UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA

IMPLEMENTACIÓN DE MODELO OPERACIONAL PARA MEJORAR EL MANEJO DEL AGUA DE SISTEMAS DE RIEGO EN CONDUCCIONES ABIERTAS

JHON JAIRO VARGAS HOYOS

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Manizales, Colombia

2020

IMPLEMENTACIÓN DE MODELO OPERACIONAL PARA MEJORAR EL MANEJO DEL AGUA DE SISTEMAS DE RIEGO EN CONDUCCIONES ABIERTAS

JHON JAIRO VARGAS HOYOS

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos

Directora:
PhD. JEANNETTE ZAMBRANO NÁJERA

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Manizales, Colombia

2020

IMPLEMENTACIÓN DE MODELO OPERACIONAL PARA MEJORAR EL MANEJO DEL AGUA DE SISTEMAS DE RIEGO EN CONDUCCIONES ABIERTAS

Resumen

El objetivo de esta investigación fue validar el modelo matemático propuesto por (Palacios vélez, 1981) para determinar la eficiencia del manejo del agua en el canal de riego Sardinata del distrito de riego El Juncal, localizado en el municipio de Palermo, Departamento del Huila, mediante la relación entre los caudales extraídos y los caudales servidos. La toma de datos se realizó entre enero y abril de 2020, mediante observación directa de los niveles del agua en puntos de control seleccionados, con el fin de obtener los caudales de entrada y salida, requeridos en la aplicación del modelo. Se desarrolló un sistema de información hidrométrica del área de estudio mediante ocho (8) puntos de control del agua, uno (1) en el canal Sardinata y siete (7) en cada uno de los canales laterales que conforman esta subunidad operacional; la curva de gasto del canal se obtuvo mediante el método del micromolinete y las gráficas que relacionan los valores de CA y las aberturas de las compuertas de los canales laterales, por medio de aforos volumétricos. La eficiencia de conducción promedio del canal obtenido durante todo el periodo de evaluación fue del 67,62%, considerada media alta; el 97,10% de esta correspondió a la eficiencia intrínseca del canal, mientras el 69,64% de eficiencia fue operacional; se determinaron las respectivas pérdidas de agua, 11,0 l/s representa las intrínsecas o naturales y 112,0 l/s las operacionales, para un total de 123,0 l/s de pérdidas de agua en todo el sistema del canal. Se concluyó que, la eficiencia y pérdidas de agua intrínsecas se encuentra dentro de los valores establecidos para conducción en canales revestidos, mientras que la eficiencia y pérdidas de agua debido a su manejo, arrojaron valores de media y de alta respectivamente; igualmente, se hicieron las recomendaciones pertinentes encaminadas a su mejoramiento.

Palabras clave: Distrito de riego; Distrito Asojuncal; Canal de riego; Manejo del agua.

IMPLEMENTATION OF OPERATIONAL MODEL TO IMPROVE WATER MANAGEMENT OF IRRIGATION SYSTEMS IN OPEN DUCTS

Abstract

The objective of this investigation was to validate the mathematical model proposed by (Palacios vélez, 1981) to determine the efficiency of water management in the Sardinata irrigation canal of the El Juncal irrigation district, located in the municipality of Palermo, Department of Huila, through the relationship between the Flows extracted and flows served. Data collection was carried out between January and April 2020, through direct observation of water levels at selected control points, in order to obtain the input and output flows required in applying the model. A hydrometric information system of the study area was developed through eight (8) water control points, one (1) in the Sardinata channel and seven (7) in each of the lateral channels that make up this operational subunit; the channel flow curve was obtained by means of the micromoline method and the graphs that relate the AC values and the openings of the gates of the lateral channels, by means of volumetric gauging. The average conduction efficiency of the channel obtained throughout the evaluation period was 67.62%, considered high average; 97.10% of this corresponded to the intrinsic efficiency of the channel, while 69.64% of efficiency was operational; The respective water losses were determined, 11.0 l / s represents the intrinsic or natural ones and 112.0 l / s the operational ones, for a total of 123.0 l / s of water losses in the entire canal system. It was concluded that intrinsic efficiency and water losses are within the established values for conduction in lined channels, while the efficiency and

losses of water due to its management, gave average and discharge values respectively; likewise, the pertinent recommendations were made aimed at its improvement.

Keywords: Irrigation district; Asojuncal district; Water channel; Water management.

Tabla de contenido

1 Introducción ... 11

1.1 Descripción del problema ... 13

2 Objetivos ... 20

2.1 Objetivo General ... 20

2.2 Objetivos Específicos ... 20

3 Estado del arte ... 21

4 Fundamentos teóricos ... 45

4.1 Marco teórico ... 45

4.1.1 Distritos de adecuación de tierras ... 45

4.1.2 Operación de distritos de riego ... 45

4.1.3 Eficiencia de conducción y distribución del agua ... 51

4.1.4 Relación entre los caudales extraídos y servidos ... 54

4.2 Marco legal ... 58

5 Metodología ... 61

5.1 Localización geográfica y generalidades de la zona de estudio ... 61

5.1.1 Vías de acceso ... 62

5.1.2 Temperatura ... 63

5.1.3 Precipitación ... 63

5.1.4 Otras variables meteorológicas ... 64

5.2 Enfoque metodológico del proyecto ... 64

5.2.1 Determinación plan de aforos ... 64

5.2.2 Aforos del agua en puntos de control ... 71

5.2.3 Determinación de curvas de gastos y gráficas de CA de punto de control ... 77

5.2.4 Toma de datos y registro de la información hidrométrica ... 78

5.2.5 Evaluación de la operación del sistema ... 79

5.2.6 Construcción de la gráfica de eficiencias, láminas y tiempo ... 79

5.2.7 Determinación de las eficiencias y pérdidas de agua ... 80

6 Resultados ... 81

6.1 Aforos realizados ... 81

6.1.1 Canal Sardinata ... 81

6.1.2 Canales Laterales ... 83

6.2 Evaluación de la operación del sistema ... 86

6.2.1 Construcción de la gráfica de eficiencias, láminas y tiempo 87
6.2.2 Determinación de las eficiencias y pérdidas de agua del sistema canal Sardinata 90
6.3 Análisis de resultados de la operación del sistema 93
6.3.1 Caracterización administrativa de la operación 93
6.3.2 Desempeño del personal a cargo de la operación 96
6.3.3 Valoración de las eficiencias y pérdidas de agua 97
7 Conclusiones y Recomendaciones 99
7.1 Conclusiones 99
7.2 Recomendaciones 101
ANEXOS 106
Anexo 1. Datos meteorológicos IDEAM (estación Aeropuerto Benito Salas de Neiva) 106
Anexo 2. Información pluviométrica Estación Climatológica distrito de riego El Juncal. 109
Anexo 3. Registro de información diaria de niveles del agua 110
Anexo 4. Registro de caudales diarios extraídos y servidos 113
Anexo 5. Cálculos de la evaluación del manejo del agua 117
Anexo 6. Registro de información diaria, gráfica de eficiencia-lámina-tiempo y evaluación por periodos, de la operación del canal Sardinata. 133

Lista de Figuras

Figura 1. Distritos de riego de mediana escala, departamento del Huila 13
Figura 2. Distrito de riego de mediana escala El Juncal (Palermo-Huila)..... 14
Figura 3. Sistema de captación, conducción y distribución del agua…….15
Figura 4. Proceso de la programación del riego y entrega del agua 48
Figura 5. Área de estudio del canal Sardinata 61
Figura 6. Localización puntos de control canales laterales canal Sardinata..... 65
Figura 7. Puntos de control canal laterales..... 66
Figura 8. Canal Sardinata y canales laterales..... 69
Figura 9. Aforo estación segunda de bombeo 72
Figura 10. Ubicación punto de control canal Sardinata..... 72
Figura 11. Micromolinete AOTT..... 73
Figura 12. Formato para aforos con micromolinete 74
Figura 13. Formato Aforos Canales Laterales..... 75
Figura 14. Formato lectura diaria de niveles del agua en el limnímetro 78
Figura 15. Curva de canal Sardinata..... 81
Figura 16. Curva de CA para las compuertas 2-1C; 2-2C; 2-4C; 2-6C..... 84
Figura 17. Curva de CA para la compuerta 2-5C, Tipo 2..... 85
Figura 18. Curva de CA compuertas 2-3C; 2-7C..... 86
Figura 19. Gráficas de eficiencia, láminas y tiempo de operación, por periodos mensuales 88
Figura 20. Gráficas de eficiencia, láminas y tiempo de operación..... 89
Figura 21. Función lineal de relación entre caudales extraídos y servidos 91
Figura 22. Funciones lineales de relación entre caudales extraídos y servidos..... 91
Figura 23. Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 20 al 31 de enero 117
Figura 24. Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 1 al 29 de febrero 120
Figura 25. Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 1 al 31 de marzo. 123
Figura 26. Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 1 al 18 de abril. 126
Figura 27. Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 20 de enero al 18 de abril. 129

Lista de Tablas

Tabla 1. Ubicación puntos de control del agua **65**
Tabla 2. Características de los canales de la zona de estudio **68**
Tabla 3. Programación de aforos **71**
Tabla 4. Especificación Micromolinete **74**
Tabla 5. Tomagranjas servidas **76**
Tabla 6. Aforo No. 1 canal Sardinata **81**
Tabla 7. Aforo No. 2. canal Sardinata **82**
Tabla 8. Aforo No. 3. canal Sardinata **82**
Tabla 9. Aforo No. 4. canal Sardinata **82**
Tabla 10. Aforo No. 5. canal Sardinata **83**
Tabla 11. Aforo No. 6. Canal Sardinata **83**
Tabla 12. Aforo No. 1. Laterales canal Sardinata **84**
Tabla 13. Aforo No. 2. Laterales canal Sardinata **85**
Tabla 14. Aforo No. 3. Laterales canal Sardinata **86**
Tabla 15. Valores de eficiencias y pérdidas de agua periodos evaluados **92**
Tabla 16. Tarifas de agua distrito de riego El Juncal **94**
Tabla 17. Mes enero, lectura diaria niveles del agua en metros **110**
Tabla 18. Mes febrero, lectura diaria niveles del agua en metros **110**
Tabla 19. Mes marzo, lectura diaria de niveles del agua en metros **111**
Tabla 20. Mes abril, lectura diaria de niveles del agua en metros **112**
Tabla 21. Mes enero, caudales diarios extraídos y servidos (m^3/s) **113**
Tabla 22. Mes febrero, caudales diarios extraídos y servidos (m^3/s) **113**
Tabla 23. Mes marzo, caudales diarios extraídos y servidos (m^3/s) **114**
Tabla 24. Mes abril, caudales diarios extraídos y servidos (m^3/s) **115**

Dedicatoria

Al creador de todo lo que existe, que todo lo puede y sabe, que me ha dado fortaleza para continuar cuando estuve a punto de desfallecer, por ello con toda la humildad que mi corazón puede tener, dedico en primer lugar este triunfo a DIOS.

A mi esposa Libia Esperanza por el apoyo incondicional que siempre me brindó para lograr este propósito, lo mismo que a mis hijos John Felipe; Lizzie Fernanda; Luisa María; y Jorge Andrés, quienes siempre han sido el motivo de mis propósitos y superación, para que les sirva de estímulo en el logro de sus metas y sueños de vida.

De igual forma dedico este esfuerzo a mis padres Teresa y Elimeleth, por estar a mi lado brindándome su amor y apoyo permanente y porque fueron ellos los que me inculcaron el deseo de superación en mi vida profesional.

Y a mis hermanas, por estar siempre pendientes de mis cosas apoyándome, motivándome y sobre todo dándome aliento para continuar el camino deseado.

Agradecimiento

A la gerencia del distrito de riego El Juncal presidida por el señor Lázaro Salazar Medina y muy especialmente al jefe de operación, ingeniero Juan Guillermo Bolívar Valderrama, quienes permitieron la realización de este trabajo y brindaron apoyo importante para su ejecución.

A mi directora de Trabajo de Grado, Dra. Jeannette Zambrano Nájera, por su dedicación, apoyo y sabia asesoría en todo momento, gracias a su participación he podido culminar con satisfacción la elaboración del presente trabajo.

Mi agradecimiento a todos los docentes de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad por haberme compartido sus conocimientos, sus experiencias y sobre todo sus enseñanzas para ser mejores cada día tanto a nivel personal como en lo profesional.

1 Introducción

La utilización del agua como recurso fundamental para la realización de actividades productivas a través del riego, cobra hoy relevante importancia en cuanto a su manejo eficiente, habida cuenta de las circunstancias que se presentan y afectan significativamente su disponibilidad, como lo son la variabilidad climática y consecuencia de ello la regulación de su uso por parte de la autoridad ambiental de Colombia.

El distrito de riego El Juncal capta agua por medio de bombeo eléctrico y su oferta hídrica está garantizada; sin embargo, está obligado a hacer uso eficiente del agua debido a los altos costos que se generan por concepto de energía, para impulsar cerca de 6.000 l/s a 33 m de altura, especialmente cuando ocurre el fenómeno de El Niño y las tarifas debido a este fenómeno sufren un drástico incremento que, afectan sensiblemente el presupuesto para su funcionamiento.

El servicio de agua prestado a los beneficiarios del riego por parte de la administración del distrito, en cabeza de la asociación de usuarios ASOJUNCAL, debe realizarse con suficiencia; equidad; de manera oportuna; y eficiente, de tal manera que se preste un servicio de calidad que, contribuya de manera positiva al éxito de las actividades productivas ahí desarrolladas y a la sustentabilidad de esta obra.

Para el logro de estos propósitos, los esfuerzos deben estar dirigidos a la implementación de una gestión gerencial con eficiencia, calidad y competitividad, lo cual es posible si se aplican los conocimientos y técnicas implementadas en otros países, de similitudes culturales y desarrollos parecidos en la infraestructura para la adecuación de tierras, encaminadas al mejoramiento y modernización de los procesos operacionales de los distritos de riego. Es muy importante tener en cuenta que estas obras de adecuación de tierras en su etapa de operación exigen de manera especial la realización de permanentes trabajos en investigación, transferencia tecnológica y capacitación,

con el fin de que las actividades productivas allí desarrolladas, sean rentables y a la vez causen el menor daño posible al medio ambiente.

El presente trabajo se desarrolló en la etapa 2 del distrito, en el Sistema del Canal Sardinata, área piloto previamente acordada con la administración del distrito, teniendo como propósito fundamental, la validación e implementación del modelo matemático lineal propuesto por Palacios (1971), que describe y explica la relación que existe entre los caudales extraídos y servidos, al igual que la distribución de las pérdidas de agua en los canales; el establecimiento de la labor de hidrometría como actividad esencial en la operación del distrito; y la implementación de un sistema de información hidrométrico para la generación de información y su procesamiento a través de dicho modelo, lo cual permitirá conocer las condiciones en que se realiza el manejo del recurso hídrico.

El Proyecto está basado en la ejecución de un conjunto de actividades que están previstas para una correcta operación de redes de canales, en las cuales es necesario aplicar procesos, técnicas y procedimientos, requeridos en la administración de la operación y la operación propiamente dicha de distritos y sistemas de riego en canales abiertos, de tal manera que no solo se pueda conducir y distribuir el agua, si no que de modo simultáneo permita la evaluación de su manejo, a través de la determinación de eficiencias y la estimación de las correspondientes pérdidas de agua, que ocurren durante la prestación del servicio de riego a los usuarios.

Este trabajo está conformado por varios capítulos, en el primero se desarrollan aspectos relacionados con el contexto del funcionamiento del distrito de riego; la problemática que se presenta y en particular la de la segunda etapa, relacionada con altos costos de energía para su operación y las dificultades en la prestación del servicio de riego; el capítulo 2 establece los objetivos propuestos para mejorar la operación en este sector; los capítulos 3 y 4 hacen referencia respectivamente, a los diferentes trabajos que en este campo se han venido realizando para mejorar

el manejo del agua y, a los fundamentos teóricos aplicados para el desarrollo del presente proyecto; el capítulo 5, establece el enfoque y la metodología llevada a cabo en la ejecución de las diferentes actividades; el capítulo 6, contiene los resultados obtenidos del proyecto y su análisis y; el capítulo 7, contempla las conclusiones que deja la ejecución del proyecto y las recomendaciones que se hacen para la implementación futura en todo el distrito de riego El Juncal.

1.1 Descripción del problema

El departamento del Huila tiene tres distritos de riego todos situados en la zona norte como se muestra en la Figura 1, que fueron construidos por el gobierno nacional a principios de la década de los años 70, con el propósito de adelantar procesos de reforma agraria. En sus inicios estas obras adelantaron planes de desarrollo agropecuario compuestos por diversos cultivos conocidos como secanos y arroz de inundación.

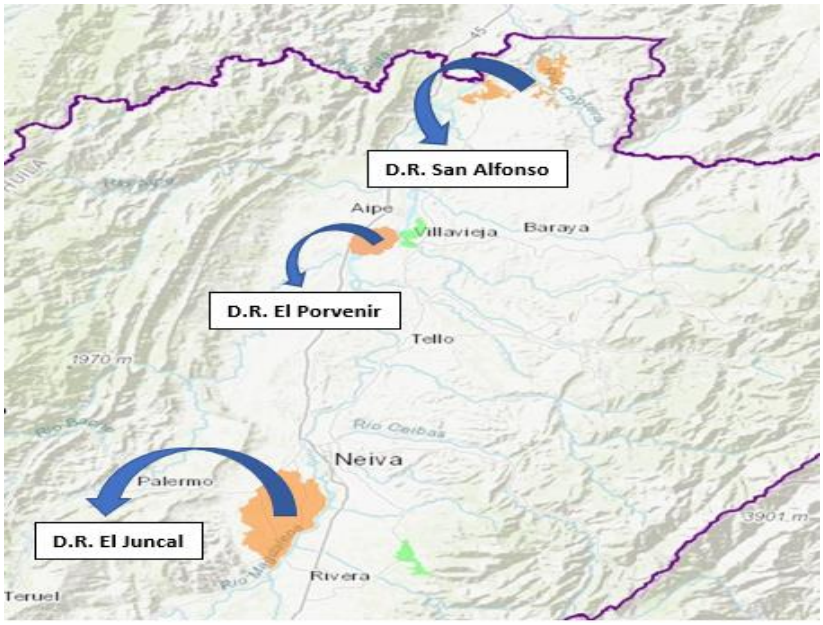


Figura 1. **Distritos de riego de mediana escala, departamento del Huila**
Fuente: el autor

Actualmente en los distritos de San Alfonso y El Porvenir, localizados en el municipio de Villavieja, además de arroz se cultiva algodón y maíz, aunque el arroz sigue siendo el de mayor importancia; en el distrito de riego El Juncal, ubicado en el municipio de Palermo (Huila) cercano a la ciudad de Neiva, como se muestra en la Figura 2, capital del departamento, básicamente se siembra arroz como una actividad productiva de monocultivo.

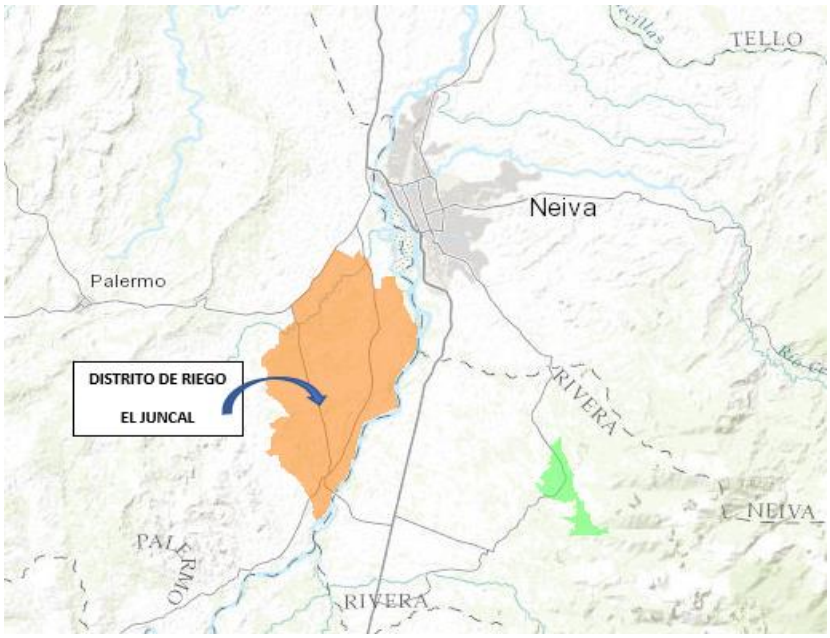


Figura 2. **Distrito de riego de mediana escala El Juncal (Palermo-Huila)**
Fuente: el autor

El distrito de riego El Juncal es una obra de riego que se abastece de agua del Río Magdalena, funciona por bombeo eléctrico de cuatro unidades, con capacidad instalada para captar 6.0 m^3/s, presta el servicio de riego a 282 usuarios y beneficia un área potencial de 3.500 hectáreas que cuentan con infraestructura de riego como se observa en la Figura 3. En la actualidad se riegan cerca de 2.525 hectáreas, la actividad productiva desarrollada en todo el distrito es como se mencionó anteriormente la del monocultivo del arroz, especie consumidora de altos volúmenes de agua durante su ciclo vegetativo, según información suministrada por el distrito en muchos casos

superan los 15.000 metros cúbicos por hectárea y cosecha, con producciones promedio de 8.0 toneladas por hectárea.

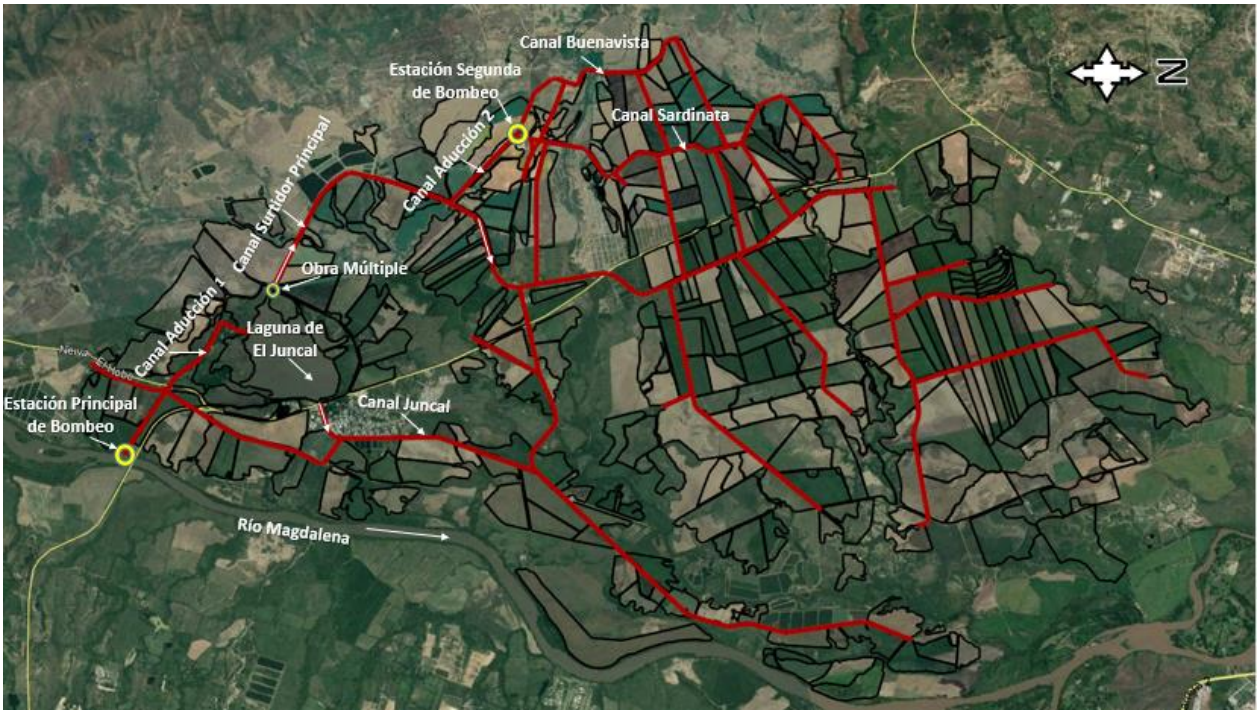


***Figura 3*. Sistema de captación, conducción y distribución del agua – distrito de riego El Juncal**
Fuente: el autor

Con respecto al cultivo del arroz, dada su importancia para el distrito relacionada con el consumo de agua que, afecta directamente la disponibilidad, los costos de energía y por ende el presupuesto de gastos para su funcionamiento, es importante señalar que se han venido realizando trabajos orientados a minimizar el consumo mediante prácticas de manejo eficiente del riego predial mediante la nivelación con láser de lotes. En América el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA, elaboró el plan de acción para el fomento de la agricultura bajo riego en América Latina y el Caribe, en que se señala que el tema de los recursos hídricos y particularmente del agua es transversal a los doce componentes de los proyectos insignia (IICA, 2015).

En este sentido cabe resaltar que trabajos realizados en América Latina y Estados Unidos, como en el caso de Uruguay (Donistar, Bandeira, & Böcking, 2014) relacionados con el consumo de agua y los módulos de riego establecidos para la dotación predial, donde se registra una evapotranspiración (ET) en todo su ciclo de 670 a 700 mm (6.700 - 7.000 m³/ha). El riego se realiza por inundación permanente con un módulo de 3 a 4 l/s-ha, a pesar de que la planta está adaptada para crecer en condiciones de anaerobiosis; por lo tanto, se podría producir sin la necesidad de mantener al cultivo inundado durante todo el desarrollo del ciclo. La probabilidad de obtener máximos potenciales de rendimientos es favorecida por las condiciones de saturación de agua en el suelo que, dada la disponibilidad de agua libre en el suelo evita que las plantas gasten energía en absorberla. Si a los 7000 m³/ha de la ET del arroz, se le aplica una eficiencia de riego de 65-70 % (valores alcanzables con adecuados manejos y controles), se necesitarían unos 10.000-10.800 m³ de agua/ha. Además, hay que tener en cuenta las eficiencias en las conducciones y distribuciones de agua (canales) hasta los lotes, lo cual determina que el agua suministrada para poder regar una hectárea de arroz sea en el orden de los 13.400 y 14.4001 m³/ha en el mejore de los casos e inclusive más de 15.000 m³ /ha en condiciones complejas de suelo y manejo.

En Colombia (Suárez, Lozano, Sáenz, Saavedra, & Aldana, 2019) Fedearroz a través del programa de Adopción Masiva de Tecnología (AMTEC) y con base a los resultados de investigación obtenidos dentro del proyecto SATREPS, viene adaptando sus resultados a las condiciones agroecológicas de las diferentes zonas arroceras del país, está promoviendo el sistema de riego conocido como MIRI (Multiple Inlet Rice Irrigation) que significa Riego en Arroz por Múltiples Entradas. Este sistema fue desarrollado por Investigadores de las Universidades de Arkansas y Mississippi en asocio con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en el año 2003. El sistema MIRI es un sistema de riego de baja presión en el cual permite la conducción,

distribución del agua a través de una manguera de polietileno (PBD) y suministro de agua al lote de arroz de manera controlada y dirigida a través de compuertas ajustables. Este riego no requiere sistema de bombeo y puede ser operado por gravedad.

En la región centro del país (distrito de riego COELLO) el uso de la tecnología apropiada registra la reducción en el consumo de los valores volumétricos del agua. En esta experimentación se usó la micronivelación con Landplane y la Taipa en el caballoneo a curva a nivel con equipo laser, presentando resultados positivos, ya que se logró reducir el consumo de agua y la eficiencia de riego fue satisfactoria tanto para el regador como para el agricultor. Siendo estos equipos muy importantes en el funcionamiento adecuado del sistema, por lo tanto, la adecuada calibración y uso de estos, son los factores de éxito en el manejo del riego. La información obtenida permitió establecer los módulos de riego para un lote de 3,6 ha en 3,26 l/s, con periodos de riego para una hectárea de 2,62 horas y una frecuencia de riego de 4 días con 27 turnos de mojes (Pineda, 2005).

En relación con la infraestructura de riego del distrito, este cuenta con algunas estructuras hidráulicas construidas para el control y medición del agua; sin embargo, estas no han sido utilizadas adecuadamente debido al desconocimiento de técnicas y procedimientos modernos existentes en la operación de distritos, la falta de capacitación y la poca transferencia de tecnología en este campo, lo cual ha conllevado a que en la actualidad se carezca de información hidrométrica y por lo tanto, no se conozca el manejo del agua en el distrito y en particular en la zona escogida para el estudio.

Para el funcionamiento del distrito, la administración tiene que sufragar altos costos de energía ocasionados por la prestación del servicio de riego a todos los usuarios, en especial los de la etapa 2 de rebombeo, motivo por el cual el valor del metro cúbico ($70) para esta zona es más elevado que el de la etapa 1 de bombeo ($60). Información entregada por la administración da cuenta que en el año 2018 pagaron $1.772.969.890 por concepto de energía subsidiada por el

gobierno nacional, de este valor los costos ocasionados por la Etapa 2 correspondieron a la suma de $289.537.904. Adicionalmente, se ha tenido que implementar medidas encaminadas a disminuir dichos costos dejando de operar los fines de semana, situación que afecta los cultivos en su oportunidad de riego y demanda de agua; y para lograr el equilibrio económico de su funcionamiento, también se ha establecido como política una facturación mínima de 10.000 metros cúbicos por hectárea y cosecha para arroz, sin que sea necesario establecer objetivamente la cantidad suministrada a los predios, generando inconformidad, desconfianza y poco sentido de pertenencia por parte de los usuarios hacia el distrito de riego.

Las anteriores medidas, sin embargo, no han estado encaminadas a establecer las eficiencias ni mejorar el manejo del agua en el sistema de conducción y distribución del distrito, cuya responsabilidad directa es de ASOJUNCAL como administradora del recurso hídrico, motivo por el cual no le permite en la actualidad cumplir con las exigencias establecidas en la ley 373 de Uso Eficiente y Ahorro de Agua.

Información obtenida de la Jefatura de Operación del distrito de riego, señala que la eficiencia del manejo del agua en el distrito, no se ha podido establecer, pero que se considera que es buena (70%), aunque aclara que su determinación está basada en la cantidad de metros cúbicos que se bombean y se pueden cuantificar, toda vez que se conocen la capacidad instalada y el tiempo de su funcionamiento, al igual que la cantidad de agua facturada a los usuarios por el servicio de riego; es decir, que dicha eficiencia no representa la eficiencia hidráulica del sistema sino la eficiencia que se puede denominar de facturación.

La asociación de usuarios del distrito de riego El Juncal “ASOJUNCAL”, planteó la necesidad inaplazable de adelantar acciones encaminadas a modernizar su administración, entendiendo que este propósito debe necesariamente como primera medida, desarrollar trabajos que permitan conocer las condiciones en que se realiza el manejo del agua durante la prestación

del servicio de riego a los usuarios, de tal manera que a partir de esta labor y como consecuencia de su mejoramiento, se puedan disminuir los costos de operación, específicamente los de energía que representan aproximadamente el 80% de los costos de funcionamiento.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo operacional del sistema de conducción y distribución del agua de riego en conducciones abiertas.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Validar en el distrito de riego El Juncal (Palermo - Huila), un modelo matemático lineal con el fin de establecer el grado de eficiencia con que se realiza el manejo del agua en el área de estudio seleccionada.

2.2.2 Diseñar e implementar un sistema de información hidrométrica para el área de estudio.

2.2.3 Cuantificar las Pérdidas de agua, del Sistema de conducción y distribución del canal Sardinata, de la Segunda Etapa del distrito de riego El Juncal.

2.2.4 Recomendar las medidas necesarias para mejorar la eficiencia en el uso del agua en el área de estudio.

3 Estado del arte

Trabajos encaminados a estimar el grado de eficiencia con que se maneja el agua de riego en el sistema de conducción y distribución de distritos y la cuantificación de las pérdidas correspondientes, han sido realizados en algunos distritos de riego especialmente de México, aplicando el modelo matemático lineal que plantea el presente proyecto. La mayoría de los trabajos realizados en distintos países de diferentes latitudes incluida Colombia, han estado encaminados a evaluar la eficiencia de conducción de canales de riego, pero no su manejo que, por lo general es cuando se producen la mayor parte de dichas pérdidas afectando su eficiencia.

(Bonet Pérez et al., 2019) dicen que la determinación de la Eficiencia de Conducción en las Unidades Productivas de las empresas productoras de arroz constituye una herramienta de trabajo para técnicos y funcionarios vinculados a la operación de los sistemas de riego, por cuanto posibilita mayor precisión para la realización de las demandas de agua y el control del agua utilizada, e información veraz sobre el estado técnico de los canales, base para la programación de los mantenimientos y reparaciones. Plantea que con el objetivo de determinar en condiciones de producción el comportamiento de la Eficiencia de Conducción de un sistema de riego del cultivo del arroz y comparar los resultados con los indicadores utilizados tradicionalmente se realizó un estudio en el sistema de riego abastecido por el canal P-4 de la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Sur de Jíbaro, perteneciente a la empresa del mismo nombre en la provincia Sancti Espíritus. Para la determinación del gasto se utilizaron las obras hidrotécnicas situadas en los puntos de regulación, las que habían sido previamente calibradas, y el método de sección y velocidad en los casos en que no se disponía de dichas obras, Los resultados indican una Eficiencia de Conducción general del sistema de 42%, valor que difiere considerablemente del reflejado en los documentos rectores de esa actividad, con las mayores pérdidas en los canales terciarios en los cuales se obtuvo un 57% de eficiencia.

(Kuhl, 2019) dice en su publicación que, las tecnologías ayudan a desarrollar la resiliencia de los agricultores al cambio climático, pero las relaciones entre transferencia de tecnología, adopción, vulnerabilidad y resiliencia no se comprenden bien. El documento examina empíricamente el proceso de transferencia de tecnología para pequeños agricultores en Honduras desde una perspectiva de adaptación. Aborda dos preguntas: (1) ¿Cómo contribuye la transferencia de tecnología a los caminos hacia la resiliencia de los pequeños agricultores? (2) ¿Qué desafíos enfrentan estos esfuerzos para satisfacer las diversas necesidades de los agricultores y superar las barreras a la adopción de tecnología por parte de los más vulnerables al cambio climático? Estas preguntas se analizan en el contexto de la iniciativa Feed the Future del gobierno de los Estados Unidos. Se realizaron entrevistas con pequeños agricultores en relación con las experiencias con la transferencia de tecnología, las opciones de adopción y las percepciones del cambio climático. El estudio encontró que, si bien las tasas de adopción fueron altas en general, el ritmo de adopción aún fue lento, lo que demuestra una tensión entre la urgencia del cambio climático y el ritmo de adopción de los pequeños productores. El estudio encontró que muchas tecnologías aumentan la capacidad de recuperación, pero no siempre pueden ser adaptativas a largo plazo, y que se necesitan recursos significativos para transferir con éxito las tecnologías a los pequeños agricultores. Este estudio proporciona evidencia de las formas en que los proyectos de tecnología agrícola contribuyen a los caminos hacia la resiliencia y demuestra las barreras para su éxito.

(Pangliettine, Liliana; Dominguez, Jorge; Villegas, Alan; Amador, Ana; Valerio, Claudia; Bertella, María; Maurizio, 2018) en desarrollo del trabajo de El Análisis de la Eficiencia en el Uso del Agua, señalan que también ha sido objeto de estudio el caso del cultivo de arroz en el Litoral Argentino que, junto con los Estados de Rio Grande del Sur, Santa Catarina en Brasil y la cuenca de la laguna Merin en Uruguay, constituyen un polo de producción que cuenta con tierras aptas, riego abundante y actores dinámicos; Entre Ríos con 65.000 ha cultivadas, es la segunda provincia

en importancia en la producción de arroz en Argentina. Plantean que el sistema tradicional del cultivo de arroz se caracteriza por el régimen de inundación permanente del suelo y que el cultivo requiere en promedio 11000 m3 de agua por hectárea, por lo que una aplicación correcta de estos grandes volúmenes condiciona su rinde. La mayor eficiencia en el uso del agua se encuentra asociada a un adecuado laboreo del suelo, siendo el costo del riego dependiente de los requerimientos de energía para el bombeo y las pérdidas de conducción hasta el mismo. La utilización de energía eléctrica para bombeo y la construcción de represas para almacenamiento y distribución son dos de las alternativas más difundidas para reducir costos. El cultivo de arroz se sustenta en un 70 % en la explotación de aguas subterráneas, lo cual deriva en una alta demanda energética, significando más del 40 % de los costos directos de implantación del cultivo.

(Zamudio, 2018) en su trabajo de investigación titulado: Análisis De La Eficiencia De Conducción En Canales De Irrigación Para Zonas Altoandinas Caso: Turuco, Del Distrito De Bellavista, Provincia De Jaén-Cajamarca; determinó la eficiencia de conducción de dicho canal de riego, el cual fue mejorado hace aproximadamente 10 años.

La metodología utilizada consistió en revisión de información bibliográfica con la finalidad de analizar los criterios y factores que influyen en la eficiencia de conducción del canal de irrigación en zonas Altoandinas, además de evaluar todas las fallas existentes del canal; grietas, roturas y juntas en mal estado , debido que la mayoría de canales en el país presentan diversos problemas, deteriorándose y resultando insuficientes; motivo por el cual no se logre cambios que permitan incrementar la producción y productividad agrícola. El resultado de la investigación muestra que el canal de irrigación Turuco - bellavista, tiene una eficiencia de conducción 80% calificada como una eficiencia de conducción baja; y el canal presenta grietas, roturas y juntas en mal estado, lo cual permite pérdidas de agua significativas.

(Edinson, 2017) en su tesis de grado se realizó en la zona de la mora, distrito de Chimbote, Provincia de Santa en un periodo comprendido entre los meses de octubre del 2016 a Julio del presente año, teniendo un propósito de esta tesis consistió en la Evaluación de las pérdidas de conducción en el canal la mora en el tramo de la progresiva (0+600 –1+600) - Chimbote – cascajal – 2017, para lo cual determinó el caudal transportado por el canal, luego determinó el volumen de agua que se pierde debido a la evaporación y se pudo hallar que la cantidad de agua evaporada era mínima por lo que se despreció dicho valor, finalmente contrastó con el estudio de suelos realizado que efectivamente el canal tiene un tipo de suelo permeable. El procesamiento de datos se hizo aplicando un análisis descriptivo donde se pudo determinar y concluir que los factores que inciden en las pérdidas por conducción son: las condiciones hidráulicas del canal, la evaporación, la infiltración y el tipo de suelo del canal.

(Olmedo Vázquez, Minjares Lugo, Poyato, Hernández, & Rodríguez Díaz, 2017) plantean que, la gestión del manejo de los recursos hídricos en el distrito de riego 041, del Río Yaqui, se ha basado tomando en cuenta la eficiencia del manejo del agua, motivo por el cual dice que, en este trabajo, se evalúa la eficiencia de riego en los módulos de riego, usando la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA). El objetivo de la investigación fue identificar la gestión eficiente de riego y conocer hacia dónde canalizar las adecuaciones pertinentes en los próximos años agrícolas en la región de estudio, a través de sus desviaciones en relación con sus módulos de riego más eficientes. Señalan que, en los Distritos de Riego en México, la eficiencia de conducción en canales se ha estimado en el orden del 65% y a nivel parcelario en un 52,5% y que, para obtener la eficiencia global, se considera la eficiencia de conducción multiplicada por la eficiencia a nivel parcelario; la cual da como resultado un 34,1%; es decir, de cada 1,000 litros de agua para riego, el cultivo aprovecha únicamente 341 litros.

(Umaya, 2017) en su trabajo Eficiencia De Conducción Del Sistema De Riego Del Embalse Las Pirquitas En La Provincia De Catamarca, Argentina, plantea que en esta provincia se encuentra uno de los sistemas de riego mediante canales más importantes de la misma, el cual es abastecido de agua por el embalse Las Pirquitas; y que el desconocimiento de las pérdidas por infiltración de estos canales es uno de los problemas en la zona, motivo por el cual se planteó la determinación de la eficiencia de conducción de estos canales. Para esta determinación se dividieron esquemáticamente los dos canales principales en trayectos y en cada uno de ellos se utilizó el método de caudal de entrada y salida. Las mediciones de caudal se realizaron con el método de sección y velocidad, para esta última se utilizó un molinete. Los resultados permitieron conocer que en general las eficiencias en los dos canales principales son aceptables, a pesar de la antigüedad de cincuenta y seis años de uno de los canales.

(Cobacho, Pardo, & Cabrera, 2016) en su artículo Necesidad de Mejorar la Eficiencia en la Distribución y el Uso de Agua y Energía, señalan que como primera medida se debería conocer bien el gasto de agua y su distribución por usos, lo cual supone, además de medir bien, establecer algún tipo de control administrativo, hoy inexistente, mediante la creación de agencias reguladoras, cuya solución están adoptando numerosos países.

En segundo lugar, y a la vista del enorme gasto energético que comporta el manejo sostenible del agua, deben realizarse auditorías energéticas para cada uno de los usos, permitiendo disponer de datos precisos, y con esos datos, delinear estrategias.

En tercer lugar, es esencial continuar mejorando la eficiencia en cada una de las etapas de los diferentes ciclos artificiales que recorre el agua. Un claro ejemplo es la mejora de los rendimientos de las redes de distribución.

En cuarto lugar, y como el ahorro del agua está ligado a su precio, se deben repercutir en el mismo todos sus costes con lo que se propiciará un mejor uso del agua. Y si razones de interés general aconsejan subsidiar algún uso, por ejemplo, el riego, se deben establecer mecanismos para que no se comprometa el uso eficiente del agua.

Por último, y como quiera que las medidas precedentes son impopulares (al fin y al cabo, se trata de aumentar el control y los precios), hay que sensibilizar al ciudadano explicando lo mucho que hay en juego, evitando introducir medidas que chocan frontalmente con la cultura de siempre sin explicar su necesidad.

(García et al., 2016) en la sección referida a la Administración, Operación y Conservación, de los distritos de riego en Colombia, del estudio contratado para "Realizar una Evaluación Institucional y De Operaciones De La Política De Adecuación De Tierras Desde El Pronat y La Ley 41 De 1993 Hasta La Actualidad, Con El Fin De Señalar Recomendaciones Sobre El Mejoramiento En El Diseño E Implementación De La Política" plantea que, por definición el recaudo de las tarifas de riego depende del equilibrio en la fijación de estas, asegurando que los usuarios están en capacidad de pagarla, si están satisfechos con el servicio y sea suficiente para la sostenibilidad del distrito de riego. Como conclusión del análisis de los Distritos de Adecuación de Tierras se establece que, donde no se realiza el recaudo frente a donde sí funciona, es necesario contar en primer lugar con la infraestructura y medidores del flujo de agua utilizado para hacer efectivas las medidas, y ante todo claridad y aceptación del compromiso de los usuarios respecto al pago de los servicios recibidos y de la consecuente aplicación de sanciones. Finalmente se dice que, la gestión de recursos hídricos es fundamental en servicios de riego y drenaje; de la experiencia internacional es de vital importancia la relación entre las instituciones que manejan ambos temas; se debe garantizar que las tarifas de agua no pongan en riesgo la sostenibilidad de los proyectos

productivos; pero, que por medio de estas se incentive el uso eficiente del agua y que la medición de agua consumida por parte de las entidades del agua y de la misma asociación es necesaria.

(González B & Alonso, 2016) dicen que, el uso eficiente del agua determina el futuro del cultivo de arroz en Colombia frente a los tratados de libre comercio, ya que es un factor que condiciona el área sembrada, el rendimiento de la cosecha y los costos de producción, además de su sostenibilidad en el tiempo. Por lo tanto, hicieron una revisión de las tecnologías desarrolladas a nivel mundial enfocadas al ahorro del agua en el cultivo de arroz en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, resaltando tecnologías alternativas que superan al sistema convencional en rendimiento y en la cantidad de arroz cosechado por metro cúbico de agua invertido. En la reflexión para Colombia, se destacan aspectos importantes para la construcción de la agenda de investigación y la apropiación social de las tecnologías alternativas con miras a la optimización del recurso hídrico en el cultivo de arroz; se recomienda priorizar el arroz aeróbico y la medición efectiva del consumo de agua, indispensable para controlar su uso, planear, dirigir y entender cómo estas tecnologías alternativas conducen a la recuperación de la inversión de los agricultores y a la rentabilidad del cultivo.

Para el departamento del Tolima, como principal productor de arroz del país, la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) y las asociaciones de usuarios de los distritos de riego, estiman que la demanda de agua en zonas inundables oscila entre 16000 y 30000 m3 /ha-cosecha. No obstante, el uso del modelo “Aquacrop” desarrollado por la FAO predice que la aplicación de riego debe ser de 4800 m^3 /ha-cosecha, por lo tanto, gran parte del agua retorna al sistema hídrico con variaciones en su calidad.

(González B & Alonso, 2016) en su artículo *Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz, señalan que el arroz* (Oryza sativa L) es básico en la canasta familiar para cerca de la mitad

de la población mundial, el segundo cereal con mayor área cosechada y un cultivo que ejerce una gran presión sobre el recurso hídrico (PSRH). Dicen que el sector agrícola en Colombia demanda anualmente 54% del agua consumida (19.386 millones de m^3), de los cuales 4.185 Mm^3 son implementados para el cultivo de arroz y de estos, se estima que solo 962 Mm^3 son consumidos de forma efectiva.

El consumo de grandes volúmenes de agua en el cultivo de arroz en Colombia se asocia directamente a las malas prácticas culturales (MPC) en torno al manejo del agua y a la ineficiencia del riego por gravedad (IRG). Señalan que, la oferta hídrica se ha visto afectada por la degradación de las cuencas de los distritos de riego (DCDR) y por el cambio climático (CC) y; que, por lo tanto, la localización geográfica y la orografía que ubican a Colombia entre los países con mayor riqueza hídrica no es suficiente para evitar la presión sobre el recurso hídrico (PSRH).

(Beekman, 2015) dice en su trabajo Agua y Seguridad Alimentaria, que para mejorar la productividad del agua se requieren intervenciones en todos los eslabones de su "cadena de uso", lo que implica mejorar desde la eficiencia en la utilización del agua por parte de las plantas, hasta la manera en que el comercio internacional impacta en su uso y en su productividad. Plantea que en el existe un tercer tipo de innovaciones relacionadas con la forma en que el agua se conduce hasta los productores, la cual se convierte en una de las más importantes interfaces de colaboración entre los usuarios finales y las entidades responsables de la administración del recurso hídrico y que ofrece oportunidades para innovaciones en infraestructura y en la forma en que se organiza la gestión de los recursos.

De manera resumida, expresa que los mayores esfuerzos en el suministro de agua se han focalizado en las siguientes acciones:

a) Mejorar la operación de los sistemas de riego con el propósito central de que las unidades productivas cuenten oportunamente con el agua que requieren, tanto en términos de

cantidad como de calidad, sin que haya retrasos en su entrega y pérdidas en su conducción. Estas acciones incluyen no sólo mejoras en los canales y sistemas de conducción, sino también en la organización para la gestión.

b) Reducir la evaporación del agua mediante esfuerzos dirigidos a rediseñar los canales, redefinir las rutas de distribución, evitar la conducción de agua en tierras improductivas, modificar el tipo de cultivo eliminando especies menos eficientes en el uso del agua y controlar las malezas que compiten con los cultivos por el agua y los nutrientes.
c) Disminuir la filtración, la escorrentía y la lixiviación, esta última en el desplazamiento de sustancias solubles o dispensables, como la arcilla, las sales, el hierro y el humus, causada por el movimiento del agua en el suelo, y especialmente pronunciadas en los climas húmedos. Esto provoca que algunas capas del suelo pierdan sus compuestos nutritivos y se vuelvan más ácidas; generando, a veces, toxicidad.
d) Minimizar la contaminación del agua y la salinización de los suelos.
e) Promover el reciclaje y la reutilización del agua.

(Bustamante, Velazquez, Ibarra, & Capurata, 2015) plantea que, en las zonas de riego, para lograr un beneficio común, es necesario alcanzar el uso más eficiente de los recursos con satisfacción plena de los usuarios. Sin embargo, ello no se ha logrado, principalmente, por falta de desarrollo y/o aplicación de innovaciones tecnológicas en los sistemas de regulación de canales de distribución del agua y la capacidad de conducción, los cuales son analizados y/o instrumentados por separado. En este trabajo se desarrollan opciones en las que ocurren las dos variables de la infraestructura como una acción conjunta en apoyo a la operación y de gestión, con eficiencia de operación mejorada. Esta metodología se aplicó para el módulo de riego Santa Rosa, del Distrito de Riego DR- 075," Río Fuerte", Sinaloa, México. Con una eficiencia global para diseño del

51.35% y por el método de Clemens se determinó un gasto de 25.40 m³/s con demanda programada asociándole una regulación de nivel de control aguas arriba, y un gasto de 38.25 m³/s con demanda libre asociándole una regulación de control aguas abajo. Se concluye que al conocer el gasto demandado - ofertado y con el sistema de regulación seleccionado se aumentan las eficiencias de operación bajo una gestión integral, se recomienda instrumentar la infraestructura para el servicio de riego que los usuarios estén dispuestos a utilizar.

(González & Madrid, 2015) mediante aforos de entrada y salida de caudales en el proyecto de grado Evaluación de la Eficiencia de Operación del Sistema de Riego de la Comisión Santa María Valdivia, Valle Moche, estableció que la eficiencia de operación es baja en los canales de tercer orden debido al mal estado de conservación y al desorden en la distribución del agua por no tener seguimiento adecuado.

(Leonardo, 2015) en el *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*, dice que la eficiencia de riego en el Perú no está definida y no existe sustento de ella, en muchos casos se menciona que la eficiencia es del 30%, asimismo el desconocimiento por parte de las entidades operadoras de dichos sistemas de riego, no se tiene claro por los profesionales la definición de la eficiencia de riego ya que ella se confunde con la eficiencia de aplicación, en la mayoría de los casos. Señala también que esa necesidad identificada por la Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego, DGIAR del Ministerio de Agricultura y Riego, determinó la elaboración de un manual que sirviera de base para los profesionales y técnicos comprometidos en el uso adecuado del recurso hídrico para riego.

(Rodriguez, 2015) en su proyecto de grado “Evaluación de las eficiencias de conducción en los canales de derivación de la comisión de usuarios de Sausal y su impacto en la dotación de agua en la distribución, aplicó el método de toma de datos en campo y sistematización de la información de los aforos de entrada y salida en cada punto de las estaciones que se establecieron a lo largo del

canal Sausal. Los resultados obtenidos en la fase de sistematización de información de campo arrojaron que la eficiencia de conducción en el canal Pampas de Jagüey, fue de 78%; en el canal Salinar Quemazón, del 65%; en el canal Barranca Plan 2, 85%; y en el canal Chicamita representó el 84%; es decir, el proyecto señala que la eficiencia promedio obtenida del manejo del agua por parte de la comisión de regantes de dicho canal fue del 78%, cuyo valor estuvo por debajo de la eficiencia de conducción que presentó el Valle de Moche (81.50%) en el año 2005. El proyecto también establece que, dicha eficiencia fue mayor a la eficiencia de conducción en promedio para el Valle Chicama de (75%) de acuerdo con el estudio del PROFODUA (año 2009); pero, en comparación con el promedio de la eficiencia de conducción en canales revestidos cuyo valor es de 95%, el porcentaje obtenido está por debajo de lo asignado.

(Rubiano, Sánchez, Moreno, & Callejas, 2015) en el marco del Proyecto de *Uso eficiente y ahorro de agua en Colombia*, cuyo objetivo general era promover el uso eficiente y ahorro de agua en un distrito de riego seleccionado a nivel nacional, como experiencia de aprendizaje y construcción de lineamientos para la formulación del Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA), en desarrollo del Proyecto piloto en el distrito de adecuación de tierras del Río Coello - Tolima, señala que, tanto a nivel nacional como internacional se reconoce que las actividades agropecuarias demandan un uso más intensivo del recurso hídrico en comparación con otros sectores usuarios del recurso agua y que, igualmente es bien reconocido que es en el sector agrícola donde el recurso hídrico se utiliza con las más bajas eficiencias (IDEAM, 2015). También se dice que en los distritos de riego del país se percibe que ellos fueron diseñados bajo técnicas de control de flujo Aguas-Arriba, pero que por diferentes circunstancias hoy en día estos sistemas no funcionan debido a su abandono por desconocimiento de su funcionalidad por parte de los usuarios, dificultando el desarrollo de actividades en pro del uso eficiente del agua, como lo es la medición

y regulación del agua de riego en puntos estratégicos de la red, y la implementación de la tarifa volumétrica.

Dentro de la problemática encontrada en dicho estudio se establece lo siguiente: deficiente sistema de medición de caudales, toda vez que se realiza medición frecuente a la entrada de los canales principales del distrito, pero no se realiza en los canales de menor orden; asignación de caudal sin diferenciación de cultivo, asignando módulos de riego de igual valor para cultivos de arroz, maíz, sorgo, maní, soya, frutales, pastos y otros; baja eficiencia de conducción y distribución por el tipo de infraestructura (canales en tierra); e insuficiencia de infraestructura para controlar el flujo de manera precisa en la red de distribución.

Finalmente, el estudio dice que el programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, planteado por USOCOELLO, no consideró gestión de demanda, ni control y medición de flujo en la red de conducción y distribución. Tampoco se tuvo en cuenta la disminución del riesgo de desabastecimiento mediante ahorro y/o uso de fuentes alternas.

(Paz, Arasa, Llopis, & Sandoval, 2014) plantea en su publicación *La Eficiencia En Los Sistemas De Distribución: Revisión Sobre La Gestión Del Agua No Registrada* que, se están llevando a cabo importantes esfuerzos, tanto desde el punto de vista tecnológico como económico, para conseguir una gestión cada vez más eficiente no solo en la gestión de los sistemas de distribución, sino en todo el ciclo de agua. Dice que como no todo el volumen de agua que entra en el sistema llega a los puntos de consumo, parte de este se pierde en este recorrido y se denomina agua no registrada (ANR), que debe ser minimizada, cuya reducción debería ser considerada prioritaria con el objetivo de no perder recursos, reducir riesgos, acortar los periodos de retorno de las inversiones y garantizar la satisfacción del cliente. Igualmente señala que el camino recorrido en esta gestión es claramente desigual según los diferentes usos del recurso (apta para consumo, industrial y agrícola).

Plantea que el nivel de desarrollo tecnológico necesario para esta reducción no es ilimitado y que debe encontrarse un punto de equilibrio en el que se vean reflejados ya no solo los costes estrictamente económicos, sino todos aquellos que la comunidad esté dispuesta a incluir o a soportar con los sistemas de recuperación de costes (sociales, medioambientales, etc.). Dice además que, en este sentido el avance ha sido relevante y se encuentran distintos indicadores tales como ELL (economic level of leakage) y SELL (sustainable economic level of leakage) que permiten tener en cuenta esta aproximación.

El documento señala indispensable que, los operadores encargados de la gestión hídrica y las empresas de distribución incorporen aquellas soluciones que optimicen los niveles de eficiencia en la gestión del ANR, como las soluciones y tecnologías ya demostradas solventes dirigidas a la implantación de sistemas de información geográfica, el telecontrol del sistema, la tele lectura, el control en tiempo real de la red, el control de los fraudes y la disposición de equipos de búsqueda de fugas que permiten llevar a cabo una gestión más eficiente.

(Yupanqui & Durand, 2014) realizó en su proyecto de grado un estudio en el Canal de Derivación Cartavio, bajo la administración de la Junta de Usuarios de Agua del Valle Chicama, con el propósito de evaluar su eficiencia de Conducción, a fin de proponer las recomendaciones adecuadas para mejorar el uso eficiente del agua. El canal no se encontraba revestido y cubría un área potencial de 3,852.26 hectáreas para riego, una longitud de 10,977 m de recorrido y capacidad máxima de 8 m^3/s; su principal característica era la baja eficiencia de conducción, que ocasionaba grandes pérdidas de agua a causa del mal estado físico del canal.

Durante la evaluación de la Eficiencia de conducción, se analizó el estado de operación y mantenimiento del canal principal o de derivación, desde la fuente de abastecimiento hasta que se empieza a distribuir el agua en los canales laterales. La metodología empleada para el cálculo de la eficiencia de conducción se basó en trabajos de medición de caudales por el método del

Correntómetro obteniendo un Caudal de entrada y salida, a unos 80 m aguas abajo de la Bocatoma Cartavio y a unos 150 m aguas arriba de la Toma Portada Blanca, lo cual permitió conocer el volumen de agua perdido por infiltración, a consecuencia del estado de mantenimiento y acumulación de malezas en el canal. Se concluyó que la eficiencia de conducción es de 89 %. Según la evaluación canal las pérdidas obedecen a las condiciones físicas del canal, lo que favorece las pérdidas operativas en dicho canal.

(Chique Mamani, 2013) en su proyecto de grado Evaluación técnica para el mejoramiento de la eficiencia del sistema de riego Jaruni Carimbico - Juli, provincia de Chucuito del departamento de Puno, dice que la zona de estudio de este sistema de riego forma parte de microcuenca de río salado. En la actualidad, el sistema cuenta con un reservorio tipo represa en el cual, se almacena el agua proveniente de los manantiales cercanos a la represa; cuenta con tramos de canales de tierra natural conllevando a pérdidas de agua por infiltración y canales revestido con mortero de cemento y piedra en estado de deterioro. El trabajo de investigación se plantea con el fin de evaluar y determinar la eficiencia de riego por gravedad. En la obtención de resultados, se realizó cuantificaciones de caudales en canales de conducción y distribución; se realizó pruebas de infiltración; conducción y distribución; se realizó pruebas de infiltración; e inventario y muestreo de fuentes de agua existes en la zona. De los resultados obtenidos; la eficiencia de riego fue de 18%; el sistema, cuenta con limitado y escaso de recurso hídrico, existen fuentes de agua que afloran de forma natural y permanente, quienes aportan significativamente a la represa a razón de 1.593 l/s., de la presa se dota a razón de 12 l/s, beneficiando un área de riego de 5 hectáreas y a 27 usuarios.

(Pedroza González & Hinojosa Cuéllar, 2013) señala que Palacios (1996) separa las pérdidas en intrínsecas y operacionales. Las primeras se refieren a las pérdidas por evaporación, infiltración

y fugas, es decir, aquellas que se deben a las condiciones climáticas, textura de suelos, longitud y estado de conservación de la red de canales, que son relativamente constantes para cada distrito de riego; las segundas se generan por causas relacionadas, fundamentalmente, con el manejo del agua y que por lo general son función del caudal manejado, experiencia del personal y supervisión realizada. Ambas se aplican tanto a las pérdidas por conducción en red mayor como a pérdidas por distribución en la red menor. La propuesta de Palacios se aplicó a la Unidad de Riego Cortázar del DR 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

(Infante, 2013) en el trabajo de investigación titulado "Determinación de la Eficiencia de Conducción del Canal de Riego Huayrapongo, Distrito de Baños del Inca – Cajamarca", determinó la eficiencia de conducción de un pequeño canal de riego, de sección trapezoidal de ancho de solera b = 0.60 m., profundidad de 0.45 m. y un talud Z = 1; con un espesor de 0.15 m, revestido de concreto simple; construido aproximadamente 20 años atrás en ese entonces; y diseñado para transportar 180 1/s. La metodología estuvo encaminada a medir un conjunto de caudales en un tramo del canal de riego, de longitud 1.00 Km, mediante un vertedero de pared delgada de sección rectangular, ubicado en el ingreso y salida de este, entre las progresivas 0+500 al 1 +500, el cual era representativo de todo el canal; en el mismo tramo, se evaluaron el estado de agrietamiento, todas las fallas existentes en el canal, como: grietas, roturas y juntas en mal estado, con la finalidad de determinar el estado del mismo.

Los trabajos se realizaron en los meses de enero y febrero del año 2013 y tuvieron según el autor algunas dificultades, como la de no contar con información suficiente sobre estos trabajos de investigación, por lo que se optó por realizar una metodología propia, de la cual se espera que otros profesionales sigan mejorando dicha investigación; además señala que, se tuvo que disponer de un equipo de trabajo numeroso ya que la toma de datos era simultánea en el punto de ingreso y salida del tramo del canal. Los resultados de la investigación muestran que el canal de riego Huayrapongo,

tiene una eficiencia de conducción de 91.40% calificada como una eficiencia de conducción alta; y el canal presenta grietas, roturas y juntas en mal estado en regular cantidad, lo cual no permite pérdidas de agua significativas.

(Montenegro, 2013) evaluó en desarrollo de su proyecto de grado el nivel de Eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chililique Jaén -Cajamarca, entre el km 02+000 y 03+000, la toma de datos se realizó mediante visitas de campo y aforos de los caudales de entrada y salida en el tramo de un kilómetro, cada dos días durante dos semanas, también se hizo la inspección y descripción del estado de recubrimiento del canal.

En esta investigación se usaron vertederos de pared delgada de sección rectangular con dos contracciones para determinar los caudales de entrada y salida, así como fichas de evaluación del estado de recubrimiento del canal. Se determinaron caudales de entrada y salida que mostraron una distribución un poco uniforme sin cambios sinuosos de un día para otro, los caudales de ingreso y salida máximos fueron 0.60 m^3/s y 0.49 m^3/s respectivamente; también se determinó que el nivel eficiencia de conducción más alta fue de 82.92% y la más baja de 80.38%.

El estudio señala que el nivel de eficiencia de conducción de riego del canal Chililique es deficiente, debido al recubrimiento pobre de canal; deterioro de juntas; presencia de grietas; fisuras y la falta de mantenimiento, ya que la eficiencia de conducción del canal como resultado de la investigación fue de 81 ,80%.

(Satlari, 2011) señala en su proyecto para optar el título de Especialista en Riego y Drenaje que, en la provincia de Mendoza hay pocos estudios de eficiencia de conducción y que no cubren todos los oasis, dice que, hay estudios específicos en el área de riego de los ríos Diamante y Atuel realizados por el CRAS (Coria y Pazos, 1984), (Vivas y Poblete, 1986) y (Rodríguez y Velgas, 1989). Plantea que en el área irrigada con aguas del río Mendoza, Chambouleyron et al (1972) evaluaron la eficiencia zonal del río Mendoza, relacionando caudales distribuidos y superficies

cultivadas y que posteriormente, para el área irrigada por el río Mendoza y Tunuyán Inferior, se hizo una evaluación de eficiencia de uso externo. En este trabajo se hace una comparación de las láminas entregadas en la cabecera de un sistema compuesto por ocho canales, en las cabeceras de los ocho canales, en las cabeceras de sus hijuelas derivadas y en las tomas de las parcelas a regar. Al relacionar las láminas que ingresan con las que salen de cada cauce se obtienen las eficiencias de uso externo, que incluye a las pérdidas en la conducción y las de origen administrativo. Este método evalúa el manejo del agua, aspecto de suma importancia, pero justamente no permite la comparación con trabajos donde expresamente se pretende evaluar pérdidas por infiltración.

Finalmente dice que, se realizaron estudios en canales del Departamento Lavalle, como parte integrante de obras de infraestructura, en cumplimiento de la Res 1371/2001 de componente de manejo en obras (DGI. 2001), se cuenta con estudios de pérdidas en los siguientes canales e hijuelas derivadas: Canal Marienhoff, Canal Bajada de Araujo, Canal San Pedro y San Pablo y Canal Gustavo André (Perrone, R. 2004) y que, también se realizó la medición en el Canal Concesión California (Bertoldi, E. 2004).

(Domínguez, 2010) en desarrollo del trabajo *Evaluación De La Eficiencia De Riego En El Módulo Iv Del Distrito De Riego 017 Comarca Lagunera, México*, dicen que, La tecnificación del riego, implica una serie de factores que deben de ser considerados tanto desde el punto vista de la selección del método o sistema de riego (superficial o presurizado), como del diseño, operación y mantenimiento; considerando como base la capacitación para alcanzar las más altas eficiencias de manejo y conservación de los recursos hídricos disponibles (García. 1998).

Plantean que para la evaluación de la eficiencia de conducción, Calculo del gasto y perdidas por conducción, se realizaron mediciones en diferentes secciones de los canales de conducción con la finalidad de determinar el gasto que corre por los canales, midiendo primero el área de la sección hidráulica y posteriormente se determinó la velocidad aguas arriba para calcular el gasto uno (Q1),

para la obtención del segundo gasto (Q2) aguas abajo se realizó el mismo procedimiento, una vez que se obtuvieron los dos gastos se calculó la eficiencia de conducción en una hoja de cálculo del programa EXCEL, la cual se utilizó de igual manera para el cálculo de las pérdidas por conducción (Pc), obteniendo de esta manera la base de datos de las eficiencias de conducción y pérdidas por conducción de los canales de riego seleccionados.

Señalan que se realizó el cálculo, por separado, para los sistemas de conducción revestidos y sin revestir, en el caso de los primeros se obtuvo una eficiencia de 88% y de 86% para los segundos, mencionando que de acuerdo con estudios realizados por el IMTA 1992, en el Módulo de riego IV "El Vergel", mencionan que la eficiencia de conducción en condiciones normales es del 87%.

(Minjares-Lugo, Valdés, Salmón-Castelo, Oroz-Ramos, & López-Zavala, 2010) realizaron una investigación para la planeación, manejo y evaluación sustentable de los recursos hidráulicos en el Distrito de Riego 041, Río Yaqui, México, dirigida a desarrollar un modelo interanual de simulación-optimización que permitiera crear una metodología cuantitativa y transferible para promover el impulso de mejores prácticas sustentables en las actividades del distrito. El modelo anual de simulación-optimización hidrológico-agronómico-económico desarrollado por Minjares, fue utilizado y luego extendido a un modelo interanual por medio de la conexión de los modelos anuales, incluyendo en la función objetivo criterios sustentables como productividad, confiabilidad, resiliencia, vulnerabilidad y equidad, para controlar la relación entre las decisiones tomadas en el presente y sus consecuencias a largo plazo.

La investigación señala que, de acuerdo con los resultados obtenidos, el modelo puede ser usado para la elaboración del plan de riegos del distrito bajo diferentes escenarios de manejo a largo plazo, e identificar prácticas o decisiones que pongan en riesgo el desarrollo sustentable del sistema; como también, usarse para evaluar políticas de manejo y decisiones que se han tomado en el pasado y posibles conflictos por el agua en el futuro.

(Mojarro, Luna, González, Hernández, & Rubio, 2009) en su trabajo *La medida del agua en la operación de distritos de riego* plantea que, en realidad, como lo señala Doebelin (2004), la medición del agua, en el caso de los distritos de riego se realiza para controlar la distribución y para evaluar el proceso del servicio de riego. También dice que, con la medición del agua que se realiza actualmente en los diferentes niveles operativos, se está en posibilidad de evaluar el desempeño del distrito de riego y de los módulos en la entrega de agua, pero no se tiene la posibilidad de controlar la distribución del agua, ya que esta acción de control requiere además mediciones de niveles, aberturas de compuertas y alturas de vertedores en estructuras de regulación y de extracción.

(Ruiz Carmona, Ojeda Bustamante, & Contijoch, 2006) en el trabajo *Evaluación rápida de una zona de riego típica de Pakistán*, muestran los resultados obtenidos al aplicar una metodología de evaluación rápida de sistemas de riego (RAP). El objetivo de la evaluación fue conocer el estado actual del servicio de riego que ofrece la agencia responsable del manejo del riego en un distrito del Punjab y proponer alternativas para mejorarlo. Los principales resultados de esta evaluación fueron los siguientes: la falta de capacidad de los canales; el abatimiento neto del acuífero; el estrés hídrico continuo de los cultivos, que propicia un bajo rendimiento; la red secundaria de canales no dispone de estructuras de control y su diseño no es adecuado para operar por rotación; el deficiente sistema de comunicación entre operadores; la excesiva plantilla de personal para la operación del distrito; la no existencia de un programa de capacitación de personal, y la diferencia en la calidad del servicio de riego entre lo recibido por los usuarios y lo programado por los operadores del sistema. La propuesta de mejoramiento de la operación se dividió en dos líneas: el manejo del agua en la red de distribución y la aplicación en la parcela. En relación con la red de distribución y conducción, se sugiere elaborar un programa de modernización basado en el tipo de servicio a suministrar acordado entre usuarios y administradores; se plantea que, el programa deberá

especificar las funciones de cada componente de la red de distribución y permitir la selección del equipo adecuado en cada caso y que para la implementación de dicho programa requiere la realización de un estudio sobre la factibilidad de utilizar los equipos y estructuras en las condiciones que presenten en las zonas de riego.

La evaluación RAP calcula dos tipos de indicadores: los externos (IE) y los internos (II). Los indicadores externos (IE) expresan la eficiencia del sistema, en función de las salidas obtenidas, considerando las entradas observadas o estimadas, y tienen la siguiente forma general para el caso del balance de agua o para el rendimiento:

$$\frac{Agua\ requerida}{Total\ agua\ disponible} \quad \text{o,} \quad \frac{Rendimiento\ del\ cultivo}{Agua\ de\ riego\ entregada\ a\ las\ parcelas}$$

La metodología empleada en este estudio puede ser aplicada en otros países para realizar evaluaciones de grandes sistemas de riego bajo un esquema de optimización en recursos humanos y tiempo, que son las limitantes de las metodologías tradicionales. Los indicadores externos sólo requieren conocer las entradas y las salidas globales del sistema de riego, por lo que no suministran información interna del sistema para mejorar la eficiencia.

(Enríquez Quintero, Carlos Julio; Orozco González, Aderson; Urrutia Cobo, 2005) señalan que, la necesidad de establecer un mecanismo ágil, confiable y eficiente para la distribución del recurso hídrico en Colombia, específicamente en el Departamento del Valle del Cauca, ha generado la obligación de implementar tecnologías enfocadas a optimizar la distribución de este. Actualmente, los usuarios del agua soportan un problema marcado de insuficiente disponibilidad del recurso. Algunas causas son el aumento en la demanda debido a la expansión de las tierras cultivadas, el fuerte y prolongado verano influenciado por el fenómeno climático del pacífico que disminuye la oferta hídrica, el inadecuado mantenimiento de la red de riego y el pobre control operativo de la misma, entre otros. El propósito general de este estudio fue desarrollar una

propuesta técnica para optimizar la distribución del recurso hídrico en una red de distribución del río Tuluá, mediante la implementación de métodos de control de flujo concebida bajo criterios de sostenibilidad. El estudio comprende una revisión de bibliografía sobre el tópico, un diagnóstico de la distribución actual del agua y la propuesta de un método de control de flujo.

Hofwegen en su obra *Principale Irrigation Management* publicada en 1992, dice que el mejoramiento o modernización de los sistemas de riego es una necesidad para lograr una confiabilidad más alta (Enríquez Quintero, Carlos Julio; Orozco González, Aderson; Urrutia Cobo, 2005).

(Villón, 2005) dice que de acuerdo con el trabajo desarrollado por Uginchus las pérdidas en un canal revestido pueden obtenerse multiplicando por un factor las pérdidas que se producen en el mismo canal no revestido. Para el caso de un revestimiento de hormigón de 7.5 cm obtuvo que el coeficiente fue de 0.13. Uginchus manifiesta que para el cálculo de las pérdidas por infiltración en un canal revestido se puede usar la fórmula experimental:

$$P = 1.000\ K\frac{y}{e}(b + y(1 + z^2)^{\ 0.5}$$

Dónde: P = pérdidas, en m³/s-km, K = permeabilidad de revestimiento de hormigón, en m/s, el mismo que varía de 10-5 cm/s a 10-7 cm/s, e = espesor del revestimiento, en m, b = ancho, de solera en m, y = tirante, en m y Z = talud.

(MA-PSI, 2004) desarrolló el Proyecto Subsectorial de Irrigación (PSI) del Ministerio de Agricultura, a través del Programa de Entrenamiento en Servicio (PES) y realizó una publicación con el objetivo general de mejorar la gestión de las Organizaciones de Usuarios para lograr una administración eficaz y eficiente del recurso hídrico, en los sistemas de riego y drenaje bajo su responsabilidad, en beneficio de los usuarios del agua de riego. Uno de los objetivos específicos

del programa, fue el de implementar en la organización, adecuados métodos y procedimientos técnico - administrativos para ordenar y mejorar la distribución del agua de riego, mediante los planes de cultivo y riego (PCR), los planes de distribución de agua (PDA), el mejoramiento del sistema hidrométrico y el establecimiento de planes de mantenimiento de la red de riego y drenaje, con la finalidad de que todos los usuarios reciban suficientes dotaciones de agua, tanto en cantidad, calidad y oportunidad, de acuerdo a las áreas sembradas y las demandas de los cultivos implantados.

Con este propósito el PSI a través del PES elaboró instructivos técnicos de uso sencillo y práctico, para el personal responsable de las actividades de riego de la organización, a fin de realizar la correcta determinación, medición y el control de las dotaciones de agua de riego a nivel de canales de conducción, distribución y predio. Dichos instructivos son los siguientes: Determinación de Eficiencias de Conducción y Distribución; Calibración de Estructuras Hidráulicas de Medición; términos de referencia para la elaboración de expedientes técnicos de mejoramiento, mantenimiento y conservación de obras hidráulicas.

(Mejía, Palacios, Exebio, & Santos Hernández, 2002) en su trabajo *Problemas Operativos En El Manejo Del Agua En Distritos De Riego* dicen que, en el caso de la red de conducción, el mal estado de la infraestructura propicia pérdidas por fugas, por infiltración en canales de tierra y un deficiente control del agua en los canales. En el trabajo se hace notar que, en la actualidad, una vez transferidos los distritos de riego a las organizaciones de usuarios, el Gobierno se ha desentendido, en gran parte, de propiciar un uso más eficiente del agua de riego en el ámbito parcelario, considerando que su responsabilidad, en cuanto al manejo del agua, termina en la entrega a los módulos en el punto de control. Aunque uno de los objetivos del Programa de Mejoramiento Parcelario (PRODEP) es mejorar la eficiencia en el uso del agua, se ha enfocado a realizar obras de infraestructura o nivelar tierras, pero no ha habido acciones encaminadas a

promover la entrega de agua por dotación volumétrica, incluyendo la capacitación en el uso de sistemas de aforo y la adquisición de equipo que permita la fácil medición del agua durante su entrega.

Finalmente concluyen que, las pérdidas de agua durante la conducción, en los módulos y distritos de riego, son considerables; aunque dichas pérdidas son significativamente menores en distritos de riego que no colindan con el mar, debido a que el agua perdida que escurre puede usarse aguas abajo en otro sistema de riego, o bien, recargar los acuíferos; en las regiones costeras, una gran parte de esta agua se pierde en el mar; que parte de estas pérdidas se debe a un manejo deficiente del agua en las redes de distribución, en lo cual influye la falta de una mayor capacitación del personal operativo; y que, es recomendable que se incremente la capacitación del personal de los módulos en aspectos específicos sobre el manejo del agua y que se establezcan sistemas de medición para mejorar el control del agua en las redes.

(de Fraiture, 1998) dice que en abril de 1995 el Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI, por sus siglas en inglés) recibió una donación del Banco Interamericano de Desarrollo para adelantar estudios en la región Andina sobre los impactos de la transferencia del manejo del riego de las agencias del gobierno a las Asociaciones de Usuarios, que fueron creadas específicamente para tomar la responsabilidad de la Operación y Mantenimiento de los sistemas de riego. El trabajo fue realizado en el Distrito de Samacá en Colombia, transferido a los usuarios en octubre del 92, lo cual permitió estudiarlo antes y después de su traspaso.

Este trabajo muestra las bondades de la transferencia de los sistemas a las asociaciones, pero también deja en claro que ésta no necesariamente tiene un impacto sobre todos los aspectos de la agricultura bajo riego. El estudio plantea que existen otros factores externos al proceso de transferencia que quizás tienen mayor influencia en el desempeño del sistema evaluado y en parte se explica porque la transferencia es todavía un proceso que no ha alcanzado a madurar, o porque

no se han adoptado los cambios que se pretendían o finalmente porque los usuarios y/o la asociación continua más o menos con el mismo patrón de comportamiento, en cuanto a la operación y el mantenimiento del sistema se refiere, que existía antes de efectuarse el traspaso.

(Vázquez, González, Esqueda, Gaytán, & Viramontes, 1998) en la Evaluación Social del Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Conducción Secundario del Distrito de Riego 001 Pabellón, Aguascalientes, que se compone de un canal principal de 46.5 kilómetros de longitud y de 84.7 kilómetros correspondientes a la red de canales laterales y sublaterales, de los cuales únicamente 21 kilómetros del canal principal y aproximadamente 37 de los laterales y sublaterales están revestidos, determinó que la eficiencia de conducción en el canal principal es de 85.7% y en el sistema secundario (canales laterales y sublaterales) del 61.26%, lo cual significa que el sistema de conducción presentaba una eficiencia del 52.5% y que por lo tanto, se pierde un 47.5% del volumen de agua a lo largo de toda la red.

(Palacios vélez, 1991) aplica su modelo en el distrito de riego del Río Mayo en Sonora México y establece que la eficiencia de conducción es del 63.5%, las pérdidas por manejo valen aproximadamente 5 m^3/s. Expresadas en porcentajes, las pérdidas intrínsecas representan el 57% y las de manejo el 43% de las totales, que para el caso son de 11.7 m^3/s.

(Palacios, 1989) dice que un primer uso del modelo matemático propuesto por él puede ser en la evaluación de distritos y unidades de riego, tomando en cuenta las eficiencias operacionales e intrínsecas dada su importancia relativa, debido a que estas indicarán las principales fuentes de pérdidas de agua de conducción.

A nivel local (Prieto, 1986) en su proyecto de grado evaluó las eficiencias de los canales del distrito de riego El Juncal y señala que las mediciones se realizaron con diferentes caudales determinando una eficiencia promedio del 95%.

4 Fundamentos teóricos

4.1 Marco teórico

4.1.1 Distritos de adecuación de tierras

En Colombia los Distritos de Adecuación de Tierras son definidos como la delimitación del área de influencia de obras de infraestructura destinadas a dotar un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones, cuyo propósito es el desarrollo del sector agropecuario. Han sido construidos desde sus inicios como programas de los gobiernos encaminados a implementar proyectos de reforma agraria para solucionar problemas sociales y de tenencia de tierras en las regiones.

4.1.2 Operación de distritos de riego

(Pedroza González & Hinojosa Cuéllar, 2013) dice que tradicionalmente, se ha denominado operación de distritos de riego o simplemente operación, al conjunto de actividades y aspectos realizados directamente en la infraestructura hidráulica con objeto de planear, programar, distribuir y entregar el agua de riego a los productores en forma eficiente y oportuna. Estas condiciones de eficiencia y oportunidad son fundamentales en la tarea de operación.

La operación de distritos de riego se realiza teniendo en cuenta su estructura de funcionamiento, la cual a su vez está diseñada en subdivisiones operacionales que van desde el canal, hasta formar secciones, zonas, unidades y el distrito. Esta actividad en conjunto con la administración y la conservación, constituyen las labores fundamentales para el funcionamiento de los distritos de riego; sin embargo, es válido señalar que, de las tres la de operación es la más esencial considerando que mediante esta, se generan los recursos económicos para que pueda cumplir con su objeto social de la prestación del servicio de riego como un servicio público.

La distribución de agua para riego

Los programas de distribución del agua de riego se elaboran de manera diaria y semanal, dependiendo del nivel operativo y del tamaño de las zonas de riego; se determina el orden, el caudal y la duración del riego de cada parcela, cada canal lateral, canal sublateral y canal principal. Para realizar estos programas se debe conocer la posición de las parcelas en relación con la toma de alimentación, los kilometrajes de las tomas a lo largo de los canales y las capacidades de conducción de los canales. En relación con el manejo del riego se requiere medir la superficie, el caudal, las láminas y el avance de riego. La prioridad del riego se determina en función de la etapa de desarrollo de los cultivos y de su sensibilidad al estrés hídrico.

En función de la disponibilidad del agua y del diseño hidráulico de los canales, se pueden tener cinco tipos de métodos de distribución: a) Demanda continua. b) Demanda libre. c) Demanda programada d) Rotación o tandeo e) A la demanda.

a) La distribución por demanda continua se efectúa en fincas muy grandes o para uso industrial o público urbano y doméstico del agua, y consiste en entregar un gasto más o menos fijo en forma continua durante todo el ciclo de operación o durante gran parte de éste.

b) La demanda libre solamente se puede establecer en zonas donde hay agua en abundancia, donde la oferta de agua supera la demanda, con capacidad sobrada de canales y la demanda de riego no es muy grande. En este método, el usuario simplemente abre su toma y deriva el agua que necesite en el momento que lo desee. Normalmente, se usa en zonas cañeras con abundancia de agua y con suficiente capacidad de conducción de canales de riego y de drenaje; o bien, en derivaciones de ríos en épocas en que la oferta de agua supera las demandas.

c) La demanda programada consiste en programar la extracción de agua de la fuente de abastecimiento, de acuerdo con los pedidos de los usuarios en un periodo determinado,

normalmente una semana, o bien, varias veces por semana. Por lo tanto, la extracción, y en consecuencia el gasto conducido por la red de distribución tiene que ajustarse en cada periodo. Este método se aplica prácticamente en los todos los distritos de riego del país.

d) La rotación o tandeo. El agua se entrega al usuario con cierta periodicidad y de acuerdo con un orden de riegos que se elabora para toda el área a regar. En este caso, los usuarios tienen que ajustarse a dar el riego en las fechas que el distrito lo programe, o conforme los acuerdos o usos y costumbres de los usuarios. Este método se aplica en áreas de riego con monocultivo o bien, cuando es necesario organizar a los usuarios que rieguen con una toma granja comunitaria o cuando por situaciones de escasez se requiera imponer un control más eficaz.

e) El riego a la demanda consiste en proporcionar el servicio de riego al usuario mediante tuberías permanentemente presurizadas y automatizadas, conforme al requerimiento inmediato del productor, sin mediar solicitud previa. Para esto, cada parcela dispone de una toma con medidor volumétrico, con un sistema de contabilidad de agua individualizado, donde el usuario obtiene agua para riego con una presión suficiente para regar por aspersión la parte más alta de su lote.

En el esquema de la **Figura 4** se indica el proceso de la programación del riego que se inicia con la solicitud de riego de los usuarios o con el pronóstico de riego que hace el distrito, el cual se dirige primeramente a los canaleros, luego estos a los jefes de zona y estos a su vez a los jefes de operación que representan al distrito. El proceso inverso comienza cuando el distrito o el responsable de la operación de la obra de abastecimiento, dispone en la obra de toma el caudal solicitado durante el periodo de programación, hasta llegar a las parcelas de los usuarios de riego.

La comunicación horizontal entre usuarios de riego, canaleros, jefes de zona y la jefatura de operación, etc., corresponde al ajuste de caudales que se dan durante el período de programación

del riego, el cual generalmente es de una semana a tres días o menor en el caso de las pequeñas unidades de riego.

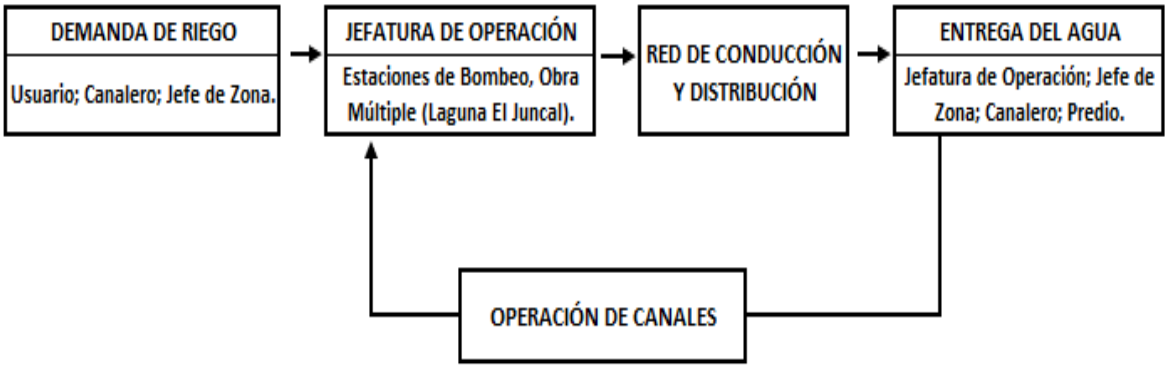


Figura 4. **Proceso de la programación del riego y entrega del agua**
Fuente: el autor

En este esquema se observa que, en el proceso de solicitud y entrega del agua se desarrollan tres vínculos cerrados de retroalimentación, cuya base se establece a partir de la medida sistemática del volumen de agua entregado en cada nivel operativo. De estos, el primer vínculo que conforman los usuarios de riego y los canaleros es el de mayor dinámica en cuanto a frecuencia y extensión de la medición y supervisión de los volúmenes entregados a las parcelas. En este proceso la comunicación entre usuarios se establece para el paso del riego de una parcela a otra contigua, regadas por el mismo canal servidor. En segundo vínculo de retroalimentación establecido entre la jefatura de zona y los jefes de sección, se reduce el número de puntos y la frecuencia de medición, ya que estos son los canales laterales y las tomas directas; la comunicación al interior de las secciones se da para verificar si es posible realizar algún ajuste en los riegos durante el periodo de programación, o se deberá solicitar un aumento del caudal asignado a las jefaturas de zona. En el tercer vínculo definido por las jefaturas de zona y el distrito de riego se reduce aún más el número de puntos y la frecuencia de medición debido a que la dinámica de los canales principales es más lenta que la de los canales laterales y de la red interna de las parcelas.

La entrega de agua a las zonas de riego se realiza en canales principales, a las secciones en los laterales y en tomas directas de diferentes tipos y capacidades. En la mayoría de los casos sobre los canales laterales existe carga disponible para instalar una estructura de medición aguas bajo de la estructura de control del caudal sin afectar el funcionamiento hidráulico de las estructuras vecinas. En estos puntos los vertedores de garganta ancha son estructuras apropiadas para la medición, mientras que en las tomas directas del tipo compuertas, de carga constante y deslizantes se afora mediante la calibración de las estructuras.

El procedimiento para el control hidrométrico tiene como objetivo medir, controlar y suministrar con oportunidad y suficiencia los volúmenes solicitados por los usuarios del agua en los puntos de entrega establecidos para cada subdivisión operacional de riego. En realidad, la medición del agua, en el caso de los distritos de riego se realiza para controlar la distribución y para evaluar el proceso del servicio de riego.

4.1.2.1 Regulación de canales

En la operación de distritos de riego, la regulación de canales juega un papel preponderante, ya que consiste en adaptar el transporte y la distribución a las variaciones espaciales y temporales de las necesidades de riego de los cultivos sin exceso y sin falta de agua. De esta manera la regulación está íntimamente relacionada con el método o forma de distribución y con el método de riego en la parcela.

Una primera etapa en la regulación de canales de riego es la caracterización hidráulica de la red de conducción y distribución, mediante la estimación de los tiempos de respuesta, los cuales dependen del caudal, del estado hidráulico y de la abertura de las compuertas. Así en los tramos de los canales principales el tiempo de respuesta puede variar de algunos minutos a algunas horas, situación que provoca una gran variabilidad en las constantes de tiempo y retardos. Esta situación

requiere de mediciones del caudal, los niveles y las aberturas de compuertas en cada tramo de canal y de un conocimiento preciso del comportamiento dinámico de los canales. En condiciones reales de operación de los canales existe una gama importante de puntos de funcionamiento hidráulico que definen diferentes configuraciones físicas. Entre éstas, se pueden señalar dos situaciones típicas entre los cuales se identifican los puntos intermedios.

La primera situación y la más frecuente ocurre cuando todas las estructuras de regulación están en funcionamiento, en tal caso el canal queda dividido en tramos. Esta condición se presenta al inicio del ciclo agrícola cuando la demanda evapotranspirativa de los cultivos es baja y los canales se manejan con caudales pequeños en relación con su capacidad de diseño; en tal caso es necesario operara las compuertas para crear remansos y alimentar las tomas laterales. La segunda configuración, muy poco probable, se presenta cuando las compuertas intermedias entre la entrada aguas arriba de los canales y el extremo final se encuentran totalmente abiertas, lo cual equivaldría a tener un canal de un solo tramo. Si bien resulta muy poco probable que todas las compuertas de un canal estén totalmente abiertas, ya que eso supondría que el canal se está operando a su máxima capacidad en toda su longitud; si es muy frecuente encontrar durante la época de máxima demanda de riego varias compuertas que se mantienen abiertas en su totalidad y en consecuencia los tramos de canal pasan a ser de mayor longitud. En ambas situaciones, el funcionamiento hidráulico relacionado con el tiempo de respuesta, el volumen de almacenamiento y la capacidad de regulación de los tramos de canal presentan grandes variaciones.

4.1.2.2 Curvas de caudales para el control del agua

El objetivo de aforar una corriente, durante varias épocas en el año en una sección determinada, es determinar lo que se conoce como curva de calibración de la sección. Esta permite transformar niveles de agua, leídos con una mira, en caudales. Las curvas se construyen a partir de

los aforos hechos durante un período largo de tiempo, de tal manera que se tengan niveles bajos y altos del río. Las curvas de calibración pueden cambiar por efectos erosivos, azolves, efectos de curvas de remanso o debido a flujo no permanente. Los encargados de las estaciones de aforo deben estar calculando permanentemente estas curvas para detectar posibles errores.

La representación gráfica de los puntos de ordenadas de los caudales y los niveles correspondientes del agua es de tipo potencial como lo muestra la ecuación (1), por lo que es necesario linealizar dicha función con el fin de poder encontrar sus parámetros de ajuste.

$$\boldsymbol{Q = cd^{m}} \quad \textbf{(}1\textbf{)}$$

En donde: d, es la lectura de escala y m y c, son los parámetros de la función. Se puede usar algún procedimiento de cálculo gráfico para obtener los parámetros de la ecuación o bien usar el método de los mínimos cuadrados para calcular la regresión.

4.1.3 Eficiencia de conducción y distribución del agua

(Pedroza González & Hinojosa Cuéllar, 2013) plantean que el manejo y distribución del agua en los distritos de riego tiene tres grandes componentes:

- Un objetivo.
- Actividades para lograr tal objetivo.
- Infraestructura sobre la que se realizan las actividades.

En la operación de las áreas de riego interviene un número importante de personas, cuya cantidad depende de la magnitud, número de usuarios y complejidad de la zona de riego. Un aspecto fundamental para operar la infraestructura hidroagrícola es que la operación debe ser acorde con el calendario de las actividades agropecuarias, propio para cada región.

El control y evaluación de la operación es la última fase de la administración de los distritos de riego. Consiste en verificar las posibles desviaciones de la distribución del agua con el plan de

riegos original y proponer las medidas que permitan elaborar un mejor plan para el año agrícola siguiente. Respecto a las unidades de riego, la operación se lleva a cabo de manera similar y de forma empírica; sin embargo, es muy frecuente que: no exista un plan de riegos; la programación del riego y distribución de agua sea más o menos aleatoria; y la información técnica rara vez se encuentre disponible, lo cual dificulta su evaluación y proponer las medidas de mejora en su operación y organización (Pedroza González & Hinojosa Cuéllar, 2013).

Para conocer la eficiencia diaria de un canal o red de canales de un distrito de riego, es necesario realizar gran cantidad de aforos, por lo tanto, se puede afirmar que la operación eficiente de los canales de riego está basada en una hidrometría organizada que ofrezca control del agua y genere información confiable. Estos métodos de aforo deben ser rápidos, económicos y precisos.

La distribución del agua de riego contempla dos actividades; la primera, relacionada con la programación y la segunda, con la distribución y entrega al usuario de acuerdo con dicha programación, es decir, que ambas están íntimamente ligadas. La elaboración de un programa de riego requiere conocer la eficiencia de los canales, de las secciones y zonas de riego, lo cual se logra durante el manejo de la red para la prestación del servicio de agua para riego. Como la programación requiere conocer la eficiencia del canal o del sistema de distribución, una herramienta valiosa en esta programación se tiene en una gráfica que muestra los cambios de la eficiencia con el tiempo, lo cual ayuda a pronosticar la eficiencia en el futuro inmediato.

Es común dividir la eficiencia de los canales en dos partes: la eficiencia de conducción y la eficiencia de distribución. La primera se refiere a la red mayor, es decir, al canal principal y laterales; y la segunda se aplica a la red menor, o sea a la red de canales menores o ramales. Sin embargo, en la práctica es difícil encontrar valores de eficiencias de conducción y distribución separados como aquí se menciona, y lo más común es encontrar cálculos de la eficiencia del canal principal.

Para calcular dicha eficiencia se puede usar la sencilla fórmula (Palacios, 1981):

$$E = \frac{\sum qi}{Q} \quad (2)$$

Dónde: E, es la eficiencia; qi es el caudal en cada salida del canal (m^3/s); Q, es el caudal en la entrada del canal (m^3/s).

(Palacios & García, 1989) en su obra *Introducción A La Teoría De La Operación De Distritos Y Sistemas De Riego* plantean que el mejoramiento en el manejo del agua en el sistema de distribución, implica mejorar la oportunidad en la entrega del agua al usuario, lo cual, desde luego, no siempre depende por completo del personal del distrito, sino también de que el usuario haga su solicitud oportuna; además, también implica mejorar la eficiencia de conducción, lo que si depende, casi en exclusiva, del distrito de riego. Esta obra dice que la ingeniería de recursos hidráulicos es considerada por varios autores como un arte, que engloba varias disciplinas como son la Ingeniería de Sistemas, hidrología, estadística, economía y otras ciencias sociales.

La eficiencia, con base en el modelo lineal propuesto por Palacios & García, se establece realizando las siguientes consideraciones:

$$Q_e = bQ_S + a \quad (3)$$

Dónde: Q_e, es el caudal extraído (m^3/s); Q_s, es el caudal servido (m^3/s); *a* y *b*, son parámetros de la función, ***a*** representa las pérdidas intrínsecas del agua y ***b*** es la pendiente de la recta, cuyo valor medio durante el ciclo de operación, es mayor que la unidad.

Si se dividen todos los términos de la ecuación (3) por Q_e, se tiene:

$$\frac{Q_e}{Q_e} = b\frac{Q_s}{Q_e} + \frac{a}{Q_e} \quad (4)$$

La eficiencia queda definida como:

$$E = \frac{Qs}{Qe} \quad (5)$$

Donde: E, es eficiencia en (%).

Remplazando la ecuación (5) en la ecuación (4) se tiene:

$$1 = bE + \frac{a}{Q_e} \quad (6)$$

$$E = \frac{1}{b}\left(1 - \frac{a}{Qe}\right) \quad (7)$$

En la ecuación (7), el lado derecho es un producto en donde 1/b es el primer término y representa la eficiencia operacional, $\left(1 - \frac{a}{Qe}\right)$ es el segundo y significa la eficiencia intrínseca; es decir:

$$E_o = \frac{1}{b} \quad (8)$$

$$E_i = 1 - \frac{a}{Qe} \quad (9)$$

Por lo tanto, la eficiencia de conducción total se plantea como:

$$E_c = E_o * E_i \quad (10)$$

Dónde:E_c: Eficiencia de conducción, en %; E_o: Eficiencia operacional, en %; y E_i: Eficiencia intrínseca, en %.

4.1.4 Relación entre los caudales extraídos y servidos

La relación entre los caudales extraídos y los servidos está definida por la función lineal de la ecuación (2); teniendo en cuenta que ***b*** es la pendiente de la recta, cuyo valor medio durante el ciclo de operación es mayor que la unidad; entonces, este también puede representarse como:

$$b = 1 + k \quad (11)$$

Donde ***k*** es una fracción. Por lo tanto, sustituyendo (11) en la ecuación (2) se tiene:

$$Q_e = Q_S(1 + k) + a \qquad (12)$$

$$Q_e = Q_S + (kQs + a) \quad (13)$$

Los componentes entre paréntesis de la ecuación (13) representan las pérdidas totales de agua en el sistema. kQs pertenece a una parte del caudal servido; y ***a***, corresponde a las pérdidas intrínsecas o naturales, que son más o menos constantes.

Según Palacios (1989) estadísticamente el significado del coeficiente de regresión en términos de la variabilidad de las observaciones es:

$$b = \frac{\sigma e}{\sigma s}\ R' \quad (14)$$

Donde, b, representa el coeficiente de regresión del modelo, σe, es la desviación estándar de las extracciones; σs, es la desviación estándar de los caudales servidos y R', representa el coeficiente de correlación entre Q_e y Q_S.

En consecuencia, el recíproco de la ecuación (14) es la eficiencia operacional, luego:

$$\frac{1}{b} = \frac{\sigma s}{\sigma e\ R'} \quad (15)$$

Considerando los estimadores de una muestra se tiene:

$$Eo = \frac{\sigma s}{\sigma e\ R} \quad (16)$$

Donde s es en general el estimador de σ, por lo tanto:

$$s = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{(Q1 - \bar{Q}2)^2}{n-1}\right)^{0,5} \quad (17)$$

En donde: n, es el tamaño de la muestra; R, el estimador del coeficiente de regresión R'

De acuerdo con lo anterior la eficiencia operacional es básicamente una relación entre las variaciones que tienen los caudales servidos y las de los caudales extraídos, con respecto a sus medias. Si la programación de riego fuera perfecta y los volúmenes de agua almacenados en los vasos de los canales de riego se aprovecharan totalmente, la desviación estándar de los caudales extraídos debería ser igual a la de los caudales servidos; adicionalmente, como los cambios de las extracciones deberían obedecer exclusivamente a los cambios en la demanda de riego, ósea, a los caudales por servirse, R debería ser igual a la unidad, por consiguiente, la eficiencia de operación sería la unidad.

Pérdidas de agua en la operación de distritos de riego

Según Luján (1992) citado por Gonzales (2013), las pérdidas por operación se deben, principalmente a: a) desequilibrio entre el agua proveniente de la captación y la solicitada; b) capacidad de almacenamiento de las propias conducciones; c) sobreoferta de agua al sistema por deficiencias en el control y medición, y por reducciones en la demanda de difícil previsión (lluvias, descenso de los valores de evapotranspiración, etc.), y d) lentitud de la respuesta del sistema ante cambios en la demanda.

Palacios (1996) separa las pérdidas en intrínsecas y operacionales. Las primeras se refieren a las pérdidas por evaporación, infiltración y fugas, es decir, aquellas que se deben a las condiciones climáticas, textura de suelos, longitud y estado de conservación de la red de canales, que son relativamente constantes para cada distrito de riego; las segundas se generan por causas relacionadas, fundamentalmente, con el manejo del agua y que por lo general son función del caudal manejado, experiencia del personal y supervisión realizada.

Las pérdidas en conducción pueden subdividirse de acuerdo con su origen en: a) por infiltración; b) por evaporación; c) por manejo del agua en la red de distribución; y d) por errores en el manejo del sistema.

a) Las pérdidas por infiltración se producen principalmente en los cauces naturales de las corrientes y en los canales no revestidos; sin embargo, en algunos casos de revestimientos agrietados o con mampostería en mal estado, también pueden ser de mucha importancia. El monto de estas pérdidas es variable, destacando el caso de los canales no revestidos, construidos en suelos permeables, donde pueden ser de mucha consideración.

b) Las debidas a la evaporación son relativamente menores que las de infiltración; sin embargo, en muchos distritos de riego el área expuesta a la evaporación en los cauces naturales o canales con diques puede ser grande y en consecuencia las respectivas pérdidas por evaporación de importancia.

c) Las fugas por las estructuras, en la actualidad son muy importantes en la mayoría de los distritos de riego debido al mal estado en que se encuentran. En efecto, en muchas compuertas radiales sobre desfogues de canales principales y de laterales cerrados que no se utilizan en un momento dado, el agua que se fuga por el mal estado de los sellos o por las perforaciones que se han producido debido a la corrosión del fierro por falta de conservación, puede representar un porcentaje considerable del agua conducida.

d) Las pérdidas por manejo se producen durante la distribución del agua, por causas atribuibles a errores de manejo del sistema. Estas fallas son atribuibles especialmente a la introducción de datos errados, o que no corresponden a información perteneciente a la subdivisión operacional.

Como en la mayoría de los distritos de riego el agua se distribuye de acuerdo con la demanda, es necesario hacer un programa para solicitar el agua de las fuentes de abastecimiento; en estos programas se consideran factores de pérdida que varían según el estado de la red de distribución, sin embargo, lo más común es que se consideren constantes y mayores que los reales, lo que propicia desperdicios, ya que se solicitan volúmenes mayores que los necesarios. Otros factores que inciden en estas pérdidas son el aprovechamiento deficiente de los volúmenes almacenados en los vasos de los canales de riego, las variaciones en carga sobre las compuertas que también propician desperdicios de agua en la red.

También se debe señalar que las pérdidas de agua por manejo, se debe a que en ocasiones se entregan a los usuarios en forma ilegal volúmenes no contabilizados; estos desperdicios afectan fundamentalmente la eficiencia de aprovechamiento del agua de riego y por supuesto los ingresos económicos al dejar de facturarse estos volúmenes de agua.

4.2 Marco legal

La prestación del servicio de riego en los distritos de adecuación de tierras en Colombia está contemplada en la Ley 41 de Adecuación de Tierras del año 1993, que en su Artículo 4o. *Distrito De Adecuación De Tierras*, del Capítulo I. *Disposiciones Generales*, conceptúa: La delimitación del área de influencia de obras de infraestructura destinadas a dotar un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones; para los fines de gestión y manejo, se organizará en unidades de explotación agropecuaria bajo el nombre de Distritos de Adecuación de Tierras (Rueda, Vega, García, & Tafur, 1993).

La misma ley, en el Capítulo VI. DE LAS ASOCIACIONES DE USUARIOS, en su Artículo 20, establece que: los usuarios de un Distrito de Adecuación de Tierras estarán organizados, para

efectos de la representación, manejo y administración del Distrito, bajo la denominación de asociación de usuarios.

Con respecto al manejo del recurso hídrico, dicha legislación a través de la Ley 373 de junio 6 de 1997, en su Artículo 1º. Crea el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, que dice: Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico (Capurro, Vega, Mazzilli, & Tafur, 1997).

La ley anterior, en el Artículo 2º. *Contenido Del Programa De Uso Eficiente Y Ahorro Del Agua,* **s**eñala que: El programa de uso eficiente y ahorro de agua, será quinquenal y deberá estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas, las campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas, los incentivos y otros aspectos que definan las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, las entidades prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, las que manejen proyectos de riego y drenaje, las hidroeléctricas y demás usuarios del recurso, que se consideren convenientes para el cumplimiento del programa.

También señala esta ley en su Artículo 4o. REDUCCION DE PERDIDAS, que: Dentro del Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico fijará metas anuales, para reducir las pérdidas en cada sistema de acueducto. Las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales competentes fijarán las metas del uso eficiente y ahorro del agua para los demás usuarios en su área de jurisdicción.

Con el propósito de dar cumplimiento a esta legislación y regular su implementación, el gobierno colombiano ha expedido algunos decretos reglamentarios como el 1076 del 26 de mayo de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible; Decreto 1090 del 28 de junio de 2018, que reglamenta el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua; y la Resolución 1257de 2018, en donde entre muchos otros aspectos se establece el contenido mínimo del PUEAA Simplificado, el que es importante en este caso porque es la base para determinar las pérdidas de agua en el sistema.

Además de la normatividad anterior, es importante anotar que, a partir de la Constitución Política de Colombia de 1991, se expidieron leyes como la 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA. Posteriormente en el año 2010, se formula la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – PNGIRH, encargada de establecer los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años ; y en 2011, se expide la Ley 1450, la cual en su Artículo 215, establece la competencia de las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, de los grandes centros urbanos y de los establecimientos públicos ambientales en gestión integral del recurso hídrico, lo cual implica que en su área de jurisdicción estas tienen entre otros aspectos, la obligación de a hacer requerimiento y seguimiento a los Planes de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, como lo reza el literal h) y la Formulación y ejecución de los proyectos de cultura del agua contemplada en el literal g) de dicho Artículo.

5 Metodología

5.1 Localización geográfica y generalidades de la zona de estudio

El Distrito de Riego el Juncal se encuentra ubicado en las coordenadas N 2º51’54” y E 75º19’30”, en el municipio de Palermo, Departamento del Huila. El área del Distrito se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Magdalena, en el Municipio de Palermo, a diez (10) Kilómetros al sur de la ciudad de Neiva, capital del Departamento del Huila. Los límites del Distrito son: por el oriente con el Río Magdalena, por el occidente y sur con las estribaciones del Cerro del Indio Estacado y por el norte con la quebrada Gallinazo.

El distrito está dividido en dos zonas o etapas; la primera etapa es de bombeo y denominada Estación Principal de Bombeo, la cual abastece todo el distrito y riega por gravedad toda el área ubicada por debajo de la cota 475 msnm; y la segunda etapa, o Segunda Estación de Bombeo, la cual beneficia las tierras que se hallan por encima de dicha cota, entre las cuales se encuentran las del canal Sardinata (ver **Figura 5**).

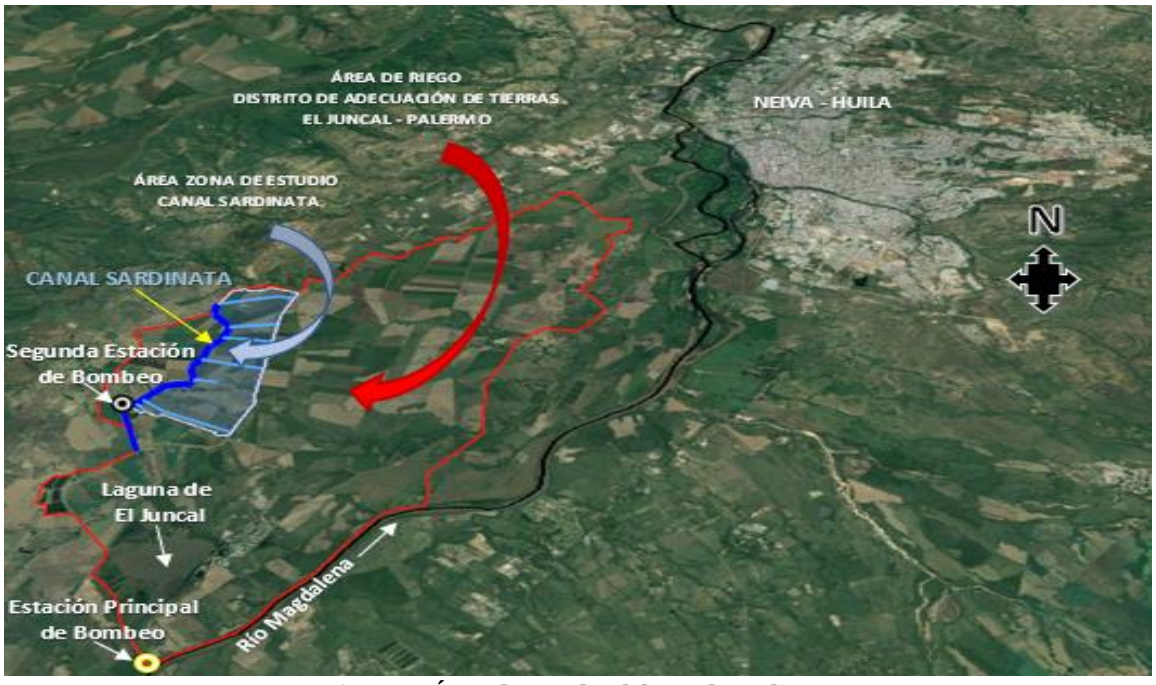


***Figura 5*. Área de estudio del canal Sardinata**
Fuente: el autor

Del distrito de riego sólo se trabajó en el sistema del canal Sardinata, el cual abastece de agua a 56 predios pertenecientes a 44 usuarios y beneficia cerca de 357,48 has, por medio de un sistema de rebombeo eléctrico de cuatro unidades, con capacidad para suministrar 1,2 m^3/s, condición que hace más costosa su operación. La Figura 4, señala el recorrido de este canal y el de los canales del sistema de distribución del agua de la zona en donde se realizaron los trabajos del proyecto.

El canal Sardinata está totalmente revestido, aunque en algunos sectores de su recorrido se presentan placas en mal estado. Operacionalmente, a pesar de la programación que se realiza para la prestación del servicio de riego el agua es insuficiente para atender las demandas, lo cual genera problemas en la distribución y entrega a los predios, situación que con lleva a conflicto con los usuarios de la zona, motivo por el cual fue necesario adelantar un estudio de este canal, para poder establecer las causas que realmente están ocasionando dichas dificultades.

Por lo anterior, el control de las pérdidas en los sistemas de riego se vuelve fundamental. Estas pérdidas de agua en un sistema de red de canales obedecen fundamentalmente a dos condiciones; la primera, es debida a su naturaleza o construcción, conocidas como pérdidas intrínsecas; y la segunda, a la forma de operar dichos canales, determinadas como pérdidas operacionales o de manejo, en donde cobra mayor importancia el conocimiento de los factores de pérdidas de los canales, a partir de los cuales se realiza la cuantificación de los caudales requeridos para atender las demandas solicitadas.

5.1.1 Vías de acceso

El distrito de riego el Juncal está atravesado de norte a sur por una carretera pavimentada que une la represa de Betania con la carretera pavimentada que va de Palermo a Neiva. Dentro del área el distrito cuenta con una amplia red de carreteables paralela a los canales de riego que permite el desplazamiento a cualquier sector.

5.1.2 Temperatura

Según la clasificación ecológica de L. Holdridge se define el área dentro de la zona de vida Bosque Seco Tropical (IGAC, 1977), con una temperatura promedio anual de 27,7°C; una temperatura media mínima de 23,8°C y la media máxima 30,8°C, de acuerdo con la estación Aeropuerto Benito Salas de Neiva, del IDEAM, ubicada cerca al distrito de riego El Juncal (ver **Anexo 1**. Información meteorológica IDEAM).

5.1.3 Precipitación

La precipitación anual promedio es de 1.144,7 mm, con un promedio mensual de 95,4 mm, siendo la más baja en agosto, con un promedio de 7,7 mm. La mayor precipitación cae en noviembre con un promedio de 238,1 mm. Estas precipitaciones se caracterizan por un comportamiento bimodal, es decir, que presenta dos períodos húmedos con un total de 879,3 mm, de los cuales el primero con 367,9 mm, abarca los meses de marzo a mayo y el segundo, los meses de octubre a diciembre con 511,4 mm; los periodos secos, comprenden 168,4 mm el primero, en los meses de enero y febrero y 97,0 mm el segundo, durante los meses de junio a septiembre.

La precipitación se caracteriza por presentar en el periodo lluvioso fuertes lluvias que representan el 76,8 % del promedio total anual, de las cuales el 32,1% corresponden al primer periodo y 44,7% pertenecen al segundo periodo; el periodo seco representa el 23,2% de la lluvia caída, de la cual el 14,7% es del primer periodo y el 8,5% del segundo periodo. De acuerdo con estos valores se observa que el segundo periodo de lluvias es más copioso que el primero y que, el periodo seco, es más fuerte en el segundo periodo que en el primero, (ver **Anexo 2**. Información Pluviométrica D.R. EL JUNCAL 1, 2020).

5.1.4 Otras variables meteorológicas

El promedio anual de la humedad relativa a las trece horas es de 67%, los meses de invierno tienen los máximos valores con el 92,0 % y los de verano el mínimo con 47,0%. Se han observado fuertes corrientes de aire de sur a norte principalmente durante los meses de julio y agosto. La evaporación promedio anual es de 2.040,8 mm con valores máximos de 276,0 mm en julio, para una evaporación diaria hasta de 8,9 mm, de acuerdo con información registrada por el IDEAM, ver ANEXOS (**Anexo 1.** Información meteorológica IDEAM).

5.2 Enfoque metodológico del proyecto

La metodología implementada en la ejecución del proyecto consistió en la ejecución de trabajos y actividades en campo y labores de oficina, lo cual permitió cumplir con los objetivos específicos y general del proyecto.

La implementación del proyecto se llevó a cabo en dos fases, en la primera se desarrollaron los trabajos y las labores de campo para la creación del sistema de información hidrométrica y establecer el estado de su infraestructura; en la segunda fase, se realizó la toma de información generada por la red de hidrometría, la cual simultáneamente fue procesada para hacer la evaluación del manejo del agua mediante la obtención de las eficiencias y sus respectivas pérdidas de agua, a partir del modelo matemático propuesto. A continuación, se definirán en detalle cada una de esas fases.

5.2.1 Determinación plan de aforos

5.2.1.1 Selección puntos de control

Los puntos de control (PC) se ubicaron en cada estructura hidráulica localizada en la cabecera de los canales (**ver Figura 6**), que corresponden a compuertas planas deslizantes de 40, 50 y 55

cm de ancho, como se muestra en la **Tabla 1.** El punto de control N°1, corresponde a la sección transversal del canal Sardinata localizado aproximadamente 30 m después de la descarga del bombeo al canal.

Tabla 1. **Ubicación puntos de control del agua**

	TIPO DE ESTRUCTURA	ANCHO DE LA COMPUERTA
PUNTO DE CONTROL (PC)	1. Sección transversal cabecera canal Sardinata	N. A
	2. Compuerta lateral canal 2-1c	40
	3. Compuerta lateral canal 2-2c	40
	4. Compuerta lateral canal 2-3c	55
	5. Compuerta lateral canal 2-4c	40
	6. Compuerta lateral canal 2-5c	50
	7. Compuerta lateral canal 2-6c	40
	8. Compuerta lateral canal 2-7c	55

Figura 6. **Localización puntos de control canales laterales canal Sardinata**
Fuente: el autor

Este control y su ubicación, obedeció a que el modelo matemático se basa en la relación que existe entre los caudales extraídos, es decir, los que son solicitados a partir del canal servidor de los canales que atienden las demandas de los usuarios y los que efectivamente se sirven; por lo tanto, se estableció un punto de control de extracción de caudales en la cabecera del canal principal Sardinata y puntos de control de caudales servidos al inicio de cada canal lateral, como se observa en algunos de estos en las siguientes imágenes.

Figura 7. **Puntos de control canal laterales**
Fuente: el autor

Con el propósito de iniciar los trabajos de campo del proyecto, el viernes 15 de noviembre de 2019 se llevó a cabo la reunión que previamente había sido acordada con el jefe de operación del distrito, en las instalaciones de la sede administrativa del distrito de riego El Juncal, con el fin de tratar el tema de los aforos que se realizaron para la implementación del sistema de información hidrométrico del área de trabajo.

En esta reunión se planteó como primera medida, la necesidad de tener información cartográfica de la zona de estudio, la cual contemplara la localización de las estructuras hidráulicas con que cuenta el canal Sardinata y el sistema de canales servidos por este, información que fue suministrada en forma digital.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de esta información, se llevó a cabo otra reunión el lunes 18 de noviembre de 2019, en la cual participó el equipo de trabajo a cargo de la realización de los aforos, conformado por estudiantes del programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana, sede Neiva, que estaban terminando su plan de estudios, pero, además, eran conocedores de los procedimientos y labores en la realización de este tipo de aforos.

Para la realización de los aforos en los sitios escogidos como puntos de control del agua para la implementación del sistema hidrométrico, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

1. A la entrada de cada canal lateral del sistema, se debía disponer de información hidrométrica a fin de poder establecer el caudal que fue suministrado, para después relacionarlo con el caudal servido al área que beneficia dicho canal.
2. Como algunos predios se sirven directamente del canal principal Sardinata a través de sus Tomagranjas, era necesario conocer los caudales que se les suministraran a dichos predios, con el fin de contabilizarlos como caudales servidos antes de los puntos de control de cada canal lateral, toda vez que si no se tenían en cuenta estas extracciones los resultados de las eficiencias se establecerían erróneamente.
3. Los aforos debían ser realizados entre semana durante la prestación del servicio de riego a los usuarios, aprovechando que el bombeo estuviera funcionando para poder variar los caudales y de esta manera, los tirantes de agua en el canal Sardinata con sus respectivos

aforos, lo cual permitía obtener la información necesaria para construir la curva de gasto de dicho canal.

5.2.1.2 Información preliminar de la operación

Se obtuvo información por parte de la jefatura de operación del distrito, de la manera como se realiza la prestación del servicio de riego en la zona de estudio; los canales laterales, sus características hidráulicas y las obras de control y medición con que cuentan; la cartografía existente, relacionada con la ubicación de canales y estructuras hidráulicas que pertenecen al área de estudio, la cual fue levantada hace más de 15 años y no está georreferenciada; los predios con sus áreas y beneficiarios que sirven cada uno de los canales del área de estudio. La **Tabla 2** muestra información actualizada que caracteriza cada uno de los canales que hacen parte del área de estudio y sobre los cuales se realizará control del agua.

Tabla 2. **Características de los canales de la zona de estudio**

CANAL	PLANTILLA (m)	TIRANTE (m)	TALUD 1:1	LONGITUD (m)	PREDIOS No.	ÁREA RIEGO (has)	CAUDAL (l/s)
SARDINATA 2C	1,2	1,55	1:1	1.773,0	20	131,44	394,32
LATERAL 2-1C	0,4	0,6	1:1	211,0	5	39,10	117,30
LATERAL 2-2C	0,4	0,6	1:1	1.530,0	4	17,10	51,30
LATERAL 2-3C	0,4	0,6	1:1	340,0	5	35,13	105,39
LATERAL2-4C	0,4	0,6	1:1	1.345,0	4	25,00	75,00
LATERAL 2-5C	0,4	0,6	1:1	1.140,0	3	21,60	64,80
LATERAL 2-6C	0,4	0,6	1:1	979,0	4	30,48	91,44
LATERAL 2-7C	0,4	0,6	1:1	1.250,0	11	57,63	172,89
TOTAL				**8.568,0**	**56**	**357,48**	**1.072,44**

5.2.1.3 Diagnóstico de la infraestructura hidráulica

Teniendo en cuenta la estructura operacional que presenta el área piloto, se llevó a cabo la respectiva inspección de campo con el fin de hacer reconocimiento de cada uno de los canales del área de estudio estableciendo las condiciones de su estado de conservación y mantenimiento, especialmente en relación con las placas de concreto del revestimiento y sus juntas, como también sus estructuras hidráulicas a través de las cuales se realiza el control para la conducción y distribución del agua durante la prestación del servicio de riego a los usuarios.

Las imágenes siguientes muestran en general las condiciones y estado de conservación del canal de Sardinata y canales laterales de distribución del agua de la zona de estudio, los cuales además de estar revestidos se encontraban bien conservados para ser operados y entregar el agua a los predios.

Figura 8. **Canal Sardinata y canales laterales**
Fuente: el autor

El estado de la infraestructura hidroagrícola al igual que su conservación y mantenimiento, afectan de manera directa las eficiencias y pérdidas de agua durante su operación; en este sentido las condiciones que presentan los canales y estructuras hidráulicas de la zona de estudio eran satisfactorias y no representaban inconvenientes para la conducción y distribución del agua para riego, como se señala en el diagnóstico realizado dentro de las actividades preliminares.

La operación del distrito de riego El Juncal está concebida bajo subdivisiones operacionales que, de acuerdo con la configuración geográfica y topográfica del terreno, la conducción y distribución del agua mediante la red de canales y obras hidráulicas, permiten la prestación del servicio de riego de manera funcional y efectiva.

Para esta actividad el distrito de riego tiene unos protocolos de operación desde su construcción a principios de la década de los 70 del siglo pasado, los cuales sufrieron cambios notorios especialmente en la labor de hidrometría a partir de 1993, cuando se hizo la restructuración institucional que cobijó el entonces Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras – HIMAT, encargado en ese entonces de administrar por parte del gobierno los distritos de riego y drenaje. Dicha restructuración se realizó con el fin de permitir el traspaso del distrito a manos de los usuarios a través de su asociación de usuarios, motivo por el cual modificó la planta de personal, eliminado todos los cargos de trabajadores oficiales, entre ellos quienes hacían parte de la comisión de aforos encargada de adelantar las labores de medición del agua en las estructuras hidráulicas de la red de canales y tomagranjas prediales.

Durante la transición de entrega del distrito de riego El Juncal por parte del gobierno nacional ASOJUNCAL, desde finales de 1993 hasta 2001, año que en que se delega su administración, esta práctica de control del agua realizada más o menos permanente, prácticamente desapareció y a partir del 2008, año en que se entrega en propiedad a los usuarios del distrito no ha mejorado y es

utilizado únicamente cuando se presentan reclamos de los usuarios, o el personal del distrito encargado de prestar el servicio detecta anomalías en las dotaciones prediales.

5.2.2 Aforos del agua en puntos de control

Teniendo en cuenta que la caracterización de las compuertas de control de los canales laterales estableció que existen tres tipos de estas con el mismo dimensionamiento, se determinó la realización de los aforos para cada uno de ellos.

La labor de aforos en los puntos de control del agua definidos para el sistema de información hidrométrica en el área de estudio se realizó en coordinación con la jefatura de operación del distrito, con quien se elaboró el plan de aforos realizado en las fechas mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 3. **Programación de aforos**

AFORO	FECHA DE REALIZACIÓN
Canal Sardinata	13-12-2019
Canales laterales	
2-7C	27-11-2019
2-4C	29-11-2019
2-5C	29-11-2019

5.2.2.1 Canal Sardinata

El canal Sardinata cuenta con una estructura hidráulica de aforo tipo Parshall, ubicada aproximadamente a 30 m de la cabecera del Canal (Ver **Figura 9**); sin embargo, su dimensionamiento no corresponde de acuerdo con su ancho de garganta a ninguna Parshall estandarizada, motivo por el cual el distrito no la considera como aforadora de caudales del canal, por lo tanto, los aforos que hace el distrito, especialmente para determinar la eficiencia de funcionamiento de las bombas instaladas en la segunda etapa, dos de las cuales abastecen este canal, los realiza mediante el método volumétrico, tal como se muestra en la siguiente figura.

Aforadora Parshall - canal Sardinata

Aforo volumétrico canal Sardinata

Figura 9. **Aforo estación segunda de bombeo**
Fuente: el autor

En consecuencia, lo que se hizo fue ubicar un punto de control antes de la estructura mencionada para realizar aforos mediante el uso del correntómetro calibrado, de tal forma que se pudieran hacer los aforos que en total fueron 6 y de esta manera obtener la curva de gasto del canal Sardinata. Escogida la ubicación de la sección transversal se procedió a determinar sus características geométricas, la medición de la solera del canal como su ancho de boca se efectuó con cinta métrica; para la medición de los tirantes del agua se utilizó la varilla metálica graduada del correntómetro. Las secciones definidas por cada tirante se dividieron en tres áreas, una central de forma rectangular y dos de forma triangular a cada lado de la sección central (Ver **Figura 10**).

Figura 10. **Ubicación punto de control canal Sardinata**
Fuente: el autor

La sección escogida para el aforo se hizo teniendo en cuenta que se cumplieran las siguientes condiciones:

- La sección transversal debe tener una figura geométrica regular bien definida y no ser susceptible a la erosión.
- El tramo de su ubicación debe ser recto y su longitud suficiente para garantizar el flujo uniforme.
- La sección debe ser perpendicular a la dirección del flujo a fin de que las velocidades del agua en los puntos aforados igualmente lo sean.
- Las velocidades del agua deben de ser mayores a 0,10 m/s.
- La ubicación del sitio de aforo debe estar alejado de elementos u obstáculos con el fin de evitar que se produzcan remansos que generen cambios en la distribución de las velocidades de flujo.

La medición de las velocidades se hizo al 60% de la altura del eje vertical con respecto a la superficie del agua, lo cual permitió conocer la velocidad media del flujo. La **Figura 11**, muestra el tipo de micromolinete utilizado para la medición de velocidades y la Tabla 4, presenta sus especificaciones.

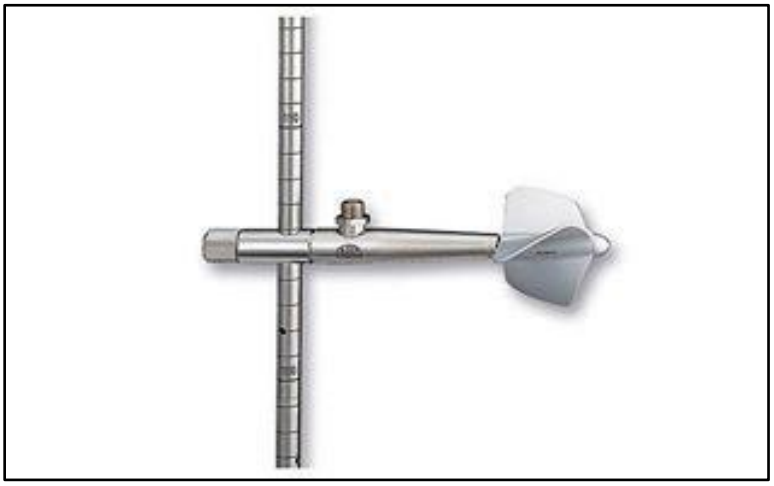


Figura 11. **Micromolinete AOTT**

Tabla 4. **Especificación Micromolinete**

MOLINETE No	C2-129845
TIPO	AOTT
ROTOR	HÉLICE # 3
ECUACIÓN DE CALIBRACIÓN	N/T<0.72 - V=0.2282N/T+0.024
	N/T>0.72 - V=0.2517N/T+0.007

Con este método de aforo se obtuvieron las velocidades del agua en cada una de las tres áreas de la sección transversal del canal, para lo cual fue necesario utilizar un formato (Ver **Figura 12**) para registrar la información obtenida con diferentes tirantes, que generaron sus secciones transversales respectivas; posteriormente, mediante la aplicación de la ecuación de continuidad se obtuvieron los caudales necesarios para la construcción de la curva de gasto, a partir de la cual se estimaron los caudales extraídos durante la operación del sistema.

AFORO Y CALCULO DE CAUDAL

HOJA I 1

DE : 1

PREDIO:
PROPIETARIO :
FECHA HORA I. .HORA F.
NIVEL I._____cm_____F_____M_____
V. MEDIA (m/sg) ANCHO (m) :
A.SECCION (m2) Q (m^3/sg)

MOLINETE No._ **C2-129845** TIPO : **AOTT**
ROTOR **HELICE No. 3** DEL AFORO DESDE LA ULTIMA
CALIBRACION DEL MOLINETE_____
ECUACION O No. DE LA TABLA DE CALIBRACION
N/T< 0.72 - V=0.2282N/T+0.024 N/T> 0.72 - V=0.2517N/T+0.007
TIPO DE AFORO: VADEO METODO: 0,6

DIST. DESDE (m)	PROF. (M)		REVOLUCIONES No.	(S)		VELOCIDADES (m/s)					SECCION PM	AP	SP	CAUDAL PARCIAL
PR	PT	PA	N	T	N/T	N/T<0.72	N/T>0.72	VP	V MV	VM	(m)	(m)	(m2)	(m3/s)

5.2.2.2 Canales laterales

Debido a que las áreas hidráulicas de las secciones laterales de los canales servidos por el canal Sardinata, no permitieron hacer uso del correntómetro para el aforo de las compuertas en los puntos de control del agua, se realizaron aforos mediante el método volumétrico, para ello se estableció la capacidad de almacenamiento de agua en un transecto de 10 metros de longitud de los canales, hasta un tirante de 0,6 m considerado como el máximo de operación de estos, los cuales fueron diseñados y construidos con la misma sección transversal, plantilla 0,4 m y talud 1:1, parámetros estos con los que se obtuvieron los volúmenes de aforo.

Las compuertas tipo deslizantes utilizadas para el control de flujo del agua en estos canales, presentan diferentes medidas de su ancho, lo cual permitió que se clasificaran de acuerdo con esta, de la siguiente manera:

- Tipo 1: Compuerta de 0,40 m, los canales laterales 2-1C; 2-2C; 2-4C; y 2-6C.
- Tipo 2: Compuerta de 0,50 m, el canal lateral 2-5C.
- Tipo 3: Compuerta de 0,55 m, los canales laterales 2-3C y 2-7C.

Para estos aforos se elaboró el formato que se muestra en la siguiente figura.

AFORO D|CAUDALES					**MÉTODO:**	Volumétrico	
CANAL:	Sardinata				**FECHA:**		
LATERAL	**SOLERA (m)**	**TALUD 1:1**	**TIRANTE (m)**	**LONGITUD (m)**	**TIEMPO (s)**	**VOLUMEN (m^3)**	**CAUDAL (m^3/s)**
Lateral 2-C1							
Lateral 2-C2							
Lateral 2-C3							
Lateral 2-C4							
Lateral 2-C5							
Lateral 2-C6							
Lateral 2-C7							

Figura 13. **Formato Aforos Canales Laterales**

Realizados los aforos se procedió a calcular los valores de **CA** de las compuertas, para cada uno de estos a partir de la fórmula (18), toda vez que estas trabajan ahogadas.

$$Q = \left(2g(H-h)\right)^{0,5} \quad (18)$$

Dónde: Q: Caudal, en m³/s; g: Aceleración de la Gravedad, en m/s²; H: Nivel del agua, aguas arriba de la compuerta, en m; h: Nivel del agua, aguas abajo de la compuerta, en m.

5.2.2.3 Tomagranjas del canal Sardinata

Sobre el canal Sardinata existen Tomagranjas que entregan el agua directamente a algunos predios, por consiguiente, los caudales suministrados de esta manera fueron tenidos en cuenta con los de los canales laterales para la determinación de todos los caudales servidos por este canal. Al igual que las compuertas de los canales laterales, las Tomagranjas presentan únicamente dos medidas de ancho como lo indica la **Tabla 5**.

Tabla 5. **Tomagranjas servidas**

NÚMERO DE COMPUERTAS	TIPO DE TOMAGRANJA	ANCHO DE COMPUERTA (m)
18	Compuerta plana deslizante	0,30
4	Compuerta plana deslizante	0,35

La metodología utilizada en este caso, dadas las dificultades que presentan las descargas en los predios para la medición de los caudales, fue la de realizar tres aforos sobre el canal Sardinata, antes y después de las dos compuertas tipo de ancho 0,30 m y 0,35 m, seleccionadas para determinar por diferencia de caudales del canal, el caudal de las compuertas Tomagranjas con aberturas de 0,20 m y 0,25 m respectivamente. Como las Tomagranjas son compuertas que se operan con abertura constante, es decir no son de control de flujo, dichas aberturas ya fueron establecidas por la jefatura de operación del distrito mediante aforos, de acuerdo con el caudal

requerido por el predio; por lo tanto, los aforos realizados estuvieron encaminados a la corroboración de los caudales de las compuertas tipo, respecto a las áreas de los predios que se sirven directamente del canal Sardinata. Estas estructuras funcionaron con las aberturas antes mencionadas y la carga hidráulica producida por el agua en el canal. Los aforos se realizaron de igual manera que para el punto de control en la cabecera del canal Sardinata, es decir, utilizando el método del correntómetro, por lo tanto, se usó el mismo formato de la figura 19. Los caudales se obtuvieron como promedio de los tres aforos hechos antes y después de las Tomagranjas.

5.2.3 Determinación de curvas de gastos y gráficas de CA de punto de control

5.2.3.1 Curva de gasto canal Sardinata

Para la construcción de la curva de caudales se aplicó el método de los promedios, con base en los datos obtenidos de los aforos de caudales del canal, con lo cual se obtuvo la ecuación que relaciona los valores de caudal con las lecturas del nivel del agua en la escala. Este método consiste en obtener los logaritmos de los caudales y los niveles del agua de los aforos, para luego dividir en dos partes los seis aforos y en cada una de estas, establecer sus respectivas sumatorias de los logaritmos, con las sumas parciales de estas se estableció un sistema de ecuaciones simultáneas que al ser resueltas permitieron conocer los valores medios de los parámetros m y c.

Una vez calculados estos valores, se procedió a determinar la función tipo potencial, para lo cual se aplicaron los antilogaritmos de cada término de dicha ecuación

5.2.3.2 Gráficas de valor de CA de compuertas en punto de control

Los resultados de los aforos volumétricos obtenidos se graficaron en Excel, sobre el eje de ordenadas se ubicaron los valores de las aberturas de las compuertas y en el eje de las abscisas los de CA, calculados a partir de los caudales hallados.

5.2.3.3 Cálculo del caudal de tomagranjas del canal de Sardinata

Esta labor se hizo fundamentalmente para corroborar las capacidades de las tomas de parcela que funcionan con abertura constante y abastecen los predios, con caudales que dependen de su área y tienen como dotación de riego un módulo de 3,0 l/s-ha. Como las tomas están localizadas sobre el canal Sardinata y toman el agua directamente de este, los volúmenes suministrados o servidos se contabilizaron como un solo valor, junto a los caudales de los canales laterales.

5.2.4 Toma de datos y registro de la información hidrométrica

La toma de información hidrométrica se efectuó diariamente en los puntos definidos para el control del agua, durante un periodo de tres meses de operación continua, que fue suficiente para que la información diaria de caudales estadísticamente permitiera obtener resultados confiables de eficiencias y pérdidas de agua en el área de estudio.

La toma de información de campo, que consistió en registrar los niveles del agua presentados diariamente en cada punto de control mediante un limnímetro, se inició el día 20 de enero de 2020 y se llevó a cabo hasta el 18 de abril.

DISTRITO DE ADECUACION DE TIERRAS EL JUNCAL, MUNICIPIO DE PALERMO - HUILA
SEGUNDA ETAPA - CANAL SARDINATA
LECTURA DIARIA SEMANAL DE NIVELES DE AGUA - PUNTOS DE CONTROL

Semana del al de

PUNTO DE CONTROL	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO

OBSERVACIONES: _____
_____
_____

ANOTADOR: _____

Figura 14. **Formato lectura diaria de niveles del agua en el limnímetro**

Para el registro de la información se elaboró el formato que muestra la **Figura 14** en el cual se anotaron los valores correspondientes al nivel del agua leídos en la reglilla, esta actividad se realizó una sola vez en el día en cada punto de control entre 7 y 8 de la mañana.

5.2.5 Evaluación de la operación del sistema

Realizadas las lecturas diarias de los niveles de agua en los puntos de control, se procedió a la estimación de los caudales diarios extraídos y servidos, con la cual mediante la aplicación Excel, se construyó la gráfica de Eficiencias – Láminas – Tiempo, la cual permite establecer los factores de pérdidas de agua en el canal Sardinata del área de estudio; igualmente, se obtuvieron los respectivos parámetros de la función lineal por medio del método de regresión y análisis estadístico de observaciones de dichos caudales, con los cuales se obtuvo la distribución de eficiencias y sus respectivas pérdidas de agua.

A pesar de que la evaluación se puede realizar semanalmente como se hace la programación del riego, la evaluación realizada comprende evaluaciones operacionales del manejo del agua, por periodos de tiempo que, en este caso, corresponden a los días de operación de cada mes, como también la evaluación que comprende de todo el tiempo de observaciones diarias durante un periodo de 90 días.

5.2.6 Construcción de la gráfica de eficiencias, láminas y tiempo

La elaboración de esta gráfica se realizó en Excel mediante información de las eficiencias generadas y las láminas brutas (Lb) y netas (Ln) aplicadas diariamente, durante tres meses ininterrumpidos del manejo del agua, lo cual permitió mostrar gráficamente el desempeño semanal durante todo este periodo de tiempo. Diariamente, se obtuvieron las eficiencias dividiendo los caudales servidos entre los caudales extraídos en cada uno de los laterales de riego que conforman

el sistema de distribución del agua del canal Sardinata; las láminas brutas aplicadas, se calcularon mediante la división entre los volúmenes diarios generados por los caudales servidos y el área regada en el día; y las láminas netas, dividiendo las láminas brutas por la eficiencia calculada.

5.2.7 Determinación de las eficiencias y pérdidas de agua

Esta determinación se efectuó aplicando el modelo matemático propuesto por (Palacios, 1989), con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel utilizada para este fin. Dicha hoja fue elaborada mediante la formulación de las diferentes ecuaciones que plantea el modelo.

La evaluación del sistema de conducción y distribución del agua del canal Sardinata se realizó de acuerdo con la cuantificación de los volúmenes mensuales de agua llevada a cabo por la administración del distrito de riego, los cuales son sistematizados diariamente y corresponden al servicio de riego que se brinda a través del sistema de riego a los usuarios del distrito. Por lo tanto, dicha evaluación representa el manejo del agua en el sistema objeto del proyecto, para los periodos comprendidos entre el 20 y 31 de enero; 1 al 29 de febrero; el 1 y 31 de marzo; 1 al 18 de abril; y finalmente, del 20 de enero al 18 de abril, cuyo resultado muestra dicho manejo durante todo el periodo de estudio. Para cada periodo de evaluación se determinó su respectiva función lineal con las cuales, a partir de sus parámetros hallados mediante el método de regresión lineal, se calcularon las eficiencias y pérdidas de agua intrínsecas y operacionales del sistema.

6 Resultados

Los resultados obtenidos en cada una de las actividades llevadas a cabo durante la realización de este trabajo se describen a continuación:

6.1 Aforos realizados

6.1.1 Canal Sardinata

La **Figura 15** muestra el modelo lineal obtenido de los 6 aforos realizados en el canal y las tablas 6 a la 11 contienen los resultados de estos, en donde se observa que los caudales que transporta el canal varían entre los 70 y los 900 lps.

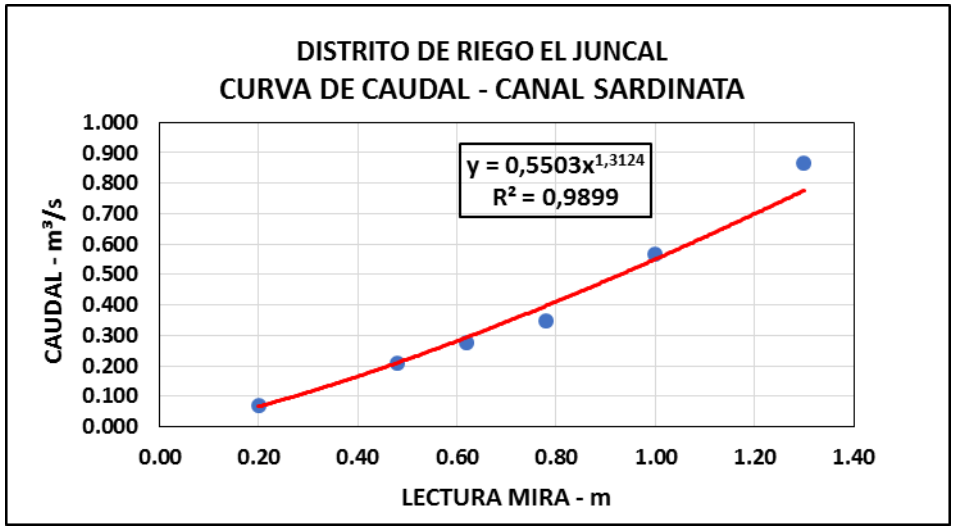


Figura 15. **Curva de canal Sardinata**

Tabla 6. **Aforo No. 1 canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES		**LECTURA REGLETA: (m)**	0,20	**MÉTODO:**	**Micromolinete**	
CANAL:	Sardinata					
SECCIONES CANAL	**T CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**ÁREA HIDRÁULICA SECCIONES (m^2)**	**VELOCIDAD DEL AGUA (m/s)**	**CAUDAL CANAL (m^3/s)**
IZQUIERDA	0,2	1:1	0,2	0,02	0,208	0,0042
CENTRAL	1,2	1:1	0,2	0,24	0,259	0,0621
DERECHA	0,2	1:1	0,2	0,02	0,218	0,0044
					Q (m^3/s) =	**0,0706**

Tabla 7. **Aforo No. 2. canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES		**LECTURA REGLETA: (m)**	0,48	**MÉTODO:**	Micromolinete	
CANAL:	Sardinata					
SECCIONES CANAL	**T CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**ÁREA HIDRÁULICA SECCIONES (m^2)**	**VELOCIDAD DEL AGUA (m/s)**	**CAUDAL CANAL (m^3/s)**
IZQUIERDA	0,48	1:1	0,48	0,115	0,249	0,0286
CENTRAL	1,2	1:1	0,48	0,576	0,264	0,1519
DERECHA	0,48	1:1	0,48	0,115	0,244	0,0281
					Q (m^3/s) =	**0,2086**

Tabla 8. **Aforo No. 3. canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES		**LECTURA REGLETA: (m)**	0,62	**MÉTODO:**	Micromolinete	
CANAL:	Sardinata					
SECCIONES CANAL	**T CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**ÁREA HIDRÁULICA SECCIONES (m^2)**	**VELOCIDAD DEL AGUA (m/s)**	**CAUDAL CANAL (m^3/s)**
IZQUIERDA	0,62	1:1	0,62	0,192	0,208	0,0400
CENTRAL	1,2	1:1	0,62	0,744	0,264	0,1962
DERECHA	0,62	1:1	0,62	0,192	0,213	0,0410
					Q (m^3/s) =	**0,2773**

Tabla 9. **Aforo No. 4. canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES		**LECTURA REGLETA: (m)**	0,78	**MÉTODO:**	Micromolinete	
CANAL:	Sardinata					
SECCIONES CANAL	**T CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**ÁREA HIDRÁULICA SECCIONES (m^2)**	**VELOCIDAD DEL AGUA (m/s)**	**CAUDAL CANAL (m^3/s)**
IZQUIERDA	0,78	1:1	0,78	0,304	0,203	0,0619
CENTRAL	1,2	1:1	0,78	0,936	0,234	0,2186
DERECHA	0,78	1:1	0,78	0,304	0,218	0,0664
					Q (m^3/s) =	**0,3469**

Tabla 10. **Aforo No. 5. canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES		**LECTURA REGLETA: (m)**	1,00	**MÉTODO:**	Micromolinete	
CANAL:	Sardinata					
SECCIONES CANAL	**T CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**ÁREA HIDRÁULICA SECCIONES (m^2)**	**VELOCIDAD DEL AGUA (m/s)**	**CAUDAL CANAL (m^3/s)**
IZQUIERDA	1,0	1:1	1,00	0,5	0,234	0,1170
CENTRAL	1,2	1:1	1,00	1,2	0,274	0,3286
DERECHA	1,0	1:1	1,00	0,5	0,243	0,1215
					Q (m^3/s) =	**0,5671**

Tabla 11. **Aforo No. 6. Canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES		**LECTURA REGLETA: (m)**	1,30	**MÉTODO:**	Micromolinete	
CANAL:	Sardinata					
SECCIONES CANAL	**SOLERA CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**ÁREA HIDRÁULICA SECCIONES (m^2)**	**VELOCIDAD DEL AGUA (m/s)**	**CAUDAL CANAL (m^3/s)**
IZQUIERDA	1,3	1:1	1,30	0,845	0,259	0,2186
CENTRAL	1,2	1:1	1,30	1,56	0,284	0,4428
DERECHA	1,3	1:1	1,30	0,845	0,244	0,2058
					Q (m^3/s) =	**0,8673**

6.1.2 Canales Laterales

En la **Figura 16** y en la **Tabla 12** se presentan los resultados para los canales Tipo 1 o de compuerta de 40 cm. Se observa que la gráfica presenta dos tramos lineales, cuyas rectas tienen pendiente diferente; el primero con abertura de la compuerta hasta los 20 cm a partir de la cual el segundo tramo, presenta mayor pendiente debido a las variaciones de C y A que no tienen por qué ser proporcionales.

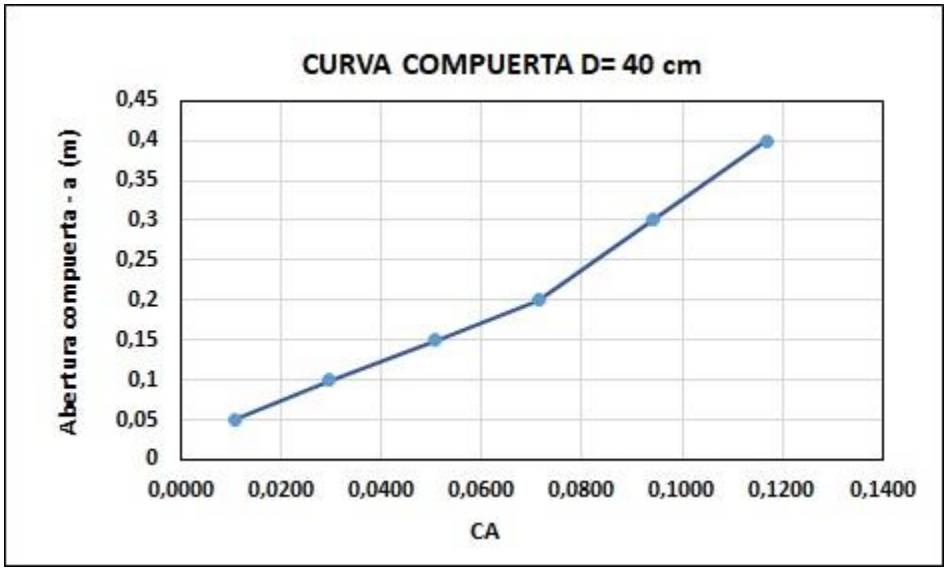


Figura 16. **Curva de CA para las compuertas 2-1C; 2-2C; 2-4C; 2-6C**

Tabla 12. **Aforo No. 1. Laterales canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES			**COMPUERTAS**	**D = 0,40 m**	**MÉTODO:**	Volumétrico	
CANAL:	Sardinata		**LATERALES:**	2-1C; 2-2C; 2-4C; 2-6C	**FECHA:**		
ABERTURA COMPUERTA a (m)	**SOLERA CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**LONGITUD TRAMO (m)**	**VOLUMEN TRAMO (m^3)**	**TIEMPO LLENADO (s)**	**CAUDAL COMPUERTA (m^3/s)**
0,05	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	201	0,0299
0,10	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	76	0,0789
0,15	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	48	0,1250
0,20	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	38	0,1579
0,30	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	33	01818
0,40	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	29	0,2069

En la **Figura 17** y en la **Tabla 13** se presentan los resultados de los aforos para el canal 2-5C o canal Tipo 2 de compuerta de 50 cm que representa a tales canales. Se observa que la gráfica presenta dos tramos lineales, cuyas rectas tienen pendiente diferente; el primero con abertura de la compuerta hasta los 20 cm a partir de la cual el segundo tramo, también presenta mayor pendiente debido a las variaciones de C y A que no tienen por qué ser proporcionales.

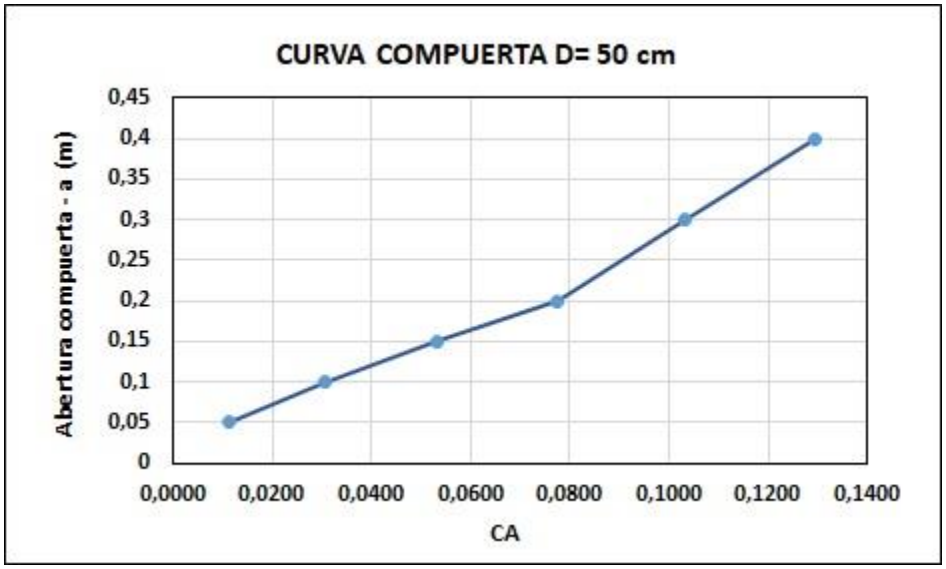


Figura 17. **Curva de CA para la compuerta 2-5C, Tipo 2**

Tabla 13. **Aforo No. 2. Laterales canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES			**COMPUERTAS**	**D = 0,50 m**	**MÉTODO:**	Volumétrico	
CANAL:	Sardinata		**LATERALES:**	2-5C	**FECHA:**		
ABERTURA COMPUERTA a (m)	**SOLERA CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**LONGITUD TRAMO (m)**	**VOLUMEN TRAMO (m^3)**	**TIEMPO LLENADO (s)**	**CAUDAL COMPUERTA (m^3/s)**
0,05	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	183	0,0328
0,10	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	71	0,0845
0,20	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	43	0,1395
0,30	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	33	0,1818
0,40	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	28	0,2143
0,50	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	24	0,2500

En la **Figura 18** y en la **Tabla 14** se presentan los resultados de los aforos para los canales 2-3C y 2-7C o canal Tipo 3, de compuerta de 55 cm que representa a tales canales. Se observa que la gráfica presenta dos tramos lineales, cuyas rectas tienen pendiente diferente; el primero con abertura de la compuerta hasta los 30 cm a partir de la cual el segundo tramo, igualmente como las anteriores presenta mayor pendiente debido a la misma consideración.

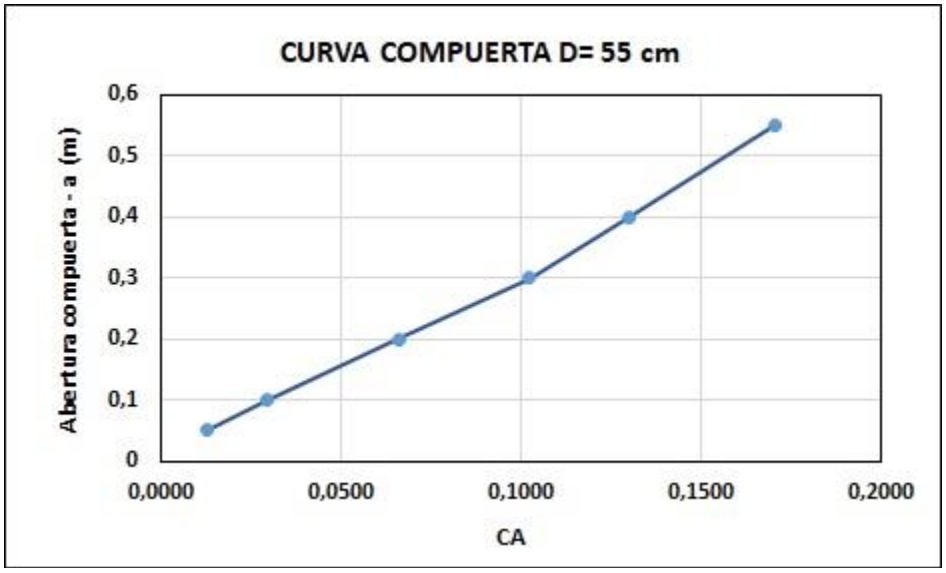


Figura 18. **Curva de CA compuertas 2-3C; 2-7C.**

Tabla 14. **Aforo No. 3. Laterales canal Sardinata**

AFORO DE CAUDALES			**COMPUERTAS**	**D = 0,55 m**	**MÉTODO:**	Volumétrico	
CANAL:	Sardinata		**LATERALES:**	2-3C; 2-7C	**FECHA:**		
ABERTURA COMPUERTA a (m)	**SOLERA CANAL (m)**	**TALUD CANAL**	**TIRANTE CANAL (m)**	**LONGITUD TRAMO (m)**	**VOLUMEN TRAMO (m^3)**	**TIEMPO LLENADO (s)**	**CAUDAL COMPUERTA (m^3/s)**
0,05	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	168	0,0357
0,10	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	87	0,0690
0,20	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	57	0,1053
0,30	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	54	0,1111
0,40	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	26	0,2308
0,55	0,4	1:1	0,6	10,0	6,0	22	0,2727

6.2 Evaluación de la operación del sistema

La evaluación operacional del sistema de conducción y distribución del agua del canal Sardinata, se realizó teniendo en cuenta los dos aspectos que, ayudan y permiten establecer con mayor claridad, cómo fue el manejo del agua durante la prestación del servicio de riego a los usuarios en los periodos evaluados y analizados. El primero, hace referencia a la gráfica de eficiencias, láminas de riego y tiempo de operación de dicho sistema como fue descrito en el ítem

5.2.6, que permite tomar decisiones inmediatas en caso de que se presenten variaciones que puedan desmejorar dicho manejo, lo cual no sería posible sin esta herramienta, por lo tanto, no se podrían hacer los ajustes o correcciones que fueran pertinentes.

El segundo aspecto es la aplicación del modelo lineal (ver ítem **5.2.7**), mediante el cual se determinaron además de las eficiencias, las pérdidas de agua y su distribución, cuyos resultados establecen hacia dónde se deben encaminar las acciones de la administración del distrito para lograr su reducción y, por ende, el mejoramiento de la eficiencia, toda vez que estos indican cuál de estas pérdidas tiene mayor importancia y afecta el comportamiento de las eficiencias del sistema evaluado. El **Anexo 3** Registro de información diaria de niveles del agua, muestra toda la información recolectada y el **Anexo 4** Registro de caudales extraídos y servidos, presenta los resultados obtenidos del canal Sardinata.

6.2.1 Construcción de la gráfica de eficiencias, láminas y tiempo

En la **Figura 19** se muestran las gráficas obtenidas durante los días de operación correspondientes a la evaluación de los periodos mensuales del manejo del agua, las cuales muestran el comportamiento de las láminas brutas y netas y la eficiencia respectiva.

La **Figura 20** representa el comportamiento del manejo del agua durante la operación realizada en todo el periodo de noventa días que fue monitoreado, al igual que en las gráficas de la **Figura 19** se pueden apreciar espacios de tiempo en cuyas fechas no hubo operación del sistema del canal Sardinata debido al comportamiento del clima que, afectó con lluvias significativas todo el distrito de riego durante esos días.

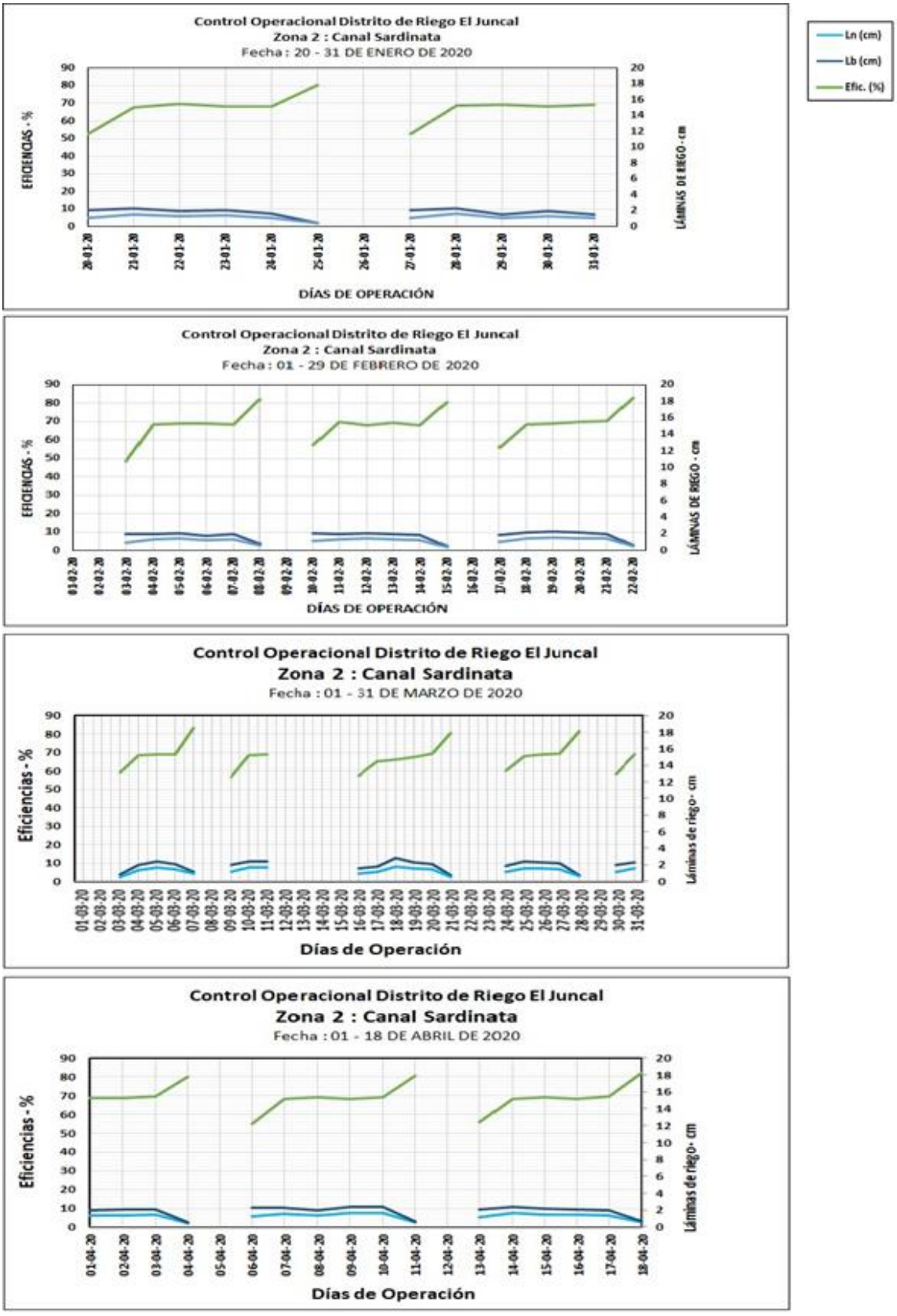


Figura 19. ***Gráficas de eficiencia, láminas y tiempo de operación, por periodos mensuales***

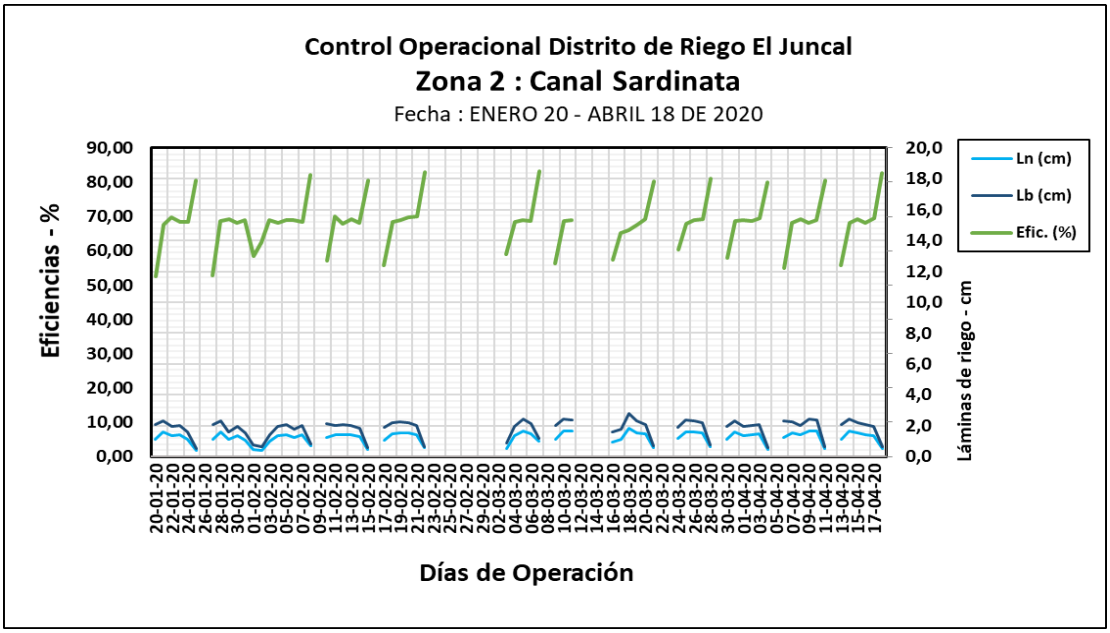


Figura 20. **Gráficas de eficiencia, láminas y tiempo de operación, de todo el periodo de evaluación**

Como se puede observar en dichas gráficas, las eficiencias en general presentan un comportamiento muy similar con valores al inicio de semana entre el 40-60%, luego de uno o dos días mejoran y tratan de estabilizarse debido a la experticia del canalero en maniobrar las compuertas de control del flujo de agua, hasta el sábado que se suspende el funcionamiento de bombeo a primera hora, pero se sigue prestando el servicio de riego a los usuarios y se puede apreciar que, las eficiencias presentan un aumento significativo con valores cercanos al 80%.

Lo anterior explica que la operación normal de un canal o de varios canales, presenta la siguiente situación: al inicio las eficiencias son bajas pudiendo ser nulas debido a que el caudal extraído del canal servidor es aprovechado para llenar los vasos del canal entre las estructuras instaladas para el control del nivel del agua en sectores establecidos, a fin de garantizar los tirantes requeridos con los cuales se sirven las tomas prediales durante su distribución, es decir, que a pesar de contar con cierto caudal, este no se utiliza para brindar el servicio de riego a los usuarios; una vez llenos dichos vasos, en un breve tiempo las eficiencias van aumentando paulatinamente

conforme se logra normalizar la operación del canal; una vez estabilizada la operación del canal si fue adecuadamente operado, la eficiencia mantendrá un valor más o menos constante o fluctuará ligeramente alrededor de este; finalmente, cuando se suspende el caudal de abastecimiento y se aprovecha el volumen almacenado en el vaso del canal, la eficiencia puede llegar a ser superior al 100% si se calcula correctamente el área que se beneficia con dicho volumen de agua contenido en el canal.

En cuanto a las eficiencias se nota que el periodo semanal de operación representado en las fechas del 8 al 12 de marzo no muestra un comportamiento como como el que se mencionó anteriormente, lo cual indica que la operación se realizó de manera inadecuada muy seguramente por falta de conocimiento de los factores de pérdidas de agua.

6.2.2 Determinación de las eficiencias y pérdidas de agua del sistema canal Sardinata

El resultado de las eficiencias del manejo y de las pérdidas de agua en el sistema del canal Sardinata, se obtuvo con base en los caudales diarios extraídos de este canal, los caudales servidos a cada uno de los laterales de distribución de dicho sistema y los caudales calculados a partir de los volúmenes de agua entregados por estos según el informe mensual de entrega de agua a los predios beneficiados con el servicio de riego (ver descripción en el ítem **5.2.7**).

La determinación de las eficiencias y pérdidas de agua se puede establecer para cada uno de los canales que componen el sistema, por lo que la presente evaluación corresponde en su conjunto a la subdivisión operacional del canal Sardinata conformado por este y siete (7) canales laterales que distribuyen y entregan el agua a los predios que la conforman.

En las Figuras 21 y 22 que se muestran a continuación se establecen respectivamente las funciones lineales de la relación del promedio de los caudales extraídos y servidos durante todo el periodo de evaluación y de los periodos mensuales, a partir de las cuales se obtuvieron los valores

de eficiencias y pérdidas de agua ocurridas durante la operación del sistema, procedimiento de cálculo que se describe en los ítems **4.1.3** y **4.1.4** y se desarrolla en el **Anexo 5.** Cálculos de la evaluación del manejo del agua, también ver **Anexo 6.** Registro de información diaria, gráfica de eficiencia-lámina-tiempo y evaluación por periodos, de la operación del canal Sardinata.

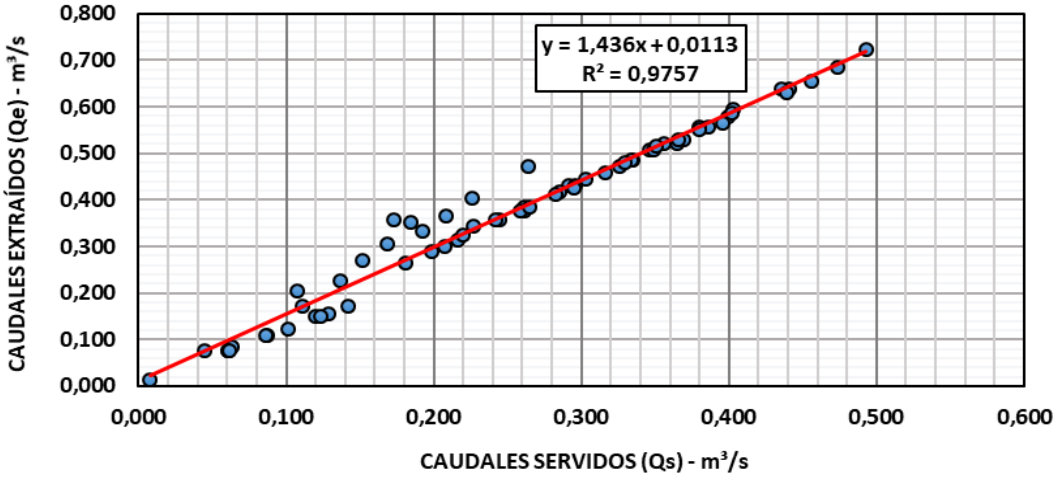


Figura 21. **Función lineal de relación entre caudales extraídos y servidos, del 20 de enero al 18 de abril**

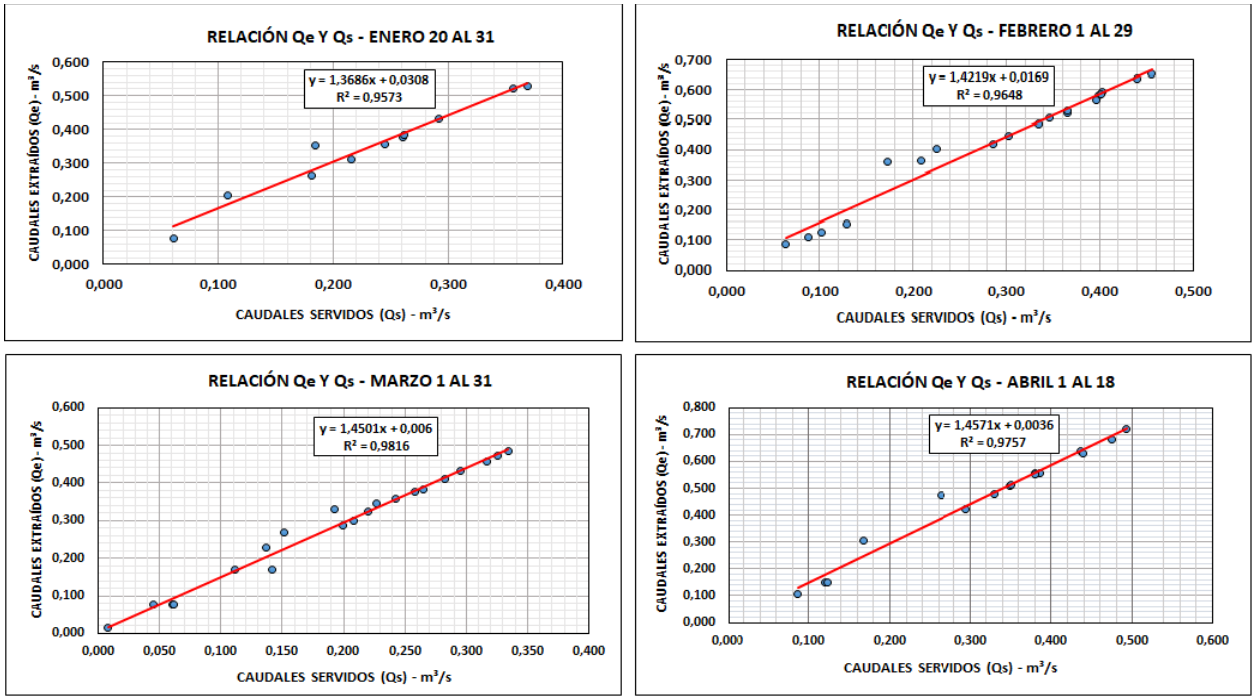


Figura 22. **Funciones lineales de relación entre caudales extraídos y servidos, periodos mensuales**

La **Tabla 15** muestra a manera de resumen los valores de las eficiencias y pérdidas de agua ocurridas durante la evaluación operacional del canal Sardinata, en ella se detalla el resultado obtenido en cada mes evaluado durante todo el periodo de tiempo planteado en el proyecto.

Tabla 15. **Valores de eficiencias y pérdidas de agua periodos evaluados**

Periodo / Ref.	ENERO 20 -31	FEBRERO 1-29	MARZO 1-31	ABRIL 1-30	ENE-ABR
Eficiencia Intrínseca %	91,04	96,02	97,92	99,14	97,10
Eficiencia Operacional %	73,05	70,32	68,97	68,63	69,64
Pérdida Intrínseca %	26,72	12,23	6,38	2,68	8,94
Pérdida Operacional %	73,28	87,77	93,61	97,32	91,06
Eficiencia de Conducción %	66,50	67,52	67,53	68,04	67,62

De acuerdo con los resultados de la **Tabla 15**, el sistema del canal Sardinata presenta valores de eficiencia de conducción relativamente altos (entre el 66,5 – 68,04%) debido a que tanto las eficiencias operacionales como las eficiencias intrínsecas (especialmente estas últimas) son altas, lo cual refleja las buenas condiciones del revestimiento de los canales, a pesar que el mes de enero en particular registra un valor alto de pérdidas intrínsecas (26,72% mientras que los otros meses están por debajo del 12 %) que podrían estar asociadas a fugas u otras acciones diferentes al manejo del agua .

En cuanto a las pérdidas, se observa que las operacionales son altas (entre 73,28 y 97,32%) con un valor más bajo en el mes de enero, motivo por el cual el porcentaje de pérdidas intrínsecas es alto en dicho mes, evidenciando que el comportamiento de estas pérdidas es inverso al de las pérdidas operacionales.

En cuanto al manejo del agua en general, se observa que las pérdidas operacionales son mucho más altas que las pérdidas intrínsecas (las primeras tuvieron un promedio del 91,06 mientras que las segundas corresponden al 8,94 en promedio), por lo tanto, dentro de la actividad de operación del sistema es el aspecto al cual se debe prestar más atención realizando mayores esfuerzos para su mejoramiento, con el fin de contribuir de esta manera con los ingresos económicos del distrito, toda vez que las pérdidas operacionales son realmente volúmenes de agua no contabilizada que al ser bombeados generan costos, afectando el presupuesto de funcionamiento del distrito de riego.

6.3 Análisis de resultados de la operación del sistema

El análisis de los resultados obtenidos se hizo teniendo en cuenta aspectos que juegan un papel determinante en la eficiencia con que se realiza esta labor en la operación de distritos de riego, estos son, el modelo actual de operación, la experiencia del canalero o funcionario encargado de suministrar el agua y las eficiencias contabilizadas en este trabajo.

6.3.1 Caracterización administrativa de la operación

Para la prestación del servicio de riego a los usuarios el distrito de riego El Juncal tiene un reglamento, para el cual la administración presenta organizacionalmente dos instancias, la administrativa y la operacional propiamente dicha; la primera, está encargada de controlar el servicio y efectuar el cobro mediante facturación que, incluye todos los gastos que se generan para el funcionamiento del distrito, como son la nómina de personal; la conservación y el mantenimiento de toda la infraestructura; la reposición d equipos; y los costos de energía que se generan por captar, conducir y entregar los volúmenes de agua a los predios. Esta facturación se hace semestralmente con base en los volúmenes mensuales suministrados a los predios, de acuerdo con los tiempos de

duración de los riegos solicitados y la dotación asignada a las tomagranjas, cuyo módulo de riego es de 3,0 l/s-ha.

El monto del anterior cobro está basado en la asignación de un valor que la administración y la asamblea general de usuarios del distrito le asignan al metro cúbico (m^3) de agua. Dicho valor presenta dos tarifas de riego, una tarifa fija asignada por hectárea que depende de la actividad desarrollada en el predio y la otra, la tarifa volumétrica, que depende del tipo de cultivo establecido, en este caso la tarifa hace referencia a si el cultivo es arroz o es otro cultivo; y por último, el servicio de riego establece una tarifa diferencial para los predios que son servidos con agua de bombeo y a los que, se les suministra el servicio a través del sistema de rebombeo, como es el caso del área estudiada. La Tabla 16 muestra los valores de las tarifas volumétricas fijadas para el 2020.

Tabla 16. **Tarifas de agua distrito de riego El Juncal**

	CONSUMO MÍNIMO m^3/ha			**TARIFA VOLUMÉTRICA \$/m^3**	
CONDICIÓN / CULTIVO	Lote sin nivelar	Lote nivelado	Soca	Bombeo	Rebombeo
Secanos	4.500	4.500	-	60	70
Arroz	10.000	9.000	8.000	60	70

Con respecto a las tarifas del agua para riego, el gobierno nacional le reconoce a los distritos de riego que funcionan por medio de bombeo eléctrico, un subsidio del 50% del valor de los costos de energía que, en el caso de la administración del distrito de riego El Juncal la tiene en cuenta para efectos de la fijación del valor del metro cúbico de agua que pagan los usuarios por la prestación del servicio de riego.

Es importante resaltar que los costos de energía según la administración del distrito representan cerca del 80% de los costos totales para su funcionamiento; por lo tanto, bajo esta condición de subsidio otorgado por los gobiernos de turno los distritos a través de su gremio

FEDERRIEGOS, tienen que solicitarlo anualmente al Ministerio de Hacienda, toda vez que sin estos recursos dichas obras no podrían funcionar y dejarían de prestar el servicio para lo cual fueron construidas.

Dado los altos costos de operación y para garantizar el funcionamiento del distrito, la administración y los usuarios, se han visto obligados a realizar un acuerdo de volumen mínimo de consumo, lo cual se convierte en una decisión que va en contra del manejo eficiente del agua, afectando los volúmenes realmente consumidos por los predios y por ende los de los cultivos, en razón a las siguientes consideraciones:

Como primera medida, no habría interés por parte de los usuarios en mejorar la eficiencia de riego en sus predios, consumiendo menos volumen de agua al establecido como mínimo; en consecuencia, no se disminuirían los volúmenes de agua bombeada con lo cual se generaría menor consumo de energía. Uno de los problemas consecuencia de la ineficiencia en el manejo del agua, particularmente en el distrito de riego El Juncal que funcionan por medio de bombeo y rebombeo, es el elevado valor de agua que se paga por ha/cosecha en el cultivo de arroz según el distrito, cuyo monto representa cerca del 15% de los costos de producción.

En segundo lugar, si bien es cierto que el factor climático se ha constituido tal vez en el problema que más afecta la oferta de agua, en el distrito de riego El Juncal no lo es como quiera que, la demanda requerida depende de la capacidad instalada de bombeo, la cual es mínima con respecto a la oferta que presenta durante dicho fenómeno su fuente de abastecimiento el Río Magdalena. Sin embargo, dado que la operación del distrito de riego se hace sin el rigor que requiere la planeación del riego, el abastecimiento de agua a los predios se hace crítica si se tiene en cuenta el nivel de eficiencia con que se realiza su manejo, ya que esto significa que a pesar de que se encuentre disponible en la red de distribución, su entrega se hace de manera inadecuada e

inequitativa, razón por la cual algunos usuarios disponen de una cantidad mayor a la de las necesidades de sus plantas, mientras que a otros les faltará, afectando sus cultivos.

Por último, las condiciones de intenso verano que produce el Fenómeno del Niño, hace que en las Centrales Hidroeléctricas el nivel de los embalses disminuya considerablemente, presentándose una escasez en la oferta hídrica para la generación de energía, la cual de acuerdo a las leyes de la oferta y la demanda, ocasiona en el mercado un incremento en su valor tarifario, supremamente grave para el distrito, ya que la administración para que el distrito pueda funcionar, ha tenido que trasladar dicho aumento a los usuarios a través de las tarifas de riego.

6.3.2 Desempeño del personal a cargo de la operación

El manejo del agua durante el periodo de operación evaluado, es el resultado exclusivo de la manera como el funcionario a cargo de esta labor realizó los cálculos de los caudales requeridos y las maniobras pertinentes requeridas en las estructuras de control de los canales, con el fin de satisfacer la solicitud de servicio de los usuarios que, como ya se dijo, es el caudal asignado a cada predio, entregado en la toma predial y establecido por el módulo de riego de 3,0 l/s-ha para todo el distrito. Con base en este criterio el canalero, de acuerdo con el número de predios y sus respectivas hectáreas de riego, cuantifica el caudal a manejar en el canal, el cual es suministrado a través de la respectiva compuerta de control de agua.

Es importante resaltar que el caudal manejado, realmente corresponde al cálculo de maniobra realizada por el canalero sobre la compuerta que, de acuerdo con un patrón de memoria personal basado en su experticia, este considera que con la cantidad de agua en el canal atiende sin problemas el servicio solicitado; sin embargo, el hecho de que se presenten reclamos de la prestación del servicio por parte de usuarios, muy seguramente radica en la entrega del agua a los

predios, debido a que los consumos que se registran son volumétricos, mientras que su entrega se hace mediante caudales que no tienen medición y control permanente en las tomas prediales, por lo tanto, la falta de agua que en algunas ocasiones se presenta, en realidad no se pierde, sino que su entrega en la toma predial se realiza de forma inequitativa.

6.3.3 Valoración de las eficiencias y pérdidas de agua

De acuerdo con estándares establecidos en la literatura a través de textos académicos e investigaciones acerca de los valores que indican con qué grado de eficiencia se opera un canal, se toma como referente los valores señalados por (Pedroza González & Hinojosa Cuéllar, 2013) quienes dicen que según Luján (1992), las pérdidas por evaporación se sitúan en promedio entre el 0.25 y 3%, las de infiltración en alrededor de 12% y las de operación presentan una gran variedad de manejo y distribución del agua en distritos de riego que van desde 2% hasta 50%.

Información acerca de las eficiencias y su distribución de pérdidas de agua de los distritos de riego en la región o el país no se conoce, por lo tanto, no es posible hacer un análisis comparativo de las cifras obtenidas como resultado de la evaluación realizada; sin embargo, teniendo en cuenta los valores considerados anteriormente se puede establecer que, en el caso de las eficiencias ambas son aceptables ya que las operacionales son cercanas al 70% y las intrínsecas, son superiores al 95%. En cuanto a la distribución de las pérdidas de agua, las intrínsecas considerando todo el periodo de los 90 días de operación, arroja un valor de 8,94% muy por debajo del 15%, valor este representado por la suma de la cifra más alta de evaporación y el de infiltración; en relación con las pérdidas de agua operacionales, los resultados en todos los periodos evaluados registran valores muy altos que son preocupantes, toda vez que están muy por encima del 50% considerado para esta valoración.

Lo anterior podría significar que, debido a la falta de procedimientos de cálculo más rigurosos durante la programación y la distribución del agua, en esta última labor, se extraiga por lo general mayor cantidad de agua que la demandada y en la entrega predial, se reparta de tal manera que mucha de esta no sea registrada o que sea tomada de manera fraudulenta, toda vez que muchas compuertas de las tomas prediales presentan condiciones deficientes, son manipuladas o alteradas por los usuarios.

7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. El modelo operacional propuesto consiste en la aplicación de técnicas y procedimientos sencillos que, de acuerdo con las condiciones económicas del distrito, no requiere de desarrollos tecnológicos en infraestructura costosos, si no la utilización de conocimientos existentes sobre cómo realizar el control del agua y generar la información adecuada para ser sistematizada y evaluada.
2. Las evaluaciones realizadas en cada caso muestran que el comportamiento de la relación entre caudales extraídos y servidos es lineal, por lo que las obtenciones de las eficiencias y pérdidas de agua son pertinentes y confiables para que sean tenidas en cuenta en el mejoramiento del manejo del agua del distrito.
3. La ley de uso eficiente y ahorro del agua obliga a los distritos de riego a la presentación de los PUEAA ante la autoridad ambiental correspondiente; por lo tanto, la medición de este recurso indispensable en las actividades productivas de los distritos de riego se hace necesario bajo un sistema de información hidrométrico que, permita el monitoreo del agua a fin de establecer las eficiencias y sus respectivas pérdidas durante la actividad de operación.
4. La evaluación de todo el periodo estudiado de enero a abril arrojó resultados de eficiencias y pérdidas de agua intrínsecas de 97,10% y 8,94% respectivamente, para las operacionales 69,64% y 91,06% respectivamente, registrándose una eficiencia de conducción de 67,62%, cuyos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos por otros autores para la operación de distritos con canales revestidos.

5. El modelo es aplicable a cualquier subdivisión operacional del distrito de riego El Juncal, considerando que las zonas en que se encuentra dividido cuentan con la infraestructura hidráulica mínima necesaria para su implementación.
6. El manejo del agua en la zona estudiada presenta eficiencias y pérdidas de agua operacionales de mayor importancia que las intrínsecas, lo cual refleja en las primeras la falta de aplicación de procedimientos técnicos más rigurosos de la operación en la programación y entrega del agua.
7. Las eficiencias y pérdidas de agua intrínsecas, de acuerdo con los valores obtenidos reflejan las condiciones de los canales, no solamente por ser revestidos sino por su estado de conservación y mantenimiento.
8. El reclamo por parte de los usuarios de la prestación del servicio de acuerdo con el resultado de los valores de la eficiencia operacional muy seguramente radica en la entrega a los predios, toda vez que el agua en realidad no se pierde, sino que está mal distribuida en la entrega debido a que no hay seguridad en que los volúmenes suministrados sean los reportados, ya que las tomas prediales presentan deficiencias para su correcta operación.
9. El mejoramiento de las eficiencias de manejo del agua en la red de canales del distrito de riego El Juncal, contribuye en buena medida a mejorar los ingresos por concepto del servicio de riego, toda vez que el aumento de su porcentaje representa un valor económico debido a las cantidades de metros cúbicos de agua no contabilizada, cuyo monto es el producto de esta por el valor de su tarifa.
10. Para el mejoramiento del manejo del agua en la red de canales del distrito de riego El Juncal, se requiere contar con dos aspectos fundamentales como lo son la información en relación con su cantidad y calidad y el control, con respecto a su ubicación y también cantidad.

7.2 Recomendaciones

1. Realizar capacitaciones al personal encargado de la operación del distrito encaminadas a transferir conocimientos de técnicas y procedimientos en la planeación y programación del riego; y en especial a los canaleros, para la distribución y entrega del agua de riego a los predios, con el propósito de mejorar su manejo durante la prestación del servicio a los usuarios.
2. Consolidar el sistema de información hidrométrica desarrollado en la zona estudiada, mediante la instalación permanente de limnímetro en las compuertas de la cabecera de los canales laterales que conforman dicho sistema, realizar de manera permanente sus respectivos mantenimientos y cuando se considere necesario hacer sus respectivas calibraciones.
3. Adelantar una política de mejoramiento en las tomas prediales a fin de garantizar mediciones más ajustadas de los caudales entregados, de tal manera que se pueda establecer los volúmenes de agua que realmente son consumidos en cada solicitud del servicio.
4. Rehabilitar y calibrar la estructura de medición Parshall ubicada en la cabecera del canal Sardinata, la cual funcionaría como punto de control del sistema de información hidrométrico, con el propósito de establecer los caudales a extraer y que serán servidos a los canales laterales de la subdivisión operacional de dicho canal.
5. Realizar las labores de conservación y mantenimiento de los canales manualmente, debido a que el uso del balde metálico para el desazolve puede fracturar el revestimiento de las losas en concreto y aumentar las pérdidas de agua por filtraciones, desmejorando sus eficiencias intrínsecas, lo cual afectaría la eficiencia de conducción de los canales.

6. Reestablecer las campañas semestrales de riego con fechas y sectores definidos para la preparación y siembra de los cultivos, con el fin de que operacionalmente se preste el servicio para cierta cantidad de hectáreas sembradas, de tal manera que se optimice la capacidad de suministro de agua con el número de bombas necesarias y de esta manera disminuir costos de energía.
7. Una vez que la adopción del modelo operacional desarrollado en la zona de estudio genere una operación con eficiencias satisfactorias para la administración del distrito de riego, es necesario adelantar trabajos encaminados a establecer la eficiencia del manejo del agua a nivel predial, lo cual permitirá establecer la eficiencia total con que se maneja este recurso en el área estudiada.
8. Se recomienda la modernización de la operación del distrito de riego, para lo cual dada la complejidad que representa su correcta operación, en el entendido que esta comprende labores de planeación del riego; programación del mismo; distribución y entrega del agua a los usuarios; y por supuesto, la evaluación de esta última, se requiere desarrollar una aplicación que realice todos los cálculos matemáticos que, son propios de la ingeniería agrícola y de esta manera facilitar dichas labores y poder realizar de manera simultánea la actividad de operación con su respectiva evaluación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beekman, G. (2015). Agua y seguridad alimentaria. In *VII Foro Mundial del Agua Corea*.

Bonet Pérez, C. C., Moreno Guerra, H., Guerrero Posada, P., Vidal González, R., Rodríguez Correa, D., Fernández, E., … Puente BorreroI, F. R. (2019). Eficiencia de conducción de sistemas de riego en empresas arroceras. *Efficiency Conduction in Irrigation Systems of Rice Companies. (English)*, *9*(4), 13. Retrieved from https://bdbiblioteca.universidadean.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=140388446&lang=es&site=eds-live&scope=site.

Bustamante, W. O., Velazquez, J. F., Ibarra, E. S., & Capurata, R. E. O. (2015). *I Congreso Nacional COMEII 2015 Reunión Anual de Riego y Drenaje*. 1–10.

Capurro, L. F. L., Vega, P. P., Mazzilli, G. L., & Tafur, D. V. (1997). *LEY 373 DE 1997*.

Chique Mamani, N. (2013). Evaluación técnica para el mejoramiento de eficiencia del sistema de riego Jaruni Carimbico- Juli. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4529.

Cobacho, R., Pardo, M. A., & Cabrera, E. (2016). *Necesidad de mejorar La Eficiencia en la distribución y el uso de agua y energía*. (February 2014), 1–13.

de Fraiture, C. G. R. C. (1998). *Evaluación de las Tendencias y los cambios en la irrigación*. (2).

Domínguez, M. Y. G., Cohen, I. S., Herrera, G. G., Díaz, L. M., Trejo, R., & Martínez, M. A. H. (2010). Evaluacion De La Eficiencia De Riego En El Módulo Iv Del Distrito De Riego 017 Comarca Lagunera, Mexico. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, *IX*(2), 99–106.

Donistar, S. C., Bandeira, S., & Böcking, B. (2014). *Riego de arroz por mangas*.

Edinson, R. L. A. (2017). *Evaluación de las pérdidas de conducción en el canal La Mora en el tramo de la progresiva (0+600 –1+600) - Chimbote – Cascajal - 2017*. UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO.

Enríquez Quintero, Carlos Julio; Orozco González, Aderson; Urrutia Cobo, N. (2005). Optimización del manejo y la distribución del recurso hídrico mediante técnicas de control de flujo en el departamento del Valle del Cauca - Colombia. *Ingeniería de Recursos Naturales Y Del Ambiente*, (3), 40–46.

García, A., Adame, M., Benavides, C., Durán, F., Valencia, Á., De, L. P., … Ley, L. A. (2016). *Realizar Una Evaluación Institucional Y De Operaciones De La Política De Adecuación De Tierras Desde El Pronat Y La Ley 41 De 1993 Hasta La Actualidad, Con El Fin De Señalar Recomendaciones Sobre El Mejoramiento En El Diseño E Implementación De La Polític*. 262. Retrieved from http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/infraestructura-en-el-area-rural-reto-de-politicas-publicas-agrarias.html;https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/programas-y-proyectos/Paginas/Programa-Desarrollo-Rural-con-Equidad-DRE.aspx.

González, J. M. Á., & Madrid, C. S. C. (2015). *Evaluación de las pérdidas de agua por filtración*

en un canal de tierra y su efecto económico en los costos de producción agrícola, sector Valdivia Alta- ramal I Valle de Santa Catalina Moche- Trujillo. 79.

González B, M., & Alonso, A. M. (2016). Technologies for water saving in rice. *Nova*, *14*(26), 63–78.

IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. In *Estudio Nacional del Agua 2014*.

IICA. (2015). *Innovación y gestión del agua para el desarrollo sostenible en la agricultura Innovación y gestión del agua para el desarrollo sostenible en la agricultura*.

Infante, R. R. G. (2013). Determinación de la Eficiencia de Conducción del canal de riego Huayrapongo, Distrito de Baños del Inca - Cajamarca. Retrieved from http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009.

Kuhl, L. (2019). Technology transfer and adoption for smallholder climate change adaptation: opportunities and challenges. *Climate and Development*, *12*(4), 353–368. https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1630349.

Leonardo, A. N. (2015). *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. LIMA: MINAGRI.

MA-PSI. (2004). Determinación de Eficiencias de Conducción y Distribución. In *Programa de entrenamiento en servicio PES II*.

Mejía, E., Palacios, E., Exebio, A., & Santos Hernández, A. L. (2002). Operative Problems in Water Management in Irrigation Districts. *Terra*, (20), 217–225.

Minjares-Lugo, J. L., Valdés, J. B., Salmón-Castelo, R. F., Oroz-Ramos, L. A., & López-Zavala, R. (2010). Planeación, manejo y evaluación sustentable de los recursos hidráulicos en el Distrito de Riego 041, Río Yaqui, México. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, *1*(1), 137–151.

Mojarro, B. D. L., Luna, J. R., González, J. Á. G., Hernández, V. P., & Rubio, B. R. (2009). *La medida del agua en la operación de distritos de riego*. (october 2009).

Montenegro, N. R. (2013). *Evaluación del nivel de eficiencia de conducción del canal de riego Chililique - Jaén*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA 'NACIONAL FACULTAD.

Olmedo Vázquez, V. M., Minjares Lugo, J. L., Poyato, E. C., Hernández, M. L. H., & Rodríguez Díaz, J. A. (2017). Uso del análisis envolvente de datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los módulos del distrito de riego no. 041, río yaqui (sonora, México). *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, *49*(2), 127–148.

Palacios vélez, E. (1981). *Manual de operación de distritos de riego* (Tercera). México: Patronato Universitario de la UACH.

Palacios vélez, E. (1991). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, *V*(2), 177–183.

Pangliettine, Liliana; Domínguez, Jorge; Villegas, Alan; Amador, Ana; Valerio, Claudia; Bertella, María; Maurizio, L. (2018). *ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA HÍDRICA EN CADENAS AGROALIMENTARIAS QUE HACEN USO INTENSIVO DEL RECURSO*

AGUA. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.

Paz, M. Á., Arasa, E. C., Llopis, M. M., & Sandoval, C. V. (2014). La Eficiencia en los Sistemas de Distribución: Revisión sobre la gestión del agua no registrada. *Aquae Papers*.

Pedroza González, E., & Hinojosa Cuéllar, G. A. (2013). *Manejo y distribución del agua en distritos de riego: Breve introducción didáctica*.

Pineda, D. (2005). APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA PARA MANEJO EFICIENTE DE AGUA PARA RIEGO Darío Pineda 1. *Fedearroz*, 10.

Rodriguez, H. T. (2015). *Evaluación de las eficiencias de conducción en los canales de derivación de la comisión de usuarios de Sausal, su impacto en la dotación de agua en la distribución* (UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO). Retrieved from http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/2838/TANDAYPAN.

Rubiano, E. Q., Sánchez, L. D., Moreno, D., & Callejas, D. (2015). *Proyecto de uso Eficiente y Ahorro de Agua en Colombia* (Vol. 1).

Rueda, T. E., Vega, P. P., García, C. P., & Tafur, D. V. (1993). *LEY 41 DE 1993* (Vol. 2011, pp. 1–9). Vol. 2011, pp. 1–9.

Ruiz Carmona, V. M., Ojeda Bustamante, W., & Contijoch, M. (2006). Evaluación rápida de una zona de riego típica de Pakistán. *Ingeniería Hidráulica En México*, *21*(3), 43–56.

Satlari, J. G. (2011). *INFILTRACIÓN Y EROSIÓN : SUS EFECTOS SOBRE LA RED DE CANALES A PARTIR DE LA REGULACIÓN DEL RÍO MENDOZA*.

Suárez, D. F. P., Lozano, L. A. C., Sáenz, J. A., Saavedra, W. A., & Aldana, A. A. (2019). *EL SISTEMA DE RIEGO POR MÚLTIPLES ENTRADAS (MIRI)*. *67*, 10–21.

Umaya, I. (2017). Eficiencia de conducción del sistema de riego del embalse las pirquitas en la provincia de Catamarca, Argentina. *Revista Estudios Ambientales*, *5 No.1*, 48–60. Retrieved from http://www.albayan.ae.

Vázquez, M. M. D., González, E. N. E., Esqueda, H. E., Gaytán, J. L. I., & Viramontes, S. M. (1998). *Evaluación social del proyecto de mejoramiento del sistema de conducción secundario del distrito de riego 001 pabellón, aguascalientes*.

Villón, M. (2005). Estructuras hidráulicas. In *Diseño de Estructuras Hidráulicas*.

Yupanqui, A. J. A., & Durand, E. B. (2014). *Determinación de la eficiencia de conducción en el sistema de riego del canal de derivación Cartavio, empresa Casa Grande - Cartavio*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.

Zamudio, G. C. (2018). *Un análisis de la eficiencia de conducción en canales de irrigación para zonas Altoandinas caso: Turuco, del distrito de Bellavista, provincia de Jaén - Cajamarca*.

ANEXOS

Anexo 1. Datos meteorológicos IDEAM (estación Aeropuerto Benito Salas de Neiva)

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)

FECHA DE PROCESO: 2019/11/15 ESTACION: 21115020 APTO BENITO SALAS

LATITUD	0256 N	TIPO EST	SS	DEPTO	HUILA	FECHA-INSTALACION	1930-ENE
LONGITUD	7517 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	NEIVA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0439 m.s.n.m	REGIONAL	04 HUILA-CAQUET	CORRIENTE	LAS CEIBAS		

A#O	EST	ENT	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *	VR ANUAL *
1937	4	08							26.3	27.3	27.1	25.7	26.2	26.2	26.5 3
1938	4	08	27.2	26.8		25.6	28.0	27.2	26.2	26.3	27.6	26.7	25.9	26.4	26.7 3
1939	4	08			26.9	27.0		28.3							27.4 3
1940	4	08		27.4	28.7	27.1	26.6	27.0	27.7	27.9	28.7	27.6	26.4	27.0	27.5 3
1941	4	08	26.8	27.8	27.8	27.2	28.2	28.9	28.9	29.0	28.6	28.3	27.7	27.4	28.1
1942	4	08	27.7	28.0	28.0	27.0	26.8	27.3	28.2	28.1	28.2	27.5	26.6	25.4	27.4
1943	4	08	25.9	25.7	25.9	25.9	26.3	27.0	27.1		28.3	26.8	26.7	26.0	26.5 3
1952	4	08									28.7	27.7	26.3	26.4	27.3 3
1953	4	08	26.3	26.5	26.8	26.5	25.8	26.5	27.7	28.8	28.3	26.1	25.9	25.8	26.8
1954	4	08	25.9	25.6	25.6	24.5	24.9	24.7	25.0	25.5	26.3				25.3 3
1955	4	08	24.0	24.6	23.8	27.0	27.1	25.8	25.3	26.9	26.1	24.5	24.3	23.9	25.3
1964	4	08	28.2	28.9	29.7 3	28.4 8	28.0	27.1 3	27.0 3	28.2	28.5 8	27.6 8	26.9 8	27.2 3	28.0 3
1965	4	08	27.7	29.4	29.9	27.2	26.9	28.1 3	28.3 3	28.8	29.8	28.3	27.3	26.9	28.2 3
1966	4	08	29.0	30.3	28.8	28.4	28.7	29.4	28.6	29.0 8	29.0 8	27.9	27.6	27.6	28.7
1967	4	08	27.5	28.0	28.2	28.3	28.2	27.6	28.2	29.0	29.6	28.8	28.4	29.7	28.5
1968	4	08	27.6	27.4	27.4	27.6	27.8	27.4	27.8	29.3	28.4	27.6	26.9	27.2 3	27.7 3
1969	2	01	27.5	28.1	29.1	27.1	28.7	28.8	28.8	28.8	29.5	27.8 8	26.4	26.9	28.1
1970	2	01	28.0	28.1	27.4	27.4	26.5	27.5	28.1	28.4	28.0	26.7	25.8	26.5	27.4
1971	1	01	26.2	25.9	26.7	26.4	26.2	26.8	28.1	28.1	28.4	27.8	26.0	26.4	26.9
1972	2	01	26.3	27.4	26.5	27.1	27.8	27.7	28.9	28.9	29.3	28.6	27.2	27.8	27.8
1973	2	01	29.4	30.0	29.6	28.0	27.8	27.6	28.3	28.0	27.6	27.6	27.0	26.5	28.1
1974	2	01	26.8	26.0	27.4	27.1	27.2	27.5	27.8	29.1	28.1	27.4	26.9	27.3	27.4
1975	2	01	28.6 3	27.8	28.1	28.1	26.9	26.9	26.9	28.0	28.0	26.9	26.2	25.6	27.3 3
1976	2	01	27.0	27.0	26.5	26.6	26.9	27.5	28.0	28.8	29.3	27.3	26.7	26.8	27.4
1977	2	01	28.5	28.5	29.7	27.0	27.3	27.2	29.0	29.1	29.1	27.9	26.7	28.3	28.2
1978	2	01	28.5	29.3	28.2	26.5	27.1	27.2	28.6	28.6	29.0	27.8	27.2	26.9	27.9
1979	2	01	27.2	28.2	27.1	28.2 3	27.2	27.1	28.1	28.1	27.6	27.3	26.2	27.1	27.5 3
1980	2	01	28.0 3	27.9 3	28.7	27.9	28.4	28.2	28.8	29.4	29.7	27.7	26.6	26.2	28.1 3
1981	2	01	27.2	28.6	28.3	27.4	26.6	27.2	27.7	28.9	28.9	27.8	26.8	27.0	27.7
1982	2	01	27.0	27.1	27.0	26.7	27.0	28.2	28.0	28.9	29.2	27.0	26.9	26.9	27.5
1983	2	01	28.7	28.8	28.9	27.5	28.1	28.5	29.1	29.5	30.0	28.4	27.4	26.3	28.4
1984	2	01	26.0	26.7	27.8	26.8	26.7	26.9 3	26.9	28.0	27.4	26.8 3	26.1	27.2 3	26.9 3
1985	2	01	28.5 3	29.1	28.5	28.1	27.6	27.8	28.1	28.4	29.5	28.1	26.8 3	27.4	28.2 3
1986	2	01	28.1	27.2	26.3	27.6	28.6 3	27.3	28.2 3	29.7 3	29.7 3	26.7 3	26.8 3	28.0	27.9 3
1987	2	01	28.7 3	29.2	29.1	28.0	27.8	29.1	29.1	29.3	29.6	27.7	27.3	28.0	28.6 3
1988	1	01	29.1	28.8	28.8 3	27.4	28.3	27.6	27.6	28.6	28.4	26.2 3	26.1	25.7	27.7 3
1989	1	01	26.9 3	26.7	26.3	27.2	26.9	27.3	27.6	28.0	28.2	27.7	27.8	28.1	27.4 3
1990	1	01	27.7	26.9	27.8	27.1	27.6	28.3	28.2	29.3	29.9	27.2	27.0	26.7	27.8
1991	2	01	27.9	28.0	27.6	27.5	27.5	28.2	27.9	27.9	29.3	28.8	26.6	26.8	27.8
1992	2	01	28.0 3	28.5	29.1	28.1	28.7	29.6	28.4	29.6	29.3	29.0	26.9	26.8	28.5 3
1993	2	01	27.4	27.5 3	26.3	27.2	27.0	28.1	27.7	29.1	28.9	27.8	26.3	26.9	27.5 3
1994	2	01	26.7	27.1	26.4	26.9	27.0	27.6	28.0	28.5	29.0	27.1	26.4	27.3	27.3
1995	2	01	29.0	28.8	27.3	27.2	27.3	27.9	28.0	28.4	29.7	27.7	26.7	26.4	27.9
1996	2	01	26.8	26.3	26.8	27.5	27.2	27.3	27.4	28.5	29.3	27.1	27.1	26.8	27.3
1997	2	01	26.5	27.9	28.4	27.4	28.0	27.8	28.4	29.6	30.1	29.7	28.3	28.8	28.4
1998	1	01	30.2 3	30.8	28.8	28.3	28.2	28.5	28.2	28.9	29.3	29.0	26.7	26.7	28.6 3
1999	1	01	26.9	26.3	27.4	27.0	26.9	27.1	28.0	28.9	27.4	26.5	26.5	26.6	27.1
2000	1	01	27.2	26.6	26.4	26.2	26.5	27.4	28.3	28.6	27.8	28.0	27.2	27.0	27.3
2001	1	01	27.7	28.9	27.6	28.3	27.8	27.9	28.4	29.4	29.0 3	29.8	27.2	27.0	28.3 3
2002	1	01	28.7 3	28.6	28.4	27.2	27.4	27.0	28.2	29.2	29.5	29.1	27.7	28.1	28.3 3
2003	1	01	29.1	29.2	28.1	27.2	28.4	28.0	28.7	29.9	29.2	28.1	26.8 3	27.3	28.3 3
2004	1	01	28.1 3	28.5	29.2	27.3	27.6	28.4	28.1	29.4	29.2	27.7	26.8	27.1	28.1 3
2005	1	01	27.8	28.2	27.9	28.0	27.3	28.6	28.7	29.5 3	29.3	27.2	27.0	26.6	28.0 3
2006	1	01	27.1	28.1	26.9	26.8	28.3	27.7	28.4	29.5	29.6	28.4	26.5	26.9	27.9
2007	1	01	28.8	29.3	28.0	26.9	27.1	26.8	28.8	28.2	29.5	27.0	26.6	26.4	27.8
2008	1	01	27.0	27.4	26.6	26.4	26.5	27.1	27.7	27.8	27.7	26.8	26.0	26.7	27.0
2009	1	01	27.0	27.4	26.4	26.9	27.4	28.1	28.5	29.0	29.9	28.7	27.8	28.2	27.9
2010	1	01	29.8	30.5	29.4	28.3	27.8	26.8	27.1	28.8 3	27.8	27.2	25.9	26.0	28.0 3
2011	1	01	27.6	26.8	26.4	26.3	26.8	26.9	27.6	29.2	28.8	27.4	26.6	26.6	27.3
2012	1	01	27.3	28.0	27.4	26.8	28.2	29.1	28.7	29.1	29.9	28.0	27.0	26.9	28.0
2013	1	01	28.4	27.3	27.8	28.9	27.0	28.6	28.4	28.8	29.2	28.8	26.7	27.0	28.1
2014	1	01	28.2	28.5	27.5	28.8	27.9	28.4	29.6	29.0	30.1	28.9	27.5		28.6 3
MEDIOS			27.6	27.9	27.7	27.3	27.4	27.7	28.0	28.7	28.8	27.7	26.8	26.9	27.7
MAXIMOS			30.2	30.8	29.9	28.9	28.7	29.6	29.6	29.9	30.1	29.8	28.4	29.7	30.8
MINIMOS			24.0	24.6	23.8	24.5	24.9	24.7	25.0	25.5	26.1	24.5	24.3	23.9	23.8

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)

FECHA DE PROCESO: 2019/11/15 ESTACION: 21115020 APTO BENITO SALAS

LATITUD	0256 N	TIPO EST	SS	DEPTO	HUILA	FECHA-INSTALACION	1930-ENE
LONGITUD	7517 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	NEIVA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0439 m.s.n.m	REGIONAL	04 HUILA-CAQUET	CORRIENTE	LAS CEIBAS		

A#O	EST	ENT	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *	VR ANUAL *
1937	4	08							79	76	82	88	85	85	83 3
1938	4	08	86	88		89	92	89	87	85	80	79	82	83	85 3
1939	4	08	78	71	77	83	83	80	78	84					79 3
1940	4	08	74	66	58	65	63	50	50	49	51	62	70	70	61
1941	4	08	66	64	64	70	60	50	47	48	54	58	67	67	60
1942	4	08	60	62	64	67	66	61	48	50	57	65	77	75	63
1943	4	08	73	74	75	70	65	61	49	76	53	69	70	72	67
1952	4	08									48	60	73	74	64 3
1953	4	08	73	73	75	73	71	66	60	56	60	71	76	75	69
1954	4	08	66	73	71	77	74	70	65	61	55	72	74	77	70
1955	4	08	75	76	76	75	72	69	69	53	71	78	78	79	73
1964	4	08	65	65	60 3		68	71 3	65 3	61				70 3	66 3
1965	4	08	64	55	55	71	72	59 3	59 3	56	54	64	71	73	63 3
1966	4	08	63	59	65	69	66	60	60			65	73	72	65 3
1967	4	08	67	71	66	66	69	70	64	57	55	61	67	69	65
1968	4	08	66	71	70	69	65	67	58	53	60	69	73 3	72 3	66 3
1969	2	01	69	69	64	76	67	61	49	54	56				63 3
1970	2	01			70	72	76	67	67	56	59	71	80	74	69 3
1971	2	01	77	76	74	75	75	70	60	58		64	76	73	71 3
1972	2	01	74	69	74	70	70	65	54	54	53	62	74	75	66
1973	2	01	61	57	60	70		68	62	64	66	70	75	74	66 3
1974	2	01	70	76	72	70	68	68	59	56	65	72	75	71	69
1975	2	01	62 3	69	69	69	73	69	62	55	58	67	76	75	67 3
1976	2	01	67	68	74	73	66	63	52	50	52	72	72	72	65
1977	2	01	64	62	56	73	68	66	58	55	54	67	77	66	64
1978	2	01	56	59	67	78	72	64	54	50	61	69	74	75	65
1979	2	01	73	62	78	62 3	71	64	55	59	67	69	78	70	67 3
1980	2	01	67 3	70 3	64	68	63	62	51	48	50	66	74	76	63 3
1981	2	01	68	63	67	70	76	69	56	52	51	66	75	74	66
1982	2	01	72 3	75	76	76	72	60	56	49	53	69	74	75	67 3
1983	2	01	66	64	66	72	68	61 3	53	48	47	60	70	76	63 3
1984	2	01	74	72	67 3	71	74 3	69 3	61	58	62	67 3	72	68 3	68 3
1985	2	01	63 3	52	62	65	68	57	57	57 3	54	65	72 3	72	62 3
1986	2	01	66	67	73	71 3	65 3	64	54 3	49 3	53 3	72 3	73 3	67	65 3
1987	2	01						51 1	47 1	57	55 1	69 1	74 1	69	60 3
1988	1	01	63	65 1	64	70 1	65 1	63 1	60 1	57	59	77 3	79	79 1	67 3
1989	1	01	73 3	71 1	74 1	71 1	70 1	64 3	57	59 1	61	68	70	67 1	67 3
1990	1	01	68 1	74 1	67 1	72	67	59	55	53	51 1	71	76 1	76 1	66
1991	2	01	71	69	73 1	73	73 1	68	62	59 1	60	62 1	77 1	77	69
1992	2	01	69 3	68	64 1	70	66 1	57	56	55	56	60 1	74	77 1	64 3
1993	2	01	72 1	75 3	78	76 1	75	66 1	67 1	57 1	62 1	68 1	80	79 1	71 3
1994	2	01	75 1	73 1	78	75 1	76 1	68 1	59 1	50 1	52 1	70 1	77 1	73 1	69
1995	1	01	60 1	61 1	73 1	72 1	69 1	64 1	61 1	57 1	51 1	68	76 1	76 1	66
1996	1	01	74 1	76 1	75 1	70 1	71 1	64 1	58 1	53 1	55 1	70 1	72 1	72 1	68
1997	1	01	75 1	68 1	64 1	70 1	64 1	65 1	53 1	48 1	51 3	57 1	66 1	65 1	62 3
1998	1	01	60 3	58 1	71	76	71	63	61 1	58	59 1	63	77 1	77 1	66 3
1999	1	01	75 1	76 1	72	73 1	71 1	70	59 1	54 1	66 1	73 1	77 1	76 1	70
2000	1	01	71 1	74 1	76 1	76 1	75 1	67	57	57	65 1	63 1	71 1	72 1	69
2001	1	01	66	61	72	67 1	71	63 1	61 1	51	59 3	59 1	75 1	78 1	65 3
2002	1	01	65 3	70 1	71	75 1	74 1	71 1	65 1	60 1	58 1	61 1	70 1	71 1	68 3
2003	1	01	65 1	66 1	70 1	74 1	68	66 1	57 1	52 1	57 1	67 1	77	74 1	66
2004	1	01	69 3	66 1	65 1	73 1	71 1	61 1	62 1	54 1	58 1	68 1	76	75 1	67 3
2005	1	01	68 1	70 1	70 1	68 1	75 1	65 1	58 1	55 3	58 1	69 1	74 1	77 1	67 3
2006	1	01	75 1	71 1	77 1	77 1	64 1	64	55 1	51 1	53 1	65 1	77 1	76 1	67
2007	1	01	65 1	59 1	68 1	75 1	73 1	69 1	57 1	58 1	53 1	72 1	76 1	77 1	67
2008	1	01	72 1	69 1	75 1	75 1	73 1	68 1	61 1	63 1	63	72 1	80 1	75 1	71
2009	1	01	73 1	72 1	78 1	75	71 1	63 1	59 1	58 1	50 1	61 1	69 1	68 1	66
2010	1	01	56 1	58 1	61 1	70 1	71 1	71 1	68 1	52	62 1	69 1	79 1	77	66
2011	1	01	68 1	74 1	75 1	76 1	73 1	70 1	62 1	53 1	54 1	67 1	76 1	75 1	69
2012	1	01	72 1	67 1	70 1	73 1	64 1	54 1	53	49 1	47 1	66 1	76 1	75 1	64
2013	1	01	67 1	73 1	69 1	62	75 1	60 1	55 1	54 1	52 1	60 1	75 1	74 1	65
2014	1	01	67 1	66 1	72 1	61 3	70 1	61 1	53 1	47 1	50 1	58 1	72 1		62 3
MEDIOS			69	68	70	72	70	65	59	56	57	67	75	74	67
MAXIMOS			86	88	78	89	92	89	87	85	82	88	85	85	92
MINIMOS			56	52	55	61	60	50	47	47	47	57	66	65	47

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL VALORES TOTALES MENSUALES DE EVAPORACION (mms)

FECHA DE PROCESO: 2019/11/15 ESTACION: 21115020 APTO BENITO SALAS

LATITUD	0256 N	TIPO EST	SS	DEPTO HUILA	FECHA-INSTALACION 1930-ENE
LONGITUD	7517 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO NEIVA	FECHA-SUSPENSION
ELEVACION	0439 m.s.n.m	REGIONAL	04 HUILA-CAQUET	CORRIENTE LAS CEIBAS	

AÑO	EST	ENT	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *	VR ANUAL *
1971	2	01		127.5	154.4	159.5	156.1	145.2					129.3	123.7	995.7 3
1972	2	01	139.3		130.9	126.1	150.6	141.3	220.8	179.3	192.2	152.9	132.3	138.6	1704.3 3
1973	2	01	174.6	166.3	202.4				140.2		124.3			72.4 3	880.2 3
1974	2	01	122.7	84.6	108.7	110.6	124.9	115.5	112.7	190.1	137.0	99.7	109.1		1315.6 3
1975	2	01	106.6		60.1	168.9	148.8	162.9	209.7	216.4	179.6	171.4	124.4	141.4	1690.2 3
1976	2	01	154.2	139.4	149.5	149.8	173.3	171.2	276.0	249.4	215.4	166.0	149.9	141.2	2135.3
1977	2	01	175.6	158.5	223.8	142.2	148.9	177.9	222.6	147.3	200.4	174.8	136.0	181.5	2089.5
1978	2	01	184.6 3	173.4 3	173.8 3		150.3 3	172.6 3	229.5	240.5 3	219.9 3	179.5	145.0 3	143.2 3	2012.3 3
1979	2	01	141.9 3	126.9 3	124.7 3	166.2 3	155.7 3	193.4 3	218.4 3	210.0	172.7	133.4 3	107.3 3	144.6	1895.2 3
1980	2	01	147.1	140.1 3	169.2	168.9	184.5	188.3 3	249.1	220.1 3	257.2	157.3 3	134.5 3	131.3 3	2147.6 3
1981	2	01	160.8 3	165.2 3	175.7 3	153.8 3	138.7 3	153.3 3	209.8 3	223.0	206.2 3	178.7 3	130.1 3	146.9 3	2042.2 3
1982	2	01	139.0 3	130.5 3	136.1 3	144.4 3	154.0 3	196.6 3	222.0	271.6	224.7	151.5 3	137.9 3	143.2	2051.5 3
1983	2	01	170.9 3	158.0	176.9	143.5 3	164.7 3	182.8	227.1 3	272.6	252.0 3	204.3 3	163.2 3	140.4 3	2256.4 3
1984	2	01	114.6 3	137.7 3	146.5 3	133.7 3	122.2 3	146.5 3	193.5 3	202.6 3	171.4 3	139.1 3	119.3 3	150.9	1778.0 3
1985	2	01	205.0	194.8 3	171.9 3	169.7 3	160.4 3	225.1	229.5 3	226.5	216.7 3	179.4 3	150.8 3	144.9 3	2274.7 3
1986	2	01	152.2 3	145.8 3	120.3 3	143.0 3	194.1	146.9 3	206.3 3	240.8 3	238.9 3	138.3 3	119.5 3	148.9	1995.0 3
1987	2	01	174.6	174.7 3	181.6 3	153.7 3	188.0 3	221.0	222.0	228.6 3	228.2	172.7	127.2	139.1 3	2211.4 3
1988	1	01		158.4	168.6	138.8	172.9	190.2 3	214.7 3	231.6	197.0 3	152.2 3	128.7	133.2	1886.3 3
1989	1	01	145.7	153.4	161.0	150.3	173.8	153.6	217.5	214.8	203.6	205.7	176.3	180.2	2135.9
1990	1	01	158.4	128.6	171.1	146.5	169.5	188.9	223.5	256.1	249.1	151.4 3	142.6	133.1	2118.8 3
1991	1	01	160.1 3	146.5	175.1 3	157.6	155.7 3	167.3	193.2	215.3 3	224.7	175.2	111.9	117.1	1999.7 3
1992	1	01	147.7 3	139.3	179.7	160.8	131.6	189.9	240.8	226.3 3	162.8	187.2	106.6	117.1	1989.8 3
1993	1	01	158.2	136.2 3	138.0	148.3	158.6	190.3	178.2	209.4	183.4	175.0 3	111.9	134.7 3	1922.2 3
1995	1	01	274.1 3	170.4	151.1	139.4	164.7	161.8	194.5	220.3	235.7	193.2	140.8	136.8	2182.8 3
1996	1	01	117.3	116.3	151.8	153.9	157.5	183.3	184.4	216.7	228.0	169.7	144.9	138.4	1962.2
1997	1	01	149.0	148.2	170.6	166.6	181.8	168.6	226.8	256.8	211.8	206.8	150.3	182.9	2220.2
1998	1	01	175.5	193.5	151.7	139.1	166.6	199.5	185.0	193.8	204.9		154.5	143.8	1907.9 3
1999	1	01	133.1	95.1	168.4	153.1	151.6	154.9	208.7	232.7	158.3	155.8	128.4	142.5	1882.6
2000	1	01	177.9	138.6	138.9	128.2	143.1	165.6	217.1	224.8	179.1	191.7	154.2	143.8	2003.0
2001	1	01	168.8	177.1	168.9	164.9	161.5	196.9	205.1	259.5	195.7	219.0	142.7	125.9	2186.0
2002	1	01	169.8	152.7	174.4	160.5	144.4	168.5	186.4	228.9	230.1	218.2	164.7	147.7	2146.3
2003	1	01	172.9	181.2	173.3	143.4	183.3	161.3	234.9	261.0	225.2	186.5	148.6	148.7	2220.3
2004	1	01	174.4	161.5	190.5	151.9	156.5	217.0	207.8	275.3	228.2	191.5	160.7	161.0	2276.3
2005	1	01	158.4	147.7 3	164.1	164.0	140.7	176.4	230.6	236.9	219.4	163.7	144.9	145.8	2092.6 3
2006	1	01	164.4	142.4	124.9	142.0	194.0	176.8	220.6	255.1	225.3	178.2	137.7	136.9	2098.3
2007	1	01	179.9	190.4	164.5	133.7	136.0	152.8	233.4	215.8	240.6	160.2	143.9	138.4	2089.6
2008	1	01	150.1	164.7	148.7	136.6 3	154.5	147.4	189.9	206.4	171.9	144.7	105.9	141.4	1862.2 3
2009	1	01	148.7	142.8	134.8	129.5	152.6	172.2	203.5	219.6	236.5	189.0	154.7	170.2	2054.1
2010	1	01	196.7	174.2	184.3	167.9	157.3	139.1	154.8	214.9	158.4	153.6	99.2	125.9	1926.3
2011	1	01	171.5	119.3	137.2	130.0	141.3	144.7	173.0	218.0	202.1	166.6	141.9	138.9	1884.5
2012	1	01	149.4	158.9	158.8 3	140.5	174.0	206.0	224.9	248.5	238.7	173.6	126.0	131.6 3	2130.9 3
2013	1	01	142.4	121.3	142.7	173.1	112.0	178.2	210.2	223.1	223.7	197.9	134.0	135.2	1993.8
2014	1	01	157.8	149.3	144.7	177.4	153.4	176.3	228.4	266.8	236.3	214.2	142.2		2046.8 3
MEDIOS			160.1	149.5	156.8	149.6	157.2	173.0	209.0	228.0	207.3	173.0	136.0	141.1	2040.8
MAXIMOS			274.1	194.8	223.8	177.4	194.1	225.1	276.0	275.3	257.2	219.0	176.3	182.9	276.0

Anexo 2. Información pluviométrica Estación Climatológica distrito de riego El Juncal.

DISTRITO DE ADECUACIÓN DE TIERRAS DE MEDIANA ESCALA EL JUNCAL
DATOS HISTÓRICOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN
ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA D.R. EL JUNCAL

LOCALIZACIÓN: D.R. El Juncal
COORDENADS:
PERIODO: 2009 - 2020

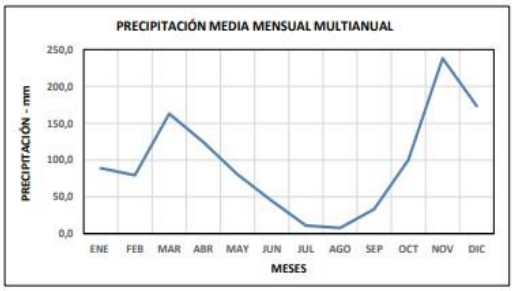
DATOS PLUVIOMETRICOS DE DISTRITO DE RIEGO EL JUNCAL

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2009	27,0	36,0	267,0	163,0	109,0	18,0	0,0	10,0	0,0	187,0	198,0	164,0	1.179,0
2010	73,0	42,0	67,0	198,0	61,0	97,0	0,0	0,0	63,0	214,0	363,0	215,0	1.393,0
2011	92,0	182,0	320,0	242,0	137,0	151,0	61,4	7,2	50,4	90,6	310,5	231,4	1.875,5
2012	133,0	11,3	119,0	118,0	22,8	1,6	25,0	0,0	9,0	91,4	299,0	107,0	937,1
2013	22,6	94,2	35,8	83,2	106,8	8,2	0,6	45,0	15,0	101,0	201,5	97,0	810,9
2014	92,5	52,0	134,0	27,0	80,0	21,6	8,0	0,0	0,0	73,0	198,0	192,0	878,1
2015	52,4	68,6	147,0	45,5	11,2	4,5	3,6	0,0	0,0	32,0	121,2	23,2	509,2
2016	185,5	39,0	65,0	125,5	100,0	37,2	13,6	9,0	107,0	58,0	242,2	275,0	1.257,0
2017	86,4	171,6	432,8	85,8	74,8	26,0	2,6	11,2	8,0	70,2	249,4	250,0	1.468,8
2018	81,2	62,4	151,8	101,8	96,4	70,2	2,4	2,0	19,0	145,3	138,0	190,0	1.060,5
2019	133,0	115,0	53,0	179,2	86,4	57,6	5,2	0,4	95,0	39,0	298,0	160,6	1.222,4
2020	46,0	139,0	102,4	27,2	96,2								410,8
PROMEDIO	89,0	79,5	162,9	124,5	80,5	44,8	11,1	7,7	33,3	100,1	238,1	173,2	1.144,7

MES	mm
ENE	89,0
FEB	79,5
MAR	162,9
ABR	124,5
MAY	80,5
JUN	44,8
JUL	11,1
AGO	7,7
SEP	33,3
OCT	100,1
NOV	238,1
DIC	173,2
TOTAL	1.144,7

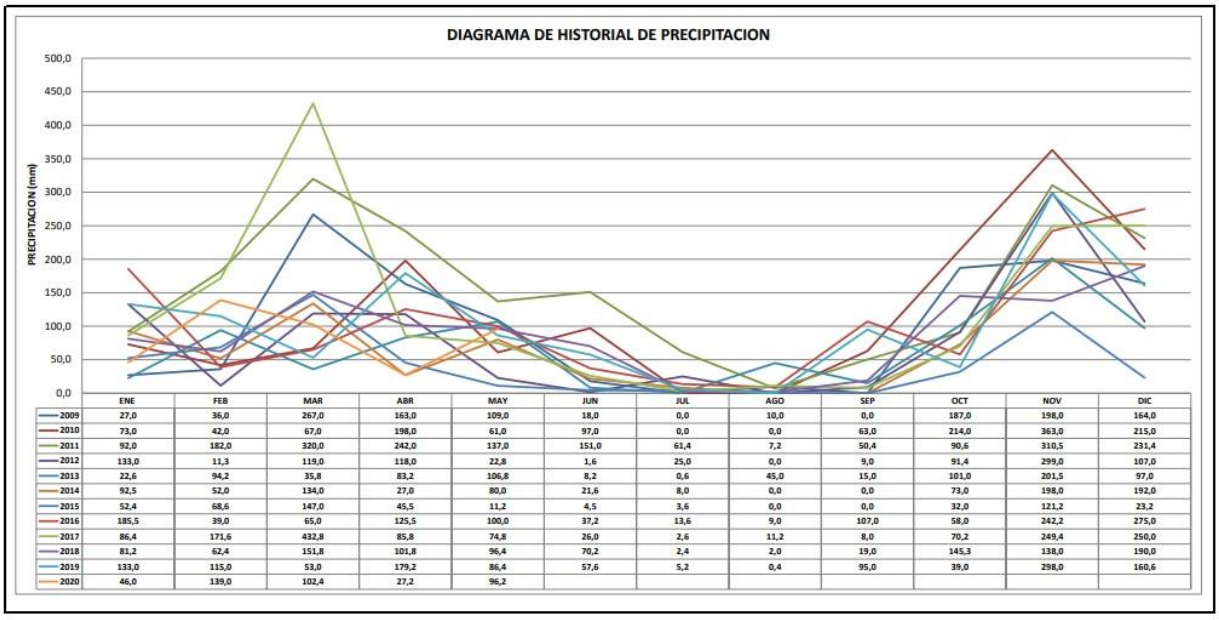
PERIODO SECO		PERIODO LLUVIOSO	
PRIMERO	SEGUNDO	PRIMERO	SEGUNDO
168,4	97,0	367,9	511,4

% Periodo Lluvioso	76,8
% Lluvias Periodo 1	32,1
% Lluvias Periodo 2	44,7
% Periodo Seco	23,2
% Periodo Seco 1	14,7
% Periodo Seco 2	8,5



DISTRITO DE ADECUACIÓN DE TIERRAS DE MEDIANA ESCALA EL JUNCAL
DATOS HISTÓRICOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN
ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA D.R. EL JUNCAL

LOCALIZACIÓN: D.R. El Juncal
COORDENADS:
PERIODO: 2009 - 2020



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2009	27,0	36,0	267,0	163,0	109,0	18,0	0,0	10,0	0,0	187,0	198,0	164,0
2010	73,0	42,0	67,0	198,0	61,0	97,0	0,0	0,0	63,0	214,0	363,0	215,0
2011	92,0	182,0	320,0	242,0	137,0	151,0	61,4	7,2	50,4	90,6	310,5	231,4
2012	133,0	11,3	119,0	118,0	22,8	1,6	25,0	0,0	9,0	91,4	299,0	107,0
2013	22,6	94,2	35,8	83,2	106,8	8,2	0,6	45,0	15,0	101,0	201,5	97,0
2014	92,5	52,0	134,0	27,0	80,0	21,6	8,0	0,0	0,0	73,0	198,0	192,0
2015	52,4	68,6	147,0	45,5	11,2	4,5	3,6	0,0	0,0	32,0	121,2	23,2
2016	185,5	39,0	65,0	125,5	100,0	37,2	13,6	9,0	107,0	58,0	242,2	275,0
2017	86,4	171,6	432,8	85,8	74,8	26,0	2,6	11,2	8,0	70,2	249,4	250,0
2018	81,2	62,4	151,8	101,8	96,4	70,2	2,4	2,0	19,0	145,3	138,0	190,0
2019	133,0	115,0	53,0	179,2	86,4	57,6	5,2	0,4	95,0	39,0	298,0	160,6
2020	46,0	139,0	102,4	27,2	96,2							

Anexo 3. Registro de información diaria de niveles del agua

Se tomó información diaria de los niveles del agua en los puntos de control, la cual después de ser decretada la cuarentena y el aislamiento social, estuvo a cargo de personal auxiliar y la jefatura de operación del distrito, hasta el día 18 de abril de 2020. Las tablas siguientes contienen dicha información.

Tabla 17. **Mes enero, lectura diaria niveles del agua en metros**

Pto. Ctrl. / Fecha	Canal Sardinata	Lateral 2-1C	Lateral 2-2C	Lateral 2-3C	Lateral 2-4C	Lateral 2-5C	Lateral 2-6C	Lateral 2-7C
20-01-2020	0,71	0,32	0,17	0,17	0,00	0,00	0,13	0,11
21-01-2020	0,83	0,27	0,20	0,23	0,18	0,00	0,14	0,21
22-01-2020	0,97	0,34	0,10	0,21	0,43	0,25	0,15	0,36
23-01-2020	0,96	0,40	0,18	0,10	0,14	0,26	0,17	0,41
24-01-2020	0,72	0,38	0,18	0,02	0,00	0,09	0,14	0,10
25-01-2020	0,22	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00	0,11	0,02
26-01-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27-01-2020	0,47	0,34	0,16	0,14	0,31	0,00	0,00	0,00
28-01-2020	0,57	0,51	0,18	0,02	0,44	0,00	0,00	0,06
29-01-2020	0,75	0,25	0,49	0,22	0,07	0,00	0,09	0,06
30-01-2020	0,76	0,38	0,17	0,02	0,00	0,00	0,10	0,05
31-01-2020	0,65	0,45	0,11	0,11	0,00	0,00	0,10	0,04

Tabla 18. **Mes febrero, lectura diaria niveles del agua en metros**

Pto. Ctrl. / Fecha	Canal Sardinata	Lateral 2-1C	Lateral 2-2C	Lateral 2-3C	Lateral 2-4C	Lateral 2-5C	Lateral 2-6C	Lateral 2-7C
01-02-2020	0,34	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
02-02-2020	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03-02-2020	0,55	0,08	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,03
04-02-2020	0,94	0,18	0,09	0,05	0,2	0,00	0,04	0,07
05-02-2020	1,04	0,19	0.09	0,02	0,29	0,00	0,15	0,08
06-02-2020	0,91	0,18	0,03	0,00	0,16	0,02	0,26	0,09
07-02-2020	0,81	0,31	0,01	0,01	0,09	0,04	O,26	0,08
08-02-2020	0,32	0,09	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01
09-02-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10-02-2020	0,73	0,34	0,04	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01

11-02-2020	0,96	0,69	0,09	0,03	0,11	0,00	0,07	0,13
12-02-2020	1,06	0,71	0,04	0,03	0,15	0,02	0,11	0,22
13-02-2020	0,97	0,73	0,01	0,04	0,05	0,04	0,11	0,17
14-02-2020	0,85	0,51	0,01	0,03	0,00	0,04	0,10	0,00
15-02-2020	0,29	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
16-02-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17-02-2020	0,79	0,14	0,04	0,01	0,00	0,01	0,08	0,01
18-02-2020	1,05	0,32	0,09	0,03	0,03	0,01	0,22	0,06
19-02-2020	1,12	0,38	0,06	0,03	0,06	0,01	0,26	0,18
20-02-2020	1,14	0,46	0,01	0,00	0,12	0,09	0,48	0,36
21-02-2020	1,02	0,44	0,05	0,01	0,01	0,13	0,45	0,32
22-02-2020	0,38	0,04	0,01	0,00	0,00	0,02	0,05	0,04
23-02-2020	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24-02-2020	0,01	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25-02-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26-02-2020	0,01	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27-02-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28-02-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29-02-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 19. **Mes marzo, lectura diaria de niveles del agua en metros**

Pto. Ctrl. / Fecha	Canal Sardinata	Lateral 2-1C	Lateral 2-2C	Lateral 2-3C	Lateral 2-4C	Lateral 2-5C	Lateral 2-6C	Lateral 2-7C
01-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03-03-2020	0,22	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04-03-2020	0,75	0,46	0,02	0,03	0,00	0,00	0,04	0,07
05-03-2020	0,89	0,69	0,04	0,02	0,00	0,00	0,11	0,09
06-03-2020	0,80	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,02
07-03-2020	0,41	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
08-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09-03-2020	0,58	0,15	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04
10-03-2020	0,83	0,21	0,04	0,00	0,02	0,12	0,00	0,20
11-03-2020	0,87	0,12	0,03	0,03	0,02	0,19	0,00	0,37
12-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
13-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16-03-2020	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17-03-2020	0,41	0,06	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
18-03-2020	0,70	0,33	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
19-03-2020	0,67	0,31	0,04	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02
20-03-2020	0,61	0,38	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,02

21-03-2020	0,22	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24-03-2020	0,51	0,08	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04
25-03-2020	0,72	0,16	0,04	0,00	0,04	0,03	0,05	0,22
26-03-2020	0,76	0,16	0,04	0,00	0,04	0,01	0,00	0,57
27-03-2020	0,63	0,14	0,04	0,00	0,04	0,01	0,00	0,57
28-03-2020	0,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
29-03-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30-03-2020	0,68	0,02	0,04	0,02	0,01	0,05	0,02	0,11
31-03-2020	0,91	0,17	0,09	0,04	0,06	0,11	0,04	0,38

Tabla 20. **Mes abril, lectura diaria de niveles del agua en metros**

Pto. Ctrl. / Fecha	Canal Sardinata	Lateral 2-1C	Lateral 2-2C	Lateral 2-3C	Lateral 2-4C	Lateral 2-5C	Lateral 2-6C	Lateral 2-7C
01-04-2020	1,1	0,41	0,09	0,00	0,05	0,02	0,04	0,25
02-04-2020	0,9	0,44	0,09	0,00	0,06	0,00	0,01	0,09
03-04-2020	0,82	0,43	0,09	0,00	0,03	0,00	0,01	0,06
04-04-2020	0,29	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
05-04-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06-04-2020	0,64	0,08	0,01	0,01	0,00	0,05	0,01	0,02
07-04-2020	0,95	0,16	0,07	0,04	0,00	0,11	0,10	0,23
08-04-2020	1,01	0,28	0,09	0,03	0,02	0,05	0,06	0,28
09-04-2020	1,01	0,33	0,09	0,03	0,04	0,03	0,04	0,28
10-04-2020	1,00	0,33	0,09	0,03	0,04	0,03	0,03	0,29
11-04-2020	0,37	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
12-04-2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13-04-2020	0,89	0,20	0,05	0,04	0,06	0,01	0,03	0,02
14-04-2020	1,12	0,42	0,09	0,09	0,13	0,03	0,07	0,18
15-04-2020	1,18	0,45	0,09	0,09	0,09	0,00	0,11	0,34
16-04-2020	1,23	0,61	0,08	0,04	0,01	0,09	0,13	0,57
17-04-2020	1,11	0,70	0,01	0,04	0,05	0,06	0,14	0,51
18-04-2020	0,37	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05

Anexo 4. Registro de caudales diarios extraídos y servidos

Las siguientes tablas contiene los caudales estimados con base en la información de los niveles del agua observados en los puntos de control, los cuales fueron extraídos del canal de Sardinata y entregados en los puntos de control de los canales laterales y de estos a los predios, información esta última suministrada por la jefatura como resultado de la operación de cada periodo.

Tabla 21. **Mes enero, caudales diarios extraídos y servidos (m³/s)**

	Caudales extraídos									Caudales servidos
Pto. Ctrl. / Fecha	Canal Sardinata	Lateral 2-1C	Lateral 2-2C	Lateral 2-3C	Lateral 2-4C	Lateral 2-5C	Lateral 2-6C	Lateral 2-7C	Tomas 2C	Predios
20-01-2020	0,351	0,05212	0,03799	0,02137	0,00000	0,00000	0,01725	0,04319	0,08863	0,184
21-01-2020	0,431	0,04800	0,04120	0,02100	0,02030	0,00000	0,01790	0,05359	0,13650	0,292
22-01-2020	0,529	0,05372	0,02913	0,02100	0,03137	0,02500	0,05009	0,07000	0,13825	0,369
23-01-2020	0,522	0,05827	0,01428	0,01420	0,01790	0,02500	0,05424	0,07500	0,13750	0,356
24-01-2020	0,358	0,05700	0,01428	0,00650	0,00000	0,01500	0,04834	0,03600	0,09388	0,245
25-01-2020	0,075	0,01428	0,00369	0,00000	0,00000	0,00000	0,01587	0,00650	0,02350	0,061
26-01-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
27-01-2020	0,204	0,01963	0,03685	0,01800	0,02664	0,00000	0,00000	0,00000	0,04750	0,108
28-01-2020	0,263	0,02404	0,03909	0,02100	0,03173	0,00000	0,00000	0,01400	0,07500	0,181
29-01-2020	0,377	0,04607	0,02400	0,02100	0,01266	0,00000	0,03947	0,02900	0,12625	0,261
30-01-2020	0,384	0,05679	0,01400	0,00600	0,00000	0,00000	0,04200	0,02600	0,13950	0,262
31-01-2020	0,313	0,06180	0,03100	0,00000	0,00000	0,00000	0,04055	0,02100	0,08300	0,216

Tabla 22. **Mes febrero, caudales diarios extraídos y servidos (m³/s)**

	Caudales extraídos									Caudales servidos
Pto. Ctrl. / Fecha	Canal Sardinata	Lateral 2-1C	Lateral 2-2C	Lateral 2-3C	Lateral 2-4C	Lateral 2-5C	Lateral 2-6C	Lateral 2-7C	Tomas 2C	Predio
01-02-2020	0,134	0,00920	0,01300	0,00000	0,00000	0,00000	0,00840	0,00700	0,03225	0,063
02-02-2020	0,023	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,01050	0,011
03-02-2020	0,251	0,03650	0,02800	0,01500	0,02000	0,00000	0,00000	0,02100	0,07350	0,173
04-02-2020	0,507	0,05550	0,03800	0,02900	0,05900	0,00000	0,02600	0,03300	0,14438	0,346
05-02-2020	0,579	0,05700	0,03900	0,01800	0,07100	0,00000	0,05100	0,03600	0,17150	0,399
06-02-2020	0,486	0,05600	0,02200	0,00040	0,05200	0,01700	0,06700	0,03800	0,12113	0,335
07-02-2020	0,417	0,07300	0,01450	0,01480	0,03900	0,02500	0,06700	0,03600	0,05875	0,285

08-02-2020	0,123	0,03800	0,00400	0,00600	0,01250	0,00800	0,02300	0,01200	0,01475	0,101
09-02-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
10-02-2020	0,364	0,07700	0,02700	0,01500	0,02040	0,00000	0,01100	0,01300	0,07063	0,208
11-02-2020	0,522	0,10900	0,03900	0,02200	0,04400	0,00000	0,03500	0,04600	0,11700	0,365
12-02-2020	0,594	0,11100	0,02500	0,02400	0,05000	0,01700	0,04300	0,06100	0,12700	0,403
13-02-2020	0,529	0,11200	0,01400	0,02600	0,03000	0,02500	0,04260	0,05300	0,11413	0,366
14-02-2020	0,445	0,09400	0,01440	0,02400	0,00600	0,02530	0,04200	0,03900	0,09800	0,303
15-02-2020	0,108	0,02600	0,00400	0,00700	0,00000	0,00800	0,01440	0,01100	0,02825	0,087
16-02-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
17-02-2020	0,404	0,04900	0,02600	0,01480	0,00000	0,01600	0,03700	0,01010	0,09788	0,226
18-02-2020	0,587	0,07400	0,03900	0,02200	0,02200	0,00960	0,06100	0,03200	0,18450	0,402
19-02-2020	0,639	0,08100	0,03100	0,02200	0,03200	0,01400	0,06700	0,05500	0,18625	0,441
20-02-2020	0,654	0,08900	0,01400	0,00700	0,04600	0,04030	0,09100	0,07800	0,14725	0,456
21-02-2020	0,565	0,08700	0,03100	0,01430	0,00900	0,04910	0,08800	0,07400	0,09925	0,396
22-02-2020	0,155	0,02700	0,01300	0,00800	0,00600	0,01650	0,02860	0,02500	0,02625	0,128
23-02-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
24-02-2020	0,001	0,00098	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,083
25-02-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
26-02-2020	0,001	0,00097	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,083
27-02-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
28-02-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
29-02-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000

Tabla 23. **Mes marzo, caudales diarios extraídos y servidos (m^3/s)**

	Caudales extraídos									**Caudales Servidos**
Pto. Ctrl. Fecha	**Canal Sardinata**	**Lateral 2-1C**	**Lateral 2-2C**	**Lateral 2-3C**	**Lateral 2-4C**	**Lateral 2-5C**	**Lateral 2-6C**	**Lateral 2-7C**	**Tomas 2C**	**Predios**
01-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
02-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
03-03-2020	0,075	0,04700	0,00000	0,00160	0,00000	0,00000	0,00000	0,00080	0,00400	0,044
04-03-2020	0,377	0,08900	0,01700	0,02180	0,00000	0,00000	0,02800	0,03400	0,09838	0,258
05-03-2020	0,472	0,10900	0,02500	0,00700	0,00000	0,00000	0,04300	0,03900	0,13800	0,326
06-03-2020	0,411	0,11000	0,00800	0,00000	0,00000	0,00000	0,04240	0,01900	0,13138	0,282
07-03-2020	0,171	0,09100	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,01440	0,00000	0,05350	0,142
08-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
09-03-2020	0,269	0,05100	0,01700	0,00000	0,00000	0,01900	0,00000	0,02700	0,05738	0,151
10-03-2020	0,431	0,06000	0,02500	0,00000	0,00760	0,04600	0,00000	0,05800	0,13038	0,296
11-03-2020	0,458	0,04600	0,02300	0,00850	0,01600	0,05900	0,00000	0,07900	0,12288	0,317

12-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
13-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
14-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
15-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
16-03-2020	0,014	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00788	0,008
17-03-2020	0,171	0,03200	0,01600	0,00000	0,01380	0,00000	0,00000	0,00000	0,05913	0,111
18-03-2020	0,345	0,07600	0,02500	0,00000	0,02500	0,00000	0,00000	0,01200	0,11100	0,227
19-03-2020	0,325	0,07300	0,02500	0,00000	0,02460	0,01480	0,00000	0,01750	0,08975	0,220
20-03-2020	0,288	0,08100	0,00800	0,00000	0,02430	0,02100	0,01800	0,01750	0,05513	0,199
21-03-2020	0,075	0,02500	0,00000	0,00000	0,00830	0,00740	0,00830	0,00600	0,01400	0,061
22-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
23-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
24-03-2020	0,227	0,03700	0,01600	0,00000	0,01600	0,01350	0,00680	0,02500	0,04113	0,137
25-03-2020	0,358	0,05300	0,02500	0,00000	0,02500	0,02140	0,01040	0,06100	0,07700	0,242
26-03-2020	0,384	0,05200	0,02530	0,00000	0,02530	0,01280	0,00300	0,09800	0,08400	0,265
27-03-2020	0,300	0,04800	0,02560	0,00000	0,02460	0,00000	0,00000	0,07900	0,05775	0,208
28-03-2020	0,075	0,01600	0,00830	0,00000	0,00830	0,00000	0,00000	0,02400	0,01400	0,061
29-03-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
30-03-2020	0,332	0,02100	0,02700	0,01700	0,01200	0,03100	0,01650	0,04300	0,05200	0,192
31-03-2020	0,486	0,05400	0,03900	0,02500	0,03300	0,04600	0,02500	0,08000	0,07800	0,334

Tabla 24. **Mes abril, caudales diarios extraídos y servidos (m³/s)**

	Caudales extraídos									**Caudales servidos**
Pto. Ctrl. / Fecha	**Canal Sardinata**	**Lateral 2-1C**	**Lateral 2-2C**	**Lateral 2-3C**	**Lateral 2-4C**	**Lateral 2-5C**	**Lateral 2-6C**	**Lateral 2-7C**	**Tomas 2C**	**Predio**
01-04-2020	0,624	0,08400	0,03900	0,00700	0,03000	0,01700	0,02500	0,06500	0,12250	0,349
02-04-2020	0,479	0,08700	0,04000	0,00000	0,03300	0,00000	0,01500	0,03800	0,14788	0,330
03-04-2020	0,424	0,08600	0,03900	0,00000	0,02200	0,00000	0,01020	0,03200	0,13300	0,295
04-04-2020	0,108	0,02500	0,01200	0,00000	0,00450	0,00000	0,00350	0,01090	0,03938	0,087
05-04-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
06-04-2020	0,306	0,03700	0,01600	0,01500	0,00000	0,02900	0,01500	0,01900	0,05688	0,168
07-04-2020	0,514	0,05300	0,03400	0,02500	0,00000	0,04500	0,04050	0,06200	0,12900	0,351
08-04-2020	0,558	0,07000	0,03900	0,02400	0,01700	0,02900	0,03300	0,06900	0,14538	0,386
09-04-2020	0,558	0,07500	0,03800	0,02400	0,02500	0,02100	0,02500	0,06900	0,14100	0,380
10-04-2020	0,550	0,07600	0,03900	0,02400	0,02500	0,02200	0,02430	0,07000	0,14100	0,380
11-04-2020	0,149	0,02200	0,01100	0,00700	0,00800	0,00700	0,00800	0,02400	0,04550	0,120
12-04-2020	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
13-04-2020	0,472	0,05900	0,02800	0,02600	0,03300	0,01300	0,02400	0,01800	0,09200	0,264

14-04-2020	0,639	0,08500	0,03900	0,03800	0,04800	0,02100	0,03500	0,05500	0,15875	0,436
15-04-2020	0,684	0,08800	0,03800	0,03800	0,03800	0,00700	0,04400	0,07600	0,17525	0,474
16-04-2020	0,722	0,10300	0,038000	0,02800	0,00900	0,04100	0,04700	0,09800	0,16613	0,493
17-04-2020	0,631	0,11000	0,01100	0,02500	0,03000	0,03300	0,04920	0,09300	0,13650	0,439
18-04-2020	0,149	0,02800	0,00000	0,00700	0,01300	0,00800	0,01400	0,02900	0,03825	0,123

Anexo 5. Cálculos de la evaluación del manejo del agua

Operación y evaluación mes de enero

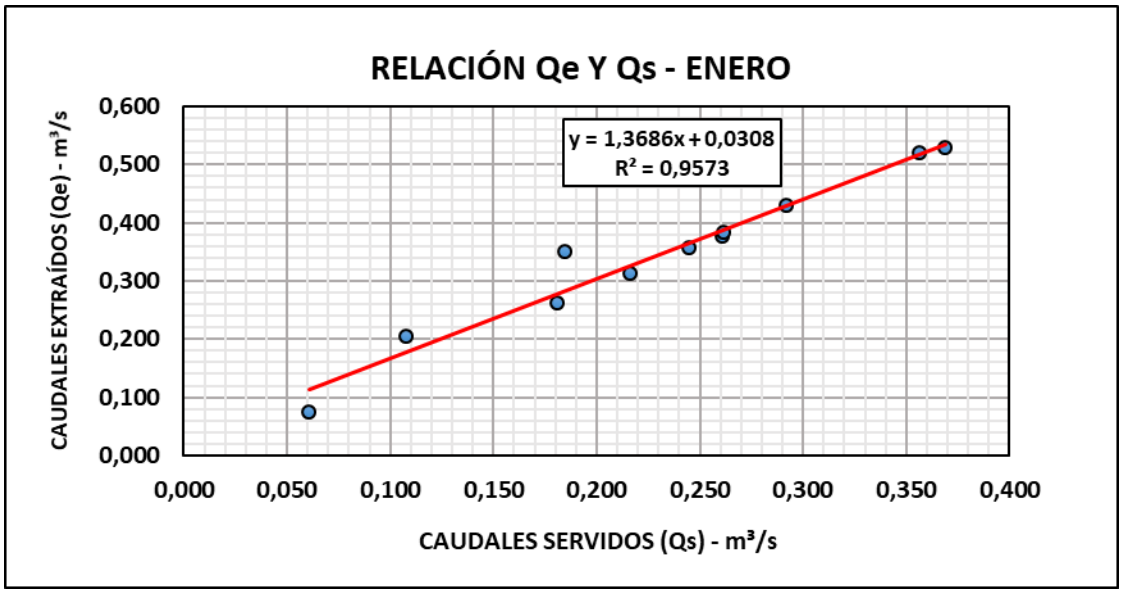


Figura 23. **Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 20 al 31 de enero**

De acuerdo con el gráfico anterior y su correspondiente función lineal, el comportamiento del manejo del agua en dicho periodo aplicado el modelo matemático propuesto, presenta como resultado la siguiente evaluación de eficiencias y pérdidas de agua en el sistema del canal Sardinata:

$$\overline{Qe} = 1.369 * \overline{Qs} + 0.031$$

$\overline{Qe} = 0{,}346 \frac{m^3}{s}$

$\overline{Qs} = 0{,}230 \frac{m^3}{s}$

Las eficiencias obtenidas se hallaron a partir de la ecuación anterior teniendo en cuenta que el modelo plantea que, la eficiencia operacional (Eo) es el inverso del coeficiente (b) de la variable promedio de caudales servidos (Qs), la eficiencia intrínseca (Ei), es la diferencia entre la unidad (1) y el cociente de la división entre el término independiente (a) de la función lineal y el promedio de los caudales extraídos (Qe) en el periodo evaluado; y la eficiencia de conducción total por lo

tanto, es el producto de las dos anteriores eficiencias. Los resultados obtenidos se describen a continuación:

$$Eo = \frac{1}{b} * 100$$

$$Eo = \frac{1}{1{,}369} * 100$$

$$Eo = 73{,}05\%$$

$$Ei = 1 - \frac{a}{Qe} * 100$$

$$Ei = \left(1 - \frac{0{,}031}{0{,}346}\right) * 100$$

$$Ei = 91{,}04\%$$

$$Ec = Eo * Ei$$

$$Ec = 73{,}05\% * 91{,}04\%$$

$$Ec = 0{,}7305 * 0{,}9104 * 100$$

$$Ec = 66{,}50\%$$

La distribución de pérdidas de agua en este periodo con base en el promedio de los caudales extraídos y servidos corresponde a la siguiente expresión:

$$\overline{Qe} = \overline{Qs} + (K\overline{Qs} + a)$$

Donde,

a = 0,031 m^3/s

b = 1+K

b = 1,369

1,369 = 1+ K

K = 1,369 – 1,0

K = 0,369

$$0{,}346 = 0{,}230 + (0{,}369 * 0{,}230 + 0{,}031)$$

$$0{,}346 = 0{,}230 + (0{,}085 + 0{,}031)$$

Las pérdidas intrínsecas de agua (Pi) como ya se dijo, corresponden al término independiente (a) y las pérdidas operacionales o de manejo del agua (kQs), son el producto de la fracción (k) de la unidad por el promedio del caudal servido (Qs) en el periodo, por lo tanto:

$a = Pi$

$KQs = Po$

$a = 0{,}031 \frac{m^3}{s}$

$Po = 0{,}369 * 0{,}230$

$Po = 0{,}085 \frac{m^3}{s}$

Considerando las pérdidas totales de agua, como la suma de las anteriores pérdidas, porcentualmente los valores de cada una de estas son:

$Pt = kQs + a$

$Pt = 0{,}085 + 0{,}031$

$Pt = 0{,}116 \frac{m^3}{s}$

$\%Pi = \frac{0{,}031}{0{,}116} * 100$

$\%Pi = 26{,}72$

$\%Po = \frac{0{,}085}{0{,}116} * 100$

$\%Po = 73{,}28$

Operación y evaluación mes de febrero

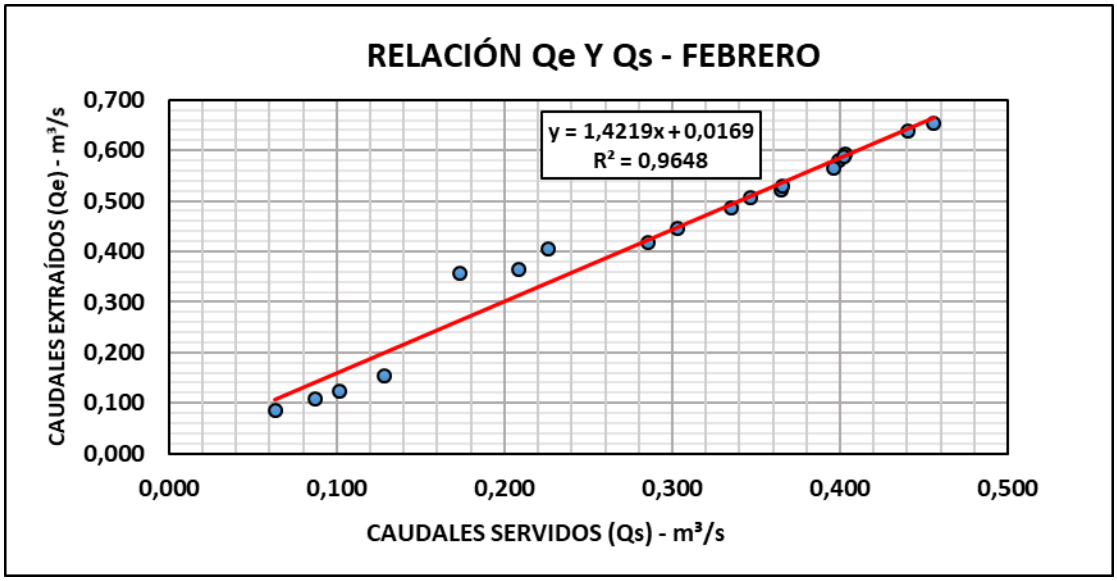


Figura 24. **Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 1 al 29 de febrero**

En este periodo la relación de caudales extraídos y servidos se muestra en la figura 32 con su correspondiente función lineal, el comportamiento del manejo del agua de acuerdo con el modelo matemático aplicado presenta la siguiente evaluación:

$$\overline{Qe} = 1.422 * \overline{Qs} + 0.017$$

$\overline{Qe} = 0{,}427 \frac{m^3}{s}$

$\overline{Qs} = 0{,}289 \frac{m^3}{s}$

Las eficiencias obtenidas se hallaron a partir de la ecuación anterior teniendo en cuenta que el modelo plantea que, la eficiencia operacional (Eo) es el inverso del coeficiente (b) de la variable promedio de caudales servidos (Qs), la eficiencia intrínseca (Ei), es la diferencia entre la unidad

(1) y el cociente de la división entre el término independiente (a) de la función lineal y el promedio de los caudales extraídos (Qe) en el periodo evaluado; y la eficiencia de conducción total por lo tanto, es el producto de las dos anteriores eficiencias. Los resultados son los siguientes:

$$Eo = \frac{1}{b} * 100$$

$$Eo = \frac{1}{1{,}422} * 100$$

$$Eo = 70{,}32\%$$

$$Ei = 1 - \frac{a}{Qe} * 100$$

$$Ei = \left(1 - \frac{0{,}017}{0{,}427}\right) * 100$$

$$Ei = 96{,}02\%$$

$$Ec = Eo * Ei$$

$$Ec = 70{,}32\% * 96{,}02\%$$

$$Ec = 0{,}7032 * 0{,}9602 * 100$$

$$Ec = 67{,}52\%$$

La distribución de pérdidas de agua corresponde a la siguiente expresión:

$$\overline{Qe} = \overline{Qs} + (K\overline{Qs} + a)$$

Donde,

a = 0,008 m³/s

b = 1+K

b = 1,422

1,422 = 1+ K

K = 1,422 – 1,0

K = 0,422

$$0{,}427 = 0{,}289 + (0{,}422 * 0{,}289 + 0{,}017)$$

$$0{,}427 = 0{,}289 + (0{,}122 + 0{,}017)$$

Las pérdidas intrínsecas de agua (Pi) como ya se dijo, corresponden al término independiente (a) y las pérdidas operacionales o de manejo del agua (kQs), son el producto de la fracción (k) de la unidad por el promedio del caudal servido (Qs) en el periodo, por lo tanto:

$a = Pi$

$KQs = Po$

$a = 0{,}017 \frac{m^3}{s}$

$Po = 0{,}422 * 0{,}289$

$Po = 0{,}122 \frac{m^3}{s}$

Considerando las pérdidas totales de agua, como la suma de las anteriores pérdidas, porcentualmente los valores de cada una de estas son:

$Pt = kQs + a$

$Pt = 0{,}122 + 0{,}017$

$Pt = 0{,}139 \frac{m^3}{s}$

$\%Pi = \frac{0{,}017}{0{,}139} * 100$

$\%Pi = 12{,}23$

$\%Po = \frac{0{,}122}{0{,}139} * 100$

$\%Po = 87{,}77$

Operación y evaluación mes de marzo

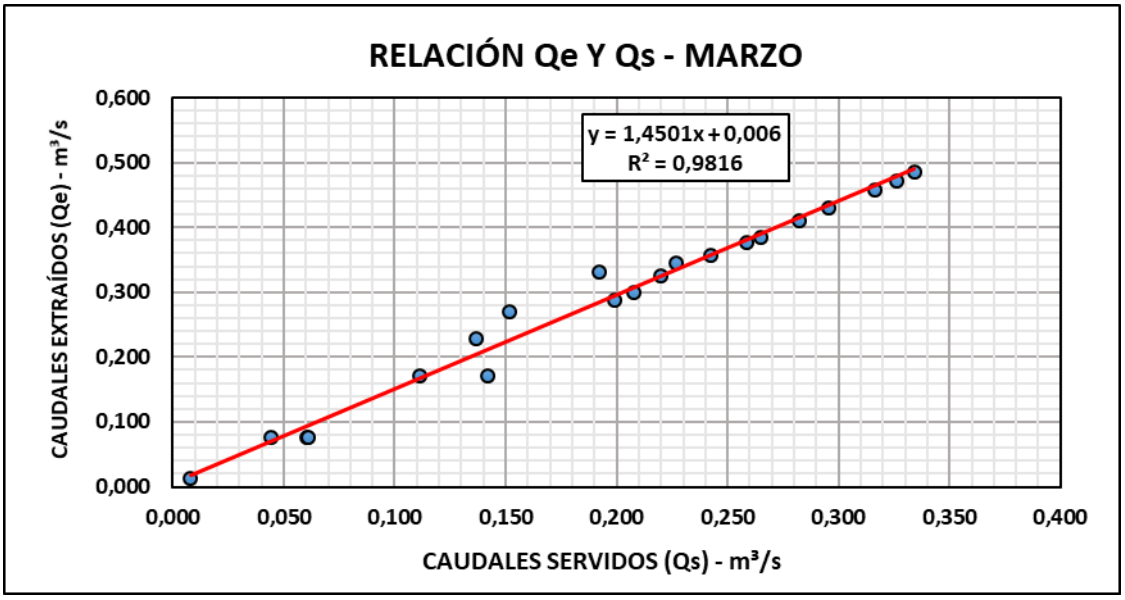


Figura 25. **Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 1 al 31 de marzo.**

La función lineal para este periodo de tiempo se muestra en la figura 33, el comportamiento del manejo del agua presenta la siguiente evaluación:

$$\overline{Qe} = 1.450 * \overline{Qs} + 0.006$$

$\overline{Qe} = 0{,}288 \frac{m^3}{s}$

$\overline{Qs} = 0{,}194 \frac{m^3}{s}$

Las eficiencias obtenidas se hallaron a partir de la ecuación anterior teniendo en cuenta que el modelo plantea que, la eficiencia operacional (Eo) es el inverso del coeficiente (b) de la variable promedio de caudales servidos (Qs), la eficiencia intrínseca (Ei), es la diferencia entre la unidad (1) y el cociente de la división entre el término independiente (a) de la función lineal y el promedio

de los caudales extraídos (Qe) en el periodo evaluado; y la eficiencia de conducción total por lo tanto, es el producto de las dos anteriores eficiencias, tal como se señala a continuación:

$$Eo = \frac{1}{b} * 100$$

$$Eo = \frac{1}{1{,}450} * 100$$

$$Eo = 68{,}97\%$$

$$Ei = 1 - \frac{a}{Qe} * 100$$

$$Ei = \left(1 - \frac{0{,}006}{0{,}288}\right) * 100$$

$$Ei = 97{,}92\%$$

$$Ec = Eo * Ei$$

$$Ec = 68{,}97\% * 97{,}92\%$$

$$Ec = 0{,}6897 * 0{,}9792 * 100$$

$$Ec = 67{,}53\%$$

La distribución de pérdidas de agua corresponde a la siguiente expresión:

$$\overline{Qe} = \overline{Qs} + (K\overline{Qs} + a)$$

Donde,

a = 0,006 m³/s

b = 1+K

b = 1,450

1,450 = 1+ K

K = 1,450 – 1,0

K = 0,450

$$0{,}288 = 0{,}194 + (0{,}450 * 0{,}194 + 0{,}006)$$

$$0{,}288 = 0{,}194 + (0{,}088 + 0{,}006)$$

Las pérdidas intrínsecas de agua (Pi) como ya se dijo, corresponden al término independiente (a) y las pérdidas operacionales o de manejo del agua (kQs), son el producto de la fracción (k) de la unidad por el promedio del caudal servido (Qs) en el periodo, por consiguiente:

$a = Pi$

$KQs = Po$

$a = 0{,}006 \frac{m^3}{s}$

$Po = 0{,}450 * 0{,}194$

$Po = 0{,}088 \frac{m^3}{s}$

Considerando las pérdidas totales de agua, como la suma de las anteriores pérdidas, porcentualmente los valores de cada una de estas son:

$Pt = kQs + a$

$Pt = 0{,}088 + 0{,}006$

$Pt = 0{,}094 \frac{m^3}{s}$

$\%Pi = \frac{0{,}006}{0{,}094} * 100$

$\%Pi = 6{,}38$

$\%Po = \frac{0{,}088}{0{,}094} * 100$

$\%Po = 93{,}61$

Operación y evaluación mes de abril

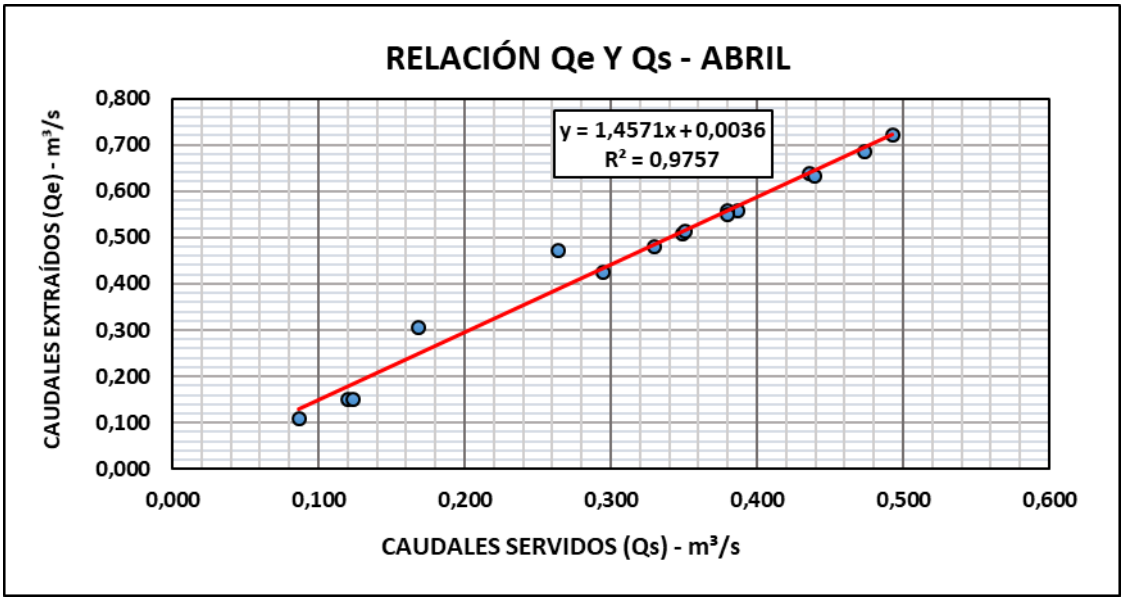


Figura 26. **Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 1 al 18 de abril.**

La función lineal para este periodo de tiempo se muestra en la figura 34, el comportamiento del manejo del agua presenta la siguiente evaluación:

$$\overline{Qe} = 1.457 * \overline{Qs} + 0.004$$

$\overline{Qe} = 0{,}466 \frac{m^3}{s}$

$\overline{Qs} = 0{,}317 \frac{m^3}{s}$

Las eficiencias obtenidas se hallaron a partir de la ecuación anterior teniendo en cuenta que el modelo plantea que, la eficiencia operacional (Eo) es el inverso del coeficiente (b) de la variable promedio de caudales servidos (Qs), la eficiencia intrínseca (Ei), es la diferencia entre la unidad (1) y el cociente de la división entre el término independiente (a) de la función lineal y el promedio de los caudales extraídos (Qe) en el periodo evaluado; y la eficiencia de conducción total por lo tanto, es el producto de las dos anteriores eficiencias, tal como se señala a continuación:

$$Eo = \frac{1}{b} * 100$$

$$Eo = \frac{1}{1{,}457} * 100$$

$$Eo = 68{,}63\%$$

$$Ei = 1 - \frac{a}{Qe} * 100$$

$$Ei = \left(1 - \frac{0{,}004}{0{,}466}\right) * 100$$

$$Ei = 99{,}14\%$$

$$Ec = Eo * Ei$$

$$Ec = 68{,}63\% * 99{,}14\%$$

$$Ec = 0{,}6863 * 0{,}9914 * 100$$

$$Ec = 68{,}04\%$$

La distribución de pérdidas de agua corresponde a la siguiente expresión:

$$\overline{Qe} = \overline{Qs} + (K\overline{Qs} + a)$$

Donde,

a = 0,004 m³/s

b = 1+K

b = 1,457

1,457 = 1+ K

K = 1,457 – 1,0

K = 0,457

$$0{,}466 = 0{,}317 + (0{,}457 * 0{,}317 + 0{,}004)$$

$$0{,}466 = 0{,}317 + (0{,}149 + 0{,}004)$$

Las pérdidas intrínsecas de agua (Pi) como ya se dijo, corresponden al término independiente (a) y las pérdidas operacionales o de manejo del agua (kQs), son el producto de la fracción (k) de la unidad por el promedio del caudal servido (Qs) en el periodo, por consiguiente:

$a = Pi$

$KQs = Po$

$a = 0{,}004 \frac{m^3}{s}$

$Po = 0{,}457 * 0{,}317$

$Po = 0{,}145 \frac{m^3}{s}$

Considerando las pérdidas totales de agua, como la suma de las anteriores pérdidas, porcentualmente los valores de cada una de estas son:

$Pt = kQs + a$

$Pt = 0{,}145 + 0{,}004$

$Pt = 0{,}149 \frac{m^3}{s}$

$\%Pi = \frac{0{,}004}{0{,}149} * 100$

$\%Pi = 2{,}68$

$\%Po = \frac{0{,}145}{0{,}149} * 100$

$\%Po = 97{,}32$

Operación y evaluación periodo total (20 de enero hasta el 18 de abril)

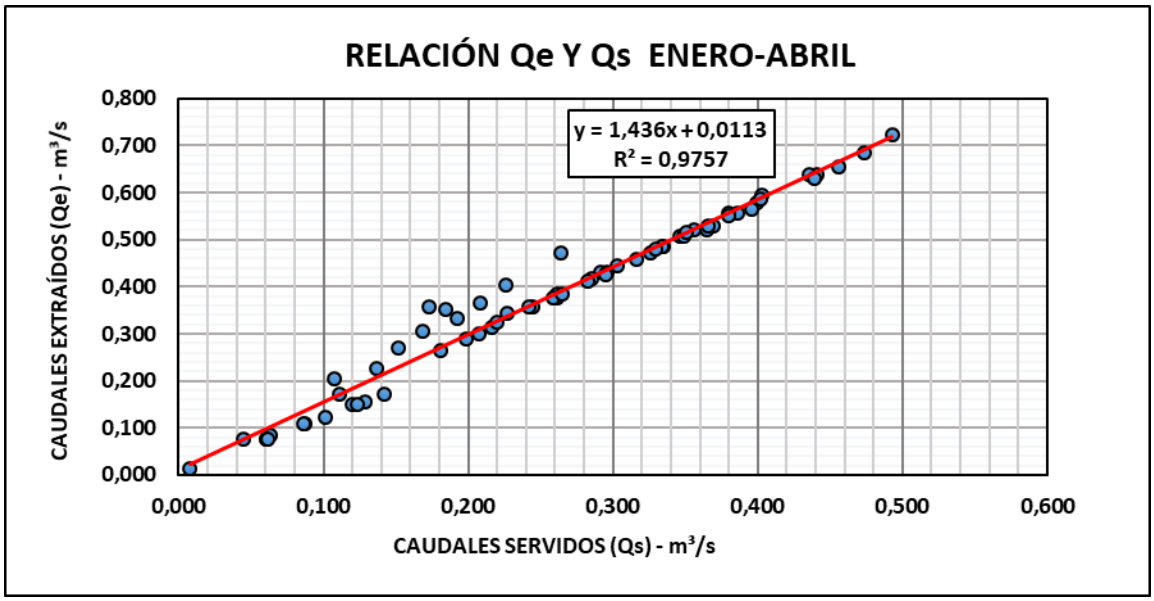


Figura 27. **Relación de Caudales Extraídos y Servidos, del 20 de enero al 18 de abril.**

La función lineal para este periodo de tiempo se muestra en la figura 35, el comportamiento del manejo del agua presenta la siguiente evaluación:

$$\overline{Qe} = 1.436 * \overline{Qs} + 0.011$$

$\overline{Qe} = 0{,}379 \frac{m^3}{s}$

$\overline{Qs} = 0{,}256 \frac{m^3}{s}$

Las eficiencias obtenidas se hallaron a partir de la ecuación anterior teniendo en cuenta que el modelo plantea que, la eficiencia operacional (Eo) es el inverso del coeficiente (b) de la variable promedio de caudales servidos (Qs), la eficiencia intrínseca (Ei), es la diferencia entre la unidad (1) y el cociente de la división entre el término independiente (a) de la función lineal y el promedio

de los caudales extraídos (Qe) en el periodo evaluado; y la eficiencia de conducción total por lo tanto, es el producto de las dos anteriores eficiencias, tal como se señala a continuación:

$$Eo = \frac{1}{b} * 100$$

$$Eo = \frac{1}{1{,}436} * 100$$

$$Eo = 69{,}64\%$$

$$Ei = 1 - \frac{a}{Qe} * 100$$

$$Ei = \left(1 - \frac{0{,}011}{0{,}379}\right) * 100$$

$$Ei = 97{,}10\%$$

$$Ec = Eo * Ei$$

$$Ec = 69{,}64\% * 97{,}10\%$$

$$Ec = 0{,}6964 * 0{,}9710 * 100$$

$$Ec = 67{,}62\%$$

La distribución de pérdidas de agua corresponde a la siguiente expresión:

$$\overline{Qe} = \overline{Qs} + (K\overline{Qs} + a)$$

Donde,

a = 0,011 m³/s

b = 1+K

b = 1,436

1,436 = 1+ K

K = 1,436 – 1,0

K = 0,436

$$0{,}379 = 0{,}256 + (0{,}436 * 0{,}256 + 0{,}011)$$

$$0{,}379 = 0{,}256 + (0{,}112 + 0{,}011)$$

Las pérdidas intrínsecas de agua (Pi) como ya se dijo, corresponden al término independiente (a) y las pérdidas operacionales o de manejo del agua (kQs), son el producto de la fracción (k) de la unidad por el promedio del caudal servido (Qs) en el periodo, por consiguiente:

$a = Pi$

$KQs = Po$

$a = 0{,}011 \frac{m^3}{s}$

$Po = 0{,}436 * 0{,}256$

$Po = 0{,}112 \frac{m^3}{s}$

Considerando las pérdidas totales de agua, como la suma de las anteriores pérdidas, porcentualmente los valores de cada una de estas son:

$Pt = kQs + a$

$$Pt = 0{,}112 + 0{,}011$$

$$Pt = 0{,}123 \frac{m^3}{s}$$

$$\%Pi = \frac{0{,}011}{0{,}123} * 100$$

$$\%Pi = 8{,}94$$

$$\%Po = \frac{0{,}112}{0{,}123} * 100$$

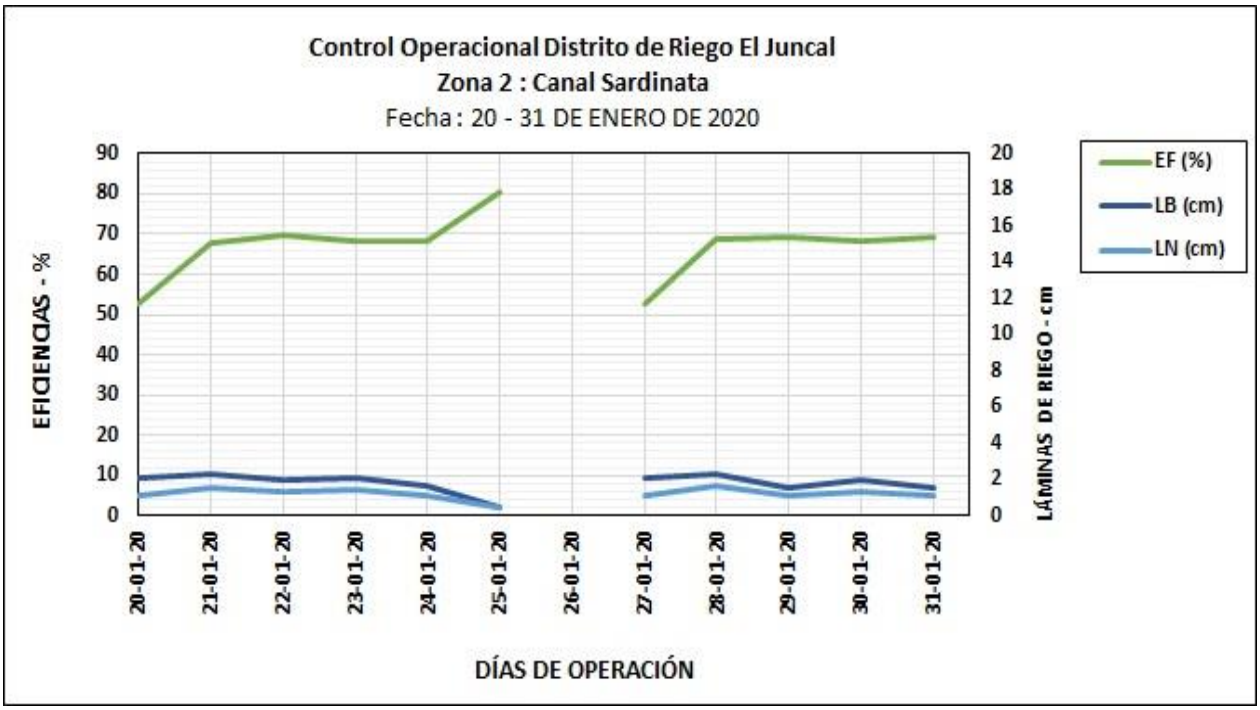
$$\%Po = 91{,}06$$

Anexo 6. Registro de información diaria, gráfica de eficiencia-lámina-tiempo y evaluación por periodos, de la operación del canal Sardinata.

- Periodo mes de enero

DISTRITO DE ADECUACION DE TIERRAS EL JUNCAL, MUNICIPIO DE PALERMO - HUILA
SEGUNDA ETAPA - CANAL SARDINATA
CONTROL DIARIO DE TIRANTES (m) - MES DE ENERO

		QE	QS	AREA	CTRL CANAL							
# DIAS	FECHA	(m^3/s)	(m^3/s)	(Has)	(m)	$(QS)^2$	$(QE)^2$	QS*QE	Fp	Ln (cm)	Lb (cm)	Efic. (%)
1	20-1-2020	0,351	0,184	146,8	0,71	0,034	0,123	0,065	1,91	1,1	2,1	52,48
2	21-1-2020	0,431	0,292	159,6	0,83	0,085	0,186	0,126	1,48	1,6	2,3	67,70
3	22-1-2020	0,529	0,369	233,3	0,97	0,136	0,280	0,195	1,43	1,4	2,0	69,80
4	23-1-2020	0,522	0,356	221,8	0,96	0,127	0,272	0,186	1,46	1,4	2,0	68,30
5	24-1-2020	0,358	0,245	192,2	0,72	0,060	0,128	0,087	1,46	1,1	1,6	68,41
6	25-1-2020	0,075	0,061	129,3	0,22	0,004	0,006	0,005	1,24	0,4	0,5	80,47
7	26-1-2020											
8	27-1-2020	0,204	0,108	84,8	0,47	0,012	0,042	0,022	1,90	1,1	2,1	52,74
9	28-1-2020	0,263	0,181	97,9	0,57	0,033	0,069	0,048	1,45	1,6	2,3	68,78
10	29-1-2020	0,377	0,261	205,1	0,75	0,068	0,142	0,098	1,44	1,1	1,6	69,21
11	30-1-2020	0,384	0,262	171,2	0,76	0,069	0,147	0,100	1,47	1,3	1,9	68,19
12	31-1-2020	0,313	0,216	174,7	0,65	0,047	0,098	0,067	1,45	1,1	1,5	69,05



INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

$\Sigma X = 2,53$	$(\Sigma X)^2 = 6,42$	$\Sigma X^2 = 0,67$	$\Sigma XY = 1,00$
$\Sigma Y = 3,81$	$(\Sigma Y)^2 = 14,49$	$\Sigma Y^2 = 1,49$	$n = 11$
$\Sigma x^2 = \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2/n = 0,09$		$\Sigma y^2 = \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2/n = 0,18$	$\Sigma xy = \Sigma XY - \Sigma X\,\Sigma Y/n = 0,12$

MODELO MATEMÁTICO

Coeficiente de Regresión $b = \Sigma xy / \Sigma x^2 = 1,369$

Ordenada al origen (a) $Y - \bar{y} = b\,(X - \bar{X})$

$Y = bx - (b\bar{X} - \bar{y})$

Por lo tanto; $a = -(b\bar{X} - \bar{y})$ $a = 0,031$

$QE = 1,369\ QS + 0,031$

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Distribución de Pérdidas $QE = QS + (kQS + a)$

$\bar{QE} = 0,346$

$\bar{QS} = 0,230$

Pérdidas Totales

$0,346 = 0,230 + (0,085 + 0,031)$

PERDIDAS DE AGUA

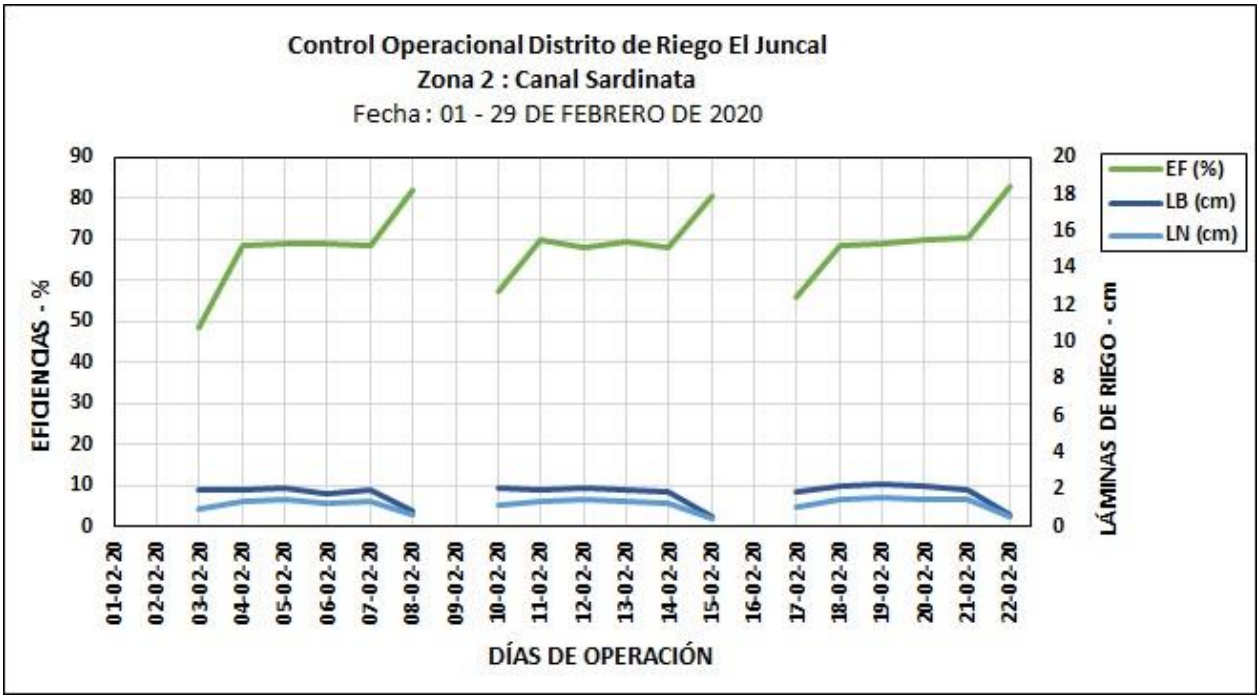
Pérdidas Totales	0,116	m^3/s
Pérdidas por Manejo	73,28%	
Pérdidas Intrínsecas	26,72%	

EFICIENCIAS

Eficiencia Operacional	73,05%	Eficiencia Intrinseca	91,04%	Eficiencia de Conducción	66,50%

- Periodo mes de febrero

		QE	QS	AREA								
# DIAS	FECHA	(Lit/seg.)	(Lit/seg.)	(Has)	CTRL CANAL	$(QS)^2$	$(QE)^2$	QS*QE	Fp	Ln (cm)	Lb (cm)	Efic. (%)
13	01-02-20	0,085	0,063	129,4	0,24	0,004	0,007	0,005	1,33	0,4	0,6	75,04
14	02-02-20											
15	03-02-20	0,358	0,173	153,2	0,72	0,030	0,1279	0,062	2,06	1,0	2,0	48,43
16	04-02-20	0,507	0,346	222,0	0,94	0,120	0,2574	0,176	1,47	1,3	2,0	68,26
17	05-02-20	0,579	0,399	242,4	1,04	0,159	0,3357	0,231	1,45	1,4	2,1	68,87
18	06-02-20	0,486	0,335	235,9	0,91	0,112	0,2364	0,163	1,45	1,2	1,8	68,90
19	07-02-20	0,417	0,285	178,7	0,81	0,081	0,1742	0,119	1,46	1,4	2,0	68,34
20	08-02-20	0,123	0,101	132,4	0,32	0,010	0,0152	0,013	1,22	0,7	0,8	82,18
21	09-02-20											
22	10-02-20	0,364	0,208	149,7	0,73	0,043	0,1326	0,076	1,75	1,2	2,1	57,23
23	11-02-20	0,522	0,365	224,4	0,96	0,133	0,2721	0,191	1,43	1,4	2,0	70,03
24	12-02-20	0,594	0,403	245,9	1,06	0,162	0,3529	0,239	1,47	1,4	2,1	67,81
25	13-02-20	0,529	0,366	225,5	0,97	0,134	0,2796	0,193	1,45	1,4	2,0	69,17
26	14-02-20	0,445	0,303	208,0	0,85	0,092	0,1977	0,135	1,47	1,3	1,8	68,15
27	15-02-20	0,108	0,087	164,5	0,29	0,008	0,0118	0,009	1,24	0,5	0,6	80,56
28	16-02-20											
29	17-02-20	0,404	0,226	186,2	0,79	0,051	0,163	0,091	1,79	1,0	1,9	55,89
30	18-02-20	0,587	0,402	234,5	1,05	0,162	0,344	0,236	1,46	1,5	2,2	68,54
31	19-02-20	0,639	0,441	246,2	1,12	0,194	0,408	0,281	1,45	1,5	2,2	68,98
32	20-02-20	0,654	0,456	260,2	1,14	0,208	0,427	0,298	1,43	1,5	2,2	69,75
33	21-02-20	0,565	0,396	241,2	1,02	0,157	0,319	0,224	1,43	1,4	2,0	70,14
34	22-02-20	0,155	0,128	205,5	0,38	0,016	0,024	0,020	1,20	0,5	0,7	83,08
35	23-02-20											
36	24-02-20											
37	25-02-20											
38	26-02-20											
39	27-02-20											
40	28-02-20											
41	29-02-20											



INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

ΣX =	5,48	$(\Sigma X)^2$ =	30,08	ΣX^2 =	1,88	ΣXY =	2,76	
ΣY =	8,12	$(\Sigma Y)^2$ =	65,92	ΣY^2 =	4,09	n	19	
Σx^2 =	$\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2/n$	0,29	Σy^2 =	$\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2/n$	0,62	Σxy =	$\Sigma XY - \Sigma X\,\Sigma Y/n$	0,42

MODELO MATEMÁTICO

Coeficiente de Regresión $b = \Sigma xy / \Sigma x^2 =$ 1,422

Ordenada al origen (a) $Y - \bar{y} = b(X - \bar{X})$

$Y = bx - (b\bar{X} - \bar{y})$

Por lo tanto; $a = -(b\bar{X} - \bar{y})$ $a =$ 0,017

$$QE = 1{,}422\ QS + 0{,}017$$

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Distribución de Pérdidas $QE = QS + (kQS + a)$

$\bar{QE}$ = 0,427

$\bar{QS}$ = 0,289

Pérdidas Totales

$$0{,}427 = 0{,}289 + (0{,}122 + 0{,}017)$$

PERDIDAS DE AGUA

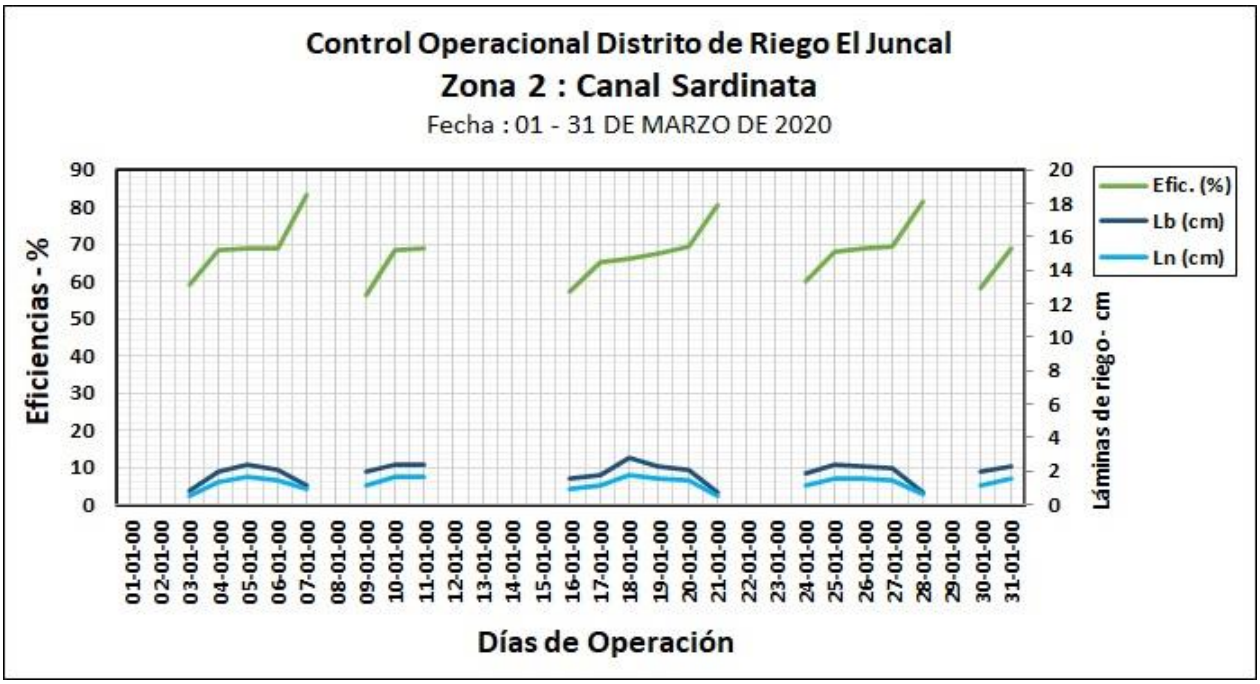
Pérdidas Totales	0,139	m^3/s
Pérdidas por Manejo	87,77%	
Pérdidas Intrínsecas	12,23%	

EFICIENCIAS

Eficiencia Operacional	70,32%	Eficiencia Intrinseca	96,02%	Eficiencia de Conducción	67,52%

- Periodo mes de marzo

		QE	QS	AREA								
# DIAS	FECHA	(Lit/seg.)	(Lit/seg.)	(Has)	CTRL CANAL	$(QS)^2$	$(QE)^2$	QS*QE	Fp	Ln (cm)	Lb (cm)	Efic. (%)
42	01-03-20											
43	02-03-20											
44	03-03-20	0,075	0,044	77,2	0,22	0,002	0,006	0,003	1,70	0,5	0,8	58,88
45	04-03-20	0,377	0,258	169,0	0,75	0,067	0,142	0,097	1,46	1,3	1,9	68,49
46	05-03-20	0,472	0,326	169,0	0,89	0,106	0,223	0,154	1,45	1,7	2,4	69,03
47	06-03-20	0,411	0,282	169,0	0,80	0,080	0,169	0,116	1,45	1,4	2,1	68,77
48	07-03-20	0,171	0,142	124,5	0,41	0,020	0,029	0,024	1,20	1,0	1,2	83,25
49	08-03-20											
50	09-03-20	0,269	0,151	115,2	0,58	0,023	0,072	0,041	1,78	1,1	2,0	56,26
51	10-03-20	0,431	0,296	153,2	0,83	0,087	0,186	0,127	1,46	1,7	2,4	68,60
52	11-03-20	0,458	0,317	168,3	0,87	0,100	0,210	0,145	1,45	1,6	2,4	69,05
53	12-03-20											
54	13-03-20											
55	14-03-20											
56	15-03-20											
57	16-03-20	0,014	0,008	7,4	0,06	0,000	0,000	0,000	1,74	0,9	1,6	57,44
58	17-03-20	0,171	0,111	84,7	0,41	0,012	0,029	0,019	1,54	1,1	1,7	65,07
59	18-03-20	0,345	0,227	107,9	0,70	0,052	0,119	0,078	1,52	1,8	2,8	65,87
60	19-03-20	0,325	0,220	122,5	0,67	0,048	0,106	0,072	1,48	1,6	2,3	67,62
61	20-03-20	0,288	0,199	119,5	0,61	0,040	0,083	0,057	1,45	1,4	2,1	69,18
62	21-03-20	0,075	0,061	95,2	0,22	0,004	0,006	0,005	1,25	0,5	0,7	80,31
63	22-03-20											
64	23-03-20											
65	24-03-20	0,227	0,137	103,1	0,51	0,019	0,052	0,031	1,66	1,1	1,9	60,21
66	25-03-20	0,358	0,242	131,3	0,72	0,059	0,128	0,087	1,48	1,6	2,4	67,75
67	26-03-20	0,384	0,265	145,5	0,76	0,070	0,147	0,102	1,45	1,6	2,3	69,07
68	27-03-20	0,300	0,208	119,6	0,63	0,043	0,090	0,062	1,44	1,5	2,2	69,26
69	28-03-20	0,075	0,061	86,1	0,22	0,004	0,006	0,005	1,23	0,6	0,8	81,19
70	29-03-20											
71	30-03-20	0,332	0,192	149,1	0,68	0,037	0,110	0,064	1,73	1,1	1,9	57,94
72	31-03-20	0,486	0,334	182,9	0,91	0,112	0,236	0,162	1,46	1,6	2,3	68,72



INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

$\Sigma X =$	4,08	$(\Sigma X)^2 =$	16,66	$\Sigma X^2 =$	0,98	$\Sigma XY =$	1,45	
$\Sigma Y =$	6,04	$(\Sigma Y)^2 =$	36,54	$\Sigma Y^2 =$	2,15	n	21	
$\Sigma x^2 =$	$\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2/n$	0,19	$\Sigma y^2 =$	$\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2/n$	0,41	$\Sigma xy =$	$\Sigma XY - \Sigma X\, \Sigma Y/n$	0,28

MODELO MATEMÁTICO

Coeficiente de Regresión $b = \Sigma xy / \Sigma x^2 =$ 1,450

Ordenada al origen (a) $Y - \bar{y} = b\,(X - \bar{X})$

$Y = bx - (b\bar{X} - \bar{y})$

Por lo tanto; $a = -(b\bar{X} - \bar{y})$ $a =$ 0,006

$QE =$ 1,450 QS + 0,006

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Distribución de Pérdidas $QE = QS + (kQS + a)$

$\overline{QE} =$ 0,288

$\overline{QS} =$ 0,194

Pérdidas Totales

$0,288 = 0,194 + (0,087 + 0,006)$

PERDIDAS DE AGUA

Pérdidas Totales	0,093	m^3/s
Pérdidas por Manejo	93,55%	
Pérdidas Intrínsecas	6,45%	

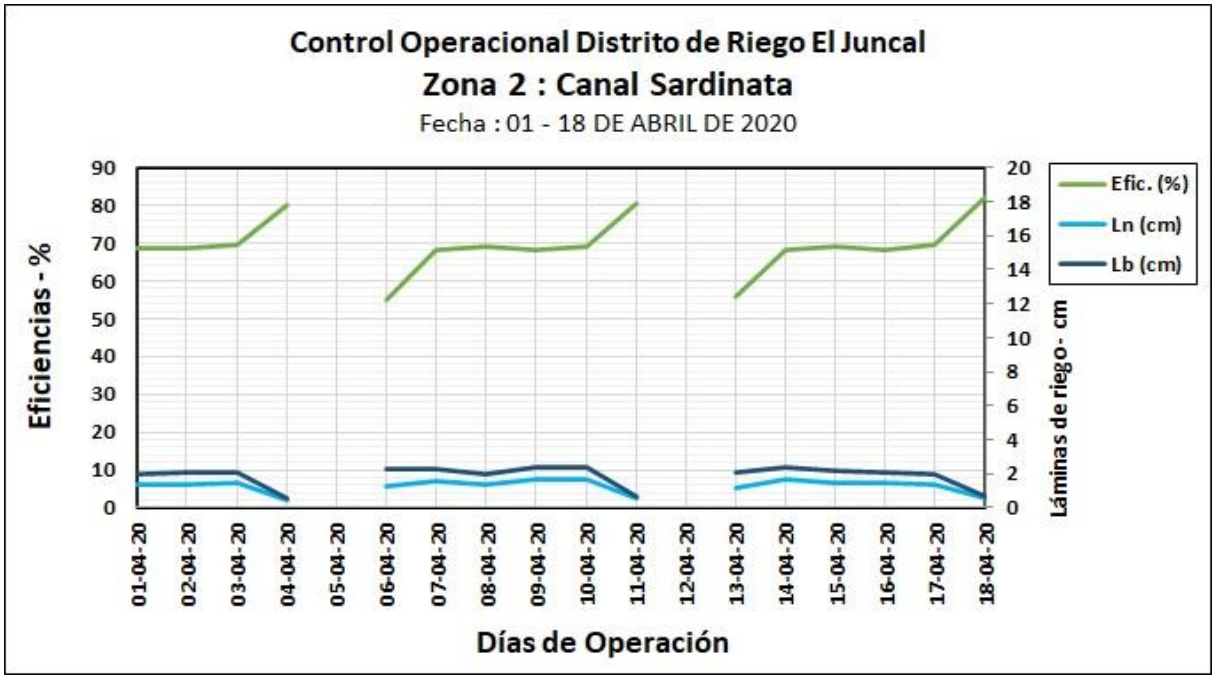
EFICIENCIAS

Eficiencia Operacional	68,97%	Eficiencia Intrinseca	97,92%	Eficiencia de Conducción	67,53%

- Periodo mes de abril

DISTRITO DE ADECUACION DE TIERRAS EL JUNCAL, MUNICIPIO DE PALERMO - HUILA
SEGUNDA ETAPA - CANAL SARDINATA
CONTROL DIARIO DE TIRANTES (m) - MES DE ABRIL

		QE	QS	AREA								
# DIAS	FECHA	(Lit/seg.)	(Lit/seg.)	(Has)	CTRL CANAL	$(QS)^2$	$(QE)^2$	QS*QE	Fp	Ln (cm)	Lb (cm)	Efic. (%)
73	01-04-20	0,507	0,349	224,9	0,94	0,122	0,257	0,177	1,45	1,3	1,9	68,85
74	02-04-20	0,479	0,330	204,6	0,90	0,109	0,230	0,158	1,45	1,4	2,0	68,81
75	03-04-20	0,424	0,295	176,6	0,82	0,087	0,180	0,125	1,44	1,4	2,1	69,56
76	04-04-20	0,108	0,087	161,1	0,29	0,007	0,012	0,009	1,25	0,5	0,6	79,87
77	05-04-20											
78	06-04-20	0,306	0,168	115,8	0,64	0,028	0,094	0,052	1,82	1,3	2,3	54,89
79	07-04-20	0,514	0,351	197,8	0,95	0,123	0,265	0,180	1,47	1,5	2,2	68,13
80	08-04-20	0,558	0,386	240,1	1,01	0,149	0,311	0,215	1,44	1,4	2,0	69,30
81	09-04-20	0,558	0,380	199,6	1,01	0,144	0,311	0,212	1,47	1,6	2,4	68,16
82	10-04-20	0,550	0,380	199,6	1,00	0,144	0,303	0,209	1,45	1,6	2,4	69,05
83	11-04-20	0,149	0,120	199,6	0,37	0,014	0,022	0,018	1,24	0,5	0,6	80,54
84	12-04-20											
85	13-04-20	0,472	0,264	200,2	0,89	0,070	0,223	0,125	1,79	1,1	2,0	55,83
86	14-04-20	0,639	0,436	228,0	1,12	0,190	0,408	0,278	1,46	1,7	2,4	68,26
87	15-04-20	0,684	0,474	273,3	1,18	0,225	0,468	0,324	1,44	1,5	2,2	69,32
88	16-04-20	0,722	0,493	300,7	1,23	0,243	0,521	0,356	1,47	1,4	2,1	68,24
89	17-04-20	0,631	0,439	278,1	1,11	0,193	0,398	0,277	1,44	1,4	2,0	69,62
90	18-04-20	0,149	0,123	211,7	0,37	0,015	0,022	0,018	1,21	0,5	0,6	82,58



INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

ΣX =	5,07	$(\Sigma X)^2$ =	25,75	ΣX^2 =	1,86	ΣXY =	2,73	
ΣY =	7,45	$(\Sigma Y)^2$ =	55,53	ΣY^2 =	4,02	n	16	
Σx^2 =	$\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2/n$	0,25	Σy^2 =	$\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2/n$	0,55	Σxy =	$\Sigma XY - \Sigma X\, \Sigma Y/n$	0,37

MODELO MATEMÁTICO

Coeficiente de Regresión $b = \Sigma xy / \Sigma x^2 =$ 1,457

Ordenada al origen (a) $Y - \bar{y} = b\,(X - \bar{X})$

$Y = bx - (b\bar{X} - \bar{y})$

Por lo tanto; $a = -(b\bar{X} - \bar{y})$ $a =$ 0,004

$QE =$ 1,457 QS + 0,004

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Distribución de Pérdidas $QE = QS + (kQS + a)$

$\bar{QE}$ = 0,466

$\bar{QS}$ = 0,317

Pérdidas Totales

$0{,}466 = 0{,}317 + (0{,}145 + 0{,}004)$

PERDIDAS DE AGUA

Pérdidas Totales	0,149	m^3/s
Pérdidas por Manejo	97,32%	
Pérdidas Intrínsecas	2,68%	

EFICIENCIAS

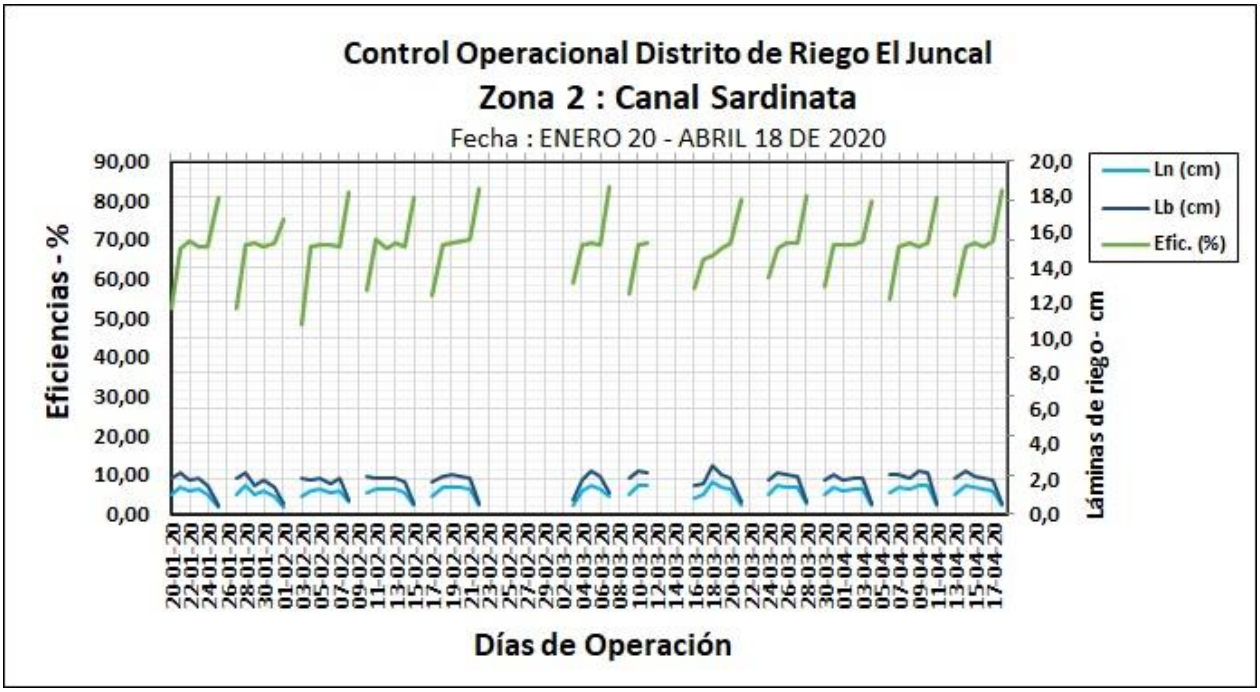
Eficiencia Operacional	68,63%	Eficiencia Intrinseca	99,14%	Eficiencia de Conducción	68,05%

- Periodo de enero a abril

DISTRITO DE ADECUACION DE TIERRAS EL JUNCAL, MUNICIPIO DE PALERMO - HUILA
SEGUNDA ETAPA - CANAL SARDINATA
CONTROL DIARIO DE TIRANTES (m) - ENERO 20 - ABRIL 18

		QE	QS	AREA								
# DIAS	FECHA	(Lit/seg.)	(Lit/seg.)	(Has)	CTRL CANAL	$(QS)^2$	$(QE)^2$	QS*QE	Fp	Ln (cm)	Lb (cm)	Efic. (%)
1	20-01-20	0,351	0,184	146,8	0,71	0,034	0,123	0,065	1,91	1,1	2,1	52,48
2	21-01-20	0,431	0,292	159,6	0,83	0,085	0,186	0,126	1,48	1,6	2,3	67,70
3	22-01-20	0,529	0,369	233,3	0,97	0,136	0,280	0,195	1,43	1,4	2,0	69,80
4	23-01-20	0,522	0,356	221,8	0,96	0,127	0,272	0,186	1,46	1,4	2,0	68,30
5	24-01-20	0,358	0,245	192,2	0,72	0,060	0,128	0,087	1,46	1,1	1,6	68,41
6	25-01-20	0,075	0,061	129,3	0,22	0,004	0,006	0,005	1,24	0,4	0,5	80,47
7	26-01-20											
8	27-01-20	0,204	0,108	84,8	0,47	0,012	0,042	0,022	1,90	1,1	2,1	52,74
9	28-01-20	0,263	0,181	97,9	0,57	0,033	0,069	0,048	1,45	1,6	2,3	68,78
10	29-01-20	0,377	0,261	205,1	0,75	0,068	0,142	0,098	1,44	1,1	1,6	69,21
11	30-01-20	0,384	0,262	171,2	0,76	0,069	0,147	0,100	1,47	1,3	1,9	68,19
12	31-01-20	0,313	0,216	174,7	0,65	0,047	0,098	0,067	1,45	1,1	1,5	69,05
13	01-02-20	0,085	0,063	129,4	0,24	0,004	0,007	0,005	1,33	0,4	0,6	75,04
14	02-02-20											
15	03-02-20	0,358	0,173	153,2	0,72	0,030	0,1279	0,062	2,06	1,0	2,0	48,43
16	04-02-20	0,507	0,346	222,0	0,94	0,120	0,2574	0,176	1,47	1,3	2,0	68,26
17	05-02-20	0,579	0,399	242,4	1,04	0,159	0,3357	0,231	1,45	1,4	2,1	68,87
18	06-02-20	0,486	0,335	235,9	0,91	0,112	0,2364	0,163	1,45	1,2	1,8	68,90
19	07-02-20	0,417	0,285	178,7	0,81	0,081	0,1742	0,119	1,46	1,4	2,0	68,34
20	08-02-20	0,123	0,101	132,4	0,32	0,010	0,0152	0,013	1,22	0,7	0,8	82,18
21	09-02-20											
22	10-02-20	0,364	0,208	149,7	0,73	0,043	0,1326	0,076	1,75	1,2	2,1	57,23
23	11-02-20	0,522	0,365	224,4	0,96	0,133	0,2721	0,191	1,43	1,4	2,0	70,03
24	12-02-20	0,594	0,403	245,9	1,06	0,162	0,3529	0,239	1,47	1,4	2,1	67,81
25	13-02-20	0,529	0,366	225,5	0,97	0,134	0,2796	0,193	1,45	1,4	2,0	69,17
26	14-02-20	0,445	0,303	208,0	0,85	0,092	0,1977	0,135	1,47	1,3	1,8	68,15
27	15-02-20	0,108	0,087	164,5	0,29	0,008	0,0118	0,009	1,24	0,5	0,6	80,56
28	16-02-20											
29	17-02-20	0,404	0,226	186,2	0,79	0,051	0,163	0,091	1,79	1,0	1,9	55,89
30	18-02-20	0,587	0,402	234,5	1,05	0,162	0,344	0,236	1,46	1,5	2,2	68,54
31	19-02-20	0,639	0,441	246,2	1,12	0,194	0,408	0,281	1,45	1,5	2,2	68,98
32	20-02-20	0,654	0,456	260,2	1,14	0,208	0,427	0,298	1,43	1,5	2,2	69,75
33	21-02-20	0,565	0,396	241,2	1,02	0,157	0,319	0,224	1,43	1,4	2,0	70,14
34	22-02-20	0,155	0,128	205,5	0,38	0,016	0,024	0,020	1,20	0,5	0,7	83,08
35	23-02-20											
36	24-02-20											
37	25-02-20											
38	26-02-20											
39	27-02-20											
40	28-02-20											
41	29-02-20											

42	01-03-20											
43	02-03-20											
44	03-03-20	0,075	0,044	77,2	0,22	0,002	0,006	0,003	1,70	0,5	0,8	58,88
45	04-03-20	0,377	0,258	169,0	0,75	0,067	0,142	0,097	1,46	1,3	1,9	68,49
46	05-03-20	0,472	0,326	169,0	0,89	0,106	0,223	0,154	1,45	1,7	2,4	69,03
47	06-03-20	0,411	0,282	169,0	0,80	0,080	0,169	0,116	1,45	1,4	2,1	68,77
48	07-03-20	0,171	0,142	124,5	0,41	0,020	0,029	0,024	1,20	1,0	1,2	83,25
49	08-03-20											
50	09-03-20	0,269	0,151	115,2	0,58	0,023	0,072	0,041	1,78	1,1	2,0	56,26
51	10-03-20	0,431	0,296	153,2	0,83	0,087	0,186	0,127	1,46	1,7	2,4	68,60
52	11-03-20	0,458	0,317	168,3	0,87	0,100	0,210	0,145	1,45	1,6	2,4	69,05
53	12-03-20											
54	13-03-20											
55	14-03-20											
56	15-03-20											
57	16-03-20	0,014	0,008	7,4	0,06	0,000	0,000	0,000	1,74	0,9	1,6	57,44
58	17-03-20	0,171	0,111	84,7	0,41	0,012	0,029	0,019	1,54	1,1	1,7	65,07
59	18-03-20	0,345	0,227	107,9	0,70	0,052	0,119	0,078	1,52	1,8	2,8	65,87
60	19-03-20	0,325	0,220	122,5	0,67	0,048	0,106	0,072	1,48	1,6	2,3	67,62
61	20-03-20	0,288	0,199	119,5	0,61	0,040	0,083	0,057	1,45	1,4	2,1	69,18
62	21-03-20	0,075	0,061	95,2	0,22	0,004	0,006	0,005	1,25	0,5	0,7	80,31
63	22-03-20											
64	23-03-20											
65	24-03-20	0,227	0,137	103,1	0,51	0,019	0,052	0,031	1,66	1,1	1,9	60,21
66	25-03-20	0,358	0,242	131,3	0,72	0,059	0,128	0,087	1,48	1,6	2,4	67,75
67	26-03-20	0,384	0,265	145,5	0,76	0,070	0,147	0,102	1,45	1,6	2,3	69,07
68	27-03-20	0,300	0,208	119,6	0,63	0,043	0,090	0,062	1,44	1,5	2,2	69,26
69	28-03-20	0,075	0,061	86,1	0,22	0,004	0,006	0,005	1,23	0,6	0,8	81,19
70	29-03-20											
71	30-03-20	0,332	0,192	149,1	0,68	0,037	0,110	0,064	1,73	1,1	1,9	57,94
72	31-03-20	0,486	0,334	182,9	0,91	0,112	0,236	0,162	1,46	1,6	2,3	68,72
73	01-04-20	0,507	0,349	224,9	0,94	0,122	0,257	0,177	1,45	1,3	1,9	68,85
74	02-04-20	0,479	0,330	204,6	0,90	0,109	0,230	0,158	1,45	1,4	2,0	68,81
75	03-04-20	0,424	0,295	176,6	0,82	0,087	0,180	0,125	1,44	1,4	2,1	69,56
76	04-04-20	0,108	0,087	161,1	0,29	0,007	0,012	0,009	1,25	0,5	0,6	79,87
77	05-04-20											
78	06-04-20	0,306	0,168	115,8	0,64	0,028	0,094	0,052	1,82	1,3	2,3	54,89
79	07-04-20	0,514	0,351	197,8	0,95	0,123	0,265	0,180	1,47	1,5	2,2	68,13
80	08-04-20	0,558	0,386	240,1	1,01	0,149	0,311	0,215	1,44	1,4	2,0	69,30
81	09-04-20	0,558	0,380	199,6	1,01	0,144	0,311	0,212	1,47	1,6	2,4	68,16
82	10-04-20	0,550	0,380	199,6	1,00	0,144	0,303	0,209	1,45	1,6	2,4	69,05
83	11-04-20	0,149	0,120	199,6	0,37	0,014	0,022	0,018	1,24	0,5	0,6	80,54
84	12-04-20											
85	13-04-20	0,472	0,264	200,2	0,89	0,070	0,223	0,125	1,79	1,1	2,0	55,83
86	14-04-20	0,639	0,436	228,0	1,12	0,190	0,408	0,278	1,46	1,7	2,4	68,26
87	15-04-20	0,684	0,474	273,3	1,18	0,225	0,468	0,324	1,44	1,5	2,2	69,32
88	16-04-20	0,722	0,493	300,7	1,23	0,243	0,521	0,356	1,47	1,4	2,1	68,24
89	17-04-20	0,631	0,439	278,1	1,11	0,193	0,398	0,277	1,44	1,4	2,0	69,62
90	18-04-20	0,149	0,123	211,7	0,37	0,015	0,022	0,018	1,21	0,5	0,6	82,58



INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

ΣX =	17,18	$(\Sigma X)^2$ =	295,01	ΣX^2 =	5,40	ΣXY =	7,95	
ΣY =	25,42	$(\Sigma Y)^2$ =	646,29	ΣY^2 =	11,75	n	67	
Σx^2 =	$\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2/n$	1,00	Σy^2 =	$\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2/n$	2,10	Σxy =	$\Sigma XY - \Sigma X\,\Sigma Y/n$	1,43

MODELO MATEMÁTICO

Coeficiente de Regresión $b = \Sigma xy / \Sigma x^2 =$ 1,436

Ordenada al origen (a) $Y - \bar{Y} = b(X - \bar{X})$

$Y = bx - (b\bar{X} - \bar{Y})$

Por lo tanto; $a = -(b\bar{X} - \bar{Y})$ $a =$ 0,011

$QE =$ 1,436 QS + 0,011

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Distribución de Pérdidas $QE = QS + (kQS + a)$

$\overline{QE} =$ 0,379

$\overline{QS} =$ 0,256

Pérdidas Totales

$0,379 = 0,256 + (0,112 + 0,011)$

PERDIDAS DE AGUA

Pérdidas Totales	0,123	m³/s
Pérdidas por Manejo	91,06%	
Pérdidas Intrínsecas	8,94%	

EFICIENCIAS

Eficiencia Operacional	69,64%	Eficiencia Intrinseca	97,10%	Eficiencia de Conducción	67,62%