

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola

EVALUACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DENTRO DEL ESQUEMA DE
PRODUCCIÓN DE ARROZ (*Oryza sativa* L) PARA LA ÉPOCA DE INVIERNO EN LA
EMPRESA AGRÍCOLA EL PELÓN DE LA BAJURA

SERGIO ENRIQUE GUILLÉN RIVERA

CARTAGO, COSTA RICA

2022

EVALUACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DENTRO DEL ESQUEMA DE PRODUCCIÓN DE ARROZ (*Oryza sativa* L) PARA LA ÉPOCA DE INVIERNO EN LA EMPRESA AGRÍCOLA EL PELÓN DE LA BAJURA



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#).

SERGIO ENRIQUE GUILLÉN RIVERA

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola

FERNANDO WATSON HERNÁNDEZ

Asesor

ISABEL GUZMÁN ARIAS

Director Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2022

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

A las 9:30 horas del día 19 del mes de Enero del año 2022 el estudiante:
Sergio Enrique Guillén Rivera
presenta y defiende su proyecto de graduación titulado:

Evaluación de la oferta hídrica dentro del esquema de producción de arroz (*Oryza sativa* L) para la época de invierno en la empresa agrícola El Pelón de la Bajura

ante el Tribunal de Evaluación compuesto por los siguientes miembros:

Presidente (a): Laura Segura Serrano

Asesor (a) de la Escuela: Fernando Watson Hernández

Asesor (a) Externo (a): Alejandro Soto Barquero

Firman conforme lo dispone el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación:

LAURA PATRICIA
SEGURA
SERRANO (FIRMA)

Firmado digitalmente por
LAURA PATRICIA SEGURA
SERRANO (FIRMA)
Fecha: 2022.01.19 10:39:17
-06'00'

PRESIDENTE (A)

FERNANDO WATSON
HERNANDEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por
FERNANDO WATSON
HERNANDEZ (FIRMA)
Fecha: 2022.01.19 10:41:49
-06'00'

ASESOR (A) DE LA ESCUELA

ALEJANDRO
SOTO BARQUERO
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
ALEJANDRO SOTO
BARQUERO (FIRMA)
Fecha: 2022.01.19
10:37:05 -06'00'

ASESOR (A) EXTERNA(A)



ESTUDIANTE

INDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	6
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
3.1.	Cultivo de arroz	9
3.1.1.	Especificaciones técnicas	9
3.1.2.	Fases fenológicas	9
3.1.3.	Variedades	11
3.1.4.	Requerimientos de desarrollo	11
3.2.	Región productiva Chorotega	11
3.2.1.	Ubicación.....	11
3.2.2.	Clima	12
3.2.3.	Distrito de Riego Arenal Tempisque.....	13
3.2.3.1.	Concesiones y servicios de riego	14
3.2.4.	Consortio Cortés – Pelón – Viejo – CATSA.	14
3.3.	Manejo del cultivo de arroz	14
3.3.1.	Preparación de suelo.....	14
3.3.1.1.	Micronivelación	15
3.3.1.2.	Taipas	15
3.3.1.3.	Nivelación láser	16
3.3.2.	Siembra.....	17
3.3.2.1.	Directa	17
3.3.2.2.	Trasplante	17
3.3.3.	Riego	17
3.3.3.1.	De agotamiento.....	18

3.3.3.2.	De germinación.....	18
3.3.3.3.	De mantenimiento	19
3.3.4.	Drenaje	19
3.4.	Oferta de agua.....	20
3.4.1.	Balance de oferta - demanda.....	20
3.5.	Oferta de agua pluviométrica.....	20
3.5.1.	Medición y monitoreo de precipitación.....	21
3.5.2.	Precipitación media	22
3.5.3.	Precipitación efectiva	22
3.6.	Oferta de agua superficial por servicio de riego	23
3.6.1.	Hidrometría de explotación	23
3.6.1.1.	Estación de aforo.....	23
3.6.1.2.	Aforo	24
3.7.	Indicadores de eficiencia, sostenibilidad y productividad hídrica	25
3.7.1.	Eficiencia de riego	25
3.7.2.	Huella hídrica.....	26
3.7.3.	Productividad y uso del agua.....	27
3.8.	Prospectiva: herramienta de análisis a los aspectos social, ambiental y económico ..	27
3.8.1.	Metodologías de análisis	27
4.	METODOLOGÍA.....	29
4.1.	Inducción en la empresa	30
4.1.1.	Departamentos en división agrícola.....	30
4.2.	Inspección de campo	31
4.2.1.	Recorrido y encargado de empresa	31

4.3.	Identificación del área experimental	31
4.4.	Caracterización del esquema productivo	32
4.4.1.	Clima	32
4.4.2.	Topografía	33
4.4.3.	Suelo	33
4.4.4.	Cultivo	33
4.4.5.	Agua	33
4.5.	Determinación de oferta de agua pluviométrica	33
4.5.1.	Medición y monitoreo de precipitaciones	34
4.5.2.	Precipitación	35
4.5.3.	Precipitación efectiva	35
4.6.	Cuantificación de la oferta de agua por servicio de riego	36
4.6.1.	Estación de aforo.....	37
4.6.2.	Aforos	40
4.6.3.	Programa de aforos	41
4.6.4.	Registro base de datos	42
4.7.	Evaluación de indicadores del recurso hídrico agrícola	43
4.7.1.	Eficiencia de riego global	44
4.7.2.	Huella hídrica.....	45
4.7.3.	Productividad y uso del agua	46
4.8.	Validación de prácticas de manejo y gestión hídrica	47
4.9.	Prospectiva: herramienta de análisis a los aspectos social, ambiental y económico ..	48
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
5.1.	Inspecciones de campo	50

5.2.	Área experimental seleccionada.....	50
5.3.	Parámetros productivos	51
5.4.	Ubicación de instrumentos y estaciones de medición.....	54
5.5.	Oferta de agua pluviométrica.....	55
5.6.	Oferta de agua por servicio de riego	57
5.7.	Indicadores sobre recurso hídrico agrícola	59
5.8.	Validación de prácticas de manejo y gestión hídrica	63
5.9.	Análisis a los aspectos social, ambiental y económico	66
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	71
8.	ANEXOS	77
9.	PERCOLACIÓN PROFUNDA	86

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Taxonomía general del cultivo de arroz	9
Cuadro 4.1. Características de los tramos de evaluación de eficiencia de conducción.....	38
Cuadro 4.2. Características de las estaciones de aforo de riego	39
Cuadro 4.3. Características de las estaciones de aforo de drenaje	39
Cuadro 4.4. Aspectos de evaluación prospectiva con escenarios futuros	48
Cuadro 5.1. Serie histórica de condiciones climáticas en la finca El Pelón de la Bajura	51
Cuadro 5.2. Precipitación efectiva mensual con el modelo USDA - SCS	57
Cuadro 5.3. Módulo de riego aplicado en el área experimental	58
Cuadro 5.4. Eficiencia de conducción en el lote Piches	59
Cuadro 5.5. Eficiencia de conducción en el lote Inés	59
Cuadro 5.6. Eficiencia de aplicación en el lote Piches.....	60
Cuadro 5.7. Eficiencia de aplicación en el lote Inés	60
Cuadro 5.8. Componentes de huella hídrica en el lote Piches.....	60
Cuadro 5.9. Componentes de huella hídrica en el lote Inés.....	61
Cuadro 5.10. Variación entre métodos de registro de consumo hídrico en el lote Piches	63
Cuadro 5.11. Variación entre métodos de registro de consumo hídrico en el lote Inés	63
Cuadro 5.12. Consumos de recurso hídrico para lotes externos al área experimental	64
Cuadro 5.13. Evaluación prospectiva de los aspectos social, ambiental y económico	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Área asignada por actividad en El Pelón de la Bajura.....	3
Figura 3.1. Línea de tiempo de desarrollo del arroz.....	10
Figura 3.2. Valoración de factores de exposición de la región arrocera Chorotega con riego ..	12
Figura 3.3. Etapas constructivas e inversión en el DRAT.....	13
Figura 3.4. Lote a micronivelación con multicuchillas Landplane	15
Figura 3.5. Construcción de taipas para arroz	16
Figura 3.6. Nivelación láser y composición de taipas en arroz	16
Figura 3.7. Germinación de semilla de arroz en lámina de agua.....	19
Figura 3.8. Lámina de agua según etapa fenológica del arroz.....	19
Figura 3.9. Esquema de oferta hídrica.....	20
Figura 3.10. Pluviómetro tradicional para medición de lluvias	21
Figura 3.11. Estación meteorológica mecánica para medición de lluvias.....	22
Figura 3.12. Prácticas de medición de caudal a nivel parcelario	25
Figura 3.13. Componentes indicadores de Huella hídrica.....	26
Figura 4.1. Flujo de trabajo para el desarrollo de proyecto	30
Figura 4.2. Jerarquía empresarial y departamentos de trabajo.....	31
Figura 4.3. Relación de departamentos de trabajo y parámetros productivos	32
Figura 4.4. Progreso en la determinación de oferta de agua pluviométrica	34
Figura 4.5. Monitor de cultivo Mark 2 - Arable	35
Figura 4.6. Pluviómetro de influencia en el área experimental	35
Figura 4.7. Pluviómetro de influencia en el área experimental	36
Figura 4.8. Infraestructura de riego – drenaje.....	37

Figura 4.9. Tramos de conducción de agua para servicio de riego para (a) Lote Piches (b) Lote Inés	38
Figura 4.10. Secciones revestidas para medición de caudal de riego para Lote Piches ^(a) y Lote Inés ^(b)	39
Figura 4.11. Obras para medición de caudal de drenaje para Lote Piches ^(a) y Lote Inés ^(b)	40
Figura 4.12. Correntómetro Gurley Mod. 622D	41
Figura 4.13. Parámetros para el cálculo de indicadores hídricos.....	44
Figura 5.1. Ubicación geoespacial del área experimental	50
Figura 5.2. Parámetros productivos de topografía, suelo y cultivo.....	53
Figura 5. 3. Infraestructura principal de riego y drenaje	54
Figura 5.4. Estaciones de medición e instrumentación del proyecto	55
Figura 5.5. Curva masa de precipitación por instrumentos de medición	55
Figura 5.6. Volúmenes de agua consumidos por tipo de riego.....	58
Figura 5.7. Proporciones entre componentes de huella hídrica en el lote Piches	61
Figura 5.8. Proporciones entre componentes de huella hídrica en el lote Inés	61
Figura 5.9. Componentes de productividad del agua.....	62
Figura 5.10. Escenario de oferta hídrica para el esquema productivo	65
Figura 5.11. Escenario de oferta pluviométrica para el esquema productivo.....	65
Figura 5.12. Escenario de oferta pluviométrica para el esquema productivo.....	66

RESUMEN

Nuevas necesidades en relación con la planificación y gestión del agua en la agricultura crecen día a día, caso particular la producción de arroz en Costa Rica. Con el fin de validar las prácticas de manejo y gestión eficiente del recurso hídrico en la empresa agrícola El Pelón de la Bajura se evaluó la oferta hídrica en un área experimental 152,75 ha en base a estudios de la ingeniería de agua, suelo y ambiente así como principios de hidrometría de la explotación, durante la época de invierno. La comprensión del régimen pluviométrico local así como del servicio de agua de riego permitieron obtener el registro de volumen de agua consumido durante el desarrollo del cultivo, además de indicadores de eficiencia, sostenibilidad y productividad hídrica. Finalmente, se identificó de forma prospectiva los efectos de las prácticas y gestión actual del recurso agua sobre la sostenibilidad social – ambiental y rentabilidad económica del sistema productivo.

Palabras clave

Arroz, Oferta hídrica, Precipitación, Riego, Sistema agrícola

ABSTRACT

New needs in relation to water planning and management in agriculture are growing day by day, particularly in the case of rice production in Costa Rica. In order to validate efficient water resource management practices at the El Pelón de la Bajura agricultural company, the water supply in an experimental area of 152,75 ha was evaluated based on water, soil, and environmental engineering studies as well as farm hydrometric principles, during the winter season. The understanding of the local fluviometric regime as well as the irrigation water service made it possible to obtain a record of the volume of water consumed during the development of the crop, as well as indicators of efficiency, sustainability, and water productivity. Finally, the effects of the current practices and management of water resources on the social-environmental sustainability and economic profitability of the production system were identified prospectively.

Key words

Rice, Water supply, Precipitation, Irrigation, Agricultural system.

1. INTRODUCCIÓN

El uso del agua dentro de los sistemas de producción agrícola ha sido por siempre uno de los principales factores que limita a la producción de alimentos. En Costa Rica, si bien el recurso es descrito como basto en volumen, la oferta para su aprovechamiento suele estar condicionado por aspectos ambientales, geográficos, culturales, económicos y políticos. Nuevas necesidades en relación con la planificación y gestión del agua en la agricultura crecen día a día con el fin de abastecer una demanda mayor en el consumo de los alimentos, caso particular la producción de arroz a nivel nacional.

El más reciente informe estadístico de la Corporación Arrocera Nacional de Costa Rica [CONARROZ] encuentra que el consumo aparente de arroz para el periodo Junio 2019 – Junio 2020, según la metodología de cálculo de la Organización de las Naciones Unidas y de la Alimentación [FAO, por sus siglas en inglés], fue cerca de 240 000 toneladas métricas de arroz pilado, traducido en un consumo per-cápita de 47,20 kg y un promedio mensual de aproximadamente 20 000 toneladas métricas, lo que implica un aumento en el consumo de alrededor de 740 g de arroz por persona por año (Unidad de Control Estadístico Arrocero, 2020)

El Pelón de la Bajura es una empresa pionera en el cultivo de arroz, la cual desde sus inicios ha dirigido esfuerzos en transformar los procedimientos rudimentarios en la producción agrícola apostando por la innovación e investigación. Actualmente, en la hacienda se producen alrededor de 25 000 toneladas de arroz al año en una extensión agrícola cercana a las 4 000 ha, ilustradas en la Figura 1.1. Distintas certificaciones los han comprometido a disminuir la huella que sobre el medio ambiente tienen los procesos productivos, por medio de la innovación, la eficiencia en el uso de recursos y la cultura ambiental de los colaboradores (Grupo Pelon, 2017).

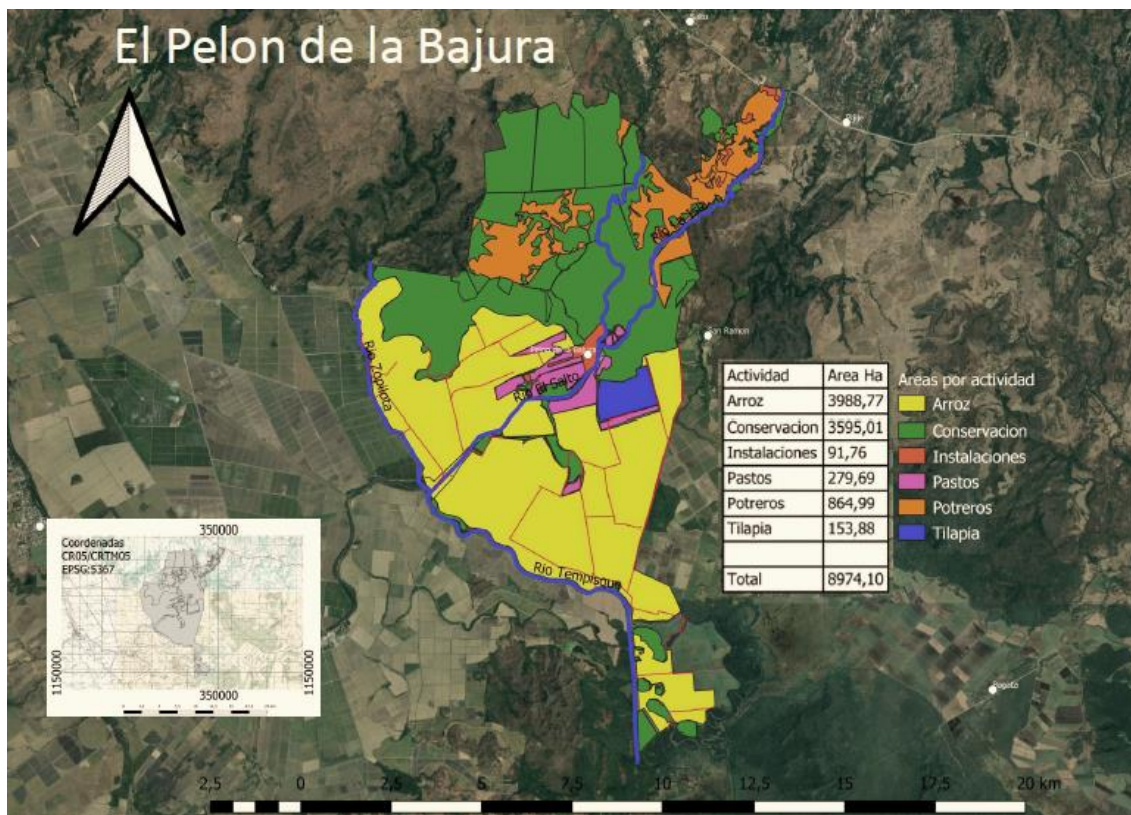


Figura 1.1. Área asignada por actividad en El Pelón de la Bajura

Fuente: Soto (2021)

Actualmente como parte del desarrollo de proyectos en la división agrícola, específicamente en el departamento de riego y drenaje de la empresa, se busca validar las prácticas de manejo y gestión del recurso hídrico para el cultivo de arroz en épocas de invierno. Lo anterior, para compensar el impacto que en el sistema productivo los eventos climáticos y no climáticos puedan ocasionar durante el desarrollo del cultivo, tema que ha sido oportunamente descrito por Vignola et al. (2018). De igual forma, para atender a los lineamientos y requerimientos como usuarios del Distrito de Riego Arenal Tempisque [DRAT], dependencia del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA], en los que se es necesario gestionar eficientemente el recurso agua, más cuando este ha tenido una transición de cobro por unidad de área (hectáreas) hacia uno por volumen consumido (metros cúbicos).

En la nota regional presentada por Villalobos Castrillo (2017) se brinda un fragmento de palabras que un encargado oficial del SENARA expresaba para el año y este dice:

“Si un agricultor decide sembrar arroz, que es un alto consumidor de agua, pues entonces tendrá que pagar un costo más alto porque consume más agua en un área menor, su rentabilidad va a estar asociada a eso, nosotros le asignamos una cantidad máxima de agua al agricultor a base de un cobro volumétrico”

La resolución RE-0010-IA-2021 aprobada por parte de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos [ARESEP] con vigencia del 01/07/2021 al 30/06/2022 oficializa el cobro para la actividad arrocera en 2,52 colones por metro cúbico consumido (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, [ARESEP], 2021) .

La variabilidad en la oferta del recurso hídrico de forma natural así como una tarifa volumétrica para riego agropecuario convence a formar parte de la responsabilidad de ser más eficientes. Resulta indispensable entender la naturaleza de esta relación en un cultivo basado en agua como el arroz, para incrementar la eficiencia y productividad en el uso del agua y validar el establecimiento de manejos prácticos del mismo.

Es así como el proyecto pretende trasladar todo conocimiento aprendido durante la formación académica de la carrera de Ingeniería Agrícola para atender y servir a la necesidad de trabajo planteada por el departamento de riego y drenaje en el Pelón de la Bajura.

Inicialmente, brindando un aporte científico al respaldar toda metodología para la evaluación de la oferta del recurso hídrico durante el desarrollo del cultivo, con los conceptos de la ingeniería de agua, suelo y ambiente además del principio de la hidrometría de explotación.

También, dando un aporte técnico al modelo de gestión agrícola de la empresa al utilizar los resultados obtenidos para la validación de las prácticas de manejo de riego y gestión del recurso hídrico durante las épocas de invierno; definiendo la oferta hídrica en el periodo evaluativo, las eficiencias durante el programa de riego, huella hídrica y productividad del agua, escenarios críticos y de déficit, entre otros umbrales de decisión para la toma de acciones.

Finalmente, analizando de forma social, ambiental y económica la gestión del recurso hídrico actual y sus efectos para la sostenibilidad y rentabilidad del sistema productivo en época de invierno, esto desde un enfoque de prospectiva.

2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

Evaluar la oferta hídrica en el esquema de producción de arroz en un área experimental de 152,75 ha en base al análisis de precipitaciones y cuantificación del consumo volumétrico de agua por servicio de riego para la validación de las prácticas de manejo y gestión eficiente del recurso hídrico durante la época de invierno en la empresa agrícola El Pelón de la Bajura.

OE1: Caracterizar el esquema de producción partiendo de parámetros de clima, topografía, suelo, agua, y cultivo para la identificación del entorno y variabilidad de los recursos disponibles.

OE2: Determinar la oferta de agua pluviométrica a través de un análisis de precipitaciones para la valoración de la significancia del volumen de agua de lluvia incorporado en el desarrollo del cultivo.

OE3: Cuantificar la oferta real de agua por servicio de riego aplicando los principios de hidrometría de la explotación para un control y registro técnico del aprovechamiento del recurso hídrico.

OE4: Identificar de forma prospectiva los efectos de la gestión del recurso hídrico actual sobre la sostenibilidad social – ambiental y rentabilidad económica del sistema productivo en época de invierno.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cultivo de arroz

3.1.1. Especificaciones técnicas

Técnicamente el arroz se define como una gramínea anual de tallos redondos y huecos compuestos de nudos y entrenudos, hojas de láminas planas unidas a los tallos por la vaina y su inflorescencia en una panícula Tinoco Mora & Acuña Chinchilla (2009). La planta del arroz es una fanerógama, tipo espermatofita y subtipo angiosperma, en el Cuadro 3.1 se resume la descripción taxonómica del cultivo:

Cuadro 3.1. Taxonomía general del cultivo de arroz

Clase	Monocotiledónea
Orden	Glumifora
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideas
Tribu	Oryzae
Subtribu	Oryzineas
Género	Oryza
Especie	sativa

Fuente: Tinoco Mora & Acuña Chinchilla (2009)

3.1.2. Fases fenológicas

El ciclo fenológico del arroz se ha dividido en cinco fases, iniciando desde la germinación y emergencia hasta la fase de maduración de la planta. La duración varía de acuerdo con la variedad y las condiciones de la región productiva. Los autores Vignola et al. (2018) describen estas cinco fases como:

- Germinación y emergencia: etapa desde siembra de semilla hasta aparición de la primer hoja completa con vaina.
- Macollamiento: etapa desde aparición de la cuarta hoja verdadera hasta la presencia de la novena.

- Diferenciación de primordio: etapa que comprende desde la aparición de la novena hoja verdadera hasta la emergencia de la panícula sobre la hoja bandera.
- Floración: etapa que da apertura floral una vez emergida la panícula.
- Maduración: ocurrida la polinización de flores comienza la etapa de formación del grano lechoso.

A su vez, desde el año 2000, se ha proporcionado un sistema uniforme, objetivo y adaptativo de las etapas de desarrollo del arroz, para mejorar la comunicación entre productores, extensionistas e investigadores. En la Figura 3.1 se presenta el mencionado sistema propuesto por los investigadores Counce et al. (2000) de la Universidad de Arkansas, Estados Unidos de América.

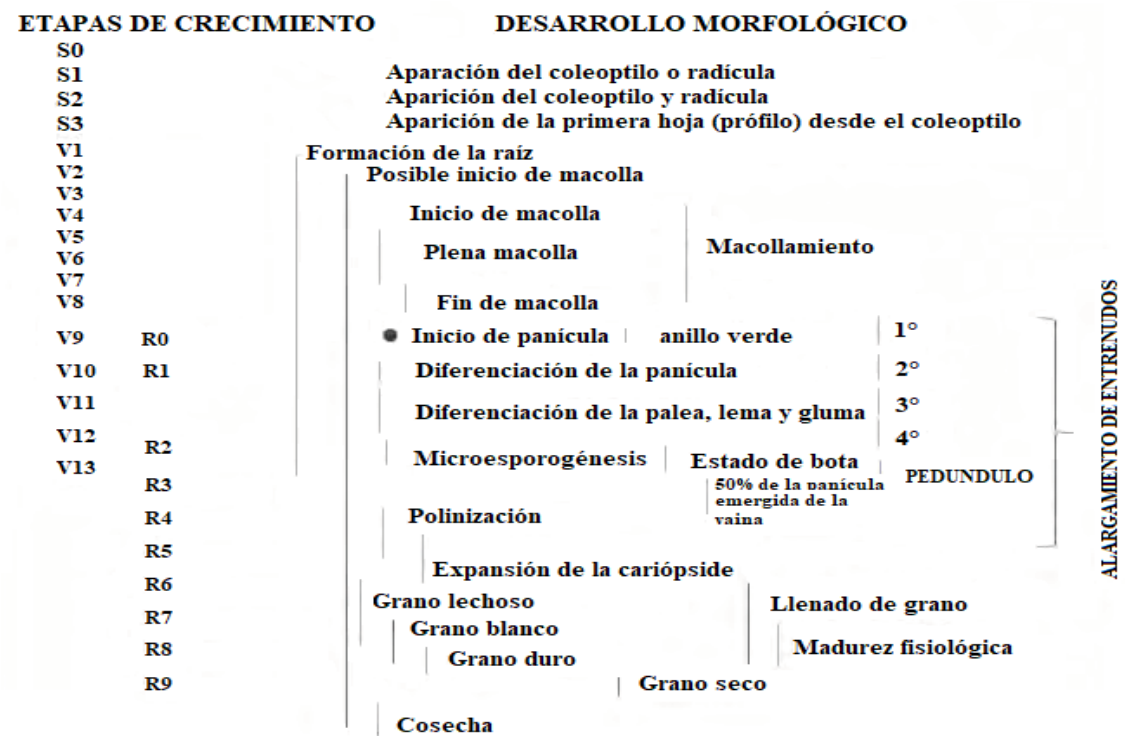


Figura 3.1. Línea de tiempo de desarrollo del arroz

Fuente: Counce et al. (2000)

3.1.3. Variedades

Para hablar de variedades de arroz en Costa Rica hay que referirse a la Oficina Nacional de Semillas [ONS], específicamente con el Programa de Certificación quién lleva a cabo su labor de fiscalización y control de calidad en el cultivo de arroz. Se certifica semilla en cinco categorías conformadas por generaciones sucesivas para lograr los incrementos que permitan obtener un volumen tal que satisfaga la demanda del insumo (Oficina Nacional de Semillas, [ONS], 2020).

El Registro de Variedades Comerciales [RVC] actualizado para el año 2020 por parte de la ONS lista una serie de características varietales de interés, ver Anexo 1, para variedades de semilla como Palmar 18, Puita INTA CL, Lazarroz FL, Senumisa 20 FL, entre otras.

3.1.4. Requerimientos de desarrollo

En Costa Rica el arroz se cultiva en una diversidad de condiciones ambientales, principalmente en zonas húmedas características del trópico o de climas con temperaturas altas. Requiere de una radiación solar entre 250 a 350 cal/cm²/día. La temperatura tiene incidencia directa en los procesos biológicos que determinan su salud y vigor, así distintos umbrales han sido definidos de acuerdo al estado de crecimiento. En cuanto a la precipitación, la distribución de las lluvias durante su ciclo fenológico es lo más importante, considerándose un promedio de 10 mm diario el adecuado hasta el llenado del grano. El porcentaje de humedad relativa óptimo supera el 80% (Tinoco Mora & Acuña Chinchilla, 2009).

El cultivo se establece desde el nivel del mar hasta los 1 000 msnm. La topografía de los suelos debe ser preferiblemente plana, con texturas moderadamente finas como vertisoles. La mayor expansión se ha dado en zonas bajas del país por las condiciones favorables para el desarrollo de la actividad (Tinoco Mora & Acuña Chinchilla, 2009).

3.2. Región productiva Chorotega

3.2.1. Ubicación

La región se encuentra muy marcada por la división en dos grandes áreas: el área de arroz seco y el área con influencia del Distrito de Riego Arenal – Tempisque. El área de seco realiza una siembra al año entre los meses de Julio – Agosto aprovechando el aporte de

agua de lluvia de la época de invierno, esta área comprende los cantones de Santa Cruz, Nicoya, Nandayure, Liberia, Abangares y Carrillo. El área con influencia del DRAT se distingue por dos siembras, una para los meses de Julio – Agosto y otra para los meses de Diciembre – Enero, representada principalmente por los cantones de Bagaces y Cañas (Vignola et al., 2018).

3.2.2. Clima

Los eventos climáticos pueden variar dentro de los sistemas de producción, así como la zona donde se desarrolle el cultivo de arroz. El estudio de Vignola et al. (2018) también resume una serie de factores de exposición a eventos climáticos y no climáticos que afectan la productividad del cultivo en la región Chorotega, identificando de esa forma los mostrados en la Figura 3.2.

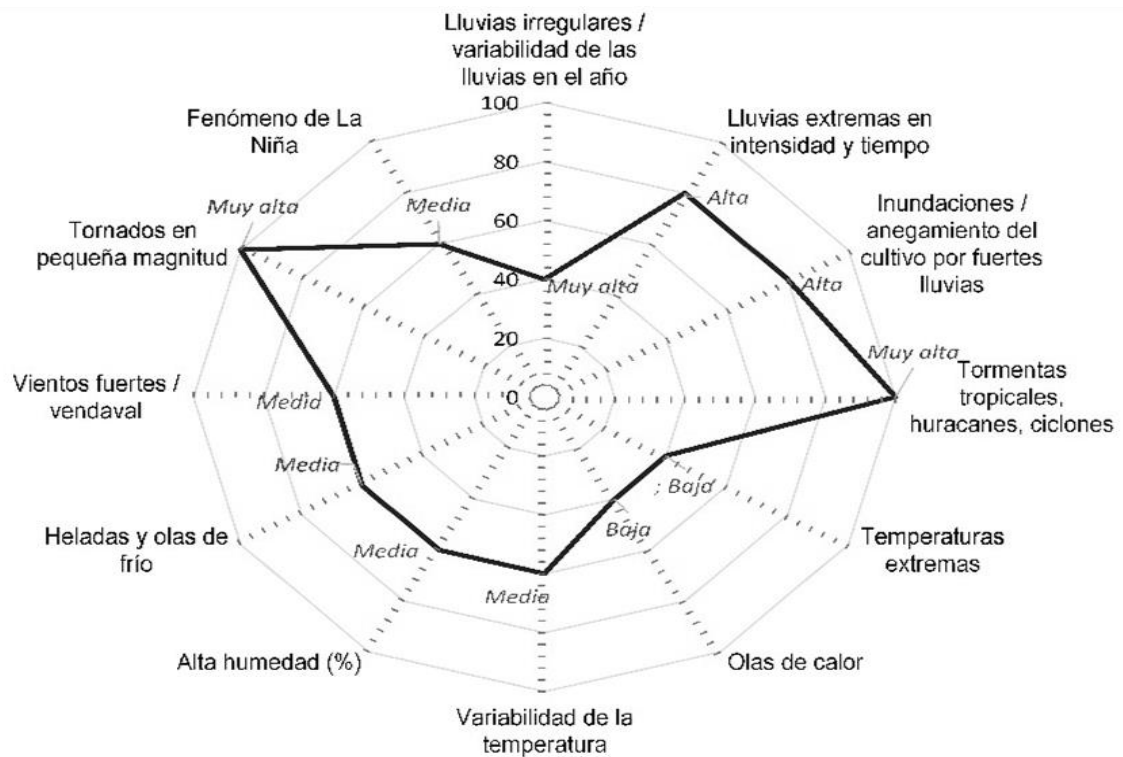


Figura 3.2. Valoración de factores de exposición de la región arrocería Chorotega con riego

Fuente: Vignola et al. (2018)

3.2.3. Distrito de Riego Arenal Tempisque

Fundado como una dependencia del SENARA mediante el Decreto Ejecutivo N°15321-MAG, este cuenta con la potestad para administrar y controlar las aguas turbinadas por el complejo hidroeléctrico Arenal – Dengo – Sandillal [ARDESA] en función de su aprovechamiento para irrigación en las partes bajas de los cantones de Cañas, Bagaces, Liberia, Carrillo y Abangares (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA], 2021).

El proyecto de desarrollo del DRAT, durante las últimas 4 décadas, ha logrado habilitar cerca de 29 500 ha con servicios de riego por gravedad y bombeo transformando la agricultura extensiva de secano hacia la agricultura intensiva con riego, incrementando la producción de alimentos básicos tendiendo al autoabastecimiento (2021). La Figura 3.3 muestra la composición del DRAT concluido en su IV etapa constructiva para el año 2018.

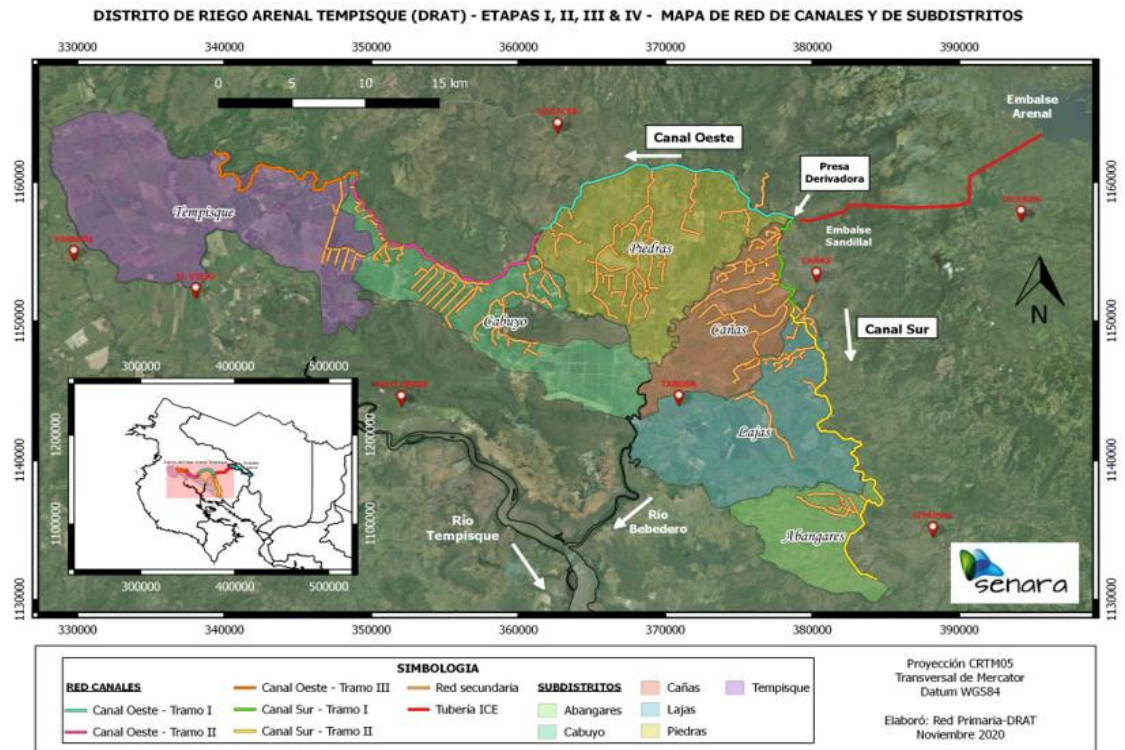


Figura 3.3. Etapas constructivas e inversión en el DRAT

Fuente: SENARA (2021)

3.2.3.1. Concesiones y servicios de riego

El DRAT brinda un servicio de distribución de agua al costo, regulado por la Autoridad de Reguladora de los Servicios Públicos y fijado en ₡2,52 / m³ para el segundo semestre del 2021. La tarifa se ajusta por medio de una solicitud al regulador, en un proceso que regularmente es quinquenal pero que puede ser anual o semestral en condiciones especiales (2021).

En el Sistema de Apoyo para la Gestión Inteligente del Recurso Hídrico [SAGIRH] en colaboración con la Dirección del Distrito de Riego Arenal Tempisque [DDRAT], se da libre acceso al servicio de la Plataforma Virtual – SIG que contiene información relevante para optimizar la distribución en el sistema de riego, de modo que sea sostenible ante el cambio climático y con una visión de manejo integrado en el marco del Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste [PIAAG].

3.2.4. Consorcio Cortés – Pelón – Viejo – CATSA.

Este es un consorcio de grandes empresas privadas, con plena legitimidad en el proyecto del DRAT, quién apropia un nivel de poder muy alto por la capacidad económica de los integrantes y el porcentaje de la demanda de servicio que representan, declara Mora Montero (2016). Este es y ha sido un actor clave en la operación y funcionamiento del DRAT representando primeramente una alianza público - privada estable.

El Consorcio Cortés – Pelón – Viejo – CATSA [COPEVICA] en un buen sentido surgió ante la necesidad de las grandes empresas agrícolas por disponer de tierras bajo riego. A palabras del supervisor de niveles y caudales de la sociedad, el manejo del agua se realiza de forma escalonada, por lo tanto los efectos que se tengan aguas arriba de cada toma destinada a cada uno de los usuarios, se hará notar principalmente en términos de oferta y disponibilidad para el consumo previsto y solicitado del recurso agua (Edgar Santana, comunicación personal, octubre 2021).

3.3. Manejo del cultivo de arroz

3.3.1. Preparación de suelo

La adopción de las tecnologías resulta de importante para adecuar de forma óptima los terrenos para una agricultura basada en agua como el cultivo de arroz. Investigaciones

experimentales como la de Pineda (2010) presentan resultados positivos cuando se dan en marcha programas como el de Micronivelación – Taipas – Laser (MTL), ya que se ha logrado reducir el consumo de agua y la eficiencia de riego resultando una condición favorable tanto para el regador como para el agricultor.

3.3.1.1. Micronivelación

La micronivelación reduce los desniveles que existen dentro del lote del suelo, actividad efectuada con palas hidráulicas de bajo impacto que no realizan cortes profundos en el perfil del suelo (Pineda Suárez & Morales Montaña, 2018). El sistema *Landplane* de multicuchillas mostrado en la Figura 3.4 es una buena opción enmarcada en las labores de mínima labranza.



Figura 3.4. Lote a micronivelación con multicuchillas Landplane

Fuente: Pineda Suárez & Morales Montaña (2018)

3.3.1.2. Taipas

Para mejorar la distribución del agua en los lotes se deben construir caballones con taipa que permitan acumular una lámina de agua uniforme al momento de instalación del riego. El realizar con anterioridad una micronivelación del terreno con la pala multicuchillas *Landplane* contribuye a que la altura de agua no sobrepase los 5 cm (Pineda Suárez & Morales Montaña, 2018). Por otro lado, se obtiene una mayor área de siembra y uniformidad en la germinación al evitar áreas de rápido secado (cresta del caballón de taipa) y áreas frecuentemente inundadas (base del caballón de taipa) como se visualiza en la Figura 3.5.



Figura 3.5. Construcción de taipas para arroz

Fuente: Pineda Suárez & Morales Montaña (2018)

3.3.1.3. Nivelación láser

Por su precisión y eficiencia operacional, los equipos de nivelación láser se utilizan para generar cuadros a cota 0 o desniveles normalmente con valores entre 1 ‰ – 3 ‰. Para esto, un receptor deberá ser instalado en un mástil ubicado en el tractor y con fácil visibilidad para el operario como en la Figura 3.6. A este se le indica la orientación de la actual curva a nivel que está trazando, procurando mantener la ruta al mismo nivel de diferencia entre el actual y el siguiente, nunca dos curvas con distinto nivel podrán interceptarse (Pineda Suárez & Morales Montaña, 2018)



Figura 3.6. Nivelación láser y composición de taipas en arroz

Fuente: Pineda Suárez & Morales Montaña (2018)

3.3.2. Siembra

Sembrar arroz contempla dos grandes sistemas: siembra directa y trasplante. También se utiliza la técnica de socas o rebrote como una forma de obtener un nuevo brote de cultivo después de la cosecha de otro, normalmente se aprovecha el ciclo de invierno para establecer uno nuevo en época de verano (Programa de Granos Básicos, 2018).

3.3.2.1. Directa

La forma de siembra directa tiene como objetivo colocar la semilla en el terreno preparado. Los métodos a saber son la siembra en surcos, utilizando maquinas sembradoras a profundidades de 0,02 – 0,05 m y espaciamiento no mayores a 0,30 m. Luego, se identifica el voleo de forma manual, con máquinas esparcidoras manuales, voleadoras de tractor y finalmente siembra con avioneta. La semilla puede plantarse seca, húmeda o pregerminada según condiciones de humedad y de nivelado del suelo (Programa de Granos Básicos, 2018).

3.3.2.2. Trasplante

Es un sistema de siembra indirecto, en el cual las plantas crecen inicialmente en semilleros o almácigos y deben ser transportadas posteriormente al campo. El terreno debe estar fangueado y muy bien nivelado. Se recomienda el trasplante cuando las plántulas tengan de 15 a 18 días de edad. En este sistema se presentan diferencias tanto en la forma de hacer los semilleros, como en los métodos de realizarlo, ya que se realiza al azar sin seguir ningún patrón de siembra, de forma manual o mecánica con máquinas trasplantadoras (Programa de Granos Básicos, 2018).

3.3.3. Riego

El riego del cultivo de arroz describen Riccetto et al. (2017) es un factor determinante para definir el área de siembra en cada zafra, se convierte en un tema prioritario y estratégico para el sector arrocero. También los autores declaran que el efecto de disponibilidad de agua sobre las distintas etapas fenológicas resulta en un grado de impacto económico (dadas las pérdidas de rendimiento y calidad) y este depende del instante en que se produzca el desbalance durante el desarrollo de la planta.

En la guía de identificación de limitaciones de campo en la producción de arroz elaborada por Chaudhary et al. (2003) para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación se asignaron síntomas comunes a un déficit de agua en el cultivo de arroz como el enrollado de hojas, hojas resacas, macollaje limitado, raquitismo, retraso de floración, esterilidad de las espiguillas y un llenado incompleto de los granos. Se respalda así que en cada etapa del ciclo fenológico los niveles de agua y humedad en los suelos tienen incidencia directa para obtener un alto rendimiento de la planta, una lista de control de los problemas permite observar, diagnosticar y dar solución según cada etapa de crecimiento.

3.3.3.1. De agotamiento

Resulta habitual oír que el agua es uno de los mejores herbicidas. Esta cualidad no es más que la realidad de que la mayoría de las malezas que se encuentran en las arroceras no emergen bajo estados de inundación y que el agua permite una rápida infiltración de los productos de control hacia los estratos del suelo. Cuando se realizan tratamientos con herbicidas pre emergentes de malezas y se inundan los lotes al cabo de mínimo un periodo de 24 horas después de aplicado el producto, hay una reducción en la emergencia voluntaria de nuevas malezas, además que se actúa mucho mejor con brotes ya nacidos. Esta práctica de riego se caracteriza por extenderse no más de 5 días y evitar que haya un drenaje del agua, pues esto implica el lavado del herbicida y deriva hacia aguas abajo del lote. (Alejandro Soto, comunicación personal, Julio 2021).

3.3.3.2. De germinación

Denominado como aquel que da inicio al programa de riego o primer riego, este se realiza inmediatamente después de la siembra con la finalidad de poder aportar las condiciones de humedad óptimas para la emergencia y germinación correcta de las semillas. Este ciclo de riego es comprendido desde la germinación hasta la etapa de inicio de macollamiento (V4) Debe mantenerse alrededor de 2 - 3 días lo cual permita una uniformidad en la germinación (Alejandro Soto, comunicación personal, Julio 2021), mostrado en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Germinación de semilla de arroz en lámina de agua

Fuente: (Soto, 2021)

3.3.3.3. De mantenimiento

Con este riego se suple el agua que se da por pérdidas de evapotranspiración y percolación profunda. Es un riego que se extiende desde la etapa de macollamiento V4 hasta las etapas de floración R3 y maduración R9 (Alejandro Soto, comunicación personal, Julio 2021). La Figura 3.8 ilustra la altura de la lámina de agua recomendada según tipo de riego y etapas fenológicas en el que arroz se encuentre:

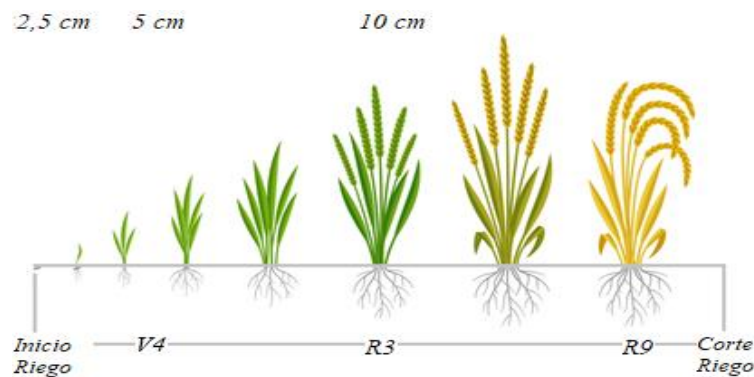


Figura 3.8. Lámina de agua según etapa fenológica del arroz

Fuente: Adaptación de Soto (2021)

3.3.4. Drenaje

Permite extraer rápidamente el agua desde los cuadros, luego de realizar los riegos del cultivo. Mantiene también el suelo en condiciones adecuadas de humedad luego de las

precipitaciones de invierno y para facilitar las labores posteriores de siembra y establecimiento del cultivo de arroz en la época de verano (Alejandro Soto, comunicación personal, Julio 2021).

3.4. Oferta de agua

3.4.1. Balance de oferta - demanda

Según el grupo de trabajo Recursos Hídricos (2015) de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca Colombia, la oferta del recurso agua es característica de factores climáticos y geográficos de cada región en particular, esta varía significativamente en tiempo y espacio, su conocimiento detallado es un elemento fundamental para la definición de las zonas de reserva, déficit y superávit. Un balance entre la oferta – demanda de agua según su uso, permite identificar acciones y proyectos. Si el balance es positivo, existe la posibilidad de disponer de excedentes de una área a otra que lo requiera. El balance negativo implica un déficit y por tanto es necesario plantear soluciones. El grupo de trabajo calcula la oferta de agua según el esquema mostrado en la Figura 3.9.

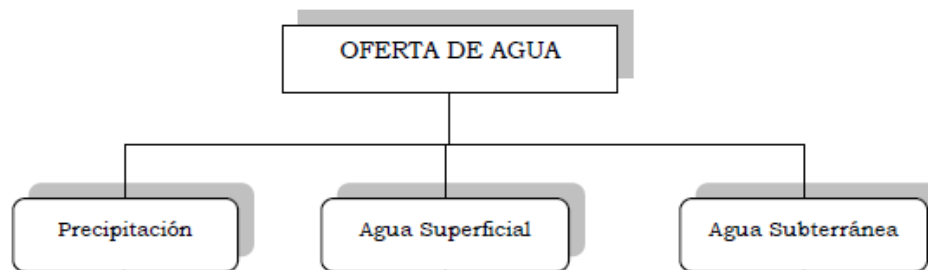


Figura 3.9. Esquema de oferta hídrica

Fuente: Recursos Hídricos (2015)

3.5. Oferta de agua pluviométrica

El régimen pluviométrico explica Recursos Hídricos (2015) está sujeto a las variaciones de la precipitación de acuerdo a patrones generales de la circulación atmosférica y a factores locales como topografía, vientos, vegetación, entre otros; este constituye el aporte principal para satisfacer las necesidades de agua en el campo agrícola.

3.5.1. Medición y monitoreo de precipitación

Independientemente del instrumento utilizado para el registro de precipitaciones a nivel de prácticas agrícolas, la constante observación y recolección de datos será quién permita conseguir información acerca de las características espaciales, de frecuencia, intensidad y cantidad acumulada y total de agua precipitada sobre un lugar específico. La precipitación se mide en altura de lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros (mm).

Según el diseño y configuración de los instrumentos se debe o no tener mayor intervención en el tratamiento de los datos recolectados. Instrumentos sencillos como un pluviómetro de la Figura 3.10 miden únicamente la cantidad de agua llovida cada cierto periodo de lectura, que coincide habitualmente con el inicio de la jornada laboral en campo.



Figura 3.10. Pluviómetro tradicional para medición de lluvias

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional [IMN] (s.f.)

Otros equipos como las estaciones meteorológicas automáticas de la Figura 3.11. complementan la red de observación manual proporcionando registros de la lluvia por duraciones de 5, 10, 15, 30 minutos y hasta cada 1 y 24 horas, con lo cual el comportamiento de los datos será amplio. Entre las ventajas que ofrecen se tiene el efectuar observaciones a la distancia y fuera del horario laboral cuando se requiera.



Figura 3.11. Estación meteorológica mecánica para medición de lluvias

Fuente: IMN (s.f.)

3.5.2. Precipitación media

La precipitación media representa el valor medio de la lámina de agua caída en un área definida, esta se determina con métodos como los polígonos de Thiessen o el de curvas Isoyetas Recursos Hídricos (2015).

3.5.3. Precipitación efectiva

Existen múltiples variables que ocasionan que no toda el agua obtenida por precipitación sea aprovechable por un cultivo. Se encuentran pérdidas por intercepción de follaje, cobertura del suelo, percolación profunda, evaporación y escorrentía rápida. Recursos Hídricos (2015) expone los criterios de diversos países donde se estima la lluvia efectiva como un porcentaje del total, todas estas experiencias explican en su guía de trabajo sirven de referencia para determinar la cantidad de agua aprovechable por las plantas.

Sin embargo, el grupo técnico explica que resulta más aproximado el método elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos que ha relacionado la precipitación y la evapotranspiración potencial del cultivo, aunque no tiene en cuenta la tasa de infiltración del suelo y la intensidad de la lluvia, por lo cual ajusta la lámina de agua con un factor de corrección.

3.6. Oferta de agua superficial por servicio de riego

La determinación del caudal o aporte de una fuente de agua dice Recursos Hídricos (2015) depende de la exactitud de la medida y de la variación de este, la duración del período de observaciones y de la densidad de la red de estaciones de aforo.

3.6.1. Hidrometría de explotación

El control de agua de riego, la distribución de esta por canales correctamente organizados en entradas y salidas, así como el estudio integral del sistema agua – explotación son las principales funciones del servicio hidrométrico de explotación según Liotta (2002) y Francisco et al (2009) citados por Cun González et al. (2017)

3.6.1.1. Estación de aforo

Cuando el agua se encuentra en reposo y además se encuentra embalsada o en una laguna su medición se da por el volumen contenido en el espacio definido, y esto se expresa normalmente en litros (L) o en metros cúbicos (m^3). Si el sistema cambia de estado y este se desplaza hacia un curso o por un curso, se le llama gasto o caudal, siendo un aforo la actividad de medición del caudal, el cual suele expresarse en L/s o en m^3/s (Cun González et al., 2017).

Del proyecto llevado a cabo por Bentancor et al. (2018), para el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria en Uruguay, se puede interpretar que hay una amplia gama de situaciones reales de medición en los sistemas de riego, donde el interés siempre es el medir y registrar la evolución de la altura de agua, caudal y consecuentemente el volumen transitado por un punto. Tomar de base el trabajo elaborado por los previamente citados es uno de los más completos panoramas de hasta dónde las tecnologías aportan a la gestión y eficiencia del uso del agua, estos declaran que:

Con el objetivo de lograr una tecnología de medición y transmisión de datos que permita mejorar la gestión y eficiencia del uso del agua, desde 2014 se llevó adelante el proyecto FPTA-292 “Desarrollo y evaluación de equipos para medición de agua de riego y transmisión de datos en sistemas de arroz y pasturas”. En el mismo se combinaron estructuras hidráulicas de aforo con registradores electrónicos dotados de sensores y elementos de transmisión de datos para permitir automatizar la medición, la

centralización de la información en una base de datos alojada en Internet que permitió el acceso remoto a la información. (p.10).

3.6.1.2. Aforo

Los métodos aprobados para medir caudales que por parte de instituciones gubernamentales que tienen relación directa con el uso del agua, tales como el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA], Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados [AyA], Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura [INCOPECA], Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] y los técnicos de la Dirección de Aguas [DA] del Ministerio del Ambiente y Energía [MINAE] son:

- a. Aforo volumétrico: se emplea para caudales pequeños y con varias mediciones puntuales, consiste en la medición del tiempo de llenado de agua en un recipiente con determinado volumen.
- b. Aforos con compuertas y vertederos: se represa el agua y se obliga a fluir por la estructura de aforo para medir el caudal a partir de la carga de agua sobre el orificio de descarga o bien cresta del vertedero, para ello se utiliza su respectiva ecuación de calibración.
- c. Aforos con correntómetro o molinete: el método hace uso de instrumentos que miden las revoluciones en las que gira una hélice (órgano móvil) en un tiempo determinado cuando fluye agua por ella, el cálculo de la velocidad estará dado por una ecuación calibradora por parte del fabricante del instrumento.
- d. Aforo con flotadores: se calcula la velocidad superficial de un objeto flotante en el tramo de un curso de agua con sección uniforme.
- e. Aforos con medidas de la sección y la pendiente: se calcula haciendo uso de la fórmula hidráulica de Manning.

(Phillips et al., 2004)

Manuales de capacitación para la medición del agua como los elaborados por Carrión (2015) instruyen la actividad al nivel de propiedad como la Figura 3.12, donde se es necesario

que el agricultor sepa cuánta agua está aplicando a la parcela, para un máximo aprovechamiento del recurso.



Figura 3.12. Prácticas de medición de caudal a nivel parcelario

Fuente: Carrión (2015)

3.7. Indicadores de eficiencia, sostenibilidad y productividad hídrica

En la evaluación de sistemas agrícolas es necesario estandarizar medidas para hacer comparables las prácticas de operación. Existen algunos indicadores para medir el desempeño productivo y económico en los sistemas agrícolas. Cuando estos indicadores son utilizados constituyen la pauta para identificar puntos vulnerables del sistema en los que se pueden tomar decisiones con un impacto positivo.

3.7.1. Eficiencia de riego

Para Villalobos Araya (2008) cuando se habla de eficiencia de riego a nivel de una zona de riego, se deben considerar tanto la eficiencia de almacenamiento, eficiencia de conducción y eficiencia de aplicación. Si se habla a nivel específico de un lote se utiliza la eficiencia de

aplicación, eficiencia de distribución y eficiencia de retención. La eficiencia con la cual se aplica el agua al suelo depende de dos factores:

- El manejo del agua durante el riego.
- Las características hídricas del suelo que se está regando.

La eficiencia en la conducción se define como la relación del volumen de agua derivado en el punto de uso parcelario con respecto al volumen de agua introducido al sistema de conducción desde la fuente o fuentes de suministro (Villalobos Araya, 2008).

Por su parte la eficiencia de aplicación es la relación entre el volumen de agua almacenado en la capa de exploración radical durante el riego y el agua derivada. Esta eficiencia refiere a la sustitución de agua al suelo en un riego específico, a diferencia del concepto de eficiencia de riego, la cual refiere a un lapso determinado (Villalobos Araya, 2008).

3.7.2. Huella hídrica

El concepto de huella hídrica precisan Romero et al. (2016) es un indicador de sostenibilidad que permite identificar el volumen de agua utilizada de manera directa o indirecta en un proceso productivo, apartando los posibles usos desmedidos que se dan al recurso hídrico y el impacto de las diferentes prácticas de manejo desde un punto de vista social, ambiental y económico.

Romero et al. (2016) hacen citar que para efectos de su cálculo y conceptualización, el estándar mundial de la Red Internacional de Huella Hídrica [WFN, por sus siglas en inglés] divide el indicador en tres componentes mostrados en la Figura 3.13:



Figura 3.13. Componentes indicadores de Huella hídrica

Fuente: Romero et al. (2016)

3.7.3. Productividad y uso del agua

Mejorar la productividad del uso del agua responde a la creciente demanda de alimentos de la población mundial. Existen diversos estudios y trabajos de investigación enfocados a determinar el valor productivo del agua según los rendimientos de las cosechas. Publicaciones elaboradas por Steduto et al. (2012), Gonzáles Cueto et al. (2020) y Riccetto et al. (2017) comparten que la productividad del agua de riego es determinada mediante la relación entre el rendimiento de arroz seco obtenido en kilogramos y el volumen de agua total utilizado en los riegos metros cúbicos, tomando como aporte total a este último el agua de riego y volumen de agua proveniente de las precipitaciones.

3.8. **Prospectiva: herramienta de análisis a los aspectos social, ambiental y económico**

3.8.1. Metodologías de análisis

Comprender la realidad que nos rodea se ha convertido en una necesidad imperiosa pese a estar en la era de la información alude LISA Institute (2020) en su publicación “*Qué es la Prospectiva y el Análisis Prospectivo: cómo anticipar el futuro*”. En el mismo artículo se utiliza la definición de prospectiva presentada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) a la que se le entiende como:

“Conjunto de tentativas sistemáticas para observar a largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad con el propósito de identificar las tecnologías emergentes que probablemente produzcan los mayores beneficios económicos o sociales.”

En otras palabras, la prospectiva sirve de herramienta de observación del entorno al mediano y largo plazo, cuyo objetivo es la identificación anticipada de aquellos aspectos que pueden tener una gran impacto social, tecnológico y económico en el futuro.

Se entiende hay metodologías para realizar el análisis prospectivo y tienen como objeto sistematizar la reflexión colectiva y posibilitar la consecución de consensos acerca de los escenarios que vendrán. La metodología debe ser seleccionada según el problema a afrontar, el plazo de estudio y la comunicación de los resultados. LISA Institute (2020) expone entre estos métodos los siguientes:

- a. Método Delphi: una de las metodologías más empleada que trata sobre encontrar ideas, formar opiniones y realizar pronósticos de futuro. Prepara cuestionarios, creados con hipótesis de futuro valoradas por expertos, así moviliza un mayor número de opiniones en la materia analizada.
- b. Construcción de escenarios: la construcción de escenarios es vista como una técnica empleada para dibujar un futuro probable e identifica los acontecimientos en el tiempo con el objetivo de entender cuál de todas esas alternativas se va convirtiendo en más probable por los indicadores de seguimiento.
- c. Método Mactor: conocido como análisis del juego de los actores, tiene como objetivo obtener un listado de actores, más o menos exhaustivo, componer una matriz de tácticas, objetivos y recomendaciones. Una vez realizado el análisis, se puede obtener una ayuda para el establecimiento de una guía de alianzas y conflictos.

4. METODOLOGÍA

El proyecto tomó lugar en la empresa agroindustrial El Pelón de la Bajura S.A perteneciente al Grupo Pelón en Costa Rica y dedicada entre sus labores al cultivo de arroz. El periodo de evaluación comprendió la época de invierno 2021.

La metodología propuesta contempla una serie de actividades que permitieron el alcance de los objetivos del proyecto. En la Figura 4.1. se describe el flujo de trabajo llevado a cabo.

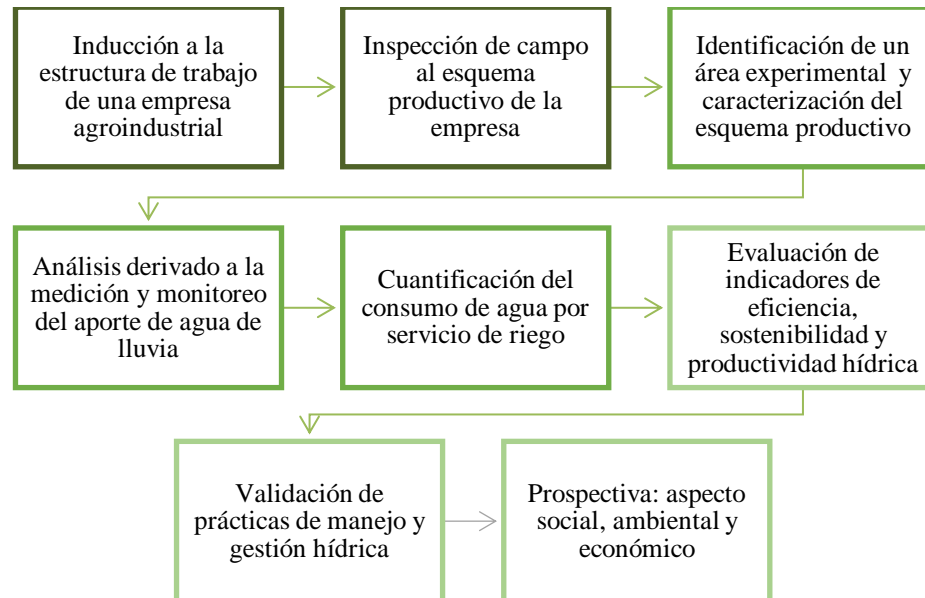


Figura 4.1. Flujo de trabajo para el desarrollo de proyecto

4.1. Inducción en la empresa

4.1.1. Departamentos en división agrícola

Con esta actividad se reconoció la dinámica de funcionamiento de los departamentos presentes en la empresa y se supo el rol que estos tienen durante la ejecución de todo un ciclo de producción. La Figura 4.2 detalla la jerarquía empresarial interna y departamentos dentro de la división agrícola.

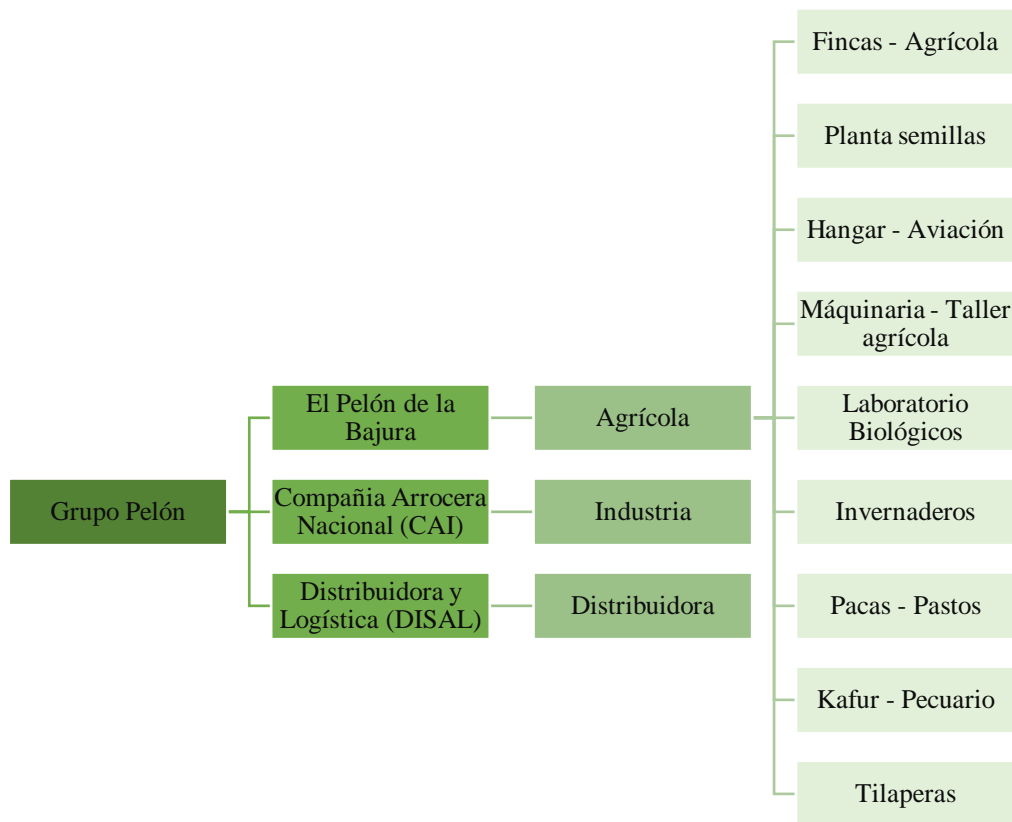


Figura 4.2. Jerarquía empresarial y departamentos de trabajo

4.2. Inspección de campo

4.2.1. Recorrido y encargado de empresa

El recorrido de campo a los lotes arroceros se dio por parte del jefe del departamento de riego y drenaje el ingeniero Alejandro Soto Barquero, quién como encargado del manejo del recurso que comprende este proyecto, fue guía y supervisor del desarrollo de actividades.

4.3. Identificación del área experimental

Se seleccionó un área productiva que fuese representativa dentro del esquema de la actividad arrocerera. Esta se identificó en una primera instancia *in situ* y posteriormente la misma se delimitó haciendo uso de herramientas de digitalización con el software de sistemas de información geográfica y de libre acceso *QGIS*. Los lotes que componen esta área fueron Lote Piches y Lote Inés.

Como parte de la comprensión del manejo de cultivo y gestión del recurso agua, se procuró realizar vuelos con un vehículo aéreo no tripulado (VANT) modelo DJI Phantom 4 Pro para así poder divisar el área desde una perspectiva de mayor control e identificación de irregularidades, ver Anexo 2.

4.4. Caracterización del esquema productivo

Para la caracterización del esquema productivo se recolectó datos de parámetros productivos como el clima, topografía, suelo, cultivo y agua. En la Figura 4.3 se relacionó la obtención de cada parámetro con un respectivo departamento a cargo de su registro y control.

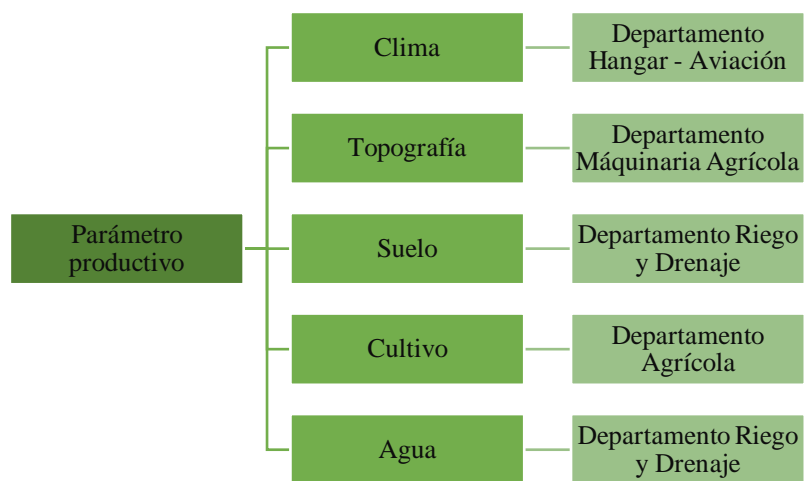


Figura 4.3. Relación de departamentos de trabajo y parámetros productivos

Realizada la recolección de los parámetros productivos, se aislaron y enmarcaron cada uno de estos a nivel de la extensión seleccionada para la evaluación, con la intención clara de generar variabilidad y comparación de los resultados.

4.4.1. Clima

Se obtuvo datos de la climatología general de la finca partiendo de los registros almacenados por la estación meteorológica automática 74075 del Instituto Meteorológico Nacional, con monitoreos tanto horarios – diarios de las condiciones climáticas y ambiente en la zona desde el año 2011 y un porcentaje de datos faltantes menor a un 15%. La forma de representar las anteriores fue a través de resúmenes promedio de cada variable para el periodo

de invierno según el histórico de años y el de estudio. También se ilustró el comportamiento en la zona con mapas interpolados con el método *Inverse Distance Weighting (IDW)* en el software *QGIS*.

4.4.2. Topografía

La maquinaria agrícola contó con sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) que permitieron grabar los trayectos de ruta (*tracklogs*) y puntos de ruta (*waypoints*) durante las labores de nivelación y adecuación de los lotes. Se desarrollaron modelos de representación de las superficies en el software *QGIS* y se obtuvieron así capas vectoriales con la extensión y perímetros de los lotes, perfiles topográficos de la superficie, mapas de gradientes de superficie.

4.4.3. Suelo

El tipo de suelo se clasificó según la capa vectorial de órdenes, subórdenes y calicatas del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica [CIA].

4.4.4. Cultivo

Con el programa de siembra preparado y validado por distintos jefes de departamentos se determinó la variedad de semilla a utilizar, el tipo de siembra durante el periodo evaluativo y las fechas de siembra así como de la cosecha de los lotes según el ciclo de cada variedad.

4.4.5. Agua

Haciendo uso de capas vectoriales se ubicó la infraestructura principal de riego y drenaje como las fuentes y tomas de servicio de agua para riego, los sistemas de canales de riego – drenaje y obras hidráulicas particulares como bombeos, compuertas, desfogues y otros.

4.5. Determinación de oferta de agua pluviométrica

Se determinó la oferta de agua pluviométrica según el esquema mostrado en la Figura 4.4.

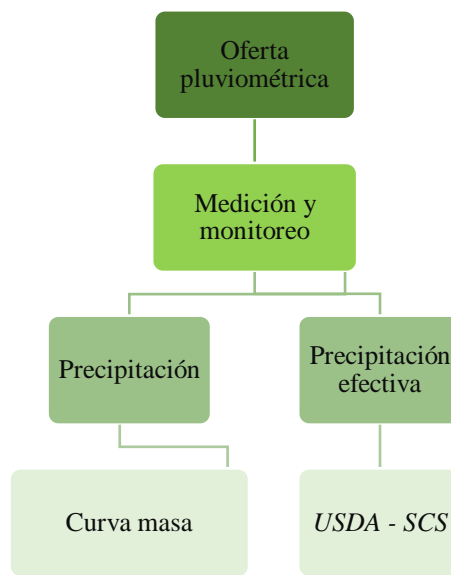


Figura 4.4. Progreso en la determinación de oferta de agua pluviométrica

Para la interpretación inicial de los datos se utilizó la regla general que dice que una superficie de 10 000 m² corresponde a una hectárea y 1 milímetro es igual a 0,001 m, por lo tanto una lluvia de 1 mm corresponde a 10 m³ de agua por hectárea, es decir, 1 mm/día es equivalente a 10 m³/ha/día.

4.5.1. Medición y monitoreo de precipitaciones

La medición de precipitaciones se realizó con el pluviómetro de mayor influencia al área experimental según el reporte diario brindado por los supervisores de fincas hacia el soporte del departamento de Hangar – Aviación.

El monitoreo de precipitaciones para la finca en general se dio con la estación meteorológica automática del IMN haciendo uso de la aplicación móvil *LoggerLink* de *Campbell Scientific* la cual aparte de la visualización de datos en tiempo real y gráficos, permitió recolectar rangos amplios de registro.

También, para el periodo de realización del proyecto se efectuó, por parte de representantes de la empresa Ag Innovatech, la instalación de dispositivos de monitoreo de condiciones de clima, agua y planta *Mark 2* de la marca *Arable*. Uno de estos, mostrados en la Figura 4.5 se ubicó en el Lote Piches. Entre sus medidas se tienen las mostradas en el Anexo 3, de las cuales se utilizó los reportes de precipitaciones y evapotranspiración.



Figura 4.5. Monitor de cultivo Mark 2 - Arable

4.5.2. Precipitación

Se definió el acumulado de agua de lluvia con los datos recibidos del pluviómetro ubicado en el Lote Piches, Figura 4.6, para la elaboración de la curva masa de precipitación, esta se representa como una curva no decreciente. A su vez, el registro de precipitaciones del monitor de cultivo *Mark 2* fue utilizado para así promediar un valor generalizado para el área experimental.



Figura 4.6. Pluviómetro de influencia en el área experimental

4.5.3. Precipitación efectiva

La determinación de este parámetro se realizó en el programa informático *Cropwat 8.0* de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, donde se calculó la precipitación efectiva con el método del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento

de Agricultura en los Estados Unidos [USDA – SCS] que fue desarrollado producto de balances hídricos, relacionando ingresos de agua por precipitación con las salidas por escurrimiento superficial y percolación, así como agua retenida en la zona radicular para diversos cultivos.

USDA - SCS

$$P_e = P_t \cdot \frac{125 - 0,2 \cdot 3 \cdot P_t}{125} \text{ con } P_t \leq 250 / 3 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Ecuación (1)}$$

$$P_e = 125 / 3 + 0,1 \cdot P_t \text{ con } P_t > 250 / 3 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Ecuación (2)}$$

Con,

P_e : precipitación efectiva mensual (mm) ; P_t : precipitación total mensual (mm).

Resaltados en color rojo se encuentran los factores de corrección que el programa utilizó para el caso de registro de precipitación de forma diaria.

4.6. Cuantificación de la oferta de agua por servicio de riego

Se cuantificó la oferta de agua por servicio de riego según el esquema mostrado en la Figura 4.7.

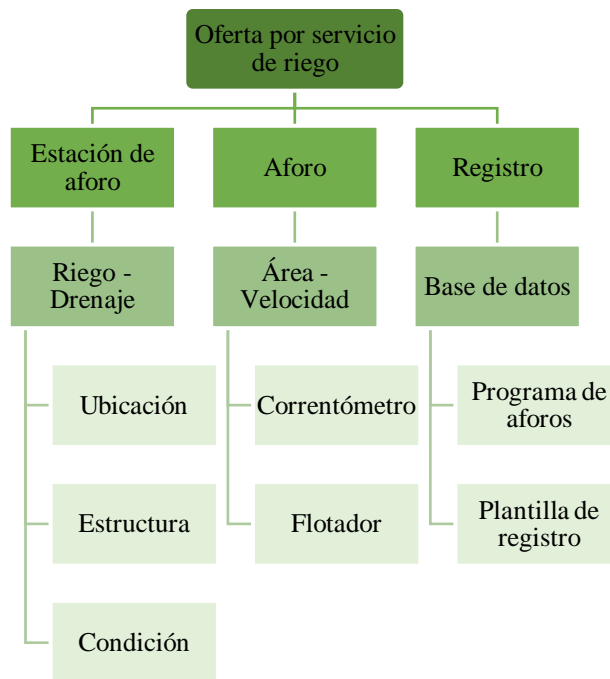


Figura 4.7. Pluviómetro de influencia en el área experimental

4.6.1. Estación de aforo

Cada estación de aforo se ubicó, identificó y estableció acorde al estado en que se encontrara la sección del tramo de curso de agua en términos de uniformidad, estabilidad y constancia en el tiempo, que fuera de fácil acceso y sin singularidades que pudieran afectar la medición realizada. Seguido a esto, se clasificó según el interés de medición, destacando entre estos conducción y riego – drenaje. La Figura 4.8 evidencia la infraestructura encontrada para definición de las estaciones de aforo.



Figura 4.8. Infraestructura de riego – drenaje

Cada tramo de evaluación de la eficiencia de conducción se definió para condiciones variables en los lotes en estudio, ya que el lote Piches se compone de una conducción principalmente por un canal de tierra abierto y el lote Inés posee una conducción por un canal trapezoidal revestido. El Cuadro 4.1 sintetiza la ubicación, estructura y condición de estos.

Cuadro 4.1. Características de los tramos de evaluación de eficiencia de conducción

Lote	Ubicación	Tramo (m)	Estructura	Condición
Piches Conducción	N: 1158036,4540	223,438	Canal en tierra, sección parabólica	Con cobertura vegetal, cama de sedimentos
	E: 346150,9196			
	N: 1158082,3730			
	E: 346356,2555			
Inés Conducción	(1) N: 1157634,4460	190,935	Canal revestido, sección trapezoidal	Talud con cobertura vegetal, cama de sedimentos
	E: 346490,9125			
	(2) N: 1157509,6160	59,402		
	E: 346532,4497			
	N: 1157453,1570			
	E: 346550,9495			

En la Figura 4.9 se muestran los tramos de evaluación de conducción en los canales utilizados para riego en el área experimental.



Figura 4.9. Tramos de conducción de agua para servicio de riego para (a) Lote Piches (b) Lote Inés

Para las estaciones de aforo de riego se estableció una única entrada para los lotes Piches e Inés que presentaron una estructura en revestimiento aprovechable para la medición del caudal. El Cuadro 4.2 resume la ubicación, estructura y condición de estos y la Figura 4.10 refleja las características mencionadas.

Cuadro 4.2. Características de las estaciones de aforo de riego

Lote	Tipo	Ubicación	Estructura	Condición
Piches	Riego	N: 1158082,3730	Canal revestido, sección trapezoidal	Daño en talud, cama de sedimentos
		E: 346356,2555		
Inés	Riego	N: 1157453,1570	Canal revestido, sección trapezoidal	Talud con cobertura vegetal, cama de sedimentos
		E: 346550,9495		



Figura 4.10. Secciones revestidas para medición de caudal de riego para Lote Piches ^(a) y Lote Inés ^(b)

En cuanto a las estaciones de drenaje, el lote Piches presentó una condición de desagüe en dos sentidos, tanto para las secciones 1-2 y secciones 3-4, así que el método fue la suma de ambos caudales en cada estación definida. En el lote Inés se encontró que el drenaje estaba compuesto por alcantarillas. El Cuadro 4.3 resume la ubicación, estructura y condición de estos. La Figura 4.11 alude al mencionado acomodo de los drenajes para el lote Piches y alcantarillas de drenaje del lote Inés.

Cuadro 4.3. Características de las estaciones de aforo de drenaje

Lote	Tipo	Ubicación	Estructura	Condición
Piches	Drenaje	(D1) N: 1157992,1030	Canal en tierra, sección parabólica	Con poca cobertura vegetal, leve cama de sedimentos
		E: 347475,8263		
		(D2) N: 1157983,2750		
		E: 347476,9012		
		(D3) N: 1157546,0780		
		E: 347541,9612		
		(D4) N: 1157536,1240		
		E: 347541,1869		

Continuación Cuadro 4.3. Características de las estaciones de aforo de drenaje

Inés	Drenaje	(D1) N: 1157392,1250 E: 347497,6625	Alcantarilla	Daños a la entrada de tubería, fugas laterales
		(D2) N: 1156997,6470 E: 347388,7904		
		(D3) N: 1156606,2370 E: 347292,1974		
		(D4) N: 1156402,7460 E: 347236,6883		
		(D5) N: 1155914,2920 E: 347072,2770		



Figura 4.11. Obras para medición de caudal de drenaje para Lote Piches ^(a) y Lote Inés ^(b)

4.6.2. Aforos

Entre los métodos de aforo que Phillips et al (2004) conceptualizan se implementó los siguientes partiendo de las condiciones encontradas:

Área - Velocidad

- a. Aforos con correntómetro: el método hizo uso del instrumento de precisión marca Gurley modelo 622D mostrado en la Figura 4.12, con el cual se midió las revoluciones con las que gira un órgano móvil cuando fluye agua por él, en un tiempo definido de 40 s, además, el cálculo de la velocidad (\bar{V}) estuvo dado por una ecuación calibradora por parte del fabricante del instrumento.

$$\bar{V} = 0,672 \cdot \frac{R}{t} + 0,005 \dots\dots\dots \text{Ecuación (3)}$$

Con,

\bar{V} : velocidad medida en metros por segundos (m/s) ; R : número de revoluciones del órgano móvil (adim.) ; t: tiempo de conteo de revoluciones en segundos (s).

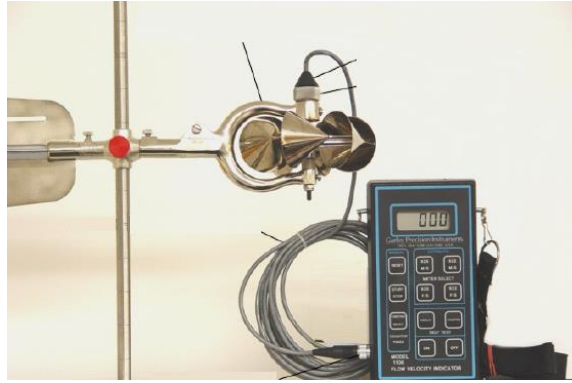


Figura 4.12. Correntómetro Gurley Mod. 622D

Fuente: Gurley Precision Instruments (s.f.)

- b. Aforos con flotadores: se calculó el caudal utilizando la ecuación de continuidad.

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots \text{Ecuación (4)}$$

Con,

Q : caudal; V : velocidad superficial de un objeto flotante en el flujo de agua; A : tramo con sección transversal uniforme.

4.6.3. Programa de aforos

La conducción de riego fue medida con aforos mensuales en los tramos definidos, mientras que las mediciones del caudal drenado se procuró realizarlos en circunstancias de aforo durante un riego estable (sin aporte de lluvia) para así cuantificar en promedio cuánta agua sale del sistema debido a un riego de mantenimiento, únicamente.

Las mediciones de caudal para el riego de germinación dieron inicio 24 horas después de la actividad de la siembra cuando se le dio un seguimiento diario en los lotes del área experimental. Para este no existió medición de las salidas de agua drenada ya que en este riego los boquetes de drenaje se taparon para generar uniformidad en la lámina de agua dentro de los cuadros sembrados.

El riego de mantenimiento implicó la medición tanto de las entradas y salidas de agua a los lotes de forma semanal y se anotó la entrada o corte del agua así como las horas de riego acumuladas por lote, sujetas a la norma establecida a lo interno del departamento y jefes de finca que piden a los supervisores de finca cortar todo riego y valorar enseguida la apertura de boquetes de drenaje para evitar inundar el cultivo cuando se registre una lámina caída de agua de lluvia mayor a 50 mm.

4.6.4. Registro base de datos

Se utilizó una plantilla de registro, autoridad del departamento de riego y drenaje, mostrada en el Anexo 4, para garantizar el reporte y registro continuo de los aforos realizados durante el programa de medición.

El formato de la plantilla se estableció para mediciones con el correntómetro Gurley Mod. 622D, haciendo uso del método de área – velocidad que divide la sección hidráulica en “N” tramos con “n” verticales espaciadas a un “L” entre 0,30 m a 0,5 m por todo el espejo de agua.

En cada tramo se obtuvo la velocidad media de cada vertical que forma el mismo y se midió la velocidad puntual al 60% de la profundidad medida con respecto a la superficie libre de agua. Para Villón (2004) esta velocidad media (\bar{V}_m) se representa como:

$$\bar{V}_m = \bar{V}_{0,60} \dots\dots\dots \text{Ecuación (5)}$$

Con,

\bar{V}_m : velocidad media en metros por segundo (m/s) ; $\bar{V}_{0,60}$: velocidad medida al 0,60 de cada vertical en metros por segundo (m/s).

Definida la velocidad media de cada vertical se calculó la velocidad promedio (\bar{V}_p) en el tramo promediando sus verticales según:

$$\bar{V}_p = (\bar{V}_0 + \bar{V}_1) / 2 \dots\dots\dots \text{Ecuación (6)}$$

Con,

\bar{V}_p : velocidad promedio del tramo en metros por segundo (m/s) ; \bar{V}_0 y \bar{V}_1 :
 velocidad media de verticales continuas en metros por segundos (m/s).

Se determinó posteriormente el área de tramo utilizando reglas geométricas:

$$A_p = (h_0 + h_1) \cdot L/2 \dots\dots\dots \text{Ecuación (7)}$$

Con,

A_p : área del tramo medida en metros cuadrados (m²) ; h_0 y h_1 : profundidad de
 verticales continuas en metros (m); L : longitud de tramo entre verticales
 continuas en metros (m).

El caudal por tramo fue dado por la multiplicación entre la velocidad promedio y el área
 de este, es decir con la ecuación de continuidad:

$$Q_i = \bar{V}_p \cdot A_p \dots\dots\dots \text{Ecuación (8)}$$

Con,

Q_i : caudal unitario por tramo medido en metros cúbicos por segundo (m³/s) ; \bar{V}_i
 : área de la sección transversal ; A_i : área del tramo medida en metros cuadrados
 (m²)

Finalmente, el caudal total corresponde a la suma de todos los caudales de cada tramo:

$$Q_t = \sum Q_i \dots\dots\dots \text{Ecuación (9)}$$

Con,

$\sum Q_i$: sumatoria de caudales unitarios por tramo

4.7. Evaluación de indicadores del recurso hídrico agrícola

Se obtuvo indicadores de eficiencia, sostenibilidad y productividad con influencia
 directa del uso actual del recurso hídrico, tal como se muestra en la Figura 4.13.

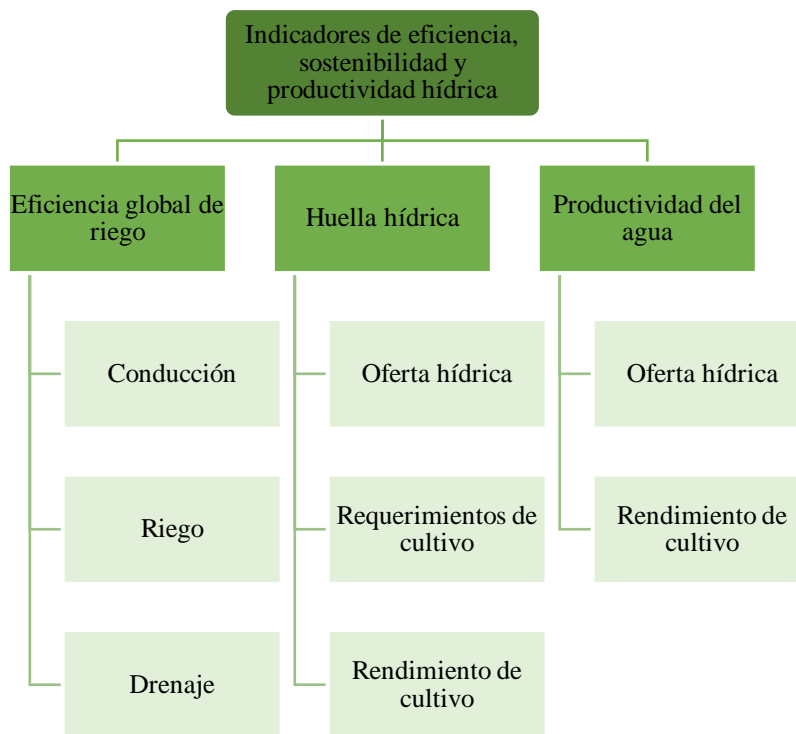


Figura 4.13. Parámetros para el cálculo de indicadores hídricos

4.7.1. Eficiencia de riego global

Se determinó la eficiencia de conducción como la relación de caudal derivado a la cabecera de los lotes y el de la entrada al canal de conducción:

$$Efc = \frac{Q_e}{Q_o} \cdot 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación (10)}$$

Con,

Efc : eficiencia de conducción en porcentaje % ; Q_e : caudal derivado a la cabecera de los lotes en metros cúbicos por segundo (m^3/s) ; Q_o : caudal a la entrada de los canales de conducción en metros cúbicos por segundo (m^3/s)

La eficiencia de aplicación en cambio se determinó como la relación del caudal retenido en el lote y el derivado a la cabecera de los lotes:

$$Q_r = Q_e - Q_d \dots\dots\dots \text{Ecuación (11)}$$

$$Ef_a = \frac{Q_r}{Q_e} \cdot 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación (12)}$$

Con,

Ef_a : eficiencia de conducción en porcentaje % ; Q_r : caudal retenido en los lotes en metros cúbicos por segundo (m^3/s) ; Q_e : caudal derivado a la cabecera de los lotes en metros cúbicos por segundo (m^3/s) ; Q_d : caudal drenado de los lotes en metros cúbicos por segundo (m^3/s)

Para definir eficiencia de riego global se calculó el producto de la eficiencia de conducción y la eficiencia de aplicación.

4.7.2. Huella hídrica

La huella hídrica verde generada durante el tiempo enmarcado desde la siembra a la maduración completa del cultivo se calculó como:

$$HH_{\text{verde}} = \left(\frac{ET_v + I_v}{R} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (13)}$$

Con,

HH_{verde} : huella hídrica verde (m^3/ton) ; ET_v : evapotranspiración de agua verde (m^3) ; I_v : incorporación de agua verde (m^3); R : rendimiento agrícola del cultivo (ton);

La huella hídrica azul se calculó como:

$$HH_{\text{azul}} = \left(\frac{ET_a + I_a + N_r}{R} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (14)}$$

Con,

HH_{azul} : huella hídrica azul (m^3/ton) ; ET_a : evapotranspiración de agua azul (m^3) ; I_a : incorporación de agua azul (m^3); N_r : agua no retornada al sistema; R : rendimiento agrícola del cultivo (ton)

Del informe presentado por Romero & Sierra (2020) para la cuantificación de la huella hídrica del cultivo de arroz, se tomó en consideración las mismas condiciones de evaluación en su estudio, que de igual forma se ajustan a los lineamientos de la WFN:

1. Debido a dos tipos de ingreso de agua al sistema, el agua consumida por evapotranspiración fue asignada de manera proporcional al ingreso de agua lluvia y al ingreso de agua de riego.
2. El volumen de agua incorporada al producto se despreció, al ser una cantidad mínima en relación con el agua evapotranspirada por el cultivo.
3. El componente de agua no retornada incluyó las pérdidas solo por percolación profunda (CAPITULO 9. PERCOLACIÓN PROFUNDA) ya que corresponde a agua no disponible.
4. Una aplicación excesiva de agua, que resulta en una salida elevada de agua por escorrentía, no está reflejada en ningún componente de la HH_{azul} razón por la cual se determinó un indicador que reflejara la escasez temporal de agua que es extraída de un caudal. Este resultó de dividir el agua de riego que no se usó sobre el rendimiento.

4.7.3. Productividad y uso del agua

La productividad del agua se determinó mediante la relación entre el rendimiento de arroz seco y limpio contra el volumen de agua total utilizado durante el ciclo. Se tomó como aporte total el agua de riego y el proveniente de la precipitación efectiva:

$$WP_t = \frac{R}{A_T} \cdot 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación (15)}$$

Con,

WP_t : productividad del agua en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3); R: rendimiento agrícola del cultivo (kg/ha); A_T : total del agua aplicada en metros cúbicos por hectárea (m^3/ha)

4.8. Validación de prácticas de manejo y gestión hídrica

Se comparó los valores obtenidos durante el programa de aforos con los registros diarios del supervisor asignado en el departamento de riego y drenaje, quien de forma empírica logra estimar el caudal que por alguna estructura o canal se conduce. Se actualizó asimismo el registro de caudales diarios que se ha llevado por 7 años para analizar alguna tendencia en los consumos del agua por servicio de riego por cada ciclo productivo y específicamente con las áreas experimentales.

La forma en que se abordó la existencia o no de escenarios de déficit hídrico, generalizado para el esquema productivo en invierno fue utilizando la siguiente ecuación de balance:

$$\pm \Delta HS = (P + R + C + FS) - (ET + ES + D) \dots \dots \dots \text{Ecuación (16)}$$

Donde,

ΔHS : balance hídrico; P : precipitación; R : lámina de riego; C : capilaridad de agua; FS : flujo subsuperficial de agua; ET : evapotranspiración del agua; ES : escorrentía superficial; D: percolación profunda.

Como entrada se dispuso de la oferta pluviométrica de agua P, mostrando así la significancia de volumen para suplir las necesidades agronómicas del cultivo. A través de un reporte brindado por parte del supervisor de niveles y caudales del consorcio COPEVICA se extrajo el caudal ofertado diariamente por servicio de riego R.

Para las pérdidas por ET, ES y D se tomó el promedio diario de la evapotranspiración registrada con el monitor de cultivo Mark 2, la escorrentía y percolación profunda promedio medida en el área experimental. En cuanto a los flujos C y FS son mínimos y difíciles de medir, se ha citado en Romero et al. (2016) que podrán no considerarse más aún en un período corto de tiempo.

También se remontó a un estudio de los consumos de agua por servicio de riego para el año 2014 realizado por el departamento de Riego – Drenaje. El trabajo en su momento se desarrolló supervisando los caudales diarios en compuertas y estructuras de entrada a los lotes

para promediar el consumo mensual en cada lote y así determinar caudales por hectárea de cada lote, el volumen aplicado mensualmente por lote y el volumen por ciclo productivo de los lotes, fuese en el verano o invierno.

4.9. Prospectiva: herramienta de análisis a los aspectos social, ambiental y económico

Un análisis prospectivo se realizó con fines de poder describir como la gestión del recurso hídrico tiene un efecto directo sobre la sostenibilidad y rentabilidad del esquema productivo general, identificando 3 ejes temáticos principales:

1. Manual del aguador: Principios básicos para el manejo del riego en el cultivo de arroz (Kraemer et al., 2012).
2. La Convención de Ramsar y las arroceras como humedales artificiales (Benzaquén, 2008).
3. Tarifas en el DRAT: Servicios de riego agrícola y de agua para piscicultura (2021).

El método de abordaje de este análisis fue la construcción de escenarios futuros, según el indicador de seguimiento con mayor presencia en las prácticas y gestión del recurso agua en finca. A su vez, cada escenario fue descrito por experiencia en campo. El formato del Cuadro 4.4 permitió describir cada situación y referir a un insumo o entregable que fuese visto como una herramienta de apoyo para las personas involucradas en la actividad.

Cuadro 4.4. Aspectos de evaluación prospectiva con escenarios futuros

Aspecto	Indicador de seguimiento	Futuro escenario	Material de apoyo
Social	-	-	-
Ambiental	-	-	-
Económico	-	-	-

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Inspecciones de campo

Al efectuarse los recorridos de campo se conoció el manejo del cultivo para el periodo de evaluación. La composición general de esta extensión agrícola se encuentra dividida en tres fincas denominadas Finca 1, Finca 2 y Finca 4, ver Anexo 5. Del área sembrada se expuso fue habilitada un área menor con respecto a las siembras de verano producto no sólo de las condiciones climáticas tan variables y adversas, sino por un tema del manejo del recurso hídrico.

5.2. Área experimental seleccionada

La unidad experimental se compuso del lote Piches y lote Inés, con una extensión de área de 87,23 ha y 65,52 ha, respectivamente. Ubicados próximos a la coordenada de referencia N: 1157375,5464 E: 347050,6893; estos lotes se encontraron enmarcados dentro de los límites de Finca 4. En la Figura 5.1 se ubica el área experimental.

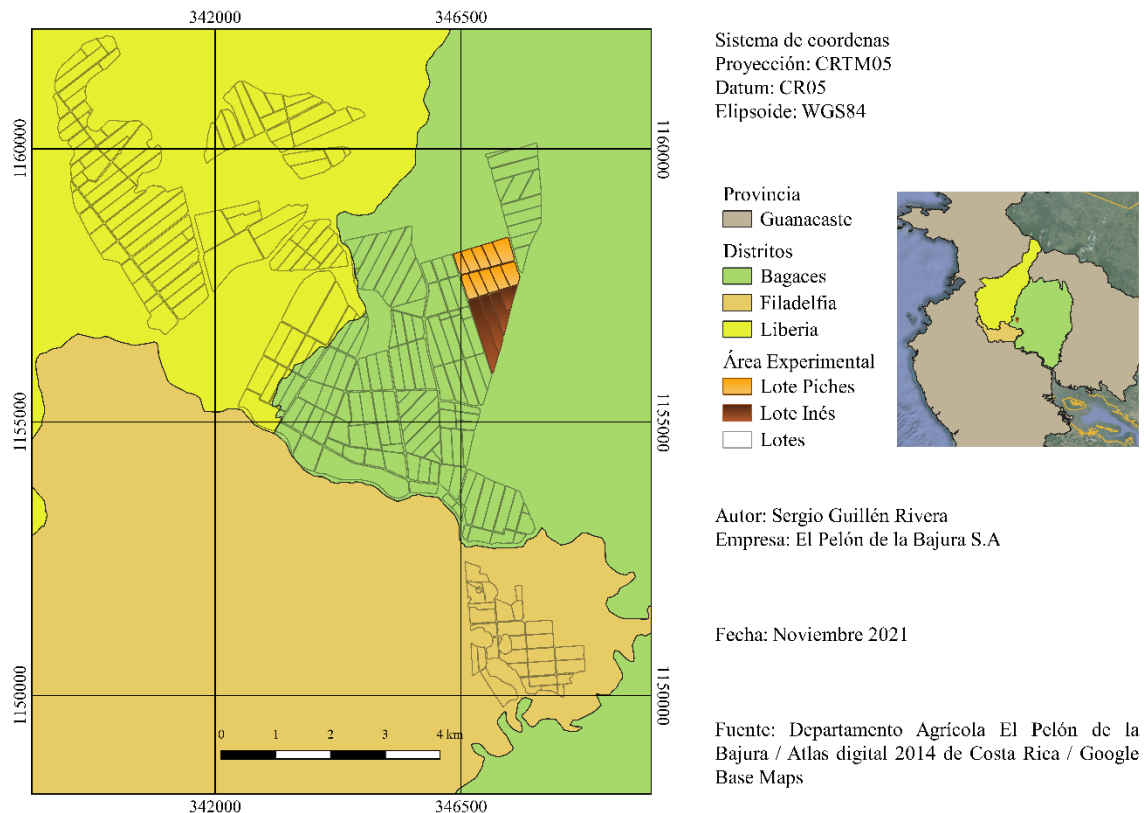


Figura 5.1. Ubicación geoespacial del área experimental

5.3. Parámetros productivos

Clima

La poca luminosidad, vientos fuertes, precipitaciones de alta intensidad y distribuidas de forma irregular así como inundaciones son parte de los retos que se tienen durante la época de invierno. Propiamente con el tema de precipitaciones, la respuesta fue dar atención especial a la operación de compuertas, control eficiente del riego con los caudales de entrega y salidas de drenajes así como una búsqueda de una mejor adecuación de los lotes para un mejor uso del agua de riego y manejo de los excedentes por escorrentía superficial.

En el Cuadro 5.1 se presenta un resumen de las condiciones climáticas en cuanto a temperaturas (T) y precipitación (P) de la época invierno 2021 comparado con la serie histórica 2017-2020 en la finca El Pelón de la Bajura utilizando la estación meteorológica del IMN

Cuadro 5.1. Serie histórica de condiciones climáticas en la finca El Pelón de la Bajura

Mes	Serie Histórica 2017-2020				Periodo Invierno 2021			
	T (máx)	T (min)	T (prom)	P (mm)	T (máx)	T (min)	T (prom)	P (mm)
Julio	32,64	23,05	27,84	56,00	32,76	22,87	27,82	137,20
Agosto	32,68	23,01	27,85	199,15	32,68	22,72	27,70	340,40
Septiembre	32,60	23,03	27,82	295,25	32,57	22,69	27,63	355,00
Octubre	31,26	22,84	27,05	466,25	32,66	22,73	27,69	354,40
Noviembre	31,44	22,43	26,93	190,35	31,83	21,82	26,83	41,20
Diciembre	31,41	22,33	26,87	18,20	-	-	-	-

Se presentó en los promedios de la serie histórica una distribución de lluvias mayor en los meses de Agosto y Septiembre, adicionales al mes de Octubre abarcaron hasta un 85% de las precipitaciones del periodo. La condición habitual y más característica de la zona es un mes de octubre lluvioso, sin embargo, en el Cuadro 5.1 se refleja como desde el inicio de siembra prevista a finales de Julio ya existía un aporte por encima del promedio. Por una parte, se pudo dar aprovechamiento de la humedad retenida en los perfiles del suelo para la germinación de semillas en lotes, no obstante, el qué durante las etapas de desarrollo vegetativo existiera un aporte por encima del promedio habla de un tiempo lluvioso que implicó la intervención al

sistema en cuanto al mantenimiento de riego y drenaje para evitar pérdidas de arroz y daños en la adecuación de los lotes.

Topografía

En los lotes del área experimental se realizó una nivelación con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés). Separando al lote Piches con una micronivelación a curvas de nivel y bordeo con taipas. En el lote Inés por su parte se compuso con una pendiente más marcada en el sentido longitudinal con micronivelación. Estos lotes tuvieron una práctica de manejo de mínima labranza, por lo que, se valoró únicamente la rectificación de las taipas o bien un rastreo superficial para no disturbar el terreno ni cobertura vegetal, ver Anexo 6. En la Figura 5.2 se visualiza un mapa con las elevaciones promedio en el área experimental y sobrepuesto en este los gradientes de flujo según el movimiento del agua dada la adecuación del lote.

Suelo

Existen asociaciones de suelos profundos y superficiales dentro de la unidad experimental. Por una parte, se encontró el orden de suelo Vertisoles con perfiles de al menos un metro de profundidad, de drenaje lento y texturas muy arcillosa. También, se halló el orden de Inceptisoles el cual sin un buen avenamiento de las aguas resulta en un suelo muy mal drenado, su textura es franco arcillosas particular de la zonas planas de Guanacaste. En la Figura 5.2 se integran los órdenes de suelo descritos.

Cultivo

Las variedades de arroz que fueron utilizadas son Senumisa 20 y Lazarroz. Se debe describir que la variedad Lazarroz posee un ciclo de al menos 10 días más a cosecha después de germinado. Su adaptación a la época de invierno resulta en valoración de bueno a muy bueno. El tipo de siembra fue convencional con sembradora directa. La distribución de cada variedad en los lotes se muestra en la Figura 5.2.

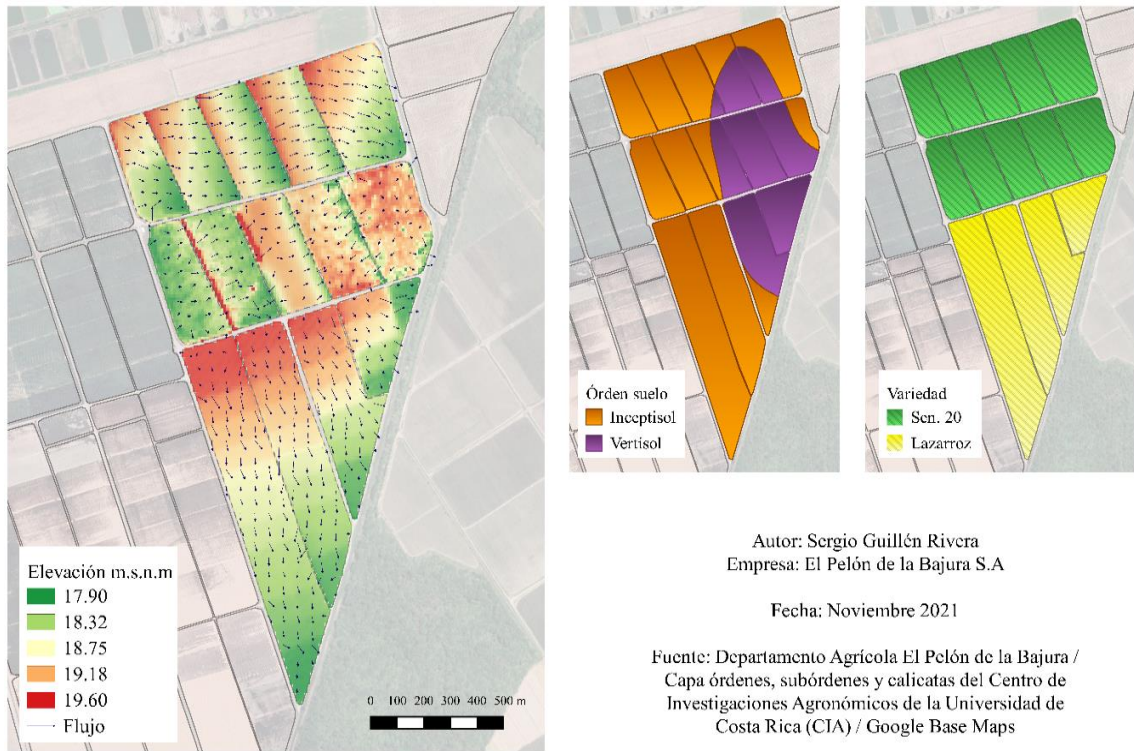


Figura 5.2. Parámetros productivos de topografía, suelo y cultivo

Agua

El Canal Oeste de riego del SENARA, representado en la Figura 5.3, tiene como primer punto de deriva hacia Finca 4 en la compuerta de Cabuyo 3 ^(a), abonado se dispusieron de las compuertas Tilapias ^(b) y Las Gemelas ^(c) que reciben aporte de este. Estas últimas mencionadas cubrieron el mayor caudal de riego para Finca 4 y consecuentemente los lotes del área experimental a través de los canales de riego y drenaje principales.

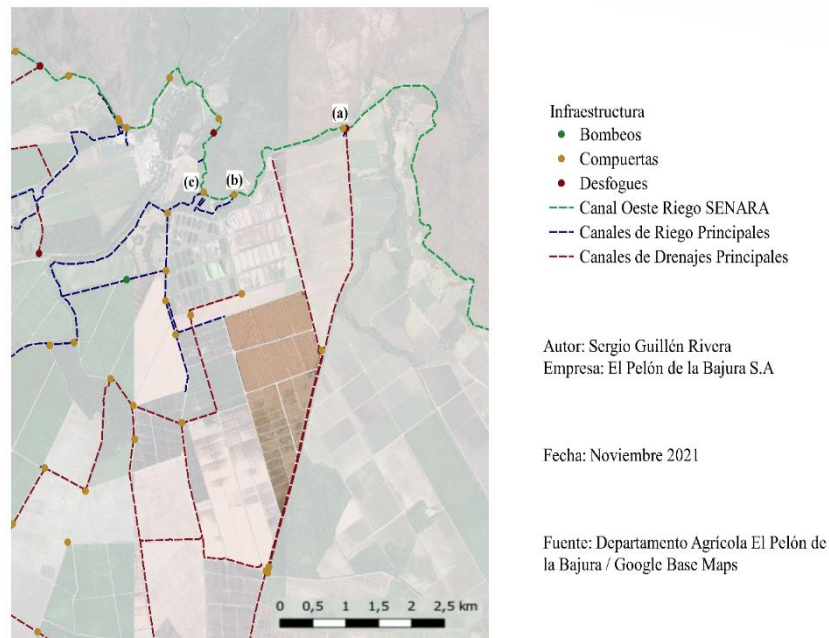


Figura 5. 3. Infraestructura principal de riego y drenaje

5.4. Ubicación de instrumentos y estaciones de medición

Se trabajaron hasta 70 mediciones en campo mediante el programa de aforos para conducción, riegos de germinación y mantenimiento, drenaje y percolación. En el Anexo 7 se identifica la labor. Se debió contemplar asimismo el seguimiento continuo de los registros y monitoreo de las precipitaciones de forma diaria con la red pluviométrica y el monitor de cultivo instalado en el área experimental.

Fue de suma importancia contar con las estaciones bien definidas y ubicadas desde la metodología a seguir, por lo tanto, no hubo inconveniente en encontrar puntos y tramos uniformes, representativos y constantes en el tiempo. Una situación enfrentada ocasionalmente y que requirió de atención para lograr una medida fiable con el instrumento correntómetro fue la obstrucción del órgano móvil con vegetación acuática, tal como se percibe en el Anexo 8, lo anterior impedía que girara con plena libertad cuando fluía el curso de agua por lo que la medición se repetía. La Figura 5.4 ubica las estaciones de medición e instrumentación utilizadas.

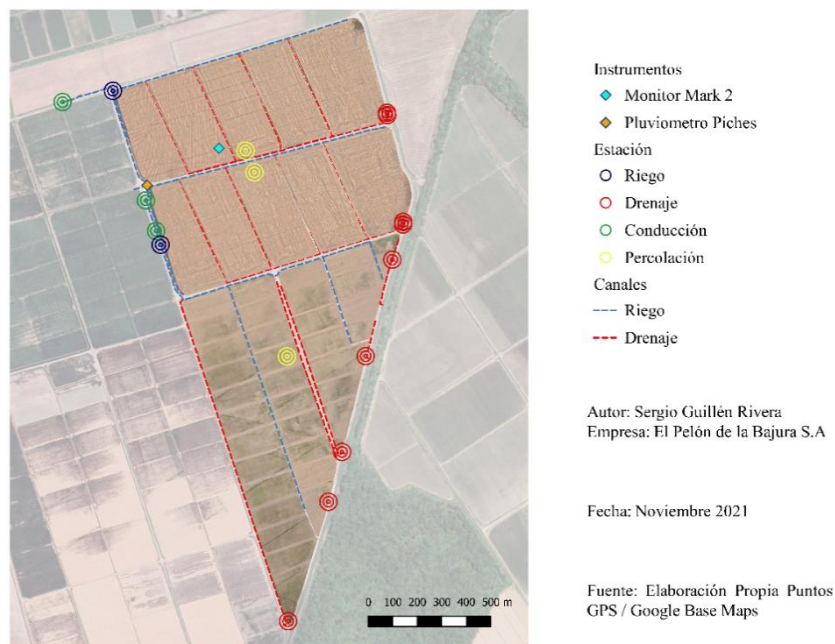


Figura 5.4. Estaciones de medición e instrumentación del proyecto

5.5. Oferta de agua pluviométrica

Se tiene descrita la importancia de comprender el régimen pluviométrico a nivel de área experimental ya que constituye el aporte principal para satisfacer las necesidades de agua en el sistema, como se muestra en la Figura 5.5 los registros del pluviómetro de influencia Piches y el monitor Mark 2 difieren en 380 mm de lluvia para un acumulado promedio de lámina de precipitación de 1 400 mm, que dada la conversión a volumen de agua incorporado, se habla teóricamente de hasta 14 000 m³/ha.

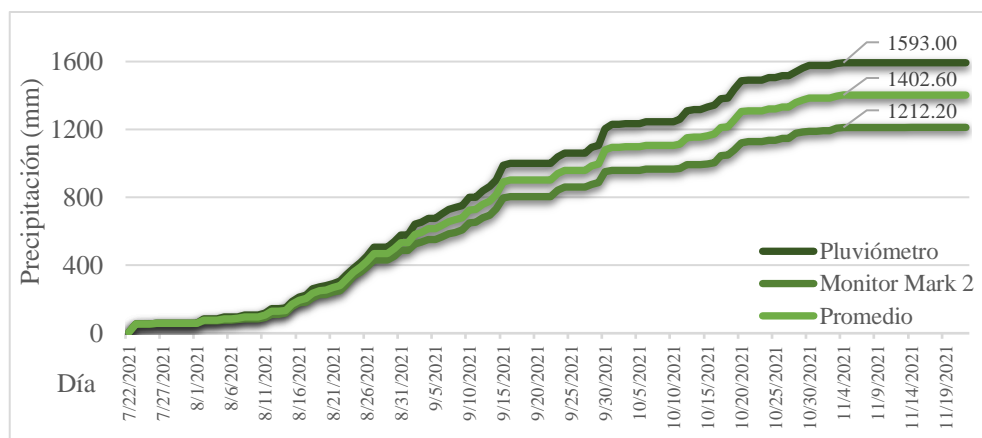


Figura 5.5. Curva masa de precipitación por instrumentos de medición

Tal diferencia se ha encontrado obedeció al tipo de interpretación o lectura que se realiza con cada instrumento. Por una parte, la incertidumbre que puede generar la medición a través de la lectura del supervisor quién cada día acude al punto para registrar la lámina llovida. El monitor de cultivo, a través de sensores y un disdómetro logra caracterizar la lluvia precipitada a partir de variables como intensidad, tamaño y frecuencia de gota.

Parte del análisis que se logró fue ver la correlación de los datos de precipitaciones, Anexo 9, encontrando un R^2 de 0,92 entre el pluviómetro Piches y el monitor de cultivo Mark 2 distanciados a 330 m uno del otro; un R^2 de 0,76 entre los datos de la estación meteorológica del IMN y el monitor distanciados en este caso a 2 600 m. También, dentro de la empresa se han utilizado plataformas en línea con modelos meteorológicos específicos que pronostican las condiciones de precipitación en la zona, una serie de datos como por ejemplo de la plataforma EOS Crop Monitoring fue comparada con los registros del monitor y se encontró un R^2 de 0,24.

En el Anexo 10 se trazaron las líneas de tendencia y valores de correlación obtenidos y con esto se justifica la necesidad de una calibración del monitor en campo ya que el equipo lograría automatizar las mediciones, a su vez que ejecutaría un monitoreo de otras variables climáticas relacionadas como humedad, temperatura y déficit de vapor a nivel de cultivo, en comparación a un pronóstico generado por algún modelo climático y a escala regional en la mayoría de los casos, con resoluciones horizontales de kilómetros.

De los modelos de cálculo de precipitación efectiva como el de USDA – SCS se obtuvo un acumulado bastante inferior al promedio obtenido con instrumentación, un 41,31% menos como se muestra en el Cuadro 5.2. Si bien estos modelos buscan comprender las pérdidas generadas dentro del sistema por percolación profunda y escorrentía en la práctica el único comportamiento que pudo ser válido es que a mayores precipitaciones mensuales existió mayor escorrentía debida al drenaje del lote y que además los meses con mayores registros de precipitación coinciden con las etapas medias del cultivo (desarrollo vegetativo) lo que favorece a una mayor intercepción de agua en el follaje y cobertura de suelo.

Cuadro 5.2. Precipitación efectiva mensual con el modelo USDA - SCS

Mes	Precipitación (mm)	Precipitación efectiva (mm)
Jul.	58,90	53,31
Ago.	439,60	172,43
Sep.	497,30	179,52
Oct.	379,50	155,52
Nov.	27,60	18,80
Dic.	-	-
Total	1402,90	579,56

5.6. Oferta de agua por servicio de riego

El programa de aforos para el área experimental se resume en el Anexo 11. La oferta de agua promedio debida al servicio de riego para el área experimental fue mayor a 15 000 m³/ha. Este consumo se reportó alto acorde a la referencia disponible al realizar el presente trabajo, que corresponde a un oficio a lo interno del DRAT para los subdistritos Cabuyo, Tempisque y Zapandí, en el cual se definió para el año 2007 un consumo hídrico para arroz de alrededor 10 000 m³/ha para la época de invierno.

Del consumo total del agua de riego, el correspondiente a germinación significó un 5,15% del total en el lote Piches. En cuanto al lote Inés, este tuvo un manejo diferenciado en el riego de germinación ya que aprovechó la humedad contenida en el suelo por las precipitaciones.

Se obtuvo por tanto un volumen de agua único por mantenimiento, según se distingue en la Figura 5.6.

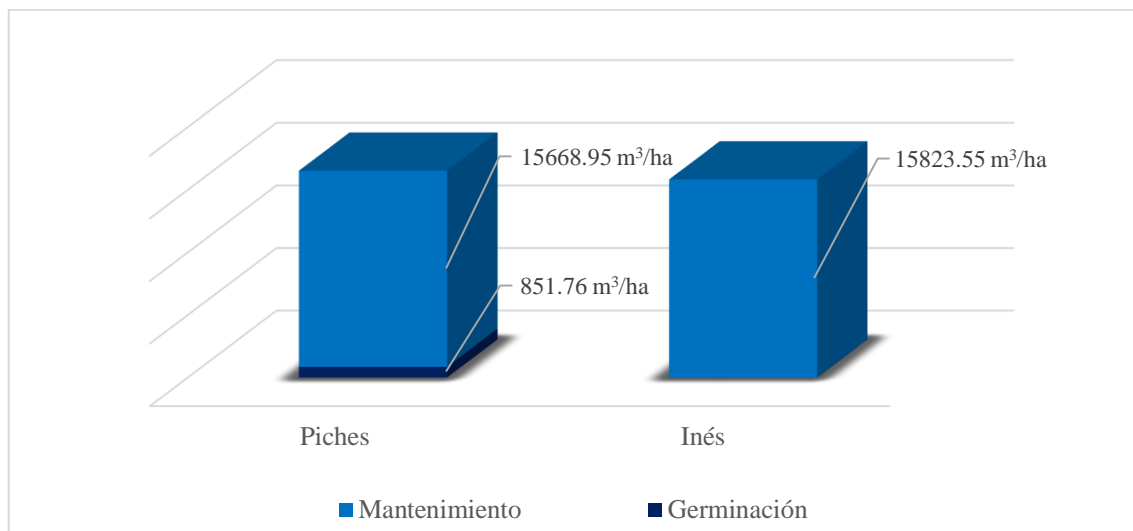


Figura 5.6. Volúmenes de agua consumidos por tipo de riego

Se interpretó de entrada que los volúmenes de riego por mantenimiento fueron homogéneos, no obstante, la diferencia recayó al contrastar cada módulo de riego con las horas dedicadas para dichos consumos así como el caudal unitario y lámina aplicada, variables que se exhiben en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3. Módulo de riego aplicado en el área experimental

Lote	Área (ha)	Horas riego (hr)	Caudal (l/s/ha)	Lámina (mm/ha/día)
Piches	87,23	1863,50	2,34	21,28
Inés	65,52	2059,50	2,07	17,25

La realidad encontrada fue que dependiendo del sistema de adecuación del terreno, el módulo de riego resultó mayor. Dados los resultados del programa de aforos, se cuantificó que el lote Piches (taipas) posee un volumen consumido menor al lote Inés (nivelación), difiriendo en 154,6 m³, pero en una cantidad menor de horas cerca a las 196 hrs, traducido en un 11,5% más en el caudal unitario. La experiencia formada por el departamento de riego y drenaje respaldó este valor ya que ha encontrado una diferencia de hasta un 15% más de consumo hídrico en taipas que en la nivelación convencional.

5.7. Indicadores sobre recurso hídrico agrícola

Eficiencia de riego global

Iniciando con las pruebas de conducción se determinó que el lote Inés presenta el mayor porcentaje de eficiencia promediando un 98,89%, correspondido a una condición de revestimiento del canal de curso del agua. En contra parte, un canal abierto en tierra atribuyó una eficiencia de 89,32% en promedio al lote Piches. Los Cuadros 5.4 y 5.5 contienen por lote las mediciones realizadas.

Cuadro 5.4. Eficiencia de conducción en el lote Piches

Eficiencia Conducción (Ec)				Eficiencia Conducción (Ec)			
Q _o (l/s)	Q _e (l/s)	Q _e / Q _o (adim.)	E _p %	Q _o (l/s)	Q _e (l/s)	Q _e / Q _o (adim.)	E _p %
284,00	257,00	0,90	90,49	228,70	201,60	0,88	88,15

Cuadro 5.5. Eficiencia de conducción en el lote Inés

Eficiencia Conducción (Ec)				Eficiencia Conducción (Ec)			
Q _o (l/s)	Q _e (l/s)	Q _e / Q _o (adim.)	E _c %	Q _o (l/s)	Q _e (l/s)	Q _e / Q _o (adim.)	E _c %
140,50	139,50	0,99	99,29	157,90	155,50	0,98	98,48

Se atribuyó las pérdidas generadas en los canales de conducción principalmente a daños estructurales como en el cimientado del revestido, Anexo 12. Aún con porcentajes altos de eficiencia cercanos al 90% se obtuvieron para la valoración respectiva pérdidas lineales en mililitros por metro en el tramo de conducción de 121,46 ml/m y 17,54 ml/m para los lotes Piches e Inés respectivamente.

Junto a la eficiencia de conducción se determinó la eficiencia de aplicación, existieron aforos en los que por condiciones previas de fuertes precipitaciones el sistema se encontraba en alta descarga y estos no iban a ser los más acertados para los intereses del proyecto. Debido a esto, los Cuadro 5.6 y 5.7 presentan las mediciones más representativas y bajo las condiciones en que fueron determinadas.

Cuadro 5.6. Eficiencia de aplicación en el lote Piches

Eficiencia de Aplicación (E _c)				Eficiencia de Aplicación (E _c)			
Q _e (l/s)	Q _d (l/s)	Q _r (l/s)	E _p %	Q _e (l/s)	Q _d (l/s)	Q _r (l/s)	E _p %
208,00	117,50	90,50	43,51	251,20	122,40	128,80	51,27
* Día 21/9/2021				* Día 4/10/2021			
** Condición 3 días sin previa precipitación				** Condición 2 días sin previa precipitación			

Cuadro 5.7. Eficiencia de aplicación en el lote Inés

Eficiencia de Aplicación (E _p)				Eficiencia de Aplicación (E _p)			
Q _e (l/s)	Q _d (l/s)	Q _r (l/s)	E _p %	Q _e (l/s)	Q _d (l/s)	Q _r (l/s)	E _p %
130,40	28,80	0,78	77,91	170,80	82,30	0,52	51,81
* Día 21/9/2021				* Día 5/10/2021			
** Condición 3 días sin previa precipitación				** Condición 3 días sin previa precipitación			

Se ha comentado en la sección anterior que el sistema de adecuación con nivelación sin taipas en el lote Inés presentó un módulo de riego menor, esto se traduce además en un manejo eficiente de los boquetes de drenaje, ya que por unidad de área en el día se tuvo un gasto de drenaje de agua entre 73,25 m³/ha/día, en contraste al lote Piches con sistema de taipas que presentó al menos una salida de agua de 118,81 m³/ha/día.

Huella hídrica

Para cada uno de los componentes de huella hídrica verde y azul se definieron sus variables asociadas, extendidas durante el ciclo fenológico de cada variedad para cada lote en estudio, ver Anexo 13. Iniciando con el Cuadro 5.8 se muestran los valores de cada variable por componente, así como el rendimiento del cultivo obtenido para el lote Piches. La Figura 5.7 en cambio facilita una visualización de las proporciones de cada componente en la huella hídrica.

Cuadro 5.8. Componentes de huella hídrica en el lote Piches

HH Verde			HH Azul			Rendimiento	
Precipitación	1344,20	mm/ha	Drenaje	1176,22	mm/ha	Variedad	Sen. 20
Déficit	9,80	mm/ha	Percolación	215,82	mm/ha	Sacos	75,35 unids/ha
ET _v	112,56	mm/ha	ET _a	249,14	mm/ha	Peso SSL	6,56 ton/ha
HH Verde	186,66	m ³ /ton	HH Azul	709,32	m ³ /ton	HH Total	2690,34 m ³ /ton
			HH Esc	1794,37	m ³ /ton		

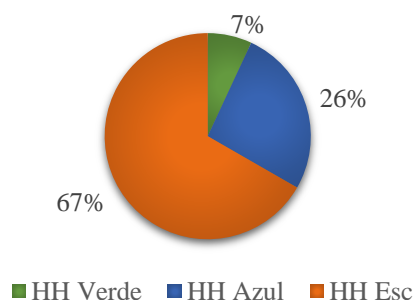


Figura 5.7. Proporciones entre componentes de huella hídrica en el lote Piches
Específicamente para el lote Inés se dispone del Cuadro 5.9 y la Figura 5.8.

Cuadro 5.9. Componentes de huella hídrica en el lote Inés

HH Verde			HH Azul			Rendimiento		
Precipitación	1316,50	mm/ha	Drenaje	666,58	mm/ha	Variedad	Lazarroz	
Déficit	4,00	mm/ha	Percolación	102,83	mm/ha	Sacos	88,1	unids/ha
ET _v	125,42	mm/ha	ET _a	279,98	mm/ha	Peso SSL	5,81	ton/ha
HH Verde	222,57	m³/ton	HH Azul	658,37	m³/ton	HH Total	2027,34	m³/ton
			HH Esc	1146,39	m³/ton			

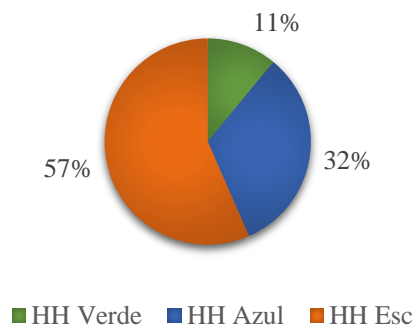


Figura 5.8. Proporciones entre componentes de huella hídrica en el lote Inés

Con la información derivada se asignó una huella hídrica mayor para la variedad Senumisa. 20, la justificación recae hacia el indicador de escasez temporal que resultó en un 10% mayor que para la variedad Lazarroz. Aun identificando que los sistemas de adecuación de los terrenos difieren y que el rendimiento resultó mayor, desde una perspectiva de uso del recurso hídrico disminuir y controlar los caudales de salida implicaría que haya un mejor

aprovechamiento de los componentes agua verde y agua azul, evidenciado en un aumento de 4% y 6% en el lote Inés.

Productividad del agua

El indicador productividad del agua responde directamente al rendimiento agrícola del cultivo, en ese sentido se obtuvo para el lote Inés una cosecha de arroz por volumen de agua consumido de 0,20 Kg/m³, mientras que el lote Piches 0,22 Kg/m³ mostrados en la Figura 5.9.

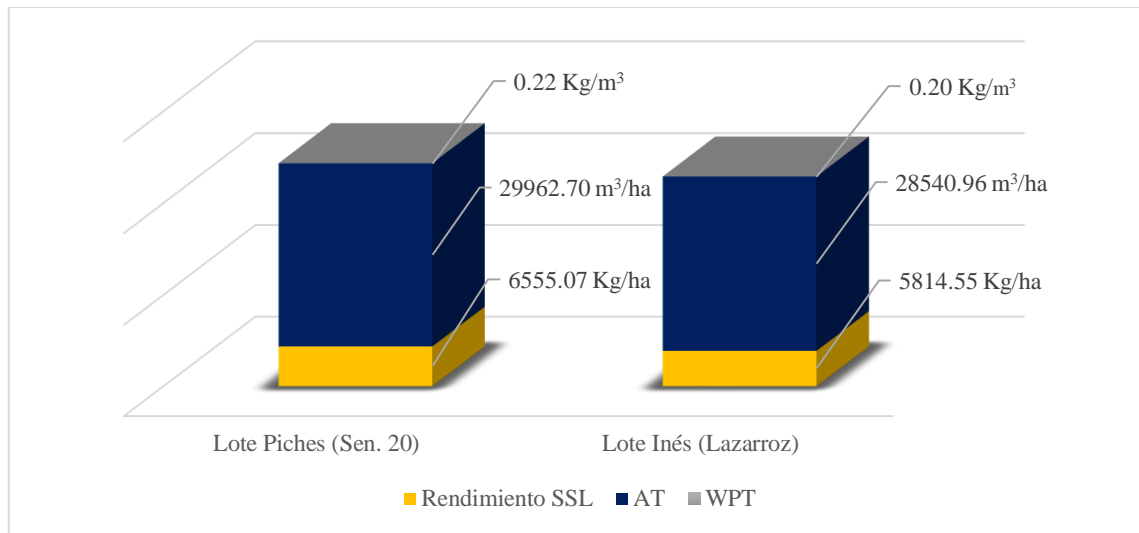


Figura 5.9. Componentes de productividad del agua

Surgieron argumentaciones con el tema de que a menores consumos del recurso hídrico el rendimiento de cultivo no sufre alzas y podría inclusive disminuir. Bajo un tema de productividad agronómica del agua, hecho que se estuvo evaluando en este trabajo, se observó no tuvo efecto directo en el rendimiento. En el caso de lote Inés si bien resultó en alrededor de 740,52 Kg de arroz menos por hectárea, no se encuentra por debajo del promedio nacional y para los intereses de la empresa esto ha trascendido en mejores oportunidades y beneficios en los últimos años.

Trasciende esta situación en incorporar aún más indicadores como lo sería la productividad económica del agua y productividad social del agua, que buscan relacionar el valor monetario del sistema y uso del campo agrícola con la cantidad de agua utilizada para el aumento de utilidades.

5.8. Validación de prácticas de manejo y gestión hídrica

Al momento de validar las prácticas de manejo se obtuvieron las comparativas entre las mediciones realizadas con el programa de aforos y las del encargado de supervisión de niveles y caudales diarios asignado por el departamento, ver Anexo 14. Se encontró una diferencia de un 12,31% en el volumen de agua medido para el lote Piches y un 2,60% en el lote Inés. Otros valores de comparación se muestran en los Cuadros 5.10 y 5.11.

Cuadro 5.10. Variación entre métodos de registro de consumo hídrico en el lote Piches

Método	Caudal promedio l/s	Caudal unitario l/s/ha	Horas riego (hrs)	Volumen (m ³ /ha)
Programa aforos	234,07	2,39	1921,50	16520,70
Reporte diario	184,77	2,09		14486,25

Cuadro 5.11. Variación entre métodos de registro de consumo hídrico en el lote Inés

Método	Caudal promedio l/s	Caudal unitario l/s/ha	Horas riego (hrs)	Volumen (m ³ /ha)
Programa aforos	136,88	2,07	2059,50	15375,96
Reporte diario	130,56	2,02		14975,00

Dada la oportunidad de compartir experiencia junto al encargado en campo, se discutió la forma en que logra estimar el caudal que circula por la estructura de aforo, reconociendo de este modo que los parámetros de observación siempre han sido la carga o tirante del agua así como fragmentar el caudal en corrientes de agua individuales que puedan ser sumadas como un total. En principio, esta práctica adquirida de forma empírica no se aleja del fundamento técnico de aforo con correntómetro, el cual divide la estructura en verticales, mide los tirantes respectivos y realiza una suma de caudales unitarios.

Una explicación que surgió para el volumen medido con el programa de aforos en el lote Piches, mayor a 2 000 m³ que el estimado, fue precisamente con la interpretación del caudal en la estación de aforo. Por una parte el canal revestido en el lote Inés permitió una lectura más escalable y práctica de medir a partir del tirante y su sección constante, mientras que en el lote Piches, el fraccionamiento del caudal, sumado al uso de presas para derivar agua y una acumulación de sedimento en la base del canal, Anexo 15, ocasionó que la lectura realizada

omitiera variables importantes como área de sección y velocidad, las cuales si fueron contempladas con el uso del correntómetro.

Otros lotes dentro de la empresa, retomar Anexo 14, fueron evaluados con el fin de encontrar tendencias similares con los resultados alcanzados. Se procuró involucrar lotes que tuvieran un mismo manejo por parte de los colaboradores en campo, ya que la práctica entre los mismos puede variar, se utilizaron principalmente lotes de Finca 4 y un único de Finca 2, ya que este último compartió la misma variedad de arroz y sistema de adecuación utilizados dentro del área experimental. La evaluación se muestra en el Cuadro 5.12.

Cuadro 5.12. Consumos de recurso hídrico para lotes externos al área experimental

Lote	Variedad	Adecuación	Horas Riego (hrs)	Caudal unitario (l/s/ha)	Volumen (m³/ha)
Piches	Sen. 20	Taipas	1921,50	2,09	14486,25
Cabuyo 3	Sen. 20	Taipas	1997,50	2,33	16755,93
Zapal	Sen. 20	Nivelado	1901,50	1,82	12461,13
Ines	Lazarroz	Nivelado	2059,50	2,02	14975,00
T. Lagunas	Lazarroz	Nivelado	2013,00	2,27	16445,79
Pasquiel	Lazarroz	Taipas	1625,00	2,32	13558,18

Con el cuadro anterior, queda nuevamente expuesta la situación en la que los lotes adecuados bajo el sistema de taipas presentan los módulos de riego más altos, independientemente del ciclo o variedad de arroz utilizada. En promedio se cuantificó hasta valores de 2,25 l/s/ha mientras que en lotes nivelados 2,04 l/s/ha. Representan estos valores una diferencia de 10,35% de más en el sistema de taipas respecto a los nivelados y cómo ya se había mencionado existe la experiencia de encontrar un 15% de más.

Entre mayor la cobertura de lotes evaluados y pruebas a nivel de campo, la comprensión del sistema es específica a las prácticas y cultura agrícola, en el caso de la actividad arrocera que involucra una amplia variedad de materiales, condiciones y manejo del cultivo no es asunto a despreciar. Se definió con la Figura 10 qué tan comprometido el esquema productivo se hallaba en términos de oferta hídrica.

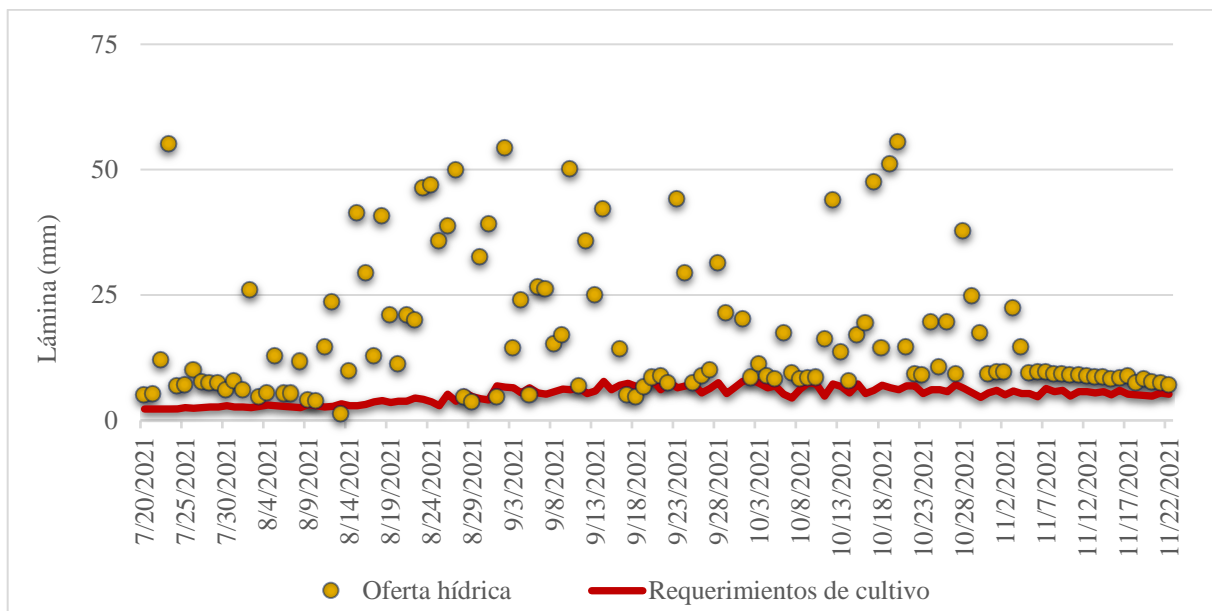


Figura 5.10. Escenario de oferta hídrica para el esquema productivo

Al analizar las gráficas se decretó que por el complemento de ambos componentes (Precipitación y Riego) únicamente ocurrió un 7,14% de déficit durante el desarrollo del cultivo, esto no tuvo implicaciones en asegurar los suministros de agua para los requerimientos del cultivo. El aporte único por precipitaciones no hubiese cubierto un 55,56% de las necesidades, ver Figura 5.11.

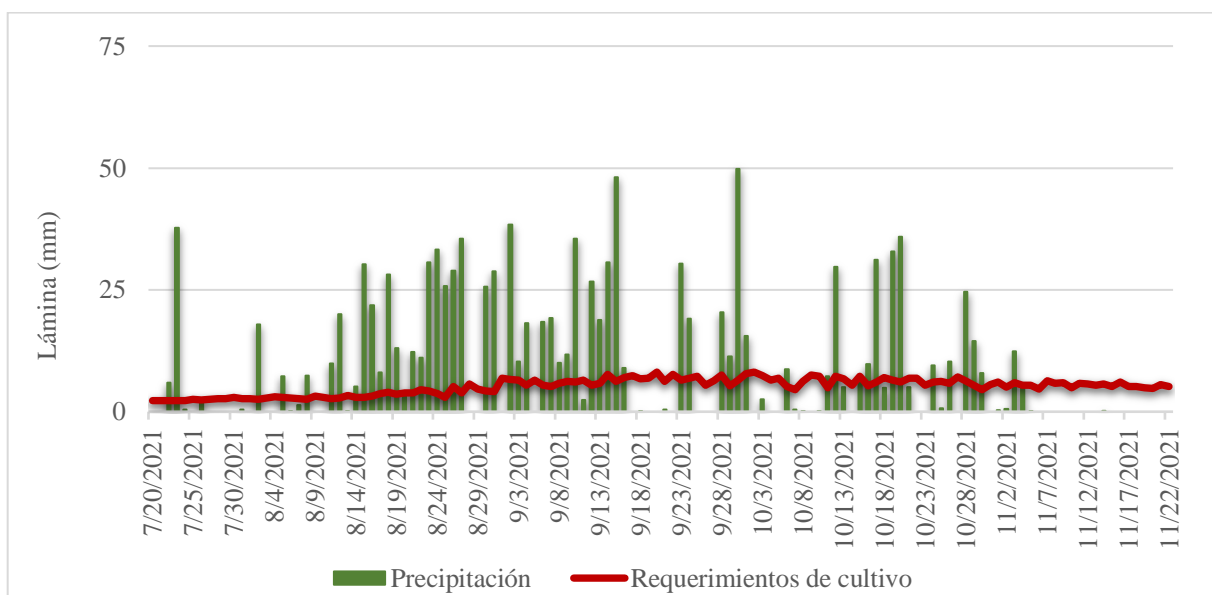


Figura 5.11. Escenario de oferta pluviométrica para el esquema productivo

Mientras que el riego como fuente única habría tenido un faltante del 20,63%, tal como se observa en la Figura 5.12.

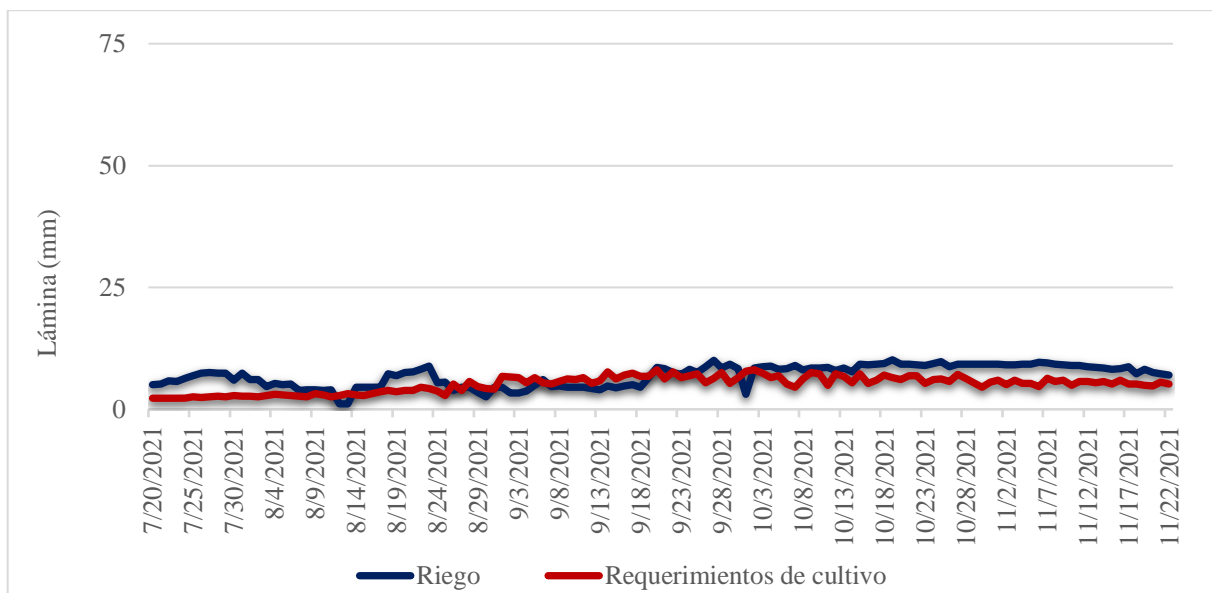


Figura 5.12. Escenario de oferta pluviométrica para el esquema productivo

5.9. Análisis a los aspectos social, ambiental y económico

El análisis prospectivo sirvió de apoyo para identificar posibles escenarios a partir de las prácticas evidenciadas en la actualidad y que intervienen en el manejo hídrico. Se describió el presente desde los 3 ejes temáticos propuestos; identificando que para el aspecto social la participación de los supervisores - agüeros en las relaciones de poder en la organización de trabajo poseen una gran importancia en la toma de decisiones y seguro de los rendimientos de cultivo. Desde el punto de vista ambiental, la adopción de los arrozales como un entorno artificial para promover la diversidad biológica así como protección de especies vegetales y animales. Finalmente, desde un punto de vista económico, la optimización del recurso agua y sus costos promueve la sostenibilidad y rentabilidad del ciclo de invierno, al tomar de referencia las resoluciones y transiciones de cobro por los entes encargados de su distribución y al día de hoy cuanto representan los consumos de agua no sólo en el área experimental sino en el esquema productivo en general. En el Cuadro 5.13 se resume el análisis propuesto.

Cuadro 5.13. Evaluación prospectiva de los aspectos social, ambiental y económico

Aspecto social, ambiental o económico	Indicador de seguimiento	Futuro escenario	Material de apoyo
Intervención de los supervisores – agüeros en el manejo del cultivo y aprovechamiento de los recursos disponibles para el sistema de producción.	Las relaciones de poder existentes en la forma organizacional de trabajo. Niveles de instrucción del personal participe en la toma de decisiones.	La capacitación e inclusión al colaborador tendrá un efecto positivo en la comunicación de ideas hacia el jefe de finca así como la identificación de mayores líneas de mejora desde una labor proactiva.	Manual del aguador. Servicios de capacitación y formación profesional. (ver Anexo 16)
Adopción de arrozales como humedales artificiales para mayor disponibilidad de hábitat para la diversidad biológica.	Un agrosistema abundante en especies de aves acuáticas, peces, anfibios, reptiles, crustáceos, moluscos e insectos, así como vegetación natural.	La disponibilidad de hábitat para la diversidad biológica se obtiene al promover un control sobre plagas, malezas y enfermedades de forma biológica. La protección de especies vegetales y animales aporta a mitigar los impactos ambientales de la actividad arrocera.	Lineamientos de la Convención de Ramsar para la planificación del manejo en humedales. (ver Anexo 17)
Optimización del recurso hídrico para promover la sostenibilidad y rentabilidad del ciclo productivo en invierno.	Comprensión del régimen hidrológico para el abordaje de escenarios de déficit hídrico. Revisión de niveles máximos y caudales en el servicio de agua para riego. Validación de prácticas de manejo y gestión del recurso hídrico.	Las relaciones de productividad económica y social del agua podrán marcar una diferencia importante en la sostenibilidad y rentabilidad del ciclo productivo de invierno.	Hidrometría de la explotación. Indicadores de eficiencia y productividad agrícola del agua. Panel de consumos de agua por lote para el periodo 2014-2021. (ver Anexo 18)

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El esquema productivo de arroz resultó de gran variabilidad en el uso de materias y parámetros de producción, para el área experimental se utilizaron dos variedades de semilla identificadas como Senumisa 20 y Lazarroz. La adecuación de los lotes en estudio bajo dos sistemas identificados como nivelación con taipas y nivelación convencional permitió encontrar diferencias debidas al manejo del agua principalmente. De esta forma se cumplió con la delimitación de un área representativa para el esquema productivo en general.

La comprensión del régimen pluviométrico definió que el sistema está influenciado por la distribución e intensidad de las precipitaciones durante la época de invierno, lo cual ocasiona adversidades en el manejo del recurso hídrico principalmente al drenaje. En términos de disponibilidad se cumplió con las tendencias mensuales en el histórico de precipitaciones, encontrando no obstante meses atípicos con una sobreoferta. El uso de instrumentación como el Mark 2 obtuvo buena correlación con los datos registrados de la red pluviométrica, por lo tanto es un dispositivo que permitió automatizar las mediciones, a su vez que ejecutó un monitoreo de otras variables climáticas.

Se presentaron condiciones óptimas para establecer un registro técnico de la oferta de agua por servicio de riego, que permitió cuantificar no sólo el servicio global de riego sino además consumos unitarios de lotes, módulos de riego y tendencias en el manejo del recurso hídrico. Del programa de aforos elaborado con los principios de la hidrometría de la explotación, se cuantificó que el lote Piches (sistema taipas) posee un volumen consumido en el ciclo mayor al lote Inés (nivelación), aproximadamente 11,5% más. Con la experiencia formada por el departamento de riego y drenaje se respaldó dicha situación ya que se ha encontrado una diferencia de hasta un 15% más de consumo hídrico en taipas que en la nivelación convencional.

La obtención de los indicadores de eficiencia, sostenibilidad y productividad marcó un antecedente hacia la estandarización de las medidas, hacer comparables las operaciones agrícolas y favorecer a la toma decisiones futuras, respaldadas técnicamente. Más que valores numéricos, cada uno de los indicadores calculados procuraron ser la guía para validación de las prácticas de manejo y gestión del recurso agua, al relacionar el rendimiento agronómico del

cultivo y uso del campo agrícola con la cantidad de oferta hídrica al esquema productivo para la promoción de un sistema sostenible y rentable.

Por último, se identificaron los aspectos que surgen como efecto de las prácticas que se realizan con materia de gestión del recurso agua. Desde un punto de vista de prospectiva hacia el tema social, ambiental y económico estos definen la sostenibilidad y rentabilidad del sistema para la época de invierno. Entre los resultados más importantes se encuentran la definición de los indicadores de seguimiento y las herramientas de apoyo para la búsqueda de tendencias y evaluación futura de cada aspecto.

Recomendaciones

Para la aplicación de un modelo de precipitación efectiva se deben desarrollar mayores pruebas en campo como curvas de retención de humedad, infiltración y percolación profunda misma que permitan evaluar de mejor forma la lámina de agua de lluvia infiltrada y el escurrimiento causado por las condiciones de adecuación y aporte de agua al sistema.

Se recomienda aplicar el marco metodológico de este proyecto para la época de verano con el fin de complementar los resultados obtenidos para la época de invierno, identificar puntos de mejora al entender el periodo se ve mayormente comprometido por no contar con el aporte directo de precipitaciones y de esta forma contrastar en términos de sostenibilidad y rentabilidad los dos periodos de producción.

El cálculo de indicadores de eficiencia, sostenibilidad y productividad junto a la utilización de las herramientas generadas como la memoria de métodos de aforo y el panel de consumos de agua por servicio de riego deben conducir a la identificación de las tendencias de consumo hídrico así como la comprensión global del sistema que permita establecer esos umbrales o necesidades reales de riego para la gestión eficiente del agua concesionada y ofertada para la empresa.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arable. (2021). *La solución Arable*. <https://www.arable.com/products/>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos [ARESEP]. (2021). *Tarifas de SENARA en el servicio de riego y avenamiento*. <https://aresep.go.cr/transparencia/datos-abiertos/tarifas-senara-servicio-riego-avenamiento>
- Bentancor, L., Duran Levreno, P., Ruiz, A., & Castaño, V. (2018). *Tecnologías de medición y transmisión de datos en sistemas de riego por gravedad*. ().
- Benzaquén, L. (2008). *La Convención de Ramsar y las arroceras como humedales artificiales*. (). Buenos Aires, Argentina: <https://silo.tips/download/la-convencion-de-ramsar-y-las-arroceras-como-humedales-artificiales>
- Carrión, R. (2015). *Manual de capacitación: medición del agua de riego*. (). https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_medicion_del_agua_de_riego.pdf
- Chaudhary, R. C., Nanda, J. S., & Tran, D. V. (2003). *Guía para identificar las limitaciones de campo en producción de arroz*. Roma (Italia): FAO. Retrieved from <https://www.fao.org/3/y2778s/y2778s00.htm>
- Counce, P. A., Keisling, T. C., & Mitchell, A. J. (2000). A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science*, 40(2), 436-443. 10.2135/cropsci2000.402436x
- Cun González, R., Pérez Leira, R., Cisneros Zayas, E., & Zamora Herrera, E. (2017). La hidrometría de explotación, una herramienta importante para el uso eficiente del agua en una agricultura sostenible. *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(2) <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/504/898>
- División de Cultivo y Ciencias Ambientales. (2009). *Instrumentación de campo*. (). Los Baños, Filipinas:

<http://www.knowledgebank.irri.org/ewatermgt/courses/course1/resources/presentations/Instrumentation.pdf>

González Cueto, O., Montaña Valladares, A., López Bravo, E., Sánchez Valle, S., Zambrano Casanova, D. E., Macías Martínez, L. M., & Herrera Suarez, M. (2020). Productividad del agua de riego en cultivos seleccionados de la región central de Cuba. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(1)

Grupo Pelon. (2017). *El Pelón de la Bajura*. <https://www.grupopelon.com/es/nuestras-empresas/el-pelon-de-la-bajura>

Gurley Precision Instruments. (s.f.). *Hydrological equipment operation and maintenance guide*

Instituto Meteorológico Nacional [IMN] (s.f.). *Estaciones meteorológicas e instrumentos de más uso en Costa Rica*

Kraemer, A., Moulin, J. F., Marín, A. R., Kruger, D., & Herber, L. (2012). *Manual del aguador arrocero: Principios básicos para el manejo del riego en el cultivo de arroz*. (). https://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Manual_Aguador.pdf

LISA Institute. (2020). Qué es la Prospectiva y el Análisis Prospectivo: cómo anticipar el futuro. <https://www.lisainstitute.com/blogs/blog/prospectiva-y-analisis-prospectivo>

Mora Montero, J. C. (2016). Gobernanza del agua en Distritos de Riego de Costa Rica: El Distrito de Riego Arenal-Tempisque (DRAT). *Agua, Cultura Y Territorio: Actas Del I Congreso Internacional*, , 298-315. <https://www.priga.una.ac.cr/index.php/documentos/category/2-documentos-de-interes?download=40:libro-de-actas-i-congreso-internacional-agua-cultura-y-territorio-2016>

- Oficina Nacional de Semillas [ONS]. (2020). Categorías de semilla de arroz. <http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semilla-de-arroz/categorias-de-semilla-de-arroz/>
- Phillips, A., Vargas, V., Rojas, N., Alvarado, D., Porras, Á C., & José Zeledón, J. (2004). *Manual técnico*
- Pineda Suárez, D. F., & Morales Montaña, H. (2018). *Principios básicos para el manejo eficiente del agua en el cultivo de arroz en Colombia*
- Pineda, D. (2010). Aplicación de la tecnología para manejo eficiente de agua para riego. Fedearroz http://www.fedearroz.com.co/noticias-docs/manejo_agua.pdf
- Programa de Granos Básicos. (2018). *Cultivo de arroz (Oryza sativa L.)*. (). https://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Arroz%202019.pdf
- Recursos Hídricos. (2015). *Guía: Balance oferta - demanda de agua*. (). <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2019-10/GU.0130.07%20V02%2020191007%20Balance%20oferta-demanda%20de%20agua.pdf>
- Ricetto, S., Capurro, M. C., & Roel, Á. (2017). Estrategias para minimizar el consumo de agua del cultivo de arroz en Uruguay manteniendo su productividad . *Agrociencia*, 21(1), 109-119. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482017000100109
- Romero, M., Quintero, M., & Monserrate, F. (2016). *Elementos técnicos para la medición de huella hídrica en sistemas agrícolas*. (). Cali, Colombia: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/CIAT_ELEMENTOS_TECNICOS_PAR_A_LA_MEDICION_DE_HUELLA_HIDRICA_EN_SISTEMAS_AGRICOLAS.pdf

- Romero, M., & Sierra, L. (2020). *Cuantificación de la huella hídrica del cultivo de arroz en dos zonas productoras de Perú. Arroz de riego en Perú competitivo e eficiente en el uso de agua mediante agricultura climáticamente inteligente.* (). <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/107237>
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento [SENARA]. (2021). *Antecedentes del Distrito de Riego Arenal Tempisque.* <http://www.senara.or.cr/proyectos/drat/index.aspx>
- Soto, A. (2021). *Manejo hídrico cultivo arroz en El Pelon de la Bajura*
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO].
- Tinoco Mora, R., & Acuña Chinchilla, A. (2009). *Cultivo de arroz (Oryza sativa) manual de recomendaciones técnicas.* (). http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/bibliotecavirtual/a00177.pdf
- Unidad de Control Estadístico Arrocerero. (2020). *Informe anual estadístico 2019 - 2020.* (). https://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_PERIODO_2019_2020.pdf
- Vignola, R., Poveda Coto, K., Watler, W., Vargas Céspedes, A., Berrocal Solís, Á., & Morales, M. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos cultivo de arroz.* (). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-Arroz.pdf>
- Villalobos Araya, M. (2008). *Fundamentos de riego.* Cartago, Costa Rica: Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villalobos Castrillo, W. (2017). Nuevo proyecto de Senara promete más agua para agricultura pero deja buen uso en manos de productores. *La Voz De Guanacaste*
<https://vozdeguanacaste.com/nuevo-proyecto-de-senara-promete-mas-agua-para-agricultura-pero-deja-buen-uso-en-manos-de-productores/>

Villón, M. (2004). *Hidrología*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

8. ANEXOS

Anexo 1. Características de principales variedades utilizadas en el proceso de siembra de arroz

Variedades / Características	Puita INTA CL	Palmar 18	Lazarroz FL	Senumisa 20 FL
Altura Planta (cm)	87	105	115 - 120	110 - 120
Días a Floración (d.d.g)	70	75	75 - 80	65 - 70
Días a cosecha (d.d.g)	105	105-110	115 - 120	105 - 110
Macollamiento	Bajo	Intermedio	Intermedio	Alto
Acame	Susceptible	Tolerante	Mod. Tolerante	Tolerante
Calidad Molinera	Muy buena	Bueno	Muy Buena	Muy Buena
Respuesta a Nitrógeno	Buena	Buena	Muy Buena	Muy Buena
Resistencia a Cosecha	Buena	Intermedio	Buena	Buena
Desgrane	Alto	Intermedio	Bajo	Bajo
Latencia del Grano	Baja	Intermedio	Tolerante	Tolerante
Rendimiento Potencial	Regular	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno
Adaptación Riego	Bueno	Muy Bueno	Bueno	Muy Bueno
Adaptación Secano	Regular	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno
Respuesta a baja luz	Buena	Muy Bueno	Buena	Buena
Rend. Promedio T.M./ ha (seco y limpio)	4 - 5,9	5 - 8	8 - 9	7,5 - 8,5
% Grano Quebrado	11	15	10	12-15
Rend. de Molino (%)	< 70	< 70	69	67 - 69
Tipo de Grano	Medio	Extra Largo	Largo	Largo
Amilosa (%)	27,0	31,2	29,7	29,8
Contenido de humedad del grano ideal para cosechar (%)	18 - 20	-	-	-
Peso de 1000 granos (g)	23,6	29,8	27,7	27,4

Fuente: Adaptación de ONS (2020)

Anexo 2. Ortomosaico del área experimental



Autor: Sergio Guillén Rivera
Empresa: El Pelón de la Bajura S.A

Fecha: Noviembre 2021

Fuente: Vuelo programado con dron
DJI Phantom 4



Anexo 3. Precisión de mediciones con el monitor Mark 2 - Arable

Precipitación	Rango Resolución de lluvia Precisión Tipo de precipitación:	0 a 100 mm/hr 0.1 mm ±6% LLuvia, llovizna mixta (aguanieve, nieve y granizo excluidos)		
Temperatura	Rango Precisión Intervalo de medidas % Excedencia diario	Calibrado de -18° C a 45° C Dentro del rango calibrado: ±0.8° C / Fuera del rango calibrado: ±1.5° C 5 minutos ≤ 5% 2° C 0.1% > 5° C		
Humedad Relativa	Rango Resolución y unidades Precisión Deriva nominal	1 a 100% HR .1% HR ±5% <0.25% HR/año		
Presión	Rango Resolución y unidades Precisión Deriva nominal	50 kPa a 110 kPa presión absoluta; probada 95 a 102 kPa ±0.1 kPa < 0.5 kPa ±0.1 kPa/año		
Radiometría	Rango Resolución y unidades Precisión Respuesta de Coseno	0 a 1200 W/m2 1 W/m2 ±10% a escala completa (Referencia: Apogee a 1000 W/m2) ±25% para un ángulo de incidencia de 0° a 75°		
Espectrometría	Banda de onda	Rango FWHM	Sensor de respuestas pico	ID de banda
	Azul	420 - 480 nm	430 nm	Banda 1
	Verde	490 - 560 nm	550 nm	Banda 2
	Amarillo	560 - 610 nm	590 nm	Banda 3
	Rojo	640 - 700 nm	670 nm	Banda 4
	Red-edge	730 - 760 nm	745 nm	Banda 5
	NIR 1	800 - 855 nm	840 nm	Banda 6
	NIR 2	920 - 965 nm	940 nm	Banda 7

Fuente: Arable (2021)

Anexo 6. Lotes adecuados a mínima labranza



Anexo 7. Actividad de aforo con correntómetro en canal abierto de tierra



Anexo 8. Obstrucción del órgano móvil en el correntómetro con vegetación acuática



Anexo 9. Mediciones y monitoreo de precipitaciones

Fecha	Pluviómetro Piches	Monitor Mark 2	Estación IMN	EOS Crop Monitoring
22/7/2021	6,00	6,20	6,60	17,80
23/7/2021	50,00	48,80	42,40	19,80
24/7/2021	0,00	0,90	1,20	26,20
25/7/2021	0,00	0,00	0,00	2,00
26/7/2021	4,00	1,00	5,40	10,00
27/7/2021	0,00	0,00	0,20	4,00
28/7/2021	0,00	0,00	0,00	0,20
29/7/2021	0,00	0,00	0,00	2,50
30/7/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
31/7/2021	0,00	0,80	0,40	0,30
1/8/2021	0,00	0,00	0,00	4,80
2/8/2021	25,00	14,50	18,80	21,60
3/8/2021	0,00	0,00	0,20	11,60
4/8/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
5/8/2021	10,00	5,10	4,00	5,70
6/8/2021	0,00	0,20	0,00	0,30
7/8/2021	0,00	2,70	0,80	1,80
8/8/2021	12,00	3,50	1,00	8,60
9/8/2021	0,00	0,00	0,00	0,00

Continuación Anexo 9. Mediciones y monitoreo de precipitaciones

Fecha	Pluviómetro Piches	Monitor Mark 2	Estación IMN	EOS Crop Monitoring
10/8/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
11/8/2021	12,00	8,90	6,20	17,50
12/8/2021	25,00	19,70	10,00	50,10
13/8/2021	0,00	0,10	0,00	0,30
14/8/2021	5,00	5,70	3,00	6,80
15/8/2021	37,00	36,50	21,20	17,70
16/8/2021	25,00	24,60	23,40	10,00
17/8/2021	12,00	4,70	2,00	13,70
18/8/2021	40,00	27,00	40,20	20,80
19/8/2021	12,00	16,10	8,80	13,30
20/8/2021	5,00	2,20	2,60	5,80
21/8/2021	12,00	14,30	11,00	17,20
22/8/2021	15,00	8,40	5,20	6,50
23/8/2021	37,00	37,70	22,20	13,50
24/8/2021	37,00	45,90	36,80	7,10
25/8/2021	37,00	23,40	19,20	14,80
26/8/2021	37,00	32,50	21,40	4,20
27/8/2021	50,00	40,70	42,40	105,10
28/8/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
29/8/2021	0,00	0,00	0,00	1,20
30/8/2021	37,00	22,90	39,60	41,30
31/8/2021	37,00	32,20	48,00	13,30
1/9/2021	0,00	0,00	0,20	1,70
2/9/2021	62,00	39,40	49,00	0,00
3/9/2021	12,00	9,80	7,20	19,60
4/9/2021	25,00	15,30	7,40	3,80
5/9/2021	0,00	0,00	0,00	3,60
6/9/2021	25,00	15,90	26,40	18,80
7/9/2021	25,00	17,80	13,60	6,10
8/9/2021	12,00	9,10	6,20	27,00
9/9/2021	12,00	12,90	8,20	22,00
10/9/2021	50,00	40,90	26,00	15,90
11/9/2021	0,00	4,80	1,00	2,20
12/9/2021	37,00	26,00	17,60	75,70
13/9/2021	25,00	17,00	17,40	22,00
14/9/2021	37,00	37,70	33,40	33,50
15/9/2021	87,00	63,30	40,80	16,60
16/9/2021	12,00	6,90	3,00	21,10

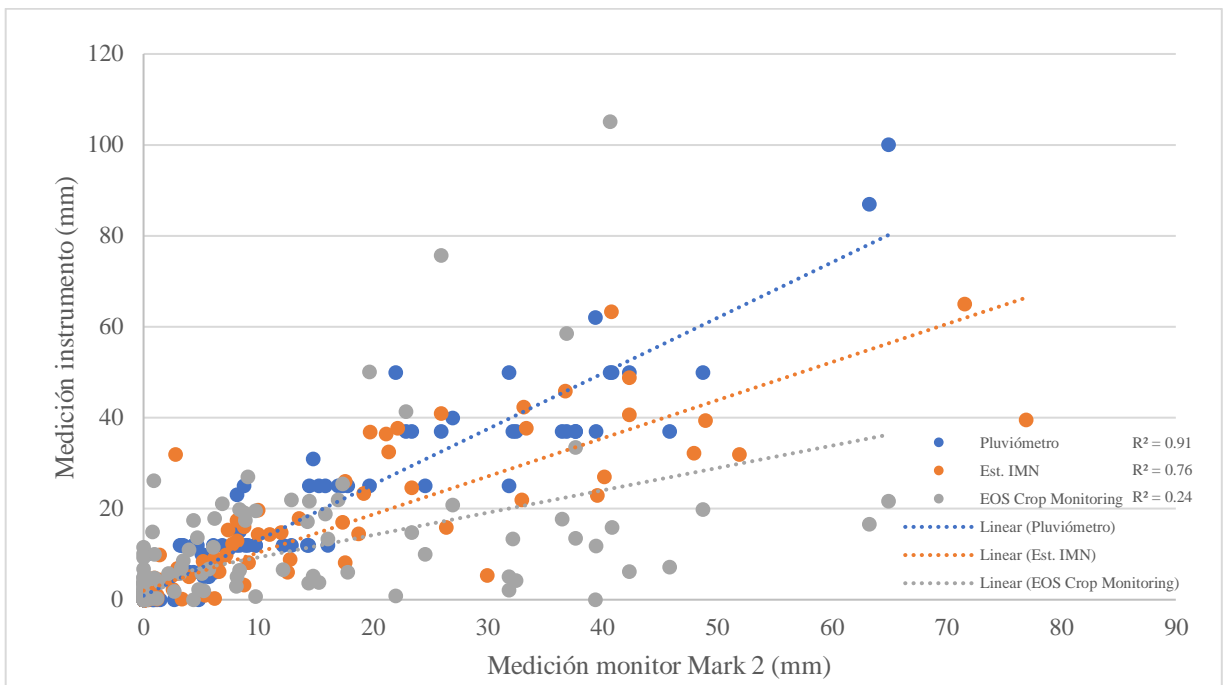
Continuación Anexo 9. Mediciones y monitoreo de precipitaciones

Fecha	Pluviómetro Piches	Monitor Mark 2	Estación IMN	EOS Crop Monitoring
17/9/2021	0,00	0,00	0,20	0,50
18/9/2021	0,00	0,20	0,00	4,60
19/9/2021	0,00	0,00	0,00	4,90
20/9/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
21/9/2021	0,00	1,00	1,20	4,80
22/9/2021	0,00	0,00	0,20	0,10
23/9/2021	37,00	36,90	19,80	58,60
24/9/2021	25,00	17,40	8,20	25,50
25/9/2021	0,00	0,00	0,20	1,30
26/9/2021	0,00	0,00	0,00	3,70
27/9/2021	0,00	0,00	0,00	0,30
28/9/2021	31,00	14,80	12,00	5,20
29/9/2021	12,00	12,20	7,80	6,60
30/9/2021	100,00	65,00	71,60	21,70
1/10/2021	25,00	8,80	12,80	19,10
2/10/2021	0,00	0,00	0,20	9,30
3/10/2021	5,00	0,10	3,40	2,40
4/10/2021	0,00	0,00	0,20	3,30
5/10/2021	0,00	0,00	0,00	1,00
6/10/2021	12,00	6,10	12,60	11,60
7/10/2021	0,00	0,80	0,20	14,90
8/10/2021	0,00	0,10	1,20	2,80
9/10/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
10/10/2021	0,00	0,10	0,00	2,70
11/10/2021	12,00	3,20	8,80	5,80
12/10/2021	50,00	22,00	33,00	0,90
13/10/2021	10,00	0,30	6,20	4,90
14/10/2021	0,00	0,00	0,40	6,70
15/10/2021	12,00	3,30	0,20	7,00
16/10/2021	12,00	8,40	6,60	19,90
17/10/2021	37,00	39,50	77,00	11,80
18/10/2021	6,00	4,00	1,40	11,00
19/10/2021	50,00	31,90	52,00	5,10
20/10/2021	50,00	42,40	33,20	6,20
21/10/2021	6,00	4,40	0,20	0,00
22/10/2021	0,00	0,00	0,20	1,30
23/10/2021	0,00	0,00	0,20	1,30
24/10/2021	12,00	8,10	9,20	3,00

Continuación Anexo 9. Mediciones y monitoreo de precipitaciones

Fecha	Pluviómetro Piches	Monitor Mark 2	Estación IMN	EOS Crop Monitoring
25/10/2021	0,00	1,50	0,20	3,80
26/10/2021	12,00	9,80	1,40	0,70
27/10/2021	0,00	0,00	0,20	0,20
28/10/2021	25,00	31,90	2,80	2,10
29/10/2021	23,00	8,20	17,60	5,00
30/10/2021	12,00	4,40	1,40	17,50
31/10/2021	0,00	0,00	0,20	0,00
1/11/2021	0,00	0,50	0,00	4,30
2/11/2021	0,00	1,20	0,80	0,30
3/11/2021	12,00	14,40	10,00	3,70
4/11/2021	5,00	5,30	30,00	2,00
5/11/2021	0,00	0,10	0,00	0,30
6/11/2021	0,00	0,00	0,20	10,10
7/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
8/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
9/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
10/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
11/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
12/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
13/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
14/11/2021	0,00	0,30	0,00	0,00
15/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
16/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
17/11/2021	0,00	0,00	0,00	3,50
18/11/2021	0,00	0,00	0,00	2,50
19/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,30
20/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
21/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
22/11/2021	0,00	0,00	0,00	1,30
23/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
24/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
25/11/2021	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma	1593,00	1212,60	1146,80	1154,40

Anexo 10. Líneas de tendencia y correlación entre instrumentos de registro de precipitación



Anexo 11. Mediciones de caudal del programa de aforos

Fecha	Lote Piches				Lote Inés			
	Caudal m ³ /s	Inicio / Corte	Riego hrs	Volumen m ³	Caudal m ³ /s	Inicio / Corte	Riego hrs	Volumen m ³
31/7/2021	0,319	8:00 am	24	27561,60	-	-	-	-
1/8/2021	0,390	8:00 am	24	33687,36	-	-	-	-
2/8/2021	0,363	8:00 am	10	13050,00	-	-	-	-
14/8/2021	0,280	12:00 pm	44	44352,00	-	-	-	-
16/8/2021	0,270	8:00 am	24	23328,00	-	-	-	-
17/8/2021	0,257	8:00 am	96	88715,52	-	-	-	-
21/8/2021	0,190	8:00 am	96	65802,24	-	-	-	-
23/8/2021	-	-	-	-	0,140	8:00 am	48	24192,00
25/8/2021		8:00 am				8:00 am		
27/8/2021	0,075	8:00 am	103	27810,00	0,140	8:00 am	103	51912,00
31/8/2021		3:00 pm				3:00 pm		
1/9/2021	0,140	8:00 am	216	108864,00	0,140	8:00 am	216	108864,00
10/9/2021	0,181	8:00 am	86	55619,46	0,140	8:00 am	86	42938,10
10/9/2021		9:30 pm				9:30 pm		
14/9/2021	0,208	8:00 am	230	172180,08	0,130	8:00 am	230	107736,48
15/9/2021		9:30 pm				9:30 pm		
24/9/2021	0,188	8:00 am	120	81259,20	0,101	8:00 am	120	43416,00
29/9/2021	0,234	8:00 am	38	31590,00	0,130	8:00 am	38	17550,00
30/9/2021		9:30 pm				9:30 pm		
2/10/2021	0,243	12:00 pm	44	38427,84	0,150	12:00 pm	44	23823,36
4/10/2021	0,251	8:00 am	96	86814,72	0,171	8:00 am	96	59028,48
8/10/2021	0,202	8:00 am	96	69949,44	0,188	8:00 am	96	64800,00
12/10/2021	0,202	8:00 am	72	52254,72	0,156	8:00 am	72	40305,60
15/10/2021	0,240	8:00 am	144	124312,32	0,150	8:00 am	144	77811,84
21/10/2021	0,231	08:00 am	120	99619,20	0,151	8:00 am	120	65016,00
26/10/2021	0,273	08:00 am	96	94314,24	0,122	8:00 am	96	42024,96
30/10/2021	0,189	08:00 am	120	81777,60	0,136	8:00 am	120	58536,00
4/11/2021	0,229	08:00 am	24	19811,52	0,103	8:00 am	144	53436,67
5/11/2021		08:00 am	-	-	-	-	-	-
10/11/2021	-	-	-	-	0,096	8:00 am	72	24878,02
13/11/2021	-	-	-	-	0,142	8:00 am	112	57089,09
18/11/2021	-	-	-	-	0,118	8:00 am	104	44074,37
22/11/2021					-	8:00 am	-	-

Anexo 12. Daño en estructura de canal revestido



Anexo 13. Datos complementario a huella hídrica

Fecha	ET_c mm/día	Fecha	ET_c mm/día	Fecha	ET_c mm/día	Fecha	ET_c mm/día
22/7/2021	0,5	22/8/2021	3,7	22/9/2021	5,8	23/10/2021	3,1
23/7/2021	0,5	23/8/2021	3,3	23/9/2021	4,6	24/10/2021	4,1
24/7/2021	0,6	24/8/2021	3,2	24/9/2021	4,7	25/10/2021	3,9
25/7/2021	0,9	25/8/2021	1,7	25/9/2021	5,4	26/10/2021	3,7
26/7/2021	0,8	26/8/2021	4,6	26/9/2021	3,5	27/10/2021	5
27/7/2021	0,9	27/8/2021	3	27/9/2021	4,6	28/10/2021	4
28/7/2021	1,1	28/8/2021	5,5	28/9/2021	5,6	29/10/2021	3,3
29/7/2021	1,1	29/8/2021	3,6	29/9/2021	3,2	30/10/2021	2,5
30/7/2021	1,6	30/8/2021	3,3	30/9/2021	4,4	31/10/2021	3,5
31/7/2021	1,1	31/8/2021	2,7	1/10/2021	5,9	1/11/2021	3,8
1/8/2021	1,2	1/9/2021	6,5	2/10/2021	6,4	2/11/2021	2,8
2/8/2021	0,9	2/9/2021	6,4	3/10/2021	5,7	3/11/2021	3,7
3/8/2021	1,3	3/9/2021	5,9	4/10/2021	4,8	4/11/2021	3,1
4/8/2021	1,8	4/9/2021	3,8	5/10/2021	5	5/11/2021	3,3
5/8/2021	1,7	5/9/2021	5,6	6/10/2021	3,3	6/11/2021	2,5
6/8/2021	1,4	6/9/2021	4,3	7/10/2021	2,6	7/11/2021	3,9
7/8/2021	1,3	7/9/2021	3,6	8/10/2021	4,2	8/11/2021	3,5
8/8/2021	1,1	8/9/2021	3,9	9/10/2021	5,8	9/11/2021	3,6
9/8/2021	2,1	9/9/2021	5,1	10/10/2021	5,5	10/11/2021	2,6
10/8/2021	1,9	10/9/2021	4,4	11/10/2021	3	11/11/2021	3,5
11/8/2021	1,1	11/9/2021	4,6	12/10/2021	5,4	12/11/2021	3,5
12/8/2021	1,3	12/9/2021	3,5	13/10/2021	4,7	13/11/2021	3
13/8/2021	1,9	13/9/2021	4,1	14/10/2021	3,6	14/11/2021	3,3
14/8/2021	1,6	14/9/2021	6,3	15/10/2021	5,4	15/11/2021	2,4
15/8/2021	1,4	15/9/2021	4,5	16/10/2021	3,5	16/11/2021	2,4
16/8/2021	1,7	16/9/2021	5,2	17/10/2021	3,9	17/11/2021	2,4
17/8/2021	2,3	17/9/2021	5,6	18/10/2021	5	18/11/2021	2,4
18/8/2021	2,5	18/9/2021	4,9	19/10/2021	4,5	19/11/2021	2,4
19/8/2021	2,2	19/9/2021	5,3	20/10/2021	3,8	20/11/2021	2,4
20/8/2021	2,5	20/9/2021	6,6	21/10/2021	4,6	21/11/2021	2,4
21/8/2021	2,7	21/9/2021	4,3	22/10/2021	4,6	22/11/2021	2,4

Anexo 14. Reporte diario de caudales a cargo del supervisor de riego

Fecha	Horas	Piches	Ines	Cabuyo 3	Zapal	Tres Lagunas	Pasquiuel
30/7/2021	24	-	-	350	-	-	-
31/7/2021	24	360	-	380	-	-	-
1/8/2021	24	350	-	380	-	-	-
2/8/2021	10	340	-	370	200	-	-
2/8/2021							
13/8/2021	-	-	-	-	330	-	-
14/8/2021	-	280	-	-	230	-	-
16/8/2021	-	270	-	-	160	-	-
17/8/2021	-	240	-	-	120	-	-
18/8/2021	24	260	-	350	130	-	-
19/8/2021	24	270	-	350	110	-	-
20/8/2021	24	180	-	370	100	360	-
21/8/2021	48	200	-	270	120	310	-
23/8/2021	24	180	160	370	110	400	310
24/8/2021	24	140	70	210	80	270	220
25/8/2021							
27/8/2021	72	170	130	260	130	300	-
30/8/2021	24	120	40	200	70	140	90
31/8/2021	7	160	90	270	110	230	160
31/8/2021							
1/9/2021	24	140	60	260	100	200	160
2/9/2021	24	140	70	240	100	220	160
3/9/2021	24	110	50	190	100	170	-
4/9/2021	48	170	130	260	120	230	-
6/9/2021	24	170	130	310	100	210	180
7/9/2021	24	160	120	220	100	200	150
8/9/2021	24	160	140	190	110	190	-
9/9/2021	24	140	110	220	100	190	-
10/9/2021	14	130	110	240	100	190	-
10/9/2021							
11/9/2021	48	150	130	270	130	290	-
13/9/2021	24	180	140	310	110	240	120
14/9/2021	24	160	140	300	120	290	200
15/9/2021	14	180	140	290	110	270	-
15/9/2021							
16/9/2021	24	140	70	180	80	120	-
17/9/2021	72	180	140	280	120	270	170

Continuación Anexo 14. Reporte diario de caudales a cargo del supervisor de riego

Fecha	Horas	Piches	Ines	Cabuyo 3	Zapal	Tres Lagunas	Pasquiél
20/9/2021	24	180	150	340	90	290	170
21/9/2021	24	180	150	370	120	320	190
22/9/2021	24	160	150	340	100	320	180
23/9/2021	24	160	120	240	80	230	160
24/9/2021	24	180	130	340	100	290	200
25/9/2021	48	140	130	340	110	310	200
27/9/2021	16	190	150	380	110	400	190
28/9/2021	32	170	130	390	100	390	170
29/9/2021	24	200	140	310	100	350	190
30/9/2021	14	190	120	340	110	360	180
30/9/2021							
2/10/2021	44	185	130	379	90	360	170
4/10/2021	24	180	140	380	90	360	170
5/10/2021	24	190	130	360	100	340	180
6/10/2021	24	210	150	360	90	330	160
7/10/2021	24	180	160	370	110	330	190
8/10/2021	24	180	150	360	100	360	200
9/10/2021	48	170	130	360	90	330	210
11/10/2021	24	210	140	320	100	310	180
12/10/2021	24	160	140	340	100	330	220
13/10/2021	24	170	140	360	100	360	220
14/10/2021	24	170	120	270	90	280	210
15/10/2021	24	170	150	280	110	330	200
16/10/2021	48	170	160	340	120	320	220
18/10/2021	24	130	130	240	80	270	-
19/10/2021	24	170	150	340	110	310	170
20/10/2021	24	140	130	280	90	270	190
21/10/2021	24	120	110	200	80	190	-
22/10/2021	24	180	130	340	100	330	210
23/10/2021	48	220	150	340	110	330	210
25/10/2021	24	230	140	340	120	340	240
26/10/2021	24	170	130	320	100	310	190
27/10/2021	24	170	110	360	110	340	220
28/10/2021	24	180	130	340	100	310	210
29/10/2021	24	170	140	340	100	300	240
30/10/2021	72	160	140	351	90	290	-
2/11/2021	24	160	150	360	90	360	240
3/11/2021	24	200	150	340	80	360	240

Continuación Anexo 14. Reporte diario de caudales a cargo del supervisor de riego

Fecha	Horas	Piches	Ines	Cabuyo 3	Zapal	Tres Lagunas	Pasquiél
4/11/2021	24	210	140	360	90	330	240
5/11/2021	24	-	140	350	-	340	230
6/11/2021	24	-	140	360	-	340	270
8/11/2021	48	-	150	350	-	340	230
9/11/2021	24	-	140	100	-	340	260
10/11/2021	24	-	120	100	-	340	240
11/11/2021	-	-	140	-	-	340	280
12/11/2021	-	-	140	-	-	340	240
13/11/2021	-	-	140	-	-	340	240
15/11/2021	-	-	150	-	-	330	270
16/11/2021	-	-	140	-	-	300	270
17/11/2021	-	-	140	-	-	-	270
18/11/2021	-	-	150	-	-	-	240
19/11/2021	-	-	150	-	-	-	220
20/11/2021	-	-	150	-	-	-	190
22/11/2021	-	-	-	-	-	-	-
Suma / Promedios	1997,5	184,34	130,56	308,03	109,85	298,29	205,50

Anexo 15. Formación de cama de sedimentos en estación de aforo



Anexo 18. Interfaz del panel de visualización de consumos de agua en los lotes de El Pelón de la Bajura, por época, horas riego e histórico 2014-2021

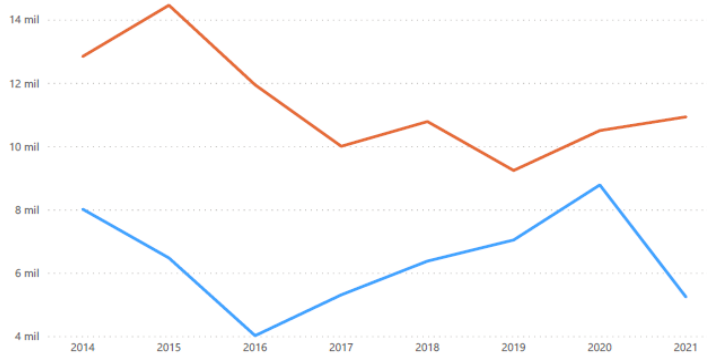


PELÓN DE LA BAJURA S.A
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE
CONSUMOS DE AGUA DE RIEGO

Lote Fecha

Volumen Invierno y Volumen Verano por Año

● Promedio de Volumen Invierno ● Promedio de Volumen Verano

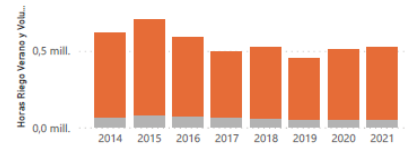


Caudal U/s/ha/año

1,36

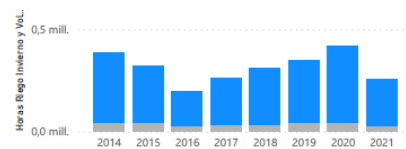
Horas Riego Verano y Volumen Verano por Año

● Horas Riego Verano ● Volumen Verano



Horas Riego Invierno y Volumen Invierno por Año

● Horas Riego Invierno ● Volumen Invierno



Nota. Elaborado con el servicio de análisis de datos de Microsoft Power Bi.

9. PERCOLACIÓN PROFUNDA

La percolación es aquel proceso de filtración del agua hacia las capas profundas del suelo. Se obtiene con base en la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo generando así pérdidas por exceso de humedad. Una forma de simbolizar esta condición es cuando la suma de la precipitación y el riego exceden el déficit de agua, por lo tanto, parte del exceso de lámina se asume como agua perdida por percolación profunda, ya que la matriz del suelo no es capaz de retenerla (Romero et al., 2016).

El Instituto Internacional de Investigación del Arroz [IRRI, por sus siglas en ingles] a través de la División de Cultivo y Ciencias Ambientales (2009) propuso una base metodológica utilizando equipos prácticos para campo con el fin de caracterizar el estado de agua en campo y agua subterránea denominada "fuente de agua oculta". Entre estos instrumentos se describe la instalación y uso del anillo de percolación en la Figura 9.1.



Figura 9.1. Metodología de instalación y uso del anillo de percolación

Fuente: Adaptación de División de Cultivo y Ciencias Ambientales (2009)

Los resultados obtenidos de las pruebas de percolación profunda en los lotes del área experimental se muestran en los Cuadro 9.1, 9.2 y 9.3.

Cuadro 9.1. Mediciones para la prueba de percolación en el lote Piches Secciones 1-2

Lote	Sección	Fecha	Nivel cm	D mm/día
Piches	1-2	28/8/2021 12:00	27,00	7,84
Piches	1-2	30/8/2021 09:55	28,50	2,30
Piches	1-2	1/9/2021 14:10	29,00	2,75
Piches	1-2	3/9/2021 09:50	29,50	2,68
Piches	1-2	14/9/2021 14:30	32,50	-2,09
Piches	1-2	29/9/2021 09:40	29,40	-
Piches	1-2	29/9/2021 09:40	25,00	1,70
Piches	1-3	2/10/2021 08:10	25,50	-

Cuadro 9.2. Mediciones para la prueba de percolación en el lote Piches Secciones 3-4

Lote	Sección	Fecha	Nivel cm	D mm/día
Piches	3-4	28/8/2021 12:00	27,00	0,00
Piches	3-4	30/8/2021 09:55	27,00	2,29
Piches	3-4	1/9/2021 14:15	27,50	0,00
Piches	3-4	3/9/2021 10:00	27,50	0,00
Piches	3-4	14/9/2021 14:40	27,50	0,00
Piches	3-4	29/9/2021 09:50	27,50	
Piches	3-4	29/9/2021 09:50	25,00	1,70
Piches	3-4	2/10/2021 08:20	25,50	-

Cuadro 9.3. Mediciones para la prueba de percolación en el lote Inés Secciones 1-4

Lote	Sección	Fecha	Nivel cm	D mm/día
Inés	1-4	30/8/2021 12:00	28,00	0,00
Inés	1-4	1/9/2021 14:20	28,00	0,38
Inés	1-4	14/9/2021 14:55	28,50	0,81
Inés	1-4	18/9/2021 08:15	28,80	0,63
Inés	1-4	29/9/2021 10:30	29,50	-
Inés	1-4	29/9/2021 10:30	25,00	2,70
Inés	1-4	2/10/2021 09:30	25,80	-

La Figura 9.2 corresponde al proceso de instalación de uno de los tres anillos de percolación profunda en campo para fines del proyecto.



Figura 9.2. Preparación del anillo de percolación en campo