

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE ARROZ EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.
MEDIANTE TUBERIA AFORADA UTILIZANDO LA ECUACION DE MANNING**

**EDINSON ORTIZ JIMENEZ
ROBERT ESTEFAN ORJUELA**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA- HUILA
2011**

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE ARROZ EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA,
MEDIANTE TUBERIA AFORADA UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE MANNING**

**EDINSON ORTIZ JIMENEZ
ROBERT ESTEFAN ORJUELA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
INGENIERO AGRÍCOLA**

**Director:
MSc. JAIME IZQUIERDO BAUTISTA.**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA- HUILA
2011**

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Director

Neiva, Febrero de 2011

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios, por brindarme la salud, conocimiento y guiarme para cumplir esta meta.

A mis padres María Irma Yacue y José Antonio Orjuela quienes se esforzaron para darme la oportunidad de poder estudiar y culminar este logro.

A mis hermanos Cristian y Edna por ser parte de mis alegrías y mis tristezas y por estar presentes en los momentos que los necesite.

A mi gran amigo y compañero de tesis Edinson por que sin su tolerancia, perseverancia y gran amistad no se hubiera podido culminar este trabajo con éxito.

A mis compañeros y profesores por darme apoyo y aportar en mi formación académica.

ROBERT ORJUELA

Dedico este trabajo a dios por haberme guiado por el camino del conocimiento, por haberme dado la oportunidad de culminar una etapa tan importante en mi vida.

A mis padres María del Carmen Jimenez Abello y Hernando Castillo Sapuyes por estar siempre a mi lado apoyándome y dándome fuerzas para seguir adelante.

A mis hermanos Diego, Xiomara y Erika por formar parte de mi vida.

A mis tíos Myriam y Edgar por creer en mí, por apoyarme en cada momento que los necesité.

A mi amigo de lucha y compañero de tesis Robert Orjuela, con quien compartí gran parte de mi etapa académica y quien fue uno de los mejores amigos.

EDINSON ORTIZ

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a:

Al ingeniero Jaime Izquierdo Bautista, director de tesis y profesor de la universidad Surcolombiana, por sus conocimientos aportador en el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Ángel María Tierradentro, antiguo administrador del centro experimental de la Universidad Surcolombiana por su colaboración y disposición de tiempo durante la realización de este proyecto.

A Gladis Quino, secretaria del programa de ingeniería agrícola, por su enorme ayuda en procesos académicos durante nuestra carrera.

A Efrén Mosquera Villareal, técnico profesional del laboratorio de construcciones de la Universidad Surcolombiana, por ser una persona dispuesta siempre a ayudar.

A don Mario e Israel, mayordomo y obrero del centro experimental de la Universidad Surcolombiana, por su disposición a llevar a cabo las actividades pertinentes en campo de este proyecto.

Al ingeniero Gilberto Alvares Linares, actual administrador del centro experimental de la Universidad Surcolombiana.

A nuestros compañeros de estudio; Anyelo, Ylberth, Liseth, Jhon Edinson, Luis Alberto, Claudia, Michael y Álvaro, por que estuvieron con nosotros y compartimos tantas aventuras, experiencias, desveladas y triunfos. Gracias a cada uno por hacer que la estancia en la universidad fuera entretenida.

A todas aquellas personas que aportaron en la realización del presente trabajo. De igual manera a aquellas personas que confían y esperan lo mejor de nosotros.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.	REVISION DE LITERATURA	17
2.1.	Necesidad hídrica del cultivo de arroz	17
2.2.	Manejo Del Agua En El Arroz.	18
3.	METODOLOGÍA	21
3.1.	Localización del proyecto	21
3.1.1.	Ubicación general y características del área de estudio	21
3.1.2.	Descripción de los Suelos	23
3.1.3.	Propiedades físicas	23
3.1.4.	Propiedades hidrodinámicas de los suelos	24
3.1.5.	Balance Hídrico	24
3.2.	Desarrollo del Proyecto	26
3.2.1.	Trabajo De Campo	26
3.2.2.	Trabajo de oficina	27
3.2.2.1.	Consumo de agua en el lote de melgas	27
3.2.2.2.	Consumo de agua en el Lote de Curvas a Nivel	27
3.2.2.3.	Requerimiento hídrico en el Cultivo de Arroz	27
4.	RESULTADOS	28
4.1.	Lote de melgas	28
4.1.1.	Aforo tuberías en campo	28
4.1.2.	Determinación de la pendiente mediante la Ecuación de Manning	29
4.1.3.	Aforo tuberías con la ecuación de Manning	34
4.1.4.	Consumo de Agua de cada riego	39
4.1.5.	Riego Aplicado	42
4.1.6.	Volumen Total utilizado	43
4.2.	Lote curvas a Nivel	43
4.2.1.	Pendiente del canal de Conducción	43
4.2.2.	Consumo de agua de riego	44
4.2.3.	Volumen Total utilizado	47
4.3.	Balance Hídrico	47
4.3.1.	Requerimiento hídrico en el cultivo de arroz	47

4.4.	Diagrama de resultados	53
5.	CONCLUSIONES	54
6.	RECOMENDACIONES	55
7.	BIBLIOGRAFÍA	56
8.	ANEXOS	58
9.	REPORTE FOTOGRÁFICO	65

LISTA DE TABLAS

Tabla		Pág.
1.	Clasificación agrologica de los suelos De la granja la Universidad Surcolombiana	24
2.	Aforo Tubería 1	28
3.	Aforo Tubería 2	28
4.	Aforo Tubería 3	29
5.	Elementos geográficos de secciones de canal	30
6.	Pendiente tubería 1	33
7.	Pendiente tubería 2	33
8.	Pendiente tubería 3	33
9.	Aforo tuberías con la ecuación de Manning Tubería 1	36
10.	Aforo tuberías con la ecuación de Manning Tubería 2	37
11.	Aforo tuberías con la ecuación de Manning Tubería 3	38
12.	Consumo de agua riego 1, lote de melgas	39
13.	Consumo de agua riego 2, lote de melgas	39
14.	Consumo de agua riego 3, lote de melgas	39
15.	Consumo de agua riego 4, lote de melgas	40
16.	Consumo de agua riego 5, lote de melgas	40
17.	Consumo de agua riego 6, lote de melgas	40
18.	Consumo de agua riego 7, lote de melgas	41
19.	Consumo de agua riego 8, lote de melgas	41
20.	Consumo de agua riego 9, lote de melgas	41
21.	Riego Aplicado lote de Melgas	42
22.	Volumen total aplicado lote de melgas.	43
23.	n de Manning para canal de conducción lote curvas a nivel	44
24.	Consumo de agua de riego curvas a Nivel	45
25.	Volumen de riego lote curvas a nivel	46
26.	Volumen total aplicado lote curvas a Nivel	47
27.	Datos para el cálculo del balance hídrico	47
28.	Balance hídrico	49

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.	Localización General de Centro Experimental De la Universidad Surcolombiana	22
2.	Balance hídrico cultivo de Arroz	25
3.	Aforo volumétrico.	28
4.	Sección transversal de un canal circular	30

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica	Pág.
1. Curva característica de la tubería 1	36
2. Curva característica de la tubería 2	37
3. Curva característica de la tubería 3	38
4. Pendiente del canal de Conducción	43
5. Balance hídrico del arroz.	52
6. Diagrama de resultados	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo		Pág.
1.	Datos estación climatológica	59
2.	Factor Kc para el cultivo del arroz	60
3.	Valores de coeficiente de rugosidad de Manning n	61

RESUMEN

Este proyecto se realizó con el propósito de evaluar el consumo de agua en el cultivo de arroz en el centro experimental de la Universidad Surcolombiana mediante dos metodologías de riego; melgas rectas y curvas a nivel. El agua se transportó mediante canales de conducción, teniendo en cuenta que son dos metodologías diferentes, se implementaron dos formas de evaluar el consumo de agua; para evaluar el consumo en el lote de melgas rectas se instalaron 3 tuberías de Gres de 6 pulgadas y para el lote de curvas a nivel se seleccionó un tramo recto del canal de conducción para determinar el caudal mediante la ecuación de Manning. La tubería instalada en el lote de melgas rectas fue previamente aforada en campo con el propósito de obtener la curva característica, para determinar el caudal a diferentes láminas de agua. El caudal en el lote de curvas a nivel se estableció teniendo en cuenta las características del canal (n de Manning), la pendiente (se utilizó un equipo de topografía) y el área transversal de la sección del canal (en cada riego se tomó un promedio del área transversal). Adicionalmente se instaló un tanque evaporímetro clase A y un pluviómetro necesarios para medir la precipitación y la evaporación diariamente, datos importantes para calcular el balance hídrico. El consumo evaluado en el lote de melgas rectas fue de 4594,5 m³/ha, en el lote de curvas a nivel 5945,0 m³/ha y el balance hídrico indica que el consumo debería ser de 4369,95 m³/ha, los resultados muestran que los consumos están excedidos respecto al consumo que realmente se debería aplicar si se utilizara un sistema de riego tecnificado con mayores eficiencias.

Palabras Clave: Melgas rectas, Curvas a nivel, Balance hídrico.

SUMMARY

This project was carried out to assess the water consumption in rice cultivation at the experimental center at the Surcolombiana University using two methods of irrigation used in straight ridge and level curves. Water is transported by conduction channels, taking into account that there are two different methodologies implemented; there were two ways of evaluating water consumption, to evaluate the consumption in the land with ridge; there were 3 earthenware pipes installed 6-inch each one. And one part of the land with level curves was selected in a straight section of the raceway to determine the flow using Manning's equation. The pipe installed in the plot where level curves were previously appraised in the ridge in order to obtain the characteristic curve to determine the flow at different water bodies. The flow in the plot with level curves was established taking into account the characteristics of the channel (Manning's n), slope (we used a topography equipment) and the transverse area of the section of channel (in each irrigation took an average of transverse area). Additionally it was installed a Class A evaporation tank and a rain gauge needed to measure rainfall and daily evaporation, important data to calculate the water balance. Consumption assessed in the lot of straight ridges was 4594.5 m³/hec, in the lot of 5945.0 m³ with level curves and water balance indicates that consumption should be 4369.95 m³/hec, the results show that consumption is exceeded over consumption that it really should apply if there was been used a modern irrigation system more efficiently.

Keywords: straight ridge, level curves, water balance.

INTRODUCCION

El desarrollo agrícola en el departamento del Huila es basado en gran parte en el cultivo de arroz, Ubicándose el departamento entre los principales productores del país, pero se han generado algunos inconvenientes por estar ubicado en el sector del valle medio del Magdalena que es una zona de alta evaporación y tiempos cortos de lluvia.

En el centro experimental de la Universidad Surcolombiana, para suplir esta necesidad hídrica se abastece de agua a través de un sistema de riego superficial administrado por ASOJUNCAL que toma el agua del río Magdalena a través de un sistema de bombeo y se transporta a través de canales abiertos. Este servicio tiene un alto costo económico por lo cual es importante un mejor control en la utilización efectiva del agua, haciéndose necesario el diseño de estructuras de aforo y reparto de caudal para poder cuantificar realmente la cantidad que se está aplicando al cultivo, y evitar las pérdidas al máximo debido a que el uso excesivo pueden ocasionar que el producto no sea económicamente viable.

Debido a la poca disponibilidad de agua en la zona y el alto costo por el servicio del sistema de riego, se han implementado nuevas técnicas en el manejo del consumo hídrico en el centro experimental, como reemplazar el riego por inundación constante que utiliza alto consumo de agua por el riego por mojas periódicas.

Según USOSALDAÑA¹ el consumo presentado en el distrito de riego en el método por nivelación está entre 8500 – 9000 m³/ha cosecha, mientras que en el convencional se utilizan 14000 m³/ha cosecha, utilizando laminas constantes.

Según CORPOICA² al utilizar el método de curvas a nivel y melgas, mediante mojas periódicas (sin inundación continua) se puede obtener reducciones del 30% y 45% respectivamente del consumo total.

Las producciones de arroz en el centro experimental de la universidad Surcolombiana la han caracterizado como una de las altas producciones del departamento, pero los consumos de agua siguen siendo elevados. Esto hace que sea necesario evaluar los consumos en los diferentes métodos de riego para este cultivo. La falta de estructuras de aforo, conducción y reparto hacen que sea difícil controlar la aplicación del riego.

Por lo cual se hizo indispensable evaluar los consumos de agua en el centro experimental de la universidad Surcolombiana en dos metodologías de riego; el riego en melgas rectas y el riego por curvas a nivel, con la ayuda de estructuras de aforo. Adicionalmente se instalaron equipos climatológicos para obtener los datos necesarios para realizar el balance hídrico y de esta manera compararla con los resultados de los consumos hallados en campo.

¹ Fuente: **USOSALDAÑA. 2002.** Guía técnica sobre el sistema de trasplante manual DE ARROZ. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Transplante%20manual%20de%20arroz.pdf

² Fuente: **Corporación Colombiana de Investigadores Agropecuaria CORPOICA 1998.** frutos de la investigación 5 años. disponible en: <http://books.google.com.co/>

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el centro experimental de la universidad Surcolombiana no se realiza un control adecuado en el manejo de agua de riego, debido a la falta de estructuras de aforo y reparto de caudal, revestimiento de los canales de conducción y adecuación del terreno.

Al no utilizar estructuras de aforo y reparto de caudal no se determina la cantidad de agua aplicada, generándose principalmente dos problemas; por un lado la falta de agua que afecta el normal desarrollo del cultivo y por otro lado el exceso que genera proceso de degradación de los suelos. Además las pérdidas de agua por infiltración en la conducción son debidas a que los canales se encuentran sin revestir y el suelo presenta textura franco arenosa. También se hace necesario replantear las técnicas de nivelación del terreno, mediante lo cual se reduciría las perdidas por escorrentía y se tendría un mejor control en la aplicación del riego.

El mal manejo del recurso hídrico a generado elevado consumo de agua en el centro experimental de la Universidad Surcolombiana, problema por el cual la universidad ha tenido que pagar grandes sumas al distrito de riego El Juncal.

Es importante que la Universidad Surcolombiana como ejemplo sur colombiano, implemente en su centro experimental métodos de riego controlados, donde se tenga en cuenta los tiempos de riego y el volumen de agua a aplicar, de esta forma aplicar los caudales adecuados para proteger y conservar el recurso hídrico y los suelos. Es por esta razón que las estructuras de aforo y de reparto son necesarias para ayudar a cuantificar el agua de riego y no seguir realizando riego incontrolado donde se despilfarran grandes volúmenes de agua.

2. REVISION DE LITERATURA

NECESIDAD HÍDRICA DEL CULTIVO DE ARROZ

La determinación de las necesidades de agua de los cultivos, se realiza teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona, y de esta forma se establece los volúmenes de agua que serán necesario aportar con el riego.

El departamento del Huila al estar ubicado en el sector del valle medio del Magdalena presenta problemas de déficit hídrico debido a que es una zona de alta evaporación y tiempos cortos de lluvia, según SANINT y AREVALO (1977) en la zona del juncal municipio de Palermo la precipitación promedio anual es de 1273.1 mm, y la evaporación anual es de 1665.7 mm, por lo cual es necesario contar con sistemas de riego para suplir la perdida de agua por evaporación y la transpiración del cultivo.

En el estudio realizado por LÓPEZ, J.V. Y CAICEDO, A.M. (1985), la evapotranspiración en arroz con variedad oryzica -1 en las regiones de Palermo y Espinal (Colombia), obtuvieron valores promedios de 660 mm para periodo vegetativos de 110 días y 600 mm para periodos vegetativos de 113 días.

El IRRI (1970), Indican que la evaporación en el cultivo durante los primeros días, es casi igual a la obtenida en tanques evaporímetros, pero a medida que el cultivo se desarrolla y cubre el suelo, la evaporación se reduce en forma acentuada mientras que la transpiración aumenta.

La relación que se encuentra entre las variables evapotranspiración y evaporación recibe el nombre de coeficiente del cultivo (K_c) y es necesario

para calcular la evapotranspiración teniendo en cuenta la evaporación medida a través de los tanques evaporímetros, este factor se determinó en el estudio realizado por LOPEZ, J. V. (1989) en Palermo donde obtuvo un dato de 1.22 utilizando tanque evaporímetro. Según CASTILLO (1977) el factor del cultivo presenta variaciones de acuerdo a los periodos de lluvia y sequía.

MANEJO DEL AGUA EN EL ARROZ.

El agua es el factor más importante para la producción de arroz actúa en el normal crecimiento y desarrollo necesitan cierta cantidad de agua, esta posibilita el transporte de los nutrientes dentro de la planta. Según los estudios realizados por IRRI (1972) los periodos de mayor requerimiento de humedad son el de establecimiento, el de macollamiento, y desde la diferenciación hasta el llenado del grano.

Teniendo en cuenta la evapotranspiración del arroz, las condiciones físicas del suelo, la adecuación del terreno, el método de riego, y el medio en que se transporta el agua, se puede determinar el requerimiento hídrico necesario para el cultivo.

Según el distrito de riego USOSALDAÑA, el consumo de agua a través de riego convencional es de 14000 m³/ha cosecha, este mecanismo de distribución del agua está mal controlado, debido a que se aplican lamina de agua relativamente grandes para la germinación y para humedecer las plantas jóvenes, por falta de habilidad para descargar cantidades más pequeñas, las pérdidas debidas a derrames en las extremidades, desigualdades en la distribución ocasionadas por una defectuosa preparación del terreno.

Buscando disminuir los altos consumos de agua en el riego tradicional se ha desarrollado la adecuación del terreno (la nivelación) en USOSALDAÑA,

en este método de riego superficial se registraron consumos se encuentran entre 8500 – 9000 m³/ha cosecha. Teniendo en cuenta que son riegos con lamina constante durante el periodo vegetativo.

Estudios realizados por ZAMBRANO Y FIERRO (1986) ha determinado que el arroz se comporta bien si se le somete a inundación solo durante la etapa reproductiva y se sostiene solo con mojas durante las otras etapas. Los mejores rendimientos se obtienen cuando hay suspensión de la inundación, por lo tanto el riego intermitente es el más indicado.

Según OSORIO (1987) El exceso de agua causa también graves daños que están especialmente en función del grano y duración de encharcamiento, debilitamiento del color, incremento en desgrane, y afecta el rendimiento.

Resultados obtenidos en investigaciones por CORPOICA determinaron que al utilizar el método de curvas a nivel y melgas, mediante mojas periódicas (sin inundación continua) durante todo el periodo vegetativo del cultivo, se puede obtener reducciones del 30% y 45% respectivamente del consumo total. Además estudios realizados por BEDOYA y VEGA (1987) encontraron ahorro del consumo en un 60% del consumo total a través de riego por mojas en el distrito el juncal sin verse afectado el rendimiento.

La producción de arroz no se ve afectada por la implementación del sistema de riego por mojas, en la investigación realizada por BEDOYA y VEGA (1987) se determino que el riego por mojas obtuvo una producción de 7.413 Kg/ha con un consumo de agua de 6750 m³/Ha y en el método con lamina de inundación se obtuvo 6607 Kg/ha con un consumo de 23802 m³/ha.

Actualmente se están realizando estudios para disminuir aun más estos consumos con la utilización de riegos automatizados como el riego por aspersión, la

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA obtuvo excelentes resultados en ahorro de agua, conservación de la calidad de los suelos. Las producciones allí obtenidas rondan las 10 t/ha, similares a las que se recogen habitualmente en arroz por inundación”, aclara José Cavero, del área de Genética y Producción Vegetal de Aula Dei. En general los rendimientos por flujo continuo de agua son un 15-20 % superior a los conseguidos por aspersión.

3. METODOLOGÍA

3.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

3.1.1. Ubicación general y características del área de estudio

La Universidad Surcolombiana cuenta con un área de aproximadamente 30 hectáreas, ubicado en el Distrito de Riego el Juncal municipio de Palermo en el departamento del Huila, se encuentra localizada a 9 kilómetros de la cabecera municipal de Neiva.

La granja experimental de la Universidad Surcolombiana se halla situada geográficamente a los 2°5' latitud norte y los 75°20' latitud oeste, a una elevación de 450 m.s.n.m. en la zona afloran diferentes capas del grupo Honda y de la formación Mesa reportados por varios autores, los cuales atribuyen a la formación Honda espesores entre 1400 y 2600 metros ubicados al oeste de Campoalegre. (Jaramillo, 1983).³

De acuerdo con el diagrama para la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo, por: L. R. Holdridge; presenta unos parámetros para determinar la zona o zonas de vida del área que se quiere clasificar; los cuales son la biotemperatura anual, precipitación total anual y la relación de evapotranspiración potencial, que separa 120 zonas de vida en el mundo, estos parámetros a su vez corresponde a líneas horizontales y oblicuas, que conforman los hexágonos tridimensional; de acuerdo con esto la Granja experimental de la Universidad Surcolombiana está ubicada en la formación vegetal seco tropical (bs-T), con un promedio anual de lluvias de 1328,4 mm y bio temperatura de 25,4°C y pertenece a la Provincia de Humedad SUB-HUMEDO; siendo los meses de mayor precipitación Octubre, Noviembre y Diciembre; el periodo seco corresponde a los meses de Junio, Julio y Agosto. La red hídrica está conformada por el río

Magdalena, el cual es la arteria principal del Distrito de Riego ASOJUNCAL y cerca al lote están las quebradas Gallinazo, Pajarito y Sardinata. (Jaramillo, 1983)³

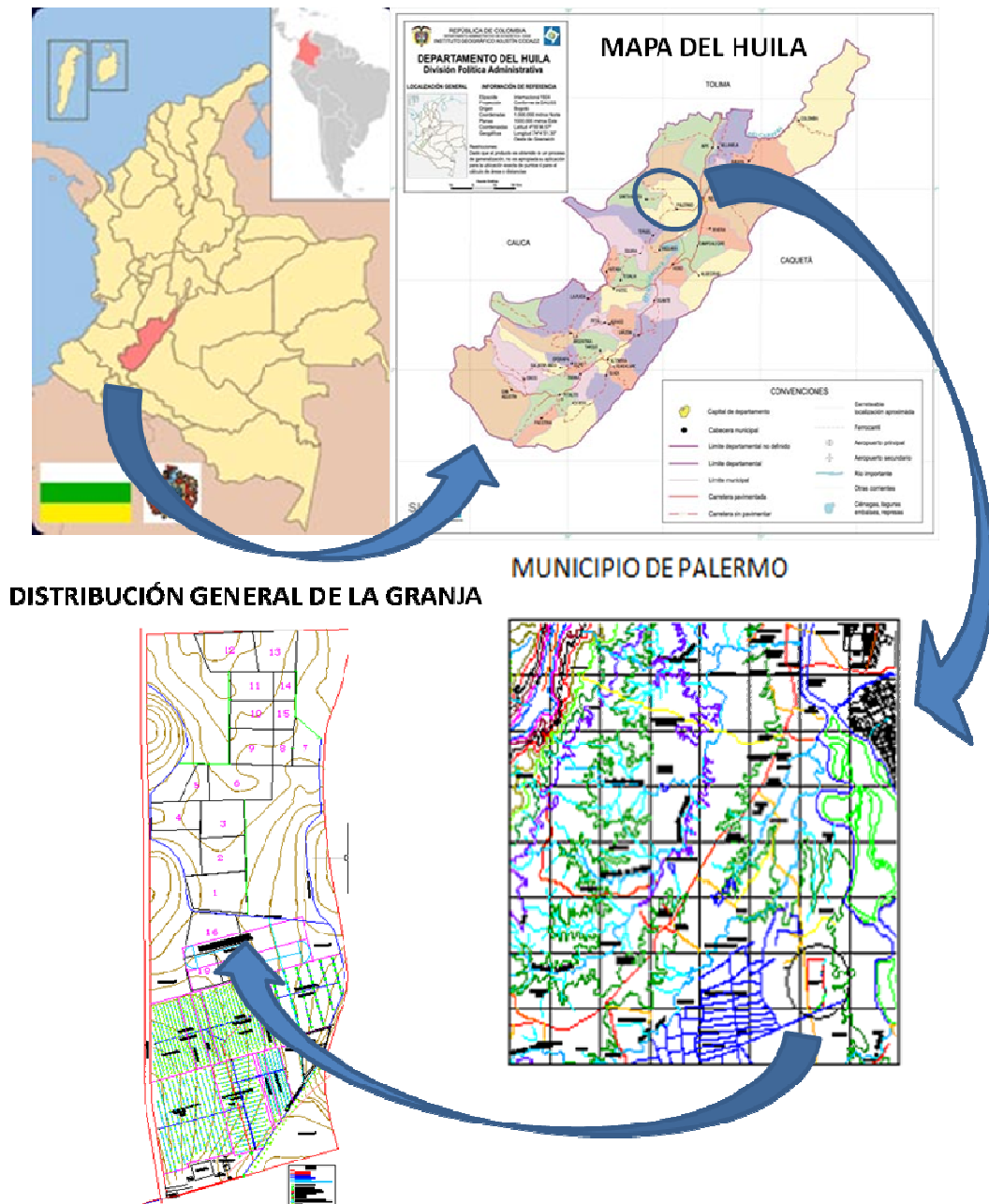


Figura 1. Localización General de Centro Experimental de la Universidad Surcolombiana

³ JARAMILLO J., Daniel Francisco 1983. Estudio detallado de suelos del lote "La Universidad". Universidad Surcolombiana, Neiva 27 Pág.

3.1.2. Descripción de los suelos.³

Por la gran importancia que reviste la evaluación y clasificación agrologica de los suelos del centro experimental de la Universidad elaborada por Jaramillo 1983, se cita a continuación en la Tabla 1, las propiedades físicas, hidrodinámicas de los suelos de del centro experimental y el Balance Hídrico para el arroz en la zona del Juncal.

Los suelos se caracterizan por topografía plana a ligeramente inclinada, profundidad efectiva superficial, escasa presencia de materia orgánica, con sectores de pedregosidad ligera a abundante, de texturas medias a livianas afectados por erosión laminar con alguna acumulación de sodio y poca cobertura vegetal, característico de la condición de clima cálido - seco dominante del norte del departamento del Huila.

3.1.3. Propiedades Físicas⁴

La textura predominante en los suelos de la granja son los Franco arenoso "FA" a Arenoso franco "AF", la retención de humedad es baja (CC = 20.5%, PMP = 14.2%), la densidad aparente es alta ($D_a = 1.71 \text{ gr/cm}^3$) asociada a procesos de compactación, disminución del espacio poroso por sobre-mecanización y monocultivo

⁴ Fuente: OLAYA, Diego. Variabilidad espacial para la adecuación de tierras con riego superficial en la granja La Universidad Palermo Huila. Universidad Surcolombiana, Neiva. 2007.

Tabla 1. Clasificación agrológica de los suelos del centro experimental de la Universidad Surcolombiana

SIGLA	SERIE	CLASIFICACIÓN AGROLÓGICA	CARACTERÍSTICAS
AG	AGUAS	III	Permanece inundado parte del año, el relieve es plano cóncavo, está formado por suelos superficiales con móteos de ligera a moderadamente sódicos.
CÑ	CAÑO	VII	Ocupa las partes más bajas del lote hay evidencia de que son drenaje natural del mismo es obvia la presencia de cauces, presenta pequeños taludes poco inclinados pero con severa erosión laminar y considerable pedregosidad superficial.
PDa	PIEDRAS ALTAS	VII	Ocupa las partes más altas del área y se caracteriza por suelos superficiales livianos y con abundante pedregosidad superficial, afectada por severa erosión laminar, poca cobertura vegetal. (generalmente herbácea).
PDb	PIEDRAS BAJAS	VII	Características muy similares a la anterior pero con disminución apreciable en la cantidad de piedras en superficie.
UD	UNIVERSIDAD	III	Ubicado al centro del lote, son suelos livianos, superficiales, de colores claros de baja fertilidad natural y contenido de sodio. Presenta relieve plano con pendiente menores de 1 %, presenta vegetación herbácea y algunos arbustos.
TR	TERRAZAS	IV	Relieve plano a ligeramente inclinado, texturas medias a livianas, superficiales con contenidos ligero a medio de sodio y afectada por una ligera erosión laminar.
BS	BOSQUE	IV	Similar a las terrazas, los procesos erosivos no se observan debido a su cobertura natural, presenta acumulación de materia orgánica lo cual le da coloración oscura.

Jaramillo 1983.

3.1.4. Propiedades hidrodinámicas de los suelos⁴

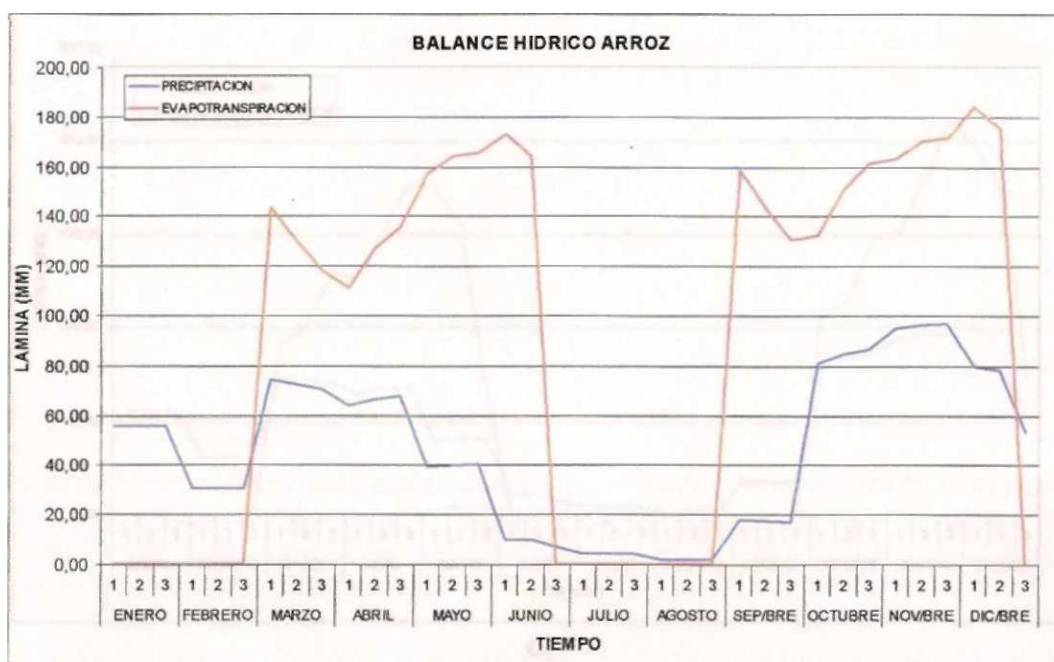
Las propiedades hidrodinámicas de los suelos en el área de estudio presentan gran variación, además de su importancia al momento del diseño de riego superficial. La conductividad hidráulica media es de 1.105 m/día y la infiltración promedio está calculada en 5.11 cm/hora. (Olaya Amaya Diego 2007)

3.1.5. Balance hídrico

La zona del Juncal presenta dos periodos en donde la cantidad de la precipitación sobrepasa la evaporación, que son en el primer semestre del año en el mes de marzo y el segundo semestre en los meses de octubre, noviembre y diciembre, determinado así que las temporadas en donde los cultivos necesitan más agua debe coincidir con los meses de mayor precipitación, no obstante esta precipitación

no es suficiente para suplir la demanda de agua de los cultivos haciéndose necesario la utilización de riego todo el año.

Figura 2. Balance hídrico cultivo de arroz.



Fuente: Olaya Amaya Diego Fernando (2007)

En la zona de el juncal existen variedad de cultivos semestrales característicos que son: el arroz, el maíz y el sorgo entre otros, de los cuales el que más necesita agua es el arroz por ser un cultivo de inundación, generalmente son cultivos que se inician su siembra dos o tres semanas antes de que comiencen las precipitaciones, para tratar de usar el mínimo consumo de agua del distrito, ya que su costo es elevado. Los meses de enero, febrero, julio y agosto no se tomaron datos de evaporación por no estar establecido el cultivo.

El arroz es el cultivo mas sembrado en la zona del Juncal, representando la mayor actividad económica de los agricultores, el maíz y el sorgo se cultiva en menor proporción; ya que son cultivos semestrales se hacen dos cosechas al año, según la fenología y la variedad del cultivo, se determina el tiempo de duración desde la siembra hasta la cosecha.

3.2. DESARROLLO DE PROYECTO

3.2.1. Trabajo de campo

El estudio se llevó a cabo en la centro experimental de la Universidad Surcolombiana, se determinó un área de estudio de aproximadamente 0,967 hectáreas para el riego por melgas y aproximadamente 5,34 hectáreas para el riego por curvas de nivel. Áreas definidas por conveniencia del estudio y por disposición del administrador de la granja.

Inicialmente se realizaron estudios de planimetría y altimetría, importantes para establecer el área de estudio y la ubicación de estructuras de aforo para la determinación del consumo de agua.

Se colocaron 3 tuberías de gres de 6 pulgadas de diámetro previamente aforadas en campo para medir el caudal de riego a la entrada del lote por melgas.

El aforo se realizó aprovechando la disponibilidad de agua a través del método volumétrico que consiste en medir el volumen de agua que pasa por la tubería en un determinado tiempo a diferentes láminas de agua. Para ello se utilizó un balde de 10 litros graduado, un cronómetro y una regla graduada en milímetros para determinar la lámina de agua, los resultados se representan en la tabla y gráfica.

Para el lote curvas de nivel se utilizó de igual manera la ecuación de Manning, teniendo en cuenta la pendiente y las condiciones del canal de conducción. El consumo de agua se determinó midiendo el tirante y el perímetro mojado del canal. Para la toma de datos se procedió a realizar 3 lecturas en cada turno de riego, tomando los datos más representativos para determinar un caudal promedio.

Se instaló la estación climatológica para el registro diario de la precipitación y la evaporación durante el periodo vegetativo del arroz.

3.2.2. Trabajo de oficina

En esta otra parte del proyecto, finalizado el trabajo de campo, se procedió a ordenar, procesar, tabular, calcular, analizar y dibujar los resultados obtenidos.

Dentro de esta etapa se desarrollaron las siguientes actividades:

3.2.2.1. Consumo de agua en el lote de melgas

Teniendo en cuenta que el aforo de la tubería se realizó hasta cierta lámina de agua debido a los altos caudales, se utilizaron los datos del aforo para determinar la pendiente mediante la Ecuación de Manning, dato necesario para completar el aforo. Con el aforo completo de la tubería, se realizaron tablas y gráficas que facilitaron determinar el caudal para diferentes láminas de agua.

3.2.2.2. Consumo de agua en el lote curvas de nivel

Se utilizó el equipo de altimetría para determinar la pendiente de un tramo recto del canal. La toma de datos se realizó en un sitio determinado de la conducción en la cual se media el tirante y se determinaba el perímetro mojado para diferentes tiempos de riego con el fin de promediar los resultados.

3.2.2.3. Requerimiento hídrico en el cultivo de arroz

Teniendo en cuenta las propiedades físicas del suelo realizadas en anteriores tesis de grado y los datos recolectados de la estación climatológica, se procedió a calcular el balance hídrico, Se determino el volumen de agua que requiere el cultivo del arroz durante su periodo vegetativo.

4. RESULTADOS

4.1 LOTE DE MELGAS

4.1.1 Aforo tuberías en campo

Con la ayuda de un balde, una regla y un cronómetro se realizaron el respectivo aforo de las tuberías. 1 de Abril de 2010.

Figura 3. Aforo volumétrico

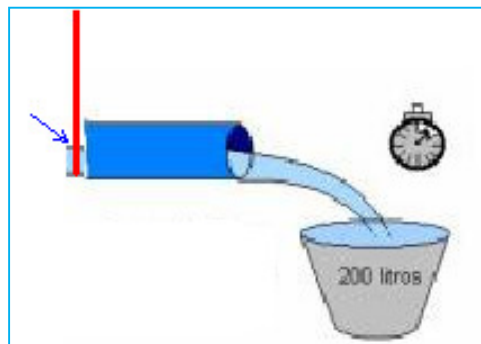


Tabla2. Aforo Tubería 1.

Altura (cm)	Volumen (L)	Tiempo (s)	caudal (l/s)
0.8	3.4	45.76	0.0743
2.5	2.8	6.94	0.4035
4.1	4.0	3.34	1.1976
5.2	3.5	1.94	1.8041
5.8	3.7	1.68	2.2024

Tabla3. Aforo Tubería 2.

Altura (cm)	Volumen (L)	Tiempo (s)	caudal (l/s)
2.2	3.7	12.53	0.2953
2.6	2.9	6.98	0.4155
3.7	2.4	2.73	0.8791
5.1	4.0	2.19	1.8265
5.8	4.1	1.82	2.2527

Tabla4. Aforo Tubería 3.

Altura (cm)	Volumen (L)	Tiempo (s)	caudal (l/s)
1.7	3.9	19.98	0.1952
2.4	3.0	7.61	0.3942
4.1	3.4	2.71	1.2546
5.3	4.0	2.10	1.9048
5.9	3.8	1.68	2.2619

4.1.2 Determinación de la pendiente mediante la ecuación de Manning

Se utilizaron los datos obtenidos en el aforo en campo y las condiciones de la tubería para la n de Manning (alcantarilla vitrificada en arcilla grado normal n=0.014)

Muestra de cálculos

Radio tubería 1. = 7.5 cm

Lamina de agua = 0.8 cm

Volumen = 3.4 l

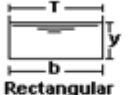
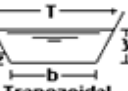



Tiempo = 45.76 s

$$Caudal (Q) = \frac{Volumen}{tiempo} \rightarrow \frac{3.4 l}{45.76 s} = 0.0743 l/s$$

$$Q = 0.0743 \frac{L}{s} \times \frac{1 m}{1000 L} = 0.00074 m^3/s$$

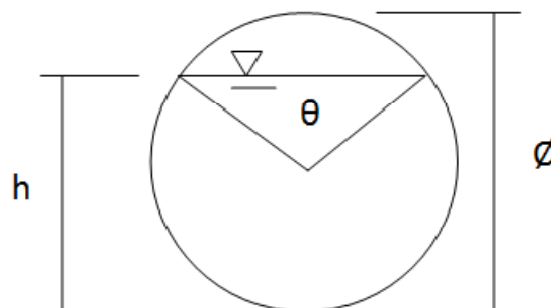
Teniendo en cuenta las ecuaciones de elementos geométricos de los canales descritos en el libro de Ven Te Chow. Encontrados en la siguiente tabla.

Tabla 5. Elementos geográficos de secciones de canal.

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

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow

De la tabla anterior teniendo en cuenta la ecuación de ancho superficial o espejo de agua T, para una sección circular se despeja para calcular el Angulo.

Figura 4. Sección transversal de un canal circular.

$$\left(\text{Sen} \frac{\theta}{2}\right) \times D = 2 \times \sqrt{Y(d-y)}$$

$$\theta = \frac{2 \times \text{sen}^{-1} (4 \times \sqrt{Y(d - Y)})}{D}$$

$$\theta = 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{\sqrt{0.8 \text{ cm}(2 * 7.5 \text{ cm} - 0.8 \text{ cm})}}{7.5 \text{ cm}} \right)$$

$$\theta = 53.41$$

De grados a radianes;

$$\theta = 53.41; \quad \text{Rad} = \frac{53.41 \times \pi}{180} = 0.932$$

Área mojada

$$A = \frac{(\theta - \text{sen}\theta) \times D^2}{8}$$

$$A = \frac{(0.93 \text{ rad} - \text{sen}53.41)}{8} \times (0.15 \text{ m})^2 = 0.00036 \text{ m}^2$$

Perímetro

$$P = \frac{\theta \times D}{2}$$

$$P = \frac{0.93 \text{ rad} \times 0.15 \text{ m}}{2} = 0.070 \text{ m}$$

Pendiente de la tubería

Para determinar la pendiente se tiene en cuenta la ecuación de Manning y se despeja la pendiente S .

$$Q = \frac{1}{n} \times \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \times S^{1/2}$$

Donde:

$Q =$ Caudal

$n =$ Rugosidad

$P =$ Perimetro mojado

$A =$ Area mojada

$S =$ Pendiente

Se despeja (S)

$$S = \left(\frac{Q \times n \times P^{2/3}}{A^{5/3}} \right)^2$$

$$S = \left(\frac{0.000074 \frac{m^3}{s} \times 0.014 \times 0.07 m^{2/3}}{0.00036 m^{5/3}} \right)^2$$

$$S = 0.0091$$

El procedimiento se repite para cada uno de los datos obtenidos en el aforo de las tuberías en campo, los resultados se encuentran registrados en la siguiente tabla.

Tabla 6. Pendiente tubería 1

radio (m)	Lamina (cm)	Volumen l	tiempo	caudal (l/s)	caudal (m ³ /s)	ángulo	ángulo rad	área (m ²)	perímetro (m)	pendiente
0,075	0,8	3,4	45,76	0,0743	0,0001	53,41	0,93	0,00036	0,070	0,0091
0,075	2,5	2,8	6,94	0,4035	0,0004	96,38	1,68	0,00194	0,126	0,0022
0,075	4,1	4	3,34	1,1976	0,0012	126,08	2,20	0,00392	0,165	0,0027
0,075	5,2	3,5	1,94	1,8041	0,0018	144,28	2,52	0,00544	0,189	0,0024
0,075	5,8	3,7	1,68	2,2024	0,0022	153,80	2,68	0,00631	0,201	0,0024
									Promedio	0,0024

Tabla 7. Pendiente tubería 2

radio (m)	Lamina (cm)	Volumen l	tiempo	caudal (l/s)	caudal (m ³ /s)	ángulo	ángulo rad	área (m ²)	perímetro (m)	pendiente
0,075	2,2	3,7	12,53	0,2953	0,0003	90,07	1,57	0,0016	0,117	0,0020
0,075	2,6	2,9	6,98	0,4155	0,0004	98,41	1,72	0,0020	0,129	0,0020
0,075	3,7	2,4	2,73	0,8791	0,0009	119,11	2,08	0,0034	0,156	0,0022
0,075	5,1	4	2,19	1,8265	0,0018	142,672	2,49	0,0053	0,187	0,0027
0,075	5,8	4,1	1,82	2,2527	0,0023	153,79	2,68	0,0063	0,201	0,0025
									promedio	0,0023

Tabla 8. Pendiente tubería 3

radio (m)	Lamina (cm)	Volumen l	tiempo	caudal (l/s)	caudal (m ³ /s)	ángulo	ángulo rad	área (m ²)	perímetro (m)	pendiente
0,075	1,7	3,9	19,98	0,1952	0,0002	78,69	1,37	0,0011	0,103	0,0026
0,075	2,4	3	7,61	0,3942	0,0004	94,31	1,65	0,0018	0,123	0,0025
0,075	4,1	3,4	2,71	1,2546	0,0013	126,08	2,20	0,0039	0,165	0,0029
0,075	5,3	4	2,10	1,9048	0,0019	145,88	2,545	0,0056	0,191	0,0025
0,075	5,9	3,8	1,68	2,2619	0,0023	155,36	2,71	0,0064	0,203	0,0024
									promedio	0,0026

4.1.3. Aforo tuberías con la ecuación de Manning

Teniendo en cuenta el aforo de la tubería en campo, se utilizó la ecuación de Manning para completar el aforo.

El aforo se realizó para obtener los diferentes caudales teniendo en cuenta intervalos de un centímetro.

Inicialmente se determina el ángulo que formó el ancho superficial.

De la ecuación de ancho superficial se despeja θ

$$\left(\text{Sen} \frac{\theta}{2}\right) \times D = 2 \times \sqrt{Y(d - y)}$$

$$\theta = \frac{2 \times \text{sen}^{-1} (4 \times \sqrt{Y(d - Y)})}{D}$$

Para una altura de 1 cm es decir 0.01 m

$$\theta = 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 \text{ cm}(2 * 7.5 \text{ cm} - 1 \text{ cm})}}{7.5 \text{ cm}} \right)$$

$$\theta = 59.9$$

De grados a radianes;

$$\theta = 53.41; \quad \text{Rad} = \frac{59.9 \times \pi}{180} = 1.045$$

Área mojada

$$A = \frac{(\theta - \text{sen}\theta) \times D^2}{8}$$

$$A = \frac{(1.045 \text{ rad} - \text{sen} 59.9)}{8} \times (0.15 \text{ m})^2 = 0.0005 \text{ m}^2$$

Perímetro

$$P = \frac{\theta \times D}{2}$$

$$P = \frac{1.045 \text{ rad} \times 0.15 \text{ m}}{2} = 0.0783 \text{ m}$$

Caudal

Para determinar el caudal se tiene en cuenta la ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} \times \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \times S^{1/2}$$

Donde:

$$A = 0.0005 \text{ m}^2$$

$$P = 0.0783 \text{ m}$$

$$n = 0.014$$

Para el dato de la pendiente se tiene en cuenta la pendiente promedio, obtenida en la tabla 8. "Pendiente de la tubería 3"

$$S = 0.0024$$

La n se obtiene de las tablas de valores de coeficientes de rugosidad del libro de Hidráulica de Canales Abiertos de Ven Te Chow

$$Q = \frac{1}{0.014} \times \frac{(0.0005 \text{ m}^2)^{5/3}}{0.0783 \text{ m}^{2/3}} \times 0.0024^{1/2}$$

$$Q = 0.00006 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este cálculo se repite para cada intervalo de un centímetro con lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 9. Aforo tuberías con la ecuación de Manning Tubería 1

Altura	Altura (m)	Radio (m)	Angulo	Angulo rad	Área (m ²)	Perímetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (L/s)
0	0	0,075	0,0	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,000
1	0,01	0,075	59,9	1,04	0,0005	0,0783	0,00006	0,062
2	0,02	0,075	85,7	1,50	0,0014	0,1121	0,0003	0,266
3	0,03	0,075	106,3	1,85	0,0025	0,1391	0,0006	0,612
4	0,04	0,075	124,4	2,17	0,0038	0,1628	0,0011	1,088
5	0,05	0,075	141,1	2,46	0,0052	0,1846	0,0017	1,676
6	0,06	0,075	156,9	2,74	0,0066	0,2054	0,0024	2,356
7	0,07	0,075	172,4	3,01	0,0081	0,2256	0,0031	3,105
7,5	0,075	0,075	180,0	3,14	0,0088	0,2356	0,0035	3,496
8	0,08	0,075	187,6	3,28	0,0096	0,2456	0,0039	3,895
9	0,09	0,075	203,1	3,54	0,0111	0,2658	0,0047	4,698
10	0,1	0,075	218,9	3,82	0,0125	0,2866	0,0055	5,481
11	0,11	0,075	235,6	4,11	0,0139	0,3084	0,0062	6,208
12	0,12	0,075	253,7	4,43	0,0152	0,3321	0,0068	6,835
13	0,13	0,075	274,3	4,79	0,0163	0,3591	0,0073	7,304
14	0,14	0,075	300,1	5,24	0,0172	0,3929	0,0075	7,521

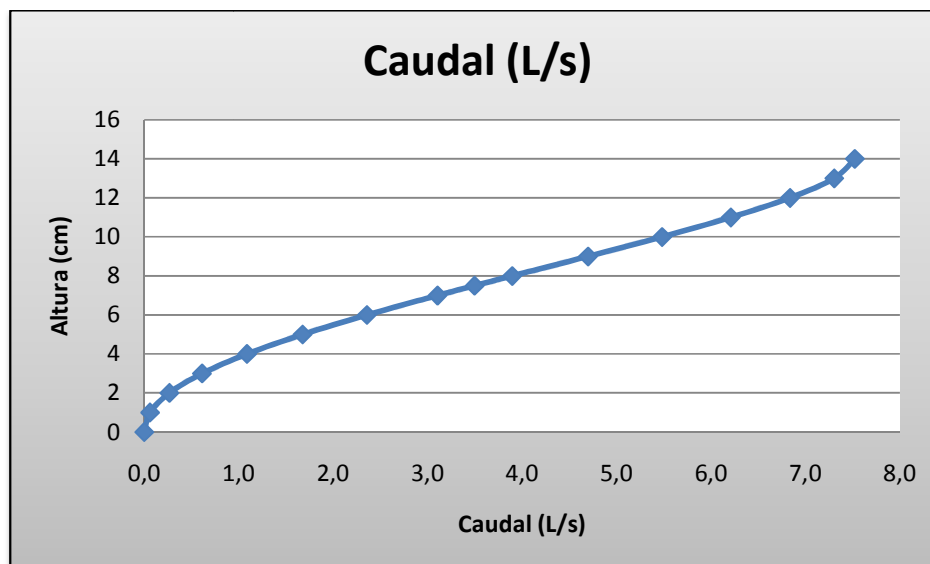
**Gráfica 1.** Curva característica de la tubería 1.

Tabla 10. Aforo tuberías con la ecuación de Manning Tubería 2

Altura	Altura (m)	Radio (m)	Angulo	Angulo rad	Área (m ²)	Perímetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (L/s)
0	0	0,075	0,0	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,000
1	0,01	0,075	59,9	1,04	0,0005	0,0783	0,0001	0,060
2	0,02	0,075	85,7	1,50	0,0014	0,1121	0,0003	0,258
3	0,03	0,075	106,3	1,85	0,0025	0,1391	0,0006	0,592
4	0,04	0,075	124,4	2,17	0,0038	0,1628	0,0011	1,052
5	0,05	0,075	141,1	2,46	0,0052	0,1846	0,0016	1,621
6	0,06	0,075	156,9	2,74	0,0066	0,2054	0,0023	2,279
7	0,07	0,075	172,4	3,01	0,0081	0,2256	0,0030	3,003
7,5	0,075	0,075	180,0	3,14	0,0088	0,2356	0,0034	3,382
8	0,08	0,075	187,6	3,28	0,0096	0,2456	0,0038	3,767
9	0,09	0,075	203,1	3,54	0,0111	0,2658	0,0045	4,544
10	0,1	0,075	218,9	3,82	0,0125	0,2866	0,0053	5,302
11	0,11	0,075	235,6	4,11	0,0139	0,3084	0,0060	6,005
12	0,12	0,075	253,7	4,43	0,0152	0,3321	0,0066	6,611
13	0,13	0,075	274,3	4,79	0,0163	0,3591	0,0071	7,064
14	0,14	0,075	300,1	5,24	0,0172	0,3929	0,0073	7,274

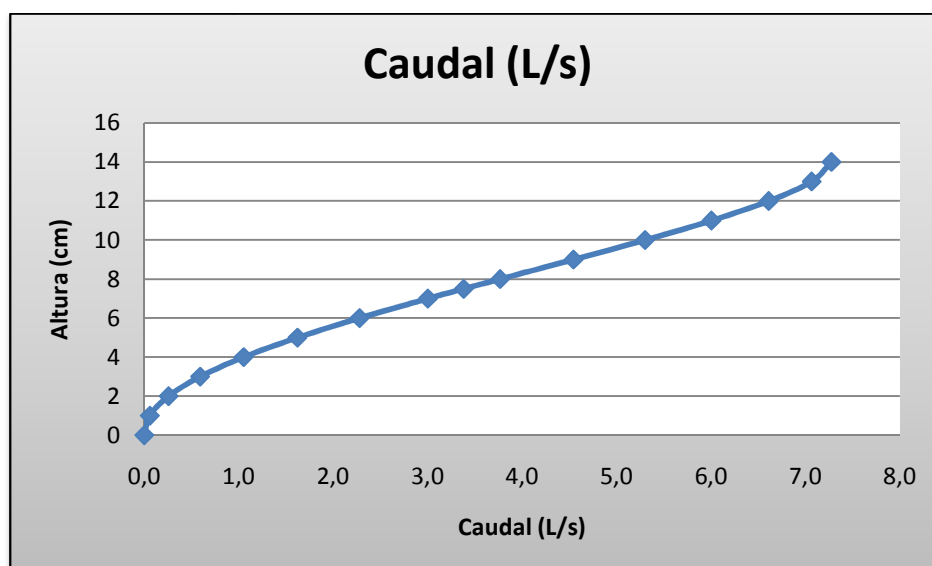
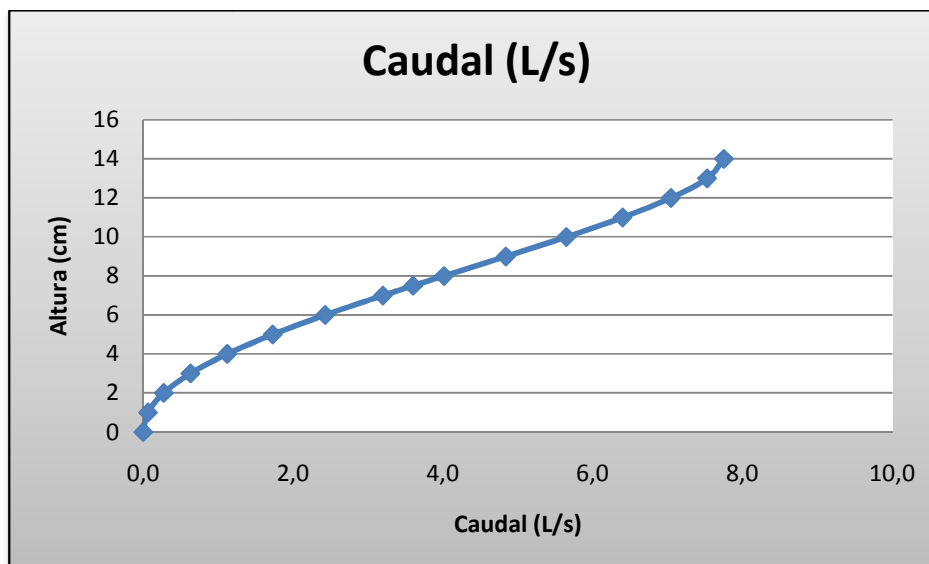
**Gráfica 2.** Curva característica de la tubería 2.

Tabla 11. Aforo tuberías con la ecuación de Manning Tubería 3

Altura	Altura (m)	Radio (m)	Angulo	Angulo rad	Área (m ²)	Perímetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (L/s)
0	0	0,075	0,0	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,000
1	0,01	0,075	59,9	1,04	0,0005	0,0783	0,0001	0,064
2	0,02	0,075	85,7	1,50	0,0014	0,1121	0,0003	0,274
3	0,03	0,075	106,3	1,85	0,0025	0,1391	0,0006	0,631
4	0,04	0,075	124,4	2,17	0,0038	0,1628	0,0011	1,121
5	0,05	0,075	141,1	2,46	0,0052	0,1846	0,0017	1,728
6	0,06	0,075	156,9	2,74	0,0066	0,2054	0,0024	2,429
7	0,07	0,075	172,4	3,01	0,0081	0,2256	0,0032	3,200
7,5	0,075	0,075	180,0	3,14	0,0088	0,2356	0,0036	3,603
8	0,08	0,075	187,6	3,28	0,0096	0,2456	0,0040	4,014
9	0,09	0,075	203,1	3,54	0,0111	0,2658	0,0048	4,842
10	0,1	0,075	218,9	3,82	0,0125	0,2866	0,0056	5,649
11	0,11	0,075	235,6	4,11	0,0139	0,3084	0,0064	6,398
12	0,12	0,075	253,7	4,43	0,0152	0,3321	0,0070	7,044
13	0,13	0,075	274,3	4,79	0,0163	0,3591	0,0075	7,527
14	0,14	0,075	300,1	5,24	0,0172	0,3929	0,0078	7,751

**Gráfica 3.** Curva característica de la tubería 3.

4.1.4 Consumo de agua de cada riego.

Durante todo el periodo vegetativo del cultivo se realizaron 9 riegos representados en las siguientes tablas donde se ha determinado el caudal para cada lámina de agua en el interior de cada tubería, utilizando las tablas 4, 5 y 6.

La tabla 12 representa el caudal utilizado en riego el 10 de abril 8:00 am

Tabla 12. Consumo de agua riego 1. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	7.2	3.26
2	7.7	3.54
3	7.1	3.28
		10.08

La tabla 13 representa el caudal utilizado en riego el 26 de abril 7:30 am

Tabla 13. Consumo de agua riego 2. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	8.3	4.14
2	9.1	4.62
3	7.9	3.93
		12.69

La tabla 14 representa el caudal utilizado en riego el 11 de mayo 8:00 am

Tabla 14. Consumo de agua riego 3. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	9.5	5.09
2	10	5.30
3	5.9	2.39
		12.78

La tabla 15 representa el caudal utilizado en riego el 20 de mayo 8:00 am

Tabla 15. Consumo de agua riego 4. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	10.3	5.71
2	12.5	6.84
3	8.0	4.01
		16.56

La tabla 16 representa el caudal utilizado en riego el 16 de junio 8:30 am

Tabla 16. Consumo de agua riego 5. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	9.0	4.70
2	10.8	5.86
3	6.9	3.12
		13.68

La tabla 17 representa el caudal utilizado en riego el 2 de julio 6:00 am

Tabla 17. Consumo de agua riego 6. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	10.8	6.05
2	12.1	6.66
3	8.7	4.59
		17.30

La tabla 18 representa el caudal utilizado en riego el 14 de julio 7:00 am

Tabla 18. Consumo de agua riego 7. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	10.0	5.48
2	12.1	6.66
3	8.6	4.51
		16.65

La tabla 19 representa el caudal utilizado en riego el 22 de julio 7:30 am

Tabla 19. Consumo de agua riego 8. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	10.4	5.77
2	11.5	6.31
3	10.4	5.95
		18.03

La tabla 20 representa el caudal utilizado en riego el 27 de julio 12:00 pm

Tabla 20. Consumo de agua riego 9. Lote de melgas

Tubería	Lámina de agua (cm)	Caudal (l/s)
1	10.7	5.98
2	13.2	7.10
3	8.8	4.68
		17.76

4.1.5 Riego aplicado

La tabla 21 representa el consumo de agua de riego utilizado durante el periodo vegetativo lote de melgas.

Tabla 21. Riego aplicado lote de melgas

Fecha inicio			Tiempo Riego (h)	Tiempo riego (s)	Caudal (l/s)	Volumen (l)	Volumen (m ³)
mes	día	hora					
abril	10	8:00 AM	5,00	18000	10,08	181440,00	181,44
abril	26	7:30 AM	4,50	16200	12,69	205578,00	205,58
mayo	11	8:00 AM	6,00	21600	12,78	276048,00	276,05
mayo	20	8:00 AM	7,50	27000	16,56	447120,00	447,12
junio	16	8:30 AM	8,00	28800	13,68	393984,00	393,98
julio	2	6:00 AM	5,00	18000	17,3	311400,00	311,40
julio	14	7:00 AM	7,00	25200	16,65	419580,00	419,58
julio	22	7:30 AM	4,30	15480	18,03	279104,40	279,10
julio	27	12:00 PM	4,15	14940	17,76	265334,40	265,33
Volumen Total de riego							2779,59

El volumen utilizado por m³/ha con riego superficial se obtiene dividiendo el volumen total 2779,59 m³ entre el área de estudio 0.967 ha.

$$V \left(m^3/ha \right) = \frac{2779,59}{0,967} = 2874,5 \text{ m}^3/ha$$

4.1.6 Volumen total utilizado

Se calculó teniendo en cuenta la precipitación y la evaporación (datos tomados en campo).

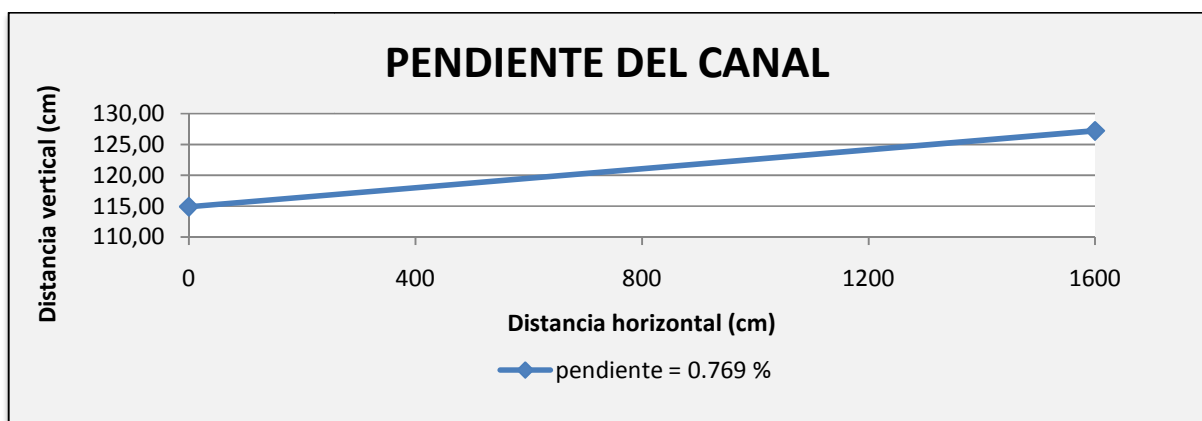
Tabla 22. Volumen total aplicado lote de melgas.

Volumen de riego aplicado (m ³ /ha)	Precipitación (m ³ /ha)	Volumen total aplicado (m ³ /ha)
2874,5	6520	9394,5

4.2 LOTE CURVAS A NIVEL

4.2.1 Pendiente del canal de conducción

Se procedió a determinar la pendiente del canal con la ayuda de un equipo de topografía.



Gráfica 4. Pendiente del canal de conducción.

Características del canal;

Excavado con pala o dragado (matorrales ligeros en las banquetas) en grado normal, según la tabla de coeficiente de rugosidad n de la página 110 del libro de **Ven Te Chow** es 0,05.

Tabla 23. n de Manning para canal de conducción lote curvas a nivel

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y banquetas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las banquetas	0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120

4.2.2 Consumo de agua de riego

Se seleccionaron las aéreas transversales más representativas para determinar el caudal promedio.

Caudal; utilizando la ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} * S^{1/2} * \frac{A^{5/3}}{P^{5/3}}$$

Donde;

n = coeficiente de Manning

s = pendiente del canal

A= área transversal del canal (área húmeda)

P= perímetro húmedo

$$Q = \frac{1}{0.05} * 0.00769^{1/2} * \frac{0.05758^{5/3}}{0.8093^{5/3}} = 0.01733962 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabla 24. Consumo de agua de riego curvas a nivel

área sección transversal (m ²)	perímetro (m)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/s)
0,05758	0,8093	0,01733962	17,34
0,07000	0,8530	0,023184116	23,18
0,09480	0,8921	0,037301936	37,30
	Promedio	0,025942	25,94189

Volumen;

$$V = Q * t$$

Donde;

Q = caudal promedio calculado anteriormente (m³/s)

t = tiempo de riego (s)

$$V = 0.025942 \text{ m}^3/\text{s} * 39600 \text{ s} = 1027.3032 \text{ m}^3$$

Tabla 25. Volumen de riego lote curvas a nivel.

Fecha inicio			Tiempo de riego (horas)	Tiempo de riego (s)	Volumen (m ³)
mes	día	hora			
abril	13	7:00 AM	11,00	39600	1027,3032
abril	27	6:30 AM	11,50	41400	1073,9988
mayo	14	8:00 AM	9,00	32400	840,5208
mayo	15	6:30 AM	5,50	19800	513,6516
junio	15	7:40 AM	24,83	89388	2318,9035
junio	28	11:00 AM	29,00	104400	2708,3448
junio	30	7:00 AM	31,00	111600	2895,1272
julio	12	7:00 AM	33,00	118800	3081,9096
julio	19	7:30 AM	34,50	124200	3221,9964
julio	21	8:00 AM	23,75	85500	2218,041
julio	26	7:30 AM	28,50	102600	2661,6492
Total			241,58	869688	22561,4461

El volumen aplicado por m³/ha con riego superficial se obtiene dividiendo el volumen total 22561,45 m³ entre el área de estudio 5,34 ha.

$$V \left(m^3/ha \right) = \frac{22561,45}{5,34} = 4225 \text{ m}^3/ha$$

4.2.3 Volumen total utilizado

Se calculó teniendo en cuenta la precipitación y la evaporación (datos tomados en campo).

$$\text{volumen aplicado} = \text{volumen de riego} + \text{precipitación} - \text{evaporación}$$

$$\text{volumen aplicado} = (4225 + 6520 - 4800) \frac{m^3}{ha} = 5945 \frac{m^3}{ha}$$

Tabla 26. Volumen total aplicado lote curvas a nivel.

Volumen de riego (m ³ /ha)	Precipitación (m ³ /ha)	Volumen total aplicado (m ³ /ha)
4225	6520	10750

4.3 BALANCE HÍDRICO

4.3.1 Requerimiento hídrico en el cultivo de arroz

Se calculó el balance hídrico para las series de suelos: Universidad, que es el que predomina en el área donde se encuentra sembrado el cultivo de arroz; tomando los siguientes datos de Edinson y Damaris 2009.

Tabla 27. Datos para el cálculo del balance hídrico⁵

Serie	Textura	CC	PMP	Da	Pr	Na
Universidad	FA	14,55	8,05	1,66 gr/cm ³	0,05 a 0,3 m	0,2

Fuente: Perdomo y Mujica

CC = capacidad de campo ; **PMP** = Punto de marchites permanente

Da = Densidad aparente ; **Pr** = Profundidad radicular,

Na = Nivel de agoamiento

⁵ Fuente: **PERDOMO Damaris. MUJICA Edinson** Diseño de una alternativa de abastecimiento, canales abiertos y estructuras hidráulicas del riego por superficie en la granja experimental de la universidad Surcolombiana. 2009

- **ETC**; Evapotranspiración

$$ETC = EV * Kc$$

Donde;

EV = evaporación (mm/día)

Kc = coeficiente del cultivo

$$ETC = 4 \frac{mm}{dia} * 0.96 = 3.84 \frac{mm}{dia}$$

UC; Uso consumo

$$UC = ETC - P$$

Donde;

P = Precipitación

$$UC = 3.84 \frac{mm}{dia} - 0 = 3.84 \frac{mm}{dia}$$

LN; lámina neta (mm)

$$LN = \frac{(cc - pmp)}{100} * pr * Da * Na$$

Donde;

Cc = capacidad de campo (%)

Pmp = punto de marchites permanente (%)

pr = profundidad radicular (m)

Da = densidad aparente (gr/cm³)

Na = nivel de agotamiento

$$LN = \frac{(14,55 - 8,05)}{100} * 50 * 1.66 \text{ gr/cm}^3 * 0.2 = 1.079 \text{ mm}$$

Para la evapotranspiración del cultivo se tomo en cuenta el factor Kc obtenido de los ensayos experimentales hechos por CORPOICA "Nataima", para una duración total del cultivo del arroz de 110 días, ver Anexo

Tabla 28. Balance hídrico

Mes	Día	Pr (m)	Kc	Evaporación (mm/día)	Precipitación (mm/día)	ETC (mm/día)	UC (mm/día)	LN (mm)
Abril	1	0,05	0,96	4	0	3,84	3,84	1,079
	2	0,05	0,96	3	0	2,88	2,88	1,079
	3	0,05	0,96	7	0	6,72	6,72	1,079
	4	0,05	0,96	10	0	9,6	9,6	1,079
	5	0,05	0,96	6	0	5,76	5,76	1,079
	6	0,05	0,96	5	45	4,8	-40,2	1,079
	7	0,05	0,96	4	23	3,84	-19,16	1,079
	8	0,05	0,96	2	15	1,92	-13,08	1,079
	9	0,05	0,96	3	2	2,88	0,88	1,079
	10	0,05	0,96	5	0	4,8	4,8	1,079
	11	0,05	0,96	5	0	4,8	4,8	1,079
	12	0,05	0,87	5	2	4,35	2,35	1,079
	13	0,05	0,87	5	35	4,35	-30,65	1,079
	14	0,05	0,87	5	27	4,35	-22,65	1,079
	15	0,05	0,87	4	8	3,48	-4,52	1,079
	16	0,05	0,87	6	0	5,22	5,22	1,079
	17	0,05	0,87	2	0	1,74	1,74	1,079
	18	0,05	0,87	2	0	1,74	1,74	1,079
	19	0,05	0,87	3	8	2,61	-5,39	1,079
	20	0,05	0,87	3	5	2,61	-2,39	1,079
	21	0,10	0,87	2	0	1,74	1,74	2,158
	22	0,10	0,79	4	0	3,16	3,16	2,158
	23	0,10	0,79	5	0	3,95	3,95	2,158
	24	0,10	0,79	3	2	2,37	0,37	2,158
	25	0,10	0,79	3	0	2,37	2,37	2,158
	26	0,10	0,79	3	0	2,37	2,37	2,158
	27	0,10	0,79	4	0	3,16	3,16	2,158
	28	0,10	0,79	4	12	3,16	-8,84	2,158
	29	0,10	0,79	3	29	2,37	-26,63	2,158
	30	0,10	0,79	3	13	2,37	-10,63	2,158
Mayo	1	0,10	0,79	5	0	3,95	3,95	2,158
	2	0,10	0,79	5	0	3,95	3,95	2,158

	3	0,10	0,77	4	50	3,08	-46,92	2,158
	4	0,10	0,77	4	2	3,08	1,08	2,158
	5	0,10	0,77	4	25	3,08	-21,92	2,158
	6	0,10	0,77	4	42	3,08	-38,92	2,158
	7	0,10	0,77	5	0	3,85	3,85	2,158
	8	0,10	0,77	5	0	3,85	3,85	2,158
	9	0,10	0,77	4	0	3,08	3,08	2,158
	10	0,10	0,77	4	0	3,08	3,08	2,158
	11	0,15	0,77	5	0	3,85	3,85	3,237
	12	0,15	0,77	5	0	3,85	3,85	3,237
	13	0,15	0,88	3	0	2,64	2,64	3,237
	14	0,15	0,88	5	0	4,4	4,4	3,237
	15	0,15	0,88	6	0	5,28	5,28	3,237
	16	0,15	0,88	5	0	4,4	4,4	3,237
	17	0,15	0,88	5	0	4,4	4,4	3,237
	18	0,15	0,88	4	0	3,52	3,52	3,237
	19	0,15	0,88	5	3	4,4	1,4	3,237
	20	0,15	0,88	6	0	5,28	5,28	3,237
	21	0,15	0,88	5	0	4,4	4,4	3,237
	22	0,15	0,88	5	30	4,4	-25,6	3,237
	23	0,15	0,94	4	12	3,76	-8,24	3,237
	24	0,15	0,94	4	10	3,76	-6,24	3,237
	25	0,15	0,94	4	21	3,76	-17,24	3,237
	26	0,15	0,94	4	5	3,76	-1,24	3,237
	27	0,15	0,94	5	10	4,7	-5,3	3,237
	28	0,15	0,94	2	0	1,88	1,88	3,237
	29	0,15	0,94	5	0	4,7	4,7	3,237
	30	0,15	0,94	3	0	2,82	2,82	3,237
	31	0,15	0,94	4	75	3,76	-71,24	3,237
Junio	1	0,20	0,94	5	2	4,7	2,7	4,316
	2	0,20	0,95	3	8	2,85	-5,15	4,316
	3	0,20	0,95	3	5	2,85	-2,15	4,316
	4	0,20	0,95	3	4	2,85	-1,15	4,316
	5	0,20	0,95	4	0	3,8	3,8	4,316
	6	0,20	0,95	4	0	3,8	3,8	4,316
	7	0,20	0,95	4	0	3,8	3,8	4,316
	8	0,20	0,95	4	0	3,8	3,8	4,316
	9	0,20	0,95	3	0	2,85	2,85	4,316
	10	0,20	0,95	3	6	2,85	-3,15	4,316
	11	0,20	0,95	4	0	3,8	3,8	4,316
	12	0,20	0,99	3	4	2,97	-1,03	4,316

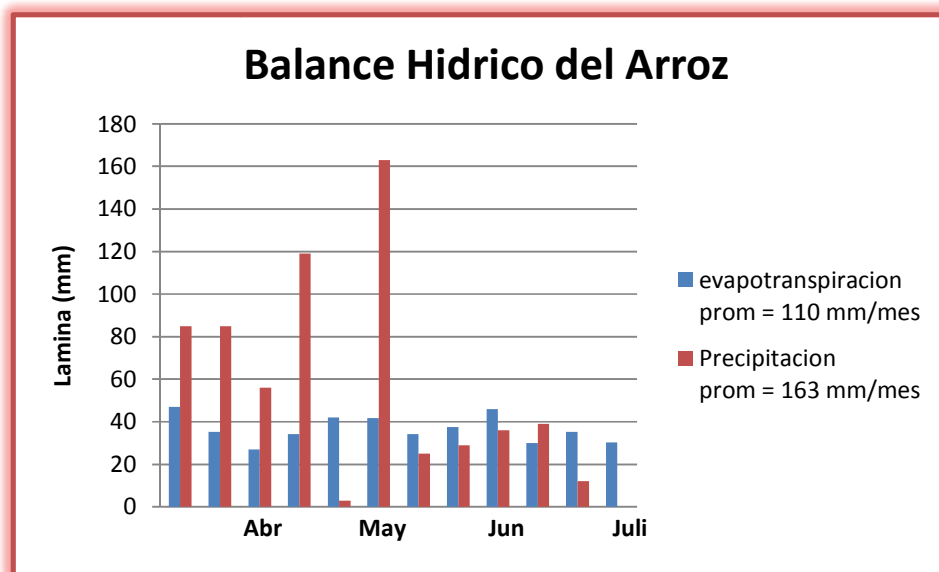
	13	0,20	0,99	5	0	4,95	4,95	4,316
	14	0,20	0,99	5	0	4,95	4,95	4,316
	15	0,20	0,99	6	0	5,94	5,94	4,316
	16	0,20	0,99	4	1	3,96	2,96	4,316
	17	0,20	0,99	3	0	2,97	2,97	4,316
	18	0,20	0,99	3	0	2,97	2,97	4,316
	19	0,20	0,99	2	24	1,98	-22,02	4,316
	20	0,20	0,99	3	0	2,97	2,97	4,316
	21	0,25	0,99	2	19	1,98	-17,02	5,395
	22	0,25	1	3	15	3	-12	5,395
	23	0,25	1	6	0	6	6	5,395
	24	0,25	1	6	0	6	6	5,395
	25	0,25	1	5	0	5	5	5,395
	26	0,25	1	5	0	5	5	5,395
	27	0,25	1	5	0	5	5	5,395
	28	0,25	1	4	2	4	2	5,395
	29	0,25	1	5	0	5	5	5,395
	30	0,25	1	5	0	5	5	5,395
Julio	1	0,25	1	5	0	5	5	5,395
	2	0,25	1	6	4	6	2	5,395
	3	0,25	1	2	0	2	2	5,395
	4	0,25	1	3	0	3	3	5,395
	5	0,25	1	2	0	2	2	5,395
	6	0,25	1	3	0	3	3	5,395
	7	0,25	1	3	0	3	3	5,395
	8	0,25	1	1	21	1	-20	5,395
	9	0,25	1	3	0	3	3	5,395
	10	0,25	1	2	14	2	-12	5,395
	11	0,30	1	4	0	4	4	6,474
	12	0,30	0,95	6	0	5,7	5,7	6,474
	13	0,30	0,95	6	4	5,7	1,7	6,474
	14	0,30	0,95	4	0	3,8	3,8	6,474
15	0,30	0,95	3	0	2,85	2,85	6,474	
16	0,30	0,95	3	2	2,85	0,85	6,474	
17	0,30	0,95	2	3	1,9	-1,1	6,474	
18	0,30	0,95	2	3	1,9	-1,1	6,474	
19	0,30	0,95	3	0	2,85	2,85	6,474	
20	0,30	0,95	4	0	3,8	3,8	6,474	
21	0,30	0,95	4	0	3,8	3,8	6,474	
22	0,30	0,95	7	0	6,65	6,65	6,474	
23	0,30	0,95	4	0	3,8	3,8	6,474	

	24	0,30	0,95	5	0	4,75	4,75	6,474
	25	0,30	0,95	4	0	3,8	3,8	6,474
	26	0,30	0,95	4	0	3,8	3,8	6,474
	27	0,30	0,95	4	0	3,8	3,8	6,474
				480	652	440,45	-211,55	436,995
				4800	6520	4404,5	-2115,5	4369,95

Pr (Profundidad radicular), **Kc** (Coeficiente del cultivo), **ETC** (Evapotranspiración)
Uc (Uso consumo), **Ln** (Lamina Neta)

El volumen requerido en m^3/ha se calculo mediante el anterior balance hídrico, obteniéndose un requerimiento de **4369,95 m^3/ha** .

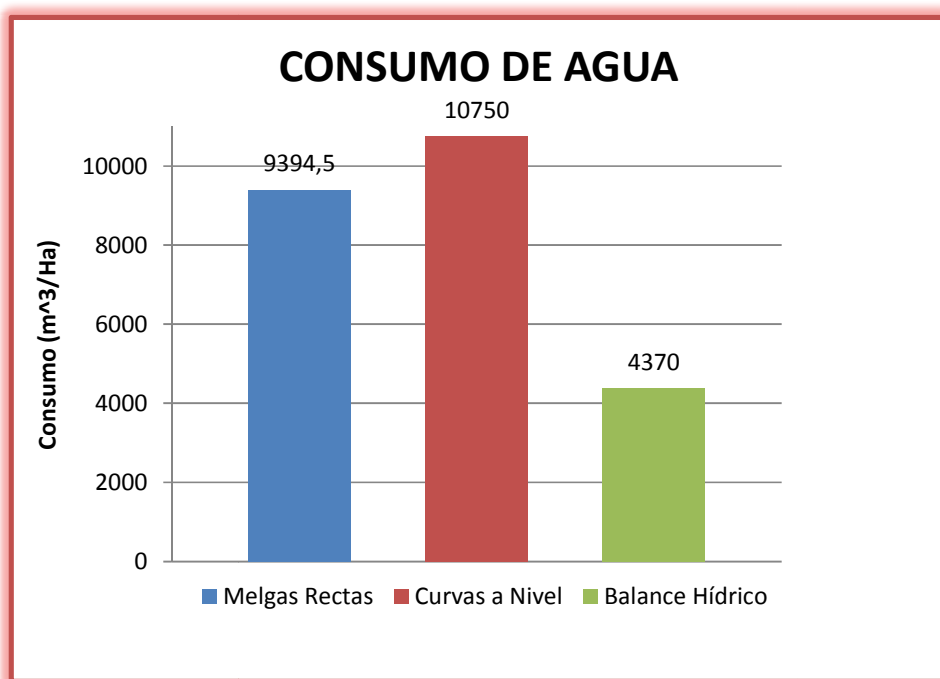
Para la realización del balance hídrico grafica 5. Se tuvieron en cuenta los datos tomados en campo de evaporación y precipitación, graficados en periodo decadal para cada mes del periodo vegetativo.



Gráfica 5. Balance hídrico del arroz

4.4 DIAGRAMA DE RESULTADOS

La gráfica 6. Representa los valores del consumo de agua en metros cúbicos por hectárea. Registrado en los lotes de melgas rectas y curvas a nivel durante el periodo vegetativo, y el requerimiento del cultivo según el balance hídrico.



Gráfica 6. Diagrama de resultados

5. CONCLUSIONES

- El lote de melgas rectas con un consumo de $9394.5\text{m}^3/\text{ha}$ presentó mayor eficiencia en el manejo del recurso hídrico con una reducción del 13% respecto al consumo en el lote de curvas a nivel con $10750\text{ m}^3/\text{ha}$.
- El volumen de agua utilizado en los métodos de riego del centro experimental son bajos debido a que se manejan riegos periódicos (mojas), es decir no se manejan láminas de agua constante.
- El riego en melgas recta es la mejor alternativa para el control de la aplicación de agua, debido a que los caballones y las entradas del agua se mantienen en el mismo sitio durante el periodo vegetativo del cultivo. Situación contraria a lo que se presenta en el riego en curvas a nivel, en donde las entradas del agua dependen del requerimiento de humedad en el terreno.
- El requerimiento hídrico del cultivo es de $4369,95\text{ m}^3/\text{ha}$, lo que indica que los consumos encontrados en el lote de melgas rectas y curvas a nivel son elevados, esto muestra que la aplicación no es la correcta y que usan grandes cantidades en tiempos cortos lo que genera pérdidas por percolación y escorrentía presentándose déficit hídrico.
- Aunque los consumos encontrados en el lote de melgas rectas y curvas a nivel son elevados respecto al requerimiento calculado en el balance hídrico, la mayor cantidad de agua utilizada es aportada por la precipitación, con un aporte de $6520\text{ m}^3/\text{ha}$.
- El área del proyecto presenta una evapotranspiración potencial promedio aproximada de 110 mm al mes. Los periodos críticos en que se requiere la mayor aplicación del riego son; junio y julio con valores de evapotranspiración que oscilan entre 35 mm a 46 mm decadal siendo los meses de mayor necesidad de agua.
- La zona del Juncal presenta un periodo de precipitación en el primer semestre en donde se sobrepasa la evaporación, que son el mes de abril y mayo, determinado así que las temporadas en donde los cultivos necesitan más agua debe coincidir con los meses de mayor precipitación.

6. RECOMENDACIONES

- A pesar que el consumo de agua en el centro experimental es bajo, es necesario buscar otros métodos de riego que disminuyan la demanda del recurso hídrico.
- Es recomendable el revestimiento de los canales de conducción para evitar la pérdida del agua por infiltración en el transporte.
- Se recomienda utilizar estructuras de aforo y reparto para medir la cantidad de agua que se aplica a cada cultivo y entrada al predio.
- Es importante realizar un replanteo de la nivelación de las melgas rectas, debido a que con el paso del tiempo varia la pendiente, generando problemas en el control del agua.
- Se recomienda formular investigación tales como, la automatización del riego por superficie, u otros métodos de riego como el de aspersion buscando disminuir el consumo de agua y aumentar la producción.
- realizar una programación de riego mensual, teniendo en cuenta el balance hídrico para suplir la necesidad de agua de los meses más críticos.
- Capacitar a los trabajadores acerca de la programación de riego, teniendo en cuenta el caudal a aplicar y el tiempo de aplicación.

BIBLIOGRAFIA

1. **Usosaldaña.** 2002. Guía Técnica Sobre El Sistema De Trasplante Manual De Arroz edición Corporación Comarca. Disponible en:http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Transplante%20manual%20de%20arroz.pdf [7 de enero 2011]
2. **Corporación Colombiana de Investigadores Agropecuaria** 1998. frutos de la investigación CORPOICA 5 años. Santafé de Bogotá. Capitulo II pág. 31 disponible en: <http://books.google.com.co/>
3. **Bedoya, C. y Vega, N.** 1987. Manejo del agua en el cultivo de arroz. Ingeniería agrícola Universidad Surcolombiana, Neiva.
4. **Jaramillo J., D F.** Estudio detallado de suelos del lote "La Universidad". Neiva: Universidad Surcolombiana, 1983. 27 Pág.
5. **Marcos, C.** EL Arroz Por Aspersión Lleva Al Optimismo. Artículo disponible en: http://www.deere.com/es_ES/images/library/publications/furrow/2004/n3_v2004.pdf [7 de enero 2011]
6. **Olaya Amaya, D. F.** 2007. Variabilidad espacial para la adecuación de tierras con riego superficial en la granja La Universidad Distrito Juncal- municipio de Palermo. Ingeniería agrícola Universidad Surcolombiana, Neiva.
7. **Perdomo, D., Mujica E.** 2009 Diseño de una alternativa de abastecimiento, canales abiertos y estructuras hidráulicas del riego por superficie en la granja experimental de la universidad surcolombiana. Ingeniería Agrícola Universidad surcolombiana. Neiva.

8. **Ven Te Chow.** HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS. Editorial Mc Graw Hill.1994 pág. 87
9. **Sanint, E., Arevalo, H.** Estudios detallados de suelos y clasificación de tierras para riego en los asentamientos campesinos de los llanos del juncal.1977-1978.
10. **López, J., Caicedo, A.** Manejo de agua en el cultivo del arroz bajo riego. ICA. Fedearroz. 1983 pág 4.
11. **Irri.** International Rice Research Institute. Annual Report . Los baños Laguna Filipinas 1972.
12. **López, J. V.** Demanda y eficiencia de riego por melgas en curvas a nivel para el arroz. Tesis 1985.
13. **Castillo V.D.** Uso consuntivo de agua en diferentes variedades de arroz. República dominicana 1977.

ANEXOS

Anexo 1. Datos estación climatológica

	ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO	
	Ev (mm)	P (mm)	Ev (mm)	P (mm)	Ev (mm)	P (mm)	Ev (mm)	P (mm)
1	4	0	5	0	5	2	5	0
2	3	0	5	0	3	8	6	4
3	7	0	4	50	3	5	2	0
4	10	0	4	2	3	4	3	0
5	6	0	4	25	4	0	2	0
6	5	45	4	42	4	0	3	0
7	4	23	5	0	4	0	3	0
8	2	15	5	0	4	0	1	21
9	3	2	4	0	3	0	3	0
10	5	0	4	0	3	6	2	14
11	5	0	5	0	4	0	4	0
12	5	2	5	0	3	4	6	0
13	5	35	3	0	5	0	6	4
14	5	27	5	0	5	0	4	0
15	4	8	6	0	6	0	3	0
16	6	0	5	0	4	1	3	2
17	2	0	5	0	3	0	2	3
18	2	0	4	0	3	0	2	3
19	3	8	5	3	2	24	3	0
20	3	5	6	0	3	0	4	0
21	2	0	5	0	2	19	4	0
22	4	0	5	30	3	15	7	0
23	5	0	4	12	6	0	4	0
24	3	2	4	10	6	0	5	0
25	3	0	4	21	5	0	4	0
26	3	0	4	5	5	0	4	0
27	4	0	5	10	5	0	4	0
28	4	12	2	0	4	2		
29	3	29	5	0	5	0		
30	3	13	3	0	5	0		
31			4	75				

EV (Evaporación), P (Precipitación)

Anexo 2. Factor Kc para el cultivo del arroz.

	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Brillo solar (%)	9,67	9,67	9,67	7,95	7,95	7,95	7,36	7,36	7,36	7,15	7,15	7,15	8,20	8,20	8,20	8,46	8,46	8,46
Temperatura (°C)	26,60	26,60	26,60	26,8	26,80	26,80	26,7	26,70	26,70	26,4	26,40	26,40	26,4	26,40	26,40	26,9	26,90	26,90
(8,12+0,457 T)	20,28	20,28	20,28	20,37	20,37	20,37	20,32	20,32	20,32	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18	20,18	20,41	20,41	20,41
P (8,12+0,457 T)	196,07	196,07	196,07	161,92	161,92	161,92	149,57	149,57	149,57	144,32	144,32	144,32	165,52	165,52	165,52	172,70	172,70	172,70
Kcp Decadal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,87	0,79	0,77	0,88	0,94	0,95	0,99	1,00	1,00	0,95	0,00
EVT (mm/decadal)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	143,59	130,13	118,16	111,13	127,00	135,66	157,24	163,86	165,52	172,70	164,06	0,00
EVT (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,36	13,01	11,82	11,11	12,70	13,57	15,72	16,39	16,55	17,27	16,41	0,00
EVT (mm/día)	0,00			0,00			13,06			12,46			16,22			16,84		

	JULIO			AGOSTO			SEP/BRE			OCT/BRE			NOV/BRE			DIC/BRE		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Brillo solar (%)	8,36	8,36	8,36	8,78	8,78	8,78	7,99	7,99	7,99	8,41	8,41	8,41	8,52	8,52	8,52	9,15	9,15	9,15
Temperatura (°C)	26,8	26,80	26,80	27,3	27,30	27,30	27,4	27,40	27,40	26,9	26,90	26,90	26,3	26,30	26,30	26,3	26,30	26,30
(8,12+0,457 T)	20,37	20,37	20,37	20,60	20,60	20,60	20,64	20,64	20,64	20,41	20,41	20,41	20,14	20,14	20,14	20,14	20,14	20,14
P (8,12+0,457 T)	170,27	170,27	170,27	180,83	180,83	180,83	164,93	164,93	164,93	171,68	171,68	171,68	171,59	171,59	171,59	184,27	184,27	184,27
Kcp Decadal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,87	0,79	0,77	0,88	0,94	0,95	0,99	1,00	1,00	0,95	0,00
EVT (mm/decadal)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	158,33	143,49	130,29	132,19	151,07	161,38	163,01	169,87	171,59	184,27	175,06	0,00
EVT (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,83	14,35	13,03	13,22	15,11	16,14	16,30	16,99	17,16	18,43	17,51	0,00
EVT (mm/mes)	0,00			0,00			14,40			14,82			16,82			17,97		

P = Brillo solar (%)
 T = Temperatura (°C)
 F = P (8,12+0,457 T)
 K = Factor de cultivo
 U.C. (EVT) = KF

Anexo 3. Valores del coeficiente de rugosidad n
(las cifras en **negrillas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
<i>a.</i> Latón, liso	0.009	0.010	0.013
<i>b.</i> Acero			
1. Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
<i>c.</i> Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
<i>d.</i> Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
<i>e.</i> Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
A-2. No metal			
<i>a.</i> Lucita	0.008	0.009	0.010
<i>b.</i> Vidrio	0.009	0.010	0.013
<i>c.</i> Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
<i>d.</i> Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
<i>e.</i> Madera			
1. Machihembrada	0.010	0.012	0.014
2. Laminada, tratada	0.015	0.017	0.020
<i>f.</i> Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	0.013	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
<i>g.</i> Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
<i>h.</i> Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.016
<i>i.</i> Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.020
<i>j.</i> Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030

(las cifras en **negritas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas con lados de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.030	0.500

(las cifras en **negritas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal
C. Excavado o dragado		
a. En tierra, recto y uniforme		
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027
b. En tierra, serpenteante y lento		
1. Sin vegetación	0.023	0.025
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040
c. Excavado con pala o dragado		
1. Sin vegetación	0.025	0.028
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050
d. Cortes en roca		
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar		
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100
D. Corrientes naturales		
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)		
a. Corrientes en planicies		
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100

Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad n (continuación)
(las cifras en negrillas son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<i>b.</i> Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
<i>a.</i> Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
<i>b.</i> Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
<i>c.</i> Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
<i>d.</i> Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
<i>a.</i> Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	0.060
<i>b.</i> Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

REPORTE FOTOGRÁFICO



Foto 1. Preparación del terreno para instalar la tubería aforada



Foto 2. tubería aforada ya instalada



Foto 3. Pluviómetro y tanque evaporímetro clase A

