

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(157)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JESÚS ALBERTO GUERRERO ARNOLD DURAN RUEDAS		
FACULTAD	INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	WILLINTON ERNESTO CARRASCAL		
TÍTULO DE LA TESIS	DIAGNOSTICO DEL SISTEMA HIDRAULICO PARA EL DISTRITO DE RIEGO ASUDRA EN EL MUNICIPIO DE ABREGO NORTE DE SANTANDER		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>ESTE PROYECTO, BUSCA DAR A CONOCER EL DIAGNOSTICO ACTUAL QUE PRESENTA EL DISTRITO DE RIEGO ASUDRA, COMO TAMBIÉN EVALUAR LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LOS CANALES DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN MEDIANTE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA H-CANALES, PARA OBTENER DATOS PRECISOS Y UNA MEJOR INTERPRETACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS QUE SE PRESENTAN; POR ÚLTIMO SE PLANTEA EL PRESUPUESTO QUE DA A CONOCER LOS PARÁMETROS ESENCIALES QUE SE DEBEN MEJORAR PARA HACER UN BUEN USO DEL DISTRITO DE RIEGO ASUDRA.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 142	PLANOS: -	ILUSTRACIONES: 39	CD-ROM: 1

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA HIDRAULICO PARA EL DISTRITO DE RIEGO
ASUDRA EN EL MUNICIPIO DE ABREGO NORTE DE SANTANDER

AUTORES

JESÚS ALBERTO GUERRERO

ARNOLD DURAN RUEDAS

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director:

ING. CIVIL. WILLINTON ERNESTO CARRASCAL

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL

Ocaña, Colombia

Abril 2018

DEDICATORIA

Primero que todo dedicar este gran logro a Dios que me ha dado las fuerzas para luchar cada día cuando estaba por darlo todo por perdido y darme por vencido, a él doy gracias por estar presente ante todas las circunstancias de la vida.

A mi valiosa madre que siempre me motivo efímeramente para que luchara por ser alguien en la vida y culminar esta hermosa carrera profesional. A ella le dedico este y cada uno de los logros que pueda obtener en mi vida profesional.

A mis hermanos por estar siempre a mi lado, por brindarme su apoyo incondicional y comprenderme en esos momentos difíciles.

A mi familia entera por creer en mí y en mis capacidades para culminar esta hermosa carrera, ya que a pesar de todos los momentos vividos siempre me apoyaron y me dieron ánimos de seguir en la lucha cuando todo se observaba perdido.

A mi hermosa novia por ser esa personita que cada día me alegra la vida y me motiva a seguir adelante dándome la seguridad de ser capaz de lograr todo aquello que me proponga.

JESÚS ALBERTO GUERRERO

DEDICATORIA

De ante mano quiero dedicarle mi logro a Dios por el motor que me impulsa a luchar por cada una de mis metas y logros en la vida, por ser ese ser invaluable con el que siempre voy a poder contar.

A mi novia por ser la persona más especial en mi vida, por ser mi compañera fiel que me motiva y me da fuerzas para levantarme cada día y seguir en la lucha de la vida persiguiendo mis sueños como el de culminar esta hermosa carrera y ser un gran profesional.

A mis padres por brindarme su apoyo sin esperar nunca nada a cambio, a ellos le dedico este logro para que se enorgullezcan del progreso que ha tenido la descendencia que han dejado en mí.

A mis hermanos porque a pesar de todo siempre han estado a mi lado, brindándome siempre su apoyo incondicional.

A todas las personas que hicieron parte de esta ardua carrera que requiere de mucho sacrificio, a ellas les dedico este gran logro.

ARNOLD DURAN RUEDAS

AGRADECIMIENTOS

Primordialmente queremos agradecer a Dios ante todas las cosas por ser esa fuerza espiritual a la que siempre acudimos cuando estamos en dificultades cuando no estábamos seguros de poder lograr esta grandiosa meta.

A nuestros padres gracias por ser la compañía, el apoyo incondicional y por creer en nosotros. A ellos gracias por su darnos la oportunidad de estudiar y permitirnos formarnos como profesionales brindándonos siempre su apoyo económico.

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por acogernos en su grandiosa familia y permitirnos cursar y culminar esta hermosa carrera.

A los profesores de la universidad, a ellos gracias por tenernos paciencia y por transmitirnos toda su sabiduría para formarnos como grandes profesionales.

Damos gracias a la comunidad asentada en el área objeto de estudio del proyecto, por permitirnos realizar la investigación de campo y por su colaboración cuando fue requerida, a ellos gracias ya que sin ellos no tendríamos conocimiento de lo que verdaderamente sucede en la zona de estudio.

A todas aquellas personas que fueron participe de esta gran etapa de la vida en la que nos forjamos como profesionales para hacer algo mejor del mundo en el que vivimos.

JESÚS ALBERTO GUERRERO

ARNOLD DURAN RUEDAS

Índice

Capítulo 1. Diagnóstico del sistema hidráulico para el distrito de riego Asudra en el municipio de Abrego Norte de Santander.....	1
1.1 Planteamiento Del Problema.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Justificación	3
1.5 Delimitaciones	4
1.5.1 Delimitación Operativa.....	4
1.5.2 Delimitación Conceptual.	5
1.5.3 Delimitación geográfica.....	5
1.5.4 Delimitación temporal.	6
Capítulo 2. Marco referencial	7
2.1. Marco Histórico	7
2.1.1 Antecedentes de los distritos de riego a nivel internacional.....	7
2.1.2 Antecedentes de los distritos de riego a nivel nacional.	7
2.1.3 Antecedentes de distritos de riego a nivel local.....	8
2.2 Marco Conceptual.....	9
2.2.1 Mini-distrito de riego.	9
2.2.2 Obra de captación.	9
2.2.3 Línea de conducción.	9
2.2.4 Canales.....	10
2.2.5 Usos del agua.	11
2.4 Marco Teórico.....	11
2.5 Marco Legal	15
Capítulo 3. Diseño Metodológico	19
3.1 Tipo de Investigación.....	19
3.2 Muestra	19
3.3 Población.....	19
3.4 Recolección de información.	20
3.4.1 Técnicas de recolección de información.....	20
3.4.2 Instrumentos para la recolección de información.	21

Capítulo 4 Presentación de resultados	23
4.1 Diagnóstico de los componentes que hacen parte del sistema Hidráulico actual del distrito de riego ASUDRA, basado en las determinaciones técnicas para el comportamiento hidráulico de los fluidos.....	23
4.1.1. Información básica preliminar.....	23
4.1.2 Trabajo de campo y oficina.....	28
4.1.3 Diagnostico Fuente de Abastecimiento.	29
4.1.4 Diagnostico de captaciones.....	35
4.1.5 Diagnostico canales de distribución.....	68
4.2 Estudio hidráulico del distrito de riego ASUDRA, por medio de la herramienta tecnológica H-Canales V 3.0.	106
4.2.1 Estudio hidráulico empleando H-Canales V 3.0.....	106
4.3 Soluciones hidráulicas necesarias para mejorar las condiciones actuales del distrito de riego ASUDRA.....	116
4.3.1 Rediseño de las captaciones laterales del distrito de riego ASUDRA.....	116
4.4 Presupuesto de las obras hidráulicas y mejoras al sistema actual incluyendo el análisis de los precios unitarios de los respectivos ítems constructivos.....	132
 Conclusiones	 134
 Recomendaciones	 136
 Referencias.....	 137
 Apéndices.....	 139
Apéndice A. Información recopilada.....	140
Apéndice B. Registro fotográficos.....	141
Apéndice C. Estudios Topográficos	142

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Climatología del área de influencia.....	25
Tabla 2. Características Morfométricas de las fuentes abastecedoras del distrito de riego.....	29
Tabla 3. Comparaciones de caudales.....	61
Tabla 4. Balance hídrico para un cultivo de tomate.....	66
Tabla 5. Balance hídrico para un cultivo de Frijol.....	67
Tabla 6. Distribución de usuarios según la cantidad de hectáreas irrigadas.....	73
Tabla 7. Clasificación de usuarios que pertenecen a la distribución Rio Frio.....	74
Tabla 8. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning.....	81
Tabla 9. Canales secundarios que parten del canal principal Rio Frio.....	84
Tabla 10. Clasificación de usuarios que pertenecen a la distribución Rio Oroque.....	85
Tabla 11. Canales secundarios que parten del canal principal Rio Oroque.....	90
Tabla 12. Condiciones del flujo para el cálculo del tirante normal.....	100
Tabla 13. Condiciones del flujo para el cálculo del tirante crítico.....	101
Tabla 14. Perdida por infiltración en canales del distrito de riego ASUDRA.....	102
Tabla 15. Presupuesto general de mejoramiento distrito de riego ASUDRA.....	105

Listado de figuras

	Pág.
Figura 1. Localización del municipio de Abrego.....	22
Figura 2. Ubicación de las captaciones del distrito de riego ASUDRA.....	28
Figura 3. Afluentes hídricos que abastecen el distrito de riego ASUDRA.....	29
Figura 4. Material de arrastre del afluente Rio Oroque pasos después de la presa.....	30
Figura 5. Registro, resultados y cálculo de aforos del cauce Rio Frio.....	31
Figura 6. Registro, resultados y cálculo de aforos del cauce Rio Oroque.....	31
Figura 7. Condición actual bocatoma Rio Frio.....	34
Figura 8. Disipador de energía del flujo bocatoma Rio Frio.....	35
Figura 9. Presa bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.....	36
Figura 10. Rejilla de captación lateral bocatoma Rio Frio.....	36
Figura 11. Rejilla actual de la bocatoma Rio Frio.....	38
Figura 12. Vista en planta Bocatoma Rio Frio.....	43
Figura 13. Vista en perfil de la Bocatoma Rio Frio.....	43
Figura 14. Vista en perfil derivación de aguas Bocatoma Rio Frio.....	45
Figura 15. Condición actual Bocatoma Rio Oroque.....	48
Figura 16. Presa bocatoma Rio Oroque.....	49
Figura 17. Rejilla de captación lateral bocatoma Rio Oroque.....	50
Figura 18. Rejilla actual bocatoma Rio Oroque.....	51
Figura 19. Vista en planta Bocatoma Rio Oroque.....	56
Figura 20. Vista en perfil de la bocatoma Rio Oroque.....	56
Figura 21. Vista en perfil derivación de aguas Bocatoma Rio Oroque.....	58
Figura 22. Plano en planta de los canales del distrito de riego ASUDRA.....	63
Figura 23. Curva Generalizada del coeficiente de cultivo K_c	71
Figura 24. Plano en planta del canal principal Rio Frio.....	75
Figura 25. Sección transversal del canal principal Rio Frio.....	76
Figura 26. Canal principal que parte de la bocatoma Rio Frio.....	78
Figura 27. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.....	79

Figura 28. Plano en planta del canal principal Rio Oroque.....	86
Figura 29. Sección transversal canal principal Rio Oroque.....	87
Figura 30. Canal principal Bocatoma Rio Oroque.....	90
Figura 32. Canales con obstrucción por vegetación.....	92
Figura 33. Canal secundario con deterioro en su infraestructura.....	93
Figura 34. Ventana principal del software H-Canales versión 3.0.....	94
Figura 35. Opciones de cálculo del software H-Canales versión 3.0.....	95
Figura 36. Calculo de tirante normal del canal principal Rio Frio.....	96
Figura 37. Calculo de tirante crítico del canal principal Rio Frio.....	97
Figura 38. Calculo del ancho de canal, pendiente y rugosidad para el canal principal Rio Frio...98	
Figura 39. Perdidas por infiltración en el canal principal Rio Frio.....	98

Resumen

El distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Abrego), es quizás la obra más importante de adecuación de tierras que existe en el municipio de Abrego, Norte de Santander, ya que la principal fuente de ingresos del municipio depende de la agricultura en especial de cultivos transitorios. Actualmente los agricultores del bello valle de Abrego, se han visto afectados por el deterioro de su distrito de riego ya que se encuentra descuidado por parte de la administración del mismo, por tal motivo en este proyecto, se busca dar a conocer el diagnóstico actual que presenta el distrito de riego como también evaluar las condiciones hidráulicas de los canales de conducción y distribución mediante las herramientas informáticas que arrojen datos precisos para una mejor interpretación de las condiciones hidráulicas que se presentan; por último se plantea el presupuesto que da a conocer los parámetros esenciales que se deben mejorar para hacer un buen uso del distrito de riego ASUDRA(Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Abrego).

Introducción

Los distritos de riego son estructuras hidráulicas que sirven para captar, transportar y distribuir agua para el uso consuntivo, es decir para el riego de cultivos. Los distritos de riego son el mecanismo de desarrollo para las poblaciones rurales o municipios en los que la agricultura es su principal fuente de ingresos y los cuales deben contar con los medios de irrigación para satisfacer la demanda hídrica necesaria para todo cultivo, por lo que se requiere de un sistema que capte transporte y distribuya agua de forma eficiente. Estos sistemas están compuestos por estructuras hidráulicas que conforman las obras de captación del agua desde el afluente hídrico, el transporte del volumen de agua recogido y la distribución predial para cada uno de los cultivos a irrigar.

Por lo general, debido a las condiciones topográficas y a la cantidad de hectáreas a irrigar, los distritos de riego pueden ser de baja, mediana y alta irrigación. Cuando estos cultivos son de baja irrigación lo más común es que el costo de mantenimiento y el costo para la elaboración del sistema o distrito de riego corra por cuenta de los usuarios o consumidores, pero cuando se habla de distritos de riego de mediana y alta irrigación, se dice que son estructuras hidráulicas que conllevan una cantidad considerable de estudios y una alta inversión para su elaboración, por lo que involucra al sector público para poder llevar a cabo este tipo de proyecto y mejorar las condiciones de vida de los agricultores.

Por consiguiente mencionado lo anterior, en Colombia la inversión por parte de las entidades públicas para el uso del agua en el desarrollo rural como recurso vital para vivir no se

hace a gran escala, por lo que se puede observar que en muchas regiones del país, no se cuenta con sistemas técnicos para la utilización del agua en los cultivos, además cabe mencionar que en los sistemas de agua para riego que actualmente existen, cuando son muy antiguos y conllevan poco mantenimiento, se llega al punto de su pérdida total.

En este caso el objeto de estudio de la presente investigación corresponde al distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usurarios del Distrito de Riego de Abrego), del municipio de Abrego, Norte de Santander, el cual se destaca por ser un distrito de riego de mediana irrigación que satisface la gran mayoría de agricultores de la región, ya que la agricultura es la principal fuente de ingresos del municipio de Abrego.

En la actualidad el distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usurarios del Distrito de Riego de Abrego), tiene una antigüedad mayor de 20 años lo que da a entender que ha sufrido el deterioro a causa del tiempo, además, la falta de mantenimiento por la escasez de recursos para invertir en cualquier remodelación ha causado un mal servicio para los usuarios, debido a que los recursos que destina el gobierno nacional para contribuir con el desarrollo rural no contemplan este tipo de problemáticas.

Capítulo 1. Diagnóstico del sistema hidráulico para el distrito de riego Asudra en el municipio de Abrego Norte de Santander

1.1 Planteamiento Del Problema

El municipio de Abrego, desde hace mucho tiempo ha contado con infraestructuras importantes como sistemas de abastecimiento para riego que benefician a pequeños productores agropecuarios, sin embargo la ineficiente operación y el poco mantenimiento preventivo y correctivo de esta infraestructura ha traído como consecuencia un deterioro estructural de la misma, como la socavación de estructuras y el colapso de las mismas cuando el descuido es inminente; sumado a esto, la falta de capacidad hidráulica de la captación, ocasionan un mal funcionamiento en su conducción y distribución del agua para el riego. Lo anterior impide su uso adecuado y beneficia en estos momentos solo a unos pocos agricultores, trayendo como consecuencia pocas hectáreas cultivadas y abastecidas con riego y por ende una baja en la producción de los cultivos de ciclo corto como el tomate, frijol, cebolla

En la actualidad el municipio de Abrego Norte de Santander debido a las condiciones de la región tiene como principal fuente de economía la agricultura, la cual hace parte del desarrollo socioeconómico del municipio, por lo que el uso del agua es indispensable para que exista progreso en la comunidad. Según los distritos de riego que existen en el municipio de Abrego, debido a su antigüedad no se encuentran en las mejores condiciones para operar, de igual forma se añade la falta de recursos para realizar reparaciones y mantenimiento. Resaltando en este caso el objeto de estudio que corresponde al distrito de riego ASUDRA(Asociación de Usuarios del

Distrito de Riego de Abrego) no cuenta con una medición tecnificada la cual permita establecer su grado de eficiencia, esta situación puede causar malos manejos del recurso hídrico que proviene del río Algodonal y el cual también es usado como fuente de abastecimiento de los acueductos urbanos de Ocaña y Abrego. Por las razones anteriormente expuestas se hace necesaria realizar un diagnóstico y evaluación del sistema Hidráulico del distrito de riego así como de cada uno de sus componentes buscando mejorar su eficiencia en cuanto al uso del agua.

1.2 Formulación del problema

¿Actualmente el distrito de riego ASUDRA cubre la totalidad de la demanda en cuanto al riego y abastecimiento de los usuarios en su área de influencia?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General. Diagnosticar la capacidad hidráulica del distrito de riego ASUDRA en el municipio de Abrego Norte de Santander mediante el uso de herramientas tecnológicas que permitan establecer mejoras al sistema de riego.

1.3.2 Objetivos específicos. Realizar el diagnóstico de los componentes que hacen parte del sistema Hidráulico actual del distrito de riego ASUDRA, basado en las determinaciones técnicas para el comportamiento hidráulico de los fluidos.

Presentar el estudio hidráulico del distrito de riego ASUDRA, por medio de la herramienta tecnología H-Canales V 3.0.

Plantear las soluciones hidráulicas necesarias para mejorar las condiciones actuales del distrito de riego ASUDRA.

Presupuestar las obras hidráulicas y mejoras al sistema actual incluyendo el análisis de los precios unitarios de los respectivos ítems constructivos.

1.4 Justificación

El distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Abrego), es la obra de adecuación de tierras más importante de la provincia de Ocaña esta obra permite el suministro de agua a los productores agropecuarios medianos y pequeños del valle de Abrego este sistema de adecuación irriga los cultivos perennes (transitorios) y los pastos que se encuentran establecidos en estas tierras; a pesar de su importancia para la economía de la región se desconoce si este distrito de riego es eficiente desde el aspecto hidráulico, con respecto a la cantidad de área total sembrada con los diferentes cultivos y el uso racional y eficiente del recurso hídrico, esto se debe a que el sistema no cuenta con implementos técnicos para medición del consumo y tampoco se ha determinado realmente las áreas de siembra dado que la gran mayoría de productores desconoce el área superficial de siembra en sus predios, tampoco se cuenta con los diseños agronómicos para los diferentes cultivos en la zona que permita calcular el requerimiento hídrico de estos cultivos de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas que se presentan en el valle de Abrego, el

Distrito de riego tampoco cuenta con un diseño hidráulico a nivel predial el cual determine cuál es el mejor sistema de riego a utilizar de acuerdo al diseño agronómico de cada cultivo.

Con la elaboración de este proyecto se establece mediante un análisis de la información primaria y secundaria de las condiciones actuales en las que se encuentra el sistema teniendo en cuenta desde las estructuras de captación hasta sus canales de distribución, con el fin de diagnosticar y proponer una solución para su buen uso y mejoramiento, de igual forma también se busca que mejoren el buen reparto del agua para que todos los usuarios puedan esperar una cantidad considerable y las condiciones hidráulicas para su buen uso.

1.5 Delimitaciones

Las delimitaciones presentes en esta investigación se centran en cuatro grupos, que son:

1.5.1 Delimitación Operativa. A nivel operativo, la investigación se desarrolla mediante visitas de campo a la zona de influencia del proyecto, en donde se localizan las estructuras de captación (bocatoma) incluyendo obras de conducción y de distribución para el riego. Una vez localizados los componentes que conforman el distrito de riego se evalúan las condiciones hidráulicas actuales teniendo en cuenta la topografía del sistema, utilizando la información existente y considerando los cambios que ha sufrido por el tiempo. También se realiza la evaluación hidráulica del sistema de riego mediante el software H-Canales V3.0, para conocer las condiciones del flujo y finalmente proponer un presupuesto de remodelación para mejorar el sistema actual de distrito de riego ASUDRA.

1.5.2 Delimitación Conceptual. El proyecto se encuentra enfocado en el estudio del distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Abrego), que consta de obras de captación, líneas de conducción y distribución en canales a flujo libre, sin incluir el diseño intrapredial dado que la información de consumos por predio se encuentra regulada por la empresa ASUDRA.

1.5.3 Delimitación geográfica. La zona de influencia del proyecto se ubica dentro de los límites oficialmente establecidos por el EOT del municipio de Abrego Norte de Santander.

El Municipio está ubicado en la región Noroccidental del Departamento Norte de Santander. Cabecera municipal 8°04'59" latitud Norte y 73°13'26" de longitud Oeste. Población: 37.796 habitantes. Distribuidos Así: 11.788 habitantes en la zona Urbana y 26.008 habitantes en lo rural. Abrego, posee los pisos térmicos cálidos, templado, frío y páramo. Su geografía está conformada por un inmenso valle donde se ubica la población, rodeada por prominentes cerros de la bifurcación de la cordillera oriental, siendo su principal altura el cerro de Jurisdicciones (3.800 msnm) ecosistema estratégico del municipio desde el punto de vista ecológico y de las comunicaciones. Los límites del municipio son:

Norte: Municipios de Ocaña y la Playa.

Sur: Municipios de Cáchira y Villacaro.

Oriente: Municipios de Hacarí, Sardinata y Bucarasica.

Occidente: Municipio de la Esperanza y Departamento del Cesar.

Extensión total: Ábrego cuenta con una extensión de 920 Km².

Extensión área urbana: 3 Km² en área aproximada Km².

Extensión área rural: 920 Km² en área aproximada Km².

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1.380 m.s.n.m. (Alcaldía de Abrego norte de Santander, 2016).

1.5.4 Delimitación temporal. El desarrollo del proyecto tiene prevista una duración total de cinco (5) meses contemplados en dos (2) meses para la recolección de datos de campo y tres (3) meses para el análisis, proceso y organización de la información recolectada.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1. Marco Histórico

2.1.1 Antecedentes de los distritos de riego a nivel internacional. Según Díaz J. (2010), nos dice que:

El riego, dentro de este amplio marco de gestión de los recursos hídricos, constituye en la mayor parte de los países latinoamericanos el principal usuario del agua. El riego y el drenaje son considerados como un elemento fundamental en la producción agrícola debido a su efecto en el incremento de la producción, la mejora de la calidad de los productos, la intensificación sostenible del uso de la tierra, la diversificación en la producción y su contribución a la mejora de la seguridad alimentaria.

En países como México, los recursos hídricos, además de ser escasos, se encuentran mal distribuidos, esto se debe a que en las planicies costeras, a excepción de la Península de Baja California y Sonora, hay abundancia de agua, mientras que en el resto del país es poca o muy escasa. Con la transferencia de los grandes distritos de riego a organizaciones de usuarios, se trató de convertir estos distritos en unas organizaciones eficientes desde el punto de vista operativo y también económicamente. De esta manera, en la toma de decisiones se ha pasado de la planeación global la cual abarcaba un distrito de riego, a la particular donde el módulo de riego (sistema de riego usado en cada predio), es el responsable de administrar el recurso hídrico.

2.1.2 Antecedentes de los distritos de riego a nivel nacional. Según Agudelo L.J. & Pino Manquillo V. (2012), con relación a los distritos de riego nos dice que:

Los denominados sistemas de abastecimiento de agua en nuestro país se han distinguido por ser de carácter sectorial, entre estos están los sistemas de acueductos de agua potable regidos por la Ley 142 de 1994 y los distritos de riego regidos por la Ley 41 de 1993; los cuales se implementan según la necesidad de la población. Sin embargo, se ha desarrollado una problemática en algunas zonas rurales y sub urbanas que poseen sistemas de acueducto, pero no cuentan con la infraestructura de un mini-distrito de riego para desarrollar sus actividades productivas de carácter agrícola; estas zonas deberían de contar con ambos sistemas de

abastecimiento, lo cual permitiría asegurar un desarrollo sostenible y un buen manejo del recurso hídrico; mejorando la productividad a pequeña escala y la calidad de vida de los habitantes.

Un claro ejemplo de esta situación, se puede observar en los corregimientos de La Palma y Tres Puertas, zona rural del municipio de Restrepo (Valle del Cauca), en los cuales la principal fuente de abastecimiento de agua es el acueducto La Palma-Tres Puertas, la cual además de suplir las necesidades básicas de la comunidad, también es utilizado para desarrollar actividades productivas de tipo agrícola ; generando así un conflicto por el uso del agua donde prima el consumo humano y doméstico sobre el uso agrícola, que podría llegar a ocasionar un colapso en el sistema.

2.1.3 Antecedentes de distritos de riego a nivel local. Según Sanguino, M.A, &

Quintana. (2016), en su tesis de grado para optar el título de ingeniero civil, titulada Diseño de alternativa para la optimización del Minidistrito de Riego San Javier del municipio de Abrego, Norte de Santander, en donde nos dice que:

El Minidistrito de riego San Javier, ubicado en la zona oriental del Municipio de Abrego, abarca varias veredas entre las que están, San Javier, Santa Lucia, Rio Frio y Llanos del Pozo, según la asociación de municipios (A.M. 2015) beneficia alrededor de 110 hectáreas de cultivos transitorios pero cuya infraestructura está deteriorada y sus componentes requieren repararse para que esta permita captar, transportar y entregar agua para riego a los pequeños productores que hacen parte de dicho Minidistrito . La captación, el desarenador, la línea de aducción, su sistema de control (Válvulas de corte, ventosas, purgas y otros), redistribución y redes prediales requieren de un diagnóstico, evaluación, sobre su estado para proponer una alternativa que permita su rehabilitación y aprovechamiento al máximo, de la infraestructura actual existente y disponible.

El agua presente en el Minidistrito, se considera un recurso estratégico para el desarrollo social, cultural y económico de los usuarios beneficiarios y de la Región, pues aporta bienestar, seguridad alimentaria, mantenimiento y funcionamiento de ecosistemas. Con la falencia en sus obras e infraestructura, hay pérdida de este valioso recurso para el sector agropecuario y productivo.

Con la alternativa de optimización del Minidistrito, se evitan efectos, desastres y riesgos en el Minidistrito, en caso de presentarse fuertes lluvias por la falencia y problemática existente, en algunas de sus obras e infraestructura.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Mini-distrito de riego. Un minidistrito de riego, es una obra de ingeniería encargada de recolectar agua y dirigirla hacia los predios determinados para los cultivos, los distritos de riego son obras hidráulicas compuestas por varios elementos para la captación, conducción y distribución de agua para uso consuntivo. Un minidistrito de riego por lo general abarca pocos usuarios ya que la magnitud y el número de hectáreas con capacidad de irrigar no son tan grandes.

2.2.2 Obra de captación. Las obras de captación corresponden a las estructuras hidráulicas capaz de captar un determinado caudal de una fuente de abastecimiento. Dichas obras hidráulicas varían dependiendo del uso y del tipo de afluente hídrico a captar, por lo general cuando se habla de ríos de montaña las bocatomas pueden ser de toma de fondo más conocida como rejilla de fondo o toma lateral conocida como rejilla lateral.

Las bocatomas típicas para acueductos veredales están compuesta por una rejilla de fondo o lateral, una presa en donde se ubica la rejilla, una cámara de derivación, un canal de aducción para el caso de rejillas de fondo, y un vertedero de excesos para que el caudal sobrante captado por la cámara de derivación se devuelva al cauce.

2.2.3 Línea de conducción. Es la que se encarga de transportar el agua desde la fuente de abastecimiento hasta los tanques de regulación de los sistemas de distribución, esta debe seguir en lo posible el perfil del terreno.

2.2.4 Canales. Son conductos abiertos a flujo libre que sirven para conducir el agua una vez recolectada por las estructuras de captación para ser distribuidas, según su origen los canales pueden ser naturales o artificiales. Rodríguez Ruiz P. (2008), nos dice:

2.2.4.1 Canales naturales: Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, ríos pequeños y grandes, arroyos, lagos y lagunas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales. La sección transversal de un canal natural es generalmente de forma muy irregular y variable durante su recorrido lo mismo que su alineación y las características y aspereza de los lechos. Algunos tipos de canales naturales se muestran en la siguiente figura.

2.2.1.2 Canales artificiales. son todos aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo de la mano del hombre, tales como: canales de riego, de navegación, control de inundaciones, canales de centrales hidroeléctricas, alcantarillado pluvial, sanitario, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras, cunetas de drenaje agrícola y canales de modelos construidos en el laboratorio. Los canales artificiales usualmente se diseñan con forma geométricas regulares (prismáticos), un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se conoce como canal prismático. El término sección de canal se refiere a la sección transversal tomado en forma perpendicular a la dirección del flujo. Las secciones transversales más comunes son las siguientes:

Sección trapezoidal: Se usa en canales de tierra debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad, y en canales revestidos.

Sección rectangular: Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales estables, acueductos de madera, para canales excavados en roca y para canales revestidos.

Sección triangular: Se usa para cunetas revestidas en las carreteras, también en canales de tierra pequeños, fundamentalmente por facilidad de trazo. También se emplean revestidas, como alcantarillas de las carreteras.

Sección parabólica: Se emplea en algunas ocasiones para canales revestidos y es la forma que toman aproximadamente muchos canales naturales y canales viejos de tierra.

Sección circular cerrada: El círculo es la sección más común para alcantarillados y alcantarillas de tamaños pequeño y mediano.

Sección parabólica cerrada: Se usan comúnmente para alcantarillas y estructuras hidráulicas importantes.

2.2.5 Usos del agua. El capítulo III, Sección 1, Artículo 41 del Decreto 1541 de 28 de Julio de 1978, establece que para otorgar concesiones de aguas, se tendrán en cuenta el siguiente orden de prioridades:

- a. Utilización para el consumo humano, colectivo o comunitario, sea urbano o rural
- b. Utilización para necesidades domésticas individuales
- c. Usos agropecuarios comunitarios, comprendidas la acuicultura y la pesca
- d. Usos agropecuarios individuales, comprendidas la acuicultura y la pesca
- e. Generación de energía hidroeléctrica
- f. Usos industriales o manufactureros
- g. Usos mineros
- h. Usos recreativos comunitarios
- i. Usos recreativos individuales.

2.4 Marco Teórico

Echeverri (2012), argumenta que el agua es clave por su diversidad de usos, para el consumo directo por parte del hombre, los animales y las plantas; la agricultura, la industria, el transporte y la energía. El acceso seguro a este recurso contribuye a un mayor bienestar y a una seguridad alimentaria, mientras que un mal manejo puede crear pobreza y perpetuarla

A escala mundial, Colombia es considerada como uno de los países más ricos en recursos naturales, especialmente referido al suelo y a los recursos hídricos, que presentan un gran

potencial para el desarrollo de la agricultura bajo riego. Colombia es un país tropical situado en Suramérica, que cuenta con una superficie total de 114 millones de hectáreas, posee una producción específica de agua superficial de 0,59 l/s por ha, ocupando el cuarto lugar a nivel mundial. El país tiene una precipitación anual media de 1.900 mm, tiene más de 1.000 ríos perennes, 10 ríos interiores que tienen una descarga anual media mayor a 1.000 m³/s. (FAO; 2014)

Según (Urrutia, 2016) El riego a gran escala corresponde al sector público, en el cual se agrupan 24 distritos de riego que cubren 264.802 ha; de estas un total de 132.918 ha cuenta con infraestructura de riego y drenaje y 131.884 ha con solamente drenaje. El área cubierta por los distritos de riego tiene una capacidad total de alrededor de 500 m³/s; la red de riego es de 1.905 km, donde el 37% pertenece a los canales principales, el 45% a los canales secundarios y el 18% a los canales terciarios; la red de drenaje es de 2.132 km, en donde el 44% corresponden a los drenes principales, el 39% a los drenes secundarios y el 17% a los drenes terciarios; y la red de carreteras tiene 3.382 km de largo. Cerca del 9% del suelo es utilizado para las cosechas permanentes, el 51% para las cosechas transitorias y el 40% para la hierba. Cerca del 62% de las industrias son más pequeñas de 5 ha y cubre alrededor del 9% de la superficie total, el 17% está entre 5-10 ha y cubre el 13% del área, el 16% de las industrias está entre 10-50 ha, mientras que el 3% es más grande de 50 ha y cubre el 38% de la superficie total.

Nuestro país aporta menos del 3% del área de tierra irrigada en América Latina, ocupando el sexto lugar entre los países suramericanos, con un 12,5% de tierras irrigadas sobre las tierras cultivadas totales. El área aumentó rápidamente hasta finales de los años 60, pero el crecimiento

cayó considerablemente durante las dos décadas pasadas. Durante el período 1990 - 2000 el sector público concentró sus recursos en la rehabilitación, la terminación y la ampliación de los distritos existentes de riego (Urrutia, 2016).

Según Cárdenas (2014), en la mayoría de las ocasiones funcionarios y representantes de los agentes implicados en el manejo del agua de los países en desarrollo se ven apresurados a ofrecer alternativas de solución a problemas de asignación de agua con fines de irrigación, lo que ocasiona planificaciones inapropiadas que disminuyen la eficiencia de la asignación. En algunas situaciones la falta de tiempo y experiencia en la elaboración de planes estratégicos o los escasos conocimientos para la transferencia de experiencias de gestión contribuyen a tomar decisiones desafortunadas. Ostrón (2004) indica que es frecuente observar que en algunas oportunidades la intervención del Estado en lugar de mantener y reforzar la capacidad de gestión propia contribuye al colapso de organizaciones, dificultando su creación o funcionamiento adecuado.

Para poder lograr la eficiencia del riego se requiere considerar los intereses y posibilidades del productor, así como también desarrollar y/o aplicar tecnología que impulse los sistemas de riego (Martínez, 2016). 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). En forma general de riego por superficie se operan en base a las experiencias de los usuarios (regadores), sin ningún soporte tecnológico suficiente, por lo que

es común que se incurra en desviaciones que conducen a una práctica de riego deficiente (Levine, 2016).

Para el INCODER, 2014 El sistema de distribución de agua en un distrito de riego consta de una serie de canales y de estructuras que se requieren para conducir el agua de las fuentes de abastecimiento o derivación a todos los puntos de la zona regable o de regadío.

En el caso del sistema de distribución está formado por la red de canales de riego, los cuales se denominan así: canales principales que parten de las obras de captación, canales laterales o secundarios que parten de los canales principales o primarios, canales sublaterales o terciarios que parten de los secundarios y así sucesivamente hasta las acequias que son pequeños canales que conducen el agua de riego hasta los surcos o melgas en los sistemas de riego por gravedad (INCODER, 2014)

Los canales son conducciones a superficie libre que se utilizan en sistemas de suministro de agua para riego y en sistemas de drenaje para la evacuación de las aguas provenientes de las lluvias. Dentro de estos se deben incluir los canales naturales y los canales artificiales. (Pérez; castro, 2016)

Los que se denominan canales naturales son los ríos, quebradas, arroyos, caños o zanjones de acuerdo con su importancia y con la región donde se encuentran. Su principal característica es su caudal es variable, transportan material sólido como carga de fondo o en suspensión, están sometidos a procesos de socavación y de sedimentación, cambian de curso, forman brazos e

islas, sufren continuos ataques de las corrientes contra las márgenes y pueden desbordarse generando inundaciones en las de influencia.

Los canales que se denominan artificiales se conocen simplemente como canales y se diseñan, se construyen para conducir volúmenes determinados de agua desde una fuente de suministro hasta un centro de consumo. Su funcionamiento está controlado y no deben estar sujetos a procesos de erosión y sedimentación. En tramos de muy baja pendiente pueden ser excavados en el terreno natural y no necesitan revestimiento; sin embargo, en la mayoría de los casos los canales son revestidos en arcilla, colchonetas, piedra pegada, losas de concreto, concreto reforzado o elementos prefabricados (INCODER, 2014).

En algunos sistemas de riego los canales pueden emplearse entre la captación y el tanque sedimentador, y luego entre el desarenador y el tanque de almacenamiento. En otros, dependiendo de la forma como se programe la distribución del agua a los predios a partir del tanque de almacenamiento, se utilizan tuberías o combinaciones de tuberías y canales. (Ruiz 2014).

2.5 Marco Legal

El congreso de Colombia, decretó la Ley 41 de 1993 por la cual se organiza el subsector de adecuación de tierras y se establecen sus funciones. Esta tiene por objeto regular la construcción de obras de adecuación de tierras, con el fin de mejorar y hacer más productivas las actividades

agropecuarias, velando por la defensa y conservación de las cuencas hidrográficas. De acuerdo a la Ley 41 de 1993 del capítulo I, prevalecen los siguientes artículos

Artículo 2. Concesiones de agua: La autoridad administradora de las obras de adecuación de tierras, será la encargada de obtener las concesiones de aguas superficiales y subterráneas correspondientes para el aprovechamiento de éstas en beneficio colectivo o individual dentro de un área específica. Corresponderá a la entidad administradora de cada distrito de riego la función de conceder el derecho de uso de aguas superficiales y subterráneas en el área de los distritos de adecuación de tierras.

Artículo 3. Adecuación de tierras-concepto: Para los fines de la presente Ley se entiende por adecuación de tierras, la construcción de obras de infraestructura destinadas a dotar un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones, con el propósito de aumentar la productividad del sector agropecuario. La adecuación de tierras es un servicio público.

Artículo 4. Distrito de adecuación de tierras-concepto: 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.

Artículo 5. Usuarios del distrito: Es usuario de un Distrito de Adecuación de Tierras toda persona natural o jurídica que explote en calidad de dueño, tenedor o poseedor, acreditado con justo título, un predio en el área de dicho Distrito. En tal virtud, debe someterse a las normas

legales o reglamentarias que regulen la utilización de los servicios, el manejo y conservación de las obras, y la protección y defensa de los recursos naturales

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. Todo usuario de un Distrito de Adecuación de Tierras adquiere por ese solo hecho la calidad de afiliado de la respectiva asociación y, por lo mismo, le obligan los reglamentos y demás disposiciones que se apliquen a dichos organismos y a sus miembros.

El Subsector de Adecuación de Tierras estará constituido por el Ministerio de Agricultura, como organismo rector de las políticas en adecuación de tierras, por el Consejo Superior de Adecuación de Tierras (CONSUAT), como organismo consultivo y coordinador de dichas políticas por el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT) junto con las entidades públicas y privadas, como organismos ejecutores, y por el Fondo Nacional de Adecuación de Tierras (FONAT), como unidad administrativa de financiamiento de los proyectos de riego, drenaje y defensa contra las inundaciones.

Después de 7 años del programa de adecuación de tierras, surgieron problemas por el manejo inadecuado de los recursos económicos y a la falta de desarrollo de algunos programas de adecuación de tierras propuestos desde 1990 por los diversos programas gubernamentales. Como consecuencia, un cambio en el marco institucional se introdujo a comienzos del año 2003 donde algunas instituciones públicas fueron suprimidas e integradas a una nueva organización llamada Instituto Colombiano para el Desarrollo Rural (INCODER) (Urrutia, 2006) esta

institución fue creada mediante el decreto 1300 de 2003 y su estructura fue modificada mediante el decreto 3759 de 2009; después de haber declarado inexecutable la Ley 1152 de 2007, por sentencia C-175/09.

El INCODER fue una entidad oficial del orden nacional, adscrito al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa y financiera. El Instituto tiene como objetivo fundamental ejecutar la política agropecuaria y desarrollo rural, facilitar el acceso a los factores productivos, fortalecer las entidades territoriales y sus comunidades y propiciar la articulación de las acciones institucionales el medio rural, bajo principios de competitividad, equidad, sostenibilidad, multifuncionalidad y descentralización, para contribuir a mejorar la calidad de vida de los pobladores rurales y al desarrollo socioeconómico del país (Parra, 2015).

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación utilizado para la realización de este proyecto es descriptiva y cuantitativa, ya que consiste en la identificación de las características propias de los elementos que han dejado de funcionar correctamente y que hacen parte del distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Abrego) para luego dar a conocer una evaluación hidráulica y diagnosticar sus condiciones actuales y proponer un posible mejoramiento para optimizar sus condiciones de uso.

3.2 Muestra

El presente proyecto de investigación se realizó tomando como base de estudio las veredas en las que tiene influencia los dos canales del distrito de riego ASUDRA que son El Ricon, Santa Rita, El Hoyo, Llano Alto, El Tirol, Casa De Teja, Llano Suarez Y El Molino, pertenecientes a la zona rural del municipio de Abrego Norte de Santander, como también algunos sectores del casco urbano del municipio que anteriormente eran considerados zona rural y hoy en día se encuentran urbanizados.

3.3 Población

La población enmarcada dentro de este proyecto, abarca a los usuarios que hacen parte del distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usurarios del Distrito de Riego de Abrego);

administrado por la empresa que lleva su mismo nombre ASUDRA, en donde anteriormente era de carácter público pero debido a la falta de recursos, la empresa paso a ser de carácter privado. Según información suministrada por la empresa para el año 2017, cuenta con 405 usuarios y beneficia alrededor de 1000 hectáreas de cultivos transitorios.

3.4 Recolección de información.

3.4.1 Técnicas de recolección de información. La recolección de la información se realizó mediante las siguientes técnicas.

3.4.1.1 La observación. Para llevar a cabo la realización de la presente investigación se utilizó una rigurosa observación en la zona de influencia del proyecto en donde se obtuvieron datos básicos de la ubicación geoespacial y el estado actual en el que se encontraron cada uno de los componentes que hacen parte del distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Abrego), se tomaron las medidas en campo de las captaciones (rejilla de recolección, presa, muros de encausamiento). También se tomaron las medidas de los canales principales de conducción y los canales secundarios de distribución.

3.4.1.2 La entrevista. En este proyecto, también fue necesario del conocimiento propio de los beneficiarios y encargados del distrito de riego, por lo que se realizó el dialogo directo con las autoridades competentes de la región, Presidente y Vicepresidente de la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Abrego ASUDRA, sobre la problemática que se viene presentando en el sector, debido a las falencias y deficiencias en el sistema de riego. También se

obtuvo el dialogo directo con algunos beneficiarios del distrito de riego y con el representante legal Saúl Álvarez Vergel, quien facilito información importante para la realización de esta investigación.

3.4.2 Instrumentos para la recolección de información. Para la recolección de dato e información se utilizó los siguientes instrumentos.

P.B.O.T. (Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Ábrego), con el fin de verificar estudios de suelos y perfil de la población, entre otros aspectos.

Planos Heliográficos del HIMAT (Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras), hoy llamado IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).

Informe de seguimiento a concesión de aguas realizada por CORPONOR (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental), en donde se facilita información de tipo técnica para el conocimiento de algunas características de la infraestructura existente que conforma el distrito de riego ASUDRA.

Secretaria de planeación del municipio de Abrego Norte de Santander.

Igualmente cabe resaltar que se realizara la respectiva recopilación de información en campo durante el proceso de visitas, además del dialogo directo con los beneficiaros del distrito de riego ASUDRA, en donde por medio de la entrevista se caracteriza la siguiente información:

FECHA DE ENTREVISTA: _____	
	VALORACION
Como es el servicio del distrito de riego?	
Que falencias considera que debe mejorar el distrito?	
El servicio de agua es continuo?	
El agua del distrito es utilizado para uso agrícola o domestico?	
Que cultivos irriga con el uso del distrito de riego?	
La tarifa que paga es oportuna con relación al servicio recibido?	
Los beneficiarios ayudan con el mantenimiento del distrito?	
Cuantas veces al año se realiza el mantenimiento al distrito de riego?	

Figura 1. Entrevista dirigida a los usuarios del distrito de riego ASUDRA. Fuente: Autores del proyecto.

Capítulo 4 Presentación de resultados

4.1 Diagnóstico de los componentes que hacen parte del sistema Hidráulico actual del distrito de riego ASUDRA, basado en las determinaciones técnicas para el comportamiento hidráulico de los fluidos.

El distrito de riego ASUDRA beneficia las áreas cultivables que pertenecen al denominado valle de Abrego y que son colindantes con la cabecera municipal, a continuación se presenta todos los insumos necesarios para conocer, diagnosticar y proponer las mejoras para su óptimo funcionamiento.

4.1.1. Información básica preliminar. La información básica preliminar alude a las condiciones actuales que presenta el municipio de Abrego y son las siguientes:

4.1.1.1 Ubicación Geográfica. El Municipio de Ábrego, está ubicado en la región Noroccidental del Departamento Norte de Santander. Cabecera municipal con coordenadas 8°04'59" de latitud Norte y 73°13'26" de longitud Oeste. Población: 37.796 habitantes, distribuidos así: 11.788 habitantes en la zona Urbana y 26.008 habitantes en lo rural. Abrego, posee los pisos térmicos cálidos, templado, frío y páramo. Su geografía está conformada por un inmenso valle donde se ubica la población, rodeado por prominentes cerros de la bifurcación de la cordillera oriental, siendo su principal altura el cerro de Jurisdicciones (3.800 msnm); ecosistema estratégico del municipio desde el punto de vista ecológico y de las comunicaciones. Sus montañas están conformadas por bosque nativo y primario donde se encuentra todo tipo de

fauna y flora destacándose el oso de anteojos y el paujil y toda clase de plantas medicinales silvestres. Ver figura 2.

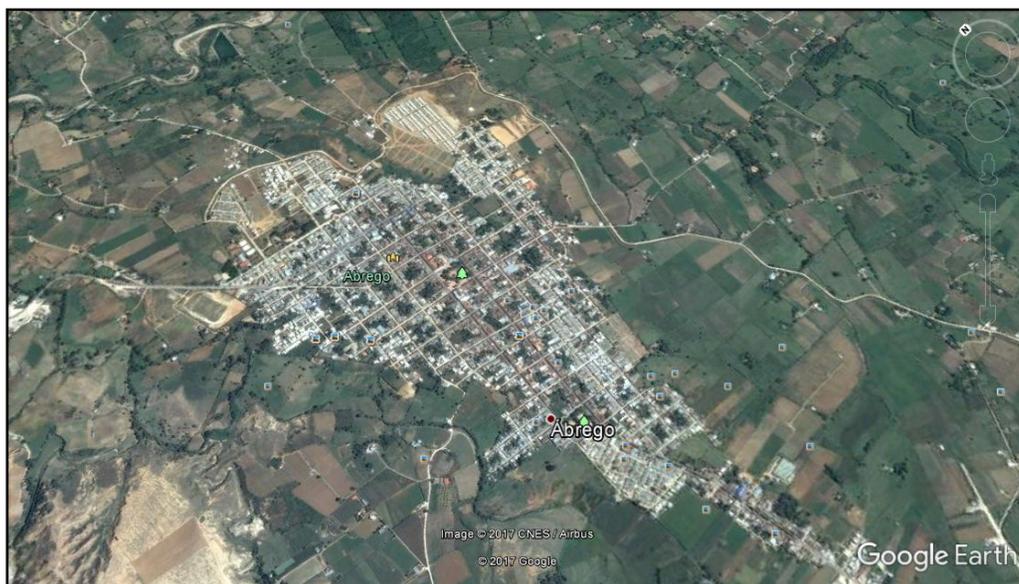


Figura 2. Localización del municipio de Abrego. Fuente: Google Earth Pro.

4.1.1.2 Reseña Histórica. Ábrego, llamado inicialmente La Cruz, fue fundado en 1765 en terrenos donados por las hermanas Ana Josefa y María Teresa Maldonado, a los que luego se añadieron los terrenos de Gregorio Quintero, Aquilino Jácome, Miguel Navarro, Ramón Trillos, Manuel Gómez, Esteban Patricia, Francisco Peñaranda y Miguel Álvarez Castrillón. Los primeros forjadores de Ábrego fueron: Antonio José del Rincón, propietario de la hacienda El Algodonal en 1753; Lope Bernardo de Maris, propietario de la hacienda Aratoque en 1774; María Quiroz del Barco, propietaria de la hacienda la Labranza afinales del siglo XVII; Isabel Bonilla propietaria de Los Hatos de Oropoma (esta hacienda también se llamó Caracica). Conociendo como Las Cruces hasta llegar a llamarla singularmente La Cruz. Con motivo de la expedición de la ley 5 de 1920, que ordenó el cambio de nombres homónimos en algunos municipios colombianos, la asamblea de Norte de Santander expidió la ordenanza Número 32 del 11 de abril de 1930 por medio de la cual le dio el nombre de Ábrego, en honor de la heroína Norte Santandereana sacrificada en 1813.

El 26 de Julio de 1.580 con motivo de celebrarse la primera eucaristía los encomenderos levantaron un gran madero en todo el centro del valle, este Símbolo cristiano determinó el nombre de la región, desde ese día se empezó a conocer este territorio como los Llanos de la Cruz. Esta población surgió en la antigua encomienda de Don Juan Quintero Príncipe, en la renombrada hacienda de los Guayabitos, propiedad de las hermanas Doña Ana María y Josefa de la Encarnación Maldonado Quintero, quienes donaron la vieja Capellanía que comprendía toda la sabana para levantar la población el 12 de marzo de 1.810, consolidándose el poblamiento con el

trazado de calles y plazas y la entrega de los primeros 25 solares para construir casa, cocina y huerta. Acatando la ley 5ª de 1.920 que ordenaba el cambio de título para los municipios homónimos de la República, mediante Ordenanza número 32 del 14 de abril de 1.930 se le dio el nombre de Abrego, en honor a la heroína Norte Santandereana Mercedes Abrego de Reyes. (Cúcuta nuestra, 2016).

4.1.1.3 Vías de Acceso y Medios de Transporte. De acuerdo con la alcaldía municipal de Ábrego, este se encuentra comunicado con todo el país, por la carretera Nacional, pavimentada Red de primera categoría (con algunos tramos destapados) que comunica con los municipios de Ocaña por la parte Nor-oriental y por el Sector Oriental con Sardinata y Cúcuta capital del departamento de Norte de Santander. Además, a ella desembocan las carreteras que lo comunican con la carretera municipal de La Playa, Villa Caro, Hacarí, Bucarasica, los centros poblados, caseríos y veredas con carreteras destapadas, en regular y mal estado de conservación. De Ábrego sale la carretera que comunica con Ocaña y de esta a su vez con Convención que es pavimentada. En el municipio existen excelentes vías que lo comunican con toda la provincia de Ocaña, el país y el exterior, por carreteras asfaltadas de muy buena condición vial.

4.1.1.4 Geología y Suelos. El Municipio de Ábrego presenta una tectónica un tanto sencilla, aparecen unos sistemas de fallas importantes principalmente hacia el sur del municipio, Arias y Vargas (1978) señalan que el cuadro estructural es bastante simple y encaja dentro del estilo tectónico del macizo de Santander, esto es fallamiento preponderante del zócalo. Las rocas metamórficas se presentan en dos fajas o cinturones. Uno en la parte oeste, conformando las rocas del Neis de Bucaramanga y otro al este con rocas de la formación Silgará. Las foliaciones y forma de las fajas indican una orientación regional N-NW para los mismos. En la faja occidental las foliaciones medidas insinúan repliegues dentro de la misma, pero no se puede determinar

ninguna estructura mayor. La faja oriental corresponde a rocas de la formación Silgará y se encuentra cortada por rocas ígneas que afectan su continuidad y la de las estructuras que en ella se observan. Las foliaciones medidas insinúan una estructura sinclinal, en la parte sur de esta franja, cuya continuación al sur se ve rota por rocas ígneas del batolito de Rio Negro, para finalmente reaparecer más al norte al oriente de Ábrego. Los levantamientos de suelos son de tipo general y se realizó de acuerdo con las normas y especificaciones de la Subdirección Agrológica del instituto Geográfico “Agustín Codazzi”. Para la realización del Reconocimiento General de Suelos del Municipio de Ábrego se recopiló información de geología y de las zonas de vida ecológicas según la clasificación de Holdridge, también se adquirieron aerofotografías de escala 1:30.000 a 1:50.000, la mayoría de ellas correspondientes a las décadas de los años 90. (Alcaldía de Abrego, Plan de ordenamiento territorial vigente.)

4.1.1.5 Relieve y Topografía. Abrego, posee los pisos térmicos cálido, templado, frío y páramo. Su geografía está conformada por un inmenso valle donde se ubica la población, rodeado por Prominentes cerros de la bifurcación de la cordillera oriental, siendo su principal altura el cerro de Jurisdicciones (3.800 msnm) ecosistema estratégico del municipio desde el punto de vista ecológico y de las comunicaciones. Sus montañas están conformadas por bosque nativo y primario donde se encuentra todo tipo de fauna y flora destacándose el oso de anteojos y el paujil y toda clase de plantas medicinales silvestres. Su geografía es muy variada desde los cerros escarpados donde se mezcla el blanco de su suelo con el verde esmeraldino de los andes hasta el bosque natural surcado por variadas cañadas de donde brota toda su riqueza hídrica en un paisaje de ensoñación. El territorio municipal, presenta una Topografía quebrada, con grandes desniveles, cotas de 3450 msnm, en el Alto de las Cruces y de 300 msnm, en el extremo suroriental, en límites con el departamento del Cesar. Presenta laderas abruptas, profundas

disecciones, controlada principalmente por la composición litológica de las rocas aflorantes, por lo que además de sistemas montañosos, aparecen sistemas colinados y depósitos fluviales. Las superficies son muy irregulares y en general es un municipio muy montañoso. (Alcaldía de Abrego, 2016.)

4.1.1.6 Hidrología y Climatología. Los estudios realizados por la alcaldía de Abrego nos dicen que Cinco importantes fuentes hídricas tienen su génesis en este Municipio: el Río Oroque, Río Frio, el Río Tarra, el Río Borra y el Río San Alberto del Espíritu Santo. El río Frio y el Oroque, nacen en el cerro de Jurisdicciones ecosistema estratégico de la región, al unirse en el Valle forman el Río Algodonal, que más adelante recibe nombre de Río Catatumbo, cuyas aguas son servidas al lago de Maracaibo en la hermana República Bolivariana de Venezuela. Teniendo en cuenta los datos y proyecciones de la información climatológica registrada por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), en la zona de influencia del proyecto se representan en la siguiente tabla 1, obtenida del informe al programa del uso y ahorro eficiente del distrito de riego ASUDRA (Asociación de usuarios del Distrito de Riego de Abrego).

Tabla 1

Climatología del área de influencia

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Precipitación (mm)	9,5	19,1	28,9	110	170	96,0	87,4	144	210	165	76,9	23,6	95,23
Temperatura (°C)	20,1	20,5	21	21	21,3	21,3	21,3	21,3	21,0	20,9	20,7	20,3	20,91
Humedad Relativa (%)	80,0	79,0	79	81	83	81,0	78,0	78	81,0	83,0	83,0	83,0	80,75
Evaporación (mm)	133	128	138	124	117	118	129	122	114	112	108	118	122,18
Evapotranspiración (mm)	117	113	127	114	114	116	128	125	113	107	101	103	115,37
Brillo Solar (horas/día)	7,0	6,2	5,5	4,5	4,7	5,5	6,1	5,6	4,8	4,7	5,20	6,1	5,49
Vientos (m/seg.)	110	97,3	112	101	108	102	117	122	110	105	94,4	102	107,09

Nota. La tabla muestra los valores de los registros hidrológicos para el año 2017. Fuente: CORPONOR 2017.

4.1.1.7 Actividad Económica. La agricultura es la principal fuente de su economía, destacándose a nivel nacional por ser el primer productor de cebolla cabezona roja (*Allium Cepal*); le siguen en importancia los cultivos de frijol, tomate, tabaco, maíz, café y todo tipo de hortalizas. Posee una ganadería expansiva en las partes altas de la montaña de poca importancia comercial y económica, compuesta por pequeños hatos que surten el mercado local de carne y productos lácteos.

4.1.2 Trabajo de campo y oficina. El distrito de riego ASUDRA, ha sufrido deterioro en su infraestructura física debido a su antigüedad, pues según información suministrada por parte de la administración del distrito de riego, éste fue construido entre los años 1964-1968 y empezó a operar en el año 1969, lo cual da a entender que tiene más de 40 años de estar en funcionamiento por lo que ha sufrido distintos mejoramientos para asegurar su funcionalidad, pero no de una manera óptima, sumado a esto se agrega el deterioro del recurso hídrico que han ocasionado una reducción en la utilización del agua. Este proyecto se enmarco prioritariamente, en una investigación de campo, en donde se verificó, se inspeccionó y recopiló información de tipo técnico sobre la infraestructura existente de los elementos que conforman el distrito de riego ASUDRA, ubicado en el municipio de Abrego, departamento Norte de Santander.

Posteriormente se realizaron mediante visitas de campo, inspecciones de cada uno de los componentes y obras que conforman el distrito de riego ASUDRA como: obras de captación, obras de conducción y distribución.

Luego para seguir con el desarrollo del proyecto, se obtuvo la topografía suministrada de la información facilitada por la administración del distrito de riego como también de los

profesionales a cargo que estuvieron durante el periodo de construcción del distrito de riego, dicha topografía dada a su antigüedad, se encontraban en planos heliográficos los cuales fueron digitalizados para ser previamente visualizados en formato dxf, empleando el software AutoCAD y la extensión de dicho software Civilcad. El desarrollo de la topografía se puede observar en el **Apéndice C.**

Inmediatamente después de obtener la topografía se procedió a evaluar el estado actual de los afluentes hídricos que abastecen al distrito de riego ASUDRA, como también cada una de las estructuras que componen el sistema, por medio de una auscultación realizada a través de diferentes visitas de campo. Previo a las visitas se dirigió todos los registros tomados hacia el trabajo de oficina.

De acuerdo con la información obtenida, se llevó a cabo un trabajo de oficina, en donde se identificó cada uno de los elementos que conforman la infraestructura existente, se evaluó por medio de herramientas informáticas las condiciones en las que se encuentra el comportamiento hidráulico de la infraestructura, para luego proponer una optimización y por ultimo generar un presupuesto que dé como resultado el costo total del mejoramiento del distrito de riego ASUDRA.

4.1.3 Diagnostico Fuente de Abastecimiento. Las fuentes de abastecimiento corresponden a las corrientes de dominio público denominadas Rio Oroque y Rio Frío, pertenecientes a la Cuenca Rio Algodonal, sus zonas protectoras se encuentran en regular estado de conservación, esta microcuencas afloran en el páramo de Jurisdicción.

En la parte alta de estas microcuencas está ubicada la reserva forestal protectora de la parte alta del Río Algodonal, con un área de 8.400 hectáreas, declaradas en 1984 por el INDERENA y administrada actualmente por CORPONOR. En la siguiente figura 3 y figura 4, se puede observar la ubicación de los puntos de captación de los dos cauces, que abastecen al distrito de riego ASUDRA.

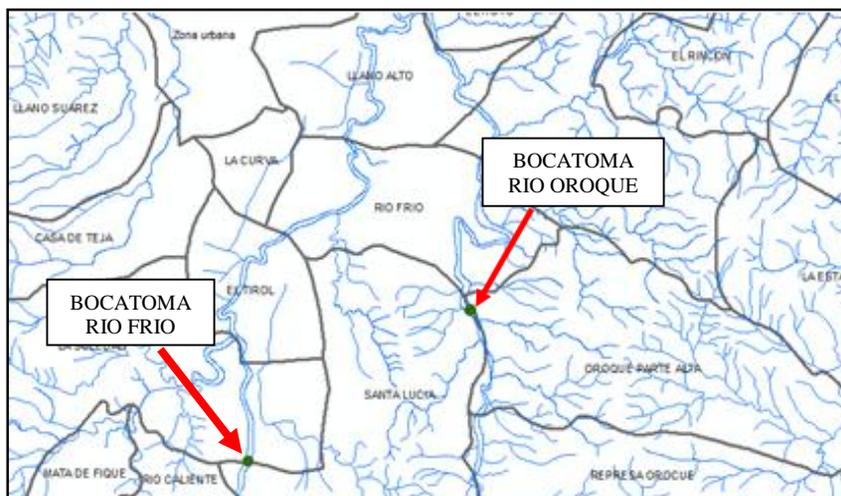


Figura 3. Ubicación de las captaciones del distrito de riego ASUDRA. Fuente: CORPONOR 2017.



Figura 4. Ubicación de las captaciones del distrito de riego ASUDRA con respecto al casco urbano. Fuente: Google Earth Pro modificado por autores.

4.1.3.1 Características morfométricos de la cuenca. Las características morfométricas de la fuente de abastecimiento se presentan en la siguiente tabla, la cual fue obtenida por medio de un informe de la empresa ASUDRA, titulado Asociación del Distrito de Adecuación de Tierras en Abrego, realizado el 15 de mayo del 2017, el cual se anexa en el **Apéndice A**. La tabla muestra el área de la cuenca, la longitud, la cota máxima y la cota mínima de la cuenca, la pendiente predominante en el área de la cuenca, el factor de forma y la cota superior de la cuenca hidrográfica.

Tabla 2

Características Morfométricas de las fuentes abastecedoras del distrito de riego

Subcuenca	Área (Has.)	Longitud (Km.)	Cota Máxima	Cota Mínima	Pendiente	Factor de Forma	Cota Superior Cuenca Hidrográfica
Rio Oroque	12851	33,5	3450	1400	3,7	0,21	3450
Rio Frio	10992	29,5	3250	1400	6,3	0,22	3250

Nota. La tabla muestra las características morfométricas de las fuentes abastecedoras del distrito de riego. Fuente: Administración ASUDRA 2017.

Con relación al estado actual en el que se encuentran las fuentes que abastecen al distrito de riego ASUDRA, en la siguiente figura se observan las condiciones que se apreciaron durante la visita de campo, en donde es notorio observar que el afluente Rio frio presenta una gran cantidad de material de arrastre. De igual forma cabe resaltar que durante la visita realizada en días anteriores a dicha visita se presentaron fuertes lluvias, pues pasos abajo de la presa y la captación del Rio Oroque también se observó mucho arrastre de material con gravas de un tamaño promedio entre una y cinco pulgadas. Ver figura 5 y figura 6.



Figura 5. Afluentes hídricos que abastecen el distrito de riego ASUDRA. Fuente: Autores del proyecto.



Figura 6. Material de arrastre del afluente Rio Oroque pasos después de la presa. Fuente: Autores del proyecto.

4.1.3.2 Caudales de los afluentes de captación. Dada la magnitud de las fuentes de abastecimiento, al tratarse de grandes cauces de agua, para realizar el aforo y conocer el caudal que transporta y su topo-batimetría, es necesario implementar métodos en los que se utilicen instrumentos de medida que den como resultado datos confiables; por consiguiente para tener conocimiento de las variables de los cauces, se recopiló información de tipo técnico facilitada por CORPONOR (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental) en donde se realizaron los aforos de tipo vadeo empleando como instrumento el molinete a 50 metros aguas arriba de las obras de captación, realizado el día 27 de abril del 2017.

La información de la cual se obtuvieron los datos utilizados para el conocimiento de los caudales de las fuentes hídricas se puede apreciar en el **Apéndice A**, en un archivo de formato Word con el nombre de Programa de uso y ahorro del agua de ASUDRA. Los resultados de los aforos de los afluentes se representan en las siguientes imágenes:

CANAL DE RIEGO RIO FRIO		CUENCA:RIO ALGODONAL		ESTACION: RIO FRIO ANTES DE LA CAPTACION								
FECHA: 27/04/2017				HORA INICIAL : 1:20 p.m.			HORA FINAL: 1:40 p.m.					
MOLINETE: AOTT C2				ROTOR: 2								
ANCHO (m): 15				AREA SECCIÓN (m ²): 2,42				CAUDAL: 988,69 lt/sg				
VELOCIDAD MEDIA (m/s): 0,347				CAUDAL (m ³ /s) : 0.98								
TIPO DE AFORO: VADEO		METODO: SUPERFICIAL		ECUACIÓN o No. TABLA DE CALIBRACIÓN								
HOJA DE CALCULO												
DH (m)	PT (m)	PA (m)	N (No.)	T (s)	N/T (RPS)	VP (m/s)	VM (m/s)	VMV (m/s)	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	Q (m ³ /s)
0	0,1	0,136	145	60	2,41667	0,279	0,318	0,302	0,125	2,5	0,3125	0,09427
2,5	0,15	0,060	190	60	3,16667	0,356	0,382	0,363	0,15	2,5	0,375	0,13606
5	0,15	0,060	220	60	3,66667	0,408	0,455	0,432	0,2	2,5	0,5	0,21607
7,5	0,25	0,100	275	60	4,58333	0,502	0,481	0,457	0,25	2,5	0,625	0,28537
10	0,25	0,100	250	60	4,16667	0,459	0,451	0,428	0,2	2,5	0,5	0,21403
12,5	0,15	0,060	240	60	4	0,442	0,348	0,330	0,115	2,5	0,2875	0,09493
15	0,08	0,032	130	60	2,16667	0,253	0,127	0,120	0,04			

Figura 7. Registro, resultados y cálculo de aforos del cauce Rio Frio. Fuente: CORPONOR 2017.

RIO OROQUE		CUENCA: ALGODONAL				ESTACIÓN: RIO OROQUE ANTES DE LA CAPTACION						
FECHA: 27/04/2017					HORA INICIAL : 11:30 a.m.			HORA FINAL: 11:50 a.m.				
MOLINETE: AOTT C2					ROTOR: 2							
ANCHO (m): 50					AREA SECCIÓN (m ²): 4,5			CAUDAL: 1.341, 58 Lt/sg				
VELOCIDAD MEDIA (m/s):0,288					CAUDAL (m ³ /s) : 1,34							
TIPO DE AFORO: VADEO		METODO: SUPERFICIAL				ECUACIÓN o No. TABLA DE CALIBRACIÓN						
HOJA DE CALCULO												
DH (m)	PT (m)	PA (m)	N (No.)	T (s)	N/T (RPS)	VP (m/s)	VM (m/s)	VMV (m/s)	PM (m)	AP (m)	SP (m ²)	Q (m ³ /s)
0	0,08	0,032	0	60	0	0,030	0,103	0,098	0,08	5	0,4	0,03912
5	0,08	0,032	85	60	1,41667	0,176	0,218	0,207	0,08	5	0,4	0,08283
10	0,08	0,032	134	60	2,23333	0,260	0,313	0,298	0,085	5	0,425	0,12647
15	0,09	0,036	196	60	3,26667	0,366	0,431	0,409	0,095	5	0,475	0,19442
20	0,1	0,040	271	60	4,51667	0,495	0,506	0,480	0,1	5	0,5	0,24012
25	0,1	0,040	283	60	4,71667	0,516	0,527	0,501	0,1	5	0,5	0,25031
30	0,1	0,040	296	60	4,93333	0,538	0,456	0,433	0,095	5	0,475	0,20565
35	0,09	0,036	200	60	3,33333	0,373	0,301	0,286	0,085	5	0,425	0,12162
40	0,08	0,032	116	60	1,93333	0,229	0,215	0,204	0,08	5	0,4	0,08153
45	0,08	0,032	99	60	1,65	0,200	0,185	0,175	0,08	5	0,4	0,07011
50	0,08	0,032	81	60	1,35	0,169	0,085	0,080	0,04			

Figura 8. Registro, resultados y cálculo de aforos del cauce Rio Oroque. Fuente: CORPONOR 2017.

Como se pudo observar en la figura 6 y figura 7, el caudal promedio del afluente Rio frio corresponde a 988.69 lts/seg. El caudal promedio para el afluente Rio Oroque corresponde a 1341. 58 lts/seg.

Para determinar el caudal real disponible de las fuentes de abastecimiento es necesario considerar el caudal ecológico remanente de los cauces, los cuales debe ser el 25% según informes de CORPONOR (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental), de los caudales obtenidos en los aforos, por lo tanto el caudal ecológico para cada afluente hídrico es:

$$\text{Caudal ecológico Rio Frio} = 988.69 \text{ lts/seg} * 0.25 = 247. 1725 \text{ lts/seg.}$$

$$\text{Caudal ecológico Rio Oroque} = 1341. 58 \text{ lts/seg} * 0.25 = 335.395 \text{ lts/seg.}$$

Por consiguiente los caudales disponibles en cada una de las fuentes descontando los caudales ecológicos son los siguientes:

$$\text{Caudal disponible Rio Frio} = 988.69 - 247.1725 \text{ lts/seg} = 741.5175 \text{ lts/seg.}$$

$$\text{Caudal disponible Rio Oroque} = 1341.58 - 335.395 \text{ lts/seg} = 1006.185 \text{ lts/seg.}$$

Cabe resaltar, que estos caudales obtenidos son los datos más actuales de las condiciones que presentan los cauces, pues a causa del deterioro del recurso hídrico la incorporación de residuos a las fuentes, tala no controlada y fenómenos climáticos relacionados con el calentamiento global han ocasionado que la oferta hídrica disminuya a medida que transcurre el tiempo, ya que anteriormente los cauces Rio Frio y Rio Oroque, contenían mayores caudales a los calculados y mencionados en esta investigación.

4.1.4 Diagnostico de captaciones. Según la magnitud del distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usuarios del Distrito Riego de Abrego), cuenta con dos obras hidráulicas de captación ubicada en dos quebradas o corrientes fluviales diferentes que desembocan en el Rio Algodonal. Para conocer las características de cada estructura hidráulica, se realiza su evaluación en dos ítems diferentes que son los siguientes:

4.1.4.1 Bocatoma Rio Frio. La bocatoma Rio Frio, es de tipo superficial que capta agua mediante una rejilla lateral; cuenta con una presa de 14.5 metros, dos muros de encausamiento, dos compuertas rectangulares de aliviadero que regulan el caudal de entrada a la rejilla lateral y desarenan gran parte del material solido que contiene el agua, luego de pasar el agua por la

rejilla, cuenta con una compuerta rectangular que transfiere el caudal captado al canal principal de distribución. La bocatoma Rio Frio, según el sistema geocéntrico de referencia MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional para las Américas) se localiza en la coordenada 1094783 Este y 1380387 Norte con una altura de 1426 m.s.n.m.

Inicialmente el caudal de diseño para el cual fue construido la bocatoma Rio Frio en el año 1964 corresponde a 1000 lts/ seg, pero debido a los cambios climáticos y al deterioro del recurso hídrico, con el pasar de los años el caudal de ingreso en esta bocatoma ha disminuido considerablemente. Dado a la disminución del recurso hídrico, según información facilitada por CORPONOR, tiene un caudal otorgado por concesión de 59 lts/seg. Ver documento de concesión en **Apéndice A**.

En la siguiente figura tomada durante las visitas de campo se observa la obra hidráulica de la bocatoma Rio frio, en donde se aprecia que cuenta con una baranda de seguridad para el fontanero encargado de la operación de las compuertas, además, cuenta con una escalera para bajar a la corona del dique o mayormente conocido como presa.

El dique o la presa, como se aprecia en la figura 9, se encuentran en regular estado ya que debido al pasar de los años y al rozamiento del material de arrastre propio del rio, han desgastado la estructura que está conformada por concreto ciclópeo. La bocatoma también cuenta con una estructura de disipación del flujo en concreto ciclópeo de protección contra socavaciones, ubicado a ocho metros aproximadamente después de la captación, en forma de rampa. Dicho disipador se puede apreciar en la figura 10.



Figura 9. Condición actual bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.



Figura 10. Disipador de energía del flujo bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

Dimensiones del dissipador de energía:

Largo: 15 mts

Ancho: 4 mts

Alto: 2 mts

Dimensiones de la presa:

Longitud de presa: 14.5 mts

Altura lámina de agua: 0.10 mts

Altura de presa: 2 mts

Espesor corona superior de la presa: 1 mts

Espesor base de la presa: 2 mts



Figura 11. Presa bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

Dimensiones de la rejilla:

Largo de rejilla: 4.0 mts

Espaciamiento entre barrotes: 0.15 mts

Ancho de rejilla: 1.0 mts



Figura 12. Rejilla de captación lateral bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

Muros de encauzamiento:

Longitud: 9 mts

Altura: 5 mts

Espesor: 0.65 mts

Como se puede observar en la figura 13, la rejilla presenta un barrotes en mal estado, lo que ocasiona que al sistema pueda entrar algunas gravas de diámetro mucho mayor al espaciamento

entre barrotes, el cual puede producir taponamientos en la compuerta de salida al canal de distribución principal del distrito de riego.

Evaluación hidráulica de la bocatoma Rio Frio. Para realizar la evaluación hidráulica de la bocatoma se evaluó las condiciones de la rejilla usando el caudal de entrada como el caudal evaluado que pasa por la compuerta y es transportado por el canal principal; por consiguiente es importante aclarar que se evalúa la rejilla tomando como caudal de entrada el caudal que transita en el canal, para comprobar que las dimensiones de la rejilla son mayores o menores a las necesarias, para el caudal que actualmente opera en el canal principal Rio Frio.

Con referencia a la concesión de agua según la entidad territorial CORPONOR, ente encargado de regular y otorgar el permiso de concesión de aguas; actualmente la concesión del distrito de riego ASUDRA, se encuentra en proceso de renovación, ya que la anterior concesión se venció el día 3 de mayo de 2017. La concesión a renovar que actualmente se encuentra en trámite, será otorgada por el mismo caudal de la concesión vencida, es decir un caudal de 59 lts/seg, dada la visita técnica realizada por funcionarios de CORPONOR, durante el trámite.

Según la evaluación del canal principal de distribución al inicio de la bocatoma Rio Frio realizada por funcionarios de CORPONOR el día 27 de abril del año 2017, con fines de corroborar la información de la concesión vencida y realizar el trámite para su renovación se dio a conocer que el caudal que realmente entra a la captación, corresponde a 89 lts/seg, lo cual da entender que el caudal captado de la bocatoma Rio Frio es mucho mayor con relación al caudal que legalmente debe captar según la concesión, el cual es de 59 lts/seg.

Capacidad hidráulica de la rejilla. La rejilla actual existente en la bocatoma Rio Frio es de tipo lateral y se encuentra totalmente sumergida, como se observa en la figura 12, cuenta con un barrote dañado y en la figura 13, se puede apreciar, que frontalmente el espesor de los barrotes corresponde al diámetro del barrote que es de 0.025 mts, en la figura también se encuentra el detalle lateral de los barrotes que corresponde a 0.05 mts, debido a que está conformado por dos barrotes para dar una mayor rigidez a los mismos.

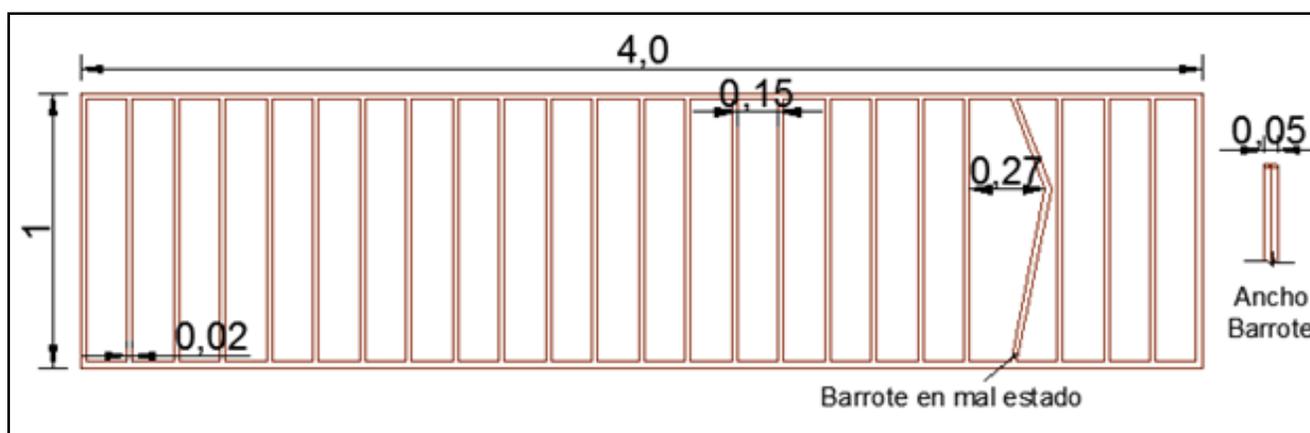


Figura 13. Rejilla actual de la bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

Perdidas en la rejilla: Las pérdidas en la rejilla se calculan mediante el uso de la fórmula de Kihmmmer:

$$h = B(W/b)^{4/3} * h_v * \text{sen } \theta$$

En donde

h = Pérdida de carga en metros.

B = Factor de forma (1.79 varillas circulares; 2.42 varillas rectangulares).

W = Espesor de la barra en metros.

b = Espesor lateral de barrote en metros

θ = Angulo de la varilla con la horizontal.

h_v = Carga de velocidad en metros $h_v = V^2/2g$

V = Velocidad de aproximación en m/s (mínima: 0.40 m/s; máxima: 0.75) Recomendación

Freddy Corcho

g = Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

$$h_v = \frac{(0.75 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2} = 0.0287 \text{ m}$$

Aplicando la expresión de Kinhammer obtenemos:

$$h = 1.79(0.025/0.05)^{4/3} * 0.0287 * \text{sen } 90$$

$$h = 0.02 \text{ m} = 2 \text{ cm}$$

El valor de $h = 0.02 \text{ m}$, corresponde a las pérdidas de carga en la entrada de la rejilla.

Dado que las condiciones encontradas durante las visitas de campo dan a conocer que la carga hidráulica en la rejilla se encuentra a la misma altura de la parte superior de la rejilla, como se observa en la figura 11, por lo que da a entender que ésta, trabaja sumergida; por consiguiente considerando el valor de las perdidas, por recomendación de Freddy Corcho en su libro Acueductos teoría y diseño publicado en el año 2005, nos dice que el valor de las pérdidas se deben mayorar por un factor de seguridad que puede ser dos o tres veces el valor anteriormente calculado. El valor final de las pérdidas en la altura hidráulica a la entrada en la rejilla es 6 cm.

Asumiendo la entrada a la rejilla como un vertedero que trabaja sumergido, se utiliza la ecuación de Villemonte:

$$Q = Q_1 * (1 - S^n)^{0.385}$$

En donde

Q = Caudal que se requiere captar (sumergido o ahogado).

Q_1 = Caudal captado si el vertedero fuera libre (no sumergido).

S = Sumergencia.

n = Exponente en la formula como vertedero libre: 1.5 (adimensional)

Como se requiere que la bocatoma capte el caudal concesionado (aun estando en condición sumergida) se calculara el caudal Q_1 , que entraría si el flujo fuese libre, utilizando el caudal que se requiere captar como el caudal de 59 lts/seg, caudal otorgado por concesión se tiene

$$Q_1 = \frac{Q}{(1 - S^n)^{0.385}}$$

La sumergencia se calcula considerando la altura hidráulica del agua que pasa por la rejilla en donde para este caso, como se puede observar en la figura 11, la altura hidráulica se encuentra a la misma altura de la rejilla descontando las pérdidas anteriormente calculadas y mayoradas que corresponden a 6 cm; por consiguiente la sumergencia es igual a:

$$S = \frac{H - h}{H}$$

En donde

S = Sumergencia

H = Altura hidráulica

h = Perdida de carga en la altura hidráulica

$$S = \frac{1 - 0.06}{1} = 0.94$$

Reemplazando el valor de sumergencia en la ecuación se tiene:

$$Q_1 = \frac{0.059}{(1 - 0.94^{1.5})^{0.385}}$$

$$Q_1 = 0.15 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Como se puede apreciar utilizando el caudal que debe captar la bocatoma según la concesión y empleando la misma altura hidráulica como la altura de la rejilla existente correspondiente a 1 metro, se procede a calcular la longitud que la rejilla debiera tener para el caudal otorgado por concesión. Para el cálculo de la longitud de rejilla se emplea la ecuación de Backmeteff y Bousinesq:

$$Q_1 = C * Lr * H^{\frac{3}{2}} * S * K$$

$$Lr = \frac{Q_1}{C * H^{\frac{3}{2}} * S * K}$$

En donde:

Lr : Longitud de rejilla

Q_1 : Caudal en condición sumergida = 0.15 m³/seg

C : Coeficiente de sumersión

H : Altura de rejilla = 1 mts

S : Coeficiente de corrección por sumersión = 0.94

K : Coeficiente de contracción lateral en barrotes = 0.85

Con respecto al coeficiente de contracción en barrotes, se utiliza este valor 0.85, por recomendación de la ecuación respaldada y sustentada en el manual: criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico, publicado por la Autoridad Nacional del Agua de Lima, Perú diciembre de 2010. Para el coeficiente de descarga, se calcula mediante las siguientes expresiones.

Ec. Konovalov

$$C_k = \left(0.407 + \frac{0.405 * H}{H + Y1}\right) * \left[1 + 0.285 * \left(\frac{H}{H + Y1}\right)^2\right] * \sqrt{2 * g}$$

Ec. Bazin

$$C_B = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H}\right) * \left[1 + 0.55 * \left(\frac{H}{H + Y1}\right)^2\right]$$

En donde:

C_k : Coeficiente de descarga de Konovalov

C_B : Coeficiente de descarga de Bazin

H : Altura de la rejilla = 1 mts

$Y1$: Umbral (Altura de la base de concreto a la parte inferior de la rejilla) = 0.20 mts

g : Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

Despejando la ecuación tenemos:

$$C_k = \left(0.407 + \frac{0.405 * 1}{1 + 0.20}\right) * \left[1 + \left(0.285 * \left(\frac{1}{1 + 0.20}\right)^2\right)\right] * \sqrt{2 * 9.81}$$

$$C_k = 3.96$$

$$C_B = \left(1.794 + \frac{0.0133}{1}\right) * \left[1 + \left(0.55 * \left(\frac{1}{1 + 0.20}\right)^2\right)\right]$$

$$C_B = 2.5$$

Como resultado del coeficiente de sumersión para el cálculo de la longitud de rejilla, se escoge el menor valor de los dos; por consiguiente, la longitud de la rejilla es de:

$$Lr = \frac{0.15}{2.5 * 1^{\frac{3}{2}} * 0.94 * 0.85}$$

$$Lr = 0.075 \text{ m}$$

Como se puede apreciar según la longitud de rejilla calculada, utilizando 1 metro como la altura de rejilla para el cálculo de la longitud, se puede concluir que para el caudal concesionado de 59 lts/seg, la longitud es una medida insignificante con relación a la longitud real que tiene la rejilla. Por consiguiente evaluando las condiciones reales para conocer el verdadero caudal que puede pasar por la rejilla corresponde a:

$$Q = 2.5 * 4.0 * 1^{\frac{3}{2}} * 0.94 * 0.85$$

$$Q = 7.99 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Según las dimensiones que presenta la rejilla para una condición sumergida, el caudal que puede llegar a pasar es de 7.99 m³/seg, caudal demasiado grande para el otorgado por concesión, por lo cual es de resaltar que el caudal de entrada al canal principal se encuentra totalmente regulado por una compuerta rectangular como se puede apreciar en la figura 16. Por otra parte también se debe considerar que no en todas las épocas del año la lámina de agua se mantendrá igual a la altura de la rejilla por lo cual este caudal de entrada puede llegar a varia, pero de igual forma está sobredimensionado para el caudal que verdaderamente debe captar.

Condiciones de la presa. Como se muestra en la figura 14, la bocatoma es una estructura que está conformada por un gran volumen de concreto, la presa cuenta con una longitud de 14.5 metros, además cuenta con muros de encauzamiento de gran magnitud con un espesor de 60 centímetros. En la figura 15, en la vista en perfil de la bocatoma Rio Frio, se aprecia que cuenta con dos compuertas de igual proporción que controlan el caudal de entrada en la rejilla y una compuerta adicional que controla el caudal de entrada al canal de distribución.

Según las condiciones encontradas durante las visitas de campo, la lámina de agua medida y registrada que más frecuencia tuvo corresponde a una altura de 10 cm, por lo que para conocer el caudal que pasa por la presa de la bocatoma Rio Frio se evalúa su condición hidráulica empleando la fórmula de Francis y la altura medida.

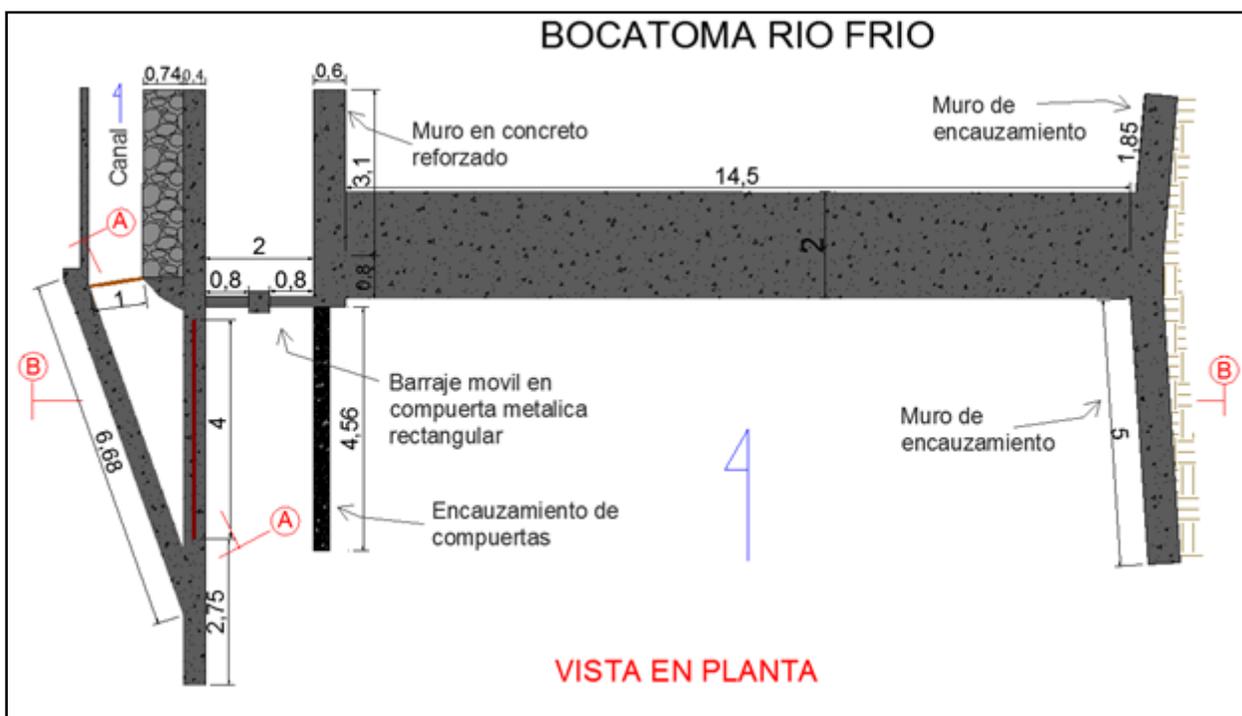


Figura 14. Vista en planta Bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

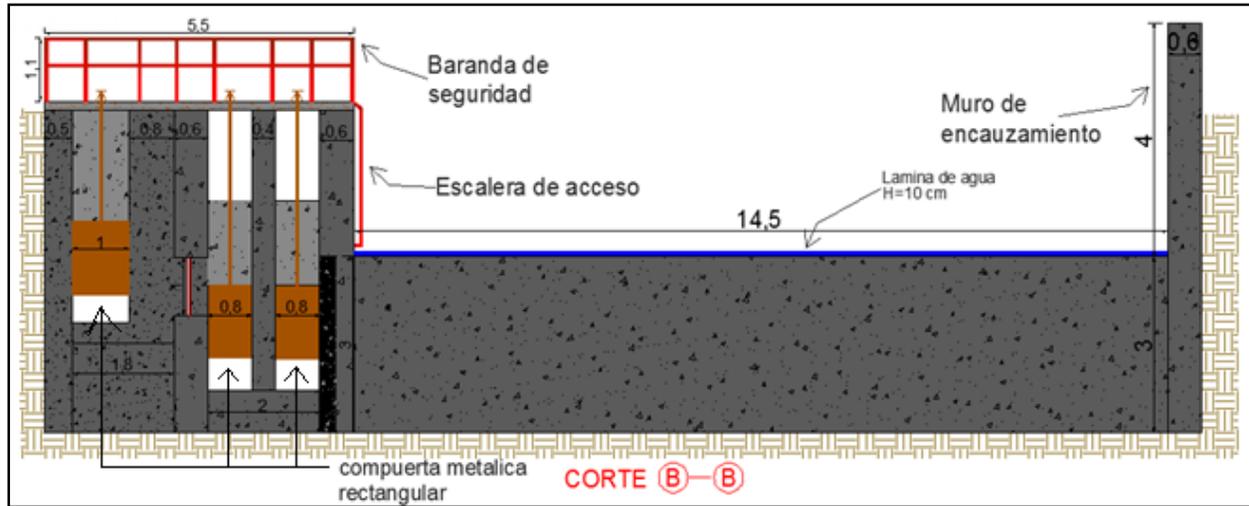


Figura 15. Vista en perfil de la Bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

La fórmula de Francis tiene la siguiente expresión:

$$Q = 1.84 * L_e * H^{3/2}$$

En donde

Q = Caudal que pasa por el vertedero.

L_e = Longitud de vertedero.

H = Altura lámina de agua.

Luego el caudal que pasa por la presa de la bocatoma Rio Frio corresponde a:

$$Q = 1.84 * 14.5 * 0.1^{3/2}$$

$$Q = 0.843696 \text{ m}^3/\text{s} = 843.696 \text{ lts/seg}$$

Abertura de compuertas. Para conocer las condiciones en las que operan las compuertas se utiliza la ecuación para un orificio sumergido que tiene la siguiente expresión:

$$Q = C * A * \sqrt{2 * g * h}$$

Dado que se conoce el caudal que actualmente está captando la bocatoma Rio Frio, se evalúa la capacidad hidráulica de la compuerta de entrada para conocer la apertura de la misma. Dicha apertura se logra calcular despejando el área de la ecuación original para un orificio sumergido, de la cual se tiene:

$$A = \frac{Q}{C * \sqrt{2 * g * h}}$$

$$A = \frac{0.089}{0.6 * \sqrt{2 * 9.8 * 0.3}}$$

$$A = 0.06 \text{ m}^2$$

$$A = B * L$$

En donde:

B = Altura de abertura de compuerta.

L = ancho de compuerta (1m).

$$B * L = 0.06 \text{ m}^2$$

$$B * 1 \text{ m} = 0.06 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{0.06 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 0.06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

Según las dimensiones de la compuerta existente, debe tener una apertura de 6 cm, para permitir el paso del caudal que entra en la rejilla y es entregado al canal principal por medio de la compuerta al final de la cámara de derivación dejando pasar solo 89 lts/seg. Cabe resaltar que según las visitas realizadas en campo la apertura de la compuerta tiende a variar dependiendo de las necesidades de sus usuarios, pues si bien para el caudal medido por CORPONOR, correspondiente a 89 lts/seg, tiene una apertura de 6 cm, en la última visita en campo se corroboro que el caudal que entra al canal es superior a este, lo cual da a entender que la apertura

de la compuerta también aumenta; el análisis del caudal aforado perteneciente al canal principal Rio Frio, se puede apreciar en el siguiente literal denominado diagnóstico de canales.

Compuertas de regulación. Como se mencionó anteriormente, según el aforo realizado por la entidad territorial CORPONOR, el caudal medio que transporta el afluente Rio Frio es de 988.69 lts/seg, por lo cual teniendo en cuenta el caudal que entra a la rejilla y el caudal que pasa por la presa de la bocatoma según su longitud de presa y la lámina de agua medida en campo, para conocer el caudal que pasa por las compuertas de regulación se determina de la siguiente manera:

$$\text{Caudal de compuertas} = 988.69 \text{ lts/seg} - 89 \text{ lts/seg} - 843.696 \text{ lts/seg}$$

$$\text{Caudal de compuertas} = 55.994 \text{ lts/seg.}$$

$$\text{Caudal para cada compuerta} = 55.994 / 2 = 0.028 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Por consiguiente la abertura de las compuertas que controlan la altura hidráulica en la entrada de la rejilla tiene la siguiente dimensión:

$$A = \frac{0.028}{0.6 * \sqrt{2 * 9.8 * 0.6}}$$

$$A = 0.014 \text{ m}^2$$

$$B * L = 0.014 \text{ m}^2$$

$$B * 0.8 \text{ m} = 0.014 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{0.014 \text{ m}^2}{0.8 \text{ m}} = 0.0175 \text{ m} = 1.7 \text{ cm} \approx 2 \text{ cm}$$

Según las condiciones evaluadas de los componentes hidráulicos que conforman la bocatoma Río Frio, las compuertas que controlan la altura de lámina de agua en la rejilla, deben tener una abertura de 2 cm, dicho valor tiende a variar dependiendo de las condiciones en la lámina de agua del río, dado que en tiempos de sequías, el fontanero tiende a disminuir la apertura de las compuertas para un mayor flujo en la rejilla hacia el canal principal, como también en tiempos de invierno, la apertura de las compuertas aumenta para controlar el caudal de excesos y la sumergencia de la rejilla, aunque cabe resaltar que el canal principal Río frío al inicio de su trayectoria, cuenta con un aliviadero que devuelve el caudal de excesos al río.

4.1.4.2 Bocatoma Río Oroque. . La bocatoma Río Oroque, es de tipo superficial y capta agua mediante una rejilla lateral; cuenta con una presa de 50 metros, un muro de encausamiento, dos compuertas rectangulares de aliviadero que regulan el caudal de entrada a la rejilla lateral, luego de pasar el agua por la rejilla, cuenta con una compuerta rectangular que transfiere el caudal captado al canal principal de distribución. La bocatoma se encuentra localizada según el sistema geocéntrico de referencia MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional para las Américas) en la coordenada 1097457 Este y 1382101 Norte con una altura de 1422 m.s.n.m.

Inicialmente el caudal de diseño para el cual fue construido la bocatoma Río Oroque en el año 1964 corresponde a 1500 lts/ seg pero dado a la disminución del recurso hídrico, según información suministrada por CORPONOR, tiene un caudal otorgado por concesión de 69 lts/seg. Ver anexo de la Concesión de aguas en **Apéndice A**.

En la siguiente figura 17, tomada durante las visitas de campo se observa la obra hidráulica de la bocatoma Rio Oroque, en donde se aprecia que cuenta con una gran cantidad de sedimentos que diámetro mayores a una pulgada, lo que da a entender que el caudal que contiene el afluente Rio Oroque es grande para arrastrar material de esa magnitud.



Figura 17. Condición actual Bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

El dique o la presa, se encuentran en buen estado, a pesar del desgaste que ha sufrido la estructura a lo largo de los años, no presenta un deterioro inminente y está actualmente cumpliendo su función a cabalidad. En la figura 18 se aprecia en detalle la presa.

Dimensiones de la presa:

Longitud de presa: 50 mts

Altura lámina de agua: 0.05 mts

Altura de presa: 1.5 mts

Espesor corona superior de la presa: 0.60 mts

Espesor corona inferior de la presa: 2 mts



Figura 18. Presa bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Dimensiones de la rejilla:

Tipo de barrotes: Circulares

Diámetro de barrotes: 0.025 mts

Largo de rejilla: 3.08 mts

Espaciamiento entre barrotes: 0.15 mts

Altura de rejilla: 1.20 mts



Figura 19. Rejilla de captación lateral bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Como se puede observar en la figura 19, la rejilla se encuentra en buen estado, la altura hidráulica del agua no sobrepasa el ancho de la rejilla, en la imagen se pudo apreciar además que la rejilla presenta sobre la superficie del flujo un tipo de obstrucción debido a la material vegetativo que se desprende de las zonas de protección del cauce. Estas obstrucciones en la rejilla, son retiradas por el fontanero quien tiene la responsabilidad de estar revisando constantemente la bocatoma para eliminar dichas obstrucciones que puedan afectar el buen funcionamiento de sistema, como también regular las compuertas para mantener controlado el caudal de excesos y la lámina de agua en la captación lateral.

Evaluación hidráulica de la bocatoma Rio Oroque. Para realizar la evaluación hidráulica de la bocatoma Rio Oroque, se realizó el mismo procedimiento utilizado para la evaluación hidráulica de la bocatoma Rio Frio. Al igual que en la bocatoma Rio Frio, la

concesión se encuentra en trámite y el caudal por el cual será otorgado es de 69 lt/seg, manteniendo el mismo caudal de la concesión vencida. Ver **Apéndice A**

Según la evaluación hidráulica del caudal que entra al canal principal de la bocatoma Rio Oroque, al igual que en la bocatoma Rio Frio, capta un caudal mayor al entregado por concesión, ya que según el caudal que pasa por la compuerta al inicio del canal, es de 132 lt/seg, según revisión CORPONOR, por lo que para evaluar las condiciones de sus componentes hidráulicos se utilizó este caudal.

Capacidad hidráulica de la rejilla. La rejilla existente de la bocatoma Rio Oroque es de tipo lateral, y según la vista en perfil de los barrotes de la rejilla, como se aprecia en el detalle del ancho de barrote en la figura 5, está conformado por la unión de dos barrotes de 0.025 mts, para dar un espesor de barrotes en perfil de 0.05 mts, con el fin de dar mayor rigidez y durabilidad a los barrotes. La rejilla se encuentra en buen estado y presenta obstrucción debido al material vegetativo que se encuentra suspendido en la superficie del agua.

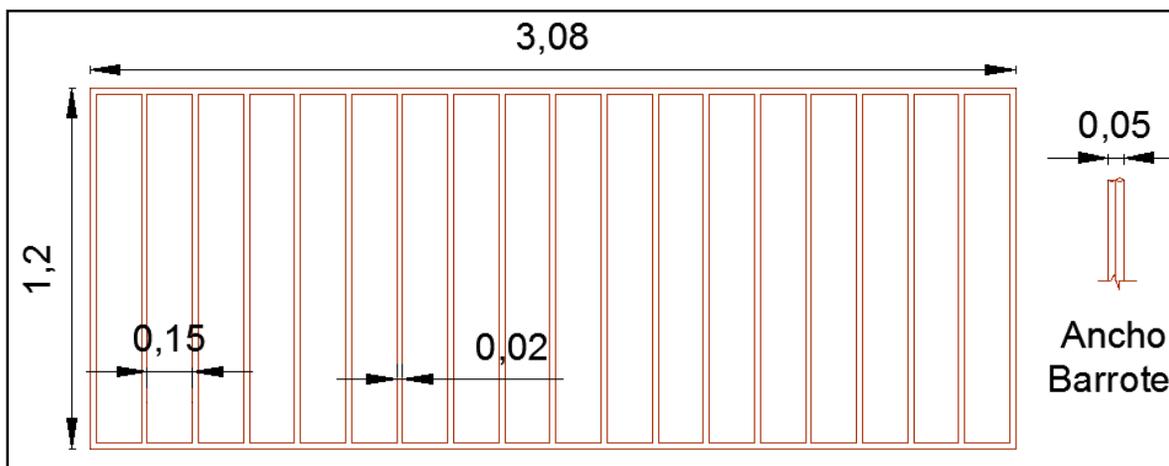


Figura 20. Rejilla actual bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Perdidas en la rejilla: Las pérdidas en la rejilla se calculan empleando el mismo método y procedimiento para la evaluación de la bocatoma Rio Frio, es decir mediante el uso de la fórmula de Kihmmmer:

$$h = B(W/b)^{4/3} * h_v * \text{sen } \theta$$

En donde

h = Pérdida de carga en metros.

B = Factor de forma (1.79 varillas circulares; 2.42 varillas rectangulares).

W = Espesor de la barra en metros.

b = Espesor lateral de barrote en metros.

θ = Angulo de la varilla con la horizontal.

h_v = Carga de velocidad en metros $h_v = V^2/2g$

V = Velocidad de aproximación en m/s (mínima: 0.40 m/s; máxima: 0.75) Recomendación

Freddy Corcho

g = Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

$$h_v = \frac{(0.75 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2} = 0.0287 \text{ m}$$

Aplicando la expresión de Kihmmmer obtenemos:

$$h = 1.79(0.025/0.05)^{4/3} * 0.0287 * \text{sen } 90$$

$$h = 0.02 \text{ m} = 2 \text{ cm}$$

Teniendo en cuenta que las condiciones de las rejillas de ambas bocatomas están hechas del mismo material, además que presenta el mismo espaciamiento entre barrotes, diámetro y

espesor, las pérdidas a la entrada de la rejilla de la bocatoma Rio Oroque dan como resultado el mismo valor que el calculado para la bocatoma Rio Frio, teniendo en cuenta la misma mayoración, por lo cual estas pérdidas corresponden a 6 cm.

Asumiendo la entrada a la rejilla como un vertedero que trabaja sumergido, se utiliza la ecuación de Villemonte:

$$Q = Q_1 * (1 - S^n)^{0.385}$$

En donde

Q = Caudal que se requiere captar (sumergido o ahogado).

Q_1 = Caudal captado si el vertedero fuera libre (no sumergido).

S = Sumergencia.

n = Exponente en la formula como vertedero libre: 1.5 (adimensional)

Como se requiere que la bocatoma capte el caudal concesionado se calcula el caudal Q_1 , que entraría si el flujo fuese libre, teniendo en cuenta el caudal otorgado por concesión de 69 lts/seg.

$$Q_1 = \frac{Q}{(1 - S^n)^{0.385}}$$

Para el valor de la sumergencia se calcula considerando la altura hidráulica como la altura de la parte inferior de la rejilla hasta el nivel del agua; según la altura de la rejilla que corresponde a 1.2 m, para determinar la altura hidráulica, se debe restar el borde libre de la

rejilla medio en campo, como se observa en la anterior figura 19, el cual dio un valor de 15cm; por consiguiente la altura hidráulica corresponde a:

$$H = 1.20 \text{ m} - 0.15 \text{ m} = 1.05 \text{ m}$$

Luego la sumergencia es:

$$S = \frac{H - h}{H}$$

En donde

S = Sumergencia

H = Altura hidráulica

h = Perdida de carga en la altura hidráulica

$$S = \frac{1.05 - 0.06}{1.05} = 0.94$$

Remplazando el valor de sumergencia en la ecuación se tiene:

$$Q_1 = \frac{0.069}{(1 - 0.94^{1.5})^{0.385}}$$

$$Q_1 = 0.17 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El caudal de sumergencia para vertederos laterales según Villemonte, teniendo en cuenta el caudal por concesión del Rio Oroque, corresponde a 0.17 m³/seg. Teniendo en cuenta las condiciones del caudal para la rejilla lateral se procede a calcular la longitud de rejilla tomando como altura de misma, la altura de la lámina de agua de la rejilla.

$$Q_1 = C * Lr * H^{\frac{3}{2}} * S * K$$

$$Lr = \frac{Q_1}{C * H^{\frac{3}{2}} * S * K}$$

En donde:

Lr : Longitud de rejilla

Q_1 : Caudal en condición sumergida = 0.17 m³/seg

C : Coeficiente de sumersión

H : Altura de rejilla = 1.05 mts

S : Coeficiente de corrección por sumersión = 0.94

K : Coeficiente de contracción lateral en barrotes = 0.85

Para el coeficiente de descarga, se calcula mediante las siguientes expresiones.

Ec. Konovalov

$$C_k = \left(0.407 + \frac{0.405 * H}{H + Y1} \right) * \left[1 + 0.285 * \left(\frac{H}{H + Y1} \right)^2 \right] * \sqrt{2 * g}$$

Ec. Bazin

$$C_B = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H} \right) * \left[1 + 0.55 * \left(\frac{H}{H + Y1} \right)^2 \right]$$

En donde:

C_k : Coeficiente de descarga de Konovalov

C_B : Coeficiente de descarga de Bazin

H : Altura de la rejilla = 1.05 mts

$Y1$: Umbral (Altura de la base de concreto a la parte inferior de la rejilla) = 0.20 mts

g : Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

Despejando la ecuación tenemos:

$$C_k = \left(0.407 + \frac{0.405 * 1.05}{1.05 + 0.20}\right) * \left[1 + \left(0.285 * \left(\frac{1.05}{1.05 + 0.20}\right)^2\right)\right] * \sqrt{2 * 9.81}$$

$$C_k = 3.97$$

$$C_B = \left(1.794 + \frac{0.0133}{1.05}\right) * \left[1 + \left(0.55 * \left(\frac{1.05}{1.05 + 0.20}\right)^2\right)\right]$$

$$C_B = 2.51$$

Como resultado del coeficiente de sumersión para el cálculo de la longitud de rejilla, se escoge el menor valor de los dos; por consiguiente, la longitud de la rejilla es de:

$$Lr = \frac{0.17}{2.51 * 1.05^{\frac{3}{2}} * 0.94 * 0.85}$$

$$Lr = 0.079 \text{ m}$$

Como se puede apreciar según la longitud de rejilla calculada, utilizando la altura hidráulica de 1.05 mts como la altura de rejilla (H), para el cálculo de la longitud, se puede concluir que para el caudal concesionado de 69 lts/seg, la longitud es una medida insignificante con relación a la longitud real que tiene la rejilla. Por consiguiente evaluando las condiciones reales para conocer el verdadero caudal que puede pasar por la rejilla corresponde a:

$$Q = 2.51 * 3.08 * 1.2^{\frac{3}{2}} * 0.94 * 0.85$$

$$Q = 8.12 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Según las dimensiones que presenta la rejilla para una condición sumergida, el caudal que puede llegar a pasar es de 8.12 m³/seg, caudal demasiado grande para el otorgado por concesión, por lo cual es de resaltar que el caudal de entrada al canal principal Rio Oroque, se encuentra totalmente regulado por una compuerta rectangular. Por otra parte también se debe considerar que no en todas las épocas del año la lámina de agua se mantendrá igual a la altura de la rejilla, por lo cual, este caudal de entrada puede llegar a variar, pero de igual forma está sobredimensionado para el caudal que verdaderamente debe captar.

Condiciones de la presa. La bocatoma Rio Oroque es una estructura que está conformada por un gran volumen de concreto, la presa cuenta con una longitud de 50 metros, además cuenta con un muro de encauzamiento de gran magnitud con gradas disipadoras de energía. En la figura 20, se aprecia el plano en planta de la bocatoma Rio Oroque, que cuenta con dos compuertas de igual proporción que controlan el caudal de entrada en la rejilla y una compuerta adicional que permite el acceso del caudal entre la cámara de derivación y el canal principal de distribución. En la figura 21, se puede apreciar el plano en planta de la bocatoma Rio Oroque, en donde se aprecia que cuenta con un muro para la protección de canal de principal, además, en la figura 22 se muestra la sección transversal de la bocatoma, en donde se señala las compuertas de que tiene el sistema.

Según las condiciones encontradas durante las visitas de campo, la lámina de agua medida y registrada para la bocatoma Rio Oroque es de 5 cm, por lo que para conocer el caudal que pasa por la presa de la bocatoma Rio Oroque, se evalúa su condición hidráulica empleando la fórmula de Francis y la altura medida.

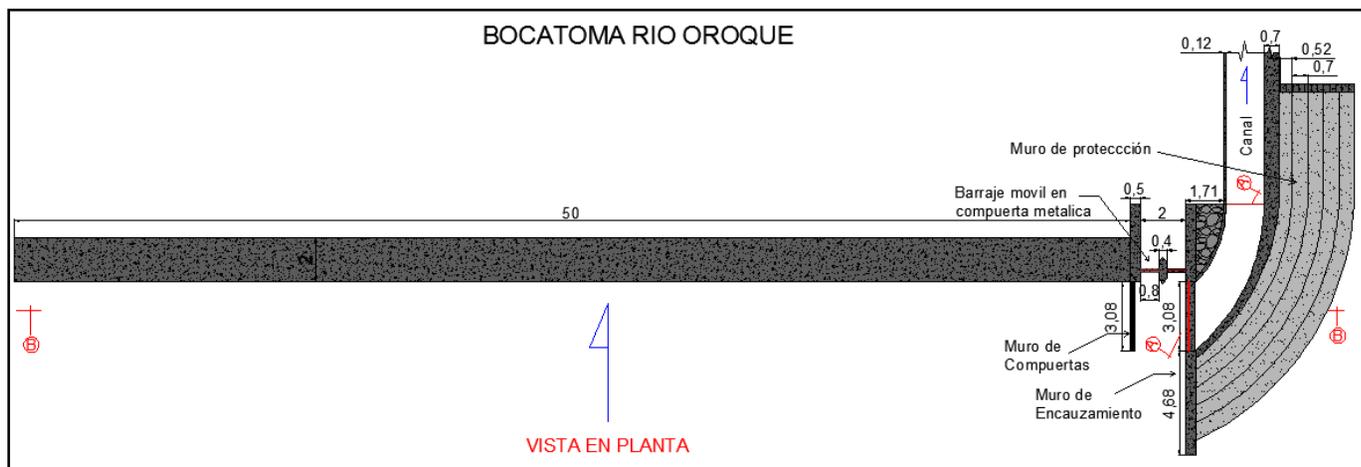


Figura 21. Vista en planta Bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

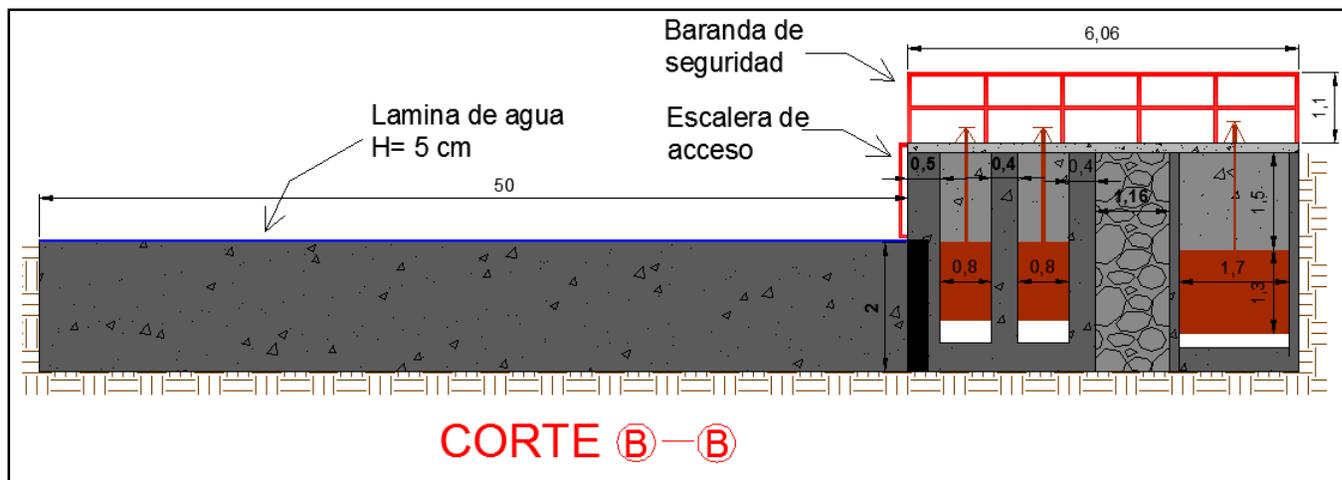


Figura 22. Vista en perfil de la bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

La fórmula de Francis tiene la siguiente expresión:

$$Q = 1.84 * L_e * H^{3/2}$$

En donde

Q = Caudal que pasa por el vertedero.

L_e = Longitud de vertedero.

H = Altura lámina de agua.

Luego el caudal estimado que pasa por la presa de la bocatoma Rio Frio corresponde a:

$$Q = 1.84 * 50 * 0.05^{3/2}$$

$$Q = 1.028 \text{ m}^3/\text{s} = 1028 \text{ lts/seg}$$

Abertura de compuertas. Para conocer las condiciones en las que operan las compuertas se utiliza la ecuación para un orificio sumergido que tiene la siguiente expresión:

$$Q = C * A * \sqrt{2 * g * h}$$

En donde

Q = Caudal que entra en el orificio.

C = Coeficiente de descarga (0.6-0.8).

A = Área abertura de compuerta.

g = Aceleración de la gravedad (9.8 m3/seg).

h = Diferencia de niveles del agua

En la figura 23, se puede apreciar el detalle de la cámara de derivación con la respectiva compuerta que permite o impide el paso del agua hacia el canal de distribución en la bocatoma Rio Oroque.

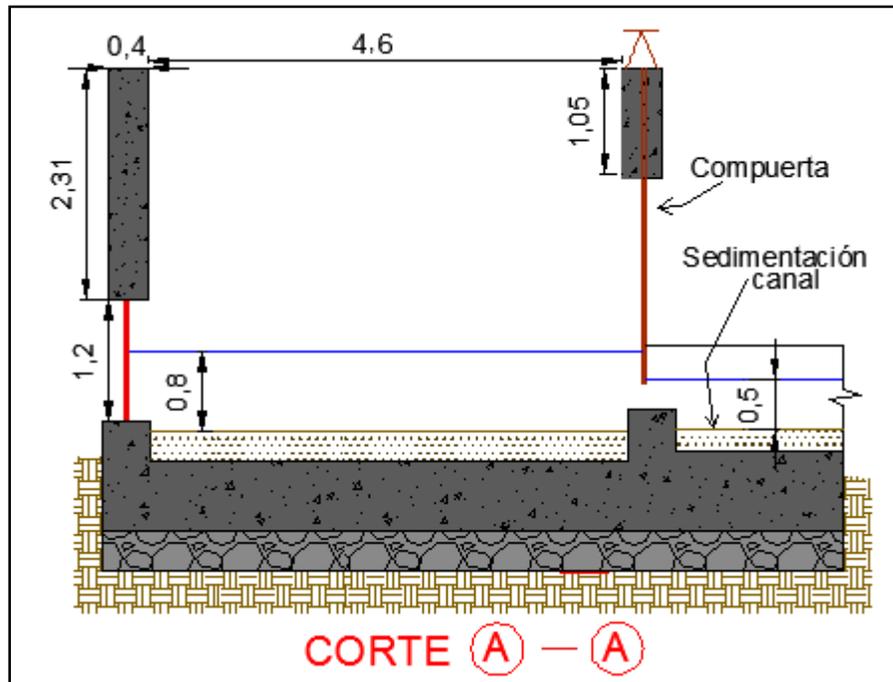


Figura 23. Vista en perfil derivación de aguas Bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Dado que se conoce el caudal que entra de la bocatoma Rio Oroque al canal de distribución, se evalúa la capacidad hidráulica de la compuerta de entrada para conocer la apertura de la misma. Dicha apertura se logra calcular despejando el área de la ecuación original para un orificio sumergido, de la cual se obtiene:

$$A = \frac{Q}{C * \sqrt{2 * g * h}}$$

$$A = \frac{0.132}{0.6 * \sqrt{2 * 9.8 * 0.3}}$$

$$A = 0.091 \text{ m}^2$$

$$A = B * L$$

En donde:

B = Altura de abertura de compuerta.

L = ancho de compuerta (1.70m).

$$B * L = 0.06 \text{ m}^2$$

$$B * 1.70 \text{ m} = 0.06 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{0.06 \text{ m}^2}{1.70 \text{ m}} = 0.05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

Según las dimensiones de la compuerta existente, debe tener una apertura de 5 cm, para permitir el paso del caudal que entra en la rejilla y es entregado al canal principal por medio de la compuerta al final de la cámara de derivación dejando pasar 132 lts/seg.

Compuertas de regulación. Según el aforo realizado el 27 de abril de 2017, por la entidad territorial CORPONOR, el caudal medio que transporta el afluente Rio Oroque es de 1341 lts/seg, por lo cual dado el cálculo del caudal que entra a la rejilla y que pasa al canal de distribución, así como también el caudal que pasa por la presa de la bocatoma; son necesarios para conocer el caudal que pasa por las compuertas de regulación se realiza la diferencia entre los caudales descritos de la siguiente manera:

$$\text{Caudal de compuertas} = 1341 \text{ lts/seg} - 132 \text{ lts/seg} - 1028 \text{ lts/seg}$$

$$\text{Caudal de compuertas} = 181 \text{ lts/seg.}$$

$$\text{Caudal para cada compuerta} = 181 / 2 = 90.5 \text{ lts/seg} = 0.0905 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Por consiguiente la abertura de las compuertas que controlan la altura hidráulica en la entrada de la rejilla tiene la siguiente abertura:

$$A = \frac{0.0905}{0.6 * \sqrt{2 * 9.8 * 0.5}}$$

$$A = 0.048 \text{ m}^2$$

$$B * L = 0.048 \text{ m}^2$$

$$B * 0.8 \text{ m} = 0.048 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{0.048 \text{ m}^2}{0.8 \text{ m}} = 0.06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

Según las condiciones evaluadas de los componentes hidráulicos que conforman la bocatoma Rio Oroque, las compuertas que controlan la altura de lámina de agua en la rejilla, tienen una apertura de 6 cm cada una, pero cabe aclarar que este valor es estimado, ya que la apertura tiene a variar dependiendo de las condiciones del caudal del afluente hídrico, dado que en épocas de invierno la apertura tiende a aumentar, como control del caudal de excesos, de igual forma en épocas de verano la apertura de dichas compuertas disminuye para que no se vea afectado el caudal que capta la bocatoma Rio Oroque.

Para culminar el análisis realizado en las bocatomas que abastecen al distrito de riego ASUDRA, se presenta el siguiente cuadro comparativo en donde se resume el análisis de caudales anteriormente calculado y se hace referencia al caudal que verdaderamente es el que está entrando a las compuertas de acceso a los canales de distribución como también al caudal que disponen las fuentes respetando el caudal ecológico con relación a los caudales otorgados por concesión de las dos bocatomas. Es importante resaltar que la concesión de aguas del distrito de riego ASUDRA, actualmente se encuentra en trámite y será otorgada por el mismo caudal de la concesión anterior, la cual tuvo vigencia hasta el día 3 de mayo del año 2017.

Tabla 3*Comparaciones de caudales*

Bocatoma	Comparación de caudales analizados
Rio Frio	$Q_{Concesion} < Q_{Captado}$
	59 Lts/seg < 89 Lts/seg
	$Q_{Captado} < Q_{Disponible\ de\ la\ fuente}$
	89 Lts/seg < 7988.69 lts/seg
Rio Oroque	$Q_{Concesion} < Q_{Captado}$
	69 Lts/seg < 132 Lts/seg
	$Q_{Captado} < Q_{Disponible\ de\ la\ fuente}$
	132 Lts/seg < 1341 lts/seg

Nota. La tabla muestra la comparación de caudales que entran en las bocatomas que abastecen el distrito de riego ASUDRA. Fuente: Autores del proyecto.

4.1.5 Diagnostico canales de distribución. Tanto la conducción como la distribución del distrito de riego ASUDRA, se realiza mediante canales abiertos de sección rectangular, dada la facilidad para su manejo, ya que si fuesen canales cerrados o conductos a presión se tendrían otros factores a considerar como la instalación de válvulas de purga y válvulas de ventosa, por lo que el método más eficiente y económico para un distrito de riego es emplear el uso de canales abiertos, pues el agua que transporta no es para uso humano ya que solo se utiliza para uso consuntivo.

Es de resaltar que por más grandes que sean las obras de captación de agua para riego, tendrán poco valor si carecen de un sistema eficaz de operación, que permitan al agua llegar hasta los campos de los agricultores sin ningún problema, por lo que parte esencial de todo distrito de riego es tener una buena distribución, pues según lo analizado anteriormente las bocatomas están cumpliendo su función a cabalidad, por lo que en este ítem se analizan la capacidad hidráulica y el estado actual de los canales de distribución y reparto.

El distrito de riego ASUDRA cuenta con dos canales principales que parten de puntos de captación diferentes, realizando la toma en dos afluentes hídricos distintos, dado el análisis realizado en el ítem anterior, los canales principales tienen como identificación el nombre propio del cauce y el caudal de entrada en cada canal corresponde a los siguientes:

Canal principal Rio Frio: 89 lts/seg

Canal Principal Rio Oroque: 132 lts/seg

Para realizar el análisis de los canales de distribución y su estado actual del distrito de riego ASUDRA, se debe tener en cuenta, el número de usuarios que verdaderamente conforman el distrito de riego, como también los distintos cultivos que se cosechan y la demanda hídrica que requiere dicho cultivo para satisfacer su necesidad de absorción del agua.

Según registros facilitados por la empresa ASUDRA, antiguamente el distrito de riego ASUDRA, contaba con más de mil usuarios, pero en la actualidad solo cuenta con 500 usuarios irrigando un total de 475 hectáreas, en donde la mayoría de agricultores usa el 100% de su área a cultivar, esto se debe a que las fincas no son tan grandes, y el espacio asignado es pequeño porque tienen diferentes cosechas en las áreas.

En la figura 24 se aprecia el plano en planta del distrito de riego ASUDRA, en donde se especifican los canales principales y canales secundarios de distribución; se debe tener en cuenta que el plano en planta mostrado en la figura 23, está contemplado en un archivo dxf (AutoCAD), en el **Apéndice C** de la investigación, en donde se puede observar detalladamente cada uno de los elementos y parámetros que conlleva cada canal.

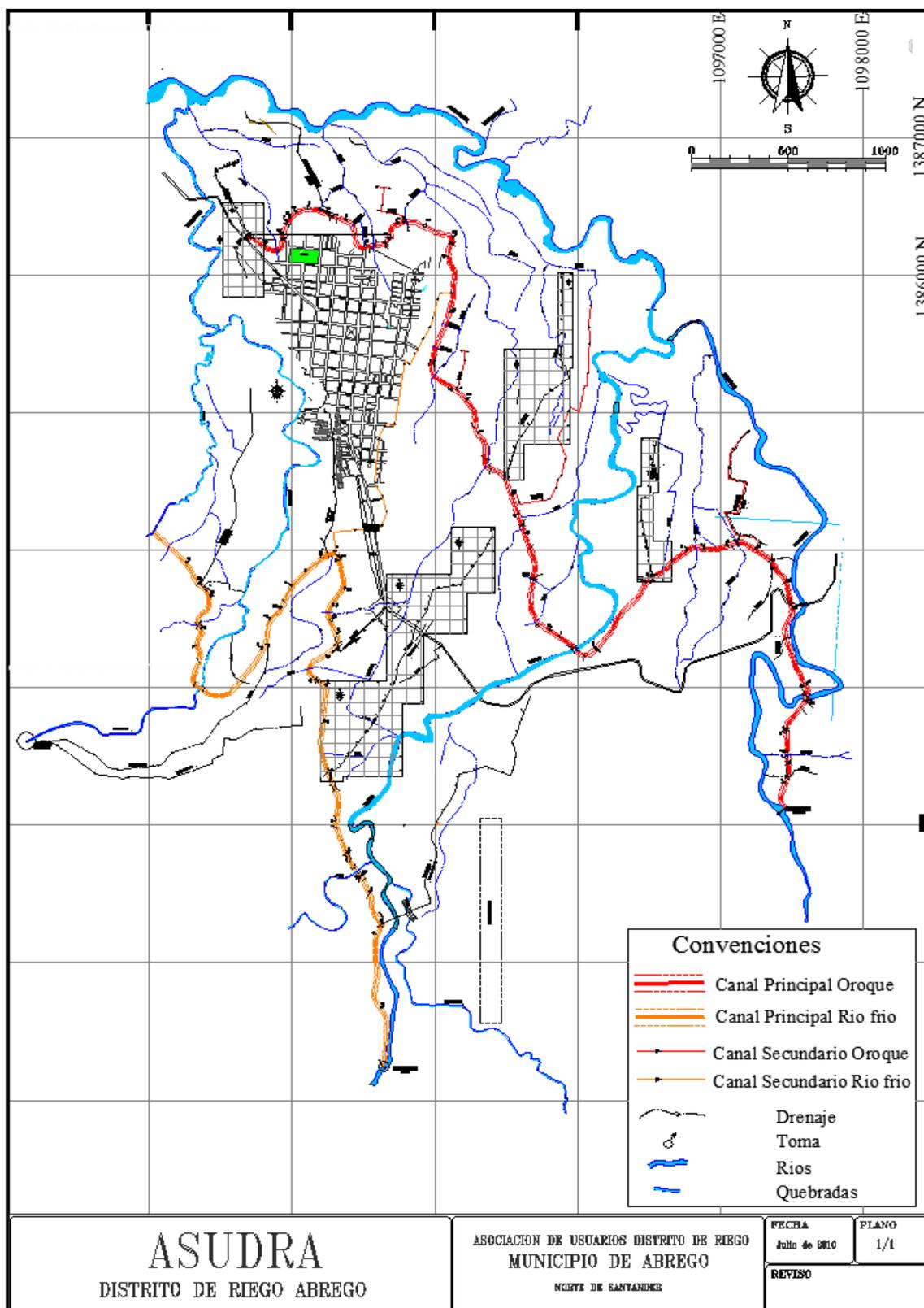


Figura 24. Plano en planta de los canales del distrito de riego ASUDRA. Fuente: Administración ASUDRA 2017, modificado por Autores.

Para realizar la evaluación hidráulica de los canales principales y secundarios, se debe tener en cuenta el requerimiento hídrico apropiado para dicho cultivo de siembra en la mayoría de productores del distrito de riego ASUDRA. Destacando las falencias que se pudieron apreciar durante las visitas de campo además de las consultas realizadas a la empresa ASUDRA, se puede mencionar lo siguiente:

Uno de los grandes problemas que se presenta en el distrito de riego es el uso indiscriminado del agua ya que captan más del caudal concesionado por la autoridad competente, lo que da a entender que el control que realiza la empresa para hacer cumplir lo estipulado por la norma es casi nulo, además cabe mencionar un numero indiscriminado de personas que hace uso de estas aguas, ya que al tratarse de canales abierto cualquier persona aledaña a estos, puede tener un acceso fácil al uso del agua.

Debido al fenómeno climático “El Niño” se redujeron los caudales y por consiguiente la disponibilidad del agua para los usuarios del distrito, esto repercute en el normal desarrollo de los cultivos. Además de esto se presentan captaciones ilegales por parte de personas ajenas al distrito, las cuales estimar un valor es complicado debido a que al tratarse de canales abiertos muchas de estas captaciones se realizan momentáneamente sin dejar rastro alguno de su utilización

El distrito de riego ASUDRA no dispone del personal profesional para realizar un control en el uso del recurso hídrico y por esta razón se hace necesario determinar la oferta hídrica de la fuente abastecedora del distrito de riego, con el fin de contribuir en disminuir el derroche de

Agua y a la vez darle un mejor uso a este recurso. Y de este modo favorecer a la conservación de recursos naturales y del medio ambiente.

Actualmente el distrito de riego ASUDRA, a pesar de que ha tenido algunas mejoras, el mantenimiento periódico no se realiza, ya que la empresa encargada de velar por la integridad del distrito de riego ASUDRA, no cuenta con los recursos financieros suficientes para satisfacer las necesidades del mismo, si bien es de mencionar según lo indagado por funcionarios de la misma empresa, en años anteriores se contaban con recursos que provenían de la gobernación, pero en la actualidad solo se mantienen con recursos propios conformado por cada uno de los usuarios que pagan una pequeña cantidad de dinero por el uso del agua.

Para realizar el análisis de los canales principales y de distribución, se debe tener en cuenta el balance hídrico de un cultivo, el cual corresponde a los requerimientos de agua necesarios para que un cultivo pueda llevar a cabo sus funciones fisiológicas, incluyendo la que expulsa la planta a través de las hojas (evapotranspiración), la que se pierde del suelo donde está el cultivo (evaporación) y el agua interceptada por el follaje. La determinación de las necesidades de agua de los cultivos es el paso previo para establecer los volúmenes de agua que será necesario aportar con el riego, aunque cabe resaltar que el consumo de agua no solo depende del cultivo, sino de los restantes factores climáticos como la precipitación, la evapotranspiración y la capacidad del suelo para retener un umbral de escorrentía.

Es de destacar, que el distrito de riego ASUDRA, tiene una cantidad determinada de caudal para cada usuario de acuerdo del área registrada para irrigar según lo establecido por la empresa

ASUDRA, aunque el valor real de la demanda hídrica para cada usuario depende de la necesidad de la planta propuesta mediante el balance hídrico.

Para realizar el balance hídrico, se debe tener una serie de información como también un determinado proceso, en donde infiere el estudio del suelo para conocer sus condiciones y las características de dicho cultivo para determinar su demanda de agua. En la tabla 4 y tabla 5 se aprecia el balance hídrico empleado en esta investigación.

Es de resaltar que los cultivos mencionados en la tabla, corresponden a los cultivos de tomate y frijol, aunque anteriormente uno de los cultivos que son renglones de la economía regional del municipio de Abrego correspondió a la Cebolla por muchos años, hoy en día es un tipo de cultivo que ha pasado a segundo plano, ya que no es rentable cultivarla cuando se importa este producto de otro lugar y a un mejor precio como la cebolla proveniente de Perú.

Con respecto a los cultivos que se manejan en los usuarios que conforman el distrito de riego ASUDRA, el mayor número de hectáreas cultivadas corresponde a los cultivos de Frijol, seguido de los cultivos de maíz; los demás cultivos como el tomate, la cebolla, alverja, yuca, entre otros se encuentran en menor escala. Para tener una mejor comprensión de todos los cultivos que irriga el distrito de riego ASUDRA, en el **Apéndice A**, se aprecia un archivo en formato xls (Excel) con el nombre de Registro de cultivos irrigados con el distrito de riego ASUDRA.

Tabla 4*Balance hídrico para un cultivo de tomate*

PARAMETROS	UNIDAD	DICIEMBRE		ENERO			FEBRERO			MARZO		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Precipitación	(mm)	13.60	8.20	12.00	8.10	5.30	15.90	8.10	9.50	12.00	29.90	34.80
Precipitación (50 % Probabilidad de Excedencia)	(mm)	7	4	2	0	0	5	0.5	5	2	19.70	18
Precipitación efectiva	(mm)	5.25	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75	0.00	3.75	0.00	14.78	13.50
ETP (Evapotranspiración potencial)	(mm)	34.00	36.00	36.00	37.00	39.00	38.00	40.00	37.00	40.00	40.00	39.00
Kc (Coeficiente del cultivo)		0.35	0.35	0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.80	0.80
Uc (Uso consuntivo)	(mm)	11.90	12.60	12.60	37.00	39.00	38.00	40.00	37.00	32.00	32.00	31.20
Demanda Neta (Precipitación efectiva - uso EXCESO)	(mm)	6.65	12.60	12.60	37.00	39.00	34.25	40.00	33.25	32.00	17.23	17.70
DEFICIT	(mm)	6.65	12.60	12.60	37.00	39.00	34.25	40.00	33.25	32.00	17.23	17.70
diseño de riego predial	(mm)	6.65	12.60	12.60	37.00	39.00	34.25	40.00	33.25	32.00	17.23	17.70
Eficiencia Almacenamiento	%	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Eficiencia Distribución	%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Eficiencia Aplicación	%	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Eficiencia riego	%	0.75	0.75	0.75	0.85	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Demanda bruta	(mm)	8.87	16.80	16.80	49.33	52.00	45.67	53.33	44.33	42.67	22.97	23.60
Demanda bruta	m3/ha	88.67	168.00	168.00	493.33	520.00	456.67	533.33	443.33	426.67	229.67	236.00
Jornada de riego	(h)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Módulo de riego	(lps/ha)	0.10	0.19	0.19	0.57	0.60	0.53	0.62	0.51	0.49	0.27	0.27
Q diseño (caudal de diseño) usuarios con 1Ha	(lps)	0.10	0.19	0.19	0.57	0.60	0.53	0.62	0.51	0.49	0.27	0.27

Nota. La tabla muestra los parámetros que se deben tener en cuenta para realizar el balance hídrico de un cultivo de tomate. Fuente: Alcaldía municipal de Abrego (2016).

Tabla 5*Balance hídrico para un cultivo de Frijol*

PARAMETROS	UNIDAD	DICIEMBRE			ENERO			FEBRERO			MARZO		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Precipitación	(mm)	13.60	8.20	12.00	8.10	5.30	15.90	8.10	9.50	12.00	29.90	34.80	
Precipitación (50 % Probabilidad de Excedencia)	(mm)	7.00	4.00	2.00	0.00	0.00	5.00	0.50	5.00	2.00	19.70	18.00	
Precipitación efectiva	(mm)	5.25	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75	0.00	3.75	0.00	14.78	13.50	
ETP (Evapotranspiración potencial)	(mm)	34.00	36.00	36.00	37.00	39.00	38.00	40.00	37.00	40.00	40.00	39.00	
Kc (Coeficiente del cultivo)		0.55	0.55	1.00	1.00	1.00	0.60	0.6	0.6	1.00	1.00	1.00	
Uc (Uso consuntivo)	(mm)	18.70	19.80	36.00	37.00	39.00	22.80	24.00	26.01	19.80	36.00	37.00	
Demanda Neta (Precipitación efectiva - uso EXCESO)	(mm)	13.45	19.80	36.00	37.00	39.00	19.05	24.00	26.01	19.80	36.00	37.00	
DEFICIT	(mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
diseño de riego predial	(mm)	13.45	19.80	36.00	37.00	39.00	19.05	24.00	26.01	19.80	36.00	37.00	
Eficiencia Almacenamiento	%	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
Eficiencia Distribución	%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
Eficiencia Aplicación	%	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
Eficiencia Riego	%	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
Demanda bruta	(mm)	17.93	26.40	48.00	49.33	52.00	25.40	32.00	36.00	48.00	49.33	52.00	
Demanda bruta	m3/ha	179.33	264.00	480.00	493.33	520.00	254.00	320.00	360.00	480.00	493.33	520.00	
Jornada de riego	(h)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	
Módulo de riego	(lps/ha)	0.21	0.31	0.56	0.57	0.60	0.29	0.37	0.43	0.56	0.57	0.60	
Q diseño (caudal de diseño) usuarios con 1Ha	(lps)	0.21	0.31	0.56	0.57	0.60	0.29	0.37	0.43	0.56	0.57	0.60	

Nota. La tabla muestra los parámetros que se deben tener en cuenta para realizar el balance hídrico de un cultivo de frijol. Fuente: Alcaldía municipal de Abrego (2016).

Dado que los agricultores que conforman los usuarios del distrito de riego ASUDRA, se dedican a cultivos transitorios, es decir cultivos de ciclo corto, para conocer la demanda de agua y tener en cuenta el balance hídrico, solo se utilizó el estudio del requerimiento de agua para dos cultivos específicos que corresponden al tomate y frijol mencionados en la tabla 4 y 5.

Debido a la complejidad de llevar a cabo el requerimiento de agua de un cultivo, para tener idea de las necesidades hídricas de los cultivos más predominantes en la zona de estudio del proyecto, los balances hídricos mostrados en la tabla 4 y la tabla 5, corresponden a estudios realizados por la alcaldía municipal en el año 2016, con el fin de proponer reservorios para el aprovechamiento del recurso hídrico. En el **Apéndice A**, se puede apreciar la información recopilada en lo referente a la demanda hídrica de los cultivos.

Para obtener la demanda de riego, se toma el caso más crítico, que se obtiene cuando se supone que todas las hectáreas a sembrar están ocupadas de acuerdo al plan de siembra (tomate, frijol) obteniéndolo de los cálculos del balance hídrico y uso consuntivo, siendo el periodo más seco y prolongado entre diciembre y marzo que presenta el mayor déficit y con base en estos datos, se calcula la demanda de agua como lo mostrado en la tabla 4 y la tabla 5.

Los balances hídricos se pueden calcular para diferentes periodos de tiempo; estos pueden ser diarios, decadales (diez días) o mensuales, de acuerdo con las necesidades del caso:

Mensuales, para la identificación de áreas para proyectos de riego y/o drenaje.

Decadales (cada diez días), para diseños de sistemas de riego y/o drenaje.

Diarios, para la operación de los distritos de riego y/o drenaje.

Un balance hídrico con intervalos de una década, permite individualizar periodos secos de una, dos o tres décadas, que en ocasiones afectan sensiblemente el rendimiento de los cultivos. El riego integral generalmente se justifica, cuando aparece un déficit bien marcado en varios meses, durante los cuales no se pueden realizar cultivos sin riego artificial. El balance hídrico con valores climáticos mensuales lo señala con claridad.

El cálculo de la demanda de agua, se realiza bajo el esquema de periodos de tiempo en decadales, por lo que los meses considerados para el balance, están divididos en tres decadales, a excepción del mes de diciembre que cuenta solo con dos decadales. Se tiene en cuenta la evapotranspiración, la precipitación, la precipitación efectiva, los requerimientos de agua por cultivo de frijol y tomate. Para tener una mejor comprensión de lo especificado en las tablas anteriores, a continuación se describe su metodología.

Precipitación. Corresponde a la cantidad de agua proveniente de las lluvias en la zona registrada por una estación climatológica que lleva registros periódicos a lo largo del tiempo. Dicha información climatológica se obtiene mediante una solicitud al ente encargado con todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), el cual facilita información de índole científico, sobre los registros de precipitación, y evaporación, en diferentes periodos de tiempo, puede ser diaria, decadal (cada diez días), mensual o anual. Los datos utilizados de precipitación en decadales, de la estación

climatológica para el balance hídrico se encuentran en el **Apéndice A**. La información que se utilizó corresponde a registros decadales. La información de la estación climatológica es:

Localización:	ÁBREGO CENTRO AD
Estación:	1605504 Tipo: CP
Latitud:	0805 N Longitud: 7314 W
Corriente:	ALGODONAL
Fecha de Proceso: 2016/06	Entidad: IDEAM
Estado:	Suspensión

Precipitación Efectiva. Para la programación de riegos mediante el balance hídrico, se introduce el concepto de precipitación efectiva. La precipitación efectiva o útil es la precipitación no perdida por escorrentía. Se define como precipitación efectiva, aquella que es retenida en la zona de raíces y totalmente aprovechable por las plantas, de esta manera, se debe tener en cuenta, además de otras variables que intervienen en dicho balance, como la evapotranspiración, el uso consuntivo, el déficit, el exceso, etc; para el cálculo del balance hídrico del cultivo.

La precipitación efectiva se calcula según la ecuación de Weibull, como se muestra a continuación:

Se debe ordenar los datos de mayor a menor (para análisis de excedencia).

Se calcula la posición de graficado de cada dato mediante la ecuación de Weibull.

$$P = 1 + \frac{m}{(N + 1)}$$

$$T = \frac{1}{\rho}$$

Dónde: P=probabilidad de excedencia

m=número de orden

N=total de datos de la serie

T=periodo de retorno (años)

Evapotranspiración Potencial (ETP). Se define como la pérdida de agua en un área determinada y durante un periodo específico, por la acción combinada de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas. La ETP puede medirse a través de métodos directos e indirectos. Los primeros a partir de equipos de campo los segundos a través de modelos basados en datos experimentales

Coefficiente de cultivo (Kc). Según Valverde J. (2007), nos dice que:

El coeficiente de cultivo describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha, por ser dependiente de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta. El Kc varía con el período de crecimiento de la planta y con el clima; igualmente, depende de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo, según su estado de desarrollo vegetativo. El Coeficiente de Cultivo (Kc) es el resultado de la relación entre la evapotranspiración de un cultivo (ETc), durante una etapa definida, con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). Su fórmula es:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

Debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, el Kc cambia desde la siembra hasta la cosecha como se aprecia en la siguiente figura.

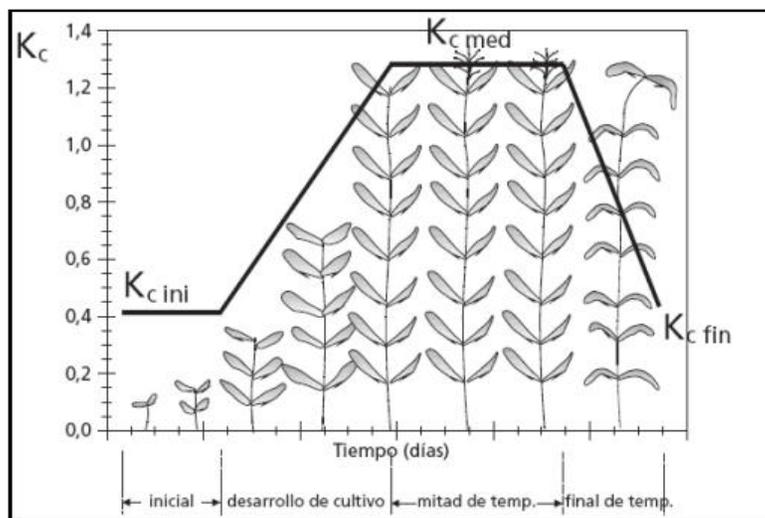


Figura 25. Curva Generalizada del coeficiente de cultivo K_c . Fuente: FAO (2006).

Uso consuntivo (U_c). Se considera el uso consuntivo como la evapotranspiración real que ocurre en el complejo suelo – planta, en las condiciones existentes para determinado cultivo y nivel de humedad del suelo.

$$U_c = ETP * K_c$$

Eficiencia de Riego (E_r). Para el caso del proyecto, se puede definir como eficiencia de riego, el producto de la eficiencia de almacenamiento, la eficiencia de conducción y la eficiencia de aplicación.

$$E_r = E_a \times E_u$$

E_a : Corresponde a la eficiencia de almacenamiento, en este caso se asumirá como 0.9.

E_u Corresponde a la eficiencia en la conducción y distribución, en este caso se asumirá como 0.95 según la FAO (2006), este valor teniendo en cuenta que se conducirá y se distribuirá

el agua a través de ductos cerrados (Tubería de PVC) dentro del sistema intrapredial, que permiten mayor control de pérdidas y una mayor eficiencia en su funcionamiento.

Eu: Corresponde a la eficiencia de aplicación, en este caso se asumirá como 0.85 tomado como referencia según la FAO (2006), teniendo en cuenta que para el diseño del riego permite entregar un caudal controlado de agua a cada usuario para aspersión.

Para los cuadros del balance hídrico especificados en la tabla 4 y tabla 5, el cálculo de la demanda para el caso del Distrito de Riego ASUDRA, se basa en la disponibilidad del volumen útil para cada uno, principalmente para la época de diciembre, marzo (intenso verano). El caudal de diseño mencionado corresponde al módulo de riego multiplicado por el área del cultivo o que sería lo mismo el módulo de riego por el área disponible para cada usuario. Como el plan de siembra involucra dos cultivos de ciclo corto con rotación frijol-tomate –frijol o tomate –frijol tomate, para tres cosechas cada uno en el año, se asumirá entonces como caudal de diseño el promedio de la suma de los máximos caudales de los decadales respectivos, dividido por la jornada efectiva de riego.

En conclusión al conocimiento del requerimiento de agua en los cultivos que se riegan en el bello valle de Abrego según los balances hídricos mencionados en la tabla 4 y tabla 5, el mayor periodo de consumo de agua corresponde a 0.60 lts/seg por hectárea. Aunque cabe resaltar que según la empresa ASUDRA, cada usuario paga por la cantidad de hectáreas a irrigar. En la siguiente tabla se muestra la clasificación del número de usuarios según la cantidad de hectáreas irrigadas por medio del distrito de riego.

Tabla 6

Distribución total de usuarios del distrito de riego según la cantidad de hectáreas irrigadas

% Usuarios	N° Usuarios	Ha por usuario	Total Ha
40%	200	0.5	100
49%	245	1.0	245
7%	35	2	70
4%	20	3	60
Total	500	-----	475

Nota. La tabla muestra la distribución del número de usuarios según la cantidad de hectáreas a irrigar y el total de las hectáreas irrigadas. Fuente: Empresa ASUDRA (2017).

El distrito de riego ASUDRA, cuenta con dos puntos de captación diferentes, como se pudo apreciar en la figura 23, se tienen dos canales principales que realizan su distribución y la entrega del caudal a cada usuario. Cada canal principal transporta diferente caudal y el área de influencia para el riego también es diferente. El canal principal que parte de la bocatoma Rio Frio, abastece un área total de 220 hectáreas y el canal principal Rio Oroque, abastece un área total de 255 hectáreas.

4.1.5.1 Diagnostico de canales que parten de la bocatoma Rio Frio. La bocatoma Rio Frio, cuenta con un canal principal para su distribución, es de sección rectangular como se muestra en la figura 26. Tiene una longitud total de 6.982 metros y el caudal que transporta es de 89 lts por segundo. En la figura 25, se puede apreciar el plano en planta del canal principal Rio Frio, el cual cuenta con 6 canales secundarios y 24 tomas de usuarios que salen del canal principal. Los usuarios que hacen parte de la distribución de la bocatoma Rio Frio, se encuentran clasificados en la siguiente tabla:

Tabla 7*Clasificación de usuarios que pertenecen a la distribución Rio Frio*

% Usuarios	N° Usuarios	Ha por usuario	Total Ha
40%	200	0.5	100
6%	30	2	60
4%	20	3	60
Total	250	-----	220

Nota. La tabla muestra la clasificación de usuarios según el número de hectáreas a irrigar que abastece la bocatoma Rio Frio. Fuente: Empresa ASUDRA (2017).

Según el caudal de entrada en la fuente Rio Frio, correspondiente a 89 lts/seg, y teniendo en cuenta el número total de hectáreas a irrigar, se tiene lo siguiente:

$$\text{Caudal por hectárea Ha} = \frac{89 \text{ lts/seg}}{220 \text{ Ha}}$$

$$\text{Caudal por hectárea Ha} = 0.40 \text{ lts/seg} * \text{Ha}$$

Según el requerimiento hídrico de los cultivos de tomate y frijol, en épocas de verano la cantidad de agua necesaria para llevar a cabo el desarrollo óptimo de los cultivos corresponde a 0.6 LPS*Ha, lo cual según el cálculo anterior da a entender que en épocas de verano el caudal que abastece la bocatoma Rio Frio, no es el suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, por lo cual es conveniente realizar razonamientos o tanques de almacenamiento o reservorios intrapredial para así garantizar que los cultivos satisfagan sus necesidades hídricas.

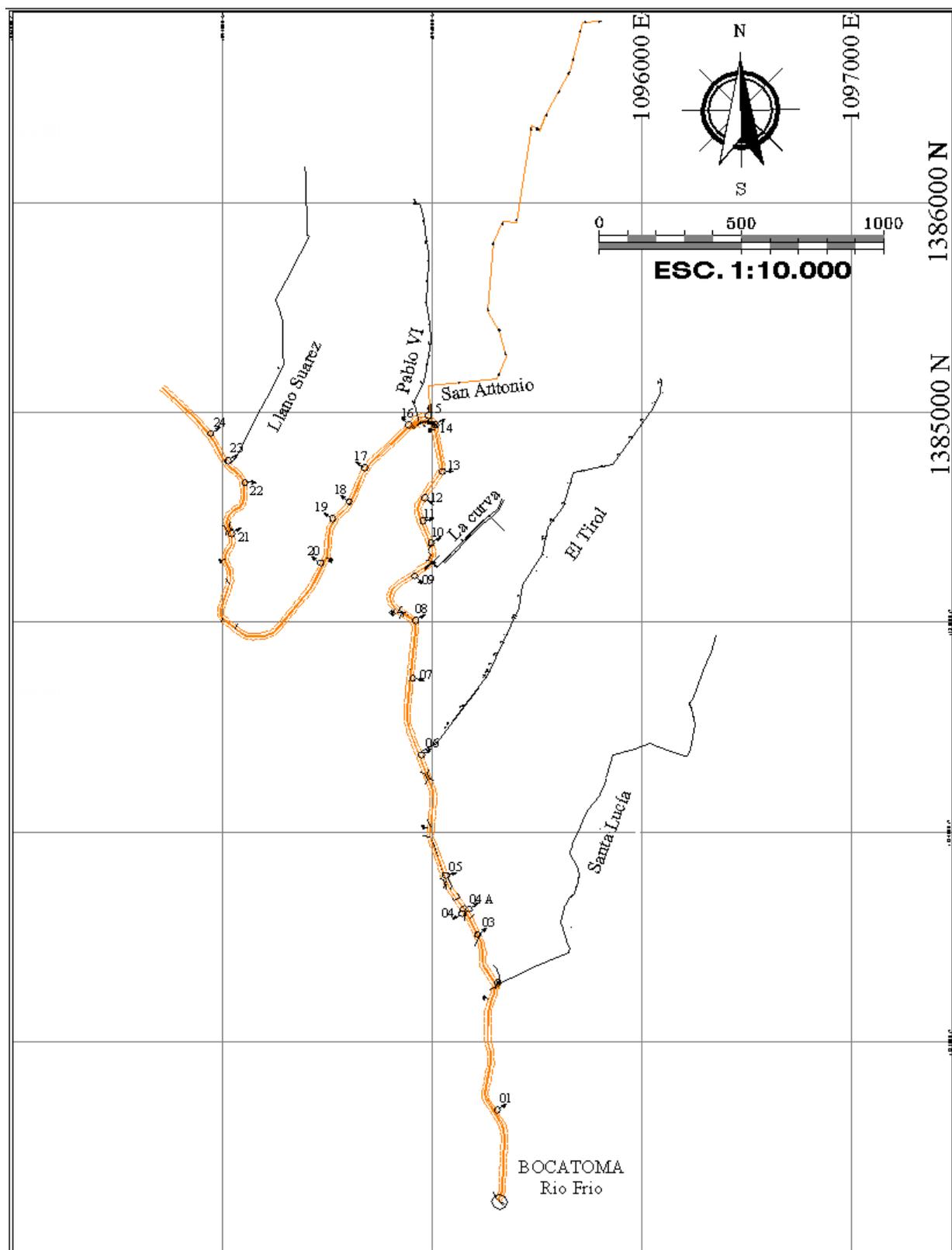


Figura 26. Plano en planta del canal principal Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

La clasificación del flujo en canales abiertos se resume en flujo permanente y flujo no permanente, según el libro Hidráulica de Canales publicado en el año 2008, por el autor Pedro Rodríguez Ruiz. El flujo es permanente si los parámetros (tirante, velocidad, área, etc.), no cambian con respecto al tiempo. El flujo permanente puede ser uniforme o variado, se considera uniforme si los parámetros (tirante, velocidad, área etc.), no cambian con respecto al espacio, es decir en cualquier sección del canal los elementos del flujo permanecen constantes. El flujo variado puede ser gradualmente variado o rápidamente variado; es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancia relativamente cortas y es gradualmente variado si la lámina de agua varía en forma continua, progresiva y lenta, se presenta por cambios graduales en el caudal, o en la sección, o en la pendiente de la solera del canal.

En los canales de riego el flujo también puede ser transitorio, ya que existe continuamente tránsito de ondas de avance del agua, producto de la operación de las estructuras de control. Este flujo se caracteriza por que el tirante del agua varía en el tiempo y en la distancia, asimismo participan fuerzas de inercia, presión, fricción y gravedad. Precisamente los elementos de protección, como el bordo libre y las estructuras de desfogue, deben absorber y atenuar los efectos adversos que puede ocurrir por efecto de fenómenos transitorios dentro del canal, condición que debe y puede ser revisada, con suficiente precisión en la práctica ingenieril, con el apoyo de modelos matemáticos basados en las ecuaciones de Saint-Venant.

En la siguiente figura 28, se puede observar el canal principal que parte de la bocatoma Rio Frio, en donde se aprecia que el flujo es permanente y la lámina de agua varia a medida que se realizan las tomas y las desviaciones hacia los canales secundarios.



Figura 28. Canal principal que parte de la bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

Para conocer los parámetros del canal principal de la bocatoma Rio Frio, se hace uso de las relaciones geométricas propias de un canal dependiendo de su sección transversal y de la profundidad del flujo. Las secciones transversales pueden ser regulares o irregulares, en canales regulares los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad del flujo y otras dimensiones de la sección. Las formas más utilizadas en la sección transversal de un canal se muestran en la siguiente figura 29, en donde se determina por medio de relaciones geométricas como el área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico y espejo de agua.

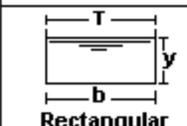
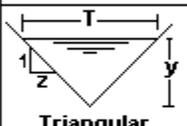
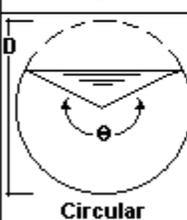
Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}) \frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2}) D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 29. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes. Fuente: Autoridad nacional del agua (2010).

Por consiguiente los parámetros para el canal principal Rio Frio teniendo en cuenta que el canal es rectangular y sus dimensiones como se aprecia en la figura 25, son:

Área hidráulica (A):

$$A = b * y$$

$$A = 1.5m * 0.20m$$

$$A = 0.3 m^2$$

Perímetro mojado (P):

$$P = b + 2y$$

$$P = 1.5 + 2 (0.20)$$

$$P = 1.9 \text{ m}$$

Radio hidráulico (R):

$$R = \frac{b * y}{b + 2y}$$

$$R = \frac{1.5 * 0.20}{1.5 + 2 * 0.20}$$

$$R = 0.16 \text{ m}$$

Espejo de agua (T):

$$T = 1.5 \text{ m}$$

Aunque se conoce el caudal que entra al canal principal Rio Frio, empleando la fórmula de Manning para canales abiertos se determina teóricamente el caudal que debe tener el canal según sus condiciones geométricas. La fórmula de Manning tiene la siguiente expresión:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

En donde

Q = Caudal que transita por el canal (m³/s).

n = Rugosidad de Manning.

A = Área (m²).

R = Radio hidráulico.

S = Pendiente (1/1000), valor correspondiente al diseño inicial del distrito de riego Fuente: Topógrafo Álvaro Ordoñez (1964).

El coeficiente de rugosidad de Manning, se determina empleando la siguiente tabla.

Tabla 8

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning

Tipo de material	Mínimo	Normal	Máximo
Roca (con saliente y sinuosa)	0.035	0.040	0.050
Tepetate (liso y uniforme)	0.025	0.035	0.040
Tierra en buenas condiciones	0.017	0.020	0.025
Tierra libre de vegetación	0.020	0.025	0.033
Mampostería seca	0.025	0.030	0.033
Mampostería con cemento	0.017	0.020	0.025
concreto	0.013	0.017	0.020
Asbesto cemento	0.090	0.010	0.011
Polietileno y PVC	0.007	0.008	0.009

Nota. La tabla muestra los valores del coeficiente de rugosidad en distintas superficies. Fuente: Rodríguez P. (2008).

Teniendo en cuenta que la rugosidad se encuentra compuesta debido a que las paredes son de material concreto y el fondo del canal debido a la sedimentación es de material arenoso, para realizar el cálculo del caudal empleando la fórmula de Manning, es necesario determinar el coeficiente de rugosidad compuesto, el cual se determina empleando la ecuación de Kutter:

$$n = \left(\frac{p1 * n1^{3/2} + p2 * n2^{3/2}}{p} \right)$$

En donde

P1 = perímetro mojado en material de concreto

n1 = rugosidad del concreto

P2 = perímetro mojado en material de sedimentos

n2 = rugosidad de los sedimentos

$$n = \left(\frac{(0.20 * 2) * 0.2^{3/2} + 1.5 * 0.033^{3/2}}{1.9} \right)$$

$$n = 0.023$$

$$Q = \frac{1}{0.023} * 0.3 * 0.16^{2/3} * \frac{1}{1000}^{1/2}$$

$$Q = 0.12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Teóricamente el caudal que transita por el canal es de 0.139 m3/seg según el método de Manning, pero cabe resaltar que este caudal calculado se obtuvo por las medidas directas en campo de la lámina de agua durante épocas de invierno por lo que varía dependiendo de las condiciones climáticas de la fuente y del comportamiento de la compuerta que permite el paso del caudal ya que se desconoce el uso indiscriminado de la misma. Por consiguiente la velocidad real del canal se puede determinar empleando el caudal medio de mayor frecuencia como también empleando las condiciones geométricas del canal.

Empleando el caudal para el cual corresponde a la abertura de compuerta de la fuente de captación el cual es de 0.089 m3/seg, se obtiene una velocidad como se muestra en el siguiente procedimiento:

$$V_{real} = Q/Area$$

$$V_{real} = \frac{0.089 \text{ m}^3/s}{0.3 \text{ m}^2} = 0.3 \text{ m/s}$$

Empleando las consideraciones geométricas del canal, radio hidráulico y pendiente, de la fórmula de Manning se determina la velocidad de la siguiente forma:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.023} * 0.16^{2/3} * \frac{1}{1000}^{1/2}$$

$$V = 0.405 \text{ m/s}$$

Según el cálculo anterior, en el canal principal Rio Frio la velocidad es demasiado baja por lo que es notorio encontrar un gran número de sedimentos, que disminuye la capacidad hidráulica del canal.

Por otra parte El efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales. Esta relación está dada por el número de Froude, definido como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * d}}$$

En donde

F = Numero de Froude

V = Velocidad del flujo (m/s).

g = Aceleración de la gravedad, 9,81 m/s²

d = Tirante del agua en m.

Remplazando los valores calculados se tiene

$$F = \frac{0.405}{\sqrt{9.81 * 0.20}}$$

$$F = 0.29$$

Según la clasificación del número de Froude se considera.

$F = 1$ Flujo critico

$F < 1$ Flujo subcrítico

$F > 1$ Flujo supercrítico

El número de Froude da como resultado un flujo subcrítico empleando la velocidad mayor de las calculadas anteriormente, este tipo de flujo se debe evitar en canales para que no ocurra sedimentación. El cálculo apropiado para conocer las condiciones de los canales se lleva a cabo mediante el uso de herramientas informáticas.

Por consiguiente del canal principal Rio Frio, se derivan 6 canales secundarios como se pudo observar en la figura 25, de los cuales para resumir la información se representa en la tabla 9; cabe resaltar que independientemente de los canales secundarios, del canal principal se realizan 24 tomas directas que están controladas por compuertas, de los cuales de esas 24 tomas directas, 20 están destinadas para usuarios con riego de 3 hectáreas y las 4 restantes para usuarios con 2 hectáreas.

Tabla 9*Canales secundarios que parten del canal principal Rio Frio*

Nombra Canal Secundario	Tipo de sección	Altura canal (m)	Ancho canal (m)	Longitud (m)	Hectáreas irrigadas	Caudal (LPS)
Canal Santa Lucia	Rectangular	0.5	0.5	2377	30	12
Canal El Tirol	Rectangular	0.5	0.8	2212	50	20
Canal La Curva	Rectangular	0.45	0.45	483	15	6
Canal San Antonio	Rectangular	0.5	0.5	2472	20	8
Canal Pablo VI	Rectangular	0.5	0.5	1116	25	10
Canal Llano Suarez	Rectangular	0.4	0.4	1530	12	4.8

Nota. La tabla muestra la identificación y características de los canales secundarios que parten del canal principal Rio Frio. Fuente: Empresa ASUDRA (2017).

Las demás características de cada uno de los canales de distribución, se puede apreciar en la utilización de las herramientas informáticas, que dan un mejor grado de precisión al cálculo realizado anteriormente. En la siguiente figura 30, se puede apreciar la sección tipo de los canales secundarios que parten del canal principal Rio Frio.



Figura 30. Sección tipo de los canales secundarios de la bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

4.1.5.1 Diagnostico de canales bocatoma Rio Oroque. La bocatoma Rio Oroque, cuenta con un canal principal para su distribución, tiene una longitud total de 7.028 metros y el caudal que transita por dicho canal es de 132 lts por segundo; el canal cuenta con 6 canales secundarios y 31 tomas directas de usuarios que salen del canal principal. En la figura 29 se puede apreciar el plano en planta del canal principal Rio Oroque y sus canales secundarios. La distribución de caudales en el canal principal Rio Oroque y en sus 6 canales secundarios se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 10

Clasificación de usuarios que pertenecen a la distribución Rio Oroque

% Usuarios	N° Usuarios	Ha por usuario	Total Ha
49%	245	1	245
1%	5	2	10
Total	250	-----	255

Nota. La tabla muestra la clasificación de usuarios según el número de hectáreas a irrigar que abastece la bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Cabe resaltar que actualmente los canales requieren de un mantenimiento periódico que no se viene realizando porque el número de sedimentos por falta de mantenimiento es grande, de igual forma la maleza y la vegetación colindante del canal han entorpecido el buen funcionamiento del flujo.

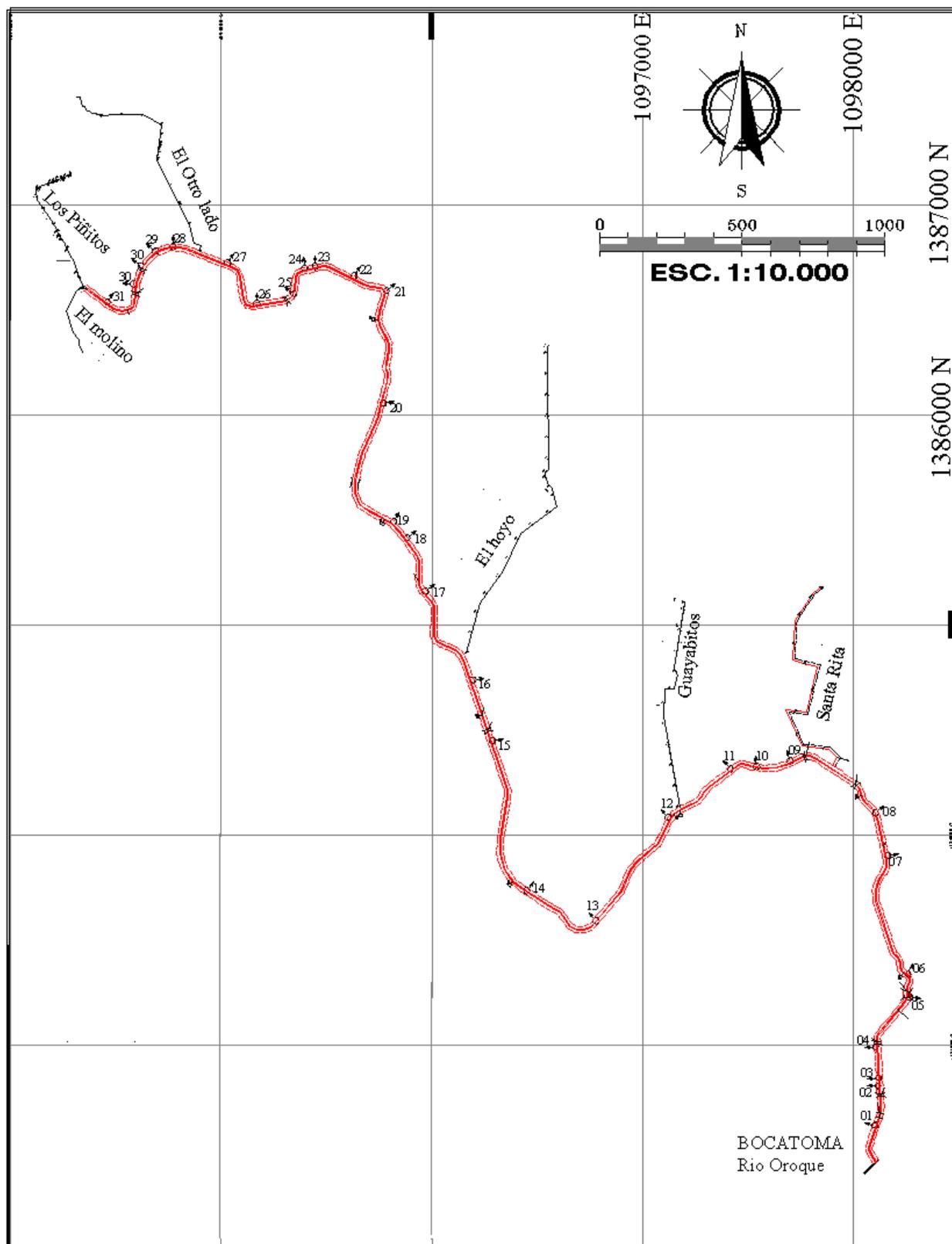


Figura 31. Plano en planta del canal principal Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

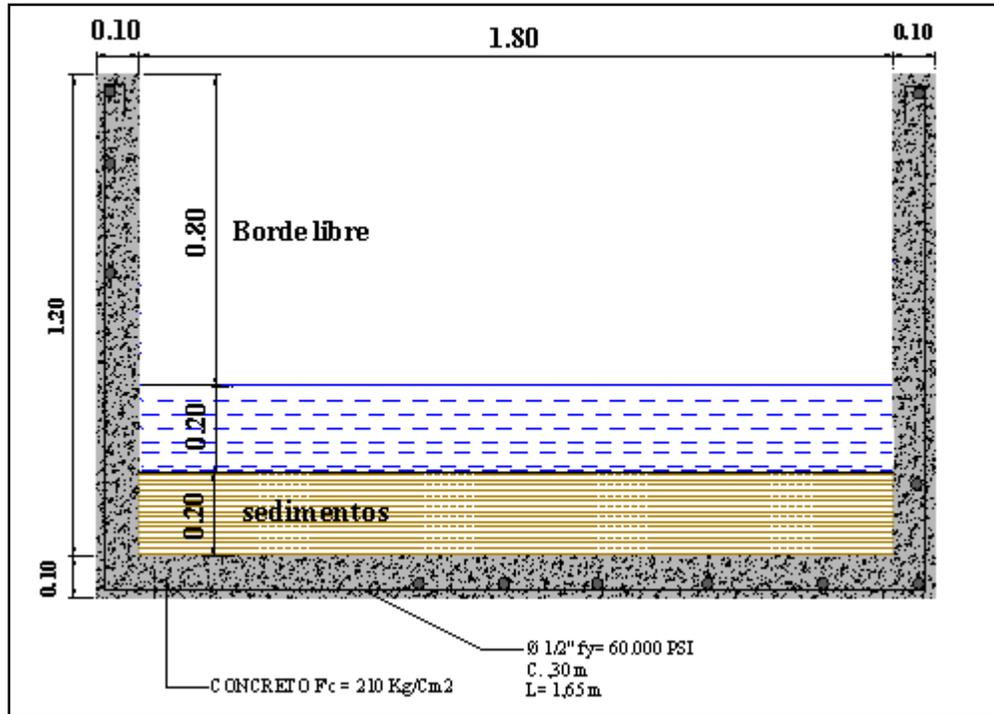


Figura 32. Sección transversal canal principal Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Área hidráulica (A):

$$A = b * y$$

$$A = 1.8m * 0.22m$$

$$A = 0.396 m^2$$

Perímetro mojado (P):

$$P = b + 2y$$

$$P = 1.8 + 2 (0.22)$$

$$P = 2.24 m$$

Radio hidráulico (R):

$$R = \frac{b * y}{b + 2y}$$

$$R = \frac{1.8 * 0.22}{1.8 + 2 * 0.22}$$

$$R = 0.176 \text{ m}$$

Espejo de agua (T):

$$T = 1.8 \text{ m}$$

Aunque se conoce el caudal que entra al canal principal Rio Frio, empleando la fórmula de Manning para canales abiertos se determina teóricamente el caudal que debe tener el canal según sus condiciones geométricas. La fórmula de Manning tiene la siguiente expresión:

$$Q = \frac{1}{0.020} * 0.396 * 0.176^{2/3} * \frac{1}{1000}^{1/2}$$

$$Q = 0.197 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El caudal que se obtiene aplicando la fórmula de Manning, teniendo en cuenta las mediciones de la lámina de agua en las últimas visitas de campo se puede observar que con respecto al caudal medido de 132 litros por segundo, hay un aumento en el caudal producto de la creciente del río y del desconocimiento en la manipulación de la compuerta principal que permite el paso del agua entre la bocatoma y el canal principal Rio Oroque.

Empleando el caudal para el cual corresponde a la abertura de compuerta de la fuente de captación el cual es de 0.132 m³/seg, se obtiene una velocidad como se muestra en el siguiente procedimiento:

$$V_{real} = Q/Area$$

$$V_{real} = \frac{0.132 \text{ m}^3/s}{0.396 \text{ m}^2} = 0.33 \text{ m/s}$$

Empleando las consideraciones geométricas del canal, radio hidráulico y pendiente, de la fórmula de Manning se determina la velocidad de la siguiente forma:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.020} * 0.176^{2/3} * \frac{1}{1000}^{1/2}$$

$$V = 0.5 \text{ m/s}$$

Calculando el número de Froude se tiene:

$$F = \frac{0.5}{\sqrt{9.81 * 0.22}}$$

$$F = 0.34$$

Al igual que en el análisis realizado al canal principal Rio Frio, para el caso del canal principal Rio Oroque, también se presenta un régimen de flujo subcrítico por lo que la sedimentación dada a su baja pendiente para ambos canales que se establece en un orden de un metro por cada mil metros de longitud de canal.

Del canal principal Rio Oroque se desprenden 6 canales secundarios, para la distribución del caudal en donde para reducir la recopilación de información se redujo a la siguiente tabla facilitada por la empresa ASUDRA. En la siguiente figura se aprecia el canal principal.



Figura 33. Canal principal Bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 11

Canales secundarios que parten del canal principal Rio Oroque

Nombra Canal Secundario	Tipo de sección	Altura canal (m)	Ancho canal (m)	Longitud (m)	Hectáreas irrigadas	Caudal (LPS)
Canal Santa Rita	Rectangular	0.5	0.5	1263	50	25
Canal Los Guayabitos	Rectangular	0.6	0.5	1032	60	30
Canal El Hoyo	Rectangular	0.4	0.5	1631	40	20
Canal El Otro Lado	Rectangular	0.45	0.45	1110	30	15
Canal Los Piñitos	Rectangular	0.5	0.5	721	25	12.5
Canal El Molino	Rectangular	0.4	0.4	385	14	7

Nota. La tabla muestra las características de los canales secundarios que parten del canal principal Rio Oroque.

Fuente: Empresa ASUDRA.

En total la distribución de caudales para cada uno de los usuarios que riegan sus cultivos con los canales que toman el agua de la fuente Rio Oroque se obtiene del caudal que entra al

canal y del cual se tiene conocimiento por parte de las autoridades ambientales el cual corresponde a 132 lts/seg, con relación al total de hectáreas irrigadas que corresponden a 255 Ha, según los registros de la empresa ASUDRA. Por consiguiente el caudal para cada usuario corresponde a:

$$Q_{Usuario} = \frac{132 \text{ lts/seg}}{255 \text{ Ha}}$$

$$Q_{Usuario} = 0.5 \text{ lts/seg} * \text{Ha}$$

Para la bocatoma Rio Frio y en la distribución de caudales cabe resaltar que el caudal por usuario no es el mismo en comparación a la Bocatoma Rio Oroque, teniendo en cuenta que:

$$Q_{Usuario} = \frac{89 \text{ lts/seg}}{220 \text{ Ha}}$$

$$Q_{Usuario} = 0.4 \text{ lts/seg} * \text{Ha}$$

Con relación al balance hídrico especificado en este proyecto, se resume que actualmente se presenta un déficit en lo referente al riego del cultivo dado que la cantidad necesaria por hectárea en épocas de verano corresponde a 0.6 lts/seg, además, se le añaden las pérdidas que reducen el caudal y las cuales son muy difíciles de tener en cuenta, ya que al tratarse de canales abiertos y de gran magnitud existen muchas conexiones clandestinas temporales que realizan directamente desde el canal en cualquier punto del mismo, dado a su facilidad para extraer el agua, empleándola no solo para riego pues también se utiliza para el consumo humano.

En resumen los usuarios que realizan la toma de agua directamente del canal principal en ambas bocatomas, están regulados por compuertas rectangulares que distribuyen el caudal a pequeños canales que no fueron objeto de esta investigación dado que son de carácter intrapredial, por lo que solo se tuvo en cuenta el caudal que le corresponde a cada usuario según el número de hectáreas a irrigar.

Una de las fallencias encontradas a lo largo del recorrido de los canales fue la presencia de mucha vegetación, lo que deja en evidencia la falta de mantenimiento que se realizan a la conducción que distribuye el agua del distrito de riego ASUDRA. En la figura 32, se puede apreciar como la vegetación llega a cierto punto en el que empieza a obstruir las condiciones normales del flujo, pues afecta la velocidad superficial del flujo



Figura 34. Canales con obstrucción por vegetación. Fuente: Autores del proyecto.

En algunos tramos de canales secundarios tanto de los que parten de la bocatoma Rio Frio como de los que parten de la bocatoma Rio Oroque, se encuentran en pésimas condiciones, dado que la infraestructura del canal se encuentra deteriorada a causa del tiempo y de factores externos ajenos al comportamiento del flujo. En la siguiente figura se puede apreciar un canal secundario que parte de la bocatoma Rio Frio, con un deterioro en uno de sus lados que conforma el borde libre y el perímetro mojado del canal.



Figura 35. Canal secundario con deterioro en su infraestructura. Fuente: Autores del proyecto.

Para dar por terminado el diagnostico se debe aclarar que actualmente el agua no es suficiente para el riego de los cultivos, ya que se presentan muchas pérdidas y debido a la falta de mantenimiento el caudal no es el apropiado para todos los usuarios, que no solo utilizan el agua para su cultivos sino también para su uso humano.



Figura 36. Deterioro de canales secundarios y tomas por manguera no legales. Fuente: Autores del proyecto.

Con respecto a las tomas clandestinas que se realizan en el distrito de riego, en la figura 36, se pudo evidenciar una de ellas, que se encontraba a la vista de la carretera y fácil de registrar. Es de mencionar, que por medio de las entrevistas realizadas al gerente de la empresa ASUDRA, dio a conocer que no se presentan toma ilegal por parte de personas indiscriminadas, pero por lo que se pudo constatar, existen más de una conexión de forma no legal que se aprovechan del fácil acceso que es extraer el agua del canal, con tan solo instalar una manguera.

Otra entrevista realizada al topógrafo Álvaro Ordoñez, ex gerente de la empresa ASUDRA y promotor que ha velado por su mejoramiento y mantenimiento del mismo, dio a conocer que actualmente el distrito de riego se encuentra muy descuidado, dado que anteriormente recibía recursos para su mantenimiento por parte de la gobernación, pero que hoy en día, son los mismo usuarios los que se encargan de mantener en buenas condiciones el distrito de riego.

Por consiguiente para dar por concluido el diagnóstico del distrito de riego de ASUDRA, es importante aclarar las falencias presentadas durante las visitas en campo, pues si bien cabe mencionar, durante las visitas realizadas, solo se logró inspeccionar los canales principales de ambas bocatomas, que conforman el distrito de riego ASUDRA, como también se evaluó, el caudal que transita por los mismos mediante aforos por método de flotador, dando como resultados caudales muchos mayores a los que se otorgan por concesión; dichos aforos se pueden apreciar en el **Apéndice A**, en donde se muestran los valores tomados para ambos canales y el valor del caudal medido en una distancia de tres metros, registrando los cinco tiempos diferentes en el que una pequeña esfera de icopor recorre los tres metros, para posteriormente obtener un valor promedio de la velocidad en cada canal y junto con las dimensiones del canal calcular el caudal.

Con respecto al caudal real que transita en los canales secundarios, se pudo constatar que se presenta mucha dificultad para el conocimiento de los mismos, dado que la mayoría de estos canales se encuentra en predios privados, a la hora de realizar la toma de datos mediante los respectivos aforos y trabajo en campo, los dueños de los mismos predios se opusieron a dicho estudio, ya que para ellos la realización de estos estudios puede ser perjudicial tanto en el costo facturado como en la disminución del caudal que reciben, puesto que dado al poco control que maneja ASUDRA sobre la cantidad de agua que se entrega a cada usuario, es evidente que muchos de estos usuarios, son conscientes que reciben más caudal mucho mayor al que deben recibir, por lo cual todo efecto de estudio o investigación de los canales secundarios que se encuentran en predios privados, tan solo se pueden realizar si son llevados a cabo por la empresa ASUDRA.

4.2 Estudio hidráulico del distrito de riego ASUDRA, por medio de la herramienta tecnológica H-Canales V 3.0.

Con el empleo de esta herramienta se busca garantizar una mejor evaluación hidráulica que permita tomar mejores decisiones y tener una percepción más clara de lo que pasa en los canales, pero teniendo claro que la información que se introduzca en dicha herramienta debe ajustarse mucho a las condiciones reales.

4.2.1 Estudio hidráulico empleando H-Canales V 3.0. Este software es la forma más fácil de diseñar canales, fue desarrollado en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, representa una herramienta muy importante para el diseño de canales y estructuras hidráulicas. El programa tiene un manejo sencillo debido a su interfaz interactiva con el usuario que permite la introducción de datos y la obtención de resultados de una manera directa sin tener que insertar propiedades de los fluidos ya que vienen incorporadas en el programa.

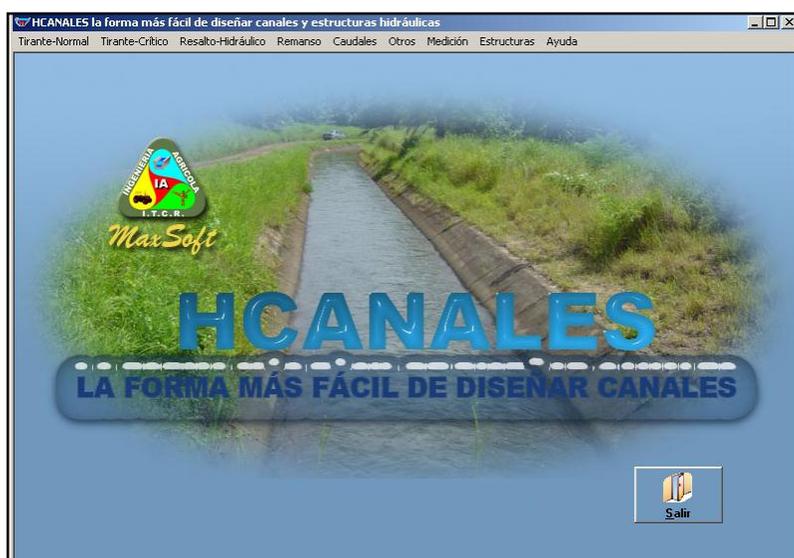


Figura 37. Ventana principal del software H-Canales versión 3.0. Fuente: Autores del proyecto.

Para la utilización del software H- Canales versión 3.0, como se puede apreciar en la figura 36, en la parte superior de la ventana se encuentran las opciones de cálculo. En la figura 38 se aprecia la función de cada una de las opciones que ofrece el programa en donde se determina el tirante normal para distintas secciones de canales de igual forma el tirante crítico, resalto hidráulico, remanso, el cálculo de caudales dependiendo de las dimensiones del canal y el tirante, también determina las medidas del canal en la opción **otros**, también realiza la medición de canales naturales, determina algunas estructuras de transiciones y vertederos, pérdidas en canales y cuenta con una opción de ayuda al usuario.

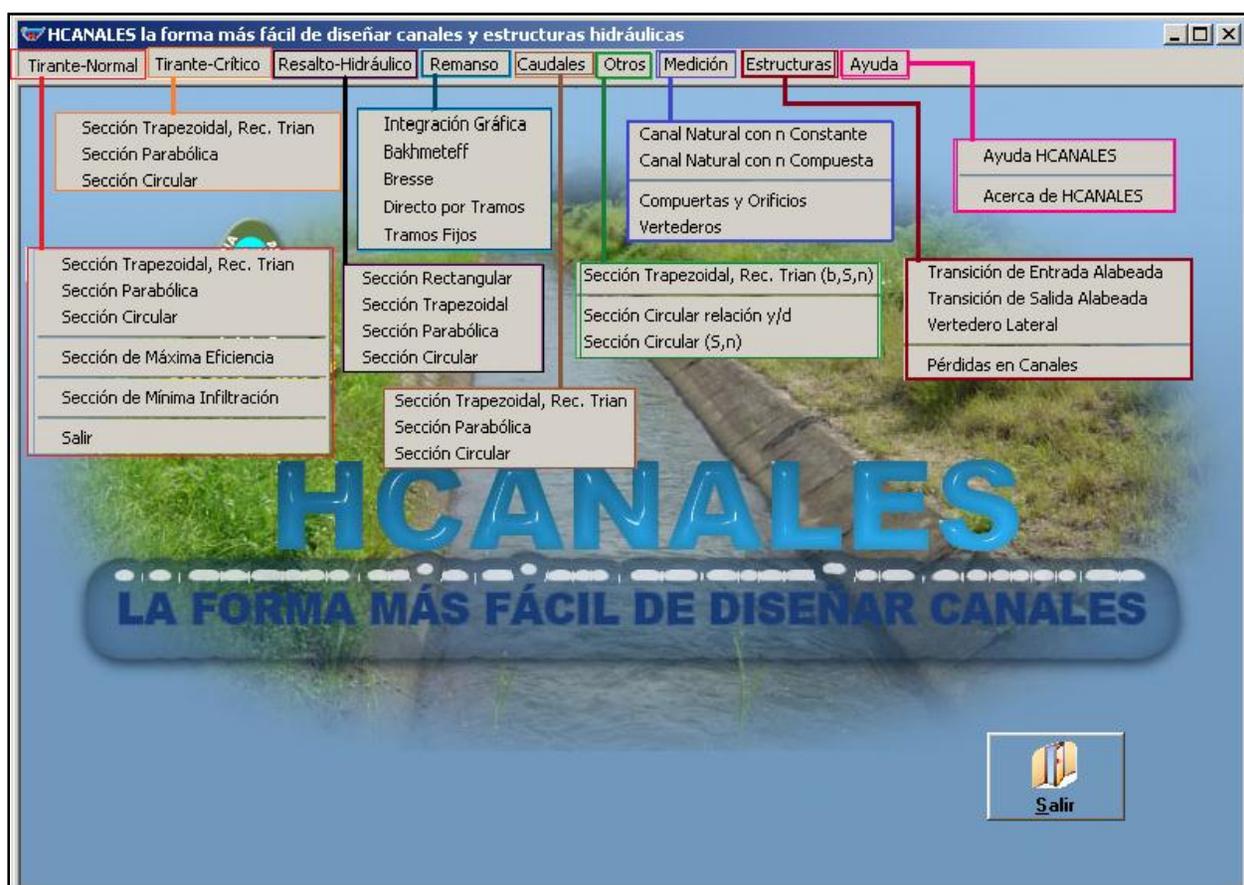


Figura 38. Opciones de cálculo del software H-Canales versión 3.0. Fuente: Autores del proyecto.

Para el caso del proyecto, el análisis hidráulico realizado por el software H-Canales se considera teniendo en cuenta el caudal registrado por la autoridad ambiental que sobrepasa el caudal de la concesión en ambas fuentes; se supone que las condiciones ideales del canal deben presentarse con los caudales que fueron otorgados por concesión, pero dado que la autoridad ambiental lo registro y fue aceptado, el valor del caudal que entra al canal principal Rio Frio es de 89 lt/seg y el caudal para el canal principal Rio Oro que es de 132 lts/seg. El análisis realizado en el software, desprecia la altura de los sedimentos, puesto que para que trabajen en condiciones hidráulicas óptimas no debe tener sedimentos. A continuación en la figura 39 teniendo en cuenta el caudal y la geometría del canal se evalúa el canal principal Rio Frio para conocer el tirante normal y las condiciones hidráulicas, empleando la primera opción del software.

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
 Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.089"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1.5"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.020"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.001"/>	m/m

Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.1501"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="1.8001"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.2251"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1250"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.5000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.3954"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.3259"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1580"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ejecuta las operaciones 10:00 p.m. 08/12/2017

Figura 39. Calculo de tirante normal del canal principal Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

Luego de conocer las condiciones que presenta el flujo cuando el tirante es normal, empleando la segunda opción del programa se conocen las condiciones hidráulicas cuando se presenta el tirante crítico en el canal principal Rio Frio, como se observa en la siguiente figura 40.

Cálculo del Tirante Crítico sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: Proyecto:
 Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m³/s
 Ancho de solera (b): m
 Talud (Z):

Resultados:

Tirante crítico (y): <input type="text" value="0.0716"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="1.6431"/> m
Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.1074"/> m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.0653"/> m
Espejo de agua (T): <input type="text" value="1.5000"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="0.8290"/> m/s
Número de Froude (F): <input type="text" value="1.0000"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.1066"/> m·Kg/Kg

Botones: Calcular, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal, Calculadora

Ingresar el tipo de material del canal | 09:43 p.m. | 08/12/2017

Figura 40. Cálculo de tirante crítico del canal principal Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

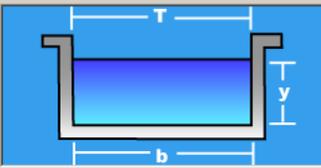
En la opción **otros**, del software, se puede determinar si las dimensiones del canal son las apropiadas para el caudal, como también la pendiente y la rugosidad, para el caso del canal principal Rio Frio, se evalúa este parámetro teniendo en cuenta la altura de lámina de agua de 0.20 m y no de 0.15 como lo arroja el software, se aprecia en la figura 40. Por consiguiente teniendo en cuenta una lámina de agua de 20 cm, el ancho apropiado del canal corresponde a 1.025 metros, como se aprecia en la figura 41.

Cálculos varios en sección trapezoidal, rectangular y triangular

Cálculo del ancho solera (b) Cálculo de la pendiente (S) Cálculo de la rugosidad (n)

Datos:

Caudal (Q): m³/s
 Tirante (y): m
 Talud (Z):
 Rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m



Resultados:

Ancho de solera (b): m Perímetro (p): m
 Área hidráulica (A): m² Radio hidráulico (R): m
 Espejo de agua (T): m Velocidad (v): m/s
 Número de Froude (F):
 Tipo de flujo: Energía específica (E): m-Kg/Kg

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ingresar el valor del caudal Q 10:12 p.m. 08/12/2017

Figura 41. Cálculo del ancho de canal, pendiente y rugosidad para el canal principal Río Frio. Fuente: Autores del proyecto.

Cálculo de pérdidas por infiltración en canales

Canales en tierra **Canales revestidos**

Datos:

Caudal (Q): m³/s
 Ancho de solera (b): m
 Talud (Z):
 Rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m
 Longitud canal (L): Km

Otros datos:

Espesor revestimiento (e): m
 Permeabilidad del revestimiento, hormigón (K): cm/s



Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): m
 Área hidráulica (A): m²
 Perímetro (p): m
 Espejo de agua (T): m
 Velocidad (v): m/s

Resultados:

Pérdidas/km (P): m³s⁻¹·km
 Q perdido: m³/s
 Q final: m³/s
 % pérdidas: %

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Limpia la pantalla para realizar nuevos cálculos 10:24 p.m. 08/12/2017

Figura 42. Pérdidas por infiltración en el canal principal Río Frio. Fuente: Autores del proyecto.

En la figura 42, se puede apreciar que el software H-Canales versión 3.0, también calcula las pérdidas por infiltración teniendo en cuenta los datos que se muestran en la figura y el espesor del concreto, como también el coeficiente de permeabilidad del concreto, este último dato debido al desconocimiento de dicho coeficiente, se asume el valor por defecto que genera el programa.

Cabe resaltar que las características a analizar que permite el software H-Canales versión 3.0, son más de las que se tuvieron en cuenta en este proyecto, pues solo se consideró los parámetros necesarios para poder evaluar las condiciones ideales que presenta el flujo en los canales de estudio ya que considerar más variables del software son necesarios cuando se realiza un diseño inicial pero en este caso se parte de unas obras existentes que se desean evaluar.

Por consiguiente para el análisis y evaluación hidráulica de los canales secundarios que parten del canal principal Rio Frio se realiza el mismo procedimiento como también para el canal principal Rio Oroque y para los canales secundarios que se derivan del canal principal Rio Oroque, dado a su similitud en el procedimiento de la introducción y extracción de información en H-Canales versión 3.0, se resume el cálculo realizado en el programa por medio de tablas.

En la tabla 12 y la tabla 13, se puede apreciar el cálculo del tirante normal y el tirante crítico y las condiciones de flujo que arrojan según el software H-Canales versión 3.0, empleando los valores y parámetros establecidos en la tabla 9 y la tabla 11 para los canales secundarios de los canales principales del Rio Frio y del Rio Oroque.

Tabla 12*Condiciones del flujo para el cálculo del tirante normal*

Identificación Canal	Altura de canal (m)	Ancho de canal (m)	Caudal (lps)	Tirante normal (m)	Área Hidráulica (m ²)	Perímetro (m)	Radio hidráulico (m)	Velocidad (m/s)	Energía Específica (m·kg/kg)	Número de Froude	Tipo de flujo
Canal principal Rio Frio	1.15	1.5	89	0.1501	0.2251	1.8001	0.125	0.3954	0.158	0.3259	Subcrítico
Canal Santa Lucia	0.5	0.5	12	0.0919	0.0459	0.6837	0.0672	0.2613	0.0953	0.2752	Subcrítico
Canal El Tirol	0.5	0.8	20	0.0901	0.0721	0.9802	0.0735	0.2775	0.094	0.2952	Subcrítico
Canal La Curva	0.45	0.45	6	0.0629	0.0283	0.5757	0.0491	0.2121	0.0652	0.2701	Subcrítico
Canal San Antonio	0.5	0.5	8	0.0702	0.0351	0.6403	0.0548	0.2281	0.0728	0.2749	Subcrítico
Canal Pablo VI	0.5	0.5	10	0.0813	0.0407	0.6626	0.0614	0.246	0.0844	0.2754	Subcrítico
Canal Llano Suarez	0.4	0.4	4.8	0.0593	0.0237	0.5187	0.0458	0.2023	0.0614	0.2651	Subcrítico
Canal principal Rio Oroque	1.2	1.8	132	0.1698	0.3056	2.1395	0.1428	0.432	0.1793	0.3348	Subcrítico
Canal Santa Rita	0.5	0.5	25	0.1523	0.0761	0.8046	0.0946	0.3283	0.1578	0.2686	Subcrítico
Canal Los Guayabitos	0.6	0.7	30	0.1827	0.0852	0.8117	0.105	0.3519	0.189	0.322	Subcrítico
Canal El Hoyo	0.4	0.5	20	0.1302	0.0651	0.7604	0.0856	0.3072	0.135	0.2718	Subcrítico
Canal El Otro Lado	0.45	0.45	15	0.1167	0.0525	0.6833	0.0768	0.2857	0.1208	0.2671	Subcrítico
Canal Los Piñitos	0.5	0.5	12.5	0.0944	0.0472	0.6888	0.0685	0.2648	0.098	0.2751	Subcrítico
Canal El Molino	0.4	0.4	7	0.0763	0.0305	0.5526	0.0552	0.2293	0.079	0.265	Subcrítico

Nota. La tabla muestra las características de los canales principales y secundarios del distrito de riego ASUDRA, que se presentan para el cálculo del tirante normal. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 13*Condiciones del flujo para el cálculo del tirante crítico*

Identificación Canal	Altura de canal (m)	Ancho de canal (m)	Caudal (lps)	Tirante Critico (m)	Área Hidráulica (m ²)	Perímetro (m)	Radio hidráulico (m)	Velocidad (m/s)	Energía Especifica (m-kg/kg)	Número de Froude
Canal principal Rio Frio	1.15	1.5	89	0.0716	0.1074	1.6431	0.0653	0.829	0.1066	1
Canal Santa Lucia	0.5	0.5	12	0.062	0.031	0.6241	0.0497	0.3869	0.0697	0
Canal El Tirol	0.5	0.8	20	0.047	0.0376	0.894	0.0421	0.5317	0.0614	1
Canal La Curva	0.45	0.45	6	0.0596	0.0268	0.5693	0.0471	0.2236	0.0622	0
Canal San Antonio	0.5	0.5	8	0.0601	0.0301	0.6202	0.0485	0.2662	0.0637	0
Canal Pablo VI	0.5	0.5	10	0.061	0.0305	0.622	0.049	0.3279	0.0665	0
Canal Llano Suarez	0.4	0.4	4.8	0.0594	0.0238	0.5188	0.0458	0.2019	0.0615	0
Canal principal Rio Oroque	1.2	1.8	132	0.082	0.1476	1.964	0.0751	0.8944	0.1228	1
Canal Santa Rita	0.5	0.5	25	0.0725	0.0363	0.645	0.0562	0.6895	0.0967	1
Canal Los Guayabitos	0.6	0.7	30	0.0858	0.04	0.7281	0.055	0.7491	0.1144	1
Canal El Hoyo	0.4	0.5	20	0.0678	0.0339	0.6357	0.0534	0.5897	0.0856	1
Canal El Otro Lado	0.45	0.45	15	0.0651	0.0293	0.5803	0.0505	0.5118	0.0785	1
Canal Los Piñitos	0.5	0.5	12.5	0.0623	0.0312	0.6247	0.0499	0.4011	0.0705	1
Canal El Molino	0.4	0.4	7	0.0604	0.0242	0.5208	0.0464	0.2897	0.0647	0

Nota. La tabla muestra las características de los canales principales y secundarios del distrito de riego ASUDRA, que se presentan para el cálculo del tirante crítico. Fuente: Autores del proyecto.

En la tabla 14, se puede apreciar el cálculo de las pérdidas que se pueden generar por infiltración teniendo en cuenta que el material de los canales es de concreto; en la tabla se muestra el caudal perdido para ambos canales principales y sus respectivos canales secundarios, además arroja resultados de porcentaje de pérdidas. En conclusión el caudal total perdido de los canales que se abastecen de la bocatoma Rio Frio corresponde a 1.1 lts/seg; el caudal total perdido de los canales que se abastecen de la bocatoma Rio Oroque corresponde a 1.5 lts/seg. En total el distrito de riego ASUDRA pierde 2.6 lts/seg debido a la infiltración en el material de construcción del canal.

Tabla 14

Perdida por infiltración en canales del distrito de riego ASUDRA

Identificación Canal	Altura de canal (m)	Ancho de canal (m)	Caudal (lps)	Longitud (km)	Perdidas/km (m ³ ^s-km)	Caudal perdido (m ³ /seg)	Caudal final (m ³ /seg)	% Perdidas
Canal principal Rio Frio	1.15	1.5	89	6.982	0.0001	0.0009	0.0881	0.98
Canal Santa Lucia	0.5	0.5	12	2.377	0	0.0001	0.0119	0.54
Canal El Tirol	0.5	0.8	20	2.212	0	0.0001	0.0199	0.45
Canal La Curva	0.45	0.45	6	0.483	0	0	0.006	0.13
Canal San Antonio	0.5	0.5	8	2.472	0	0	0.008	0.62
Canal Pablo VI	0.5	0.5	10	1.116	0	0	0.01	0.27
Canal Llano Suarez	0.4	0.4	4.8	1.53	0	0	0.0048	0.44
Canal principal Rio Oroque	1.2	1.8	132	7.028	0.0002	0.0012	0.1308	0.9
Canal Santa Rita	0.5	0.5	25	1.263	0.0001	0.0001	0.0249	0.25
Canal Los Guayabitos	0.6	0.7	30	1.032	0.0001	0.0001	0.0299	0.19
Canal El Hoyo	0.4	0.5	20	1.631	0	0.0001	0.0199	0.34
Canal El Otro Lado	0.45	0.45	15	1.11	0	0	0.015	0.25
Canal Los Piñitos	0.5	0.5	12.5	0.721	0	0	0.0125	0.16
Canal El Molino	0.4	0.4	7	0.385	0	0	0.007	0.1

Nota. La tabla muestra las pérdidas que se pueden presentar por infiltración en los canales del distrito de riego

ASUDRA. Fuente: Autores del proyecto.

Con la implementación del software H-Canales se puede resumir que en el total de los canales el comportamiento del flujo es subcrítico, arrojando velocidades muy bajas; pero cabe resaltar que las condiciones de flujo evaluadas desprecian los sedimentos asentados en el fondo del canal que incrementa el tirante hidráulico y disminuyen su velocidad.

En las condiciones evaluadas y la geometría actual que tiene el canal principal Río Frio y el canal principal Río Oroque, para el caudal que normalmente debe transitar se encuentra sobredimensionado, ya que la lámina de agua más alta corresponde a 18 cm para una altura exuberante del canal de 1.15 m y 1.20 m, en los canales principales, pero debe aclararse que inicialmente estos canales fueron construidos para caudales de 800 y 1000 litros por segundo, por consiguiente el cálculo del borde libre no es necesario sabiendo que la distancia entre la lámina de agua y la altura total de las paredes del canal es demasiado grande ya que por lo general el cálculo del borde libre oscila entre 10 y 30 cm, valores mucho menores a la distancia libre de las paredes de los canales.

La evaluación hidráulica empleando el software H-Canales versión 3.0, no arrojó datos erróneos ni mucho menos dieron como resultado velocidades erosivas en ninguno de sus tramos, por lo que se concluye que el canal hidráulicamente tiene un buen funcionamiento pero los caudales que transita por el mismo son muy bajos para suplir la demanda hídrica que requieren los cultivos en especial en épocas de verano.

4.3 Soluciones hidráulicas necesarias para mejorar las condiciones actuales del distrito de riego ASUDRA.

Con el fin de dar un buen aprovechamiento a toda la infraestructura y cada uno de los elementos que conforman el distrito de riego ASUDRA, en este ítem del proyecto se proponen las soluciones hidráulicas pertinentes, para mejorar las condiciones actuales del distrito de riego ASUDRA.

Por consiguiente dado al desgaste de las obras de captación del distrito de riego y al cambio de los caudales otorgados por concesión, se presenta el siguiente diseño de captaciones laterales, empleando el caudal concesionado, ya que actualmente las captaciones laterales recogen muchos sedimentos y el caudal para el cual fueron diseñadas inicialmente es demasiado grande en comparación con los caudales que actualmente están captando, por lo cual es necesario rediseñar las captaciones a fin de evitar que un gran número de sedimentos entren a los canales de distribución.

4.3.1 Rediseño de las captaciones laterales del distrito de riego ASUDRA. Dado a la magnitud de la infraestructura de las obras de captación no es necesario realizar un diseño completo de la presa para asegurar su buen funcionamiento, pues si bien es de resaltar las estructuras tienen gran antigüedad pero para proponer un mejoramiento solo se diseñaran las rejillas de captación lateral y compuertas para el caudal otorgado por concesión.

En lo que respecta a las compuertas de control y muro de presa, solo se propone el mejoramiento con un revestimiento en concreto con aditivo en sika para una mayor adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo. Por consiguiente se presenta el diseño de la toma lateral para los caudales otorgados por concesión.

4.3.1.1 Toma lateral de la bocatoma Rio Frio. Para el mejoramiento de la toma lateral en la bocatoma Rio Frio, se tiene en cuenta la siguiente información inicial:

$$Q_{Entrada} = Q_{Concesión}$$

$$Q_{Entrada} = Q_{Diseño} = 59 \text{ lts/seg,}$$

Perdidas en la rejilla: Las pérdidas en la rejilla se calculan mediante el uso de la fórmula de Kinnhmmmer:

$$h = B(w/b)^{4/3} * h_v * \text{sen } \theta$$

En donde

h = Perdida de carga en metros.

B = Factor de forma (1.79 varillas circulares; RAS 2010 Literal B 4.4.5.3)

w = Espesor de la barra en metros (1")

b = Profundidad de la varilla. (1")

θ = Angulo de la varilla con la horizontal. (90°)

h_v = Carga de velocidad en metros $h_v = V^2/2g$

V = Velocidad de aproximación en m/s (mínima: 0.40 m/s; máxima: 0.75) Recomendación

Freddy Corcho

g = Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

$$h_v = \frac{(0.75 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2} = 0.0287 \text{ m}$$

Aplicando la expresión de Kintner obtenemos:

$$h = 1.79(0.025/0.025)^{4/3} * 0.0287 * \text{sen } 90$$

$$h = 0.05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

Dada las condiciones del caudal para el diseño de la rejilla se asumen los siguientes datos:

Ancho de rejilla (H): 30 cm

Diámetro de barras (b): 1" (0.025m)

Separación entre varillas (e): 5 cm (Recomendación RAS 2010 Literal 4.5.4)

Para el cálculo de la longitud de rejilla se emplea la ecuación de Backmeteff y Bousinesq:

$$Q = C * Lr * H^{\frac{3}{2}} * S * K$$

$$Lr = \frac{Q}{C * H^{\frac{3}{2}} * S * K}$$

En donde:

Lr : Longitud de rejilla

Q : Caudal de diseño

C : Coeficiente de sumersión

H : Ancho de rejilla

S : Coeficiente de corrección por sumersión

K : Coeficiente de contracción lateral en barrotes

Para determinar cada una de las variables que conforman la ecuación que da como resultado el dimensionamiento de la rejilla, es necesario realizar el esquema con las medidas asumidas a criterio para el nuevo diseño de la toma lateral, con el fin de dar mejor entendimiento a las ecuaciones utilizadas. Ver figura 43.

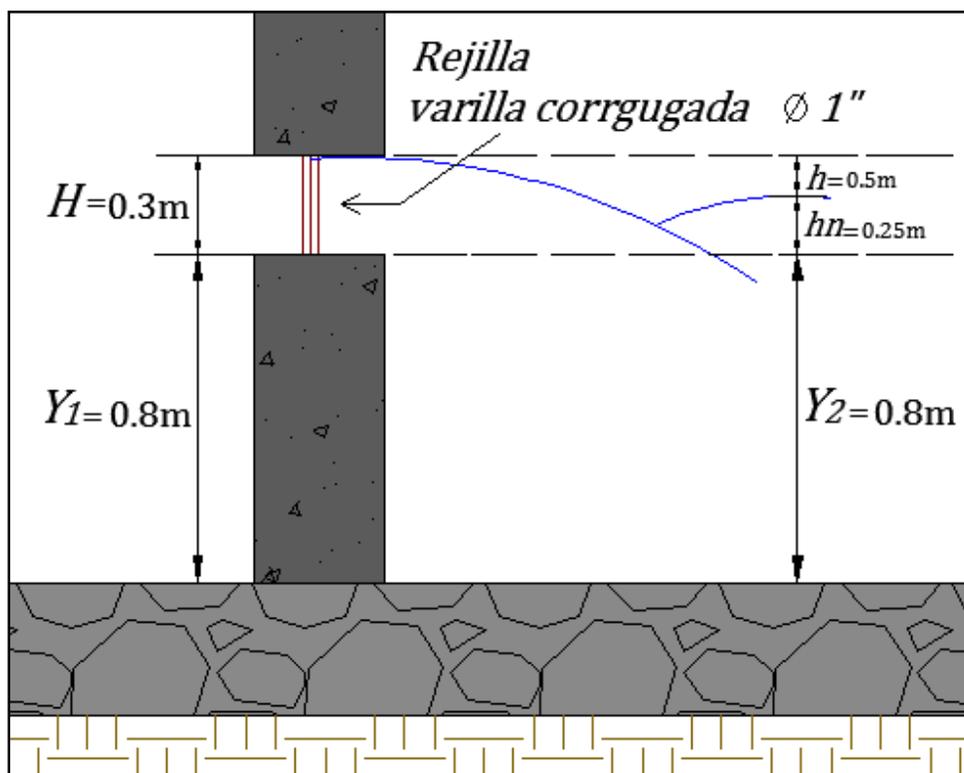


Figura 43. Esquema de medidas para el diseño de la toma lateral de la bocatoma Rio frio.
Fuente: Autores del proyecto.

Para considerar sumergido el vertedero deben cumplirse las siguientes condiciones:

$Y_1 + hn > Y_2$	$\frac{h}{Y_2} < 0.7$
$0.8 + 0.25 > 0.8$	$\frac{0.05}{0.8} < 0.7$
$1.05 > 0.8 \quad ok.$	$0.06 < 0.7 \quad ok.$

Coefficiente de sumersión (C): Es un valor adimensional característico de un fluido que pasa a través de un orificio. Para el cálculo del coeficiente de sumersión, se emplearan la ecuación propuesta por Konovalov y la ecuación propuesta por Henri Bazin, en donde se escogerá el valor promedio de los dos resultados. Las variables que conforman las ecuaciones se encuentran expresadas en la figura 43.

Ec. Konovalov

$$C_k = \left(0.407 + \frac{0.405 * H}{H + Y1}\right) * \left[1 + 0.285 * \left(\frac{H}{H + Y1}\right)^2\right] * \sqrt{2 * g}$$

Ec. Bazin

$$C_B = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H}\right) * \left[1 + 0.55 * \left(\frac{H}{H + Y1}\right)^2\right]$$

En donde:

C_k : Coeficiente de descarga de Konovalov

C_B : Coeficiente de descarga de Bazin

H : Ancho de rejilla

$Y1$: Umbral (Ver figura 40)

g : Aceleración de la gravedad

Despejando la ecuación tenemos:

$$C_k = \left(0.407 + \frac{0.405 * 0.30}{0.30 + 0.80}\right) * \left[1 + \left(0.285 * \left(\frac{0.30}{0.30 + 0.80}\right)^2\right)\right] * \sqrt{2 * 9.81}$$

$$C_k = 2.34$$

$$C_B = \left(1.794 + \frac{0.0133}{0.30}\right) * \left[1 + \left(0.55 * \left(\frac{0.30}{0.30 + 0.80}\right)^2\right)\right]$$

$$C_B = 1.91$$

Como resultado del coeficiente de sumersión para el cálculo de la longitud de rejilla, se escoge el valor promedio de los valores calculados anteriormente, el cual da como resultado

$$C_{\text{promedio}} = 2.125.$$

Coefficiente de corrección por sumersión (S): El coeficiente de corrección por sumersión al igual que el coeficiente de descarga esta expresado adimensionalmente y se determina por medio de la ecuación de Bazin y la ecuación de Villemonte.

Ec. Bazin

$$S_B = 1,05 * \left(1 + 0.2 * \frac{hn}{Y_2} \right) * \sqrt[3]{\frac{h}{H}}$$

Ec. Villemonte

$$S_V = \left[1 - \left(\frac{hn}{H} \right)^{3/2} \right]^{0.385}$$

En donde:

S_B : Coeficiente de corrección de Henri Bazin

S_V : Coeficiente de corrección de Villemonte

hn : Altura de lámina después de la toma ($H - h$)

H : Ancho de rejilla

h : Perdida de carga

Y_2 : Umbral interior. (Ver figura 40).

Despejando la ecuación tenemos:

$$S_B = 1,05 * \left(1 + 0.2 * \frac{0.25}{0.80} \right) * \sqrt[3]{\frac{0.05}{0.3}}$$

$$S_B = 0.61$$

$$S_V = \left[1 - \left(\frac{0.25}{0.30} \right)^{3/2} \right]^{0.385}$$

$$S_V = 0.58$$

Al igual que el coeficiente de sumersión, para el coeficiente de corrección por sumersión, también se escoge el valor promedio de los dos valores calculados anteriormente, el cual tiene como resultado $S = 0.595$

Coefficiente de contracción lateral en barrotes (K): Debido a la contracción lateral producida por los barrotes, se toma un coeficiente adicional de pérdida igual a $K = 0.85$. Se utiliza este valor por recomendación de la ecuación respaldada y sustentada en el manual: criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico, publicado por la Autoridad Nacional del Agua de Lima, Perú diciembre de 2010.

Calculando la longitud de rejilla tenemos:

$$Lr = \frac{0.059}{2.125 * 0.30^{\frac{3}{2}} * 0.595 * 0.85}$$

$$Lr = 0.33 \approx 0.40 \text{ m}$$

Longitud total de rejilla (L_T);

$$L_T = Lr + (\#barras * e)$$

En donde:

L_r : Longitud neta de rejilla (0.40m)

#barras: Numero de barros

e : Espesor de barra (0.05m)

$$\#barras = \frac{L_r}{e} - 1$$

$$\#barras = \frac{0.40}{0.05} - 1$$

#barras = 7 Varillas corrugadas de 1"

Por consiguiente la longitud total de la rejilla corresponde a:

$$L_T = 0.40 + (7 * 0.05)$$

$$L_T = 0.75 \text{ m}$$

Por consiguiente las dimensiones finales de la nueva rejilla diseñada corresponden a las expresadas en la siguiente figura 44.

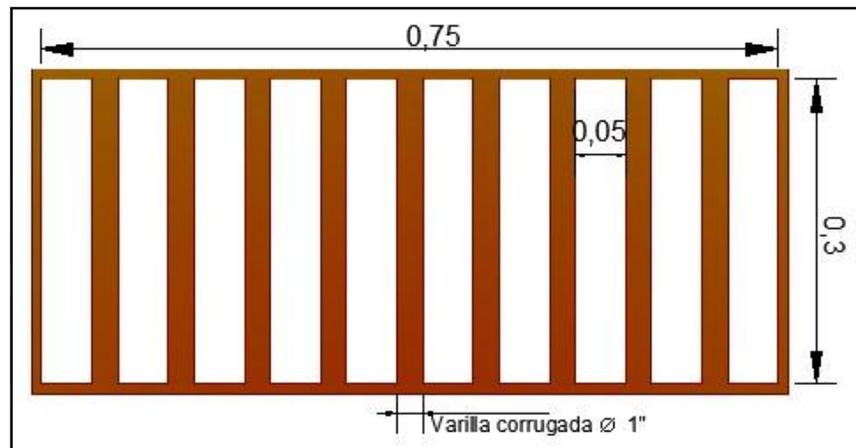


Figura 44. Rejilla diseñada para la nueva toma lateral de la bocatoma Rio Frio. Fuente: Autores del proyecto.

Dadas las condiciones existentes del canal principal que inicia en la captación Rio Frio para tener en cuenta un mejoramiento reutilizando la infraestructura física que sea posible, a continuación se recalcula la abertura de la compuerta para el caudal que debe ser repartido, correspondiente al otorgado por concesión. Utilizando la ecuación para el caudal en un orificio, se puede determinar la abertura de la compuerta.

$$Q = C * A * \sqrt{2 * g * \Delta h}$$

En donde

Q : Caudal que pasa a través de la compuerta.

A : Área de la abertura de compuerta.

C : Coeficiente de descarga (0.6).

g : Aceleración de la gravedad.

Δh : Diferencia de nivel del agua antes y después de la compuerta.

Despejando el área de la ecuación original tenemos:

$$A = \frac{Q}{C * \sqrt{2 * g * h}}$$

$$A = \frac{0.059}{0.6 * \sqrt{2 * 9.8 * 0.3}}$$

$$A = 0.04 \text{ m}^2$$

$$A = B * L$$

En donde:

B = Altura de abertura de compuerta.

L = ancho de compuerta (1m).

$$B * L = 0.04 \text{ m}^2$$

$$B * 1 \text{ m} = 0.04 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{0.04 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$$

La abertura de la compuerta corresponde a 4 centímetros; resaltando que se utilizara la misma compuerta existente al encontrarse en buenas condiciones, cabe resaltar que es necesario realizar un recubrimiento en barniz, para toda la estructura que conforma la compuerta a fin de brindar protección contra la corrosión del material.

4.3.1.2 Toma lateral de la bocatoma Rio Oroque. Para el mejoramiento de la toma lateral en la bocatoma Rio Oroque, se tiene en cuenta la siguiente información inicial:

$$Q_{Entrada} = Q_{Concesión}$$

$$Q_{Entrada} = Q_{Diseño} = 69 \text{ lts/seg}$$

Dada las condiciones del caudal para el diseño de la rejilla se tienen en cuenta los siguientes datos:

Ancho de rejilla (H): 30 cm

Diámetro de barras (b): 1" (0.025m)

Separación entre varillas (e): 5 cm (Recomendación RAS 2010 Literal 4.5.4)

Perdidas a la entrada de la rejilla (*h*): 5 cm

Para el cálculo de la longitud de rejilla se emplea la ecuación de Backmeteff y Bousinesq:

$$Q = C * Lr * H^{\frac{3}{2}} * S * K$$

$$Lr = \frac{Q}{C * H^{\frac{3}{2}} * S * K}$$

En donde:

Lr : Longitud de rejilla

Q : Caudal de diseño

C : Coeficiente de sumersión

H : Ancho de rejilla

S : Coeficiente de corrección por sumersión

K : Coeficiente de contracción lateral en barrotes

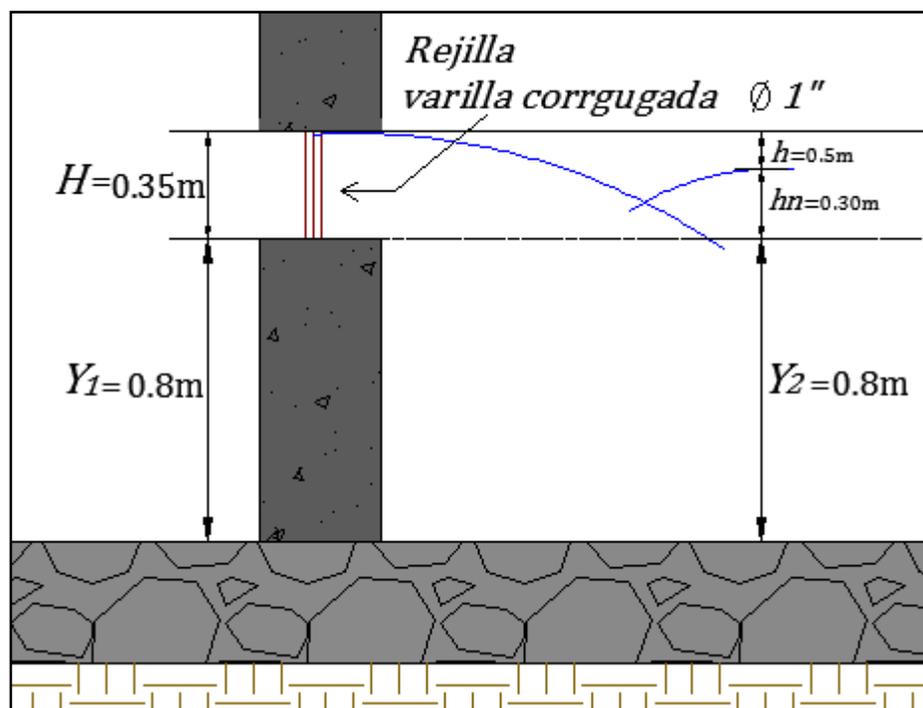


Figura 45. Esquema de medidas para el diseño de la toma lateral de la bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Para considerar el diseño de la nueva rejilla de la bocatoma Rio Oroque, es necesario tomar las consideraciones de la figura 42, en donde para aplicar la ecuación de Backmeteff y Bousinesq, es necesario que se cumpla la siguiente condición de vertedero sumergido:

$$\begin{array}{ll}
 Y1 + hn > Y2 & \frac{h}{Y2} < 0.7 \\
 0.8 + 0.30 > 0.8 & \frac{0.05}{0.8} < 0.7 \\
 1.10 > 0.8 \quad ok. & 0.06 < 0.7 \quad ok.
 \end{array}$$

Coefficiente de sumersión (C):

Ec. Konovalov

$$C_k = \left(0.407 + \frac{0.405 * 0.35}{0.35 + 0.80} \right) * \left[1 + 0.285 * \left(\frac{0.35}{0.35 + 0.8} \right)^2 \right] * \sqrt{2 * 9.81}$$

$$C_k = 2.41$$

Ec. Bazin

$$C_B = \left(1.794 + \frac{0.0133}{0.35} \right) * \left[1 + 0.55 * \left(\frac{0.35}{0.35 + 0.8} \right)^2 \right]$$

$$C_B = 1.92$$

Luego el valor promedio corresponde a:

$$C_{promedio} = 2.165$$

Coefficiente de corrección por sumersión (S):

Ec. Bazin

$$S_B = 1,05 * \left(1 + 0.2 * \frac{0.30}{0.80} \right) * \sqrt[3]{\frac{0.05}{0.35}}$$

$$S_B = 0.59$$

Ec. Villemonte

$$S_V = \left[1 - \left(\frac{0.30}{0.35} \right)^{3/2} \right]^{0.385}$$

$$S_V = 0.54$$

Luego el valor promedio corresponde a:

$$S_{promedio} = 0.565$$

Calculando la longitud de rejilla tenemos:

$$Lr = \frac{0.069}{2.165 * 0.35^{\frac{3}{2}} * 0.565 * 0.85}$$

$$Lr = 0.32 \approx 0.40$$

Longitud total de rejilla (L_T);

$$L_T = Lr + (\#barras * e)$$

En donde:

Lr : Longitud neta de rejilla (0.40m)

$\#barras$: Numero de barrotes

e : Espesor de barra (0.05m)

$$\#barras = \frac{Lr}{e} - 1$$

$$\#barras = \frac{0.40}{0.05} - 1$$

$$\#barras = 7 \text{ Varillas corrugadas de } 1''$$

Por consiguiente la longitud total de la rejilla corresponde a:

$$L_T = 0.40 + (7 * 0.05)$$

$$L_T = 0.75 \text{ m}$$

Por consiguiente las dimensiones finales de la nueva rejilla diseñada para la bocatoma Rio Oroque corresponden a las expresadas en la siguiente figura 43.

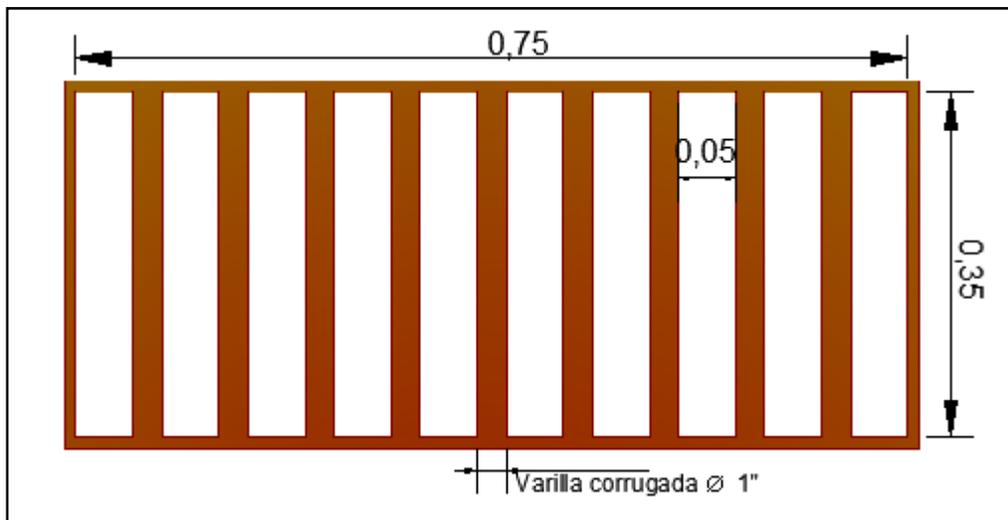


Figura 46. Rejilla diseñada para la nueva toma lateral de la bocatoma Rio Oroque. Fuente: Autores del proyecto.

Utilizando la ecuación para el caudal en un orificio, se puede determinar la abertura de la compuerta existente, considerando que actualmente la compuerta solo requiere de mantenimiento y no es necesario el cambio y remplazo por completo de la estructura.

$$Q = C * A * \sqrt{2 * g * \Delta h}$$

En donde

Q : Caudal que pasa a través de la compuerta.

A : Área de la abertura de compuerta.

C : Coeficiente de descarga (0.6).

g : Aceleración de la gravedad.

Δh : Diferencia de nivel del agua antes y después de la compuerta.

Despejando el área de la ecuación original tenemos:

$$A = \frac{Q}{C * \sqrt{2 * g * h}}$$

$$A = \frac{0.069}{0.6 * \sqrt{2 * 9.8 * 0.3}}$$

$$A = 0.05 \text{ m}^2$$

$$A = B * L$$

En donde:

B = Altura de abertura de compuerta.

L = Ancho de compuerta (1m).

$$B * L = 0.05 \text{ m}^2$$

$$B * 1 \text{ m} = 0.05 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{0.05 \text{ m}^2}{1.7 \text{ m}} = 0.03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

La abertura de la compuerta para el caudal otorgado por concesión corresponde a 3 cm de abertura.

Para culminar el las soluciones hidráulicas planteadas para un mejoramiento del distrito de riego ASUDRA, cabe resaltar que la altura de las nuevas rejillas no superan la mitad de la altura de las rejillas existentes, pues se consideró que para un mejor comportamiento y para evitar que las varillas sufran algún deterioro o se deformen, la mejor opción fue utilizar una altura de 0.30-0.35 m.

Con respecto a los canales de distribución hidráulicamente tienen la capacidad suficiente para cumplir con el caudal otorgado por concesión, pues si bien es de mencionar, el caudal para el cual fueron diseñados los canales principales y secundarios del distrito de riego ASUDRA, son mucho mayores con relación al caudal que actualmente se encuentra otorgado por concesión, pero no significa que no cuente con la capacidad hidráulica necesaria para transportar el caudal otorgado por concesión, por lo cual para realizar un mejoramiento se propone un revestimiento en concreto, en aquellos tramos del canal en donde el material se encuentra desgastado; de igual forma como parte del mejoramiento es necesario organizar juntas de trabajo entre los miembros que hacen parte del distrito de riego ASUDRA, para realizar los respectivos mantenimientos expulsando el material sedimentado del canal.

Se debe tener en cuenta que debe haber un plan operativo de trabajo para los respectivos mantenimientos y limpieza del distrito de riego ASUDRA, pues no solo se realiza mantenimiento a los canales, sino también a las zonas vegetativas colindantes al canal que cuando se produce mucha maleza obstruyen las condiciones de flujo del canal.

4.4 Presupuesto de las obras hidráulicas y mejoras al sistema actual incluyendo el análisis de los precios unitarios de los respectivos ítems constructivos.

Para llevar a cabo un mejoramiento del distrito de riego ASUDRA, debe formularse un presupuesto que satisfaga las necesidades existentes en el distrito de riego, como también el mejoramiento de las falencias en la infraestructura física para un una mejor operación y uso del preciado líquido vital para la economía regional del municipio de Abrego.

Dentro de los ítems considerados en el presupuesto cabe resaltar que uno de los más importantes es la incorporación de personal idóneo para la realización de mantenimientos periódicos en la totalidad del canal, ya que debido a su baja lámina de agua y a la falta de un desarenador, los sedimentos entorpecen el paso del flujo acumulándose en el fondo del canal disminuyendo el radio hidráulico útil del canal.

Otro ítem importante que enmarca el presupuesto es la implementación de personal para la sistematización del sistema de riego que regule el caudal que pasa por las compuertas de cada uno de los usuarios para así elaborar planes de trabajo en donde se distribuyan horarios específicos de riego y el caudal alcance para todos los usuarios y la repartición se haga de una manera más equitativa con relación a la tasa retributiva que paga cada uno.

Tabla 15*Presupuesto general de mejoramiento distrito de riego ASUDRA*

Item	Descripción	Und	Cant.	Vr unit	Vr parcial
1	Mejoramiento bocatomas				
1.1	Concreto ciclopeo 60/40	M3	9.6	\$ 349,328.86	\$ 3353557.065
1.2	Concreto 2000 psi	M3	0.7	\$ 309,424.33	\$ 216597.0329
2	Mejoramiento de canales				
2.1	Revestimiento concreto	M3	10	\$ 265,324.33	\$ 2653243.328
2.2	Limpieza de canales cada 3 meses	KM	30.342	\$ 1,164,261.07	\$ 35,326,009.30
3	Mantenimiento compuertas				
3.1	Engrase de compuertas Principales	Und	6	\$ 56,612.06	\$ 339672.3455
3.2	Engrase de compuertas secundarias	Und	70	\$ 28,644.82	\$ 2005137.612
3.3	Manipulación y control	Glb	76	\$ 18,644.82	\$ 1417006.55
4	Sistematización del sistema de riego				
4.1	Plan operativo de trabajo mensual	Glb	12	\$ 121,612.06	\$ 1459344.691
4.2	Control de caudales por usuario	Glb	30	\$ 75,776.87	\$ 2273306.029
4.3	Capacitaciones mensual del uso y ahorro eficiente del agua	Glb	12	\$ 175,776.87	\$ 2109322.412
5	Rejillas				
5.1	Rejilla en varilla corrugada 1”	Und	2	\$ 205,000.00	\$ 410,000.00
5.2	Extraccion e instalación de rejilla	Und	2	\$ 199,100.00	\$ 398,200.00
5.3	Concreto para instalación de rejilla	M3	0.5	\$ 314,930.00	\$ 314,930.00
6.0	Gastos administrativos Anuales	Glb	1	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000
				Total valor parcial	\$ 72,276,326.37
				Administración (20%)	\$ 14,455,265.27
				Imprevistos (5%)	\$ 3,613,816.32
				Utilidades (5%)	\$ 3,613,816.32
				Valor total	\$ 93,959,224.28

Nota. La tabla muestra el presupuesto general empleado para mejorar las condiciones actuales del distrito de riego ASUDRA. Fuente: Autores del proyecto.

Cabe resaltar que el análisis de precios unitarios se encuentra en el **Apéndice A**, en un archivo Excel de extensión xls. De igual forma en el apéndice se anexa otro análisis de precios unitarios realizados en la zona de estudio en un archivo pdf.

Conclusiones

Según el diagnóstico realizado la infraestructura existente del distrito de riego ASUDRA, es conveniente que se realicen mantenimiento a los canales de conducción y distribución ya que no se viene presentando desde hace algún tiempo, y la cantidad de sedimentos asentados en el fondo del canal es tanto que impide el correcto funcionamiento hidráulico del flujo, pero a pesar de las condiciones actuales en las que se encuentran los canales y las fuentes de captación, cuenta con la capacidad de captar más caudal del otorgado por concesión pero no el suficiente para suplir la demanda hídrica de los cultivos de todos los usuarios. Es importante resaltar que los canales del distrito de riego se encuentran descuidados por parte de la administración de ASUDRA, dado que es notorio el deterioro de la infraestructura y no se han tomado cartas en el asunto para llevar a cabo un mejoramiento y mantenimiento, lo que repercute que en el paso del tiempo estos problemas que presenta el distrito se puedan agravar más hasta el punto de generar la escasez de agua en los usuarios.

Con las herramientas informáticas se pudo obtener un número considerable de variables que dan a conocer las condiciones hidráulicas que presenta el flujo en los canales principales de distribución y los canales secundarios, en donde se determinó según la geometría de los canales y el caudal a transitar que el flujo predominante es de tipo subcrítico, lo que permite que se presente sedimentación y sea necesario el mantenimiento periódico en los canales. Empleando el software H-canales versión 3.0, se pudo conocer las pérdidas por infiltración según el material de revestimiento de los canales que corresponde a concreto y se determinó por medio del software, que el caudal perdido por dicha infiltración corresponde a 2.6 lts/seg.

Como resultado de las soluciones hidráulicas planteadas para el mejoramiento del distrito de riego, con un nuevo diseño de rejillas se reduce el caudal de entrada a los canales principales, dado que actualmente los caudales con los que operan ambas fuentes de captación, son mayores al caudal concesionado; de igual forma el mantenimiento periódico es una de las razones fundamentales para mejorar el comportamiento hidráulico, dado que llevar a cabo un completo diseño y una remodelación de toda la infraestructura de canales conllevaría a elevados costos de demolición y construcción, lo cual no es viable para un mejoramiento de la infraestructura existente.

Con la formulación del presupuesto planteado en esta investigación se busca dar solución a las falencias que presenta el distrito de riego ASUDRA, dando mayor importancia a una sistematización necesaria para que se organice la manera como se realiza el riego de cultivos en cada uno de los usuarios, puesto que los requerimientos de agua de un cultivo por hectárea son mayores al caudal entregado por hectárea lo que hace necesario que la utilización del recurso hídrico para el riego de cultivos se haga por jornadas en distintos usuarios para que todos puedan satisfacer sus necesidades.

Recomendaciones

Se recomienda que la comunidad beneficiaria del distrito de riego ASUDRA, se organice de manera que realicen planes operativos de trabajo en donde se deleguen distintas tareas que no solo incluyan el mantenimiento, sino también el cuidado y control contra aquellas conexiones de manera no legal que se conectan momentáneamente a los canales que hacen parte del distrito de riego. Realizar en lo posible mantenimientos con respecto a la limpieza de sedimentos cada tres o cuatro meses, ya que debido a las pendientes tan bajas que tienen los canales, la acumulación de sedimentos impide el buen funcionamiento del sistema.

Se recomienda realizar visitas de campo e inspecciones a lo largo de los canales para clausurar conexiones clandestinas que afectan el caudal de entrega a los usuarios generando pérdidas.

Los usuarios que conforman el distrito de riego ASUDRA, de ambas fuentes de captación deben organizarse poniendo horarios específicos de riego para que el caudal alcance para todos, de igual forma en épocas de sequía, se recomienda abastecerse con tanques intraprediales, o en lo posible reservorios, con el fin de satisfacer la demanda hídrica de los cultivos cuando el caudal disminuya.

Para un mejor funcionamiento del sistema se recomienda hacer una tecnificación para asegurar que las condiciones en el reparto de caudal sea óptimo.

Referencias

- Agudelo L.J. & Pino Manquillo V. (2012), *Diseño de la red de distribución de un mini-distrito de riego para los corregimientos la palma y tres puertas, municipio de Restrepo, Valle del Cauca* (trabajo de grado) Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Arango, J.C. (2012). Manual de operación y mantenimiento para los sistemas de riego en ladera. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- CINARA. (2006). *Usos múltiples del agua como estrategia para enfrentar la pobreza*. Caso de estudio *Acueducto La Palma – Tres Puertas*. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia
- Díaz J (2010). Metodología para priorizar la inversión en irrigación en zonas rurales deprimidas. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/rt/printerFriendly/18187/34026>
- Echeverri (2012). Aspectos teóricos sobre el fenómeno de contaminación de aguas subterráneas. *Universidad de EAFIT, revista académica*. Recuperado de: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1105>
- FAO (2014). *Agua y empleo*. Recuperado de. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf>
- Jaramillo, J. (2011). Curso: ciencia del suelo. Escuela de ingeniería de recursos naturales y del ambiente – EIDENAR. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Cali. Colombia
- Ospina, A. (2009). *Propuesta para incorporar las dotaciones de agua para actividades agropecuarias a pequeña escala al acueducto la palma – tres puertas*. (Trabajo de grado) Ingeniería Agrícola. Universidad del Valle – Universidad Nacional. Santiago de Cali, Colombia
- Rodríguez Ruiz P. (2008). Hidráulica de canales. Recuperado de: <https://civilgeeks.com/tag/libro-de-canales/>

Sanguino, M.A, & Quintana. (2016). *Diseño de alternativa para la optimización del minidistrito de riego de la vereda San Javier del municipio de Abrego Norte de Santander* (trabajo de grado) Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña.

Valverde, J. (2007). Riego y drenaje. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED), Costa Rica. 224 p.

ALCALDÍA DE RESTREPO. 2012. Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT. Secretaría de Planeación, Vivienda y Desarrollo. Municipio de Restrepo, Valle del Cauca, Colombia

FAO. (2012). Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudios FAO: Riego y Drenaje No. 56

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. (2011). Datos climatológicos de la Estación Julio Fernández, municipio de Restrepo. Chinchiná, Caldas. Colombia.

Goyal, M. R. & Ramirez, V. H. (2007). Manejo de riego por goteo. Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez, Colegio de Ingeniería. Puerto Rico. Universidad de Santa Rosa de Cabal, “Campus Universitario El Jazmín”. Colombia. Segunda edición

Materón, H. (2012). Obras hidráulicas rurales. Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.

Apéndices

Apéndice A. Información recopilada

Ver archivo adjunto

Apéndice B. Registro fotográficos

Ver archivo adjunto

Apéndice C. Estudios Topográficos

Ver archivo adjunto