre 949,50 y 749,60 m³/año. Además, otros productos como ñampí, cítricos, cacao y aguacate muestran las menores necesidades de agua, con valores inferiores a 120 m³/año, lo que evidencia una marcada variabilidad en las exigencias hídricas según el tipo de cultivo y su extensión en el distrito (**Tabla 4.3**).

Tabla 4-3. Necesidad hídrica de los cultivos del distrito de Santa Cecilia según su extensión (m²) en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.

Actividad productiva	Demanda hídrica (m³/año)	Demanda hídrica (m³/día)
Frijol	5 066.29	13.88
Maíz	3 556.77	9.74
Tiquisque	3 396.39	9.31
Jengibre	949.50	2.60
Yuca	787.92	2.16
Rambután	749.60	2.05
Plátano	403.12	1.10
Café	274.86	0.75
Arroz	199.89	0.55
Ñampí	116.61	0.32
Naranja	81.21	0.22
Limonos	27.07	0.07
Cacao	8.75	0.02
Aguacate	7.08	0.02
Total	15 712.50	43.05

Fuente: Elaboración propia (2025).

Es importante destacar que Guanacaste es la provincia con mayor actividad en el sector agrícola, según Fernández (2018). Guanacaste, en granos básicos, es el principal productor de arroz en el país y el tercer productor de frijoles. Sin embargo, el fomentar la agricultura bajo riego para producir bajo todo el año y no por épocas estacionarias es un reto. Es por esto por lo que es necesario implementar los sistemas de riego adecuados según las necesidades del cultivo; por lo tanto, es fundamental conocer cuál sistema tiene mayor eficiencia de rendimiento.

Según lo anteriormente expuesto, el riego por goteo presenta una eficiencia de hasta 95% (**tabla 4.4**), de acuerdo con el MINAE (2022). Este método requiere bajas presiones para operar y en un rango de 5 a 10 m se humedece solamente una porción del suelo, mientras que los caudales utilizados son pequeños y la aplicación del agua se hace con una alta frecuencia, normalmente en forma diaria. De igual manera, existe otro método de riego como es la microaspersión que tienen la misma eficiencia, algunos otros como la aspersión que con un 85% y el más utilizados por los pequeños productores como es el riego por gravedad (60%).

Tabla 4-4. Eficiencia de los sistemas de riego

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

Fuente: MINAE (2023).

Seguidamente, conociendo las eficiencias de los métodos de riego (**tabla 4.4**), así como los datos de Kc de los cultivos y la Eto de la zona de estudio (**tabla 4.2**), se siguen los pasos metodológicos del manual de dotaciones (2023) para obtener los caudales (l/s) necesarios para el riego de los productos agrícolas. Para mayor visualización se adjunta la memoria de cálculo en el **anexo**, en que se observan los cálculos por sistemas y cultivos. Por ello también se hicieron los cálculos para la extensión total presente de los cultivos en el distrito de Santa Cecilia (**tabla 4.5**), así como para una hectárea de cultivación (**tabla 4.6**), con el fin de tener ambos datos en la guía técnica para este territorio.

El riego por goteo, como el de microaspersión, son los de menor demanda de agua para la producción de los cultivos por hectárea. Esto debido a su alto porcentaje de eficiencia, lo cual representa que el caudal regado es mayormente aprovechado, lo cual se ve representado en el caudal necesario regado para los productos como frijol (65.88 l/s), maíz (30.21 l/s) y tiquisque (14.64 l/s); dado que, como se mencionó anteriormente, solo se humedece una pequeña parte del

terreno. Un caso contrario es el del método de riego por gravedad, en el cual se necesita casi el doble de caudal de agua para el crecimiento correcto de las plantaciones (frijol (104.31 l/s), maíz (47.83 l/s) y el tiquisque (2318 l/s)), y esto se debe a que se humedece una mayor parte del terreno, y entonces el recurso es absorbido mayormente por el terreno y no solo por el cultivo (**tabla 4.5**).

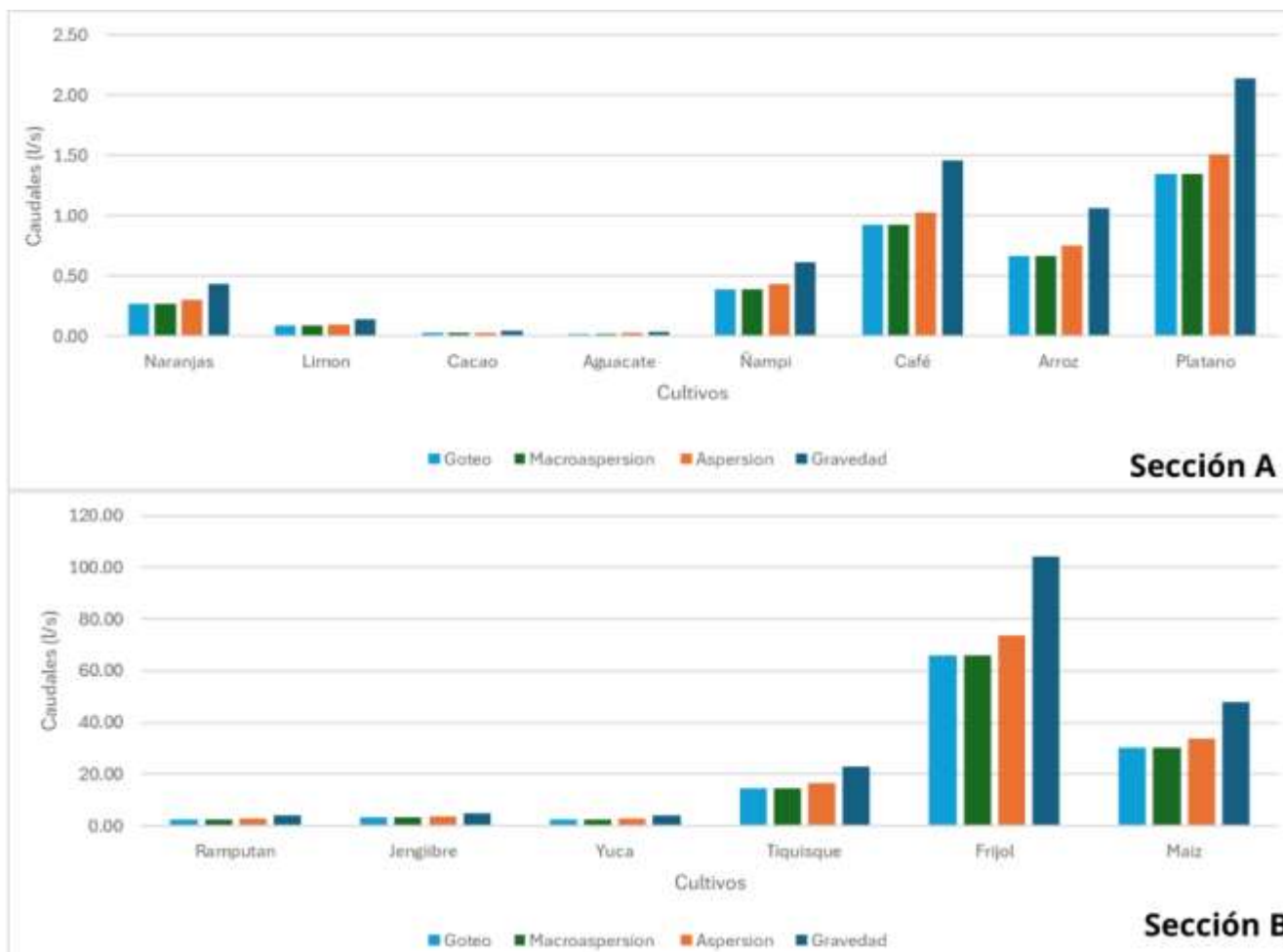
tabla 4-5. Resultados de la demanda hídrica de los cultivos por método de riego por el total de hectáreas en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.

Actividad productiva	Tipo de riego			
	Gravedad	Aspersión	Microaspersión	Goteo
Frijol	104.31	73.63	65.88	65.88
Maíz	47.83	33.76	30.21	30.21
Tiquisque	23.18	16.36	14.64	14.64
Jengibre	5.03	3.55	3.18	3.18
Yuca	4.18	2.95	2.64	2.64
Rambután	3.97	2.80	2.51	2.51
Plátano	2.14	1.51	1.35	1.35
Café	1.46	1.03	0.92	0.92
Arroz	1.06	0.75	0.67	0.67
Ñampí	0.62	0.44	0.39	0.39
Naranjas	0.43	0.30	0.27	0.27
Limón	0.14	0.10	0.09	0.09
Caco	0.05	0.03	0.03	0.03
Aguacate	0.04	0.03	0.02	0.02

Fuente: Elaboración propia (2025).

De manera comparativa, se presenta un gráfico en el que se distribuyen la demanda hídrica obtenida anteriormente por sistema de riego, y los cultivos (**figura 4.3**), con la finalidad de observar el consumo hídrico de los cultivos del distrito de Santa Cecilia. En la sección A se presentan los cultivos con menor demanda hídrica actualmente para este estudio, en el que los caudales no sobrepasan los 2.5 l/s; y en la sección B se encuentran los cultivos que mayor demanda hídrica presentan con caudales que rodean los 105 l/s.

Figura 4-3. Comparación de la demanda hídrica por método de riego por total de hectáreas (**sección A.** Caudales menores a 2.50 l/s y **sección B.** Caudales superiores a 5 l/s) en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.

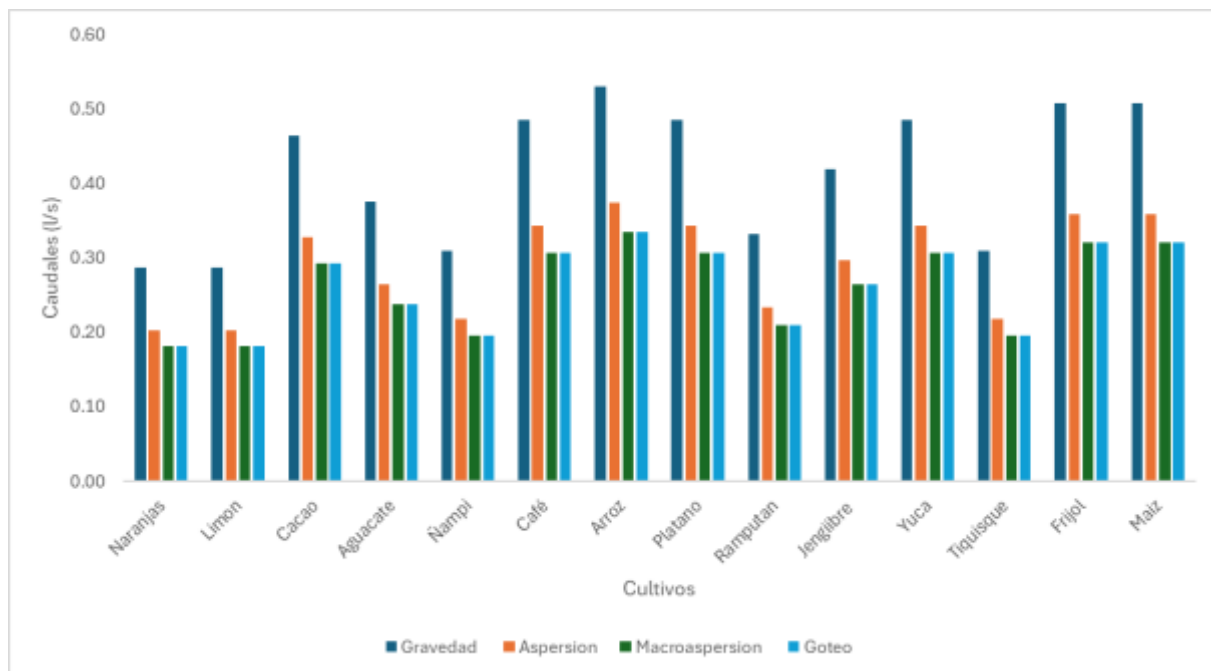


Fuente: Elaboración propia (2025).

En el análisis comparativo de los caudales de agua requeridos por cultivo por hectárea, en la **figura 4.4**, se observa que los valores más altos corresponden al arroz, el frijol y el maíz, los cuales alcanzan valores cercanos a 0,50 l/s, que son los de más demandan en cuanto a requerimientos hídricos. Muy cerca de estos se encuentran el café y el cacao, con valores que rondan entre 0,45 y 0,49 L/s, lo cual indica que también requieren una considerable disponibilidad de agua para su desarrollo.

Por otro lado, los cultivos con menores necesidades hídricas son el ñampí, el tiquisque, el limón y la naranja, que se encuentran en un rango más bajo, generalmente entre 0,20 y 0,30 L/s. Lo anterior los coloca como los menos demandantes en comparación con el resto.

Figura 4-4. Comparación de la demanda hídrica por método de riego por hectárea en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Ahora bien, se determinó que el tipo de suelo presente en el distrito de Santa Cecilia es el utisol, que según Bogantes *et al* (2002) que es de los suelos más viejos y meteorizados del país. Estos suelos se originan por el efecto prolongado de los factores climáticos (principalmente alta precipitación) sobre prácticamente cualquier tipo de material parental. Su contenido de arena es de alrededor de 20%, generalmente blandos, de buena permeabilidad y con minerales arcillosos, como la halloisita, la alofana y la caolinita.

También, el MAG (2015) menciona que los suelos ultisoles se desarrollan en relieves que van desde ligeramente ondulados hasta fuertemente ondulados. Son suelos profundos y bien desarrollados, con una transición difusa entre los horizontes. Cuentan con texturas de finas a muy finas, como es el caso de las arcillas. Presentan una buena estructuración, lo que hace que presenten un drenaje interno bueno.

Por lo tanto, esto quiere decir que los suelos presentes en la zona de estudio son de alto contenido de arcillas. Entonces, el agua total que se puede suministrar es de 230 mm/m; pero solamente 115 mm/m del agua será utilizada por el cultivo (**tabla 4.6**). Aunque en este caso se trate de un suelo un con drenaje interno bueno por su contenido de arenas, las arcillas retendrán gran parte del agua regada.

Tabla 4-6. Agua disponible en el suelo para cultivos según el tipo de suelo.

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: MAG (2000).

4.2 Discusión de resultados

Con los resultados obtenidos en el apartado 4.2.1 se procede a discutir con base en estos, para destacar los principales hallazgos, así como, si se cumplen tanto con los objetivos del proyecto como con la correspondiente metodología.

4.2.1 Respecto ante los principales hallazgos

En este apartado se exponen los principales hallazgos de la investigación, en el área de estudio del distrito de Santa Cecilia. A continuación se describen cada uno de estos:

- Se identificaron un total de 165 familias de pequeños y medianos productores agrícolas en el área de estudio, en la que su economía depende de la producción de sus tierras. Según Flores (2024), el distrito de Santa Cecilia se caracteriza porque es una zona productora de granos básicos, donde prácticamente 80% de la población se dedica a la agricultura. De igual manera, en la cercanía del distrito se encuentra ubicada la empresa Del Oro, cuya producción agrícola se divide en fincas nombradas finca Yafa, finca La Olla, finca Yafa y finca Oros, destinadas al cultivo de naranja (cultivo permanente) y donde eventualmente se implementa la actividad de riego por goteo (Bustamante, 2023).
- En cuanto a la distribución de cultivos, se determinó que el frijol es el de mayor importancia en términos de superficie cultivada, del que se alcanzan 205,45 hectáreas (48,8% del área total), seguida por el maíz con 94,2 hectáreas (22,4%). Según mencionó el INDER (2021), la actividad de cultivo de frijol y maíz es base para la economía local en Guanacaste, y clave para asegurar la seguridad alimentaria, tanto de las familias productoras como de los consumidores de los programas de abastecimiento de granos en nivel nacional.
- Es el cultivo de arroz en el que más agua demanda por hectárea, sin importar el método de riego utilizado. Teniendo en cuenta lo anterior, esta puede ser una de las causas por las cuales no es uno de los principales productos en el área de estudio. Según Escobar y Viales (2023), los agricultores dedicados a la siembra de arroz han dejado de cultivar este grano debido a que hay cultivos que generan menos gastos y tienen mayor mercado, además de que el apoyo a los productores de arroz es muy poco por parte del Gobierno.
- En la zona de estudio se identificó que los agricultores, en su mayoría, no utilizan sistemas de riego. Tienen un periodo en el cual no se cultiva debido a la época seca. Por tanto, se observó en los resultados que el método de riego más eficiente es el por goteo, que se presenta como la principal alternativa para seguir producción en la época que no

hay lluvia. Además, según Monroy *et al* (2022), el riego por goteo de alto caudal es el de menor costo de operación; y esto se debe a que al tener una mayor eficiencia utiliza un menor volumen de agua para cumplir con los requerimientos del cultivo. Esta característica resulta en un menor tiempo de bombeo y de energía utilizada para operar el sistema.

- Se identificó que los suelos ultisoles son los que predominan, caracterizados por alta presencia de arcillas, buena permeabilidad y buen drenaje interno. Esto implica que, aunque pueden almacenar hasta 230 mm/m de agua, solo la mitad es fácilmente utilizable por los cultivos. Con lo anterior, Escobar y Viales (2023) menciona que los tipos de suelos influyen en la cantidad de agua que se suministre, ya que en suelos arenosos el agua se mantiene menos tiempo, por lo que hay que regar con más frecuencia, mientras que en suelos arcillosos el agua dura más, lo que hace que el riego sea menor.

4.2.2 Relativo a los objetivos específicos

Con respecto al objetivo, el objetivo 2 se da por cumplido, dado que se da la identificación de las condiciones climáticas e hidrológicas. Se hizo la solicitud de los datos históricos climáticos de la estación meteorológica (**anexos 4.1, 4.2 y 4.3**), así como una revisión de literatura para conocer las características de suelo. Además, por medio de las entrevistas se logró conocer los productos agrícolas más comunes de la pequeños y medianos agricultores de la zona (**tabla 4.1**).

Con respecto al objetivo 2 este se da por cumplido, con base en los cálculos realizados de la demanda hídrica (**tabla 4.3**) con respecto a la necesidad por cultivo y sistemas. Además, se hizo una comparación de ella (**figuras 4.3 y 4.4**). Con esto se creó una línea base para cumplir posteriormente con el objetivo 3.

Finalmente, se da por cumplido el objetivo 3 ya que se realizó la respectiva propuesta de guía técnica de gestión eficiente del recurso hídrico (**anexo 4.8**), en cuanto a la producción de los cultivos seleccionados en el objetivo 1. Lo anterior como un entregable a la población de los pequeños y medianos productores de la zona de estudio.

4.2.3 Respetto al diseño metodológico aplicado

Para la obtención de los presentes resultados fue necesario realizar entrevistas a los pequeños y medianos productores relacionados con el cultivo de estos productos, que suministraron información importante, como por ejemplo de la cantidad de terreno que siembran. Además, también se hicieron consultas a profesionales y expertos en el área de agronomía, así como en el área de la hidrología, y al personal encargado de otorgar las dotaciones de agua a los productores.

Para aplicar esta metodología se cumplió con el objetivo propuesto el cual era tener datos con base en la realidad y en cómo estos productores manejan sus cultivos, ya que es de suma importancia conocer sobre cómo los manejan en su campo y todo el trabajo que conlleva cada uno de ellos.

También fue necesario consultar el manual técnico de dotaciones que ofrecen la dirección de aguas y el MINAE, esto con el fin de conocer las fórmulas necesarias para poder hacer los cálculos respectivos de la demanda hídrica que requiere cada cultivo. Utilizando este manual y las fórmulas respectivas que vienen se cumplió con el objetivo principal, el cual era conocer el gasto de agua que requiere cada cultivo para de esta manera poder realizar la guía técnica de gestión eficiencia del recurso hídrico.

5 Capítulo. 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, como también aspectos relevantes de él.

5.1 Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones del presente estudio, elaborado siguiendo una de guía técnica de gestión eficiente del recurso hídrico, en beneficio de pequeños y medianos productores del distrito de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.

➤ Derivadas de los objetivos

Se cumplió con los tres objetivos específicos y con el objetivo general planteado en la fase de formulación del proyecto. Con respecto al primero, se identificaron las condiciones climáticas e hidrológicas del distrito de Santa Cecilia. Por ello se cuenta con un régimen tropical estacional y con la existencia de una marcada dependencia de la precipitación estacional. Por lo tanto, este

diagnóstico constituyó la base para comprender las limitaciones naturales del territorio y para orientar las estrategias de manejo hídrico.

En el caso del segundo objetivo se determinaron los requerimientos hídricos de los principales cultivos agrícolas de la zona, mediante el cálculo de la evapo-transpiración de referencia (ET_o) y los coeficientes de cultivo (K_c). Este proceso permitió estimar la demanda hídrica específica de cada cultivo. Y, finalmente, respecto al tercer objetivo, se elaboró la guía técnica de gestión eficiente del recurso hídrico, como producto aplicable que consolida las etapas anteriores. Su contenido refleja el cumplimiento del objetivo general, al proporcionar una herramienta de apoyo para la toma de decisiones agrícolas.

➤ **Derivadas del método de investigación**

El método de investigación adoptado, de enfoque mixto, demostró ser el más apropiado para abordar la problemática del uso consuntivo del agua en los cultivos agrícolas. La combinación de métodos cualitativos (entrevistas, observación de campo, consultas a expertos) y cuantitativos (análisis de datos meteorológicos, cálculos hidrológicos, estimaciones de demanda hídrica), permitió generar una visión integral que articula el conocimiento empírico local con el análisis técnico-científico. Además, el diseño metodológico no solo cumplió con el propósito sino que sirvió como modelo replicable para futuras investigaciones similares en otros distritos agrícolas del país.

➤ **Derivadas de las entrevistas**

Las entrevistas aplicadas a los pequeños y medianos productores (165 agricultores) del distrito de Santa Cecilia permitieron conocer de forma directa la realidad agrícola local, que evidencia la alta dependencia de las familias de esta actividad como sustento económico. La actividad agrícola se basa en el cultivo de frijol (205 ha), maíz (94 ha) y tiquisque (75 ha), los cuales concentran la mayor superficie sembrada y la demanda hídrica más alta (5 066 m³, 3 556 m³ y 3 396 m³, respectivamente), lo que confirma su papel estratégico en la seguridad alimentaria local y nacional.

➤ **Derivadas del análisis de condiciones climáticas**

El análisis de las condiciones climáticas del distrito de Santa Cecilia permitió establecer un régimen tropical estacional, en el cual se tiene una marcada estación seca entre noviembre y mayo, y precipitaciones anuales que pueden superar los 2500 mm. Estas condiciones, combinadas con

una evapo-transpiración de referencia de 2,28 mm/día, indican que aunque existe buena disponibilidad de agua durante la estación lluviosa, la demanda atmosférica y la prolongada sequía reducen significativamente la oferta hídrica aprovechable para la agricultura durante varios meses del año.

Los suelos tipo ultisoles, que son característicos de la región, presentan una alta permeabilidad, lo que indica una capacidad de retención de agua de 230 mm/m, aunque solo la mitad de esta es fácilmente aprovechable en los cultivos. La combinación de una marcada estacionalidad climática con suelos de alta capacidad de almacenamiento hídrico, pero baja disponibilidad efectiva, explica la necesidad de un manejo racional del recurso mediante prácticas como la programación del riego.

➤ **Derivados del balance hídrico**

El balance hídrico aplicado en este estudio permitió determinar con precisión la relación entre la oferta y la demanda de agua en el distrito, así como las necesidades específicas de los cultivos predominantes. En él cual se evidenció que el arroz es el cultivo de mayor consumo de agua (gravedad 53 l/s, aspersión 0.37 l/s y goteo 0.33 l/s) por hectárea, lo que explica su limitada presencia en la zona y la tendencia de los productores por otros de menor demanda, como los cultivos de frijol y maíz.

➤ **Derivadas de la comparación entre sistemas de riego**

Se establece que los sistemas de riego por goteo y microaspersión son estratégicos para enfrentar los periodos de sequía, dado que maximizan la eficiencia del uso del agua y reducen costos energéticos; en contraste con el riego por gravedad. Aunque para cultivos como el frijol y el maíz es de dificultad la utilización de estos sistemas por los altos costos de estos, por lo cual en estos casos se pueden utilizar sistemas de menor costo, como el de riego por surcos (gravedad), aunque su eficiencia sea menor.

➤ **Derivado de la generación de la guía técnica**

La elaboración de la guía técnica de gestión eficiente del recurso hídrico constituye una herramienta práctica para los productores agrícolas del distrito de Santa Cecilia. Esta guía sintetiza la información obtenida de los cálculos de balance hídrico y de las características climáticas, así como de las particularidades productivas del territorio. En ella se establecen recomendaciones

precisas sobre el manejo del agua en los distintos cultivos, y se indican los volúmenes y caudales óptimos del riego y de la frecuencia de aplicación.

Por último, respondiendo a la hipótesis planteada anteriormente, de que si el uso consuntivo varía entre los diferentes cultivos agrícolas y si la determinación precisa de este uso permite identificar de demanda hídrica para al planificar un modelo en base, la conclusión es que se sí se cumple esta hipótesis, dado que determinar la demanda hídrica de los cultivos ayudó a generar la guía técnica para una gestión eficiente del agua en Santa Cecilia.

5.2 Recomendaciones

A continuación se presentan las recomendaciones derivadas de las conclusiones obtenidas de la elaboración del estudio hidrológico, para generar una guía técnica de gestión eficiente del recurso hídrico para los pequeños y medianos productores del distrito de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.

➤ Derivadas de las entrevistas

En la zona de estudios se presenta un periodo de sequía el cual provoca que muchos agricultores medianos y pequeño no tengan una entrada económica más, tomando en cuenta que sus principales cultivos son estacionarios (frijol, maíz y tiquisque). Por esta razón, es recomendable realizar un plan de manejo del recurso hídrico, el cual los enseñaría a cosechar agua de lluvia y, con sistemas sencillos y no tan costosos, utilizando la guía técnica de gestión eficiente del recurso hídrico, como una base para conocer la cantidad que se necesitara para solventar las necesidades del cultivo y tener un desarrollo óptimo.

Por parte de quien podría implementar los sistemas de captación de agua de lluvia, estos podrían ser parte de las prácticas profesionales de un estudiante de ingeniería hidrológica, civil o ambiental. En caso del tiempo, esto si se cuenta con una superficie de captación no debería tomar más de 4 semanas, y sus costos se verían reducidos podrían no traspasar los 250 000 colones.

Como consideraciones legales se deben tomar en cuenta las normativas para el uso hídrico para las actividades de riego. Por lo tanto, se debe considerar el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, N° 33601, dado que la captación del agua de lluvia entra dentro de esta

normativa, lo cual generaría buenas prácticas agrícolas las cuales al cumplirse garantizan un manejo bueno del agua.

➤ **Derivadas de las condiciones climáticas**

Se recomienda formalmente el estudio del comportamiento de las precipitaciones de las zonas en donde se realicen los cultivos; esto debido a que los datos facilitados por el Instituto Meteorológica Nacional de Costa Rica solo contaban con un periodo histórico de datos de nueve años, lo cual es poco, tomando en consideración que para los estudios climatológicos el mínimo de datos es de 20 años.

Otra consideración es que los pequeños y medianos productores de las zonas coloquen pluviómetros caseros para la toma de datos. Esto para observar el comportamiento de las precipitaciones en los diferentes sectores del área de estudio. Ello con el propósito de lograr una actualización de la guía y que en el futuro se cuente con mayor cantidad de datos. Los costos serían mínimos, dado que se ocupan de solo materiales caseros (botella plástica 3L y una regla). En este punto los inconvenientes que se podrían tomar son la mala colocación de estos pluviómetros o los daños causados por animales.

➤ **Derivadas del balance hídrico**

El frijol es el cultivo más popular en la región estudiada. En él se utilizan varios sistemas de riego, entre ellos el riego por gravedad el cual es 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, esto genera que mucha de esa agua se desperdicie por la evaporación o por escorrentía.

Se recomienda seleccionar variedades de cultivo tolerantes con el clima con predominancia ante sequías y pocos meses de lluvia. Esto reduciría pérdidas de cultivos que no son aptos para la zona que, además, requieren menor cantidad de agua al estar adaptados a dichos climas. En este caso es necesario realizar consultas a ingenieros agrónomos, agrícolas o técnicos en el área para conocer variedades que se acoplen a las condiciones de esta región.

➤ **Derivadas de la comparación entre los sistemas de riego**

Se recomienda la utilización del riego por goteo en los cultivos, debido a la eficiencia que este tiene. Este tipo de riego genera un gran ahorro de agua, ya que se suministra el agua que la planta necesita, y el riego por goteo se puede utilizar en todo tipo de cultivo, lo que genera un ahorro global independientemente del cultivo.

Es importante conocer las necesidades hídricas del cultivo, y de esta manera se va a conocer el periodo en el que se debe regar. Un periodo de riego cada tres días debería ser suficiente para mantener el suelo húmedo y la planta hidratada. Se recomienda regar los cultivos en horas de la mañana o de la tarde para evitar que haya evaporación de agua.

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

6 Referencias bibliográficas

Andrade, C. (2018). *EVALUACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE RIEGO EN CULTIVOS AGRÍCOLAS* (Tesis Doctoral).

<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1019/1/ULEAM-AGRO-0029.pdf>

Bejar, M. (2005). HidroEsta, software para cálculos hidrológicos. *Tecnología en marcha*, 18(2), 67-75. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835599>

Bogantes, R., Laporte, G., Quesada, C. y Vásquez, A. (2002). Zonificación geotécnica general de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos. [PDF].

Bolaños, R., Campos, L., & Sojo, G. (2023). Factores sociales, políticos y económicos en el desarrollo de una comunidad fronteriza: Santa Cecilia de La Cruz, Costa Rica (1900-2023). *Revista Estudios*, (47), 232-264.

- Burbano, L., y Benavides, O. (1997). Balances hídricos agrícolas de algunos cultivos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 15(1), 95-103.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6191674>
- Bustamante, K. (2023). Estudio hidrológico de las subcuencas del río Sábalo y río Guachipelín para optimizar la planificación de riego por goteo en el cultivo de naranja (*Citrus sinensis*) en la empresa Del Oro, Guanacaste, Costa Rica. Repositorio de Universidad Nacional, Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/ab3e2a9f-c438-49af-bf49-484bbb6ac8d5/content>
- Carrión, R. y La Mattina, D. (2015). Manual de capacitación: medición del agua de riego. 1a ed. edición especial. Edición para Unidad para el Cambio Rural (UCAR).
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/09/22_medicion_del_agua_de_riego.pdf
- Chavarría, A., Morales, M., y Soto-Bravo, F. (2023). Evapotranspiración de referencia, evapotranspiración real y el coeficiente de cultivo para el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) cv Álvara promedio en invernadero. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(3), 65-77.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822023000300065
- Cleves, J., Toro, J., y Martínez, L. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 149-163. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-21732016000100013&script=sci_arttext
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2024). *Código de ética profesional del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica*. Recuperado de <https://cfia.or.cr/site/wp-content/uploads/2024/pdf/descargas/reglamentos/normas/codigo-de-etica-profesional.pdf>
- Enciso, J (2021). El riego. Universidad Técnica Particular de la Loja (UTPL) Acceso 20 marzo, 2025. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/itinerario-2-riego/capitulo-1-riego/65948136>

- Escobar, P y Viales, D. (2024). Estudio hidrológico para el aprovechamiento del recurso hídrico en el sector agrícola del proyecto PAACUME en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carillo, Guanacaste, Costa Rica. Universidad Nacional, Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/3495a242-4e8c-4d07-b51e-9bddbfde90c5/content>
- Faci, J (1994). Principios básicos del riego superficial. MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACION (España). Boletín: Hoja de Divulgación. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_10-11.pdf
- Faci, J., y Playán, E. (1994). *Principios básicos del riego por superficie*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (España). Boletín: Hoja de Divulgación. https://digital.csic.es/bitstream/10261/18632/1/PlayanE_HojasDivulg_1994.pdf
- Fernández, E (2018) Guanacaste: Un pilar en la seguridad alimentaria del país. Acceso 20 septiembre 2025. <https://www.periodicomensaje.com/guanacaste/2633-guanacaste-un-pilar-en-la-seguridad-alimentaria-del-pais>
- Fernández, R. (2010). Manual de Riego para Agricultores Módulo3 Riego por aspersión. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf
- Flores, G. (2024). INDER invierte € 2 308 millones en la Región Chorotega. Periódico El Mensaje. <https://www.periodicomensaje.com/cantoniales/12020-inder-invierte-2-308-millones-en-la-region-chorotega>
- González, C. Z. (2016). Impactos del cambio climático en la agricultura y seguridad alimentaria. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 269-291. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3941750032/3941750032.pdf>
- Hidalgo, F., Jiménez, A., Mesen, S. y Oviedo, F. (2024). Convivencia Comunitaria Rural (CAH – 422), Informe Final. Programa de Gestión Ambiental Institucional, Universidad Nacional, Costa Rica. (PGAI-UNA). [PDF]
- Instituto de Desarrollo Rural (INDER), (2021). INDER impulsa producción de frijol y maíz en Guanacaste mediante equipamiento para Organización de Productores de Santa Cecilia de La Cruz - Instituto de Desarrollo Rural. <https://www.inder.go.cr/noticias/inder-impulsa-produccion->

[de-frijol-y-maiz-en-guanacaste-mediante-equipamiento-para-organizacion-de-productores-de-santa-cecilia-de-la-cruz/](#)

Israelsen, O. W., & Hansen, V. E. (2021). *Principios y aplicaciones del riego*. Editorial Reverté, S. A. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788429190007_A41065808/preview-9788429190007_A41065808.pdf

Jácome, M. (2023). *Evaluación de los efectos del cambio climático en la agricultura de la zona Chugchilán, cantón Sigchos* (Tesis de Maestría, Quito, EC: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador). <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/9097/1/T3987-MCCSD-Jacome-Evaluacion.pdf>

Loures Ferreira, M., Medeiros de Andrade, A., Esdras Santiago, W., & Praes de Almeida, R. (2024). Análisis de la disponibilidad y demanda hídrica en una zona con alta demanda de riego por pivote central en Brasil. *Revista de Geografía Norte Grande*, (88), 1-17. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022024000200109&script=sci_arttext

MAG (2015) Suelos de Costa Rica orden ultisoles. Acceso 20 de septiembre 2025. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1604.PDF>

Ministerio de agricultura (2000) Validación y transferencia de tecnología de riego y sistemas productivos en áreas regadas. Acceso 27 septiembre 2025. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/9851/CNR-0244.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (2021). Caracterización del Área de Influencia de la Agencia de Extensión Agropecuaria. Ministerios de Agricultura y Ganadería (MAG). <https://www.mag.go.cr/regiones/chorotega/CARACTERIZACION-AEA-LACRUZ.pdf>

Ministerio de Ambiente y Energía Dirección de Agua (MINAE), (2021). Manual Técnico de Dotaciones de Agua (Pdf). https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL_TECNICO_DE_DOTACIONES_DE_AGUA.pdf

Ministerio de Ambiente y Energía Dirección de Agua (MINAE), (2021). Manual Técnico de Dotaciones de Agua (Pdf). https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL_TECNICO_DE_DOTACIONES_DE_AGUA.pdf

Ministerio de Desarrollo Rural (INDER) (2021). *INDER impulsa producción de frijol y maíz en Guanacaste mediante equipamiento para Organización de Productores de Santa Cecilia de La Cruz*. <https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2021/N122-produccion-frijol-maiz.aspx>

Monroy, J., Estupiñán, M., Mosquera, M. y Ruiz, E. (2022). Costos de operación de tres métodos de riegos en el Campo Experimental Palmar de la Sierra. XX Conferencia Internacional sobre la palma de aceite. <https://fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/Costos-de-operacion-de-tres-metodos-de-riego-en-CEPSamhc.pdf>

Municipalidad de La Cruz. (2016). *Plan cantonal de Desarrollo Humano Local de la Cruz 2017-2026*. https://www.munilacruz.go.cr/images/La_Cruz/Plan_cantonal_de_desarrollo_Humano.pdf

O'neal (2017) Así enfrentamos el reto de llevar agua a los cultivos en Guanacaste. Universidad de Costa Rica, Noticias Ciencia y Tecnologías. Acceso 06 marzo 2025. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/10/10/asi-enfrentamos-el-reto-de-llevar-agua-a-los-cultivos-en-guanacaste.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Acceso 06 marzo 2025, <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/82bd842b-862d-4e51-8794-d80156ddab2e/content>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2011). El cambio climático, el agua y la seguridad alimentaria. <https://www.fao.org/4/i0142s/i0142s07.pdf>

Otárola, B. (2021). Gestión de recursos hídricos y eficiencia del uso de los pozos legales de los productores de la zona agrícola de La Yarada en la ciudad de Tacna-2019 (Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA). <http://161.132.207.135/bitstream/handle/20.500.12969/1956/Rubira-Otarola-David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Palerm, J. (2020). Caracterización de los módulos de los distritos de riego y presencia de organizaciones locales. *Región y sociedad*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-

[39252020000100124#:~:text=Los%20m%C3%B3dulos%20de%20riego%20son,presas%20y%20otras%20infraestructuras%20importantes.](#)

Paz, S., Agudelo, V., Echeverri, A., & Cobo, N. (2012). Escenario de demanda hídrica agrícola para la optimización del riego de los pequeños productores de la zona plana de la cuenca del río Guabas. *Informador técnico*, (76), 5-12. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4364406.pdf>

Peralta, J. y Simpfendörfer, C. (2001). Riego por Aspersión. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional de Investigación Carillanca. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/0340e3be-f94f-4fc1-92d2-e143055740ba/content>

Pereira, L., De Juan, J., Picornell, M., y Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías. *Albacete: CREA-UCLM*, 296.

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-libre.pdf?1515545286=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEL_RIEGO_Y_SUS_TECNOLOGIAS.pdf&Expires=1746914603&Signature=g4ad6sJMxcegiBDt6HzVldtoF5kEABAUBAUBAFTJQRGnIU7JiXHchlhtCqc9A2ZmpnQOCmw82FK5fMwh6R3gMdJv7P3A6fl~dO6JwqhRrORkwqMCJiyu9EHRkdcKEGzJCQ6G5ir~i73fP87SCLGRZP3qTJ1O9DsU6Mv2gWd5vmWo1NldU7z112OXUxKLBAwotnnNWvZiC7bP5zesYm~RE7X5fesPiRD94vhF6-WWvLCsRCcwru-BU68Dy6IzkxmG6FYvicwhcKzIDPPxe1C7COCzUdoe-ukEmgpqdR3CCcxdgyYShWnJ0p-GFfw7eaUTj~1K1prPBtQrbs9QYKSqnAg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55493635/El_Riego_y_sus_Tecnologias-libre.pdf?1515545286=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEL_RIEGO_Y_SUS_TECNOLOGIAS.pdf&Expires=1746914603&Signature=g4ad6sJMxcegiBDt6HzVldtoF5kEABAUBAFTJQRGnIU7JiXHchlhtCqc9A2ZmpnQOCmw82FK5fMwh6R3gMdJv7P3A6fl~dO6JwqhRrORkwqMCJiyu9EHRkdcKEGzJCQ6G5ir~i73fP87SCLGRZP3qTJ1O9DsU6Mv2gWd5vmWo1NldU7z112OXUxKLBAwotnnNWvZiC7bP5zesYm~RE7X5fesPiRD94vhF6-WWvLCsRCcwru-BU68Dy6IzkxmG6FYvicwhcKzIDPPxe1C7COCzUdoe-ukEmgpqdR3CCcxdgyYShWnJ0p-GFfw7eaUTj~1K1prPBtQrbs9QYKSqnAg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Pliego-Marín, L., López-Baltazar, J., y Aragón-Robles, E. (2013). Características físicas, nutricionales y capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE6), 1197-1209. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013001000011&script=sci_arttext

Radulovich, R. (2006). CULTIVANDO EL MAR. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Agronomía Costarricense. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v30n01_115.pdf

- Ramírez, J., Cruz, P. y Toruño, H. (2010). Metodología de desarrollo de capacidades empresariales para el fomento del desarrollo local: caso Santa Cecilia de La Cruz, Guanacaste. En primer Congreso de Desarrollo Local Sustentable en las Regiones Chorotega y Pacífico Central de Costa Rica. <https://fundacion-enlaces.org/wp-content/uploads/2010/12/Libro-del-1er-Congreso-de-Desarrollo-Local-Sustentable-Nicoya-2010.pdf#page=289>
- Rodríguez, J. (2018). Análisis de la gestión de los eventos de sequía ante el cambio climático en los sectores agropecuario e hídrico del Cantón de Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8889/Analisis_de_la_gestion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ruiz, J., Orozco, J., Humanante, P., y Asitimbay, C. (2022). Diseño y aplicación del método de riego por gravedad en el cultivo de papa en la estación experimental tunshi. *Polo del Conocimiento*, 7(9), 1542-1552. <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4647/11155>
- Santillán Gutiérrez, E., Davila-Vazquez, G., Sánchez, J., y Díaz Torres, J. (2013). Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazonos, Veracruz, México. *Revista Ambiente y Agua*, 8, 104-117. <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/LCJr8JjPcYgfYVXBMv6wTM/?format=pdf&lang=es>
- Singh, V., y Woolhiser, D. (2002). Modelado matemático de la hidrología de cuencas hidrográficas (Volumen 7, Número 4). *Revista de Ingeniería Hidrológica*. Libro [PDF]
- Universidad Nacional, Costa Rica (2015). *Estatuto orgánico de la Universidad Nacional*. Recuperado de <https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/6693/ESTATUTO-ORG%C3%81NICO-UNA-digital.pdf>
- Valverde, R. (2010). Disponibilidad, accesibilidad y amenazas al recurso hídrico en Costa Rica. *Ambientico*. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/20403/197_9-10.pdf
- Van Konijnenburg, A. (2006). Agricultura Orgánica para el riego de los cultivos. Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro Convenio Pcia. de Río Negro –

INTA. https://www.ciaorganico.net/documypublic/591_script-tmp-inta_-_material_didactico_nro_03.pdf

Villanueva, J., Huahuachampi, J., y Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium quinoa* Willd) en la Molina. En Anales Científicos (Vol. 78, No. 2, pp. 200-209). Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6232144>

7 Anexos

Anexo 3-1. Tabla de presupuesto del proyecto PGAI-UNA

Categoría de costo	Rubro	Observaciones	Cantidad	Monto unitario	Monto Total
Directos	Computadora y Accesorios	Manejo de datos y ejecución de programas	1	€ 600 000	€ 600 000
	Giras de Campo	Transporte (€226 por Km) y alimentación (Almuerzo €5600) según Reglamento de gasto de viaje y transporte para funcionarios publico	4	€ 30 600	€ 122 400
	Software y Aplicaciones	Qgis y licencia de Office	2	Gratis	
	Material de Campo	Varios	1	€ 20 000	€ 20 000
Indirectos	Servicio de Internet	Se necesita una red estable para la búsqueda de información relevante al estudio.		€ 28 000	€ 28 000
	Servicio de telefonía	Consultas, entrevistas o relevancia telefónica ara el proyecto	1	€ 10 600	€ 10 600
	Honorarios Profesionales	El Decreto N°44293-MTSS, publicado en la Gaceta 232, Alcance N°250 del 14 de diciembre de 2023.	8 meses	€ 326 712	€ 2 613 696
Subtotal					€ 3 394 696
Otros	Imprevistos			5%	€ 169 735
	Gastos Administrativos			2%	€ 67 894
	Impuesto de Valor Agregado			13%	€ 441 310
Total					€ 4 073 635

Fuente: Elaboración propia (2025)

Anexo 3-2. Cronograma de actividades del proyecto del PGAI-UNA.

Actividades de la investigación	Tiempo de redacción y desarrollo de actividades																																			
	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Redacion de Artículo																																				
Parte I - Seccion Introdutoria																																				
Seccion Premilinar																																				
Capitulo 1. Introduccion del proyecto de estudio																																				
Parte II. Aspectos teoricos y metologia																																				
Capitulo 2. Aspectos Teoricos																																				
Capitulo 3. Aspectos metodologicos																																				
Parte III. Sintesis																																				
Capitulo 4. Analisis de resultados																																				
Capitulo 5. Conclusiones y Recomendaciones																																				
Parte IV. Presentacion																																				
Presentacion del Perfil de Proyecto																																				
Presentacion del Proyecto Final																																				
Desarrollo Investigacion																																				
Reuniones actores claves																																				
Recopilación de información y bibliografía																																				
Giras de campo																																				
SIG para caracterizar área de estudio																																				
Levantamiento de datos de campo (entrevistas)																																				
Completación y tratamiento de datos																																				
Generación de mapas y cálculos de usos consultivos																																				
Generación de guías tecnicas																																				

Anexo 4.1. Precipitaciones promedio de la estación meteorológica en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica (N° 69735).

Total de lluvia mensual (mm)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2015						347	270	339	251	335	288	125
2016	43.4	37.4	2.6	5.6	111	480	313	269	223	336	604	384
2017	128	24.8	0		421	345	518	266	293	445	279	242
2018	78	77.2	11	17	186	496	321	465	368	324	178	89
2019	48.4	17.2	23	2.2	255	376	192	266	216	437	269	137
2020	79	31	53	34	353	263	482	378	346	336	436	106
2021	167	40.4	40	117	159	400	387	298	271	266	278	140
2022	85.2	61.6	29	53	197	588	434	368	311	265	269	111
2023	133	112	51	30	17	283	286	333	162	315	332	159
2024	130	8.2	1.6	24								

Fuente: IMN (2024).

Anexo 4-2. Temperatura promedio de la estación meteorológica en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica (N° 69735).

Promedio mensual de la temperatura (°C)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2015						25.3	24	24.8	25	25	24	24
2016	23.5	23.4	26	27	26	24.3	24	24.5	24	24	24	23
2017	22.5	23.6	24	25	25	24.3	24	24.2	24	24	24	23
2018	22.4	22.5	24	25	25	23.8	24	23.6	24	23	23	23
2019	22.7	23.8	24	26	25	24.6	24	24.1	24	23	23	23
2020	22.8	23.5	24	26	25	23.5	23	22.3	23	23	22	22
2021	22.3	23	24	24	23	22.6	23	23.3	24	24	23	23
2022	22.5	22.8	24	25	25	23.3	24	23.7	24	24	23	23
2023	22.4	22.6	24	25	26	25.1	25	24.2	25	24	23	23
2024	23.1	23.3	25	26								

Fuente: IMN (2024).

Anexo 4-3. Datos de radiación solar terrestre mensual.

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 4-4. Producción de frijol de medianos agricultores de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Anexo 4-5. Entrevistas a los pequeños y medianos agricultores de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Anexo 4-6. Recolección de agua de lluvia para la producción por parte de los pequeños y medianos agricultores de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.



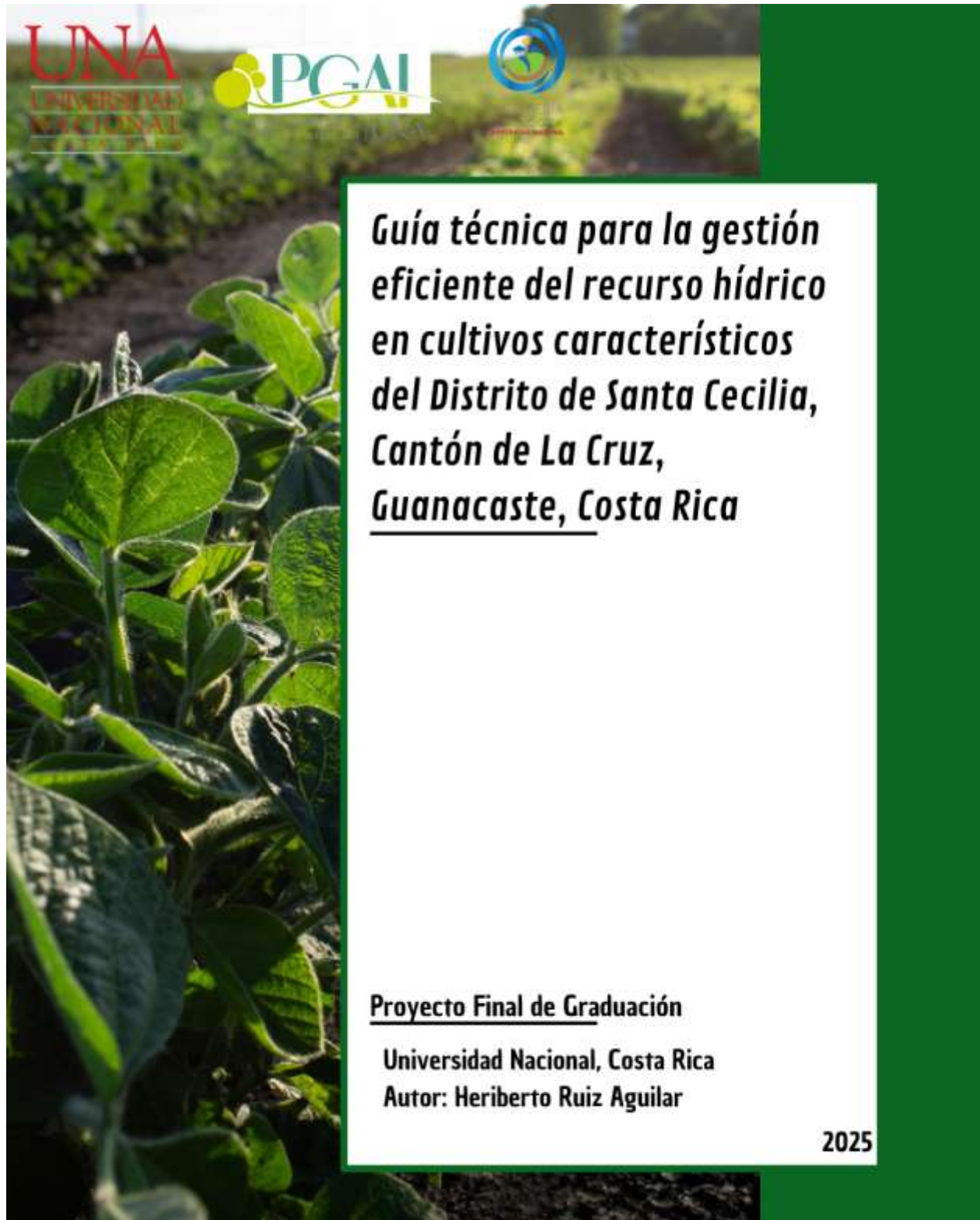
Fuente: Elaboración propia (2025).

Anexo 4-7. Sistemas de riego en deterioro de los pequeños y medianos agricultores de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Anexo 4-8. Guía técnica de gestión eficiencia del recurso hídrico para los pequeños y medianos agricultores de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.



***Guía técnica para la gestión
eficiente del recurso hídrico
en cultivos característicos
del Distrito de Santa Cecilia,
Cantón de La Cruz,
Guanacaste, Costa Rica***

Proyecto Final de Graduación

Universidad Nacional, Costa Rica

Autor: Heriberto Ruiz Aguilar

2025

Anexo 4-9. Guía técnica de gestión eficiencia del recurso hídrico para los pequeños y medianos agricultores de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica (Cultivo de frijol).



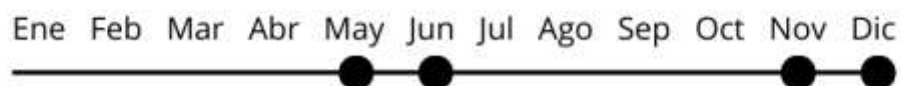
Frijol

Nombre científico: *Phaseolus vulgaris* (L)

Demanda hídrica anual: 5 066.29 m³/año

Caudal según método de riego (l/S)				
Hectáreas cultivadas	Riego por Goteo	Riego por Microaspersión	Riego por Aspersión	Riego por Gravedad
205.45	65.88	65.88	73.63	104.31
1	0.32	0.32	0.36	0.51

Meses en los cuales se cultiva



Anexo 4-10. Guía técnica de gestión eficiencia del recurso hídrico para los pequeños y medianos agricultores de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica (Cultivo de maíz).



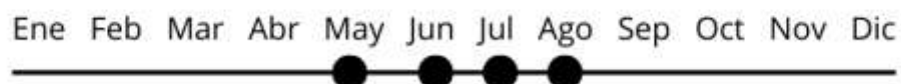
Maíz

Nombre científico: *Zea mays* (L)

Demanda hídrica anual: 3 556.77 m³/año

Caudal según método de riego (l/s)				
Hectáreas cultivadas	Riego por Goteo	Riego por Microaspersión	Riego por Aspersión	Riego por Gravedad
94.2	30.21	30.21	33.76	47.83
1	0.32	0.32	0.36	0.51

Meses en los cuales se cultiva



Anexo 4-11. Guía técnica de gestión eficiencia del recurso hídrico para los pequeños y medianos agricultores de Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica (Cultivo de tiquisque).



Tiquisque

Nombre científico: *Nephelium lappaceum* (L)

Demanda hídrica anual: 3 396.39 m³/año

Caudal según método de riego (l/S)				
Hectáreas cultivadas	Riego por Goteo	Riego por Microaspersión	Riego por Aspersión	Riego por Gravedad
75.01	14.64	14.64	16.36	23.18
1	0.20	0.20	0.22	0.31

Meses en los cuales se cultiva

Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic

● ● ●

Anexo 4-12. Borrador de artículo científico para la Revista Iberoamericana de Ambiente y Sostenibilidad

Estudio hidrológico para la determinación del uso consuntivo de los productos agrícolas en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.

Hydrological study to determine the consumptive use of agricultural products in Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica.

Estudo hidrológico para determinar o uso consuntivo de produtos agrícolas em Santa Cecília, Guanacast, Costa Rica.

Heriberto Ruíz Aguilar¹, 0009-0002-8361-4069

Ronald Sánchez Brenes², 00000-0002-6979-1336

Esteban Arboleada Julio³, 0000-0002-8152-3780

¹ Universidad Nacional, Costa Rica, heriberto.ruiz.aguilar@est.una.ac.cr

² Universidad Nacional, Costa Rica, ronald.sanchez.brenes@una.cr

³ Universidad Nacional, Costa Rica, esteban.arboleada.julio@una.cr

RESUMEN

El presente estudio determinó el uso consuntivo de agua en los principales cultivos agrícolas para la gestión eficiente del recurso hídrico en el distrito de Santa Cecilia, cantón de La Cruz, Guanacaste. Se planteó la problemática del incremento en la demanda de agua para la agricultura, la presión ejercida por la variabilidad climática y la necesidad de fortalecer prácticas sostenibles de riego. La metodología combinó un enfoque mixto, con análisis de datos meteorológicos, revisión bibliográfica y entrevistas semiestructuradas a 165 productores agrícolas.

Se calcularon las demandas hídricas a partir de coeficientes de cultivo y la evapotranspiración de referencia de la zona. Los resultados mostraron que el frijol (*Phaseolus vulgaris (L)*), maíz (*Zea mays (L)*) y tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium (L)*) son los cultivos de mayor extensión y consumo de agua, mientras que el arroz (*Oryza sativa*), aunque más demandante por hectárea, se cultiva en menor escala.

El análisis comparativo evidenció que el riego por goteo y la microaspersión son los sistemas más eficientes. Se concluye que la sostenibilidad agrícola en Santa Cecilia requiere adoptar tecnologías de riego eficientes, seleccionar cultivos estratégicos y planificar con base en la disponibilidad hídrica y la adaptación al cambio climático.

Palabras clave: agricultura, demanda, eficiencia, hídrica, sistemas agrícolas, uso consuntivo.

ABSTRACT

This study determined the consumptive water use of the main agricultural crops for efficient water resource management in the district of Santa Cecilia, canton of La Cruz, Guanacaste. The issue of increasing water demand for agriculture, the pressure exerted by climate variability, and the need to strengthen sustainable irrigation practices were raised. The methodology combined a mixed approach with meteorological data analysis, a literature review, and semi-structured interviews with 165 agricultural producers. Water demands were calculated using crop coefficients and the area's reference evapotranspiration. The results showed that beans (*Phaseolus vulgaris* (L)), corn (*Zea mays* (L)) and squid (*Xanthosoma sagittifolium* (L)) are the crops with the greatest area and water consumption, while rice (*Oryza sativa*), although more demanding per hectare, is grown on a smaller scale. The comparative analysis showed that drip and micro-sprinkler irrigation are the most efficient systems. It is concluded that agricultural sustainability in Santa Cecilia requires the adoption of efficient irrigation technologies, strategic crop selection, and planning based on water availability and adaptation to climate change.

Keywords: agriculture, agricultural systems, demand, efficiency, water.

RESUMO

Este estudio determinou o uso consuntivo de água das principais culturas agrícolas para um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos no distrito de Santa Cecília, cantão de La Cruz, Guanacaste. A questão do aumento da demanda hídrica para a agricultura, a pressão exercida pela variabilidade climática e a necessidade de fortalecer práticas sustentáveis de irrigação foram levantadas. A metodologia combinou uma abordagem mista com análise de dados meteorológicos, revisão bibliográfica e entrevistas semiestruturadas com 165 produtores agrícolas. As demandas hídricas foram calculadas usando coeficientes de cultura e a evapotranspiração de referência da área. Os resultados mostraram que feijão (*Phaseolus vulgaris* (L)), milho (*Zea mays* (L)) e lula (*Xanthosoma sagittifolium* (L)) são as culturas com maior área e consumo de água, enquanto o arroz (*Oryza sativa*), embora mais exigente por hectare, é cultivado em menor escala. A análise comparativa mostrou que a irrigação por gotejamento e por microaspersão são os sistemas mais eficientes. Conclui-se que a sustentabilidade agrícola em Santa Cecília requer a adoção de tecnologias de irrigação eficientes, seleção estratégica de culturas e planejamento com base na disponibilidade hídrica e adaptação às mudanças climáticas.

Palavras-chave: agricultura, demanda, eficiência, água, sistemas agrícolas.

INTRODUCCIÓN

El uso del agua ha aumentado a nivel global, impulsado por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y cambios en los patrones de consumo (Loures et al., 2024). Por lo cual, actualmente se vive una competencia intensa entre los diferentes sectores de usuarios por lo que cada vez son más escasos los recursos hídricos disponibles causando estrés hídrico en las cuencas hidrográficas y el agua que contienen no sea suficiente para atender todas las demandas (Paz et al., 2012).

En el caso de la agricultura es la actividad que demanda el mayor consumo de agua, siendo responsable del 72% de todas las captaciones de aguas superficiales y subterráneas a nivel mundial (Loures et al., 2024). La gestión del agua es fundamental para la estabilidad de la producción mundial de alimentos, para garantizar un acceso fiable que incrementa la producción agrícola y ofrezca un suministro estable de numerosos productos agrícolas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2011). Por esta razón, es necesario analizar las alternativas para incrementar la eficiencia y productividad en el uso del agua, así como conocer la respuesta del rendimiento de los cultivos al agua (FAO, 2012).

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos, ya que, variables climáticas claves para el crecimiento de los cultivos como precipitación y temperatura, están alteradas e impactarán en la producción agrícola (Jácome, 2023). Aunque los efectos de las variaciones en el clima sobre la producción de cultivos se presentan ampliamente de una región a otra, se espera que los cambios tengan grandes efectos, principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (González, 2016).

Costa Rica cuenta con una densa red hídrica distribuida en dos vertientes, la del Caribe y la del Pacífico, en donde el recurso hídrico se encuentra sometido a una creciente demanda (Valverde, 2010). Además, donde los eventos de sequía y la variabilidad climática afectan la producción agropecuaria e hídrica. Los cuales, se genera a raíz de niveles de precipitación inferiores a lo normal y que, cuando se prolonga, hace que las precipitaciones no sean suficientes para satisfacer las demandas de la sociedad y del medio ambiente (Rodríguez, 2018). Esto genera que se imposibilite cumplir con la demanda de agua para producción agrícola y por ende disminución.

Guanacaste provincia de Costa Rica, ha tenido un aumento en el desarrollo de la agricultura, acompañado por del crecimiento en su población y el auge turístico (O'neal, 2017). Adjunto al aumento del sector agrícola se encuentra que esta zona de Costa Rica es la que más se afectada por sequias por largos periodos (Escobar y Viales, 2024).

En el cantón de La Cruz, Guanacaste, específicamente en el distrito de Santa Cecilia, la agricultura constituye una actividad económica fundamental, a la cual se dedica la mayoría de la población (Ministerio de Desarrollo Rural (INDER), 2021). En donde, gran parte de la superficie cantonal tiene aptitud para usarse con cultivos anuales o permanentes, sin embargo, debido a algunos factores limitantes obliga a una selección cuidadosa de los cultivos y/o ejecución de prácticas especiales de conservación de los recursos naturales (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2021).

Por lo tanto, en la agricultura es necesario el tener en cuenta el uso sustentable del recurso suelo y agua, en donde el recurso hídrico es deficitario por lo que es imperativo su uso racional en las prácticas del riego aplicando la cantidad necesaria y en el tiempo oportuno (Villanueva et al., 2017). El manejar y optimizar adecuadamente los sistemas de riego en la producción agrícola incrementan la productividad y la rentabilidad, y se favorecen las relaciones ambientales (Radulovich, 2006).

Conocer la cantidad necesaria de agua para la aplicación del riego implica determinar la demanda o requerimiento hídrico del cultivo (Villanueva et al., 2017). Así también, el conocimiento de la

disponibilidad hídrica es esencial para ayudar en el uso racional de los recursos hídricos, contribuyendo a la toma de decisiones enfocadas en una planificación hídrica eficiente y sostenible (Loures et al., 2024). Es por eso que esta investigación tuvo como objetivo determinar el uso consuntivo de agua en los principales cultivos agrícolas del para la gestión eficiente del recurso hídrico en el distrito de Santa Cecilia, cantón de La Cruz, Guanacaste.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación adoptó un enfoque mixto, debido a que se abarcan tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Según Hernández et al. (2014), La investigación cuantitativa considera que el conocimiento debe ser objetivo a través de la medicación numérica y el análisis estadístico inferencial. La cualitativa suele partir de una pregunta de investigación, Este enfoque busca explorar la complejidad de factores que rodean a un fenómeno y la variedad de perspectivas y significados que tiene para los implicados

En el caso del enfoque cuantitativo, se buscó cuantificar el uso consuntivo del agua por parte de los principales cultivos agrícolas en Santa Cecilia, Guanacaste. Por otro lado, se adoptó por un enfoque cualitativo dado a que se busca la recolección de información de relevancia para la investigación: tipos de riego, tipos de cultivos y áreas de cultivación. En función de proponer alternativas que favorezcan el cultivo de alimentos durante los periodos de sequía, y al mismo que promueva un uso racional de los recursos disponibles. La metodología se dividió en seis fases que se describen enseguida:

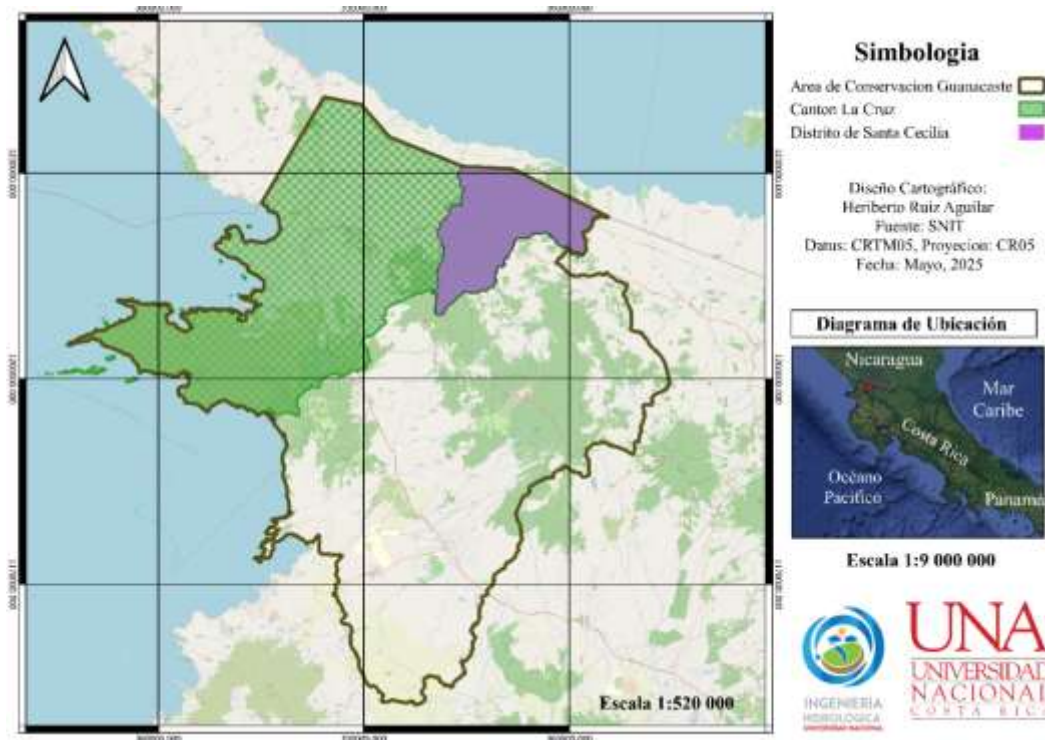
1. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Santa Cecilia, distrito del cantón de La Cruz, en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. Esta región forma parte de la Región Chorotega y se caracteriza por un clima tropical estacional, con una marcada estación seca que puede prolongarse de noviembre a mayo. En donde, la agricultura en esta zona se encuentra entre las principales actividades económicas de subsistencia y comercialización.

El clima del cantón de La Cruz comparte características propias de los dos regímenes climáticos del país (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2021). En donde Santa Cecilia es la cabecera del distrito homónimo del cantón, se sitúa al sur del límite internacional con Nicaragua, a 337 msnm, sobre la ruta 4 o Corredor Noratlántico. En una zona de transición entre el régimen climático de la Vertiente del Pacífico y la Vertiente del Caribe dentro del CSC (Bolaños et al., 2023).

El distrito Santa Cecilia los promedios de precipitación anual exceden los 2500 mm, alcanzando extremos de hasta 4000 mm. En donde la distribución de la lluvia es más regular, en cual solo los meses de marzo y abril se pueden considerar como secos puesto que el promedio de lluvia está por debajo de los 50 mm y los meses más lluviosos son julio y octubre, con promedios que exceden los 350 mm. La temperatura es alta y constante durante todo el año, el promedio anual es de 25,8°C (MAG, 2021) (**Ver Figura 1**).

Figura 1. *Zona de estudio el distrito de Santa Cecilia en el cantón de La Cruz, Área Conservación Guanacaste*



Fuente: *Elaboración propia (2025).*

2. Creación de línea base de información

Se recopiló información bibliográfica en diferentes fuentes de información para la creación de una línea base. Se utilizó Google académico, SciELO, Dialnet, Reseachgate, FOA-Biblioteca Agrícola Mundial (AGRIS), repositorios universitarios. El periodo de búsqueda abarcó de 2014 hasta 2024 para el desarrollo del tema, en búsqueda de la obtención de datos como el coeficiente de Kc para cada tipo de cultivos involucrados en el presente estudio, característica del suelo y métodos de balance hídrico para usos consultivos.

3. Identificación de datos meteorológicos

La información meteorológica se obtuvo mediante la solicitud por escrito al Instituto Meteorológico Nacional de datos meteorológicos de Costa Rica, los parámetros solicitados son las precipitaciones y temperaturas mensuales en un periodo de datos históricos de 10 años (2014 – 2024). La base de datos solicitada son los registrados por la estación meteorológica N°69735, ubicada en el distrito de Santa Cecilia. Así como, información histórica de estudios anteriormente realizado de igual en la zona de estudio o en las cercanías.

4. Entrevistas semiestructuradas a productores

Se elaboró una encuesta digital mediante de herramienta Kobo Tool Box (igual manera se manejará un machote en físico por inconvenientes), la cual fue aplicada a los pequeños productores del distrito de Santa Cecilia. Con el fin de conocer las actividades agrícolas a la cuales se dedican, las entrevistas semiestructuradas se realizaron en el año 2024.

- **Recolección de datos, tipo y tamaño de muestra:** las entrevistas fueron de carácter no probabilística, con un muestro intencional que se realizaron a la población de pequeños y medianos productores agrícolas. En la cual se tomó una muestra de 168 agricultores las cuales se realizaron mediante un recorrido por la zona de estudio.
- **Diseño de la entrevista:** en el diseño de la herramienta a utilizar (encuesta) consta de los siguientes apartados:
 - Sección A:** se recolectó información general de los productores del distrito de Santa Cecilia: nombre completo, actividad socioeconómica a la que se dedican, ubicación de las fincas, terrenos propios o de alquiler y la toma del punto por GPS.
 - Sección B:** en esta sección se consultaba por variables clave como: productos agrícolas que producen, así como, la extensión total cultivada.
- **Análisis y sistematización de la información:** el proceso de análisis y sistematización de la información se hizo mediante la estadística descriptiva, con el programa Excel, donde se elaboraron gráficos de barras y tablas. En las cuales se digitalizaron los datos obtenidos de las encuestas realizadas a los productores de Santa Cecilia.

5. Georreferencia de la distribución de las fincas agrícolas

Para la identificación de las fincas agrícolas del distrito, se llevó a cabo un proceso metodológico basado en la recopilación de información geográfica mediante receptores GPS

durante las visitas de campo. se registraron los puntos de localización de cada finca vinculando cada coordenada con el nombre del productor y los datos obtenidos en las entrevistas. Lo cual permitió establecer una base espacial de las unidades productivas existentes en el territorio. Posteriormente, se solicitó a la Municipalidad de La Cruz el mapa catastral de fincas del cantón, y con el software Qgis se procedió a hacer una correlación de los puntos geográficos de los encuestados con el mapa catastral.

6. Balance hídrico de los usos consuntivos de los cultivos

Se realizó el cálculo de los usos consuntivos de los cultivos de la zona agrícola, según la redacción del documento del MINAE (2021) que lleva por nombre Manual Técnico de Dotaciones de Agua. El cual mencionan las ecuaciones necesarias para el cálculo, como evapotranspiración de referencia, evapotranspiración del cultivo, módulo de riego y caudal de riego.

- **Evapotranspiración de referencia:** La evapotranspiración de referencia consiste según Bustamante (2023), en el consumo diario de agua de una planta y corresponde al proceso combinado del agua perdida por evaporación directa desde la superficie del suelo y la absorbida por las raíces de la planta. Por lo cual, posteriormente se pierde casi en su totalidad por la transpiración a través de la superficie de las hojas, en donde, evapotranspiración es afectada por factores del suelo, planta y clima.

$$E_{to} = (0.0023 * (T_{med} + 17.8) * (T_{max} - T_{min})^{0.5} * R_a)$$

Ecuación 3.1 (MINAE, 2021)

Donde:

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm/día).

Tmed: Temperatura media del aire (°C).

Tmax: Temperatura máxima del aire (°C).

Ra: Radiación extraterrestre (mm/día).

- **Evapotranspiración del cultivo:** la evapotranspiración del cultivo es la que se presenta en el crecimiento y desarrollo de este sin restricciones hídricas, en condiciones óptimas de crecimiento con un borde ampliado para evitar una advección de calor sensible proveniente de áreas adyacentes. Como es el resultado del producto de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente del cultivo, es una estimación de un consumo de agua (Chavarría et al., 2023).

$$Etc = KC * Eto$$

Ecuación 3.2 (MINAE, 2021)

Donde:

Etc.: Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Kc: Coeficiente de Cultivo (adimensional).

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm/día).

- **Módulo de riego:** un módulo de riego, en términos de eficiencia, se refiere a un sistema de riego diseñado y gestionado para optimizar el uso del agua, minimizar las pérdidas y maximizar la productividad de los cultivos. Estos módulos pueden variar en diseño y tecnología, pero todos tienen en común el objetivo de aplicar agua de manera precisa y eficiente (Palerm, 2020).

$$MR = Etc Ef * 0.116$$

Ecuación 3.3 (MINAE, 2021)

Donde:

Mr: Módulo de Riego (l/s/ha).

Etc: Evapotranspiración del Cultivo (mm/día).

Ef: Eficiencia del sistema de Riego (% en decimal).

0.116: Factor de conversión de unidades

- **Caudal de riego:** consiste a la cantidad de agua que se usa para regar un área determinada en un período de tiempo. Se mide en unidades como litros por minuto (l/min) o metros

cúbicos por hora (m^3/h), y se usa para calcular la cantidad de agua necesaria y el tiempo de riego (Carrión y La Mattina, 2015).

$$Q = Mr * A$$

Ecuación 3.4 (MINAE, 2021)

Donde:

Q: Caudal de riego (l/s).

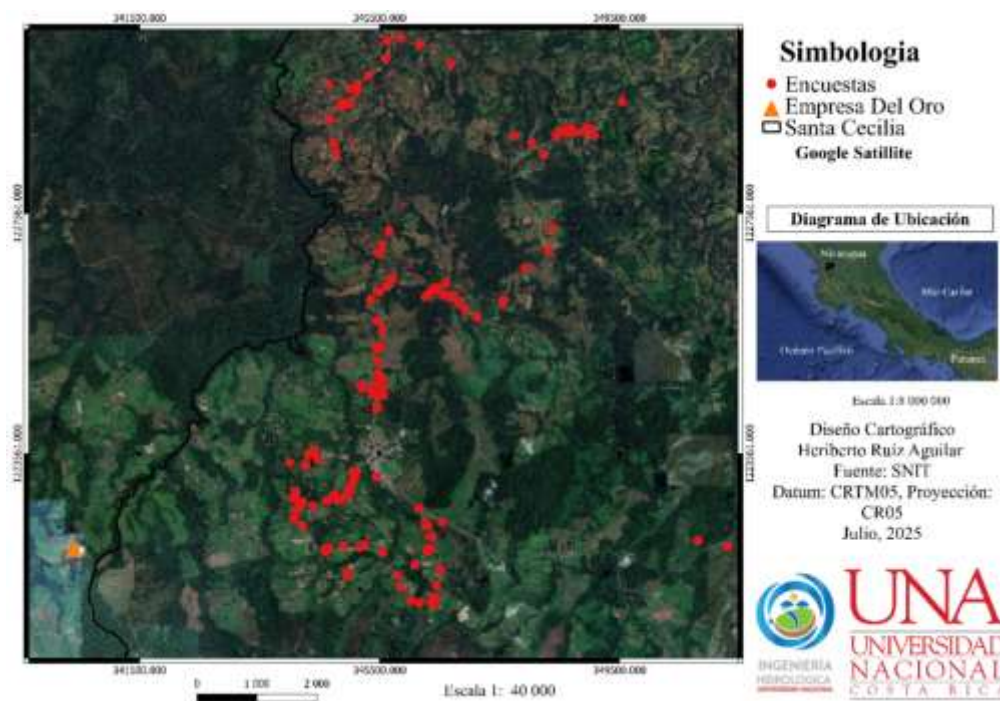
Mr: Módulo de riego (l/s/ha).

A: Área de cultivo regada por día (ha).

RESULTADOS

Se identificaron un total de 165 de los pequeños y medianos productores en el Santa Cecilia, por medio de un recorrido en el poblado. Donde la mayoría de los agricultores se ubican en la zona noroeste del distrito. La ubicación de la empresa Del Oro se encuentra marcada en el mapa con una representación de un triángulo naranja, esta empresa representa uno de los principales actores agroindustriales de la zona, cuya cercanía a los pequeños productores podría influir en las dinámicas agrícolas locales (**Ver Figura 2**)

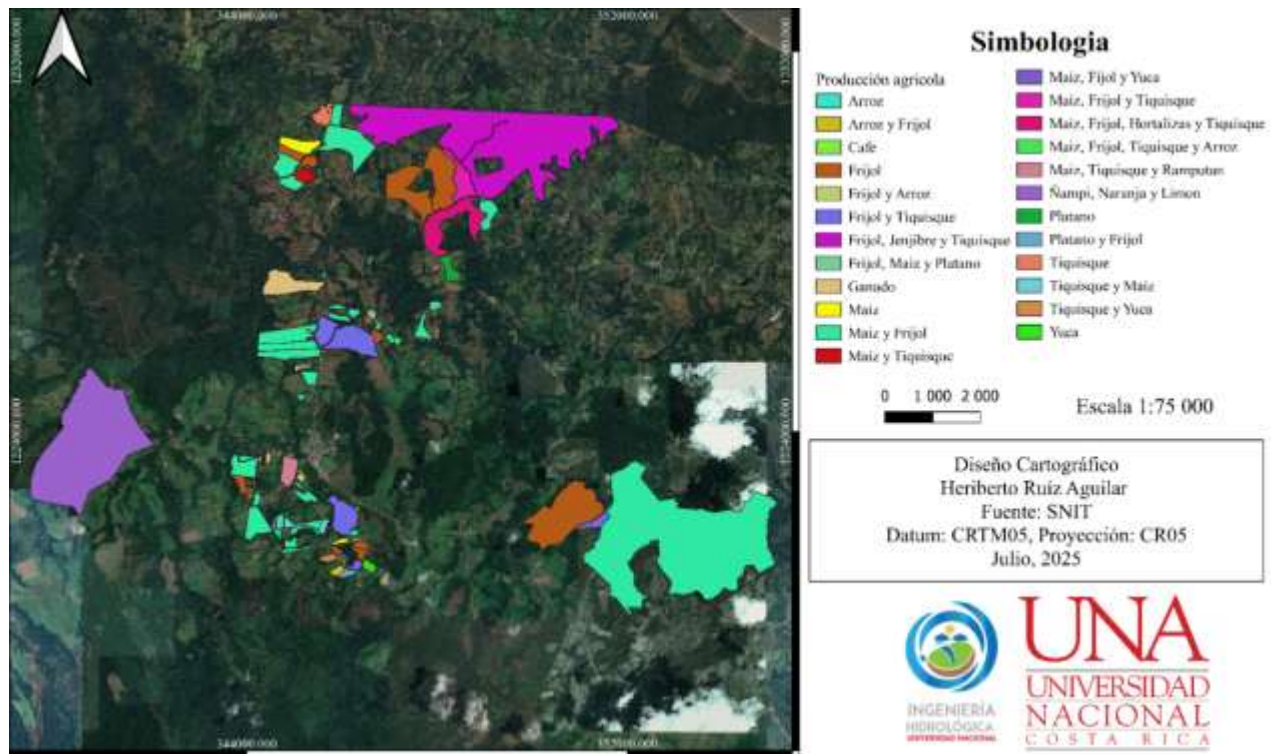
Figura 2. Distribución espacial de los productores del Distrito de Santa



Fuente: Elaboración propia (2025).

En la entrevista realizadas se identificó la producción agrícola que se dedica cada productor de la zona; en la mayoría de los casos se encuentra que tiene un cultivo principal a la que dedican sus de terrenos y otras actividades complementarias como producción secundaria (**Ver Figura 3**). La actividad agrícola más comunes son frijol, maíz y tiquisque, y la combinación de estas. Mientras que la producción de naranjas y limones es menor debido a la presencia de la empresa Del Oro, la cual se encarga de la producción de cítricos en la zona.

Figura 3. Clasificación de los productos según su actividad agrícola del distrito de Santa Cecilia.



Fuentes: Elaboración propia (2025).

La producción de la zona se observó una predominancia, del cultivo de frijol, que representa el 48,8 % del total del área cultivada (205,45 ha). Este cultivo se consolida como el principal producto agrícola de la zona. En segundo lugar, se encuentra el maíz con 22,4%, que históricamente ha complementado la producción de frijol como parte del sistema agrícola tradicional de rotación de granos básicos en Guanacaste. Asimismo, otros cultivos presentes fueron jengibre, rambután, yuca, plátano con una producción media, así como productos agrícolas con menor producción (**Ver Tabla 1**).

Tabla 1. Extensión porcentual de los productos agrícolas.

Cultivo	Nombre científico	Extensión Total (ha)	Porcentaje
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris (L).</i>	205.45	48.8
Maíz	<i>Zea mays (L).</i>	94.2	22.4
Tiquisque	<i>Xanthosoma sagittifolium (L)</i>	75.01	17.8
Jengibre	<i>Zingiber officinale (Roscoe)</i>	12	2.9

Rambután	<i>Nephelium lappaceum (L)</i>	12	2.9
Yuca	<i>Manihot esculenta (Crantz)</i>	8.6	2.0
Plátano	<i>Musa sp</i>	4.4	1.0
Café	<i>Coffea arabica (L).</i>	3	0.7
Arroz	<i>Oryza sativa (L)</i>	2	0.5
Ñampí	<i>Colocasia esculenta (L)</i>	2	0.5
Naranja	<i>Citrus sinensis (L)</i>	1.5	0.4
Limonos	<i>Citrus limón (L)</i>	0.5	0.1
Aguacate	<i>Persea americana (Mill).</i>	0.1	0.0
Cacao	<i>Theobroma cacao (L)</i>	0.1	0.0
Total de área		420.86	100.0

Fuente: Elaboración propia (2025).

Se presenta los valores de los coeficientes de cultivo (Kc) correspondientes a las especies analizadas, obtenidos a partir del Manual de Dotaciones de Aguas de Costa Rica. Estos coeficientes reflejan las necesidades hídricas de cada cultivo, en donde las de mayor demanda es el arroz con 1.2 Kc medio; seguido por el frijol y el maíz, ambos con 1.15 Kc medio. Asimismo, la evapotranspiración de referencia (Eto), con un valor de 2,28 mm/día, calculada para las condiciones climáticas del Distrito de Santa Cecilia de La Cruz (**Ver Tabla 2**).

Tabla 2. Valores de coeficientes de Kc para los cultivos estudiados.

Cultivo	Kc medio	Evapotranspiración de referencia
Arroz	1,2	2.28 mm/día
Frijol	1,15	
Maíz	1,15	
Plátano	1,1	
Café	1,1	
Yuca	1,1	
Cacao	1,05	
Jengibre	0,95	
Aguacate	0,85	
Limonos	0,85	
Naranja	0,85	
Rambután	0,75	
Ñampí	0,7	
Tiquisque	0,7	

Fuente: Elaboración propia (2025).

El cultivo de frijol es el que presenta la mayor demanda hídrica del distrito, con un consumo anual de 5 066,29 m³, donde se necesita 13,88 m³/día debido a su amplia extensión. Le siguen el maíz con 3 556,77 m³/año (9,74 m³/día) y el tiquisque con 3 396,39 m³/año (9,31 m³/día), ambos, también, de gran relevancia agrícola. En niveles intermedios se ubican el jengibre, yuca y rambután, cuyos consumos rondan entre 949,50 y 749,60 m³/año. Finalmente, productos como

ñampí, cítricos, cacao y aguacate muestran las menores necesidades de agua, con valores inferiores a 120 m³/año, lo que evidencia una marcada variabilidad en las exigencias hídricas según el tipo de cultivo y su extensión en el distrito. (Ver **Tabla 3**).

Tabla 3. Necesidad hídrica de los cultivos del distrito de Santa Cecilia según su extensión (m²).

Actividad productiva	Demanda hídrica (m ³ /año)	Demanda hídrica (m ³ /día)
Frijol	5 066.29	13.88
Maíz	3 556.77	9.74
Tiquisque	3 396.39	9.31
Jengibre	949.50	2.60
Yuca	787.92	2.16
Rambután	749.60	2.05
Plátano	403.12	1.10
Café	274.86	0.75
Arroz	199.89	0.55
Ñampí	116.61	0.32
Naranja	81.21	0.22
Limones	27.07	0.07
Cacao	8.75	0.02
Aguacate	7.08	0.02
Total	15 712.50	43.05

Fuente: Elaboración propia (2025).

El riego por goteo como el de microaspersión son los que menor demanda de agua para la producción de los cultivos por hectárea. Esto debido por su alto porcentaje de eficiencia, lo cual representa que el caudal regado es mayor aprovechado, esto se ve representado en el caudal necesario regado para los productos como frijol (65.88 l/s), maíz (30.21 l/s) y tiquisque (14.64 l/s), dado a como se mencionó anteriormente solo se humedece una pequeña parte del terreno. Caso todo contrario al método de riego por gravedad en el cual se necesita casi el doble de caudal de agua para el crecimiento correctos de las plantaciones (frijol (104.31 l/s), maíz (47.83 l/s) y el tiquisque (2318 l/s)), esto se debe que se humedece una mayor parte del terreno, entonces el recurso es absorbido mayormente por el terreno y no solo por el cultivo (Ver **Tabla 4**).

Tabla 4. Resultados de la demanda hídrica de los cultivos por método de riego por el total de hectáreas.

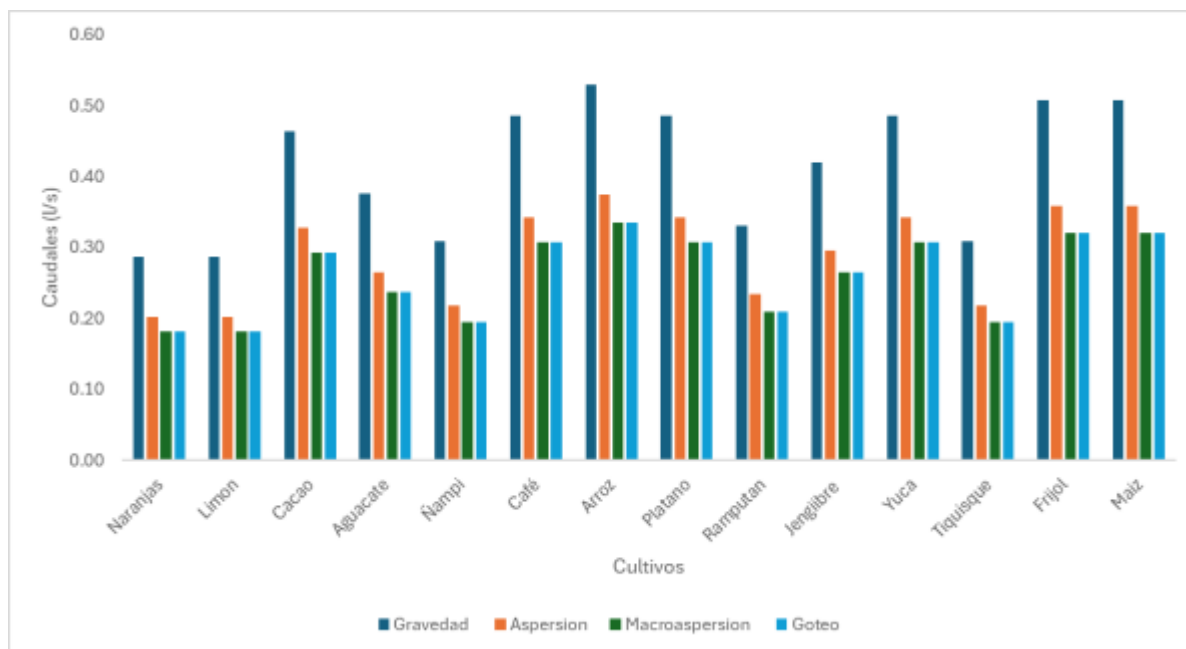
Actividad productiva	Tipo de Riego			
	Gravedad	Aspersión	Microaspersión	Goteo
Frijol	104.31	73.63	65.88	65.88
Maíz	47.83	33.76	30.21	30.21
Tiquisque	23.18	16.36	14.64	14.64
Jengibre	5.03	3.55	3.18	3.18
Yuca	4.18	2.95	2.64	2.64
Rambután	3.97	2.80	2.51	2.51

Plátano	2.14	1.51	1.35	1.35
Café	1.46	1.03	0.92	0.92
Arroz	1.06	0.75	0.67	0.67
Ñampí	0.62	0.44	0.39	0.39
Naranjas	0.43	0.30	0.27	0.27
Limón	0.14	0.10	0.09	0.09
Cacao	0.05	0.03	0.03	0.03
Aguacate	0.04	0.03	0.02	0.02

Fuente: Elaboración propia (2025).

Los valores más altos de los caudales de agua requeridos por cultivo por hectárea corresponden al arroz, frijol y maíz, los cuales alcanzan valores cercanos a los 0.50 l/s, siendo los que más demandan en cuanto a requerimientos hídricos. Muy cerca de estos se encuentran el café y el cacao, con valores que rondan entre 0.45 y 0.49 L/s, lo cual indica que también requieren una considerable disponibilidad de agua para su desarrollo. Por otro lado, los cultivos con menores necesidades hídricas son el ñampí, tiquisque, limón y naranjas, que se encuentran en un rango más bajo, generalmente entre 0.20 y 0.30 L/s. Lo cual los coloca como los menos demandantes en comparación con el resto (**Ver Figura 4**).

Figura 4. Comparación de la demanda hídrica de los cultivos por método de riego por hectárea, Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Por medio de la revisión cartografía del Sistema Nacional de Información del Territorio (SNIT) se identificó que el tipo de suelo presente en el distrito de Santa Cecilia son los ultisoles; por lo tanto, los suelos presentes en la zona de estudio son de alto contenido de arcillas. Entonces en agua total que se puede suministrar es de 230 mm/m, pero solamente 115 mm/m del agua será

utilizada por el cultivo (**Ver Tabla 5**). Aunque es este caso se trate de un suelo un con drenaje interno bueno, por su contenido de arenas, las arcillas retendrán gran parte del agua regada.

Tabla 5. Agua disponible en el suelo para cultivos según el tipo de suelo.

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: MAG (2000).

DISCUSIÓN

Se identifico un total de 165 familias de pequeños y medianos productores agrícolas en el área de estudio, en la que su economía depende de la producción de sus tierras. Según Flores (2024), en el distrito de Santa Cecilia se caracteriza porque es una zona productora de granos básicos donde prácticamente el 80 %de la población se dedica a la agricultura. De igual manera, en la cercanía del distrito se encuentra ubicada la empresa Del Oro, la producción agrícola de la empresa se divide en fincas nombradas Finca Yafa, finca La Olla, finca Yafa y finca Oros destinadas para el cultivo de naranja (cultivo permanente) y donde eventualmente se implementa la actividad de riego por goteo (Bustamante, 2023).

En cuanto a la distribución de cultivos, se determinó que el frijol es el de mayor importancia en términos de superficie cultivada, alcanzando 205,45 hectáreas (48,8% del área total), seguido por el maíz con 94,2 hectáreas (22,4%). Según menciona el INDER (2021), la actividad de cultivo de frijol y maíz es base para la economía local en Guanacaste, y clave para asegurar la seguridad alimentaria, tanto de las familias productoras, como de los consumidores de los programas de abastecimiento de granos a nivel nacional.

El cultivo de arroz en el que más agua demanda por hectárea, sin importar el método de riego utilizado. Teniendo en cuenta lo anterior esto puede ser una de las causas por la cuales no es uno de los principales productos en el área de estudio. Según Escobar y Viales (2023), los agricultores dedicados a la siembra de arroz han dejado de cultivar este grano, debido que hay cultivos que generan menos gastos y tienen mayor mercado, además que el apoyo hacia los productores de arroz es muy poco por parte del gobierno.

En la zona de estudio se identificó que los agricultores, en su mayoría, no utilizan sistemas de riego. Teniendo un periodo en el cual no se cultiva debido a la época seca. Por tanto, se establece que la utilización del método de riego como la principal alternativa para la época que no hay lluvia. Además, según Monroy et al. (2022), el riego por goteo de alto caudal es el de menor costo de operación; esto se debe a que, al tener una mayor eficiencia utiliza un menor volumen de agua para cumplir con los requerimientos del cultivo. Esta característica resulta en un menor tiempo de bombeo y de energía utilizada para operar el sistema.

Se identifico que los suelos ultisoles son los predominan, caracterizados por alta presencia de arcillas, buena permeabilidad y buen drenaje interno. Esto implica que, aunque pueden almacenar hasta 230 mm/m de agua, solo la mitad es fácilmente utilizable por los cultivos. Según Bogantes et al. (2002), son los suelos más viejos y meteorizados del país. Estos suelos se originan por el efecto prolongado de los factores climáticos (principalmente alta precipitación) sobre prácticamente cualquier tipo de material parental. Que su contenido de arena es de alrededor de un 20%, general blandos, de buena permeabilidad con minerales arcillosos como la halloisita, alofana y caolinita. Con lo anterior Escobar y Viales (2023) nos menciona, que los tipos de suelos influyen en la cantidad de agua que se suministre, ya que en suelos arenosos el agua se mantiene menos tiempo por lo que hay que regar con más frecuencia, mientras que en suelos arcillosos el agua dura más lo que hace que el riego sea menor.

CONCLUSIONES

La agricultura en Santa Cecilia depende mayoritariamente del cultivo de frijol, maíz y tiquisque, los cuales concentran la mayor superficie sembrada y la demanda hídrica más alta, confirmando su papel estratégico en la seguridad alimentaria local y nacional.

El balance hídrico evidenció que el arroz es el cultivo de mayor consumo de agua por hectárea, lo que explica su limitada presencia en la zona, pues los productores priorizan cultivos más rentables y de menor demanda hídrica.

Los sistemas de riego por goteo y microaspersión representan la mejor alternativa para enfrentar los periodos de sequía, dado que maximizan la eficiencia del uso del agua y reducen costos energéticos, en contraste con el riego por gravedad. Aunque, para cultivos como el frijol y maíz es de gran dificultada la utilización de estos sistemas por los altos costos de estos, por lo cual, en estos casos se pueden utilizar sistemas de menor costo como el riego por surcos (gravedad), aunque su eficiencia sea menor.

Los suelos tipo ultisoles, característicos de la región, presentan una alta capacidad de almacenamiento de agua, aunque solo la mitad es fácilmente aprovechable por los cultivos; este factor condiciona las estrategias de riego y frecuencia de aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bolaños, R., Campos, L., & Sojo, G. (2023). Factores sociales, políticos y económicos en el desarrollo de una comunidad fronteriza: Santa Cecilia de La Cruz, Costa Rica (1900-2023). *Revista Estudios*, (47), 232-264.

Bustamante, K. (2023). Estudio hidrológico de las subcuencas del río Sábalo y río Guachipelín para optimizar la planificación de riego por goteo en el cultivo de naranja (*Citrus sinensis*) en la empresa Del Oro, Guanacaste, Costa Rica. Repositorio de Universidad Nacional, Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/ab3e2a9f-c438-49af-bf49-484bbb6ac8d5/content>

Carrión, R. y La Mattina, D. (2015). Manual de capacitación: medición del agua de riego. 1a ed. edición especial. Edición para Unidad para el Cambio Rural (UCAR). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/09/22_medicion_del_agua_de_riego.pdf

- Chavarría, A., Morales, M., y Soto-Bravo, F. (2023). Evapotranspiración de referencia, evapotranspiración real y el coeficiente de cultivo para el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) cv Álvara promedio en invernadero. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(3), 65-77. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822023000300065
- Escobar, P y Viales, D. (2024). Estudio hidrológico para el aprovechamiento del recurso hídrico en el sector agrícola del proyecto PAACUME en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Carillo, Guanacaste, Costa Rica. Universidad Nacional, Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/3495a242-4e8c-4d07-b51e-9bddbfde90c5/content>
- Flores, G. (2024). INDER invierte ¢ 2 308 millones en la Región Chorotega. Periódico El Mensaje. <https://www.periodicomensaje.com/cantoniales/12020-inder-invierte-2-308-millones-en-la-region-chorotega>
- González, C. Z. (2016). Impactos del cambio climático en la agricultura y seguridad alimentaria. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 269-291. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3941750032/3941750032.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). México: McGraw Hill Education. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Instituto de Desarrollo Rural (INDER), (2021). INDER impulsa producción de frijol y maíz en Guanacaste mediante equipamiento para Organización de Productores de Santa Cecilia de La Cruz - Instituto de Desarrollo Rural. <https://www.inder.go.cr/noticias/inder-impulsa-produccion-de-frijol-y-maiz-en-guanacaste-mediante-equipamiento-para-organizacion-de-productores-de-santa-cecilia-de-la-cruz/>
- Jácome, M. (2023). *Evaluación de los efectos del cambio climático en la agricultura de la zona Chugchilán, cantón Sigchos* (Tesis de Maestría, Quito, EC: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador). <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/9097/1/T3987-MCCSD-Jacome-Evaluacion.pdf>
- Loures Ferreira, M., Medeiros de Andrade, A., Esdras Santiago, W., & Praes de Almeida, R. (2024). Análisis de la disponibilidad y demanda hídrica en una zona con alta demanda de riego por pivote central en Brasil. *Revista de Geografía Norte Grande*, (88), 1-17. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022024000200109&script=sci_arttext
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (2021). Caracterización del Área de Influencia de la Agencia de Extensión Agropecuaria. Ministerios de Agricultura y Ganadería (MAG). <https://www.mag.go.cr/regiones/chorotega/CARACTERIZACION-AEA-LACRUZ.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía Dirección de Agua (MINAE), (2021). Manual Técnico de Dotaciones de Agua (Pdf). https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL_TECNICO_DE_DOTACIONES_DE_AGUA.pdf
- Ministerio de Desarrollo Rural (INDER) (2021). INDER impulsa producción de frijol y maíz en Guanacaste mediante equipamiento para Organización de Productores de Santa Cecilia de La Cruz. <https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2021/N122-produccion-frijol-maiz.aspx>

- Monroy, J., Estupiñán, M., Mosquera, M. y Ruiz, E. (2022). Costos de operación de tres métodos de riego en el Campo Experimental Palmar de la Sierra. XX Conferencia Internacional sobre la palma de aceite. <https://fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/Costos-de-operacion-de-tres-metodos-de-riego-en-CEPSamhc.pdf>
- O'neal (2017) Así enfrentamos el reto de llevar agua a los cultivos en Guanacaste. Universidad de Costa Rica, Noticias Ciencia y Tecnologías. Acceso 06 marzo 2025. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/10/10/asi-enfrentamos-el-reto-de-llevar-agua-a-los-cultivos-en-guanacaste.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Acceso 06 marzo 2025, <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/82bd842b-862d-4e51-8794-d80156ddab2e/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2011). El cambio climático, el agua y la seguridad alimentaria. <https://www.fao.org/4/i0142s/i0142s07.pdf>
- Palerm, J. (2020). Caracterización de los módulos de los distritos de riego y presencia de organizaciones locales. *Región y sociedad*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252020000100124#:~:text=Los%20m%C3%B3dulos%20de%20riego%20son,presas%20y%20otras%20infraestructuras%20importantes.
- Paz, S., Agudelo, V., Echeverri, A., & Cobo, N. (2012). Escenario de demanda hídrica agrícola para la optimización del riego de los pequeños productores de la zona plana de la cuenca del río Guabas. *Informador técnico*, (76), 5-12. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4364406.pdf>
- Radulovich, R. (2006). CULTIVANDO EL MAR. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Agronomía Costarricense. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v30n01_115.pdf
- Rodríguez, J. (2018). Análisis de la gestión de los eventos de sequía ante el cambio climático en los sectores agropecuario e hídrico del Cantón de Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8889/Analisis_de_la_gestion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Valverde, R. (2010). Disponibilidad, accesibilidad y amenazas al recurso hídrico en Costa Rica. *Ambientico*. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/20403/197_9-10.pdf
- Villanueva, J., Huahuachampi, J., y Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium quinoa* Willd) en la Molina. En *Anales Científicos* (Vol. 78, No. 2, pp. 200-209). Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6232144>

Anexo 4.13. Carta del Filólogo.


San José, 11 de febrero de 2026

Señores
Universidad Nacional de Costa Rica
Sede Regional Chorotega
Campus Liberia.
Liberia, Guanacaste.

En mi condición de profesional colegiado en el área de filología y lingüística, doy fe de haber leído, revisado y corregido totalmente el trabajo final de graduación del estudiante Heriberto Ruiz Aguilar, cédula de identidad número 5-0441-0697, titulado **Estudio Hidrológico para la determinación del uso consuntivo de los productos agrícolas en Santa Cecilia, Guanacaste, Costa Rica**, para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica.

He revisado y corregido errores gramaticales, de puntuación y ortografía, construcción de párrafos, vicios del lenguaje y otros aspectos relacionados con el campo filológico que se manifestaron en el documento escrito y, desde ese punto de vista, considero que con las correcciones realizadas dicho documento está listo para ser presentado como trabajo final de graduación, por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad Nacional de Costa Rica, sede Chorotega.

Atentamente,


Lic. Ronulfo Vargas Vargas
Céd. ident. 6-0062-0500
Carné 4838
Colegio de Licenciados y Profesores.

Lic. Ronulfo Vargas V.
Filólogo
Carné 4838 - Tel. 8875-3728