

Universidad Nacional, Costa Rica
Sede Regional Chorotega
Campus Liberia

**“Análisis hidrológico para optimizar la sostenibilidad del suministro de agua en el
Distrito de Riego Arenal-Tempisque, Guanacaste, Costa Rica.”**

Trabajo Final de Graduación – Modalidad Pasantía
Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica

Sustentante(s):

Ismael Soto Gamboa
504400465

Supervisor:

Lic. Geovanni Vega Salas
Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.

Equipo asesor:

Tutor

M. Sc. William Gómez Solís
Universidad Nacional, Costa Rica

Liberia, Costa Rica.

Febrero, 2026

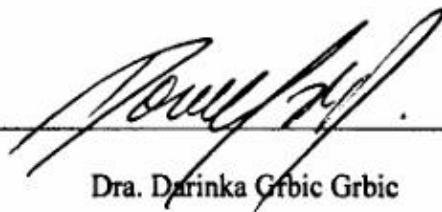
Acta de jurado examinador

El Trabajo Final de Graduación-Modalidad Pasantía: “Análisis hidrológico para optimizar la sostenibilidad del suministro de agua en el distrito de riego Arenal Tempisque, Guanacaste, Costa Rica.”



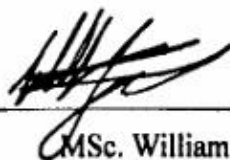
MGFP. Arnoldo Martínez Solís

Representante de Decanatura, Sede Regional Chorotega.



Dra. Darinka Grbic Grbic

Representante de Dirección Académica Universidad Nacional, campus Liberia



MSc. William Gómez Solís

Tutor

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron durante el desarrollo de mi pasantía. También expreso mi gratitud al equipo de trabajo de la red primaria del DRAT por su valiosa ayuda y conocimiento compartido, y a la Universidad Nacional por proporcionarme todos los recursos necesarios para llevar a cabo esta experiencia.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, cuyo esfuerzo incansable y espíritu de superación me han permitido alcanzar mis sueños. Esta obra es una ofrenda en reconocimiento de sus innumerables horas de trabajo y del amor incondicional que siempre me han brindado.

Resumen ejecutivo

El presente trabajo es una recopilación de las actividades y proyectos realizados durante la pasantía como asistente en el Distrito de Riego Arenal-Tempisque (DRAT). El objetivo primordial de la pasantía fue analizar hidrológicamente el suministro de agua para optimizar la sostenibilidad del Distrito de Riego Arenal-Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Las metodologías empleadas se centraron en el cálculo de las demandas hídricas de los cultivos mediante el coeficiente K_c , adaptado de la metodología desarrollada por Allen et al. (2006), en la estimación de pérdidas por infiltración en canales sin revestimiento, en muestreos de suelos y en estudios preliminares para la implementación de un laboratorio de suelos. Entre los principales resultados se determinó que, al menos durante el período de diciembre a mayo, el DRAT es indispensable para la agricultura en la región. Además, a partir del análisis de la información de suelos y de los canales del DRAT, se evidenció una importante carencia de información con el que actualmente trabaja el SENARA. Las principales recomendaciones para la institución se orientan hacia la mejora continua de los sistemas de riego y drenaje, la implementación de un cobro diferenciado a los usuarios y el fortalecimiento de la relación con los agricultores.

Executive Summary

This report compiles the activities and projects undertaken during the internship as an assistant at the Arenal-Tempisque Irrigation District (DRAT). The primary objective of the internship was to conduct a hydrological assessment of the water supply to enhance the sustainability of the Arenal-Tempisque Irrigation District, located in Guanacaste, Costa Rica. The methodologies applied focused on estimating crop water requirements through the K_c coefficient, adapted from the methodology developed by Allen et al. (2006). Additional methods included the evaluation of infiltration losses in unlined canals, soil sampling, and preliminary studies aimed at the establishment of a soil laboratory. The main findings indicate that, during the period from December to May, the DRAT is indispensable for agricultural production in the region. Moreover, the analysis of soil data and canal conditions revealed a significant gap in the information currently available to SENARA. Based on these results, the recommendations for the institution emphasize the continuous improvement of irrigation and drainage systems, the adoption of a differentiated fee structure for users, and the promotion of stronger collaboration with farmers.

Índice de contenido

Dedicatoria	iii
Resumen ejecutivo	iv
Executive Summary	iv
Índice de contenido	v
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	vii
Glosario y Abreviaturas	viii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo General.....	4
1.3. Justificación	4
1.4 Alcance y limitaciones.....	5
Capítulo 2. Consideraciones especiales	7
Capítulo 3. Antecedentes	9
3.1. Localización Geográfica	9
3.2. Información hidrológica	9
3.3. Actividades socioeconómicas	10
Capítulo 4. Sistematización de experiencias	11
4.1 Cálculo de las demandas teóricas de agua por tipo cultivo en el DRAT.....	11
4.2 Otras actividades.....	23
Capítulo 5. Lecciones Aprendidas	33
5.1 Lecciones del proyecto	33
5.2 Lecciones en general.....	35
5.3 Recomendaciones para la empresa	36
5.4 Recomendaciones para el ejercicio de la Ingeniería Hidrológica.....	37
Capítulo 6. Bibliografía	38
Anexos	42

Índice de figuras

Figura 1.....	3
Figura 2.....	8
Figura 3.....	10
Figura 4.....	13
Figura 5.....	28
Figura 6.....	29
Figura 7.....	31
Figura 8.....	32

Índice de tablas

Tabla 1.	15
Tabla 2.	18
Tabla 3.	19
Tabla 4.	20
Tabla 5.	21
Tabla 6.	21
Tabla 7.	22

Glosario y Abreviaturas

ARDESA: Complejo hidroeléctrico Arenal, Dengo y Sandillal

DRAT: Distrito de Riego Arenal Tempisque.

ETc: evapotranspiración del cultivo

ETo: evapotranspiración del cultivo de referencia

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

Kc: coeficiente del cultivo

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

SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se busca orientar sobre la situación que se presenta en la región respecto al recurso hídrico, además, una justificación donde se manifiestan los argumentos de la realización del proyecto, igualmente en este capítulo se exponen los objetivos que se pretenden alcanzar, así como los alcances y limitaciones existentes en la ejecución del estudio.

1.1 Introducción

El agua es un recurso vital para la vida y el desarrollo de las comunidades, es uno de los recursos más utilizados en la producción de alimentos. Su demanda es significativa en todas las etapas de la cadena de producción, especialmente en el sector primario. No obstante, este recurso no se encuentra disponible en igual medida alrededor del mundo; en algunas regiones los periodos de sequía pueden extenderse por varios meses (Quesada et al, 2020).

Este es el caso de la región del Pacífico Norte de Costa Rica, en la provincia de Guanacaste, esta región se caracteriza por tener dos épocas a lo largo del año, una época lluviosa y una época seca donde los eventos de sequía ocurren con normalidad, sin embargo, este fenómeno se ha estado agravando (Paterson, 1992).

En la época seca las precipitaciones del Pacífico Norte de Costa Rica pueden llegar a ser nulas en algunos meses, mientras que en la época lluviosa las precipitaciones pueden ser superiores a los 200 mm por mes (Solano y Villalobos, 2001). Estos eventos tan asimétricos de lluvia generan problemáticas relacionadas al acceso y a la distribución del recurso hídrico en la zona limitando el desarrollo social.

En el año 2011 la provincia de Guanacaste albergaba una población aproximada de 326 000 habitantes, y para el año 2022 la población aumentó a 412 000 habitantes, casi 100

000 habitantes en once años (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2023). Este crecimiento puede estresar los recursos, principalmente el agua, altamente demandada por la agricultura y la ganadería. Según la FAO (2019), el consumo de agua de estas actividades representa cerca del 70 % del uso mundial.

Particularmente en la provincia de Guanacaste la agricultura ha crecido en los últimos años, no obstante, históricamente la región ha enfrentado retos para administrar el recurso hídrico debido a las condiciones climatológicas de la región, es por esto por lo que se creó el DRAT con el objetivo de administrar el recurso hídrico de la región e impulsar el desarrollo social (O'neal, 2017).

De acuerdo con el Decreto Ejecutivo N°15321-MAG, el DRAT, es una dependencia del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), el cual tiene la potestad de administrar las aguas provenientes del complejo hidroeléctrico Arenal, Dengo y Sandillal (ARDESA), con el fin del aprovechamiento del recurso hídrico para la irrigación en los cantones de Cañas, Bagaces, Liberia, Carrillo y Abangares. (**Figura 1**).

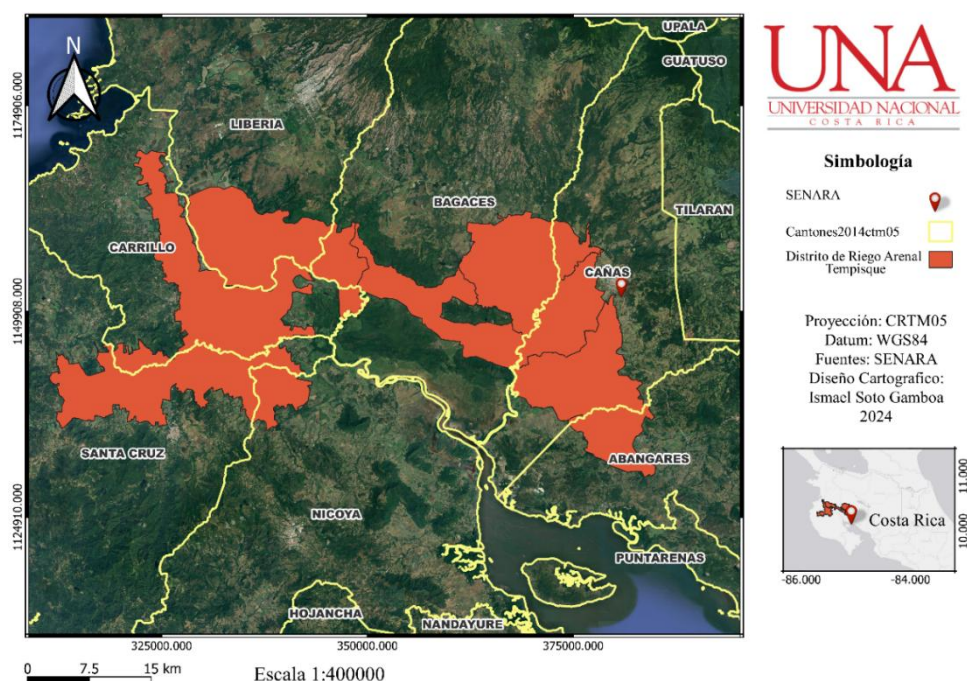
En 1984 el distrito empieza a operar bajo el nombre del DRAT, donde sus oficinas se encuentran ubicadas en el cantón de Cañas, Guanacaste. Sus principales actividades giran en torno a:

- Operar el sistema DRAT para brindar el servicio al público de agua de calidad al total de la demanda según la disponibilidad del recurso hídrico.
- Brindar el mantenimiento y reparaciones necesarias a la infraestructura del DRAT para asegurar la prestación del servicio público de agua en la cantidad y calidad requeridas.

- Invertir en la mejora de la infraestructura del DRAT para asegurar la prestación del servicio público de agua en la cantidad y calidad requeridas.

Figura 1.

Mapa del Distrito de Riego Arenal-Tempisque



Fuente: Elaboración propia (2024).

Actualmente el distrito de riego cuenta con aproximadamente 30000 ha habilitadas para la irrigación y de acuerdo con el reglamento de *Servicios de Riego para los Distritos* (SENARA, 1999), los usuarios del distrito de riego “es toda aquella persona física o jurídica propietaria de un inmueble que recibe agua de un distrito para emplearla en los fines estipulados por la Ley del SENARA”. La metodología que se utiliza en el DRAT para suplir la demanda hídrica que tienen los usuarios del distrito es por medio de una red de canales abiertos que funcionan por gravedad y por bombeo, donde el recurso hídrico se distribuye a

los subdistritos de riego; Cañas, Lajas, Piedras, Cabuyo, Tempisque, Abangares y PAACUME

El subdistrito denominado como PAACUME, es un proyecto que está en ejecución que se denomina *Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Cuenca Media del río Tempisque y Comunidades Costeras*, este proyecto pretende ampliar el área de riego en 18 400 ha, dotando a aproximadamente a 800 usuarios (productores) y daría agua potable a unas de 500 000 personas (SENARA, 2022).

Los objetivos principales del DRAT-SENARA radican en Fomentar el desarrollo agropecuario de la región, mediante el uso y la aplicación de sistemas de riego, avenamiento y sistemas protección contra inundaciones, enfocados a desarrollar proyectos de desarrollo agropecuario que se sustenten en una justa distribución de la tierra. Además de mejorar la condición socioeconómica de la región, mediante la creación de nuevas fuentes de empleo y el incremento de los ingresos de los productores (SENARA, 1983).

Dado lo anterior se plantea como objetivo general de la pasantía analizar hidrológicamente el suministro de agua para optimizar la sostenibilidad del distrito de riego Arenal-Tempisque, Guanacaste, Costa Rica.

1.2 Objetivo General

Analizar hidrológicamente el suministro de agua para optimizar la sostenibilidad del Distrito de Riego Arenal-Tempisque, Guanacaste, Costa Rica.

1.3. Justificación

El propósito de la pasantía se basa en realizar estudios hidrológicos en el DRAT dado que estos se enfocan en el análisis de la distribución, movimiento y calidad del agua superficial de una cuenca hidrográfica, utilizando modelos matemáticos para predecir y

calcular caudales, disponibilidades y las demandas hídricas de un sistema, siendo una herramienta importante para la gestión integral de los recursos hídricos (Umaña, 2014).

Teniendo en cuenta que los objetivos del DRAT principalmente se basan en brindar el servicio del recurso hídrico a los usuarios, además de fomentar el desarrollo agropecuario de la región (SENARA,1983), se vuelve imperativo contar con análisis hidrológicos que permitan suministrar el recurso hídrico de manera sostenible para el desarrollo agropecuario del DRAT.

Bajo esta premisa la oportunidad de realizar análisis hidrológicos durante la pasantía podría ser favorable a contribuir directamente a la consecución de los objetivos del DRAT, así como la generación de información competente en la región en el ámbito de la hidrología que se podría utilizar en futuras investigaciones.

Por último, esta experiencia podrá brindar una perspectiva más extensa sobre los desafíos y oportunidades presentes en el ámbito profesional. Al tener una comprensión más profunda de la interacción entre la teoría y la práctica en la ingeniería hidrológica, se estará mejor preparado para enfrentar los desafíos del mundo laboral y contribuir de manera significativa al desarrollo sostenible en el campo de la ingeniería hidrológica.

1.4 Alcance y limitaciones

1.4.1 Alcances:

1. **Modelación de demandas hídricas:** El proyecto busca calcular las demandas hídricas de cultivos como el tabaco, piña, chile dulce y plátano, utilizando datos disponibles de climatología y calendarios de riego del DRAT.
2. **Análisis de eficiencia de canales:** Se abordará el cálculo de eficiencias en canales revestidos y sin revestir, considerando posibles filtraciones e infiltraciones.

3. **Calendarios de riego:** El proyecto incluirá la elaboración de calendarios de riego mensual para optimizar la gestión hídrica en el DRAT.

1.4.2 Limitaciones:

1. **Falta de información sobre los suelos:** La poca información detallada sobre las características de los suelos en el DRAT afecta la precisión en los cálculos de balances hídricos y la modelación de la demanda hídrica de los cultivos.
2. **Registro de cultivos semestral:** La institución solo cuenta con registros semestrales de los cultivos en cada parcela de riego, lo que introduce inconsistencias en la estimación de demandas hídricas mensuales.
3. **Cálculos teóricos en la modelación:** Aunque se cuenta con datos climáticos extensos y se realizaron consultas sobre las fechas de siembra y cosecha, las demandas hídricas siguen basándose en cálculos teóricos. Esto podría introducir sesgos al no considerar completamente las variaciones dinámicas del clima y el comportamiento de los cultivos en campo.

Capítulo 2. Consideraciones especiales

La pasantía se llevó a cabo bajo una metodología mixta con enfoque cuantitativo, que combino procesos de análisis de información, modelación hidrológica y actividades de apoyo en campo. El trabajo se organizó de manera que se integren tanto la gestión de datos como la interpretación de variables hidrológicas y agrícolas, con el fin de aportar insumos técnicos para la toma de decisiones en el DRAT.

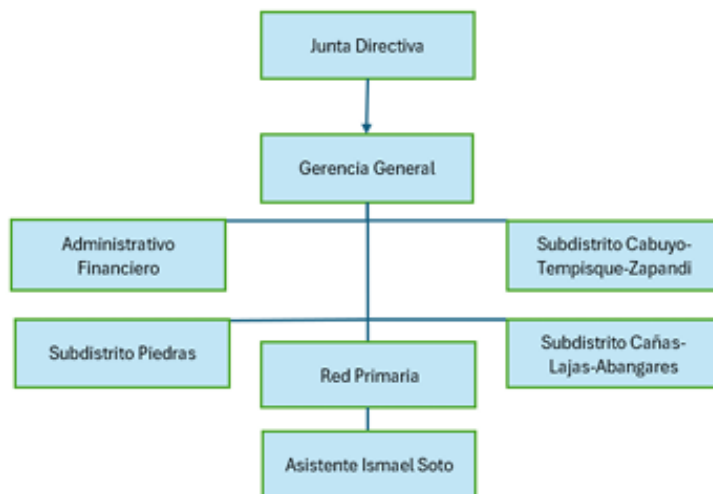
La jornada laboral se desarrolló de forma presencial en las oficinas de SENARA en Cañas, Guanacaste, con un horario regular de lunes a miércoles de 8:00 a.m. a 4:00 p.m., sujeto a ajustes según las necesidades académicas o institucionales. Este esquema combino el trabajo de oficina, orientado al análisis y elaboración de informes, con salidas de campo puntuales destinadas a fortalecer la comprensión de los sistemas de riego y a validar la información disponible.

La ubicación de la pasantía correspondió al área de Red Primaria e Hidrometría del DRAT (ver **Figura 2**), un espacio técnico integrado por cuatro ingenieros especialistas bajo la coordinación del Lic. Geovanni Vega Salas. En este contexto cumpliendo el rol como asistente dentro del equipo, participando en procesos de análisis, modelación y evaluación de información. A nivel académico, se contó con la supervisión del M.Sc. William Gómez Solís como tutor.

El plan de actividades generales contempló procesos orientados a la evaluación del uso y la gestión del recurso hídrico, el análisis de la información meteorológica e hidrológica y la generación de propuestas metodológicas que contribuyan al fortalecimiento de la gestión técnica del DRAT.

Figura 2.

Ubicación en la estructura organizacional de SENARA.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Como resultados de la pasantía se elaboraron informes técnicos, bases de datos sistematizadas, propuestas metodológicas y presentaciones que evidenciaron los avances alcanzados. Dichos productos estuvieron orientados a proveer herramientas que fortalecieron los procesos de gestión hídrica y generaron información de utilidad para la toma de decisiones en el DRAT.

Finalmente, se reconoce que la pasantía se desarrolló en un entorno dinámico, con recursos institucionales disponibles como software especializado, bases de datos históricas y acompañamiento de profesionales con experiencia. La combinación de análisis técnico, validación en campo y colaboración con el equipo de especialistas propicio alcanzar los objetivos planteados y garantizar que los resultados contribuyan a la sostenibilidad de la gestión del recurso hídrico en el DRAT.

Capítulo 3. Antecedentes

En el presente capítulo se describen los antecedentes de la empresa, donde se abarcan las generalidades del área bajo influencia de estudio, resaltando aspectos como la localización geográfica, las actividades socioeconómicas y los objetivos de DRAT, además, de contemplar las principales fuentes hidrológicas de las cuáles el distrito se abastece

3.1. Localización Geográfica

El DRAT se encuentra ubicado en la provincia de Guanacaste, su área abarca los cantones de Cañas, Bagaces, Liberia, Carrillo y Abangares, específicamente en los distritos de Cañas, San Miguel, Porozal, Bebedero, Bagaces, Palmira, Belén, Filadelfia, Sardinal, Colorado, Juntas y Liberia. En la Figura 1 se muestra la localización del distrito de riego donde se resalta el área que se abarca en cada cantón.

3.2. Información hidrológica

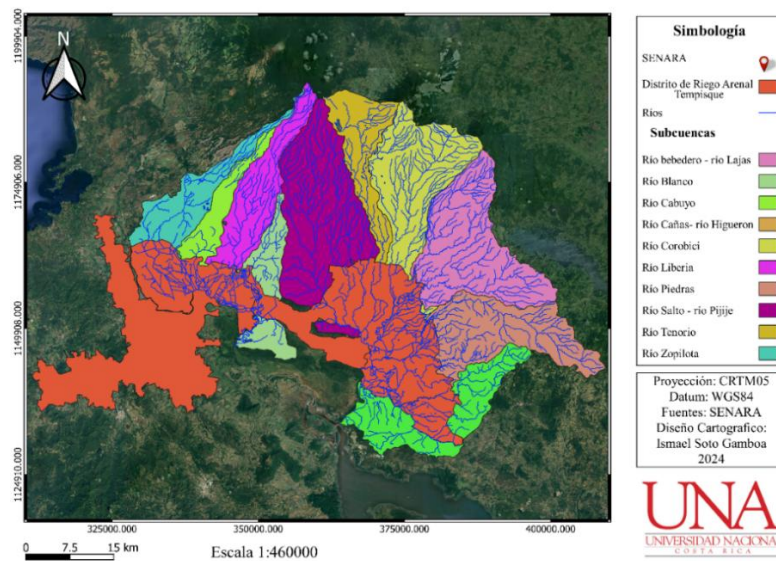
El DRAT se encuentra dentro del sistema hidrográfico Tempisque-Bebedero, el cual posee un área aproximada de 5450 km², abarcando el 53% de la provincia de Guanacaste y un 11% del territorio nacional (Rojas, 2011). Las aguas que abastecen al DRAT principalmente provienen de la cuenca del río Arenal y la cuenca del río Cote, donde ambas pertenecen a la vertiente Caribe, cuya precipitación promedio anual es de 4260 mm, esto se logró gracias al trasvase del agua que se acumula en el embalse Arenal hacia la cuenca del río Tempisque para el aprovechamiento en el complejo hidroeléctrico ARDESA y posterior su uso en el distrito para la irrigación (SENARA, 2020).

Además, las cuencas principales que drenan a través de los Subdistritos de riego son: río Bebedero, río Lajas, río Blanco, río Cabuyo, río Cañas, río Higuerón, río Corobicí, río

Magdalena, río Piedras, río San Jerónimo, río Salto, río Pijije, río Tenorio y la subcuenca río Zopilota. En la **Figura 3** se puede observar las subcuencas y la red hidrográfica que drenan al DRAT.

Figura 3.

Mapa de las subcuencas que drenan a través del Distrito de Riego Arenal Tempisque.



Fuente: Elaboración propia (2024).

3.3. Actividades socioeconómicas

Las principales actividades productivas en la región ligadas directamente al DRAT se desglosan de la agricultura y la piscicultura, siendo la caña de azúcar, el arroz y el pasto los tres cultivos que más se siembran en los diferentes subdistritos, donde aproximadamente el 58 % del área del DRAT se utiliza para la siembra de la caña de azúcar, el arroz y el pasto utilizan el 24 % y el 11 % del total del área respectivamente, en conjunto estos tres cultivos con el resto de los cultivos menores generan más de 4000 empleos, por su parte la piscicultura genera más de 1000 empleos directos, donde la producción anual de DRAT se estima en \$ 142 millones (SENARA, 2020).

Capítulo 4. Sistematización de experiencias.

Para este capítulo el enfoque va a estar centrado en realizar una sistematización de experiencias recopilando los antecedentes, la metodología y los resultados obtenidos de los proyectos individuales desarrollados a lo largo de la pasantía, cada uno de los proyectos está ligado a una actividad específica desarrollada en conjunto con otros profesionales del DRAT.

4.1 Cálculo de las demandas teóricas de agua por tipo cultivo en el DRAT.

Este proyecto se elaboró debido a la necesidad que presenta el DRAT de implementar un cambio en el sistema de cobros del recurso hídrico de los usuarios, pasando de un cobro por hectárea a un cobro volumétrico para el año 2025, donde el objetivo de calcular la demanda teórica de cada cultivo va a servir para realizar ajustes en el modelo económico que tiene la institución debido a las diferencias entre el flujo de las entradas por mes en el sistema de cobro volumétrico en comparación del cobro por hectárea. Además, esta información podría servir como insumo para establecer un cobro diferenciado por mes en el recurso hídrico que suministra el DRAT a razón de la disponibilidad y el uso que posee el agua en un determinado mes.

4.1.1 Antecedentes.

Desde la creación del DRAT en 1984 hasta el año 2014 el proceso del cobro del recurso hídrico en el distrito se llevó a cabo por medio del total de hectáreas a regar de cada usuario. A partir del año 2014 se estipuló el cambio en el sistema de cobro por hectárea a un sistema de cobro por volumen de agua consumido, mediante el “Modelo regulatorio para las tarifas de suministro de agua en el Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT) del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA)”. De acuerdo con La

GACETA (2014), “El modelo tarifario propuesto tiene como objetivo fundamental promover las condiciones para el uso eficiente del recurso hídrico, estableciendo el cálculo de la tarifa basado en la medición del consumo volumétrico de las actividades hidro productivas”.

De acuerdo con el modelo regulatorio se establece que mientras no exista un sistema de medición volumétrica en el DRAT, el volumen para riego se deberá calcular con base en los coeficientes de cultivo K_c , establecidos por la FAO. La tarifa designada por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) para el cobro del metro cúbico consumido para el periodo 2023-2024 se estableció en $\text{¢ } 2,41$ (SENARA, 2023). Sin embargo, en el DRAT no se ha implementado el cobro volumétrico en toda el área, esto se debe principalmente a los costos elevados de cambiar a un nuevo sistema de aforo en las tomas de las parcelas de cada usuario.

4.1.2 Metodología.

Para la demanda teórica de agua por cultivo se utilizó la Guía para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos de la FAO (Allen et al, 2006). utilizando el coeficiente K_c ajustado a la región, debido a que los datos que se presentan en la guía para los cultivos son bajo ciertas condiciones y tienen la peculiaridad de que se ven afectados por la humedad y la velocidad del viento, así como por el tipo de suelo y los eventos de humedecimiento en la etapa inicial de los cultivos

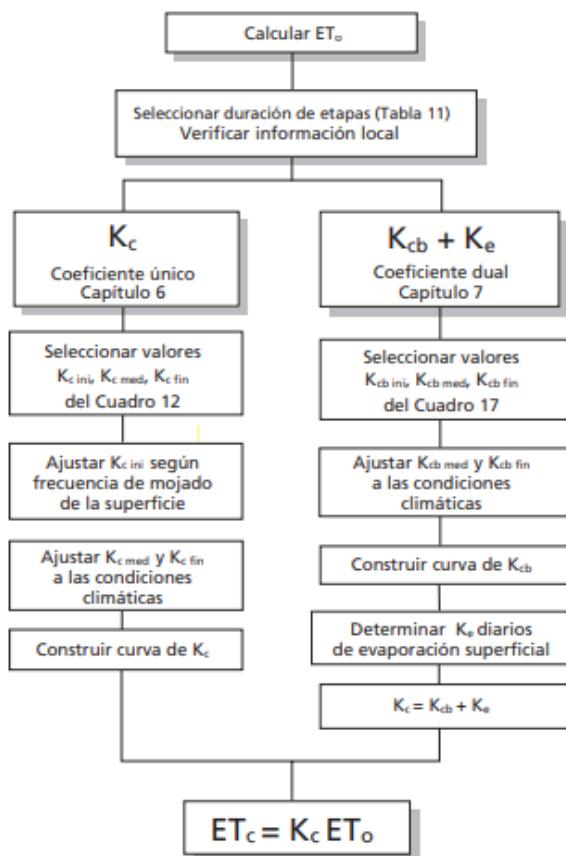
I. Coeficiente de cultivo (K_c) ajustado a la región

Inicialmente se planteó la búsqueda del Coeficiente K_c “regionalizado” en la literatura sobre los valores de la cédula de cultivos que posee el DRAT. Sin embargo, existe muy poca información o casi nula respecto a los valores de los K_c ajustado a la región del Pacífico Norte de Costa Rica, es por lo cual se decidió calcular los valores de la K_c utilizando

el procedimiento general para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) o uso consuntivo de la **Figura 4**. Para este caso se decidió optar por el K_c único debido a que no se cuentan con la información de tipo de suelo y textura, además de que no se tiene un registro detallado de los eventos de riego ni la humedad en el campo, los cuales son datos necesarios para poder obtener la K_c dual.

Figura 4.

Ilustración de cuadrado planteado por la FAO para el cálculo del uso consuntivo.



Fuente: Allen et al, 2006.

II. Cálculo de la ET_0

Para el cálculo de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o), se planteó utilizar la ecuación de Penman-Monteith la Ecuación 1, debido a que en la guía de la FAO se menciona que esta ecuación es la más aceptada a nivel global, presentado la menor variación entre los datos reales a los datos teóricos de evapotranspiración.

El valor de la ET_o se calculó para cada uno de los subdistritos del DRAT mediante doce estaciones que se encuentran próximas o dentro de la zona de estudio, la serie de datos que poseen las estaciones abarcan un periodo desde 1984 hasta el 2024.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34*U_2)} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

G = flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

U₂ = velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

Y = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

e_s = presión media de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

III. K_c inicial

Para calcular la K_c inicial, es necesario contar con los intervalos de los eventos de humedecimientos y la magnitud de estos, para realizar este cálculo, se toman en cuenta tanto los eventos de riego, como los días de lluvia. No obstante, el DRAT no posee un registro detallado de la magnitud ni de los intervalos de los eventos de riego que poseen los usuarios.

Dado esto, se realizaron entrevistas y encuestas (Anexo 1) a funcionarios del DRAT encargados de brindar la disponibilidad de agua en cada parcela según lo indique el usuario, para poder estimar los eventos de riego. La magnitud de estos se asignó a un evento moderado de humedecimiento dado a que no se cuenta con la información sobre el caudal suministrado. Además, se asignó a dos eventos de riego en los meses secos de acuerdo con los datos

recopilados. Esto se realizó con la finalidad de utilizar la K_c inicial que se presenta en la Tabla 1.

Los eventos de humedecimiento producto de la lluvia se calcularon con base en los días de lluvia con una magnitud mayor a 10 mm, recolectados de la base de datos de las doce estaciones meteorológicas. Además, debido a que la K_c inicial es en gran medida la evaporación del suelo es necesario contar con la extensión del área de suelo que humedece producto del riego o de la lluvia. En Allen et al (2006), se propone un factor de ajuste adimensional con base a la humedad que genera cada tipo de riego. Para el caso del DRAT se escogió como promedio 0,5 como factor de ajuste en consideración al riego por surcos que es el tipo de riego más usado por los usuarios.

Tabla 1.

K_c inicial aproximado según eventos moderados de humedecimiento (10-40 mm).

Intervalo de eventos de humedecimiento	Evapotranspiración de un cultivo de referencia (E_{To})			
	Bajo 1-3 mm día ⁻¹	Moderado 3-5 mm día ⁻¹	Alto 5-7 mm día ⁻¹	Muy alto >7 mm día ⁻¹
Menor que semanal	1,2-0,8	1,1-0,6	1,0-0,4	0,9-0,3
Semanal	0,8	0,6	0,4	0,3
Mayor a una semana	0,7-0,4	0,4-0,2	0,3-0,2	0,2-0,1

Fuente: Allen et al, 2006.

IV. Cálculo de la K_c media y K_c Final

Los valores de la K_c media y K_c final que se exponen en la guía de la FAO, se utilizan en condiciones de humedad mínima 45% y velocidad del viento de dos metros por segundo, es por eso por lo cual se utilizó la Ecuación 2, la cual permite aplicar un factor de ajuste al

Kc a razón de estas dos variables, para poder obtener un Kc medio y un Kc final ajustado a la región. Además, para poder obtener el valor del coeficiente, se realizó un calendario de cultivos para tener bien definidas las diferentes etapas fenológicas que presentan los cultivos, esta información se recopiló de las entrevistas y encuestas aplicadas a los funcionarios.

Para el cálculo de la Kc final se utilizó la Ecuación 2, únicamente realizando un cambio en los datos de la Kc med por los datos de la Kc fin, y utilizando los datos de la etapa final de temporada para las variables de humedad y viento.

$$Kc\ med = Kc\ med(Cua) + [0,04 - (u_2 - 2) - 0,004(HR_{min} - 45)] * \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Kc med (Cua) = valor de Kc medio obtenido del Anexo 2 de la guía de la FAO.

u_2 = valor medio diario de la velocidad del viento a 2 m de altura sobre pasto para la etapa de mediados de temporada [$m\ s^{-1}$], con $1\ m\ s^{-1} \leq u_2 \leq 6\ m\ s^{-1}$ (Anexo 3).

HR_{min} = valor medio diario de humedad relativa mínima durante la etapa de mediados de temporada [%], para $20\% \leq HR_{min} \leq 80\%$ (Anexo 3).

h = altura media de las plantas durante la etapa de mediados de temporada [m] para $0,1\ m < h < 10\ m$.

V. Uso consuntivo (ETc) promedio del DRAT

El uso consuntivo se calculó mensualmente multiplicando la evapotranspiración de referencia (ETo) por el coeficiente de cultivo (Kc) correspondiente a la etapa fenológica de cada cultivo. Este valor se multiplicó por el área aproximada sembrada con el mismo tipo de cultivo en el DRAT (Anexo 4). Posteriormente, se sumaron todos los datos individuales para obtener un total mensual. Con estos valores se realizó el balance hídrico, determinando las necesidades de riego utilizando la Ecuación 3, considerando el uso consuntivo como las salidas y la precipitación promedio mensual en el DRAT como las entradas.

A los datos individuales de uso consuntivo se les aplicó un factor de eficiencia del sistema de riego de 0,4 para el arroz y de 0,52 para los demás cultivos. El coeficiente de 0,52

corresponde a la eficiencia técnica adoptada en el DRAT, atribuida principalmente a las prácticas culturales de los usuarios y al hecho de que la mayoría utiliza el método de riego por gravedad. En el caso del arroz, aunque se utiliza el mismo método de riego, el coeficiente es más bajo (0,4) debido a que se cultiva bajo condiciones de inundación, lo que disminuye la eficiencia.

Un caso particular se presenta con los cultivos de sandía, melón y algodón, debido a que utilizan un método rudimentario de riego por goteo. Según el criterio técnico de los profesionales del DRAT, para estos cultivos se asigna una eficiencia con un coeficiente de 0,65.

$$N = \frac{(ETc - (P_e * A))}{E} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

N= Necesidad de riego (mm/ha/día)

ETc= Uso consuntivo (Evapotranspiración del cultivo) [mm/ha/día]

P_e = Precipitación efectiva diaria (mm/día)

A= Área cultivada (ha)

E= eficiencia de riego

VI. Uso consuntivo (ETc) por subdistrito

Para el uso consuntivo por subdistrito, se utilizaron las áreas de influencia que tienen las estaciones meteorológicas (Anexo 5) para seleccionar los distritos que están ubicadas dentro de dichas áreas, a partir de esto se calculó la ETo y los diferentes Kc utilizando los datos de las estaciones meteorológicas para cada subdistrito. En los subdistritos donde el área de influencia de una estación cubre más de un subdistrito se realizaron agrupaciones según las estaciones meteorológicas. Por último, para calcular las demandas del DRAT se sumaron las necesidades de riego de los grupos de subdistritos.

VII. Validación de resultados

Con el objetivo de verificar las fechas de siembra y cosecha de los cultivos, así como identificar si existen de técnicas comunes de cultivo que puedan influir en el consumo hídrico de las plantas, se realizaron entrevistas a usuarios del DRAT. Estas entrevistas se llevaron a cabo mediante un muestreo por conveniencia, enfocándose en usuarios que poseen fincas dedicadas al cultivo de papaya, pasto, arroz, sandía, caña de azúcar y leguminosas. Además, se compararon los datos de las demandas hídricas con el consumo real que poseen los cultivos de caña de azúcar, arroz y pasto en 14 parcelas que poseen un hidrómetro en la toma de parcela

4.1.3 Resultados obtenidos

Los valores promedio mensuales de la ETo en el DRAT son variados y su valor depende mucho del mes, como se puede observar en la Tabla 2 el mes de octubre es el mes con el valor más bajo. Aun así, este dato es moderado debido a que la tasa de evapotranspiración diaria es superior a los 3 mm, siendo un valor moderado si se compara con la Tabla 1.

Tabla 2.

Evapotranspiración promedio diaria de cada mes en el DRAT.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm día ⁻¹)	5,84	7,01	7,54	6,71	4,93	4,19	4,45	4,28	4,03	3,56	3,78	4,76

Fuente: Elaboración propia (2024).

La Kc inicial está estrechamente relacionado a la cantidad de humedad tenga el suelo. Como se puede observar en la Tabla 3, los meses con un Kc inicial más alto coinciden con los meses que presentan mayor cantidad de eventos de humedecimiento.

Tabla 3.

Kc inicial según evapotranspiración promedio diaria y eventos de humedecimiento por mes en el DRAT.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET _o (mm día ⁻¹)	5,84	7,01	7,54	6,71	4,93	4,19	4,45	4,28	4,03	3,56	3,78	4,76
Eventos de humedecimiento	2	2	2	4	9	10	6	10	13	14	6	3
Kc inicial	0,3	0,2	0,3	0,4	0,9	0,9	0,6	0,9	0,9	0,9	0,6	0,35

Fuente: Elaboración propia (2024).

A partir del calendario de cultivos (Anexo 6) se determinó de que era necesario clasificar por grupos a un mismo tipo de cultivos según los meses de siembra y cosecha, debido a que con la información recolectada de los funcionarios se pudo identificar que algunos cultivos como la caña y el arroz tienen ciertas peculiaridades.

El caso de la caña tiene la singularidad de que la siembra y cosecha se da en un periodo continuo de cuatro meses, generando un desfase en las etapas fenológicas en comparación del agricultor que sembró en el primer mes y aquellos que siembran al cuarto mes. En la Tabla 4 se presentan los Kc de las diferentes etapas fenológicas, así como los Kc de los grupos de cultivo.

Tabla 4.

Coficiente de cultivo único en las diferentes etapas fenológicas de los cultivos del DRAT.

Kc Cultivo	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Altura (m)
Melón	0.32	0.62	0.92	0.67	0.3
Sandía	0.32	0.70	1.07	0.82	0.4
Maíz 1	0.45	0.79	1.13	0.58	2
Maíz 2	0.45	0.78	1.11	0.57	2
Arroz 1	1.13	1.17	1.20	0.78	1
Arroz 2	1.10	1.16	1.21	0.75	1
Caña 1	0.16	0.70	1.24	0.72	3
Caña 2	0.20	0.71	1.22	0.75	3
Caña 3	0.20	0.71	1.22	0.78	3
Caña 4	0.18	0.70	1.23	0.81	3
Cítricos	0.70	0.68	0.65	0.70	4
Papaya	0.40	0.69	0.98	1.05	2.5
Piña	0.50	0.34	0.28	0.30	0.9
Chile Dulce	0.90	1.00	1.10	0.95	0.7
Plátano	0.90	0.99	1.08	1.03	3
Sorgo	0.45	0.74	1.03	0.53	2
Yuca	0.18	0.66	1.15	0.48	1
Cebolla	0.75	0.83	0.91	0.65	0.4
Leguminosas	0.54	0.84	1.13	0.57	0.4
Pastos	0.50	0.76	1.01	0.80	0.45
Algodón	0.54	0.85	1.15	0.61	1.3

Fuente: Elaboración propia (2024).

De acuerdo con los datos de la tabla 5, la necesidad de riego ($m^3/día$) fluctúa significativamente a lo largo del año, dependiendo de la precipitación y la etapa de crecimiento de los cultivos. En los meses de agosto a noviembre, la precipitación es suficiente para reducir la demanda de agua, resultando en una necesidad de riego baja o nula como es el caso de septiembre y octubre. Por otro lado, la cantidad total de agua (m^3/mes) necesaria, sigue una tendencia decreciente desde abril hasta noviembre, con un pico ascendente en el mes de julio el cual podría deberse a los veranillos que se presentan en este periodo según Solano y Villalobos (2001).

Tabla 5.*Necesidades de riego promedio por mes en el DRAT.*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Total (mm/ha/mes)	7.86	8.61	9.22	7.61	1.01	0.69	4.50	0.66	0.00	0.00	1.07	5.75
Total (m ³ /mes)	78.6	86.1	92.2	76.1	10.1	6.9	45.0	6.6	0.0	0.0	10.7	57.5
Total (m ³ /día)	2.58	2.82	3.02	2.49	0.33	0.23	1.48	0.22	0.00	0.00	0.35	1.89

Nota: Los valores están en millones, Fuente: Elaboración propia (2024).

A partir del análisis de las necesidades de riego, basado en la sumatoria de los subdistritos presentados en la Tabla 6, se observa que, en general, estas necesidades son menores o iguales a las obtenidas con los datos promedios del DRAT. Sin embargo, en el mes de noviembre se registra un aumento en las demandas de riego (+0,07). Estas variaciones se pueden atribuir a las particularidades de cada subdistrito que presentan un rango de condiciones climáticas diferente en comparación con los promedios generales del DRAT.

Tabla 6.*Sumatorio de las necesidades de riego de los subdistritos por mes en el DRAT*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Total (mm/ha/mes)	7,19	7,73	8,30	7,20	0,96	0,71	4,51	0,58	0,00	0,00	1,27	5,54
Total (m ³ /mes)	71,91	77,32	83,04	71,98	9,61	7,08	45,05	5,78	0,00	0,00	12,73	55,40
Total (m ³ /día)	2,36	2,54	2,72	2,36	0,32	0,23	1,48	0,19	0,00	0,00	0,42	1,82

Nota: Los valores están en millones, Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto a la validación de los datos, se constató que las fechas de siembra y cosecha de los cultivos, obtenidas a partir de las entrevistas realizadas a los funcionarios del DRAT, coinciden con el rango de fechas proporcionado por los usuarios. Además, para la mayoría de los cultivos no se identificó ninguna técnica de manejo de cultivos generalizada en el DRAT que pudiera tener un impacto significativo en la demanda hídrica. Sin embargo, se

tiene que para el cultivo del arroz existe una práctica común donde los agricultores antes de empezar el ciclo vegetativo del cultivo inundan el campo con la finalidad eliminar plagas y reducir la compra de pesticidas, generando un mayor consumo.

Por otro lado, los análisis de las mediciones de los 14 hidrómetros reflejan un panorama distinto a lo expuesto a partir de las necesidades de riego para los cultivos de arroz, pasto y caña de azúcar. En la Tabla 7 se expone la diferencia entre el consumo real y la demanda teórica calculada donde se evidencia una reducción importante de más de 2500 m³ en el consumo de la caña respecto a la demanda efectiva (ETc). Por otro lado, en el caso del arroz el consumo es mucho mayor (+18000 m³) en comparación a la demanda efectiva, esto podría deberse a la práctica generalizada de inundar el campo, así como infiltraciones en el suelo mayores a lo estimado por medio de la metodología planteada.

Tabla 7.

Diferencia entre el consumo real y la demanda efectiva teórica.

Cultivo	Demanda	Consumo	Diferencia
Caña de azúcar	7 114,86	4 333,20	-2 781,66
Pastos	5 755,67	9 749,51	3 993,84
Arroz	13 224,66	31 688,80	18 464,14

Fuente: Elaboración propia (2024).

4.2 Otras actividades

4.2.1 Propuesta metodológica para hallar las eficiencias de conducción en los canales sin revestimiento del DRAT.

En esta sección, se abordará el estudio de las eficiencias de conducción en los canales de riego del DRAT, enfocándose en los factores que afectan la pérdida de agua durante su transporte. El análisis se centrará en la identificación y cuantificación de pérdidas por infiltración, evaporación, y otras posibles fugas que impacten la eficiencia general del sistema de conducción.

i. Antecedentes

Los canales de riego, especialmente aquellos sin revestimiento, son propensos a pérdidas de agua debido a la infiltración en el suelo, la evaporación en la superficie del agua y posibles fugas en la estructura. De acuerdo con Ipiales (2019), estas pérdidas pueden representar un porcentaje significativo del agua transportada, afectando la disponibilidad de agua para los cultivos y aumentando los costos de operación y mantenimiento.

Históricamente, se han utilizado diferentes metodologías para evaluar las eficiencias de conducción en canales de riego. Algunos de los métodos más comunes incluyen la medición directa del caudal en diferentes puntos del canal, el uso de trazadores para identificar pérdidas y el análisis del balance hídrico a lo largo del canal. Sin embargo, cada metodología presenta limitaciones que deben ser consideradas al momento de su aplicación.

En el DRAT existen aproximadamente 343 kilómetros de canales de riego y 139 kilómetros de canales de drenaje de los cuales se tiene registro que aproximadamente 42 kilómetros están sin revestimiento. Esta red de canales del DRAT está compuesta por dos

canales principales o primarios, los cuales son el canal Oeste y el canal del Sur, Adicionalmente a partir de los canales primarios se derivan los canales secundarios con una longitud total de 240 km de los cuales no se tiene registro de la cantidad exacta de los que están sin revestimiento (SENARA, 2020).

Desde la creación del DRAT en la década de 1980, no se tiene un registro del dato aproximado de las eficiencias de conducción que tienen los canales, donde por falta de información se utiliza el dato de las eficiencias que se menciona en la literatura según el tipo de revestimiento que tenga el canal.

ii. Metodología

A. Selección del Sitio de Estudio:

Se seleccionaron varias secciones representativas de los canales de tierra, considerando diferentes tipos de suelo, condiciones del canal y estados de conservación (bueno, regular, malo).

B. Medición del Caudal:

Se utilizará un caudalímetro Hach FH950 para medir el caudal de agua en diferentes puntos a lo largo del canal. Las mediciones se realizarán bajo condiciones de flujo constante para asegurar la precisión de los resultados. Se registrarán los caudales de entrada y salida de cada sección del canal para calcular la eficiencia de conducción.

C. Pruebas de Infiltración:

Se realizarán pruebas de infiltración utilizando el método de doble anillo para medir la tasa de infiltración del agua en diferentes tipos de suelo en la base del canal. Esta

prueba permitirá determinar la cantidad de agua que se pierde por infiltración a lo largo del canal siguiendo la metodología planteada por Alvarado y Barahona (2017).

Se complementará con la Prueba de Pérdida de Agua en un canal cerrado, donde se llenará una sección del canal y se medirá la tasa de disminución del nivel del agua. Además, se estimará la evaporación por medio del método de la cubeta en cada punto durante 3 días.

D. Análisis de Datos y Cálculo de la Eficiencia de Conducción:

Se analizarán los datos recopilados para calcular la eficiencia de conducción, definida como la relación entre el volumen de agua entregado y el volumen de agua entrante. Se evaluará la eficiencia bajo diferentes escenarios de operación y condiciones del canal.

iii. Resultados esperados

A. Determinación de la eficiencia de conducción de agua:

Un cálculo del porcentaje de eficiencia de los canales, considerando el volumen de agua que entra y sale de cada tramo evaluado. Esto permitirá identificar cuánta agua se pierde en el proceso.

B. Identificación de pérdidas específicas:

Cuantificación de las pérdidas de agua debido a infiltración en el suelo, evaporación superficial, y posibles fugas en la estructura. Esto incluirá tasas de infiltración y evaporación en distintos tipos de suelo y condiciones climáticas de la región.

C. Comparación de eficiencia en diferentes condiciones de canal:

Resultados comparativos que reflejen la eficiencia de los canales en función de factores como el estado de conservación (bueno, regular o malo) y el tipo de suelo, permitiendo evaluar cómo estos factores impactan en la eficiencia de conducción.

4.2.2 Campaña de muestreo de suelos en parcelas de cultivo del DRAT.

En esta sección se aborda la actividad denominada “Campaña de muestreo de los suelos en parcelas de cultivo del DRAT”. Esta actividad se desarrolla en conjunto con el estudiante Carlos Alvarado de la carrera de ingeniería agrícola de la Universidad Técnica Nacional

i. Antecedentes

La actividad se desarrolla dada la necesidad que tiene la Institución de generar datos del tipo de suelos que existen en el DRAT, esta actividad va a servir como un experimento sobre las metodologías que pueden aplicar para en futuros proyectos del SENARA.

ii. Metodología

A. Selección del Sitio de Estudio:

La selección de las parcelas de estudio se determinó en función de la conveniencia y en función de la facilidad de contactar a los usuarios dueños de los terrenos. Además, la determinación de las áreas a muestrear se fijó por medio del software QGIS, donde se brindó una capacitación al estudiante Carlos Alvarado sobre el uso de este (**Figura 5**).

B. Muestreo de suelos:

El muestreo de suelos consta de dos etapas, la primera se basa en el procedimiento para porcentajes de partículas por medio del método Bouyoucos y la segunda procedimientos para obtener densidad aparente por medio de muestras no alteradas.

El muestreo de la primera etapa se realizó en forma zigzag ya que este método garantiza la toma de una mayor cobertura del área, por cada punto de muestreo se tomaron 5 muestras de suelo, las cuales se extrajeron con el barreno a una profundidad de 20 cm, removiendo primeramente con pala o la parte vegetal y así mismo las piedras o algún otro material que interfiera. Luego se mezclaron todas las submuestras del área asignada en un balde y se procedió a realizar el cuarteo de las submuestras, con el objetivo de obtener una muestra compuesta de aproximadamente un kilo.

Para la segunda etapa se utilizó un cilindro metálico para recolectar la muestra del suelo. Donde se procedió a colocar el cilindro sobre la superficie del suelo y con un mazo se golpeó suavemente el cilindro hacia el suelo para insertarlo, el cilindro debe entrar uniformemente sin deformar el suelo dentro del cilindro. Una vez introducido el cilindro a la profundidad necesaria, se utilizó un cuchillo para cortar el suelo alrededor del cilindro, separándolo de la masa de suelo circundante con la finalidad de retirarlo. Ambas muestras se etiquetaron y se guardaron en bolsas plásticas por separado.

Figura 5.

Capacitación sobre el software QGIS el estudiante Carlos Alvarado.



Fuente: Elaboración propia (2024).

C. Análisis de las muestras:

El análisis de las muestras se desarrolló en los laboratorios de la Universidad Técnica Nacional por parte del estudiante Carlos Alvarado.

iii. Resultados obtenidos

En relación con los procesos de muestreos se tiene que es importante realizar visitas de campo para comprobar el estado en el que se encuentra la zona de estudio, esto se debe a que en esta prueba no se realizaron y como consecuente no se contó con que los terrenos presentaban una alta susceptibilidad a inundarse debido a que el ganado pastaba en esa zona con regularidad, lo cual genera características del suelo diferentes a las naturales. En la figura 6 se puede observar el proceso del muestreo con barreno en una finca.

Figura 6.

Muestreo con barreno en una zona con presencia de ganado en pastoreo.



Fuente: Elaboración propia (2024).

4.2.3 Estudios preliminares para la implementación de laboratorio de suelos.

En esta sección se aborda la actividad de una propuesta de un laboratorio de suelos que se desarrolló en conjunto con la Ingeniera Yendry Fallas de SENARA. La actividad se desarrolló dada la necesidad del SENARA de contar con información de suelos de la región sin tener que optar a terceros para poder obtenerla.

i. Antecedentes

Anteriormente, alrededor del año 2000 el DRAT contaba con un laboratorio de suelos, pero debido a falta de recursos y espacio el laboratorio dejó de funcionar y los materiales se guardaron o se donaron a otras instituciones.

ii. Metodología

A. Revisión de inventario:

Para evaluar la viabilidad de reactivar el laboratorio de suelos en SENARA, se realizó un inventario exhaustivo de los materiales y equipos actualmente disponibles. Este inventario permitió identificar los recursos existentes y evaluar el estado en el que se encuentran, con el fin de determinar los insumos adicionales necesarios para lograr que el laboratorio funcione de manera eficiente y con la capacidad requerida.

B. Investigación y cotización de insumos:

Se realizaron investigaciones y se llevaron a cabo reuniones con profesionales que laboran en laboratorios de suelos para conocer los materiales y equipos necesarios para poder operar un laboratorio de suelos. Además, se realizó la consulta a diferentes empresas sobre el costo de los materiales con la finalidad de obtener el monto necesario para volver a reintegrar el laboratorio de suelos del DRAT.

iii. Resultados obtenidos

A partir del inventariado de los equipos y materiales con los que contaba SENARA, se determinó que el equipo principal disponible consistía en dos hornos para calentar muestras, más de 100 frascos de vidrio para el almacenamiento de muestras y algunos insumos básicos, tales como probetas de distintos volúmenes. Sin embargo, el estado general de los equipos resultó ser deficiente; varios de estos se encontraban en condiciones de deterioro considerable, mientras que otros estaban notablemente sucios y con signos de abandono. La Figura 7 ilustra el estado de algunos de estos materiales,

donde se evidencia la falta de mantenimiento y limpieza adecuados que han afectado su funcionalidad y capacidad operativa

Figura 7.

Fotografía de materiales del laboratorio de suelos del DRAT.




Fuente: Elaboración propia (2024).

A partir de las investigaciones y de las reuniones se determinó que existía una significativa carencia de insumos y materiales necesarios para restablecer el laboratorio a un nivel funcional. Este déficit incluye desde equipos básicos para la preparación y manejo de muestras hasta instrumentos específicos para análisis avanzados, que serían necesarios para cumplir con las necesidades de SENARA en estudios de suelo. En respuesta a esta situación, se generaron cotizaciones de diversos proveedores para obtener un panorama detallado de los costos y materiales que se necesitarían para reactivar el laboratorio. **La Figura 8** muestra una lista preliminar de los insumos cotizados, que

incluye desde micropipetas y balanzas de precisión hasta reactivos químicos y accesorios de vidrio.

Figura 8.

Ilustración de una cotización desarrollada por Diprolab para SENARA.

 Diprolab de centroamérica	Diprolab de Centro América Corp. S. A. Cédula Jurídica: 3-101-144478-30 San José, Montes de Oca, San Pedro. Teléfono: 2234-8242	<table border="1"> <tr> <td>COTIZACIÓN No.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>00000058982</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fecha:</td> <td>24/04/2024</td> </tr> </table>	COTIZACIÓN No.		00000058982		Fecha:	24/04/2024
	COTIZACIÓN No.							
00000058982								
Fecha:	24/04/2024							
Cliente: C-00000024 - CLIENTE CONTADO Contribuyente:0000000000								
Atención:	Teléfono: 99999999 País: CRI - Costa Rica							
Vendedor: ND - NO DEFINIDO	Moneda: CRC - Colones Condición Pago: 0 - CONTADO							
Código	Descripción	Cantidad	Precio	Descuento	% Impuesto	Total		
MS-PB	Agitador Magnético/ENTREGA DE EN 90 DÍAS HABILES)	2.00	103,050.00	0.00	13%	206,100.00		
BOE5010624	Beaker vidrio 100mL, boro 3.3.	15.00	2,780.00	0.00	0%	41,700.00		
BOE5010636	Beaker vidrio 250mL, boro 3.3.	8.00	4,125.00	0.00	0%	33,000.00		
BOE5010617	Beaker vidrio 50mL, boro 3.3.	10.00	2,170.00	0.00	0%	21,700.00		
BOE5010648	Beaker vidrio 600mL, boro 3.3.	4.00	4,830.00	0.00	0%	19,320.00		
I3102	Balanza electronica 3100g/0.01g, marca OPTIKA	2.00	485,890.00	0.00	0%	971,780.00		
BOE 8703601	Destilador 4LH, WS4000, 110V	1.00	1,421,050.00	0.00	13%	1,421,050.00		
119	Embudo vidrio espiga corta 100mm	2.00	8,990.00	0.00	0%	17,980.00		
CH0713G-SUP	Gradilla de acero inoxidable, 20mm x 24 tubos EISCO	2.00	6,000.00	0.00	13%	12,000.00		
1529	Guante Nitrilo M	2.00	2,400.00	0.00	0%	4,800.00		
130	Erlenmeyer Vidrio 100mL, boro 3.3, Boeco	1.00	9,090.00	0.00	13%	9,090.00		
128	Erlenmeyer Vidrio 500ML	1.00	3,390.00	0.00	13%	3,390.00		
PH55	TESTER IMPERMEABLE DE PH/TEMP	1.00	93,370.00	0.00	13%	93,370.00		
MA9004	SOLUCION BUFFER PH 4.01 (230 ML)	1.00	9,530.00	0.00	13%	9,530.00		
MA9007	SOLUCION BUFFER PH 7.01 (230 ML)	1.00	9,530.00	0.00	13%	9,530.00		
MA9015	SOLUCION DE ALMACENAMIENTO (230 ML)	1.00	9,530.00	0.00	13%	9,530.00		
MA9016	SOLUCION DE LIMPIEZA (230ML)	1.00	13,120.00	0.00	13%	13,120.00		
0021	Pera 3 pasos (Alla France)	4.00	5,800.00	0.00	0%	23,200.00		
262	Pipeta Serologica 10ML/0.1	2.00	3,340.00	0.00	13%	6,680.00		
264	Pipeta Serologica 25ML/0.1	2.00	7,410.00	0.00	13%	14,820.00		
283	Piseta plastica 500mL	4.00	3,550.00	0.00	13%	14,200.00		
303	Probeta vidrio 1000mL, graduacion blanca, clase A	5.00	21,200.00	0.00	0%	106,000.00		
345	Termometro alcohol rojo -10+150°C	1.00	5,160.00	0.00	13%	5,160.00		
362	Tubo ensayo 16x150mm (18ML)	25.00	250.00	0.00	0%	6,250.00		
001	Agitador de vidrio 7x250mm	3.00	950.00	0.00	0%	2,850.00		

Fuente: Elaboración propia (2024).

Capítulo 5. Lecciones Aprendidas

En este capítulo se enfocará en exponer las principales experiencias y conocimientos adquiridos a lo largo del proyecto. Se presentarán las lecciones aprendidas, tanto específicas del proyecto como generales, y se ofrecerán recomendaciones estratégicas para la empresa.

5.1 Lecciones del proyecto

En esta sección se detallarán las lecciones aprendidas por las diferentes actividades y proyectos desarrollados a lo largo de la pasantía en SENARA.

5.1.1 Lecciones sobre el proyecto de demandas teóricas de agua por cultivo en el DRAT.

Principalmente se aprendió sobre la importancia de un monitoreo constante ajustado a las condiciones del clima y del cultivo, para optimizar el uso del agua para una correcta gestión de los recursos hídricos. Además, se comprendió la necesidad de tener una planificación detallada y flexible para adaptarse a cambios inesperados en el clima y en el desarrollo de los cultivos.

Uno de los principales aprendizajes es que las tecnologías aplicadas en el proyecto DRAT son altamente eficientes para impulsar el desarrollo agrícola regional. Estas tecnologías se enfocan en optimizar el uso de infraestructura de canales, con el objetivo de beneficiar la agricultura sin comprometer el equilibrio ecológico. Un ejemplo de esto es el uso de sifones invertidos, los cuales permiten que el agua de los canales atraviese los lechos de los ríos por debajo, sin interrumpir su flujo natural.

5.1.2 Lecciones de las actividades secundarias.

i. Propuesta metodológica para hallar las eficiencias de conducción en los canales sin revestimiento del DRAT.

Con relación a la actividad aprendí que, a través de metodologías prácticas, como la medición del caudal y las pruebas de infiltración, se pueden identificar pérdidas de agua en los canales. Me di cuenta de que un conocimiento detallado sobre el uso del agua en cada etapa es crucial para evitar el desperdicio y promover prácticas más sostenibles.

ii. Lección en el muestreo de suelos:

Trabajar en la caracterización de suelos me enseñó a utilizar técnicas de muestreo que desconocía y pude observar cómo las condiciones del suelo pueden variar significativamente en tramos relativamente cortos, lo que me hizo valorar la importancia de adaptar prácticas de riego específicas para cada tipo de suelo. Esta experiencia también me enseñó a ser minucioso y a manejar mejor los instrumentos de muestreo.

iii. Estudios preliminares para la implementación de laboratorio de suelos.

La propuesta de un laboratorio de suelos me hizo comprender lo valioso que es contar con infraestructura local para la investigación y el análisis. Este proceso me ayudó a familiarizarme con los equipos de laboratorio, y descubrí que una parte esencial de la ingeniería hidrológica también puede ser proponer y gestionar recursos técnicos. Personalmente esta experiencia fortaleció mis habilidades en la planificación de proyectos y en la evaluación de los recursos necesarios para un laboratorio especializado.

5.2 Lecciones en general

En esta sección se abordan las lecciones generales de realizar la pasantía en el DRAT. Estas lecciones pueden ser aplicadas en otros contextos y proyectos futuros.

5.2.1 Importancia de la Flexibilidad:

Se aprendió que es importante estar preparado para ajustar planes y estrategias según las circunstancias cambiantes. Debido a que esto es crucial para el éxito de cualquier proyecto. Además, mantener una comunicación clara y constante entre todos los miembros del equipo y las partes interesadas, mejora la coordinación y la toma de decisiones.

5.2.2 Capacitación Continua:

Se comprendió que es necesario la actualización y capacitación continua del personal en nuevas tecnologías y metodologías para asegurar la eficiencia y efectividad del trabajo realizado. Además, que implementar un sistema de evaluación continua y retroalimentación permite identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias de manera oportuna.

5.2.3 Rezago en la investigación:

A pesar de que la investigación se encuentre dentro de la misión de SENARA-DRAT, se halló que esta área se encuentra rezagada en múltiples aspectos como por ejemplo la desinformación en las pérdidas de agua que existe en el sistema, existe muy poca información de los tipos de suelos que hay en el DRAT y se tiene un nulo conocimiento sobre el consumo hídrico real que tienen los cultivos.

5.2.4 Relación con los usuarios:

La relación con los usuarios finales, en este caso los agricultores y comunidades beneficiadas, ha sido enriquecedora. He aprendido que, aparte de que son fundamentales para el DRAT en el ámbito de ejecución del proceso operativo, son actores imprescindibles en cuanto a gestión del recurso hídrico, Debido a que algunos agricultores poseen conocimientos en metodologías que promueven un desarrollo agrícola más eficiente y sostenible adaptado a la zona.

5.3 Recomendaciones para la empresa

En el presente apartado se presentan recomendaciones para la empresa basadas en los actividades y proyectos desarrollados, así como de los aprendizajes con el fin de mejorar futuros proyectos y operaciones.

- Continuar invirtiendo en tecnologías de monitoreo y control de riego para mejorar la eficiencia en el uso del agua y aumentar la productividad, además de seguir explorando la viabilidad de implementar un laboratorio de suelos en el DRAT.
- Promover la colaboración interdisciplinaria dentro de la empresa para abordar los desafíos de manera integral y mejorar la toma de decisiones, así como promover la colaboración de los usuarios con la finalidad de recopilar más información. Promover la comunicación y colaboración con los agricultores permitirá conocer y adaptar las estrategias de riego a las condiciones locales y facilitará la implementación de nuevas tecnologías, mejorando la eficiencia general del proyecto.
- Con relación al proyecto de las demandas hídricas de los cultivos, para incentivar el uso eficiente del agua, se sugiere implementar un sistema de cobro diferenciado según

el volumen de consumo. Esta tarifa promovería el uso responsable del recurso y podría incluir un precio especial para los usuarios que adopten prácticas sostenibles o tecnologías de riego de baja demanda.

5.4 Recomendaciones para el ejercicio de la Ingeniería Hidrológica

- Se recomienda implementar programas de formación continua para ingenieros en hidrología y áreas afines, orientados a desarrollar conocimientos especializados en las demandas hídricas de distintos tipos de cultivos y en la optimización de sistemas de riego. Este tipo de capacitación no solo mejoraría la eficiencia en la gestión del agua, sino que también abriría nuevas oportunidades de empleo en el sector agrícola y de recursos hídricos.
- Dado que el proyecto evidenció la necesidad de flexibilidad en la planificación hídrica, otra recomendación es crear modelos de gestión de agua adaptativos que respondan rápidamente a las condiciones cambiantes de clima y consumo. Estos modelos podrían considerar variaciones en la evapotranspiración, el coeficiente de cultivo y el balance hídrico, ajustándose según la época y el tipo de suelo. Además, estos modelos pueden incorporar técnicas predictivas para anticipar las demandas de riego en función de los patrones climáticos estacionales, facilitando una asignación del recurso hídrico más eficiente y sostenible en el tiempo.

Capítulo 6. Bibliografía.

Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 298 p.

Alvarado, C y Barahona, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 23-33. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00023.pdf>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2023). *Población total de Costa Rica es de 5 044 197 personas*. <https://inec.cr/noticias/poblacion-total-costa-rica-5-044-197-personas>

Ipiates, O. (2019). *Caracterización de la eficiencia de conducción y distribución en el ramal "Ilaló" del sistema de riego Tumbaco* [Trabajo de Titulación, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. https://www.researchgate.net/publication/352381362_Caracterizacion_de_la_eficiencia_de_conduccion_y_distribucion_en_el_ramal_Ilalo_del_Sistema_de_Riego_Tumbaco

La GACETA. (2014). Modelo regulatorio para las tarifas de suministro de agua en el Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT) del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). RESOLUCION RJD-106-2014. <https://1library.co/document/zgregk7q-poder-ejecutivo-instituciones-descentralizadas.html>

Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (1984). *Crea Distritos de Riego Avenamiento y Control de Inundaciones*. Decreto No. 15321 de 1984. <https://www.mag.go.cr/legislacion/1984/de-15321.pdf>

Nazaret, R

O'neal, K. (2017). *Así enfrentamos el reto de llevar agua a los cultivos en Guanacaste*. Universidad de Costa Rica. <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]. (2019). *Costa Rica busca mejorar acceso y uso del recurso hídrico en el sector agropecuario*, <https://www.fao.org/costarica/noticias/detail-events/en/c/1196208/>

Paterson, O. (1992). *Riesgo por sequía en Costa Rica*. Revista Geográfica De América Central, 1(25-26), 385-411. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2931>

Quesada, L., Hidalgo, H. & Alfaro, E. (2020). *Asociación entre algunos índices de sequía e impactos socio-productivos en el Pacífico Norte de Costa Rica*. Revista de Ciencias Ambientales, 54(1), 16-32. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.54-1.2>

Rojas, N. (2011). *Estudios de las cuencas hidrográficas de Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional. [Archivo PDF]. <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=997fe082602c6a0aJmltdHM9MTcxMzEzOTIwMCZpZ3VpZD0zNjcxNDE3ZC0wNTMxLTZiYjgtMmUwOC01NTFmMDQ0YTZhZmEmaW5zaWQ9NTAwMw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=3671417d-0531-6bb8-2e08-551f044a6afa>

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA]. (1983). *Ley de Creación Del Servicio Nacional De Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento*. La

Gaceta N°143. Viernes 18 de julio de 1983.

https://www.senara.go.cr/ver/acerca_del_senara/marco_legal/leyes_senara/6877%20Ley%20de%20creacion%20del%20SENARA.pdf

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA]. (2022). *Aprobación del contrato de préstamo n.º 2220 que financiará el "Proyecto de abastecimiento de agua para la cuenca media del río tempisque y comunidades costeras (PAACUME)", suscrito entre la república de Costa Rica y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE).* La GACETA.

https://www.senara.or.cr/ver/proyectos/paacume/componentes/ALCA93_11_05_2022.pdf

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA]. (2020). *Distrito de Riego Arenal Tempisque.* <https://www.senara.or.cr/proyectos/drat/index.aspx>

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA]. (2023). *Plan Operativo Institucional y Presupuesto 2024.*

https://www.senara.or.cr/acerca_del_senara/transparencia/Presupuestos/POI-Presupuesto%202024%20CGR.pdf

Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA]. (1999). *Reglamento de Servicios de Riego. Acuerdo N° 2217 de 1999.*

https://senara.go.cr/tramites_y_servicios/contraloria_de_servicios/reglamentos/Reglamento%20de%20Servicios%20de%20Riego%20para%20los%20Distritos.pdf

Solano, J., y Villalobos, R. (2001). Aspectos Fisiográficos aplicados a un Bosquejo de Regionalización Geográfico Climático de Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanogr.*, 8(1), 26-39.

https://www.researchgate.net/publication/228799654_Aspectos_Fisiograficos_aplicados_a_un_Bosquejo_de_Regionalizacion_Geografico_Climatico_de_Costa_Rica

Umaña, B. (2014). *Análisis hidrológico de la cuenca del río Toyogres utilizando el modelo HEC-HMSK* [Proyecto Final de Graduación de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6148?show=full>

Anexos.

Anexo 1.

Estructura de la encuesta aplicada

Pregunta 1	Nombre y apellidos
Pregunta 2	¿Cuál es su puesto de trabajo? (Indicar subdistrito o área)
Pregunta 3	¿Cuántos años de experiencia tiene usted respecto al puesto que ejerce?
Pregunta 4	¿Conoce usted los tipos de cultivos que se siembran en el DRAT?
Pregunta 5	De los cultivos que usted conoce que se siembran en el DRAT, ¿usted reconoce cuáles son los meses de siembra y cosecha para esos cultivos?
Pregunta 6	Podría indicar los cultivos, meses de siembra y de cosecha que usted conoce siguiendo este ejemplo: (Tipo de cultivo/Meses de siembra/Meses de cosecha), si presenta alguna peculiaridad por ejemplo si se dan en dos meses de siembra o más podría anotarlo por favor.
Pregunta 7	Si existe una peculiaridad en los que se dan dos o más meses de siembra continuos para un cultivo en específico, podría indicar el porcentaje de usuarios del DRAT que siembran en los meses de acuerdo con su experiencia o criterio profesional. Puede seguir este ejemplo: (cultivo/ mes-porcentaje/ mes 2- porcentaje).
Pregunta 8	Podría indicar la frecuencia de riego de los cultivos que usted conoce.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Anexo 2.

Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, Kc y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas subhúmedos ($HR_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$)

Kc Cultivo	Inicial	Medio	Final	Altura
Melón	0,5	0,85	0,6	0,3
Sandía	0,4	1	0,75	0,4
Maíz		1,15	0,6	2
Arroz	1,05	1,2	0,90-0,60	1
Caña	0,4	1,25	0,75	3
Cítricos	0,65	0,6	0,65	4
Sorgo		1,0-1,10	0,55	2
Piña	0,5	0,3	0,30	0,60-1,2
Yuca	0,3	1,1	0,5	1
Algodón		1,15-1,20	0,70-0,50	1,3
Cebolla	1,05	0,75	0,4	0,4
Banano	0,5	1,1	1	3
Pastos	0,4	1,05	0,85	0,45
Leguminosas	0,4	1,15	0,55	0,4

Fuente: Allen et al, 2006.

Anexo 3.

Humedad relativa mínima, velocidad del viento y precipitación promedio por mes en el DRAT

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm/mes)	8	2	7	54	210	204	119	210	290	350	136	19
HRmin (%)	44.5	39.7	37.2	37.6	48.0	56.0	55.1	55.1	57.1	61.3	57.4	49.8
Velocidad del viento (m/s)	4.3	4.9	4.8	3.5	2.3	1.8	2.4	1.9	1.5	1.3	2.0	3.3

Fuente: Elaboración propia (2024).

Anexo 4.

Porcentaje de siembra según el grupo de cultivo en el DRAT.

Cultivo	Área cultivada (ha)	Porcentaje (%)
Melón	1	100
Sandía	88.98	100
Maíz 1	63.71	100
Maíz 2	63.71	100
Arroz 1	6513.99	30
Arroz 2	6513.99	70
Caña 1	14289.58	10
Caña 2	14289.58	35
Caña 3	14289.58	35
Caña 4	14289.58	20
Frutales	20.07	100
Sorgo	2	100
Yuca	6.35	100
Cebolla	1	100
Pastos	2717.31	100
Papaya	9.43	100
Leguminosas	33.88	100
Algodón	1	100

Fuente: Elaboración propia (2024).

Anexo 7

Información de presupuesto global de la pasantía.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Categorías	Subcategoría	Costo unitario	Unidad	Cantidad	Subtotal	Nota/Observación
CD	Giras de campo	€28 225,00	Unitario	8	€225 800,00	Presupuesto de la sumatoria de los costos por giras de campo (Ver hoja 2)
CI	Material de oficina	€3 500,00	global	1	€3 500,00	Copia, fotocopias y Folders, lapiceros
CI	Botiquín de medicina	€15 000,00	global	1	€15 000,00	Medicina, mascarillas, alcohol
OC	Imprevistos	€2 336,25	global	1	€2 336,25	(CD+CI)*5%
OC	Hielera/Lonchera	€20 000,00	global	1	€20 000,00	Bebidas y snacks
OC	Bloqueador solar	€8 000,00	Unitario	1	€8 000,00	Protección solar
OC	Sombrero	€15 000,00	Unitario	1	€15 000,00	Protección solar
OC	Honorarios	€335 106,97	Mes	10	€3 351 069,70	Salario mensual de un bachiller universitario con una jornada de 21 horas por semana según el ministerio de trabajo y seguridad
OC	Depreciación de equipo de computo	€7 500,00	Mes	10	€75 000,00	(Valor total/ 5 Años)/12 meses
OC	Iva	13,00%	global	1	€483 041,77	Sumatoria del subtotal*13%
				Costo total	€4 198 747,72	

Anexo 8.

Diagrama Gantt de actividades.

Plan de Trabajo	Fecha de inicio	26/2/2024	2024																																																																	
			Feb					Mar					Abr					May					Jun					Jul					Ago					Sep					Oct					Nov					Dic															
TAREA	Inicio	Fin	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5																
Colaboración con actividades diarias	26-02-24	31/11/2024																																																																		
Inventario de estructuras de medición en tomas de parcela	26-02-24	10-03-24																																																																		
Calculo de uso consuntivo de la cedula de cultivos del DRAT	11-03-24	14-10-24																																																																		
Eficiencias de Conducción en los canales	19-08-24	31/11/2024																																																																		
Elaboración de informe de avance																																																																				
Sección preliminar	25-03-23	04-04-23																																																																		
Capitulo 1 - Introducción	06-04-23	21-04-23																																																																		
Capitulo 2 – Antecedentes	22-04-23	29-04-23																																																																		
Capitulo 3 – Sistematización de experiencias	30-04-23	10-05-23																																																																		
Capitulo 4 – Lecciones aprendidas	13-05-23	17-05-24																																																																		
Entrega de informe de avance		09-06-24																																																																		
Ponencia oral ante tribunal numero 1	17-05-24	21-06-24																																																																		
Actualización de informe final																																																																				
Entrega de informe de informe final	31-10-24	10-11-24																																																																		
Preparación ante ponencia numero 2																																																																				
Ponencia oral ante tribunal numero 2	10-11-24	14-11-24																																																																		
			No critico =										Critico =																																																							

Fuente: Elaboración propia (2024).

Anexo 9.*Carta de aval del tutor*

Fecha: 12/11/2024

Comité Trabajo Finales de Graduación

Sede Regional Chorotega.

Universidad Nacional, Costa Rica

Estimados(as) Señores(as)

Por este medio hago constar que leí y doy mi visto bueno para que se proceda con la aprobación del reporte final de sistematización de experiencias del trabajo final de graduación bajo la modalidad de “**pasantía**” denominada: “**Análisis hidrológico para optimizar la sostenibilidad del suministro de agua en el Distrito de Riego Arenal Tempisque, Guanacaste, Costa Rica**”, desarrollada por la persona estudiante “**Ismael Soto Gamboa**”, “**504400465**”, como requisito para optar por el grado de Licenciatura “**Ingeniería Hidrológica**”.

Atentamente,

Tutor