UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

“Evaluación del sistema de riego por inundación en el cultivo del arroz (Oryza Sativa L) en la COOPERATIVA DE PRODUCCION AGROPECUARIA VICTORIA DE JULIO (COOPAVIJ), ubicada en la comunidad El Brasil, municipio de Tipitapa, Departamento de Managua”.

TRABAJO MONOGRÁFICO PRESENTADO POR:

Br. Denis Francisco González Bolainez

Br. Joshua Manoel Molina Delgadillo

Br. Larry Alberto Flores Pineda

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

TUTOR

Ing. José Mamerto Méndez Úbeda

ASESOR:

Ing. José Cidar Cárdenas Ortega

MANAGUA, NICARAGUA

Julio, 2014

Dedicatoria

A Dios:

Nuestro padre celestial todo poderoso, por haberme dado la oportunidad de haber concluido una etapa de mi vida y por brindarme la luz que día a día guía mis pasos hacia la senda del bien.

A mis Padres:

Denis Francisco González Navas y Yelba María Bolainez Sáenz, pilares fundamentales en mi formación tanto académica como espiritual, gracias por su apoyo incondicional, por los esfuerzos y sacrificios que realizan para poder cumplir con las metas que me propongo.

A mis Hermanos:

María Amparo, Mike Anthony y Francisco José González Bolainez, quienes han estado a mi lado todo el tiempo, ayudándonos unos a otros para poder sobreponer los obstáculos que se nos presentan en el camino.

A mis Tíos:

Bolainez Sáenz y González Navas, por haber contribuido de una u otra forma en la culminación de mis estudios, estaré profundamente agradecido por los consejos y buenos valores que me han transmitido desde muy temprana edad.

Br. Denis Francisco González Bolainez.

Agradecimientos

A Dios:

Por brindarme protección y derramar bendiciones en todo momento de mi vida. Señor te agradezco por haberme dado el privilegio de contar con los padres y la familia que tengo.

A mis Padres:

Denis González Navas y Yelba Bolainez Sáenz, por haberme acogido con mucho amor en su seno familiar, y posibilitar de los recursos con el fin de brindarme un mejor porvenir en la vida.

A mi Tía:

Mireya Bolainez Sáenz a quien le tengo un profundo aprecio, gracias por su confianza y optimismo depositado.

A mis Familiares y Seres Queridos:

A mis hermanos, tíos y demás familiares, por brindarme consejos y palabras de aliento, que me impulsan de gran manera a buscar como alzar éxitos en la vida.

A mis Compañeros de Tesis:

Joshua Molina y Larry Flores por el esfuerzo compartido para culminar nuestra tesis.

A mi Tutor:

Ing. José Mamerto Méndez Úbeda, quien nos guio desde el principio hasta el final de nuestra investigación.

A mis Compañeros de Clases:

Con quienes compartí momentos agradables, nunca los olvidare y recuerden que en mí siempre encontraran a un verdadero amigo.

Br. Denis Francisco González Bolainez.

Dedicatoria

A Dios:

Nuestro padre celestial por haberme permitido concluir esta etapa tan importante de mi vida y por brindarme sabiduría para concluirla.

A mis Padres:

Manuel Teodoro Molina y Ana Mercedes Delgadillo Reyes, por brindarme todo su amor, apoyo, comprensión y por ser los responsables de toda mi formación y mis logros.

A mis Hermanos:

Mayron Joel Molina y Jaziel Mileyna Molina por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida y por brindarme todo su amor.

A mi Tía:

Ruth Vanesa Ballesteros Delgadillo, por haberme brindado su apoyo y enseñanza durante el proceso de culminación de mis estudios.

Br. Joshua Manoel Molina Delgadillo.

Agradecimientos

A Dios:

Por brindarme protección y salud para seguir día a día en el transcurso de la vida.

A mis Padres:

Manuel Teodoro Molina y Ana Mercedes Delgadillo, por haberme enseñado buenos valores, comprendido y perdonado por mis errores y por su infinito amor.

A mi Tía:

Ruth Vanesa Ballesteros a quien le estoy totalmente agradecido por brindarme su ayuda de una u otra manera para ser una persona mejor.

A mi Tutor:

Ing. José Mamerto Mendez Úbeda, quien nos encamino en el proceso y culminación de esta tesis monográfica.

A nuestro Asesor:

Ing. José Cidar Cardenas, por habernos brindado la oportunidad de trabajar con él y brindado su conocimiento.

A mis Compañeros de Clases:

Que son una parte importante de mi vida, con quienes compartí buenos y malos momentos, a los que nunca me abandonaron muchas gracias.

Br. Joshua Manoel Molina Delgadillo.

Dedicatoria:

A Dios nuestro padre celestial quien me regalo la vida y me diste la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa.

A mis padres Carlos Alberto Flores Mercado y Adela del Carmen Pineda Barrios que han estado conmigo en todo momento ayudándome en mi deseo de superación dándome amor, valentía y haciendo de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas, con sus esfuerzos he llegado a la cima de culminar mis estudios.

A mis hermana y seres queridos que me enseñaron que es posible la vida sin odios donde todos somos hermanos.

A mis compañeros y profesores quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimiento dándome confianza, paciencia.

Br. Larry Alberto Flores Pineda.

Agradecimiento:

En esta monografía le agradezco a Dios por sobre todas las cosas que me haya puesto en mi camino a personas buenas que me apoyaron en todo el transcurso de mi carrera ya que significa un paso más en la vida para ser mejores y servirle a la población nicaragüense.

Le agradezco a mi padres, especialmente a mi mamá Adela del Carmen Pineda Barrios y a mi papá Carlos Alberto Flores Mercado, que me motiva cada día a salir adelante e impulsándome a intentarlo una vez más, a no desfallecer en el intento aunque todas las circunstancias indiquen que no se puede.

A mi tutor, Ing. José Mamerto Méndez Úbeda por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

Br. Larry Alberto Flores Pineda.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Cooperativa de Producción Agropecuaria Victoria de Julio (COOPAVIJ), ubicado en la comunidad El Brasil, municipio de Tipitapa, departamento de Managua; la cual comprende un área de 300 hectáreas, dividiéndose en 3 cuadrantes (39, 43 y 49) con una extensión de 100 ha cada uno, de las cuales 211.26 hectáreas (300 mz) son área neta de riego. La configuración del terreno es de forma circular, ya que cuando inició a operar el antiguo ingenio azucarero Victoria de Julio se dispuso a regar por medio de pivotes centrales el cultivo de caña de azúcar en gran parte de éste.

Con referente a la evaluación del riego básicamente lo que se hizo fue: un estudio de suelos para determinar las propiedades hidrofísicas de los suelos, un levantamiento altiplanimétrico de cada uno de los cuadrantes para determinar la topografía de estos, pruebas de velocidad de infiltración, estudio hidráulico del canal principal de la Presa “El Genízaro” y de los canales internos de la cooperativa, un ensayo en melga para determinar la eficiencia parcelaria.

En el estudio de suelo se encontraron altos porcentajes de arcilla, siendo la textura de suelo arcillosa; es un suelo con valores bajos de densidad aparente lo que nos indica que este no es compacto, la porosidad es alta lo que permite un buen almacenamiento de las láminas de agua aplicadas, es un suelo con mucha materia orgánica ya que tomamos como referencia los valores de densidad real. La capacidad de retención de agua es alta, lo que conviene ya que obtenemos un óptimo desarrollo de las plantas, esto es gracias a los indicadores de capacidad de campo y los de punto de marchitez permanente.

Así mismo se hizo un estudio hidráulico del canal principal de la Presa “El Genízaro” cuya longitud desde la salida de la presa hasta la segunda derivación es de aproximadamente 6.6 km, en este trayecto se aforaron nueve puntos por el método del flotador conociendo así el valor del caudal de la salida de la presa de 1.48 m^3/s, de estos solamente 0.53 m^3/s son aprovechables para la irrigación de la cooperativa ya que existen fugas e instalaciones de equipos de bombeo para suplir la demanda de agua de áreas aledañas.

El mismo método de aforo se utilizó en los canales internos para conocer el caudal que entra a cada melga; para la determinación de las eficiencias parcelarias, se aforó a la entrada de una melga de 1591 mts^2 por el método volumétrico en el cual se obtuvo un valor de 415 gpm; se aplicó el riego durante 3 horas para observar el avance y receso del agua. La eficiencia de aplicación es de 21.37%, la eficiencia de almacenamiento 100% y la eficiencia de distribución es del 96.21%, según estos valores se puede decir que el riego es excesivo.

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1.INTRODUCCIÓN 1

1.2.ANTECEDENTES 2

1.3.JUSTIFICACIÓN 3

1.4.OBJETIVOS 4

1.4.1. OBJETIVO GENERAL 4

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

1.5.LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 5

1.5.1. MACROLOCALIZACIÓN 5

1.5.2. MICROLOCALIZACIÓN 5

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1.SUELO 6

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EXISTENTES EN LA ZONA 6

2.1.2. MUESTREO DE SUELOS 7

2.1.2.1. Sistemas de determinación para suelos 7

2.1.2.2. Tipos de muestras 8

2.1.3. PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO 8

2.1.3.1. Textura 8

2.1.3.2. Capacidad de Campo (Cc) 9

2.1.3.3. Punto de marchitez permanente (PMP) 9

2.1.3.4. Densidad Aparente (Da) 10

2.1.3.5. Densidad real (Dr) 11

2.1.3.6. Porosidad 11

2.1.3.7. Infiltración 12

2.2.RIEGO 13

2.2.1. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE RIEGO SUPERFICIAL 13
2.2.1.1. Fases del riego superficial 14
2.2.1.2. Riego por melgas o fajas 15
2.2.2. EFICIENCIAS PARCELARIAS 18
2.2.2.1. Eficiencia de Aplicación 19
2.2.2.2. Eficiencia de Almacenamiento 20
2.2.2.3. Eficiencia de Distribución 20
2.2.3. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE RIEGO 22
2.2.3.1. Pérdidas de agua 23
2.2.3.2. Aforo por el método del flotador 24
2.2.3.3. Software HCANALES 26
2.3. CULTIVO DE ARROZ 27
2.3.1. MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA 28
2.3.2. ADAPTACIÓN DEL ARROZ A LOS SUELOS INUNDADOS 28
2.3.3. MEJORA GENÉTICA 29
2.3.4. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS 29
2.3.4.1. Clima 29
2.3.4.2. Temperatura 29
2.3.4.3. Suelo 30
2.3.4.4. pH 30
2.3.5. LABORES CULTURALES 31
2.3.5.1. Preparación del terreno 31
2.3.5.2. Siembra 31

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

3.1.MÉTODOS 32
3.1.1. Toma de muestras de suelo 32
3.1.2. Procedimiento de laboratorio 32
3.1.3. Levantamiento altiplanimétrico 36
3.1.4. Determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo 36
3.1.5. Aforos del canal principal y red de canales internos 37
3.1.6. Análisis hidráulico de la red de canales 38
3.1.7. Determinación de las eficiencias parcelarias 39

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS 41
4.1.1. Textura 41
4.1.2. Capacidad de Campo (Cc) 41
4.1.3. Punto de Marchitez Permanente (PMP) 41
4.1.4. Densidad aparente (Da) 42
4.1.5. Densidad real (Dr) 42
4.1.6. Porosidad (P) 42
4.1.7. Velocidad de infiltración 43
4.2.ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LOS CANALES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS 43
4.2.1. Análisis hidráulico del canal principal 44
4.2.2. Análisis hidráulico de los canales secundarios 60
4.2.3. Cálculo de las eficiencias parcelarias 70

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES 74
5.2.RECOMENDACIONES 76
BIBLIOGRAFÍA 78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

Figura 2. Ubicación de la Cooperativa de Producción Agropecuaria Victoria de Julio (COOPAVIJ)

Figura 3. Diámetro de las partículas del suelo según la clasificación USDA

Figura 4. Estados de humedad del suelo

Figura 5. Curvas de Infiltración

Figura 6. Representación esquemática de las etapas o fases de un riego por superficie

Figura 7. Etapas del riego por escurrimiento superficial

Figura 8. Perfil transversal del agua infiltrada en riego por superficie

Figura 9. Esquema representativo de tres situaciones de riego (deficitario, normal y excesivo), y de las eficiencias de aplicación, almacenamiento y distribución parcelaria

Figura 10. Sección transversal de un canal, mostrando talud y otros detalles

Figura 11. Tipos de pérdidas de agua en canales

Figura 12. Medición de la velocidad del agua por el método del flotador

Figura 13. Determinación del área de un canal

Figura 14. Determinación de la textura de suelos

Figura 15. Determinación de la CC y PMP por el método de la Olla de Richard

Figura 16. Aforo por el método del flotador

Figura 17. Software Hcanales

Figura 18. Puntos de aforos del canal principal

Figura 19. Sección transversal del punto de aforo “Salida de la presa”

Figura 20. Sección transversal del punto de aforo “Canal aéreo”

Figura 21. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 1”

Figura 22. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 2”

Figura 23. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 3”

Figura 24. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 4”

Figura 25. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 5”

Figura 26. Sección transversal del punto de aforo “Compuerta 1”

Figura 27. Sección transversal del punto de aforo “Compuerta 2”

Figura 28. Puntos de aforo de los canales secundarios

Figura 29. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 6”

Figura 30. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 7”

Figura 31. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 8”

Figura 32. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 9”

Figura 33. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 10”

Figura 34. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 11”

Figura 35. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 12”

Figura 36. Sección transversal del punto de aforo “Afo. 13”

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 1: Evaluación de la Capacidad de Campo

Tabla Nº 2: Evaluación del Punto de Marchitez Permanente

Tabla N° 3: Evaluación de la Densidad aparente

Tabla N° 4: Evaluación de la Densidad real

Tabla N° 5: Evaluación de la Porosidad

Tabla N° 6: Evaluación de la Velocidad de infiltración

Tabla Nº 7: Calificación de las eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución en parcela para métodos de riego por superficie

Tabla Nº 8: Diferentes métodos en la siembra de arroz

Tabla Nº 9: Resultados de textura de suelos

Tabla Nº 10: Resultados de capacidad de campo

Tabla Nº 11: Resultados de punto de marchitez permanente

Tabla Nº 12: Resultados de densidad aparente

Tabla Nº 13: Resultados de densidad real

Tabla Nº 14: Resultados de porosidad

Tabla Nº 15: Resultados de velocidad de infiltración

Tabla Nº 16: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Salida de la presa”

Tabla Nº 17: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Canal aéreo”

Tabla Nº 18: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 1”

Tabla Nº 19: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 2”

Tabla Nº 20: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 3”

Tabla Nº 21: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 4”

Tabla Nº 22: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 5”

Tabla Nº 23: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Compuerta 1”

Tabla Nº 24: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Compuerta 2”

Tabla Nº 25: Resultados de las pérdidas parciales del canal principal “El Genízaro”

Tabla Nº 26: Análisis hidráulico del canal principal “El Genízaro”

Tabla Nº 27: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 6”

Tabla Nº 28: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 7”

Tabla Nº 29: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 8”

Tabla Nº 30: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 9”

Tabla Nº 31: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 10”

Tabla Nº 32: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 11”

Tabla Nº 33: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 12”

Tabla Nº 34: Datos recolectados en campo del punto de aforo “Afo. 13”

Tabla Nº 35: Análisis hidráulico de los canales internos de la cooperativa

Tabla Nº 36: Tiempos de avance recolectados en campo

Tabla Nº 37: Tiempos de receso recolectados en campo

Tabla Nº 38: Cálculo de la humedad antes del riego

Tabla Nº 39: Cálculo de la humedad después del riego

Tabla Nº 40: Patrón de infiltración

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

La Cooperativa Producción Agropecuaria Victoria de Julio (COOPAVIJ), presidida por el señor Gerardo Galeano se encuentra ubicada en la comunidad El Brasil, en el sector del antiguo ingenio TIMAL, ubicado a unos 20 Km en la parte Noreste del casco urbano del municipio de Tipitapa, físicamente los lotes de terreno Nº. 39, 43 y 49, con una extensión de 300 mz con cultivo de arroz (211.26 ha).

Actualmente la cooperativa cuenta con 10 medianos productores asociados. Estos se han dedicado durante varios años al cultivo de arroz, bajo la modalidad de ejecutar dos ciclos productivos (invierno y verano).

El sistema de riego implementado en la cooperativa es meramente artesanal, por inundación; es por esta razón que se considera de mucha importancia evaluar el sistema de riego en general, en concordancia con las diferentes etapas fenológicas del cultivo, tomando como aspecto principal el manejo adecuado de éste por parte del personal, para lograr una adecuada explotación y mayores rendimientos.

El riego superficial es el método de riego que se ha venido empleando desde hace más tiempo en todo el mundo; es preciso, por tanto conocer sus características de forma detallada planteando las ventajas que presenta por sí mismo o con respecto a otros métodos así como los inconvenientes que surgen cuando se plantea implantar un sistema de este tipo.

Durante la ejecución normal de un riego pueden suceden cuatro etapas o fases de forma consecutiva: el avance del agua sobre la superficie del suelo, su almacenamiento, el agotamiento hasta que algún punto queda sin agua sobre la superficie y finalmente el receso, hasta que todo el agua se infiltra totalmente y desaparece de la parcela. La duración del avance y el receso determinarán el tiempo de avance, el tiempo de receso. En el riego por superficie la cantidad de agua infiltrada en un punto depende de las características del suelo y del tiempo que el agua permanece en contacto con el suelo y está, por tanto, infiltrándose.

El presente estudio se realizó en el periodo comprendido entre los meses de enero-abril del año 2013, cuando el sistema de riego estaba en operación, permitiendo la ejecución de un sin número de pruebas de campo, que muestran la situación real del sistema y su eficiencia.

1.2. ANTECEDENTES

Según Franco, 1990; la agricultura irrigada comenzó en Nicaragua en la década de los años 60 con el riego por gravedad. En el año 1970 el área total irrigada en Nicaragua era de unas 43,300 ha. En el período desde 1970-1975 las áreas de riego tuvieron un ascenso extraordinario de aproximadamente 4,000 ha anuales producto del beneficio que la agricultura de riego propinaba a los agricultores (principalmente privados), llegando a totalizar unas 63,300 ha de riego, correspondiendo el 60% de las áreas localizadas en la región del pacífico. Poco incremento (unas 70 ha) de las áreas de riego se dio lugar de 1975 hasta 1977.

En éste último año, las cifras de áreas con agricultura bajo riego contabilizaban unas 64,000 ha; sin embargo, durante 1978 se desarrollaron 6,500 ha lo que significó un incremento de 11% con respecto al año anterior. Durante este período, los cultivos predominantes bajo riego fueron algodón, banano, granos básicos y en menor escala, hortalizas y frutales.

En el período de 1970-1978 se introdujeron sistemas de riego por aspersión convencional en el departamento de León. Los sistemas de riego por gravedad, sin embargo, continuaron utilizándose (MIDINRA, 1989). Hasta 1979, Nicaragua no contaba con una política definida de riego, por lo tanto el desarrollo del riego conservaba un carácter bastante desordenado. Tampoco existía una entidad gubernamental que en forma única y sistemática tuviera a su cargo las actividades de estudio, programación y ejecución de los proyectos de riego a nivel nacional.

En Mayo del año 2009, la Cooperativa haciendo uso de las facultades que le confiere la ley solicita registrarse y presenta Acta de Certificación en El Registro Nacional de Cooperativas del Instituto Nicaragüense de Fomento Cooperativo INFOCOP. Por otro lado, los socios de esta cooperativa se han dedicado durante varios años al negocio de la producción de arroz bajo la modalidad de ejecutar dos ciclos productivos (invierno y verano), la producción en granza de estos dos ciclos la comercializan con la empresa procesadora de arroz, conocida como AGRICORP, la cual se encarga de darle el procesamiento y comercialización del producto final (arroz secado, trillado en arroz oro y sus derivados y empacado).

Cabe mencionar que no se encontró antecedentes de evaluación de riego superficial, por lo tanto es de vital importancia la aportación sobre el comportamiento del riego por inundación en Nicaragua, para que los productores y los centros de producción en los que se utiliza este método de riego tomen las medidas pertinentes para mejorar la eficiencia de sus áreas bajo riego.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Disponer de un sector socialmente dinámico y rentable implica también mejorar los índices de productividad y competitividad. En los procesos productivos del arroz existe un conjunto de factores que limitan la eficiencia productiva y económica, entre ellos el más importantes es: deficiencia tecnológica en el uso y manejo del agua, es por tal razón que es de vital importancia evaluar el sistema de riego en general y determinar las eficiencias en la parcela (Booher, 1974).

El municipio de Tipitapa se caracteriza por tener un clima tropical, con inviernos cortos que con la actual situación global, los veranos se están prolongando; es por esta razón que la actividad agrícola bajo riego es fundamental para el crecimiento productivo del país.

La necesidad de incrementar la eficiencia del riego por melgas en la agricultura comercial de alto nivel tecnológico, está determinada por la posibilidad de disminuir, a un costo bajo, las pérdidas de agua por percolación profunda y por escurrimiento superficial fuera de la melga (MORÁBITO, 2003).

Asimismo, es necesario aumentar la uniformidad de la distribución de las láminas de agua infiltradas en diferentes puntos a lo largo de las melgas para asegurar una disponibilidad homogénea de agua para las plantas en todo el campo regado (MORÁBITO, 2003).

Al realizar este trabajo se pretendió, no solo diagnosticar sino también dar solución a la problemática existente en la cooperativa, por el uso inadecuado que se está haciendo de la fuente de abastecimiento y en general al sistema de riego; de ahí que se les ofrece alternativas para un mejor desempeño en la distribución del agua hacia cada parcela.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el funcionamiento del riego por inundación en el cultivo de Arroz, en la Cooperativa de Producción Agropecuaria Victoria de Julio (COOPAVIJ), en el municipio de Tipitapa, departamento de Managua.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades hidrofísicas del suelo para la valoración de la capacidad de almacenamiento de agua y adaptabilidad del cultivo a través de pruebas de campo y análisis de laboratorio.

- Realizar aforos de las fuentes de abastecimiento para la estimación de la cantidad de agua disponible de riego utilizando el método del flotador.

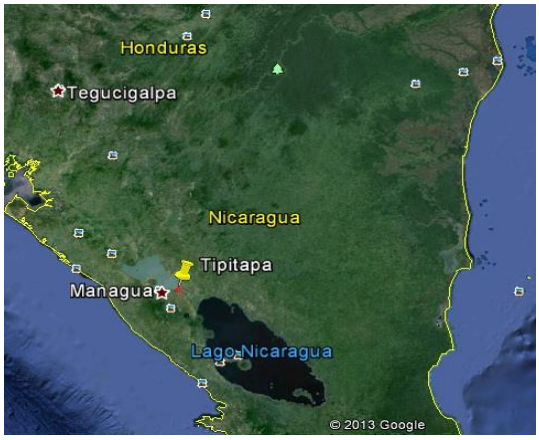
- Determinar las eficiencias parcelarias (eficiencia de aplicación, almacenamiento y distribución) del sistema de riego por inundación.

1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.5.1. MACROLOCALIZACIÓN

Este estudio se realizó en la comunidad El Brasil, en el sector del **Área del Antiguo Ingenio TIMAL,** a unos 20 Km. en la parte Noreste del casco urbano del municipio de Tipitapa, departamento de Managua, con coordenadas N12º15´22´´ W85º56´33´´

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.



Fuente: Software Google Earth.

1.5.2. MICROLOCALIZACIÓN

La Cooperativa de Producción Agropecuaria Victoria de Julio (COOPAVIJ) está ubicada a unos 1.5 km de la Comunidad el Brasil en el sector del antiguo Ingenio TIMAL, específicamente los cuadrantes 39, 43 y 49, con coordenadas 12º15´21´´ y 12º13´55´´ latitud norte; 85º56´32´´ y 85º57´16´´ Longitud oeste.

Figura 2. Ubicación de la Cooperativa de Producción Agropecuaria Victoria de Julio (COOPAVIJ).



CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. SUELO

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EXISTENTES EN LA ZONA

Los suelos del área de Tipitapa – Malacatoya se pueden clasificar de acuerdo a sus características morfológicas generales en cuatro grupos: suelos rojizos, negros pesados, salinos o alcalinos y tierras indiferenciadas.

- **Suelos Rojizos**

Estos se localizan en la planicie volcánica y en superficie ligeramente más altas en la planicie de sedimentación. Se han desarrollado a partir de tobas volcánicas y presentan una secuencia de horizontes genéticos de tipo A-Bt-C (Series Chilamatillo, Los Laureles y Finlandia). Algunos suelos perturbados por la acción de la erosión laminar manifiestan variaciones en su secuencia original, presentando perfiles de tipo A-B-C (Serie El Triunfo); cubre una superficie de 13,602 Ha.

A continuación se describen las características morfológicas y fisicoquímicas más relevantes de la serie que conforma el área de la cooperativa:

- **Serie Los Laureles**

Corresponden a la clasificación taxonómica de udicArgiustolls y ocupan una superficie de 4,060 Ha (8.4%). Que se localizan en topografía de plana a ligeramente ondulada (0 a 3%).

Son de moderadamente profundo a profundos (60 a más de 100 cm) con drenaje que varía de bueno a moderadamente excesivo y se encuentran erosionados en grado de moderado a fuerte. Las texturas son finas en los horizontes A y Bt, y livianas en el C; presentan una buena estructura en tamaño, forma y grado.

La materia orgánica es baja en todo el solum; la reacción media en el solum y ligeramente alcalina en el C; la capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases es alta en todo el perfil a excepción del horizonte C, que es baja; la saturación de bases es alta en todo el perfil; son altos en potasio y bajos en fosforo. La velocidad de infiltración es moderada (2 cm/hr).

2.1.2. MUESTREO DE SUELOS

Una muestra del suelo es usualmente empleada para cuantificar y determinar sus características. La muestra consiste en una mezcla de porciones de suelo (sub muestras) tomadas al azar de un terreno de forma homogénea. Es importante que la muestra de suelos sea representativa del terreno que se desea evaluar (García, Aragón y Gómez, 2004).

Los análisis de suelos en el laboratorio se hacen siguiendo metodologías bastante detalladas y con técnicas analíticas que persiguen estudios favorables de precisión. Cuando se planea un plan de fertilización de cultivos, el mismo incluye dos etapas: el diagnóstico de las necesidades de fertilización (que nutrientes y cuanto aplicar), y el manejo de la fertilización, que fuentes utilizar, cuando y como aplicar (García, Aragón y Gómez, 2004).

El diagnóstico de la fertilización se basa en el conocimiento de la demanda nutricional del cultivo, que depende del rendimiento esperado, y de la oferta nutricional del sistema, evaluada a partir del análisis del suelo, las condiciones de suelo y clima y el manejo del suelo y del cultivo (García, Aragón y Gómez, 2004).

2.1.2.1. Sistemas de determinación para suelos

- **Muestreo al azar:** requiere contar con un plano de la finca, situarlo en un sistema de coordenadas e ir tomando de modo aleatorio parejas de coordenadas (x, y), que nos determinaran los puntos de toma de muestras (García, Aragón y Gómez, 2004).

- **Muestreo sistemático:** Basado en que dos puntos de una misma finca, cuanto más próximos se encuentren entre ellos más parecidos serán. Tomamos el plano de la finca y superponemos una malla de manera que los puntos de intersección sean los puntos de muestreo (García, Aragón y Gómez, 2004).

- **Método de las zonas o parcelas homogéneas:** Es el de mayor captación. Es imprescindible que además de tener el plano recorramos toda la finca a fin de distinguir a simple vista las diferentes zonas homogéneas (García, Aragón y Gómez, 2004).

2.1.2.2. Tipos de muestras

- **Muestras simples alteradas:** son aquellas en las que el suelo no mantiene ni la forma ni el volumen que tenía antes de la toma.

- **Muestras inalteradas:** mantienen la forma y el volumen que tenían en el suelo.

- **Muestras completas:** se utiliza cuando se cree que la zona es debido a su tamaño muy homogénea, y en lugar de realizar varios análisis se recogen varias muestras, se mezclan perfectamente y se realiza un único análisis con una parte de esa mezcla (Icardo y Gracía, 2007).

2.1.3. PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO

Si disgregamos un trozo de suelo seco con la mano, veremos que está compuesto de partículas de diferentes tamaños. La mayoría de estas partículas tienen su origen en la degradación de las rocas, y se llaman partículas minerales. Algunas partículas se originan a partir de restos de plantas y animales (hojas podridas, trozos de hueso, etc.), son las llamadas partículas orgánicas o materia orgánica (Carrazón, 2007).

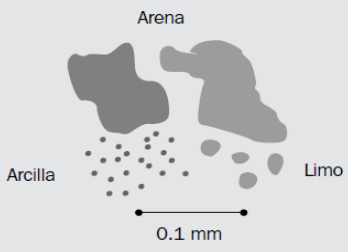
Aunque tanto las partículas minerales como las orgánicas parecen tocarse entre sí, en realidad dejan espacios entre ellas. Estos espacios son llamados poros. Cuando el suelo está seco, los poros están principalmente ocupados por aire o vapor de agua. Por el contrario, tras una lluvia o un riego intenso, estos poros se llenarán de agua (Carrazón, 2007).

2.1.3.1. Textura

Las partículas minerales del suelo pueden clasificarse de acuerdo a su tamaño según la tabla de la Figura 3.

Figura 3. Diámetro de las partículas del suelo según la clasificación USDA.

Partículas de suelo	Diámetro (mm)
Gravas y piedras	> 2.0
Arena	0.05 - 2.0
Limo	0.002 - 0.05
Arcilla	< 0.002



Fuente: Hillel (1980).

La proporción en que las partículas de arena, limo y arcilla se encuentran en el suelo definen la textura del mismo, la cual se determina según el triángulo textural. Las partículas mayores de 2 mm no son tomadas en cuenta para la determinación de la textura (Carrazón, 2007).

En función de su textura, los suelos se dividen en los siguientes tipos básicos:

Los suelos arenosos (también llamados ligeros o de textura gruesa) carecen de propiedades coloidales y de reservas de nutrientes, presentan mala estructura, buena aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua (Carrazón, 2007). *Los suelos arcillosos* (también llamados pesados o de textura fina) son muy activos desde el punto de vista químico, absorben iones y moléculas, son muy ricos en nutrientes, retienen mucha agua, bien estructurados, pero son impermeables (Carrazón, 2007).

Los suelos limosos no tienen estructura sin propiedades coloidales, son impermeables y con mala aireación (Carrazón, 2007).

2.1.3.2. Capacidad de Campo (Cc)

Es el máximo nivel de humedad que el suelo puede retener, es decir, el contenido de humedad del suelo una vez que el drenaje ha terminado. En este estado de humedad, los poros grandes contienen tanto aire como agua, mientras que los más pequeños están aún repletos de agua (Ver Figura 4).

A capacidad de campo, se considera que el contenido de humedad del suelo es el ideal para el crecimiento de los cultivos. Se expresa en porcentaje de volumen de agua (Carrazón, 2007).

Tabla Nº 1: Evaluación de la Capacidad de Campo.

Capacidad de Campo volumen %	Evaluación
<20	Baja
20 – 40	Media
40 – 55	Alta
>55	Muy Alta

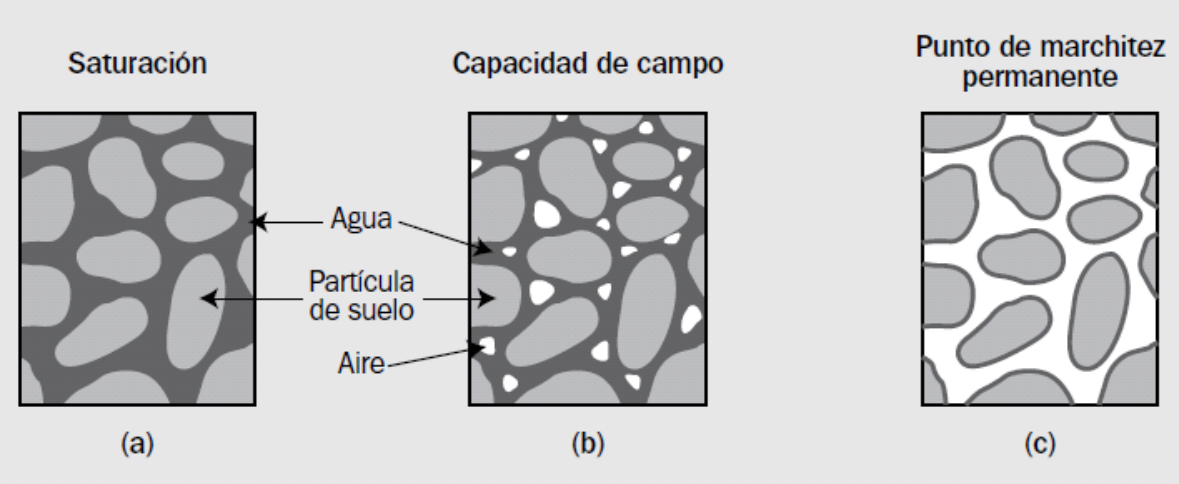
Fuente: Yague, Fuentes (2003).

2.1.3.3. Punto de marchitez permanente (PMP)

Si el suelo no recibe nuevos aportes de agua, la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya poco a poco. Cuanto más se seca el suelo, más firmemente es retenida el agua por el suelo, y más difícil resulta para las plantas extraerla (Carrazón, 2007).

Llega un momento en que la extracción del agua por parte de las plantas no es suficiente para cubrir sus necesidades y empiezan a marchitarse y finalmente mueren. El suelo aun contiene cierto nivel de humedad, pero resulta imposible para las raíces de las plantas succionar el agua que queda (Ver Figura 4).

Figura 4. Estados de humedad del suelo.



Fuente: Brouwer et al. (1985).

Tabla Nº 2: Evaluación del Punto de Marchitez Permanente.

Punto de Marchitez Permanente %	Evaluación
<9.2	Baja
9.2 – 24.5	Media
24.5 – 45.8	Alta
>45.8	Muy Alta

Fuente: Yague, Fuentes (2003).

2.1.3.4. Densidad Aparente (Da)

La densidad aparente (también llamada peso específico aparente) es una medida de la porosidad de un suelo. Se determina dividiendo el peso de suelo seco entre el volumen total, de modo que un mayor valor de densidad aparente significará menor porosidad. Se representa como **"D_a"** y se mide en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o en toneladas por metro cúbico (tn/m^3) (Carrazón, 2007).

La fórmula es:

$$D_a = \frac{Pss}{V_T}$$

La densidad aparente es importante porque determina la compactación y la facilidad de circulación de agua y aire. A efectos de riego conocer su valor es esencial porque caracteriza la capacidad de almacenaje de agua en el suelo. Es necesario saber que su valor no es inmutable sino que varía según los cambios que se produzcan en el suelo respecto al volumen de poros. Por ejemplo, la compactación por la labranza, o la disminución de materia orgánica disminuyen el volumen de poros e incrementan la densidad aparente (Carrazón, 2007).

Tabla N° 3: Evaluación de la Densidad aparente.

Evaluación	gr/cm^3
Muy Bajo	<1.00
Bajo	1.00 – 1.20
Mediana	1.20 – 1.45
Alta	1.45 – 1.60
Muy Alta	> 1.60

Fuente: Yague, Fuentes (2003).

2.1.3.5. Densidad real (Dr)

Es la relación que hay entre el peso del suelo y el volumen que este ocupa, expresado en gr/cm^3, aquí no se cuenta con el valor de los espacios porosos ocupados por el agua y el aire (Carrazón, 2007).

Tabla N° 4: Evaluación de la Densidad real.

Evaluación	gr/cm^3
Bajo	<2.40
Medio	2.40 – 2.60
Alto	2.60 – 2.80
Muy Alto	>2.80

Fuente: Yague, Fuentes (2003).

2.1.3.6. Porosidad

Como consecuencia de la textura y estructura del suelo tenemos su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o poros. Los poros en el suelo se distinguen en: macroporos y microporos. Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los microporos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares (Yague Fuentes, 2003).

Los terrenos arenosos son ricos en macroporos, permitiendo una rápida infiltración del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los suelos arcillosos son ricos en microporos, y pueden manifestar una escasa aeración, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua (Yague Fuentes, 2003).

Tabla N° 5: Evaluación de la Porosidad.

Evaluación	%P
Muy Alta	> 65
Alta	55 – 65
Mediana	45 – 55
Baja	40 – 45
Muy Baja	< 40

Fuente: Yague, Fuentes (2003).

2.1.3.7. Infiltración

Se denomina infiltración al proceso mediante el cual el agua penetra en el suelo, y tasa o velocidad de infiltración (I) a la rapidez a la cual el agua se infiltra. La tasa de infiltración es una de las características del suelo más importantes para el diseño, operación y evaluación de sistemas de riego; de ahí que sea absolutamente necesario obtener información confiable sobre esta característica, para estimar la velocidad de infiltración, se utiliza la ecuación universal del académico Kostiacov (Carrazón, 2007).

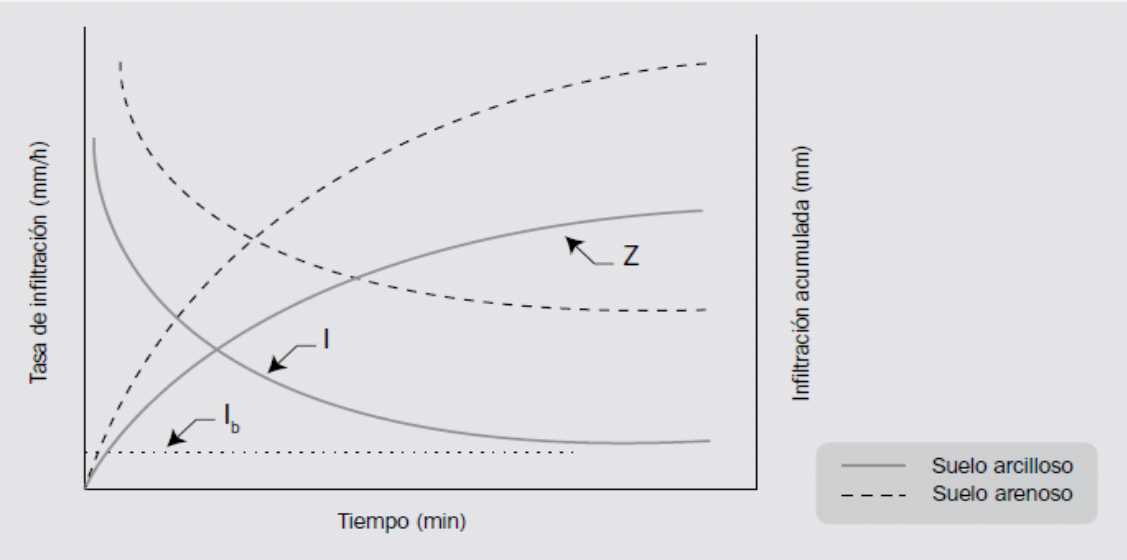
$$I = a * b^t \qquad \textbf{(Ec. 1)}$$

Aparte de la tasa de infiltración, es necesario conocer otros dos conceptos (Ver Figura 5).

***Infiltración acumulada (Z)*:** Es la cantidad total de agua (medida en altura de lámina de agua) que se ha infiltrado en el suelo en un tiempo determinado.

Infiltración básica (Ib): Es el valor más o menos constante que adquiere la tasa de infiltración después de haber transcurrido ya algún tiempo de lluvia o riego. Su valor determina el tiempo máximo de riego.

Figura 5. Curvas de Infiltración.



Fuente: Carrazón, 2003.

Tabla N° 6: Evaluación de la Velocidad de infiltración.

Evaluación	mm/hr
Muy lenta	< 2
Lenta	2 – 5
Moderadamente lenta	5 – 20
Moderada	20 – 65
Moderadamente rápida	65 – 125
Rápida	125 – 250
Muy rápida	> 250

Fuente: Yague, Fuentes (2003).

2.2. RIEGO

2.2.1. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE RIEGO SUPERFICIAL

Los métodos por escurrimiento superficial se usan en más del 85% de las tierras bajo riego del mundo (300 millones ha), en todo tipo de cultivos y en la mayoría de los suelos y de las condiciones topográficas. Del 15 % restante el 10% bajo aspersión y el 5% mediante riego por goteo. Las principales ventajas de estos métodos son: costos de inversión medios (a menos que se requiera un gran movimiento de suelo), costos de operación y mantenimiento (O&M) también medios y bajos requerimientos de energía (Morábito, 2008).

Las desventajas son en general grandes pérdidas de agua, disminución del espacio cultivable (red de riego: matriz primaria, canales, acequias de riego y obras complementarias), necesidad de una adecuada nivelación del terreno y alto requerimiento de mano de obra especializada (regadores experimentados) (Faci González, 1994).

2.2.1.1. Fases del riego superficial

En cualquier sistema de riego por superficie, la aplicación del agua a la parcela implica una serie de etapas o fases en referencia al movimiento del agua, su almacenamiento sobre la superficie del suelo y su infiltración. En cualquier sistema de riego se pueden producir todas estas etapas o fases, pero en determinados casos alguna de ellas puede no existir.

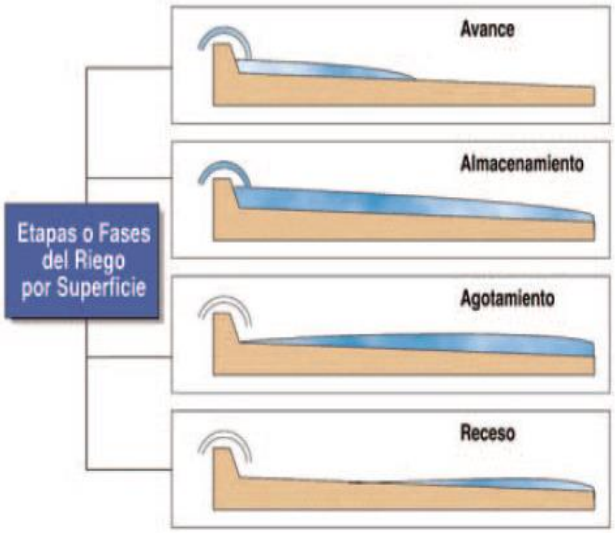
Un desarrollo habitual o normal de un riego por superficie consiste en lo siguiente: Avance del agua sobre la superficie a partir del momento en que comienza a ser aplicada. Se origina el avance de ésta por la superficie del suelo hasta alcanzar el punto más lejano considerando que ha finalizado el avance cuando todos los lugares a los que debe llegar el agua se han mojado (Fernández Gómez, 1999).

El avance del agua sobre el suelo puede tener una duración muy diversa dependiendo del tipo de sistema de riego por superficie, pero básicamente depende de: el caudal aplicado, la pendiente, la longitud del canal que debe recorrer el agua y de la capacidad de infiltración del suelo. A mayor caudal, mayor pendiente y menor longitud de parcela, menor será el tiempo necesario para que el agua cubra todos los puntos de la parcela y se complete el avance. A efectos de cantidad de agua infiltrada con el riego lo ideal es que el avance sea rápido para que todos los puntos de la parcela permanezcan mojados el tiempo más parecido posible, pero esto supone un riesgo de erosionar el suelo (Fernández Gómez, 1999).

Cuando se ha cortado el suministro de agua en cabecera, la infiltración del agua en el suelo, unida al escurrimiento si hay pendiente, hace que el agua almacenada sobre la superficie vaya desapareciendo poco a poco, tiempo durante el cual se produce el agotamiento paulatino del agua que existe sobre el suelo.

Si la parcela no tiene pendiente y está perfectamente nivelada, el receso se produce simultáneamente en todos los puntos. De lo contrario, lo habitual será que el receso comience en cabecera y termine en cola (Fernández Gómez, 1999).

Figura 6. Representación esquemática de las etapas o fases de un riego por superficie.



Fuente: Fernández Gómez, 1999.

2.2.1.2. Riego por melgas o fajas

En este tipo de riego, la superficie del terreno se riega en forma dirigida o controlada, guiando el agua en sentido, caudal y tiempo, de manera que al final se aplica la lámina neta (Fernández R., 1998).

¿Cuándo se utilizan sistemas de riego por melgas o fajas?

1. Para Cultivos densos.
2. Para cultivos en siembra directa.
3. Cuando la pendiente es solo de manera longitudinal para un riego uniforme.

- **Descripción**

El terreno se divide en fajas por medio de bordos paralelos, para que cada faja se riegue independientemente. Las fajas deben tener poca o ninguna pendiente, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal, para realizar el riego (Prieto, 1994).

El gasto derivado hacia ella debe ser de magnitud suficiente para distribuirse sobre toda la faja establecida entre cada bordo, sin rebasar su altura y que el volumen de agua deseado se aplique en un tiempo menor que el necesario para que el suelo absorba la cantidad neta requerida. El agua se aplica en la parte superior de las fajas por medio de sifones, cajas de aplicación o compuertas y en forma rústica practicando aberturas en el bordo de las regaderas. Este método constituye una de las formas más eficientes de aplicar el agua de riego cuando las condiciones del suelo, cultivo, caudal de agua disponible y topografía lo hacen posible (Prieto, 1994).

- **Adaptación y diseño**

Este método se adapta para el riego de todos los cultivos que cubren el suelo totalmente y que no reciben labores de cultivo, o cualquier otro que crezca con agua estancada. Se suelen regar por este método los pastos y los cereales menores. También se pueden usar para viñedos y huertos de frutales (Gurovich, 1985).

Se emplea en la mayor parte de los suelos, aunque se adapta mejor en aquellos en que la velocidad de infiltración de agua es de baja a moderada, es decir con suelos de textura media a pesada. No es aconsejable para suelos de textura de arena gruesa, y tampoco se adapta a aquellos en que la infiltración es muy lenta por requerir de un tiempo mayor para la infiltración, con lo que puede aumentar los desperdicios superficiales (Gurovich, 1985).

Se adapta preferentemente a terrenos con pendiente de 0.40 m por cada 100 m de largo (s = 0.4%) y donde la Infiltración básica (Ib) es menor de 1.6 cm/hr.
Al diseñar un proyecto se aplican los siguientes requerimientos:

1. Anchura de melgas variables de 3 a 36 m.
2. Longitud de 50 a 600 m.
3. Altura de bordos de 20 cm.
4. Tirante máximo del agua dentro de las melgas de 15 cm.

- **Características importantes**

La mano de obra requerida es baja. Se logra una buena eficiencia de riego, si se diseñan y construyen bien los bordos y regaderas.

La anchura de las fajas se proyecta observando que pueda desplazarse adecuadamente la maquinaria durante la siembra y en la recolección. Debe tenerse cuidado cuando se presenta una pendiente fuerte transversal, pues entre bordos no se debe sobrepasar un desnivel de 7.5 cm. Para evitar que el agua se recargue sobre el bordo más bajo (Roscher, K. 1994).

- **Limitaciones**

La topografía debe ser relativamente plana, y los suelos suficientemente profundos para poder llevar a cabo una nivelación satisfactoria. Los suelos que forman una capa endurecida en la superficie después del riego, pueden ocasionar daños en los cultivos en sus primeras fases de desarrollo. Esto se pudiera deber a una estructura laminar derivada de una textura arcillosa o bien, a costra formada por exceso de sales (Morábito, 2003).

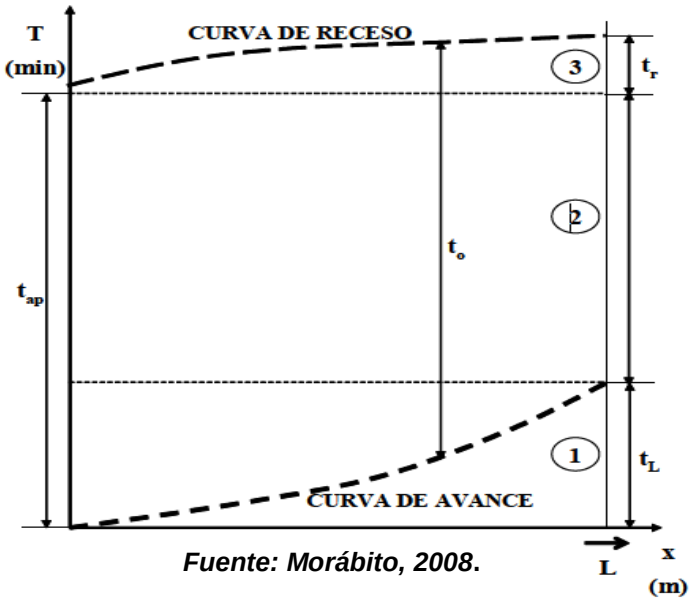
Cuando a lo largo de una melga, se presentan dos diferentes grados de pendiente, es difícil regular el gasto de agua para realizar el mojado en toda su longitud.
Mencionaremos algunas normas donde se relacionan la textura, la velocidad de infiltración, la pendiente y el gasto de aplicación al tamaño de las melgas (Morábito, 2008).

En el caso del riego por escurrimiento con pendiente se presentan las siguientes etapas:

- Avance.
- Tiempo de infiltración o de mantenimiento del caudal.
- Período de receso del frente de agua (desde el momento en que se termina la aplicación del agua hasta que desaparece al final de la unidad de riego).

La figura 7, representa las distintas etapas y los tiempos característicos de cada una de ellas:

Figura 7. Etapas del riego por escurrimiento superficial.



Fuente: Morábito, 2008.

Ref.: 1) Periodo de avance, **2)** Periodo de infiltración o de mantenimiento del caudal, **3)** Periodo de receso, **tL:** tiempo de avance para la distancia L o tiempo de escurrimiento, **tap:** tiempo de aplicación, **tr:** tiempo de receso y **to:** tiempo de oportunidad o contacto.

Se define como tiempo de aplicación **(tap)** al tiempo durante el cual el agua (caudal) es aplicada y está ingresando a la unidad de riego (se lo llama también *"tiempo de corte*"). El tiempo de agotamiento **(td)** es el tiempo comprendido entre la terminación del ingreso del agua al surco o melga (corte del riego), hasta la desaparición del agua en cabecera de la unidad de riego, debido al proceso de infiltración. Idealmente, en un suelo de textura uniforme, perfectamente nivelado y sin irregularidades superficiales, el agua debería desaparecer de la superficie del suelo en forma uniforme o sea toda al mismo tiempo (Walker, 2003).

La realidad hace que esta curva de agotamiento pueda tener una pequeña pendiente en un sentido u otro de acuerdo esencialmente a la pendiente del suelo. El tiempo de avance del frente de agua sobre la superficie del suelo desde la cabecera de la unidad de riego hasta el pie se denomina tiempo de avance total o tiempo de escurrimiento **(tL o te).**

También es necesario hacer referencia al tiempo de oportunidad o tiempo de contacto **(to = tc)** que representa el tiempo que tarda el agua en infiltrarse y por lo tanto es el tiempo en que el agua está en contacto con la superficie del suelo en un punto dado (tiempo transcurrido desde que el agua llega a un punto dado hasta que desaparece del mismo) (Walker, 2003).

2.2.2. EFICIENCIAS PARCELARIAS

El riego produce resultados muy favorables para una zona o región, pero su mal manejo puede llevar al deterioro del suelo y desperdicio del agua, y del ambiente en general. Usar racionalmente el agua desde el punto de vista agrícola, implica maximizar el beneficio a obtener y manejarla apropiadamente (oportunidad del riego y cantidad necesaria y suficiente de manera de reducir las pérdidas y desperdicios).

La evaluación de la eficacia del riego en un área determinada constituye una forma de establecer el grado de racionalidad en el uso del agua. Con el avance científico se han establecido criterios de evaluación de esta práctica, como una forma de calificarla o de evaluar su desempeño (Grassi, 1998).

La evaluación de los métodos de riego tiene por objetivos: calcular las eficiencias parcelarias, conocer la efectividad de la operación del método de riego, rediseñar para mejorar el desempeño y comparar los valores de eficiencias obtenidos con otros métodos de riego alternativos (Grassi, 1998).

La evaluación del riego por superficie a campo no sólo proporciona información que puede ser usada para detectar posibles problemas, sino también como guía esencial para mejorar el manejo y control del riego.

Pueden seleccionarse varias alternativas para evaluar los sistemas de riego por superficie, dependiendo del tiempo y del esfuerzo que se pueda invertir en el estudio. Un aspecto muy importante de la evaluación del método de riego superficial es la obtención de la ecuación de infiltración ajustada (Grassi, 1998).

Según Bos y Nugteren (1982), el movimiento del agua a través de un sistema de riego, desde la fuente de agua hasta el cultivo, puede ser visto como tres operaciones separadas: conducción, distribución y aplicación en la parcela.

La conducción implica el movimiento del agua desde su fuente a través de los canales primarios y secundarios; la distribución comprende al movimiento del agua en la red de canales terciarios, cuaternarios e internos de la propiedad y la aplicación corresponde al movimiento del agua desde la bocatoma de la parcela hasta el cultivo.

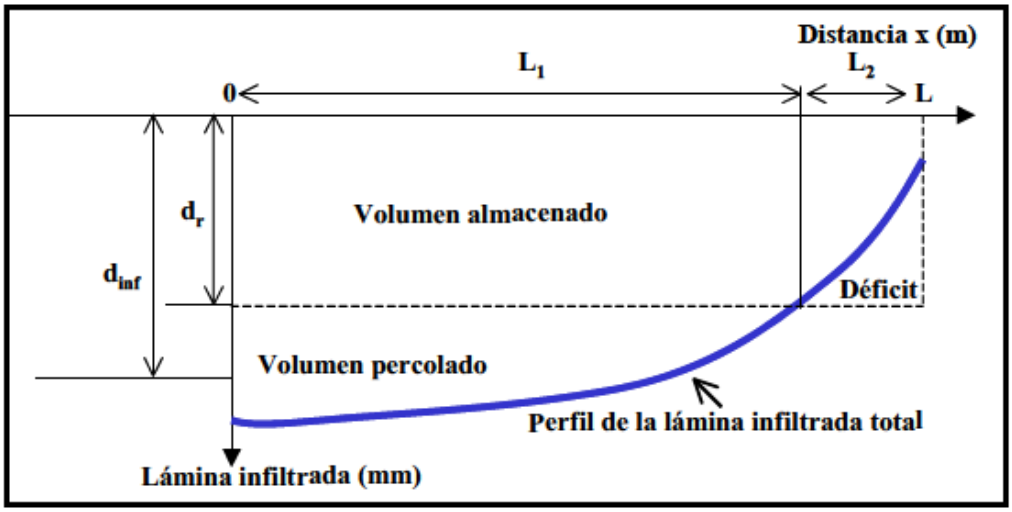
Hansen, 1960; (mencionado por Grassi, 1998) distingue básicamente tres eficiencias parcelarias, ellas son: la eficiencia de uso consuntivo (reemplazada posteriormente por el concepto de ***Eficiencia de Aplicación;*** Israelsen y Hansen, 1962), la ***Eficiencia de Almacenaje*** y la ***Eficiencia de Distribución Parcelaria***.

2.2.2.1. Eficiencia de Aplicación

La primera, eficiencia de aplicación (EAP) ha sido definida como el cociente entre el volumen de agua almacenado en el perfil de suelo y el volumen de agua, aplicado en la parcela. Evalúa las pérdidas de agua (Grassi 1998).

$$EAP = \frac{Lamina\ infiltrada\ y\ almacenada}{lamina\ aplicada\ o\ bruta} * 100$$

Figura 8. Perfil transversal del agua infiltrada en riego por superficie.



Fuente: Morábito, 2008.

2.2.2.2. Eficiencia de Almacenamiento

La eficiencia de almacenaje (EAL) fue definida como la relación entre la lámina almacenada en el perfil después del riego, respecto de la lámina necesaria que se esperaba almacenar o almacenable. Expresa el grado de suficiencia del riego, evaluado en la capa de suelo que exploran las raíces (Grassi, 1998).

$$EAL = \frac{Lamina\ de\ agua\ infiltrada\ y\ almacenada}{lamina\ requerida/almacenable} * 100$$

2.2.2.3. Eficiencia de Distribución

La tercera es la eficiencia de distribución parcelaria (EDI) que expresa el grado de uniformidad en la distribución del agua en un área regada. Esta había sido definida anteriormente por Criddle et al. (1956) como la lámina media infiltrada en el cuarto más perjudicado respecto de la lámina media infiltrada en todo el perfil. La EDI ha sido llamada también Uniformidad de Distribución (UD) Merriam y Keller (1978) y definida como:

$$EDI = \frac{Lamina\ infiltrada\ del\ \frac{1}{4}\ mas\ desfavorable}{lamina\ infiltrada\ promedio} * 100$$

Dónde:

d: Lámina infiltrada promedio en todo el perfil (o promedio de pluviómetros en aspersión).

d(1/4): Lámina infiltrada promedio del cuarto más perjudicado (o promedio de pluviómetros del cuarto más perjudicado en aspersión).

La medición sistemática de la eficiencia de riego realizada en diferentes parcelas de un área regadía, arroja resultados que permiten obtener valores para un sector o para la totalidad del sistema, a fin de iniciar programas de mejoramiento de la práctica (Villalobos, 1995).

Muchos autores han calificado el desempeño alcanzado por los distintos métodos de riego, considerando varias alternativas Grassi (1998) realiza un adecuado resumen de estos resultados. Roscher (1985) propone la siguiente tabla que permite analizar una situación particular y calificarla según los parámetros más importantes en riego por superficie.

Tabla Nº 7: Calificación de las eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución en parcela para métodos de riego por superficie.

Parámetro	*Malo*	*Satisfactorio*	*Bueno*
EAP	< 60	60 – 75	> 75
EAL	< 80	80 - 90	> 90
EDI	< 80	80 - 90	> 90

Fuente: (Roscher, 1985).

Es interesante observar la figura 9 que muestra situaciones de riego deficitario, normal y en exceso. La figura muestra que para los tres casos de riego deficitario la EAP es del 100% (toda el agua aplicada ha sido almacenada) variando el valor de cada uno de los casos de la eficiencia de almacenaje, siempre por debajo del 100% (aun después de haber regado, parte de la rizósfera permanece seca).

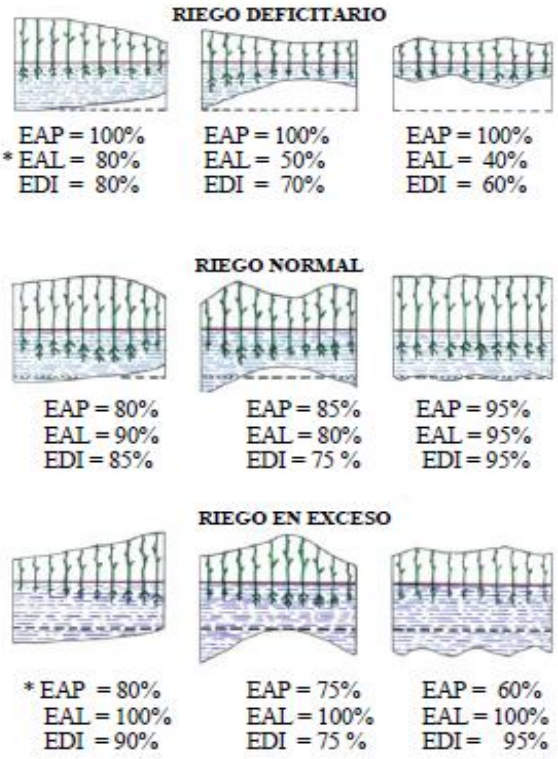
Esta situación podría ser deseable solo en los casos de riego complementario, ya que se ha realizado un riego (deficitario) para evitar la disminución de la producción del cultivo, dejando una parte del suelo seco, esperando el aprovechamiento de las lluvias pronosticadas para los próximos días (incremento de la eficiencia de aprovechamiento del agua de lluvia).

Para el caso del riego en exceso, las tres situaciones planteadas presentan un valor de EAL del 100% (toda la rizosfera ha quedado mojada, en capacidad de campo) reduciéndose los valores de la EAP a valores menores del 100% (parte del agua se ha perdido) (Morábito, 2003).

En una situación ideal (para el caso de los proyectos de riego integral) se encuentra el caso del riego normal, ello implica que la eficiencia de almacenaje se ha aproximado a valores comprendidos entre el 80% y el 95 % asegurando

un alto aprovechamiento del agua de riego, visto en la EAP (80 al 95%). La eficiencia de distribución muestra las variaciones de la lámina infiltrada a lo largo de toda la unidad de riego (Morábito, 2003).

Figura 9. Esquema representativo de tres situaciones de riego (deficitario, normal y excesivo), y de las eficiencias de aplicación, almacenamiento y distribución parcelaria.



Fuente: Morábito, 2008.

2.2.3. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE RIEGO

Las aguas de riego se conducen principalmente a través de canales, que se construyen de diferentes formas, tamaños y pendientes, lo que determina la cantidad de agua que pueden llevar, es decir, el caudal, que generalmente se mide en litros por segundo (lt/s) (Varas, 1991).

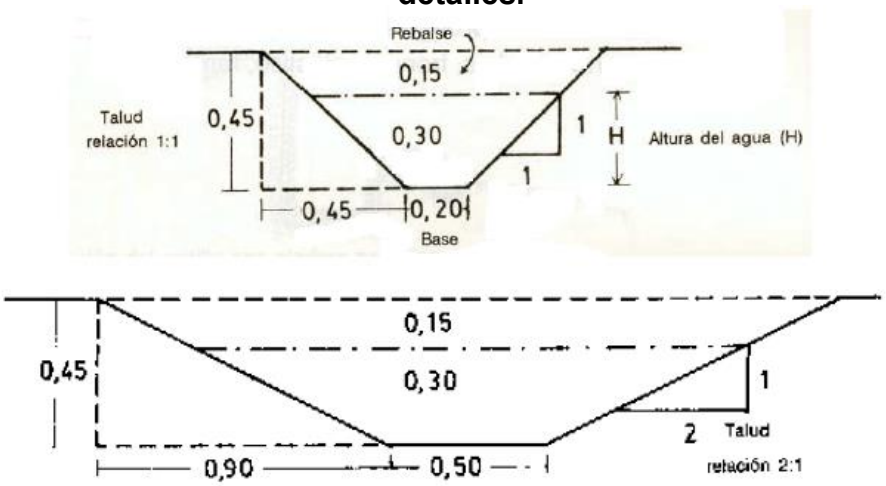
La capacidad del canal debe estar de acuerdo al caudal máximo que conducirá, que puede ser la cantidad de agua necesaria para regar una determinada superficie de terreno, o la cantidad que realmente tiene el agricultor para regar. Es antieconómico construirlos con una capacidad muy superior a la requerida (Varas, 1991).

Para diseñar un canal se debe tener en cuenta:

- La capacidad o cantidad de agua que va a conducir el canal, tema que veremos más adelante.

- El tipo de suelo donde se construirá el canal, el cual determina los taludes. El talud es la inclinación de las paredes del canal en relación a su base. En la Figura 8 se muestra un canal con talud 1:1 y 2:1. En los suelos arcillosos se puede usar un talud 1:1, en los francos se puede usar un talud 2:1 y en los arenosos 3:1.

Figura 10. Sección transversal de un canal, mostrando talud y otros detalles.



Fuente: Varas, 1991.

La capacidad o cantidad de agua que puede llevar un canal depende de:

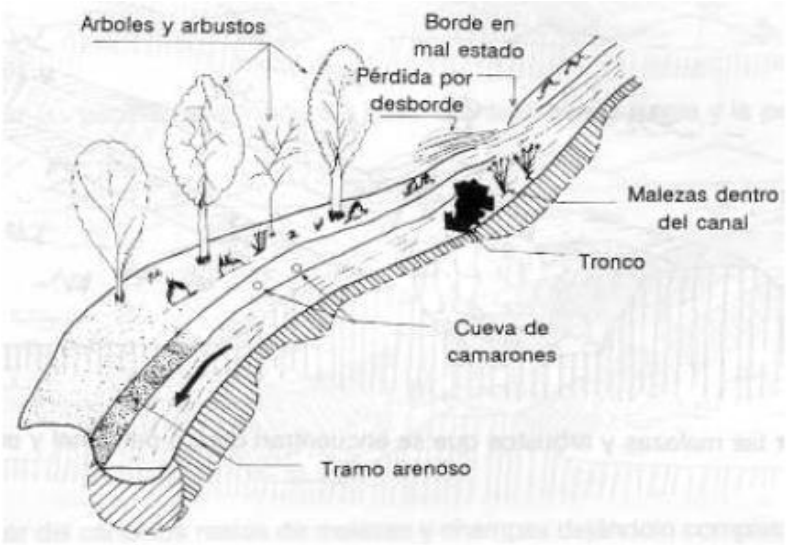
- La forma del canal.
- La altura del agua en el canal.
- La pendiente del canal.

La forma del canal depende del ancho de la base y del talud; para aumentar la capacidad, se puede mantener el talud pero aumentar el ancho de la base, o bien mantener la base aumentando el talud (BOS M, 1986). La altura del agua en el canal; para determinada pendiente y talud, el caudal del canal va a depender de la altura del agua. Sobre la altura de agua debe quedar un rebalse, que puede formarse con el material de la excavación del canal (BOS M, 1986).

2.2.3.1. Pérdidas de agua

En los canales normalmente hay pérdidas por diferentes causas (Figura 11), pero cuando los canales están muy sucios o hay obstáculos que reducen la velocidad del agua, las pérdidas por filtraciones aumentan (Varas, 1991).

Figura 11. Tipos de pérdidas de agua en canales.



Fuente: Varas, 1991.

2.2.3.2. Aforo por el método del flotador

Este método es el más sencillo, pero sólo permite estimar en forma aproximada el caudal. Se debe estimar la velocidad del agua y el área del canal.

El sector del canal donde se hagan las mediciones debe ser lo más recto y parejo posible, debe estar ubicado lejos de curvas o cambios de dirección del canal, y debe estar limpio, sin piedras, troncos, arbustos ni malezas (Varas, 1991). Para aplicar el método del flotador se procede de la siguiente manera:

a) Medición de la velocidad

Seguir las pautas de la Figura 12, repitiendo al menos 10 veces la medida, y con el tiempo que demora al flotador en recorrer 10 metros.

Figura 12. Medición de la velocidad del agua por el método del flotador.

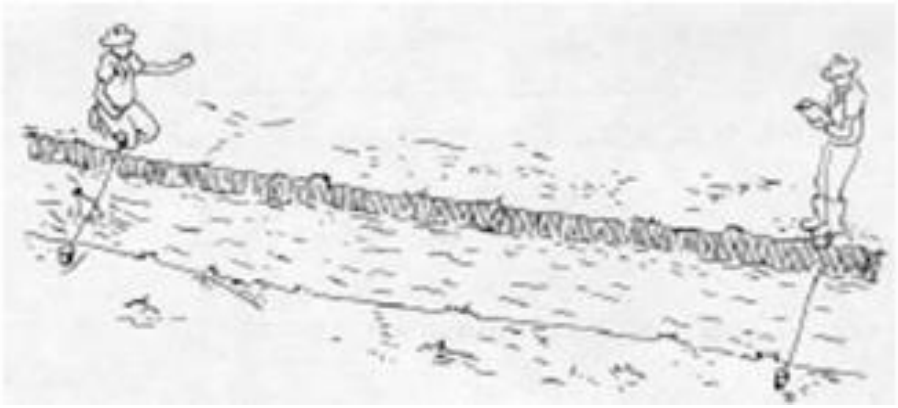


Elegir un sector del canal lo más recto posible y medir 10 metros.

Fuente: Varas, 1991.



Marcar con alambre o cordel sobre el canal el inicio y el término del sector a medir.



Cuando el flotador pasa por la primera medida se toma el tiempo que demora en recorrer los 10 metros.

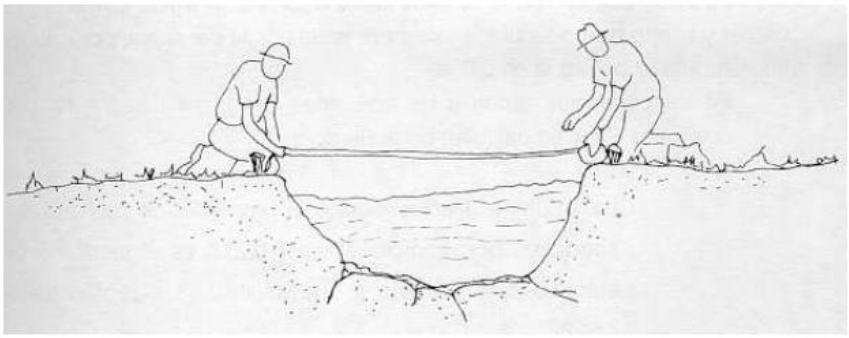


Cuando el flotador pasa por la segunda medida se termina de tomar el tiempo.

Fuente: Varas, 1991.

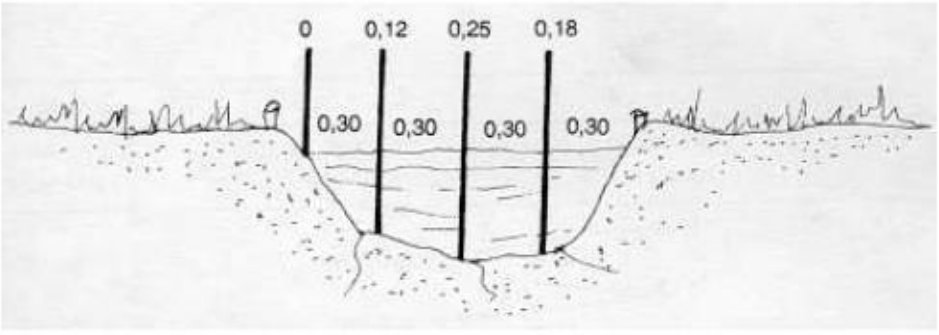
b) Medición del área del canal

Se divide el ancho del canal en tramos iguales de 20 a 40 cm para determinar los puntos donde se medirá la altura del agua; en el ejemplo estos puntos están a 30 cm (Figura 13).



Medir el ancho del canal.

Figura 13. Determinación del área de un canal.



Hacer divisiones entre 25 y 40 cm y medir la profundidad del agua.
Fuente: Varas, 1991.

2.2.3.3. Software HCANALES

HCANALES es un programa que facilita el diseño de canales y estructuras hidráulicas, ya que es fácil e intuitivo su uso[1].

El sistema permite resolver los problemas más frecuente que se presentan en el diseño de canales y estructuras, lo cuales son[1]:

- Calcular el Tirante.
- Calcular el Tirante Crítico.
- Calcular el Resalto Hidráulico.
- Calcular la Curva de Remanso.
- Y otros parámetros que facilitan el análisis hidráulico de los canales.

Calcular el caudal que transporta un canal construido para las secciones transversales artificiales de uso común, como son[1]:

- Sección triangular.
- Sección rectangular.
- Sección trapezoidal.

[1] http://es.findeen.com/hcanales_manual,2.html consultada el 17/05/2013.

- Sección parabólica.
- Sección circular.

Calcular el caudal que transporta un canal natural tanto para rugosidad constante como para rugosidad variable[1].

- Calcular b, S o n para canales trapezoidales, rectangulares y triangulares.
- Cálculos de parámetros hidráulicos en canales circulares conocido la relación y/d.
- Calcular S o n en secciones circulares.
- Cálculos en orificios, compuertas y vertederos.
- Cálculo de transiciones de entrada y salida alabeadas.
- Cálculo de vertederos laterales.
- Cálculo de pérdidas en canales no revestidos y revestidos.

Dónde:
b: es el ancho del canal en metros.
S: pendiente del canal en metros por metros.
n: coeficiente de rugosidad de Manning.
y: tirante hidráulico en metros.
d: diámetro del canal en metros (canales circulares).

La solución a estos problemas requiere de cálculos mediante el uso de métodos numéricos, como[2]:

- Método de Newton-Raphson.
- Método de la secante.
- Método de la secante modificada.
- Integración gráfica.
- Interpolación de Lagrange.
- Algoritmo de Romberg.

2.3. CULTIVO DE ARROZ

El cultivo del arroz (*oryza sativa L.)* comenzó hace casi 10.000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Posiblemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez el arroz debido a que en ella abundaba el arroz silvestre. Pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China, desde sus

[1] http://es.findeen.com/hcanales_manual,2.html consultada el 17/05/2013.
[2] http://es.findeen.com/hcanales_manual,2.html consultada el 17/05/2013.

tierras bajas a sus tierras altas. Probablemente hubo varias rutas por las cuales se introdujo el arroz de Asia a otras partes del mundo (INTA, 2009).

2.3.1. MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una monocotiledónea perteneciente a la familia *Poaceae*.

- ***Raíces*:** Las raíces son delgadas, fibrosas y fasciculadas. Posee dos tipos de raíces: seminales, que se originan de la radícula y son de naturaleza temporal y las raíces adventicias secundarias, que tienen una libre ramificación y se forman a partir de los nudos inferiores del tallo joven. Estas últimas sustituyen a las raíces seminales (INTA, 2009).
- ***Tallo*:** El tallo se forma de nudos y entrenudos alternados, siendo cilíndrico, nudoso, glabro y de 60-120 cm de longitud.
- ***Hojas*:** Las hojas son alternas, envainadoras, con el limbo lineal, agudo, largo y plano. En el punto de reunión de la vaina y el limbo se encuentra una lígula membranosa, bífida y erguida que presenta en el borde inferior una serie de cirros largos y sedosos.
- ***Flores*:** Son de color verde blanquecino dispuestas en espiguillas cuyo conjunto constituye una panoja grande, terminal, estrecha y colgante después de la floración.
- ***Inflorescencia*:** Es una panícula determinada que se localiza sobre el vástago terminal, siendo una espiguilla la unidad de la panícula, y consiste en dos lemmas estériles, la raquilla y el flósculo.
- ***Grano*:** El grano de arroz es el ovario maduro. El grano descascarado de arroz (cariópside) con el pericarpio pardusco se conoce como arroz café; el grano de arroz sin cáscara con un pericarpio rojo, es el arroz rojo (INTA, 2009).

2.3.2. ADAPTACIÓN DEL ARROZ A LOS SUELOS INUNDADOS

Los suelos inundados ofrecen un ambiente único para el crecimiento y nutrición del arroz, pues la zona que rodea al sistema radicular, se caracteriza por la falta de oxígeno. Por tanto para evitar la asfixia radicular, la planta de arroz posee unos tejidos especiales, unos espacios de aire bien desarrollados en la lámina de la hoja, en la vaina, en el tallo y en las raíces, que forman un sistema muy eficiente para el paso de aire.

El aire se introduce en la planta a través de los estomas y de las vainas de las hojas, desplazándose hacia la base de la planta. El oxígeno es suministrado a los tejidos junto con el paso del aire, moviéndose hacia el interior de las raíces, donde es utilizado en la respiración. Finalmente, el aire sale de las raíces y se difunde en el suelo que las rodea, creando una interfase de oxidación-reducción (INTA, 2009).

2.3.3. MEJORA GENÉTICA

El rendimiento mundial del arroz para 1996 fue de 2.52 Tm/ha, y se proyectó que para el año 2010 el rendimiento sería de 2.87 Tm/ha, un incremento anual de 0.93%. Incremento un poco optimista si consideramos que el incremento en los últimos 6 años fue de 0.68%, la base para ese rendimiento "optimista" proyectado responde básicamente al desarrollo e incremento en el uso de variedades mejoradas. Las variedades de arroz cultivadas han ido variando en los últimos años, mediante una gradual renovación de las más antiguas, en función de las mejores características; provocando la desaparición de determinadas variedades, pues las nuevas ofrecen mejores rendimientos, una mayor resistencia a enfermedades, altura más baja, mejor calidad de grano o una mayor producción (INTA, 2009).

2.3.4. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

2.3.4.1. Clima

Se trata de un cultivo de clima tropical y subtropical, aunque la mayor producción a nivel mundial se concentra en los climas húmedos tropicales, pero también se puede cultivar en las regiones húmedas de los subtropicos y en climas templados. El cultivo se extiende desde los 49 a 50º de latitud norte a los 35º de latitud sur. El arroz se cultiva desde el nivel del mar hasta los 2.500 m de altitud. Las precipitaciones condicionan el sistema y las técnicas de cultivo, sobre todo cuando se cultivan en tierras altas, donde están más influenciadas por la variabilidad de las mismas (INTA, 2009).

2.3.4.2. Temperatura

El arroz necesita para germinar un mínimo de 10 a 13º C, considerándose su óptimo entre 30 y 35º C. Por encima de los 40º C no se produce la germinación. El crecimiento del tallo, hojas y raíces tiene un mínimo de 7º C, considerándose su óptimo en los 23º C. Con temperaturas superiores a ésta, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se hacen demasiado blandos, siendo más susceptibles a los ataques de enfermedades. El espigado está influido por la temperatura y por la disminución de la duración de los días (INTA, 2009).

La panícula, usualmente llamada espiga por el agricultor, comienza a formarse unos treinta días antes del espigado, y siete días después de comenzar su formación alcanza ya unos 2 mm. A partir de 15 días antes del espigado se desarrolla la espiga rápidamente, y es éste el período más sensible a las condiciones ambientales adversas. La floración tiene lugar el mismo día del espigado, o al día siguiente durante las últimas horas de la mañana. Las flores abren sus glumillas durante una o dos horas si el tiempo es soleado y las temperaturas altas. Un tiempo lluvioso y con temperaturas bajas perjudica la polinización.

El mínimo de temperatura para florecer se considera de 15º C, el óptimo de 30º C. Por encima de los 50º C no se produce la floración. La respiración alcanza su máxima intensidad cuando la espiga está en zurrón, decreciendo después del espigado. Las temperaturas altas de la noche intensifican la respiración de la planta, con lo que el consumo de las reservas acumuladas durante el día por la función clorofílica es mayor. Por esta razón, las temperaturas bajas durante la noche favorecen la maduración de los granos (INTA, 2009).

2.3.4.3. Suelo

El cultivo tiene lugar en una amplia gama de suelos, variando la textura desde arenosa a arcillosa. Se suele cultivar en suelos de textura fina y media, propia del proceso de sedimentación en las amplias llanuras inundadas y deltas de los ríos. Los suelos de textura fina dificultan las labores, pero son más fértiles al tener mayor contenido de arcilla, materia orgánica y suministrar más nutrientes. Por tanto la textura del suelo juega un papel importante en el manejo del riego y de los fertilizantes.

2.3.4.4. pH

La mayoría de los suelos tienden a cambiar su pH hacia la neutralidad pocas semanas después de la inundación. El pH de los suelos ácidos aumenta con la inundación, mientras que para suelos alcalinos ocurre lo contrario. El pH óptimo para el arroz es 6.6, pues con este valor se da la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica, y la disponibilidad de fósforo es alta y además las concentraciones de sustancias que interfieren la absorción de nutrientes, tales como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos están por debajo del nivel tóxico (INTA, 2009).

2.3.5. LABORES CULTURALES

2.3.5.1. Preparación del terreno

El laboreo de los suelos arroceros de tierras húmedas o de tierras en seco depende de la técnica de establecimiento del cultivo, de la humedad y de los recursos mecanizados. En los países de Asia tropical el laboreo de tierras húmedas es un procedimiento habitual. El método tradicional de labranza para el arroz de tierras bajas es el arado y la cementación, siendo este último muy importante, pues permite el fácil trasplante (INTA, 2009).

2.3.5.2. Siembra

Tabla Nº 8: Diferentes métodos en la siembra de arroz.

Tipos de cultivos del arroz	Método de siembra	Profundidad máxima del agua (cm)
Arroz de temporal de tierras bajas	Trasplante	0-50
Arroz de temporal superficial de tierras bajas	Trasplante	5-15
Arroz de temporal de profundidad media de tierras bajas	Trasplante	16-50
Arroz de aguas profundas	A voleo en suelo seco	51-100
Arroz flotante	A voleo en suelo seco	101-600
Arroz de tierras altas	A voleo o en hileras en suelo seco	Sin agua estancada

Fuente: Barker y herdt, 1998.

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

3.1. MÉTODOS

3.1.1. Toma de muestras de suelo

Ubicados en el área de la cooperativa, se recorrieron los 3 cuadrantes tomando muestras al azar, 15 sub-muestras por cuadrante; se limpió la superficie del terreno donde se extrajeron las muestras y se depositaron en el balde. Las muestras se tomaron entre 20 y 30 cm de profundidad. Luego de tener todas las muestras en el balde, se mezclaron y se homogeneizaron, tomando así 1 kg aproximadamente de esta mezcla (1 kg de cada mezcla por cuadrante) y empacándolas en bolsas plásticas debidamente identificadas para su posterior traslado al laboratorio. Para la toma de muestras en cada sector se emplearon los materiales necesarios como barreno, pala, bolsa plástica, balde y barril. A las muestras recolectadas se le realizó un análisis para el conocimiento de las siguientes propiedades.

3.1.2. Procedimiento de laboratorio

Para determinar las propiedades de acuerdo a lo requerido (densidad aparente, densidad real, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y porosidad), se emplearon los procedimientos que se detallan a continuación:

- **Determinación de la Textura del suelo**

Para la determinación de la textura del suelo de nuestra zona en estudio se utilizó el método del Hidrómetro de Bouyoucus describiéndose de la forma siguiente: pesamos diversas muestras de 50.0 gr de suelo seco al aire y se colocó en una botella resistente al calor (105° C) de 500 ml calibrada a 250 ml, se agregó 125 ml de agua destilada, 50 ml de solución de hexametafosfato de sodio, luego se transfirió la suspensión a una probeta de 1 L, se agregó los lavados de agua y después se adiciono agua destilada hasta completar a la marca.

Se calibró el hidrómetro, se introdujo el instrumento en la solución y determinamos RL leyendo la parte superior del menisco en la escala del hidrómetro. Se colocó el aparato en la suspensión y se tomó lecturas a los 40 segundos y a las 5 horas. De esta forma se nos proporcionaron los datos para calcular los porcentajes de limo, arena y arcilla.

Figura 14. Determinación de la textura de suelos.



Fuente: Propia.

- **Cálculo de densidad aparente (Da)**

En campo se introdujo a cierta profundidad no mayor a los 30 cm un cilindro en una sección transversal del terreno, con dimensiones previamente conocidas, y con ayuda de vaselina se extrajo todo el volumen de suelo que se pudo contener en ese cilindro, luego se depositó en bolsitas plásticas procurando que no se adhirieran a las paredes del depósito contenedor.

En laboratorio se trató las muestras de la forma siguiente: se pesó las muestras que extrajimos en campo, lo cual representó un peso húmedo, posteriormente se colocaron en un horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas se logró que las muestras hubiesen expulsado la humedad, obteniendo así el peso de suelo seco; y con el volumen del cilindro previamente calculado se determinó la densidad aparente del suelo con la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Da} = \frac{\boldsymbol{Wss}}{\boldsymbol{Vc}} \qquad \textbf{(Ec. 2)}$$

Dónde:

$Da = Densidad\ aparente\ (\frac{gr}{cm^3})$

$Wss = Peso\ de\ suelo\ seco\ (gr)$

$Vc = Volumen\ del\ cilindro\ (cm^3)$

- **Cálculo de densidad real (Dr)**

Para la determinación de la densidad real se utilizó el método del Picnómetro, cuyo procedimiento para el tratamiento de las muestras es el siguiente: se hirvió suficiente agua destilada durante 30 min y se dejó refrescar, se pesó la tara seca y limpia, posteriormente se llenó completamente con agua destilada. Se hizo la pesada 1, (P1 = PA + PP) peso del agua que ocupa todo el picnómetro (A) más el peso del picnómetro (PP). Se tomó T1, se echó una pequeña cucharadita de la muestra seca en el picnómetro y se hizo la pesada 2 (P2 = PS + PP). Peso del suelo seco más el peso del picnómetro y se hizo la pesada 3 (P3 = PA + PS+ PP) que no es más que el peso del conjunto de la parte del agua más el suelo seco más el picnómetro. Se tomó la temperatura T3. Con esto se calculó la densidad real.

$$\boldsymbol{Dr} = \frac{\boldsymbol{d_1 * d_3 * P_3}}{\boldsymbol{d_3(P_1 - P_p) - d_1(P_3 - P_s - P_p)}} \qquad \textbf{(Ec. 3)}$$

Dónde:

$Dr = Densidad\ real\ (\frac{gr}{cm^3})$

$d_1 = Densidad\ del\ H_2O\ a\ T_1\ en\ °C$

$d_3 = Densidad\ del\ H_2O\ a\ la\ T_3$

$P_1 = Peso\ del\ Picometro\ mas\ H_2O\ (gr)$

$P_p = Peso\ del\ Picnometro\ vacío\ (gr)$

$P_3 = Peso\ del\ conjunto\ H_2O + Suelo + P_p (gr)$

$P_s = Peso\ del\ suelo\ (gr)$

$P_2 = P_s + P_p$

- **Cálculo de Capacidad de Campo (Cc)**

Para la determinación de la capacidad de campo se empleó el método de la Olla de Richard llenando los anillos retenedores con 10 – 15 gr de suelo secado al aire. Se agregó agua para cubrir el plato de cerámica pero no se cubrieron los anillos. Se continuó agregando agua hasta que todas las muestras se humedecieron por capilaridad, se cerró el aparato y se dejó reposar durante la noche. Se aplicó la presión especificada y se monitoreó el capilar de descarga de agua. Las muestras se equilibraron cuando el agua cesó de salir por el capilar de salida. Cuando las muestras se equilibraron, rápidamente se transfirieron éstas a los pesafiltros de peso conocido (Pt), se cubrió con las tapas y se pesó con el suelo (Psh+t). Se quitó la tapa, y se colocó en el horno; se dejó secar a 150 °C hasta que las muestras tuvieron un peso constante. Se anotó el peso (Pss+t). De esta forma se recolectaron datos que nos ayudaron a calcular:

$$\boldsymbol{Cc} = \frac{\boldsymbol{PSH - PSS}}{\boldsymbol{PSS - PT}} * \boldsymbol{100} \qquad \textbf{(Ec. 4)}$$

Dónde:

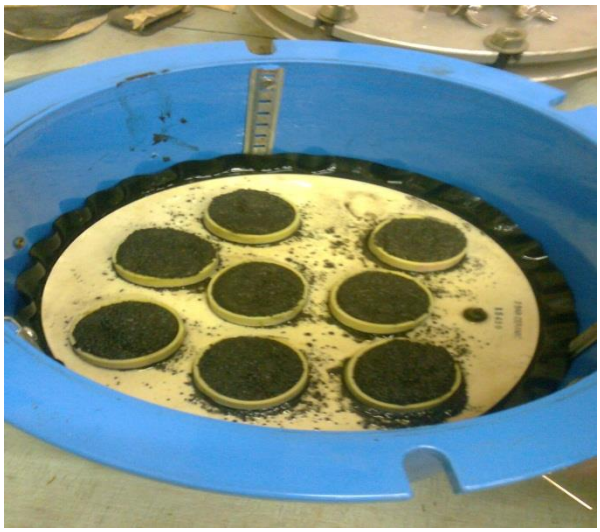
$Cc = Capacidad\ de\ campo$

$PSH = Peso\ de\ suelo\ húmedo$

$PSS = Peso\ de\ suelo\ seco$

$PT = Peso\ de\ tara.$

Figura 15. Determinación de la CC y PMP por el método de la Olla de Richard.



Fuente: Propia.

- **Cálculo de punto de marchitez permanente (PMP)**

Para la determinación del punto de marchitez permanente se empleó el método de la Olla de Richard sumergiendo el plato de cerámica en agua por un tiempo determinado. Posteriormente al plato de cerámica mojado dentro de la prensa de Richard, se le agregó agua así como a los anillos retenedores. Se agregó suficiente agua para mantener húmedo el plato de cerámica, se llenó los anillos retenedores poniendo de 10 a 15 gr de suelo seco al aire y <2 mm de diámetro de partículas.

Se atornilló y se incrementó la presión del aire 1.5 bar (150 kpa) cada 15 minutos hasta alcanzar los 15 bar (1500 kpa). Las muestras se equilibraron cuando cesó de salir agua por el tubo de flujo, se destapó los pesafiltros, se colocaron en el horno las muestras y se secó a 105 °C hasta que los pesos fueron constantes. Se sacaron las muestras del horno, se enfrió a temperatura ambiente y se pesaron, para determinar el peso del suelo seco más el peso de la tara.

$$PMP = \frac{Cc}{1.85} \qquad \text{(Ec. 5)}$$

Dónde:

$PMP = Punto\ de\ Marchitez\ Permanente$

$Cc = Capacidad\ de\ campo$

3.1.3. Levantamiento altiplanimétrico

Situados en el área de la cooperativa se realizó un levantamiento altiplanimétrico haciendo uso de un GPS, se registraron los puntos que definen dicha área (puntos limitantes y puntos dentro de la parcela) para delimitar cada cuadrante de la cooperativa. Luego se procesaron los datos obtenidos en una computadora, se procesaron con los Software: Map Source, Google Earth, Excel y Auto Cad, con los cuales se obtuvieron los planos de curvas de nivel de cada cuadrante, y el plano con la red de canales.

3.1.4. Determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo

La prueba se realizó en un espacio representativo del suelo evaluado, sin plantas, y con una humedad al momento de la prueba cercana a aquella que se ha elegido como la humedad para iniciar el riego.

El procedimiento consistió en usar cilindros concéntricos igual al método de los cilindros Infiltrómetros, el cilindro exterior de mayor diámetro funciona de buffer para humedecer la zona del suelo exterior, y las medidas se realizaron en el cilindro interior más pequeño. Ambos cilindros se llenaron de agua hasta el borde (nivel que debe medirse rápidamente en el cilindro interior lo que constituye el dato inicial) comenzando a medir inmediatamente el nivel del agua en el cilindro interior a la vez se tomaron anotaciones; cuando el nivel del agua baja aproximadamente a la mitad de su altura inicial se agregó agua de nuevo y se tomó la referencia del nuevo nivel.

Pasados unos minutos la velocidad de absorción de agua por el suelo disminuyó y esto facilitó realizar mediciones cada 2, 5, 10, 20 minutos, hasta que pasadas unas 4-5 horas la absorción bajó y se estabilizó, de modo que, para intervalos de tiempo iguales se obtuvieron descensos de la lámina en el cilindro interior muy semejantes. Al alcanzarse esta condición con repetidos valores semejantes de lámina infiltrada para un mismo tiempo se finalizó la prueba.

- **Cálculo de la curva de infiltración**

Para el cálculo de la infiltración el académico ruso A. N Kostiakov propuso una ecuación para determinar la velocidad de infiltración:

$$I = a * T^b$$

Dónde:

I=Velocidad de Infiltración.
t=Tiempo transcurrido en minutos.
a=Coeficiente que representa la velocidad de infiltración.
b=Es un exponente sin dimensión.

Los valores de a y b se determinan analíticamente a través del método de regresión o mínimo cuadrado mediante las ecuaciones 6 y 8:

$$b = \frac{n(\Sigma X_i * Y_i) - \Sigma X_i * \Sigma Y_i}{n\Sigma X_i^2 - (\Sigma X_i)^2} \qquad \textbf{(Ec. 6)}$$

$$a_o = \frac{\Sigma Y_i - b\Sigma X_i}{n} \qquad \textbf{(Ec. 7)}$$

$$a = anti\log(a_o) \qquad \textbf{(Ec. 8)}$$

3.1.5. Aforos del canal principal y red de canales internos

Debido a la magnitud del canal principal y canales secundarios el método de aforo que utilizamos fue el “Método del flotador”. Para realizar dicha tarea se marcaron 2 puntos en un tramo de canal homogéneo y sin mayores turbulencias, a 10 m uno del otro, en el punto uno se soltó el flotador (pelota) y con el cronómetro medimos el tiempo en que el flotador llegó al punto 2. Se repitió este paso 10 veces para sacar un promedio de las velocidades, luego se multiplicó este valor obtenido por 2/3 para conocer la velocidad media promedio.

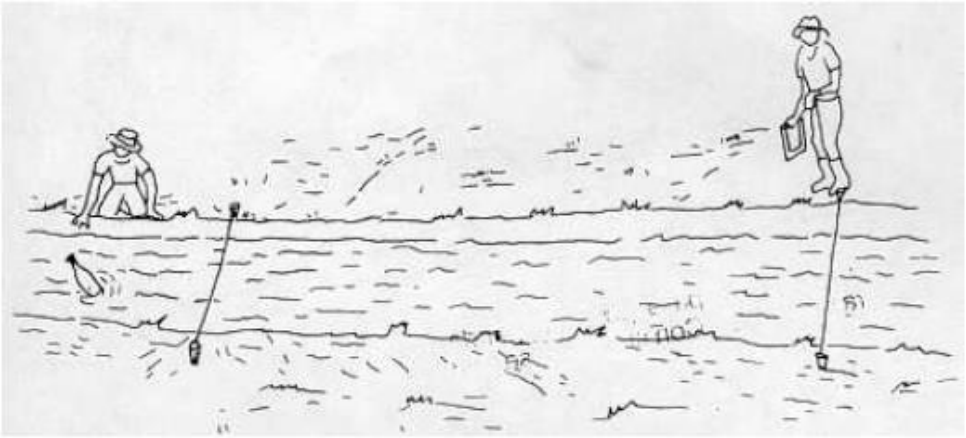
Los materiales utilizados para la ejecución del aforo por el método del flotador fueron: una pelota de hule que sirvió como flotador, un cronómetro para medir el tiempo en que tardó el flotador en recorrer la distancia entre los dos puntos, cinta métrica (medición de ancho del canal y distancia entre los dos puntos), estacas de madera para la ubicación de los dos puntos de control y libreta de campo.

El flotador se lanzó 3 metros antes del punto número 1, cuando pasó dicho punto se puso en marcha el cronómetro y se midió el tiempo en que dicho flotador tardó en llegar al segundo punto (Ver figura 16).

Luego de haber obtenido un dato importantísimo (velocidad), procedimos a realizar mediciones de secciones transversales en nueve puntos del canal principal “El Genízaro”, para que de esta forma lográramos determinar el área de cada una de ellas, con ello se obtuvo el caudal de los tramos analizados y así medir el porcentaje de pérdidas desde la toma de la presa hasta las derivaciones que aportan agua a las parcelas de la cooperativa.

Se midió el espejo de agua (T), el ancho de solera (b), el tirante hidráulico (y) con el fin de determinar las características hidráulicas como caudal, energía específica, pendiente, área hidráulica, tipo de flujo, perímetro mojado y número de Froude; todos estos fueron calculados por el software H Canales 3.0.

Figura 16. Aforo por el método del flotador.



Lanzar el flotador al canal 3 metros antes de la primera medida.

Fuente: Varas, 1991.

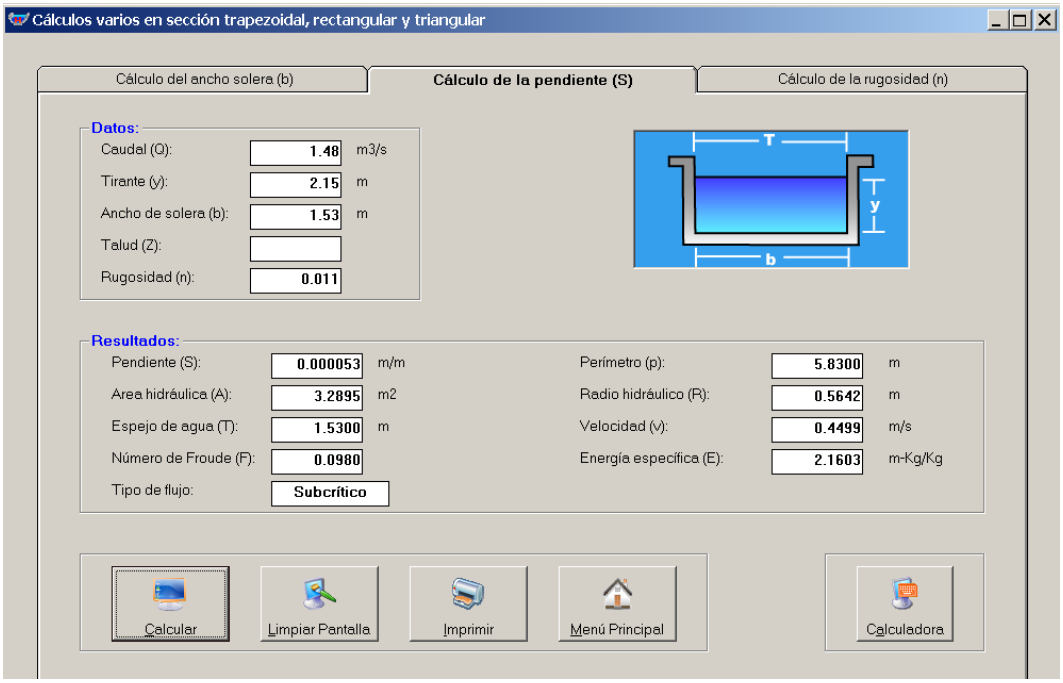
La velocidad de los canales internos de la cooperativa fue determinada por el mismo método (el flotador), el área de la sección transversal de los canales internos se obtuvo por dovelas, se midió el ancho de una sección regular y se dividió en partes obteniendo así varios tirantes para construir el perfil de la sección transversal.

3.1.6. Análisis hidráulico de la red de canales

Se utilizó el software Hcanales para la determinación del análisis hidráulico del canal primario, para ello se necesitaron de ciertos parámetros medidos en campo tales como ancho de solera, tirante hidráulico, caudal, talud y el coeficiente de rugosidad de Manning; con el fin de obtener la realización de dicho estudio.

Se ingresó los datos físicos al software tales como ancho de solera y el tirante hidráulico, el talud se obtuvo por medio de cálculos trigonométricos y el coeficiente de rugosidad de Manning se obtuvo por datos teóricos, posteriormente se procedió a calcular el caudal (ver figura 17), con ayuda de estos resultados encontramos el valor de la pendiente, el número de Froude, tipo de flujo entre otros indicadores hidráulicos.

Figura 17. Software Hcanales



Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo para determinar las pérdidas de flujo que existen en el canal principal, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100 \qquad \textbf{(Ec. 9)}$$

Dónde:

Q_i = es el caudal inicial en GPM.

Q_f = es el caudal final en GPM.

3.1.7. Determinación de las eficiencias parcelarias

Para determinar las eficiencias parcelarias se aforó el caudal entrante a la melga utilizando el Método Volumétrico para lo cual se usó un recipiente de 55 galones enterrado en la entrada de la melga de 37 m de ancho por 43 m de largo. Se realizó la prueba 5 veces para determinar el caudal, cuyo gasto promedio fue de 415 gpm, con un cronómetro se midieron los tiempos de avance y recesión a

cada 8 metros de longitud en la melga (se obtuvo un dato importante que es el tiempo de oportunidad el cual es la diferencia entre el tiempo de receso y el de avance), y así se recogieron datos para construir las curvas de avance y receso.

Se tomaron 6 intervalos en la melga, distribuidos de la siguiente forma: 5 intervalos de 8 m cada uno y un intervalo de 3 m, completando el largo de la melga (43 m).

El riego duró 3 horas, se extrajeron muestras de suelo antes y después del riego para obtener la humedad. Para el cálculo de las 3 eficiencias parcelarias se necesitó la ecuación de la infiltración básica, la cual se ajustó según las fórmulas, calculando las dosis neta y bruta. Otros parámetros importantes considerados para realizar el ensayo fueron: la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da).

Con los datos recolectados en campo y los obtenidos anteriormente como son las propiedades hidrofísicas, se procedió a calcular las eficiencias parcelarias con las siguientes ecuaciones:

$$\boldsymbol{dn = \frac{Wd - Wa}{100} * Da * h} \qquad \textbf{(Ec. 10)}$$

Dónde:
dn: lámina de reposición (mm).
Wd: humedad después del riego (%).
Wa: humedad antes del riego (%).
Da: densidad aparente (gr/cm^3).
h: profundidad radicular (cm).

$$\boldsymbol{qu = \frac{Q}{n*W}} \qquad \textbf{(Ec. 11)}$$

$$\boldsymbol{db = \frac{qu*t\ ap}{L*Wu}} \qquad \textbf{(Ec. 12)}$$

Dónde:
db: lámina bruta aplicada (mm).
qu: caudal unitario (lt/s*m).
tap: tiempo de aplicación del riego (min).
L: longitud de la melga (m).
Wu: ancho unitario.
Q: caudal entrante a la melga (lps).
n: número de melgas (m).
W: ancho de la melga (m).

$$EAP = \frac{Lámina\ infiltrada\ y\ almacenada}{lámina\ aplicada\ o\ bruta} * 100 \quad \textbf{(Ec. 13)}$$

$$EAL = \frac{Lámina\ de\ agua\ infiltrada\ almacenada}{lámina\ requerida/almacenable} * 100 \quad \textbf{(Ec. 14)}$$

$$EDI = \frac{Lámina\ infiltrada\ del\frac{1}{4}\ mas\ desfavorable}{lámina\ infiltrada\ promedio} * 100 \quad \textbf{(Ec. 15)}$$

Dónde:
EAP: eficiencia de aplicación.
EAL: eficiencia de almacenamiento.
EDI: eficiencia de distribución.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS

4.1.1. Textura

Tabla Nº 9: Resultados de textura de suelos.

Ítem	Identificación	Textura Bouyoucos			Evaluación
		% Ar	%L	%A	
1	COOPAVIJ 1	70	11	19	Arcilloso
2	COOPAVIJ 2	73	12	15	Arcilloso
3	COOPAVIJ 3	76	11	13	Arcilloso
4	COOPAVIJ 4	73	12	15	Arcilloso

Fuente: Laboratorio de Edafología, UNI-RUPAP.

En la tabla Nº 9 se observan que las muestras presentan altos porcentajes de arcilla, por encima a los de arena y limo, lo que nos indica que la granulometría es muy fina. Esta textura (arcillosa), es apropiada para el desarrollo del cultivo del arroz.

4.1.2. Capacidad de Campo (Cc)

Tabla Nº 10: Resultados de capacidad de campo.

Ítem	Identificación	Cc (%)	Evaluación
1	COOPAVIJ 1	58.87	Muy alta
2	COOPAVIJ 2	57.26	Muy alta
3	COOPAVIJ 3	62.72	Muy alta
4	COOPAVIJ 4	61.06	Muy alta

Fuente: Laboratorio de Edafología, UNI-RUPAP.

4.1.3. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Tabla Nº 11: Resultados de punto de marchitez permanente.

Ítem	Identificación	PMP (%)	Evaluación
1	COOPAVIJ 1	29.43	Alta
2	COOPAVIJ 2	28.63	Alta
3	COOPAVIJ 3	31.36	Alta
4	COOPAVIJ 4	30.54	Alta

Fuente: Laboratorio de Edafología, UNI-RUPAP.

En las tablas Nº 10 y 11 observamos que tenemos valores altos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, esto indica que hay buena retención de agua del suelo, por lo tanto hay disponibilidad de agua para la planta.

4.1.4. Densidad aparente (Da)

Tabla Nº 12: Resultados de densidad aparente.

Ítem	Identificación	Da (gr/cm3)	Evaluación
1	COOPAVIJ 1	0.91	Muy baja
2	COOPAVIJ 2	---	---
3	COOPAVIJ 3	0.83	Muy baja
4	COOPAVIJ 4	---	---

Fuente: Laboratorio de Edafología, UNI-RUPAP.

En la tabla Nº 12 se nos muestra que es un suelo con valores bajos de densidad aparente, lo que nos indica que este suelo no es compacto, esto permitirá que las raíces de las plantas profundicen adecuadamente y tomen los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo.

4.1.5. Densidad real (Dr)

Tabla Nº 13: Resultados de densidad real.

Ítem	Identificación	Dr (gr/cm^3)	Evaluación
1	COOPAVIJ 1	2.39	Baja
2	COOPAVIJ 2	2.22	Baja
3	COOPAVIJ 3	2.58	Media
4	COOPAVIJ 4	2.41	Media

Fuente: Laboratorio de Edafología, UNI-RUPAP.

En la tabla Nº 13 tenemos rangos de densidad real que van de medios a bajos, tomando de referencia estos valores concluimos que es un suelo con mucha materia orgánica, lo que se traduce en aporte nutrientes al suelo.

4.1.6. Porosidad (P)

Tabla Nº 14: Resultados de porosidad.

Ítem	Identificación	P (%)	Evaluación
1	COOPAVIJ 1	62	Alta
2	COOPAVIJ 2	---	---
3	COOPAVIJ 3	68	Muy alta
4	COOPAVIJ 4	---	---

Fuente: Laboratorio de Edafología, UNI-RUPAP.

En la tabla Nº 14 notamos que la porosidad del suelo es considerada de alta a muy alta, esto permite un buen almacenamiento de las láminas de agua aplicadas para el riego de las melgas.

4.1.7. Velocidad de infiltración

Tabla Nº 15: Resultados de velocidad de infiltración.

Ítem	Cuadrante	Vi (cm/hr)	Evaluación
1	39	1.9	Moderadamente Lenta
2	43	1.6	Moderadamente Lenta
3	49	2.6	Moderada

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla Nº 15 podemos apreciar que los resultados de las pruebas de velocidad de infiltración en cada uno de los cuadrantes, muestran que los valores calculados concuerdan con la textura de suelo obtenida. En un suelo arcilloso el diámetro de las partículas es muy pequeño esto hace que la infiltración sea lenta, para el cultivo del arroz una textura arcillosa y una infiltración moderadamente lenta son condiciones adecuadas para lograr una buena producción de dicho cultivo.

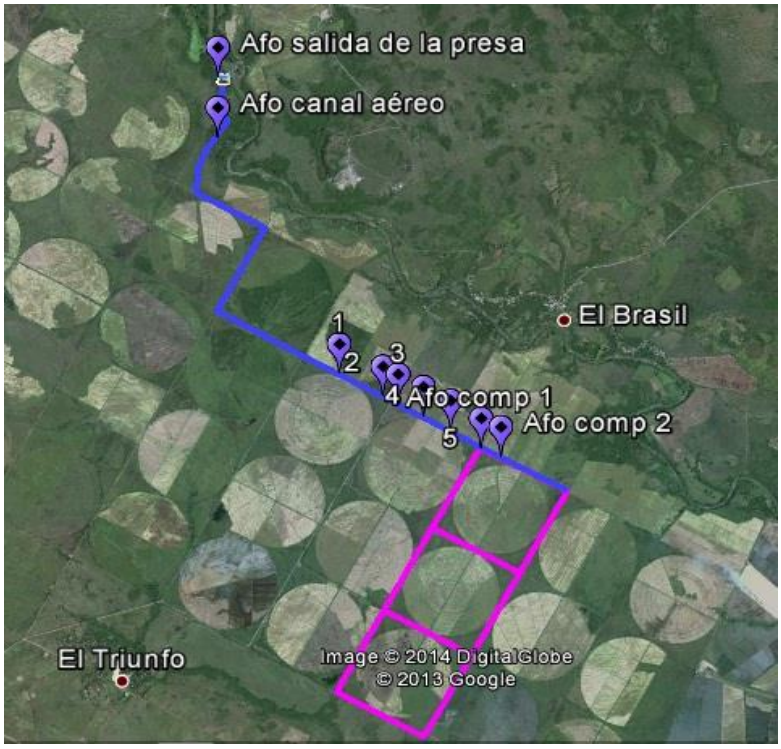
4.2. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LOS CANALES PRIMARIO Y SECUNDARIOS

Para el análisis hidráulico del canal principal de la Presa ¨ El Genízaro¨ y de los canales internos de la cooperativa, se tomó en cuenta el método del flotador y el software HCANALES para el cálculo de todos los parámetros hidráulicos.

Se realizaron nueve puntos de aforo a lo largo de 6.6 kms de longitud del canal principal ¨El Genízaro¨ comprendido desde la obra de toma de la presa hasta la segunda derivación de la cooperativa en el cuadrante 39 (ver figura 18). Así mismo se realizaron ocho puntos de aforo en los canales internos que abastecen a las parcelas de riego.

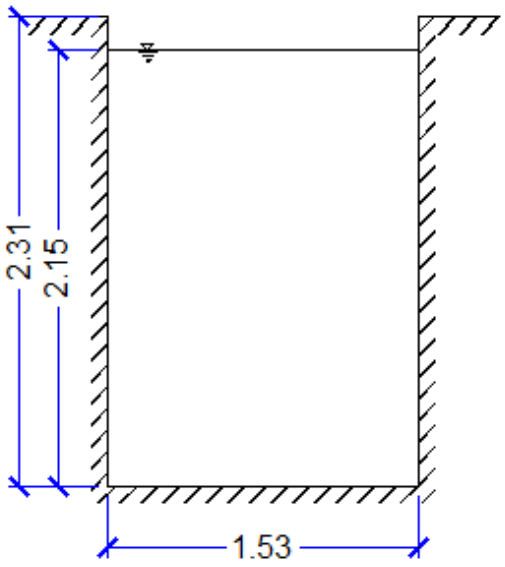
4.2.1. Análisis hidráulico del canal principal

Figura 18. Puntos de aforos del canal principal



Fuente: Software Google Earth.

Figura 19. Sección transversal del punto de aforo "Salida de la presa"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º17.839 W85º57.418

Tabla Nº 16: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Salida de la presa"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	14.49	10	Y= 2.15 m
X_2	15.37		
X_3	13.40		
X_4	15.49		
X_5	14.07		
X_6	15.86		b= 1.53 m
X_7	15.00		
X_8	15.04		
X_9	14.97		
X_{10}	14.95		
T_{prom}	14.864		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{14.864} = 0.673\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.673\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.45\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = b * Y = 1.53\ m * 2.15\ m = 3.29\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.45\ {}^{m}/_{seg} * 3.29\ m^2 = 1.4805\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 1.4805\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

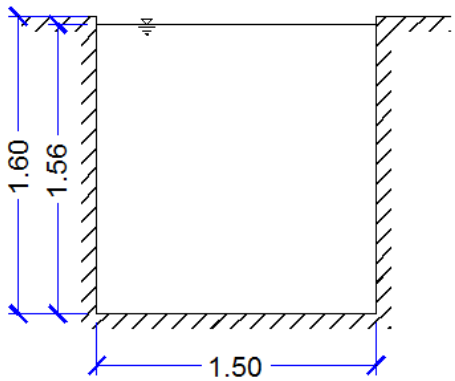
$$\boxed{Q = 23{,}468.89\ GPM}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

Nota: Las pérdidas de flujo en este punto es cero debido a que este punto es el punto inicial, además la eficiencia es del 100% debido a q no existen las pérdidas.

Figura 20. Sección transversal del punto de aforo "Canal aéreo"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º17.499 W85º57.511

Tabla Nº 17: Datos recolectados en campo punto de aforo "Canal aéreo"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	52.13	46.6	Y= 1.56 m
X_2	55.02		
X_3	54.11		
X_4	52.95		
X_5	53.42		
X_6	53.59		
X_7	52.78		b= 1.50 m
X_8	52.31		
X_9	52.58		
X_{10}	53.61		
X_{11}	52.23		
X_{12}	52.68		
T_{prom}	53.12		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{46.6\ m}{53.12\ seg} = 0.88\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.88\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.59\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = b * Y = 1.5\ m * 1.56\ m = 2.34\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.59\ {}^{m}/_{seg} * 2.34\ m^2 = 1.3806\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 1.3806 \frac{m^3}{seg} * 264.2 \frac{gal}{m^3} * 60 \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 21{,}885.27 \text{ GPM}}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\% \, Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

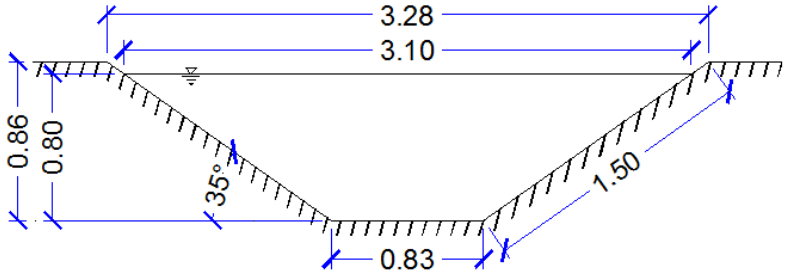
$$\% \, Pérdidas = \frac{23{,}468.89 - 21{,}885.27}{23{,}468.89} * 100 = 6.75\%$$

- *Cálculo de la eficiencia:*

$$Eficiencia = 100\% - \% \, pérdidas$$

$$Eficiencia = 100\% - 6.75\% = 93.25\%$$

Figura 21. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 1"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.978 W85º57.208

Tabla Nº 18: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 1"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	10.55	10	Y= 0.80 m
X_2	11.31		
X_3	9.86		
X_4	10.28		
X_5	10.33		b= 0.83 m
X_6	10.89		
X_7	11.05		
X_8	10.95		z= 1.20 m
X_9	10.81		
X_{10}	11.24		
T_{prom}	10.73		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{10.73} = 0.93\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.93\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.62\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = (b + zy)y = (0.83m + (1.20 * 0.80m)) * 0.83m = 1.43\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.62\ {}^{m}/_{seg} * 1.43\ m^2 = 0.89\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.89\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 14{,}108.28GPM}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

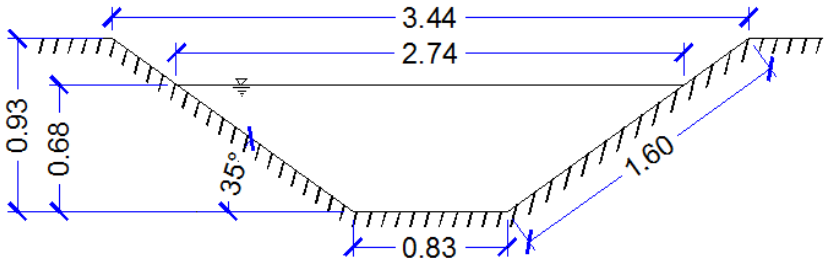
$$\%\ Pérdidas = \frac{23{,}468.89 - 14{,}108.28}{23{,}468.89} * 100 = 39.89\%$$

- *Cálculo de la eficiencia:*

$$Eficiencia = 100\% - \%\ pérdidas$$

$$Eficiencia = 100\% - 39.89\% = 60.11\%$$

Figura 22. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 2"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.790 W85º57.006

Tabla Nº 19: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 2"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	9.14	10	Y= 0.68 m
X_2	9.72		
X_3	9.29		
X_4	9.13		
X_5	9.49		b= 0.83 m
X_6	9.29		
X_7	9.79		
X_8	8.70		z= 1.30 m
X_9	9.03		
X_{10}	9.06		
T_{prom}	9.27		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{9.27\ seg} = 1.08\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 1.08\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.72\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = (b + zy)y = (0.83m + (1.30 * 0.68m)) * 0.68m = 1.17\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.72\ {}^{m}/_{seg} * 1.17\ m^2 = 0.84\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.84\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 13{,}315.68\ GPM}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

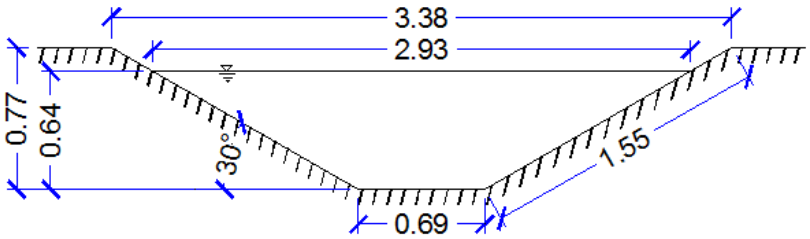
$$\%\ Pérdidas = \frac{23{,}468.89 - 13{,}315.68}{23{,}468.89} * 100 = 43.26\%$$

- *Cálculo de la eficiencia:*

$$Eficiencia = 100\% - \%\ pérdidas$$

$$Eficiencia = 100\% - 43.26\% = 56.74\%$$

Figura 23. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 3"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.725 W85º56.934

Tabla Nº 20: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 3"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	8.96	10	Y= 0.64 m
X_2	9.26		
X_3	8.31		
X_4	8.73		
X_5	9.21		b=0.69 m
X_6	8.69		
X_7	8.24		
X_8	8.50		
X_9	8.47		z= 1.30 m
X_{10}	8.76		
X_{11}	8.79		
T_{prom}	8.72		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{8.72\ seg} = 1.15\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{{}^{2}/_{3}} = V * {}^{2}/_{3} = 1.15\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.77\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = (b + zy)y = (0.69m + (1.30 * 0.64m)) * 0.64m = 0.97\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{{}^{2}/_{3}} * A = 0.77\ {}^{m}/_{seg} * 0.97\ m^2 = 0.75\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.75\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 11{,}889\ GPM}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

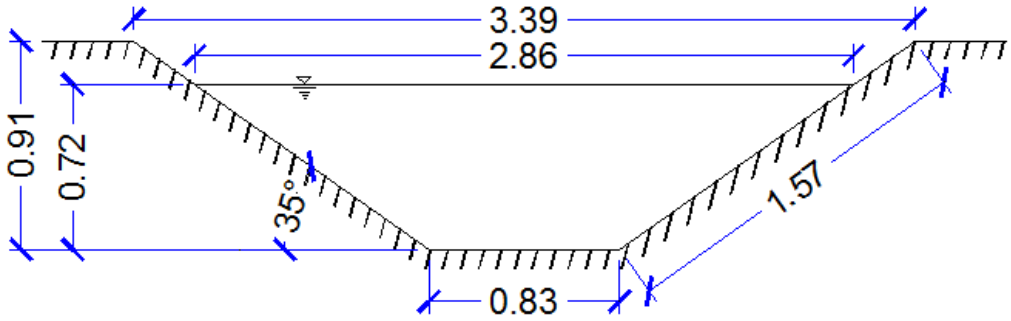
$$\%\ Pérdidas = \frac{23{,}468.89 - 11{,}889}{23{,}468.89} * 100 = 49.34\%$$

- *Cálculo de la eficiencia:*

$$Eficiencia = 100\% - \%\ pérdidas$$

$$Eficiencia = 100\% - 49.34\% = 50.66\%$$

Figura 24. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 4"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.618 W85º56.816

Tabla Nº 21: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 4"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	11.64	10	Y =0.72 m
X_2	11.89		
X_3	11.69		
X_4	11.83		
X_5	12.01		b= 0.83 m
X_6	12.30		
X_7	12.22		
X_8	11.97		z= 1.30 m
X_9	11.22		
X_{10}	12.79		
T_{prom}	11.96		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{11.96\ seg} = 0.83\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.83\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.55\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = (b + zy)y = (0.83m + (1.30 * 0.72m)) * 0.72m = 1.27\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.55\ {}^{m}/_{seg} * 1.27\ m^2 = 0.70\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.70\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 11{,}096.4\ GPM}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

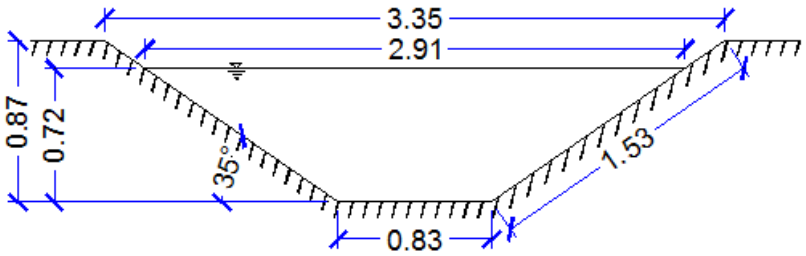
$$\%\ Pérdidas = \frac{23{,}468.89 - 11{,}096.4}{23{,}468.89} * 100 = 52.72\%$$

- *Cálculo de la eficiencia:*

$$Eficiencia = 100\% - \%\ pérdidas$$

$$Eficiencia = 100\% - 52.72\% = 47.28\%$$

Figura 25. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 5"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.502 W85º56.689

Tabla Nº 22: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 5"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	12.55	10	Y= 0.72m
X_2	13.50		
X_3	12.82		
X_4	13.30		
X_5	13.05		b= 0.83m
X_6	13.25		
X_7	13.34		
X_8	13.75		
X_9	13.71		z= 1.30 m
X_{10}	13.65		
X_{11}	13.30		
T_{prom}	13.29		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{13.29\ seg} = 0.75\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.75\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.5\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = (b + zy)y = (0.83m + (1.30 * 0.72m)) * 0.72m = 1.27\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.5\ {}^{m}/_{seg} * 1.27\ m^2 = 0.64\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.64\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 10{,}145.28\ GPM}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

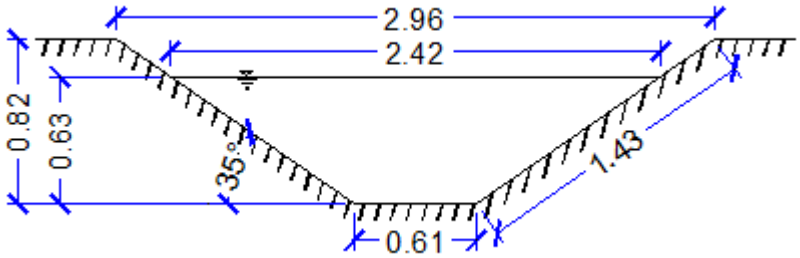
$$\%\ Pérdidas = \frac{23{,}468.89 - 10{,}145.28}{23{,}468.89} * 100 = 56.77\%$$

- *Cálculo de la eficiencia:*

$$Eficiencia = 100\% - \%\ pérdidas$$

$$Eficiencia = 100\% - 56.77\% = 43.23\%$$

Figura 26. Sección transversal del punto de aforo "Compuerta 1"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.359 W85º56.550

Tabla Nº 23: Datos recolectados en campo punto de aforo "Compuerta 1"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	10.10	10	Y= 0.63 m
X_2	10.05		
X_3	10.91		
X_4	9.84		
X_5	9.77		b= 0.61 m
X_6	10.41		
X_7	10.32		
X_8	10.12		z= 1.20 m
X_9	10.33		
X_{10}	10.19		
T_{prom}	10.20		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{10.20\ seg} = 0.98\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.98\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.65\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = (b + zy)y = (0.61m + (1.20 * 0.63m)) * 0.63m = 0.86\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.65\ {}^{m}/_{seg} * 0.86\ m^2 = 0.56\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.56\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 8{,}877.12\ GPM}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

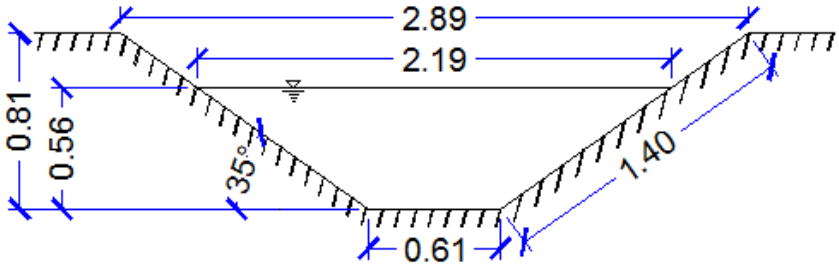
$$\%\ Pérdidas = \frac{23{,}468.89 - 8{,}877.12}{23{,}468.89} * 100 = 62.17\%$$

- *Cálculo de la eficiencia:*

$$Eficiencia = 100\% - \%\ pérdidas$$

$$Eficiencia = 100\% - 62.17\% = 37.83\%$$

Figura 27. Sección transversal del punto de aforo "Compuerta 2"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.282 W85º56.455

Tabla Nº 24: Datos recolectados en campo punto de aforo "Compuerta 2"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	8.95	10	Y= 0.56 m
X_2	8.88		
X_3	9.08		
X_4	8.67		
X_5	8.33		b= 0.61 m
X_6	8.39		
X_7	8.88		
X_8	8.96		z= 1.20 m
X_9	8.89		
X_{10}	8.75		
T_{prom}	8.79		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{8.79\ seg} = 1.14\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 1.14\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.76\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del área de la sección transversal:*

$$A = (b + zy)y = (0.61m + (1.20 * 0.56m)) * 0.56m = 0.72\ m^2$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.76\ {}^{m}/_{seg} * 0.72\ m^2 = 0.55\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.55\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 8{,}718.6\ GPM}$$

- *Cálculo de las pérdidas de flujo:*

$$\%\ Pérdidas = \frac{Q_i - Q_f}{Q_i} * 100$$

$$\%\ Pérdidas = \frac{23{,}468.89 - 8{,}718.6}{23{,}468.89} * 100 = 62.85\%$$

- *Cálculo de la eficiencia:*

$$Eficiencia = 100\% - \%\ pérdidas$$

$$Eficiencia = 100\% - 62.85\% = 37.15\%$$

Tabla Nº 25: Resultados de las pérdidas parciales del canal principal "El Genízaro".

Identificación	Coordenadas		Forma geométrica del canal	Caudal		Perdida (%)	Eficiencia (%)	Distancia (m)
	Norte	Oeste		(m^3/seg)	GPM			
Salida de la presa	12°17.839	85°57.418	Rectangular	1.48	23,468.89	0.00	100.00	0.00
Canal aéreo	12°17.499	85°57.511	Rectangular	1.38	21,885.27	6.75	93.25	783.00
Afo.1	12°15.978	85°57.208	Trapezoidal	0.89	14,108.28	39.89	60.11	3900.00
Afo.2	12°15.790	85°57.006	Trapezoidal	0.84	13,315.68	43.26	56.74	551.00
Afo.3	12°15.725	85°56.934	Trapezoidal	0.75	11,889.00	49.34	50.66	87.00
Afo.4	12°15.618	85°56.816	Trapezoidal	0.70	11,096.40	52.72	47.28	151.00
Afo.5	12°15.502	85°56.689	Trapezoidal	0.64	10,145.28	56.77	43.23	292.00
Compuerta 1	12°15.359	85°56.550	Trapezoidal	0.56	8,877.12	62.17	37.83	687.00
Compuerta 2	12°15.282	85°56.455	Trapezoidal	0.55	8,718.60	62.85	37.15	238.00

Fuente: Elaboración Propia.

Las secciones de aforo fueron seleccionadas, eligiendo puntos estratégicos en donde se presentaban contracciones del canal, en tramos rectos, y en donde otros productores extraen agua para irrigar cuadrantes aledaños a la cooperativa.

Para el cálculo del caudal de las nueve secciones de aforo a lo largo de 6.6 kms del canal principal ¨El Genízaro¨, comprendida desde la obra de toma de la salida de la presa hasta la segunda derivación que abastece las parcelas de riego de la cooperativa, fue necesario realizar la medición de tiempos y luego estos promediarlos, que con una distancia previamente conocida logramos determinar la velocidad superficial del flujo, sin embargo esta velocidad se debe multiplicar por 2/3, ya que esta es la velocidad media del flujo que es la adecuada para nuestro estudio.

Teniendo el dato de la velocidad media, y el área hidráulica obtenemos el valor del caudal de cada uno de los puntos de aforo.

En la tabla Nº 25 se nos muestran los caudales de cada uno de los puntos de aforo del canal principal, con este parámetro (caudal) pudimos determinar las pérdidas del flujo, así como la eficiencia del canal.

Si se analiza el valor de pérdida desde la salida de la presa hasta la segunda derivación de la cooperativa, tenemos un porcentaje muy significativo que ronda los 62.85 %, este valor no solamente representa las perdidas por conducción del canal, sino también las pérdidas por fugas y por otros usuarios, quienes sustraen volúmenes de agua para irrigar parcelas aledañas a la cooperativa. Cabe mencionar que 1.8 kms del canal no están revestidos y que en este tramo hay una fuga de 16 mts de longitud en la que se pierde caudal.

Tabla Nº 26: Análisis hidráulico del canal principal "El Genízaro".

Forma geométrica del canal	Caudal (m^3/seg)	Velocidad (m/seg)	Ancho de solera (m)	Tirante (m)	Talud (Z)	Pendiente (m/m)	Área hidráulica (m^2)	Número de Froude	Tipo de Flujo
Rectangular	1.48	0.45	1.53	2.15	0.00	0.000053	3.29	0.098	Subcrítico
Rectangular	1.38	0.59	1.50	1.56	0.00	0.000104	2.34	0.150	Subcrítico
Trapezoidal	0.89	0.62	0.83	0.80	1.20	0.000144	1.43	0.275	Subcrítico
Trapezoidal	0.84	0.72	0.83	0.68	1.30	0.000228	1.17	0.343	Subcrítico
Trapezoidal	0.75	0.77	0.69	0.64	1.30	0.000292	0.97	0.382	Subcrítico
Trapezoidal	0.70	0.55	0.83	0.72	1.30	0.000125	1.27	0.256	Subcrítico
Trapezoidal	0.64	0.50	0.83	0.72	1.30	0.000105	1.27	0.234	Subcrítico
Trapezoidal	0.56	0.65	0.61	0.63	1.20	0.000221	0.86	0.326	Subcrítico
Trapezoidal	0.55	0.76	0.61	0.56	1.20	0.000347	0.72	0.403	Subcrítico

Fuente: Software Hcanales.

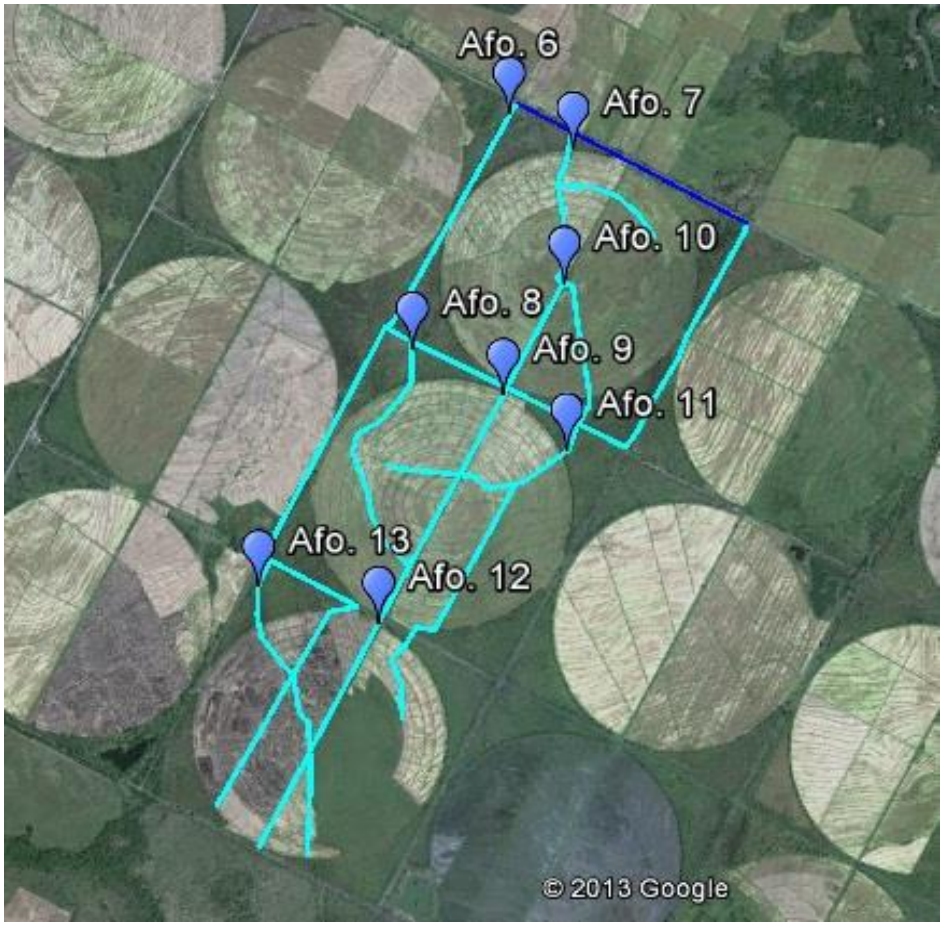
En la tabla Nº 26 se nos muestra el análisis hidráulico que se realizó en el canal principal. El tipo de flujo es subcritico en los puntos analizados; ya que el número de Froude es menor a 1, esto indica que el papel jugado por las fuerzas gravitacionales es más pronunciado; por tanto, el flujo tiene una velocidad baja y a menudo se describe como tranquilo y de corriente lenta.

4.2.2. Análisis hidráulico de los canales secundarios

Para determinar la velocidad del flujo en los canales internos se utilizó el mismo método del flotador. Ya que los canales internos no son revestidos y de sección transversal irregular se utilizó el método de las dovelas para la medición del área transversal; este método consiste en dividir en un determinado número la sección transversal en franjas verticales sucesivas; posteriormente se precedió a medir las franjas verticales como se muestra en la figura 29 y por geometría se calculó el área de cada una de ellas (Ver anexo 3).

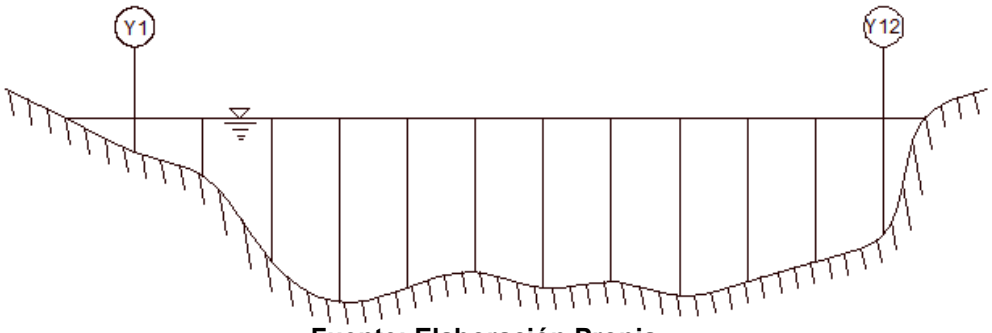
Teniendo un área total y con la velocidad podemos obtener el caudal que pasa por el punto de aforo.

Figura 28. Puntos de aforo de los canales secundarios.



Fuente: Software Google Earth.

Figura 29. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 6"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.345 W85º56.567

Tabla Nº 27: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 6"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	36.73	10	0.2428 m^2
X_2	37.10		
X_3	37.02		
X_4	30.22		
X_5	36.64		
X_6	34.09		
X_7	33.21		
X_8	32.90		
X_9	36.16		
X_{10}	33.25		
X_{11}	33.09		
T_{prom}	34.58		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{34.58\ seg} = 0.29\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.29\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.193\ {}^{m}/_{seg}$$

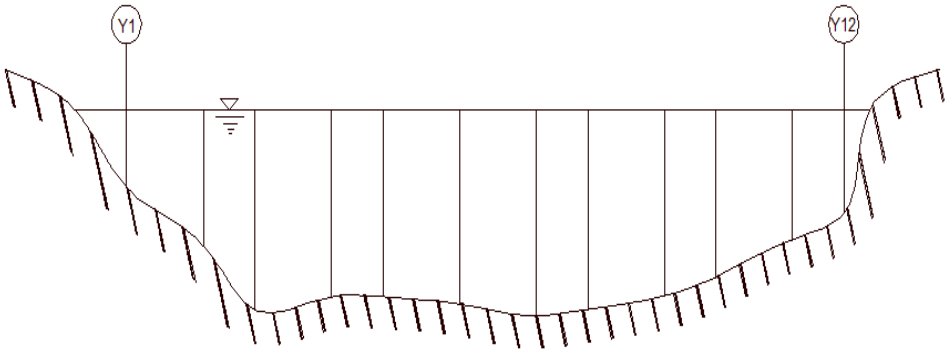
- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.193\ {}^{m}/_{seg} * 0.2428\ m^2 = 0.0469\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.0469\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 745.46\ GPM}$$

Figura 30. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 7"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º15.239 W85º56.458

Tabla Nº 28: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 7"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	44.31	10	0.9713 m^2
X_2	37.97		
X_3	36.29		
X_4	40.28		
X_5	42.29		
X_6	37.22		
X_7	42.8		
X_8	38.31		
X_9	41.15		
X_{10}	37.82		
T_{prom}	39.84		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{39.84\ seg} = 0.25\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.25\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.17\ {}^{m}/_{seg}$$

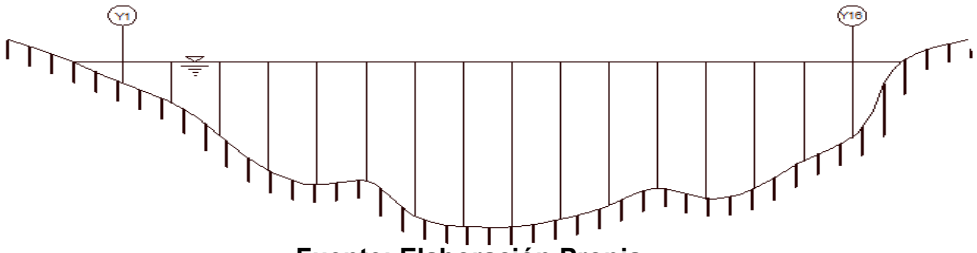
- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.17\ {}^{m}/_{seg} * 0.9713\ m^2 = 0.1651\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.1651\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 2{,}617.17\ GPM}$$

Figura 31. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 8"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º14.916 W85º56.899

Tabla Nº 29: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 8"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	70.70	10	0.5230 m^2
X_2	70.28		
X_3	73.12		
X_4	74.19		
X_5	76.43		
X_6	73.03		
X_7	65.24		
X_8	65.86		
X_9	66.95		
X_{10}	73.76		
T_{prom}	70.96		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{70.96\ seg} = 0.141\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.141\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.094\ {}^{m}/_{seg}$$

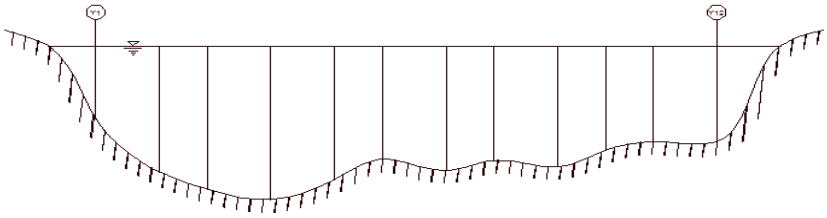
- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.094\ {}^{m}/_{seg} * 0.5230\ m^2 = 0.0492\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.0492\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 779.92\ GPM}$$

Figura 32. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 9"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º14.772 W85º56.711

Tabla Nº 30: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 9"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	26.84	10	0.3820 m^2
X_2	23.06		
X_3	25.79		
X_4	26.28		
X_5	22.90		
X_6	26.78		
X_7	25.62		
X_8	26.28		
X_9	26.29		
X_{10}	28.64		
T_{prom}	25.85		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{25.85\ seg} = 0.39\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.39\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.26\ {}^{m}/_{seg}$$

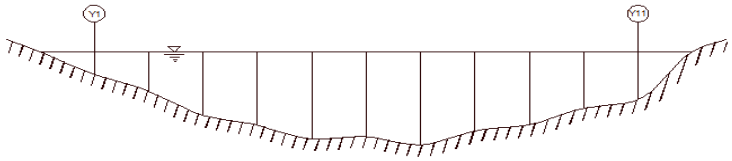
- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.26\ {}^{m}/_{seg} * 0.3820\ m^2 = 0.0993\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.0993\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 1{,}574.10\ GPM}$$

Figura 33. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 10"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º14.968 W85º56.553

Tabla Nº 31: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 10"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	29.82	10	0.3832 m^2
X_2	25.98		
X_3	25.41		
X_4	29.71		
X_5	25.51		
X_6	26.89		
X_7	27.07		
X_8	29.38		
X_9	29.01		
X_{10}	27.04		
X_{11}	26.33		
T_{prom}	27.47		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{27.47\ seg} = 0.364\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.364\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.243\ {}^{m}/_{seg}$$

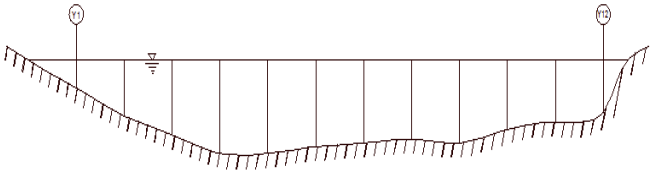
- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.243\ {}^{m}/_{seg} * 0.3832\ m^2 = 0.0931\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.0931\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 1{,}475.82\ GPM}$$

Figura 34. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 11"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º14.625 W85º56.644

Tabla Nº 32: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 11"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	27.45	10	0.4895 m^2
X_2	30.77		
X_3	23.64		
X_4	27.21		
X_5	29.65		
X_6	23.50		
X_7	24.92		
X_8	29.33		
X_9	28.74		
X_{10}	26.26		
X_{11}	25.27		
T_{prom}	26.98		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{26.98\ seg} = 0.371\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{{}^{2}/_{3}} = V * {}^{2}/_{3} = 0.371\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.25\ {}^{m}/_{seg}$$

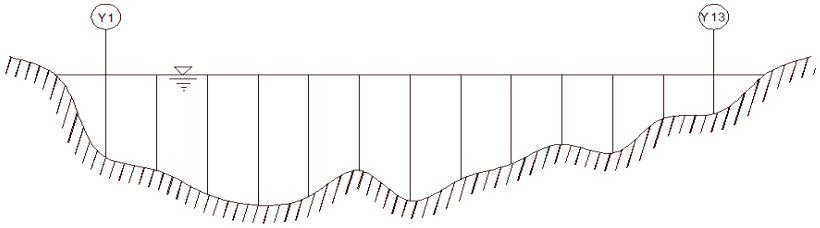
- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{{}^{2}/_{3}} * A = 0.25\ {}^{m}/_{seg} * 0.4895\ m^2 = 0.1224\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.1224\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 1{,}940.28\ GPM}$$

Figura 35. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 12"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º14.373 W85º57.126

Tabla Nº 33: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 12"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	32.82	10	0.1638 m^2
X_2	34.08		
X_3	34.51		
X_4	31.21		
X_5	31.49		
X_6	32.33		
X_7	33.27		
X_8	28.83		
X_9	30.46		
X_{10}	34.20		
T_{prom}	32.32		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{32.32\ seg} = 0.31\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.31\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.21\ {}^{m}/_{seg}$$

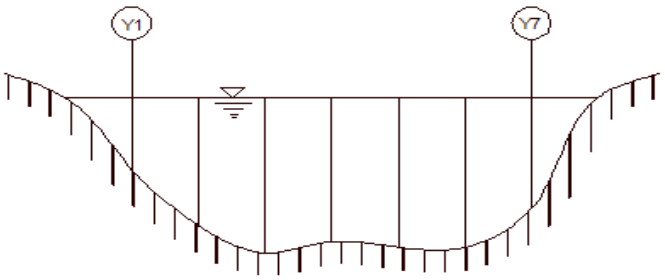
- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.21\ {}^{m}/_{seg} * 0.1638\ m^2 = 0.0344\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.0344\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 545.31\ GPM}$$

Figura 36. Sección transversal del punto de aforo "Afo. 13"



Fuente: Elaboración Propia.

Coordenadas: N12º14.513 W85º57.348

Tabla Nº 34: Datos recolectados en campo del punto de aforo "Afo. 13"

Tiempo "X" (segundos)		Distancia P_1-P_2 (metros)	Área
X_1	63.0	10	0.2749 m^2
X_2	68.0		
X_3	57.52		
X_4	65.0		
X_5	65.0		
X_6	71.0		
X_7	70.0		
T_{prom}	65.65		

Fuente: Elaboración Propia.

- *Cálculo de la velocidad del flujo:*

$$V = \frac{d}{t} = \frac{10\ m}{65.65\ seg} = 0.152\ {}^{m}/_{seg}$$

$$V_{2/3} = V * {}^{2}/_{3} = 0.152\ {}^{m}/_{seg} * {}^{2}/_{3} = 0.101\ {}^{m}/_{seg}$$

- *Cálculo del caudal:*

$$Q = V_{2/3} * A = 0.101\ {}^{m}/_{seg} * 0.2749\ m^2 = 0.0278\ {}^{m^3}/_{seg}$$

$$Q = 0.0278\ \frac{m^3}{seg} * 264.2\ \frac{gal}{m^3} * 60\ \frac{seg}{min}$$

$$\boxed{Q = 440.69\ GPM}$$

Tabla Nº 35: Análisis hidráulico de los canales internos de la cooperativa.

Identificación	Coordenadas		Velocidad (m/seg)	Área Calculada (m^2)	Caudal	
	Norte	Oeste			m^3/seg	GPM
Afo. 6	12º15.345	85º56.567	0.193	0.2428	0.0469	745.46
Afo. 7	12º15.239	85º56.458	0.17	0.9713	0.1651	2,617.17
Afo. 8	12º14.916	85º56.899	0.094	0.5230	0.0492	779.92
Afo. 9	12º14.772	85º56.711	0.26	0.3820	0.0993	1,574.10
Afo. 10	12º14.968	85º56.553	0.243	0.3832	0.0931	1,475.82
Afo. 11	12º14.625	85º56.644	0.25	0.4895	0.1224	1,940.28
Afo. 12	12º14.373	85º57.126	0.21	0.1638	0.0344	545.31
Afo. 13	12º14.513	85º57.348	0.101	0.2749	0.0278	440.69

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla Nº 35 observamos los caudales de los puntos de aforo analizados, los puntos identificados como afo 6 y afo 7, son la primera y segunda derivación respectivamente, si sumamos los dos caudales este nos da 3362.63 gpm. Este caudal de captación es la que sirve para irrigar las parcelas de la cooperativa.

Los valores de velocidad son bajos, muchos de estos canales no tienen una pendiente idónea, y la densa vegetación interfiere en el desplazamiento del flujo, esto merma la eficiencia de los canales. El área de las secciones transversales estudiadas son muy irregulares, sin forma geométrica definida, pudiendo causar desbordes.

Los aforos se realizaron a la entrada de cada cuadrante. Las áreas netas de riego estaban distribuidos de la forma siguiente: 100 mz en el cuadrante 43 y 17 mz en el 49. Totalizando 117 mz bajo riego.

Si analizamos el caudal de los puntos afo 9 que es la entrada de flujo al cuadrante 43 y el afo 13 que es la entrada del 49, difieren en un 65 % en cuanto a pérdidas por conducción, influyendo de gran manera el pobre o casi nulo mantenimiento que se genera para con estos canales.

4.2.3. Cálculo de las eficiencias parcelarias

Para la determinación del caudal a la entrada de la melga se aforó por el método volumétrico:

Volumen del recipiente: 55 galones.

$$Q = \frac{volumen}{tiempo}$$

$$Q_1 = \frac{55\ gal}{7.99\ seg} * 60 \frac{seg}{1\ min} = 413.02\ gpm$$

t_1= 7.99 seg

t_2= 8.0 seg

$$Q_2 = \frac{55\ gal}{8.0\ seg} * 60 \frac{seg}{1\ min} = 412.50\ gpm$$

t_3= 7.89 seg

$$Q_1 = \frac{55\ gal}{7.89\ seg} * 60 \frac{seg}{1\ min} = 418.25\ gpm$$

$$Q_{Prom} = \frac{413.02 + 412.5 + 418.25}{3} = 414.59\ gpm \cong 415\ gpm$$

Los datos recolectados en campo se presentan a continuación:

Ancho de la melga: 37 metros
Longitud de la melga: 43 metros.
Tiempo de aplicación: 3 horas = 180 min.

$$I_{acum} = 3.35043602\ {t_0}^{0.35847574}$$

- ***Tiempo de avance:***

Tabla Nº 36: Tiempos de avance recolectados en campo.

Longitud Acumulada (m)	*Tiempo (minutos)*
8	20.11
16	62.43
24	97.10
32	124.31
40	156.65
43	172.28

Fuente: Elaboración Propia.

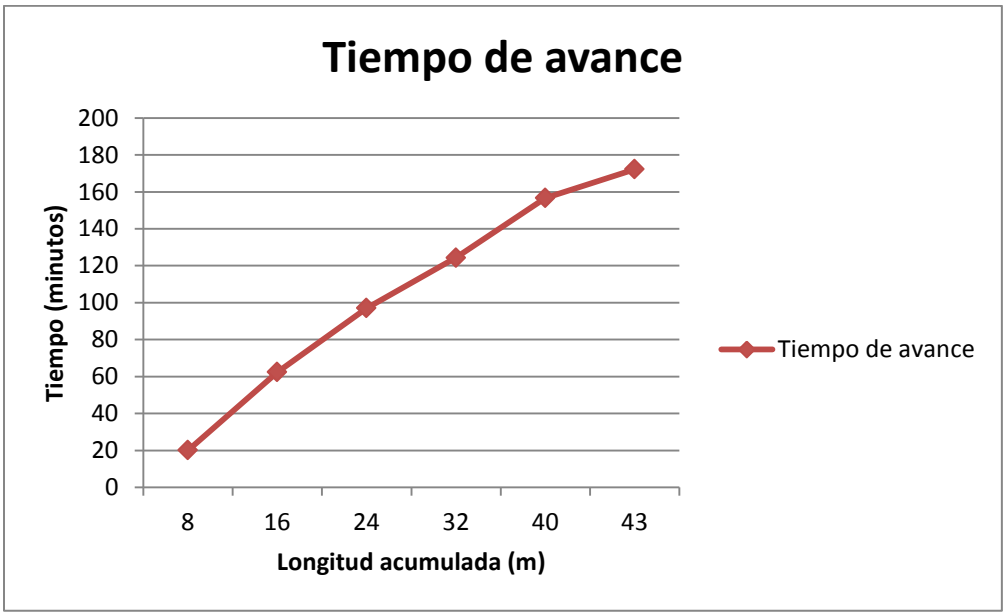
- ***Tiempo de receso:***

Tabla Nº 37: Tiempos de receso recolectados en campo.

Longitud Acumulada (m)	*Tiempo (minutos)*
8	1163.29
16	1072.11
24	937.37
32	1062.27
40	984.95
43	1014.64

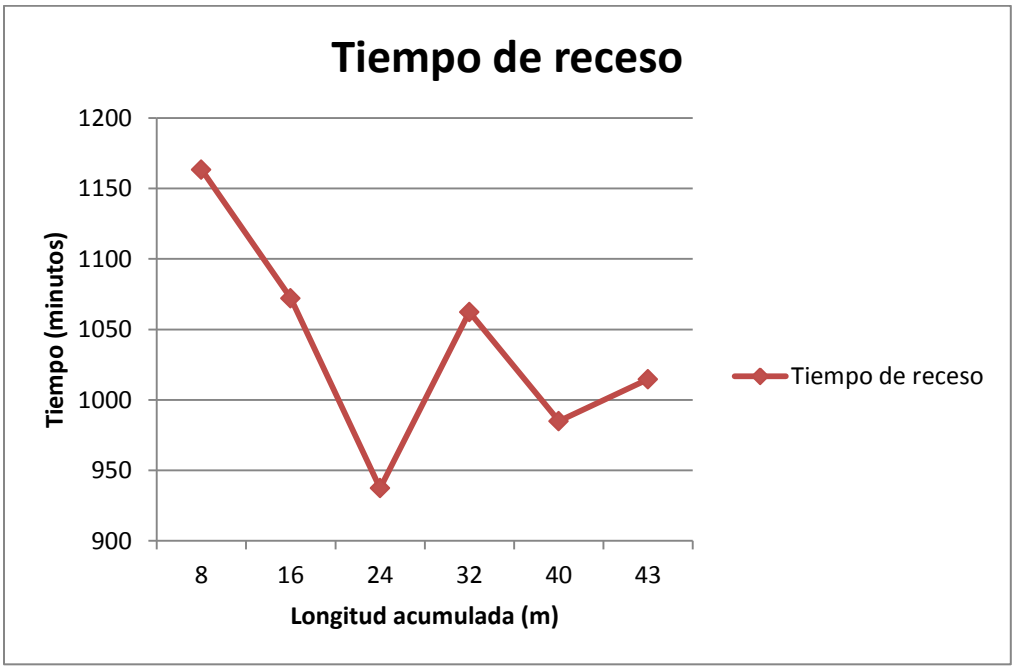
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico Nº 1. Tiempos de avance.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico Nº 2. Tiempos de receso.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla Nº 38: Cálculo de la humedad antes del riego

Ubicación	Identificación de la tara	P. Tara (gr)	PSH + T (gr)	PSS + T (gr)	% Humedad
Cabecera	B 1	147.30	284.05	234.95	56.02
½	B 2	145.25	302.15	255.50	42.31
Final	B 3	145.60	309.80	251.15	55.57
				Promedio	**51.30 = Wa (Humedad antes del riego)**

Fuente: Elaboración Propia.

$$\%\, \boldsymbol{H} = \frac{(\boldsymbol{PSH} + \boldsymbol{T}) - (\boldsymbol{PSS} + \boldsymbol{T})}{(\boldsymbol{PSS} + \boldsymbol{T}) - \boldsymbol{PT}} * \mathbf{100}$$

$$\%\, H = \frac{(284.05) - (234.95)}{(234.95) - 147.30} * 100 = 56.02\%$$

$$\%\, H = \frac{(302.15) - (255.50)}{(255.50) - 145.25} * 100 = 42.31\%$$

$$\%\, H = \frac{(309.80) - (251.15)}{(251.15) - 145.60} * 100 = 55.57\%$$

Tabla Nº 39: Cálculo de la humedad después del riego.

Ubicación	Identificación de tara	P. Tara (gr)	PSH + T (gr)	PSS + T (gr)	% Humedad
Cabecera	GP 2	147.00	361.90	276.00	66.59
½	DP 3	147.10	339.20	263.80	64.61
Final	DP 2	146.90	321.50	253.00	64.56
				Promedio	**65.25 = Wd (Humedad después del riego)**

Fuente: Elaboración Propia.

$$\%\,H = \frac{(361.90) - (276.00)}{(276.00) - 147.00} * 100 = 66.59\%$$

$$\%\,H = \frac{(339.20) - (263.80)}{(263.80) - 147.10} * 100 = 64.61\%$$

$$\%\,H = \frac{(321.50) - (253.00)}{(253.00) - 146.90} * 100 = 64.56\%$$

- ***Cálculo de la lámina de reposición (dn)***

$$\boldsymbol{dn = \frac{Wd - Wa}{100} * Da * h}$$

Datos:

Da= 0.91 gr/cm^3
h= 30 cm = 0.30 m

$$dn = \frac{65.25 - 51.30}{100} * 0.91\ gr/cm^3 * 30\ cm$$

$$\boldsymbol{dn = 3.81 = 38.1\ mm}$$

- ***Cálculo de la lámina bruta aplicada***

$$\boldsymbol{qu = \frac{Q}{n * W}}$$

$$\boldsymbol{db = \frac{qu * t\ ap.}{L * Wu}}$$

Datos:
W = 37 metros
n = 1

$$Q = 415\ gpm * 3.785\ \frac{litros}{1\ gal} * \frac{1\ min}{60\ seg} = 26.18\ lps$$

$$qu = \frac{26.18}{1 * 37} = 0.71\ \frac{litros}{seg * m}$$

$$db = \frac{0.71 * (180\ min * 60\ \frac{seg}{min})}{43\ mt * 1\ mt} = \boldsymbol{178.33\ mm}$$

Tabla Nº 40: Patrón de infiltración.

TABLA DE CAMPO : Patrón de Infiltración										
No	**Dist. (m)**	**Ta (min)**	**Tr (min)**	**To (min)**	**I acum (mm)**	**I acum Aj. (mm)**	**dn (mm)**	**D perc. (mm)**	**Déficit (mm)**	**I acum Aj. Ordenada**
1	8	20.11	1163.29	1143.18	41.8178	192.0715	38.1	153.97	0	171.1207
2	16	62.43	1072.11	1009.68	39.9971	183.7089	38.1	145.61	0	172.0031
3	24	97.10	937.37	840.27	37.4485	172.0031	38.1	133.90	0	172.1565
4	32	124.31	1062.27	937.96	38.9545	178.9202	38.1	140.82	0	178.9202
5	40	156.65	984.95	828.30	37.2564	171.1207	38.1	133.02	0	183.7089
6	43	172.28	1014.64	842.36	37.4819	172.1565	38.1	134.06	0	192.0715
Promedio					**38.8260**	**178.3302**	**38.1**	**140.23**	**0**	

Fuente: Elaboración Propia.

$$Iacum = 3.35043602 * {t_0}^{0.35847574}$$

$$Iacum_{ajus} = 3.35043602 * {t_0}^{0.35847574}(\frac{db}{PromI_{acum}})$$

$$Iacum_{ajus} = 3.35043602 * {t_0}^{0.35847574}(\frac{178.33}{38.8260})$$

$$Iacum_{ajus} = 15.38874093 * {t_0}^{0.35847574}$$

Promedio del ¼ más desfavorable: 171.5619 mm

- ***Cálculo de la Eficiencia de aplicación:***

$$EAP = \frac{Lamina\ infiltrada\ y\ almacenada}{lamina\ aplicada\ o\ bruta} * 100$$

$$EAP = \frac{38.1}{178.33} * 100 = \mathbf{21.37}\%$$

- ***Cálculo de la Eficiencia de almacenamiento:***

$$EAL = \frac{Lamina\ de\ agua\ infiltrada\ y\ almacenada}{lamina\ requerida/almacenable} * 100$$

$$EAL = \frac{38.1}{38.1} * 100 = \mathbf{100}\%$$

- ***Cálculo de la Eficiencia de distribución:***

$$EDI = \frac{Lamina\ infiltrada\ del\ \frac{1}{4}\ mas\ desfavorable}{lamina\ infiltrada\ promedio} * 100$$

$$EDI = \frac{171.5619}{178.33} * 100 = \mathbf{96.21}\%$$

Con los resultados obtenidos se pude notar que el valor de la eficiencia de aplicación es muy bajo, esto indica forzosamente que la distribución del agua a lo largo de la melga no ha sido la adecuada para que todas las plantas del cultivo reciban la misma lámina de reposición; lo más probable es que ese riego no fue suficiente para reponer en el perfil del suelo el agua consumida por el cultivo, en la profundidad radical a lo largo de toda la unidad de riego.

Un manejo más adecuado del agua en el campo puede significar un ahorro en el uso del agua, mano de obra y energía y además puede aumentar la productividad de los cultivos agrícolas. El estudio cuidadoso de los resultados de la evaluación del sistema de riego puede indicar donde y cuando se deben hacer modificaciones en esta práctica de producción, al entregar un enfoque de manejo con una base razonable para la selección de estas modificaciones.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. El suelo en general presenta buenas condiciones edáficas, que permiten un óptimo desarrollo del cultivo del arroz, esto lo demuestran los resultados del análisis de suelo donde los valores de las propiedades hidrofísicas en comparación con rangos teóricos nos describe el comportamiento de este.

2. La velocidad de infiltración determinada en los cuadrantes 39,43 y 49 que comprenden el área total de la cooperativa, cuyos valores son: 1.9 cm/h, 1.6 cm/h y 2.6 cm/h en el orden respectivo, están dentro de los rangos de clasificación como moderadamente lenta a lenta, deduciendo que la granulometría de las partículas son muy pequeñas, cohesionadas, haciéndolo un suelo impermeable, que permite retener agua y que propicia la adaptabilidad del cultivo del arroz.

3. Según el análisis hidráulico que se realizó en el canal principal ‘’El Genizaro’’ obtuvimos un 62.85% entre pérdidas por conducción, fugas, y extracción del flujo por otros usuarios, en el tramo comprendido desde la obra de toma de la presa hasta la segunda derivación que abastece los cuadrantes de la cooperativa, de 1.48 m^3/s el caudal disminuye a 0.55 m^3/s a lo largo de 6.6 kms de longitud, a través de esta trayectoria valoramos nueve puntos claves y en donde se nos permitieran las condiciones óptimas de aforo. A través de este estudio pudimos obtener que el tipo de flujo es subcritico, con una corriente lenta esto es debido a los valores de velocidad que son bajos, y que aumenta un poco cuando hay una contracción en la sección, siendo la velocidad máxima de 0.77 m/s, la pendiente permite ese desplazamiento del flujo ya que es baja.

4. Así mismo se realizó una valoración hidráulica en los canales internos, en donde hay un aporte de 2,617.17 gpm producto de la captación del segundo punto de derivación, de estos llegan aproximadamente 545.31 gpm a la entrada del cuadrante 49, lo que indica que solamente el 20.83% del caudal inicial llega hasta el punto de culminación. De la primera derivación se extraen 745.46 gpm de estos llegan 440.69 gpm al extremo izquierdo del cuadrante 49, causando una pérdida del 40.88% del flujo. Este canal realiza la función de recargar al canal del segundo punto para ayudar a irrigar las parcelas del extremo derecho del cuadrante 43 y 49, debido a la merma de agua que se ha producido producto de la densa vegetación y del poco mantenimiento de estos canales.

5. Si estableciéramos un hidromódulo de riego de 25 gpm/ mz, tendríamos la capacidad de regar una área de aproximadamente 134.5 mz (94.72 ha), ya que contamos con un caudal de entrada 3362.5 gpm, el cual es variable, pero este gasto calculado se realizó en época critica, lo que nos indica que contamos con más disponibilidad de agua en los primeros meses de haber empezado la campaña de riego, o sea que la cooperativa tendrá la facilidad de suplir la demanda de agua del cultivo del arroz de 125 mz máximas que se siembran en verano.

6. En el ensayo de campo para la determinación de eficiencia parcelaria, obtuvimos valores de 21.37% de eficiencia de aplicación, 100% eficiencia de almacenamiento y 96.21% eficiencia de distribución, lo que hace que el tipo de riego sea excesivo, si nuestra eficiencia de aplicación es baja quiere decir que las plantas no recibieron la cantidad de agua necesaria por lo tanto la lámina de reposición no ha sido muy bien distribuida a lo largo de la melga, influyendo de gran manera la topografía del terreno la cual era muy irregular, esto impedía la transición uniforme de la aplicación del flujo. Sin embargo la eficiencia de almacenamiento no presento problemas ya que según su valor nos muestra que toda la rizosfera de la planta ha sido mojada, dejándola a capacidad de campo.

5.2. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en la investigación, hacemos las siguientes recomendaciones:

1. Realizar una nivelación de suelo, de esta forma lograremos una aplicación uniforme de la lámina de agua, elevando así los rendimientos en la cosecha.

2. Darle mantenimiento de forma periódica a los canales internos que abastecen a las parcelas de riego, de esta forma disminuiremos las perdidas por conducción y así se evitara la proliferación de malezas.

3. Mejorar la accesibilidad de los caminos internos de la cooperativa, ya que actualmente se imposibilita la libre circulación, causando atrasos en las labores de campo que han de ejecutarse.

4. La comisión o autoridades encargadas del canal principal “El Genizaro” deben velar con mayor interés la explotación que se le genera a este, ya que la infraestructura con el pasar del tiempo se va deteriorando cada vez más, sin control alguno.

5. Demoler casetas de bombeo localizadas en ciertos puntos en canal principal “El Genizaro”, para evitar el estancamiento del agua, que interfiere en el desplazamiento del flujo.

6. Colocar compuerta a la entrada de la segunda derivación de la cooperativa, ya que solo la primera derivación tiene compuerta, con el objetivo de regular y obtener mayor control sobre el paso del flujo.

7. Contemplar un plan de rediseño de los canales internos, definiendo la función de cada uno de estos, y así mismo una red de drenaje, con la finalidad de optimizar el riego.

8. Para efectos de una mejor precisión de aforo, es mejor realizarlo con un molinete que por el método del flotador, ya que se obtienen datos más precisos de los caudales.

9. Mejorar controles por parte de la comisión administradora de la presa sobre el caudal que extraen los productores del canal principal, ya que se causa un desequilibrio, sobre todo en los cuadrantes más alejados de la presa que se ven afectados por la alta explotación que se produce en las partes más cercanas, bajando los niveles de agua en época critica.

BIBLIOGRAFÍA

- BOS M., Reploge J. & Clemmens A. (1986). Aforadores de caudal para canales abiertos. ILRI. Publicación 38. The Netherlands.

- Booher, L.J. (1974). El Riego Superficial. FAO nº 95. Roma.

- BROUWER, C.; GOFFEAU, A.; HEIBLOEM, M. (1985). Introduction to irrigation, Irrigation Water Management Training Manual nº 1, FAO, Roma.

- Catalá Icardo, Mónica; López Paz, José Luis; Marín García, Mª Luisa. (2007). ANÁLISIS QUÍMICO GENERAL Y APLICADO A SUELOS Y AGUAS. Publi. Uni. Polité.

- Carrazón Alocén, Julian. (2007). Manual Práctico para el Diseño de Sistemas de Miniriego. Honduras.

- Faci González, J.M.; Playan Jubillar, E. (1994). Principios Básicos del Riego por Superficie. Hoja Divulgadora 10-11/94 HD. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

- Fernández Gómez, Rafael. (1999). Manual de Riego para Agricultores. Andalucia.

- Fernández R.; Oyonarte N.; Mateos L. (1998). (CD-Rom). Curso de Riego por Superficie. Federación de Comunidades de Regantes de la Cuenca del Guadalquivir. Sevilla.

- Franco, Enrique E. (1990). Plan de emergencia para la reactivación y Desarrollo Agrícola en Nicaragua. Área de la agricultura de riego. Informe de misión. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Managua, Nicaragua.

- Gurovich, L. A. (1985). Principios y Métodos de Riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. Costa Rica.

- Gurovich, L. (1985). Fundamentos y diseño de sistema de riego. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). Primera Edición, San José, Costa Rica. Capítulo 6. p. 143-168.

- Gurovich, L. y Ramos, R. (1984). Un modelo computarizado para diseñar sistemas de riego por bordes. C.I.A. 11(2):145-158.

- Gurovich, L. y Riveros, M. (1993). Solución analítica y validación matemática de un modelo de flujo superficial e infiltración simultáneos durante el riego. Revista Apuntes de Ingeniería 14: 11-18.

- HILLEL, D. (1980) Fundamentals of soil physics, Academic Press, Nueva York, 413 p.

- Israelsen, O. W., Hansen, V. E. (1962). Irrigation Principles and Practices. Third edition, John Wiley & Sons, Inc. New York.

- Marín García, Mª Luisa; Aragón Revuelta, Pilar; Gómez Benito, Mª Carmen. (2004). Análisis Químicos de Suelos y Aguas. Publi. Uni. Polité.

- Merriam, J., Keller, J., (1978). Farm Irrigation system evaluation: A guide for management. Department of Agriculture and Irrigation Engineering. Utah State University, Logan, Utah, USA

- MIDINRA, (1989). Programa de riego y drenaje y conservación de suelos. Documento preparado para la primera semana Centro Americana de riego, realizada en San José, Costa Rica del 9 al 15 de Octubre. Managua, Nicaragua.

- MORÁBITO José A. (2003). Desempeño del Riego por Superficie en el Área de Riego del Río Mendoza. Eficiencia Actual y Potencial. Parámetros de Riego y Recomendaciones para un Mejor Aprovechamiento Agrícola en un Marco Sustentable. Tesis para optar al Grado de Magister Scientiae de la Maestría en Riego y Drenaje. Universidad Nacional de Cuyo, Instituto Nacional del Agua, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Mendoza Argentina.

- Prieto, D., Soppe, R., Angella, G. (1994). “La Eficiencia del Uso del Agua de Riego en el Proyecto del Río Dulce (PRD), Santiago del Estero. Parte I: La Eficiencia Global del Proyecto”. Publicación de las Primeras Jornadas Provinciales de Riego, pp. 13-18. Santiago del Estero, Argentina, July 4th and 5th.

- Prieto, D., van der Eijk, J., Angella, G. (1994). “Eficiencia del Uso del Agua en el PRD. Parte III: Eficiencia y Uniformidad de Aplicación”. Publicación de las

Primeras Jornadas Provinciales de Riego, pp. 23-30. Santiago del Estero, Argentina, July 4th and 5th.

- Roscher, K. (1994). Agro-Irrigation Lectures Notes. Part 2: On-Farm Surface Irrigation. Department of Irrigation and Soil and Water Conservation, Wageningen Agricultural University, the Netherlands.

- Varas B, Edmundo; Sandoval, Jorge. (1991). Manual de Riego. Chile, Chilán. Serie Quillamapu Nº 26.

- VILLALOBOS, F. J. (1995). Programación de riegos. Córdoba, España.

- WALKER, R. (2003). "Simulación, diseño y evaluación de riego por superficie. Guía del curso y documentación técnica". Utah State University. Logan, Utah, USA.

- Yagüe, Luis Fuentes. (2003). MANUAL PRÁCTICO SOBRE UTILIZACIÓN DE SUELO Y FERTILIZANTES.

- http://www.slideshare.net/josemrodriguezbritto/el-cultivo-del-arroz Consultada el 25 de mayo de 2013.
- http://canales.ideal.es/canalagro/datos/herbaceos/cereales/arroz.htm Consultada el 01 de Junio de 2013.
- http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz2.htm Consultada el 30 de Junio de 2013.

ANEXOS

ANEXOS 1: TABLAS

Tabla Nº 41: Datos recolectados de la velocidad de infiltración del cuadrante 39.

Hora	Lectura (cm)	Tiempo (min)		Lamina Infiltrada (cm)		Velocidad de infiltración (cm/hr)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulada	Instantánea	Acumulada
8:31	1	0	0	0	0	0	0
8:32	3.7	1	1	2.7	2.7	162	162.0
8:33	5.1	1	2	1.4	4.1	84	246.0
8:34	6.1	1	3	1	5.1	60	306.0
8:35	6.7	1	4	0.6	5.7	36	342.0
8:36	7.4	1	5	0.7	6.4	42	384.0
8:37	7.8	1	6	0.4	6.8	24	408.0
8:38	8.3(1)	1	7	0.5	7.3	30	438.0
8:40	2	2	9	1	8.3	30	468.0
8:42	2.8	2	11	0.8	9.1	24	492.0
8:44	3.2	2	13	0.4	9.5	12	504.0
8:46	3.7	2	15	0.5	10	15	519.0
8:49	4.4	3	18	0.7	10.7	14	533.0
8:52	4.9	3	21	0.5	11.2	10	543.0
8:55	5.3	3	24	0.4	11.6	8	551.0
8:58	5.7	3	27	0.4	12	8	559.0
9:02	6.1	4	31	0.4	12.4	6	565.0
9:06	6.5	4	35	0.4	12.8	6	571.0
9:11	6.9 (1)	5	40	0.4	13.2	4.8	575.8
9:16	1.7	5	45	0.7	13.9	8.4	584.2
9:21	2	5	50	0.3	14.2	3.6	587.8
9:31	2.7	10	60	0.7	14.9	4.2	592.0
9:41	3.4	10	70	0.7	15.6	4.2	596.2
9:51	4	10	80	0.6	16.2	3.6	599.8
10:06	4.8	15	95	0.8	17	3.2	603.0
10:21	5.5	15	110	0.7	17.7	2.8	605.8
10:36	6.1(1)	15	125	0.6	18.3	2.4	608.2
11:06	3.1	30	155	2.1	20.4	4.2	612.4
11:36	4.9	30	185	1.8	22.2	3.6	616.0
12:06	6.5	30	215	1.6	23.8	3.2	619.2
12:36	8.1 (1)	30	245	1.6	25.4	3.2	622.4
1:06	3	30	275	2	27.4	4	626.4
1:36	5	30	305	2	29.4	4	630.4
2:06	7	30	335	2	31.4	4	634.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 42: Cálculo para el ajuste de la infiltración instantánea del cuadrante 39.

Nº	Tiempo Acumulado (X)	Velocidad de infiltración (Y)	Log T (X)	Log V_{inf} (Y)	X^2	Y^2	XY
1	1	162	0	2.20952	0	4.88196	0
2	2	84	0.30103	1.92428	0.09062	3.70285	0.57927
3	3	60	0.47712	1.77815	0.22764	3.16182	0.84839
4	4	36	0.60206	1.55630	0.36248	2.42208	0.93699
5	5	42	0.69897	1.62325	0.48856	2.63494	1.13460
6	6	24	0.77815	1.38021	0.60552	1.90498	1.07401
7	7	30	0.84510	1.47712	0.71419	2.18189	1.24831
8	9	30	0.95424	1.47712	0.91058	2.18189	1.40953
9	11	24	1.04139	1.38021	1.08450	1.90498	1.43734
10	13	12	1.11394	1.07918	1.24087	1.16463	1.20215
11	15	15	1.17609	1.17609	1.38319	1.38319	1.38319
12	18	14	1.25527	1.14613	1.57571	1.31361	1.43870
13	21	10	1.32222	1.00000	1.74826	1.00000	1.32222
14	24	8	1.38021	0.90309	1.90498	0.81557	1.24645
15	27	8	1.43136	0.90309	2.04880	0.81557	1.29265
16	31	6	1.49136	0.77815	2.22416	0.60552	1.16050
17	35	6	1.54407	0.77815	2.38415	0.60552	1.20152
18	40	4.8	1.60206	0.68124	2.56660	0.46409	1.09139
19	45	8.4	1.65321	0.92428	2.73311	0.85429	1.52803
20	50	3.6	1.69897	0.55630	2.88650	0.30947	0.94514
21	60	4.2	1.77815	0.62325	3.16182	0.38844	1.10823
22	70	4.2	1.84510	0.62325	3.40439	0.38844	1.14996
23	80	3.6	1.90309	0.55630	3.62175	0.30947	1.05869
24	95	3.2	1.97772	0.50515	3.91139	0.25518	0.99905
25	110	2.8	2.04139	0.44716	4.16728	0.19995	0.91283
26	125	2.4	2.09691	0.38021	4.39703	0.14456	0.79727
27	155	4.2	2.19033	0.62325	4.79755	0.38844	1.36512
28	185	3.6	2.26717	0.55630	5.14007	0.30947	1.26123
29	215	3.2	2.33244	0.50515	5.44027	0.25518	1.17823
30	245	3.2	2.38917	0.50515	5.70811	0.25518	1.20689
31	275	4	2.43933	0.60206	5.95034	0.36248	1.46862
32	305	4	2.48430	0.60206	6.17175	0.36248	1.49570
33	335	4	2.52504	0.60206	6.37585	0.36248	1.52023

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 43: Ajuste de la infiltración instantánea del Cuadrante 39.

Nº	Tiempo Acumulado	Velocidad de infil. ajustada
1	1	94.733
2	2	59.454
3	3	45.272
4	4	37.312
5	5	32.116
6	6	28.412
7	7	25.616
8	9	21.635
9	11	18.905
10	13	16.897
11	15	15.348
12	18	13.578
13	21	12.241
14	24	11.191
15	27	10.339
16	31	9.422
17	35	8.684
18	40	7.939
19	45	7.334
20	50	6.833
21	60	6.045
22	70	5.450
23	80	4.982
24	95	4.439
25	110	4.022
26	125	3.691
27	155	3.194
28	185	2.836
29	215	2.564
30	245	2.348
31	275	2.173
32	305	2.027
33	335	1.903
Infiltración básica = 1.9 cm/hr		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 44: Datos recolectados de la velocidad de infiltración del cuadrante 43.

Hora	Lectura (cm)	Tiempo (min)		Lamina Infiltrada (cm)		Velocidad de infiltración (cm/hr)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulada	Instantánea	Acumulada
9:08	1	0	0	0	0	0	0
9:09	3.5	1	1	2.5	2.5	150	150
9:10	5	1	2	1.5	4	90	240
9:11	6	1	3	1	5	60	300
9:12	6.5	1	4	0.5	5.5	30	330
9:13	7.2	1	5	0.7	6.2	42	372
9:14	7.7	1	6	0.5	6.7	30	402
9:15	8.1 (1)	1	7	0.4	7.1	24	426
9:17	1.7	2	9	0.7	7.8	21	447
9:19	2.5	2	11	0.8	8.6	24	471
9:21	3	2	13	0.5	9.1	15	486
9:23	3.5	2	15	0.5	9.6	15	501
9:26	4.2	3	18	0.7	10.3	14	515
9:29	4.7	3	21	0.5	10.8	10	525
9:32	5	3	24	0.3	11.1	6	531
9:35	5.3	3	27	0.3	11.4	6	537
9:39	5.8	4	31	0.5	11.9	7.5	544.5
9:43	6.2	4	35	0.4	12.3	6	550.5
9:48	6.7 (1)	5	40	0.5	12.8	6	556.5
9:53	1.4	5	45	0.4	13.2	4.8	561.3
9:58	1.8	5	50	0.4	13.6	4.8	566.1
10:08	2.5	10	60	0.7	14.3	4.2	570.3
10:18	3.2	10	70	0.7	15	4.2	574.5
10:28	3.7	10	80	0.5	15.5	3	577.5
10:43	4.4	15	95	0.7	16.2	2.8	580.3
10:58	5	15	110	0.6	16.8	2.4	582.7
11:13	5.6 (1)	15	125	0.6	17.4	2.4	585.1
11:43	2.6	30	155	1.6	19	3.2	588.3
12:13	4.3	30	185	1.7	20.7	3.4	591.7
12:43	5.7	30	215	1.4	22.1	2.8	594.5
13:13	7 (1)	30	245	1.3	23.4	2.6	597.1
13:43	2.5	30	275	1.5	24.9	3	600.1
14:13	4	30	305	1.5	26.4	3	603.1
14:43	5.5	30	335	1.5	27.9	3	606.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 45: Cálculo para ajuste de la infiltración instantánea del cuadrante 43.

Nº	Tiempo Acumulado (X)	Velocidad de infiltración (Y)	Log T (X)	Log V_{inf} (Y)	X^2	Y^2	XY
1	1	150	0	2.17609	0	4.73537	0
2	2	90	0.30103	1.95424	0.09062	3.81906	0.58829
3	3	60	0.47712	1.77815	0.22764	3.16182	0.84839
4	4	30	0.60206	1.47712	0.36248	2.18189	0.88932
5	5	42	0.69897	1.62325	0.48856	2.63494	1.13460
6	6	30	0.77815	1.47712	0.60552	2.18189	1.14942
7	7	24	0.84510	1.38021	0.71419	1.90498	1.16641
8	9	21	0.95424	1.32222	0.91058	1.74826	1.26172
9	11	24	1.04139	1.38021	1.08450	1.90498	1.43734
10	13	15	1.11394	1.17609	1.24087	1.38319	1.31010
11	15	15	1.17609	1.17609	1.38319	1.38319	1.38319
12	18	14	1.25527	1.14613	1.57571	1.31361	1.43870
13	21	10	1.32222	1.00000	1.74826	1.00000	1.32222
14	24	6	1.38021	0.77815	1.90498	0.60552	1.07401
15	27	6	1.43136	0.77815	2.04880	0.60552	1.11382
16	31	7.5	1.49136	0.87506	2.22416	0.76573	1.30503
17	35	6	1.54407	0.77815	2.38415	0.60552	1.20152
18	40	6	1.60206	0.77815	2.56660	0.60552	1.24664
19	45	4.8	1.65321	0.68124	2.73311	0.46409	1.12624
20	50	4.8	1.69897	0.68124	2.88650	0.46409	1.15741
21	60	4.2	1.77815	0.62325	3.16182	0.38844	1.10823
22	70	4.2	1.84510	0.62325	3.40439	0.38844	1.14996
23	80	3	1.90309	0.47712	3.62175	0.22764	0.90800
24	95	2.8	1.97772	0.44716	3.91139	0.19995	0.88435
25	110	2.4	2.04139	0.38021	4.16728	0.14456	0.77616
26	125	2.4	2.09691	0.38021	4.39703	0.14456	0.79727
27	155	3.2	2.19033	0.50515	4.79755	0.25518	1.10645
28	185	3.4	2.26717	0.53148	5.14007	0.28247	1.20495
29	215	2.8	2.33244	0.44716	5.44027	0.19995	1.04297
30	245	2.6	2.38917	0.41497	5.70811	0.17220	0.99144
31	275	3	2.43933	0.47712	5.95034	0.22764	1.16386
32	305	3	2.48430	0.47712	6.17175	0.22764	1.18531
33	335	3	2.52504	0.47712	6.37585	0.22764	1.20475

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 46: Ajuste de la infiltración instantánea del cuadrante 43.

Nº	Tiempo Acumulado	Velocidad de infil. ajustada
1	1	99.044
2	2	60.597
3	3	45.460
4	4	37.074
5	5	31.651
6	6	27.814
7	7	24.935
8	9	20.866
9	11	18.099
10	13	16.078
11	15	14.527
12	18	12.766
13	21	11.445
14	24	10.411
15	27	9.577
16	31	8.684
17	35	7.968
18	40	7.249
19	45	6.668
20	50	6.188
21	60	5.438
22	70	4.875
23	80	4.435
24	95	3.926
25	110	3.539
26	125	3.232
27	155	2.775
28	185	2.448
29	215	2.201
30	245	2.006
31	275	1.848
32	305	1.717
33	335	1.607
Infiltración básica = 1.6 cm/hr		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 47: Datos recolectados de la velocidad de infiltración del cuadrante 49.

Hora	Lectura (cm)	Tiempo (min)		Lamina Infiltrada (cm)		Velocidad de infiltración (cm/hr)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulada	Instantánea	Acumulada
9:23	1	0	0	0	0	0	0
9:24	2.5	1	1	1.5	1.5	90	90
9:25	3.5	1	2	1	2.5	60	150
9:26	4	1	3	0.5	3	30	180
9:27	4.5	1	4	0.5	3.5	30	210
9:28	5	1	5	0.5	4	30	240
9:29	5.4	1	6	0.4	4.4	24	264
9:30	5.8	1	7	0.4	4.8	24	288
9:32	6.3	2	9	0.5	5.3	15	303
9:34	7	2	11	0.7	6	21	324
9:36	7.4	2	13	0.4	6.4	12	336
9:38	7.8 (1)	2	16	0.4	6.8	12	348
9:41	1.6	3	19	0.6	7.4	12	360
9:44	2.3	3	22	0.7	8.1	14	374
9:47	2.8	3	25	0.5	8.6	10	384
9:50	3.2	3	29	0.4	9	8	392
9:54	3.8	4	33	0.6	9.6	9	401
9:58	4.1	4	38	0.3	9.9	4.5	405.5
10:03	4.5	5	43	0.4	10.3	4.8	410.3
10:08	5	5	48	0.5	10.8	6	416.3
10:13	5.5	5	58	0.5	11.3	6	422.3
10:23	6.2	10	68	0.7	12	4.2	426.5
10:33	7	10	78	0.8	12.8	4.8	431.3
10:43	7.5 (1)	10	93	0.5	13.3	3	434.3
10:58	2.3	15	108	1.3	14.6	5.2	439.5
11:13	3.3	15	123	1	15.6	4	443.5
11:28	4.5	15	153	1.2	16.8	4.8	448.3
11:58	6.5	30	183	2	18.8	4	452.3
12:28	8.4 (1)	30	213	1.9	20.7	3.8	456.1
12:58	3.2	30	243	2.2	22.9	4.4	460.5
1:28	5.2	30	273	2	24.9	4	464.5
1:58	7.2 (1)	30	303	2	26.9	4	468.5
2:28	3	30	333	2	28.9	4	472.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 48: Cálculo para el ajuste de la infiltración instantánea para el cuadrante 49.

Nº	Tiempo Acumulado (X)	Velocidad de infiltración (Y)	Log T (X)	Log V_{inf} (Y)	X^2	Y^2	XY
1	1	90	0	1.95424	0	3.81906	0
2	2	60	0.30103	1.77815	0.09062	3.16182	0.53528
3	3	30	0.47712	1.47712	0.22764	2.18189	0.70477
4	4	30	0.60206	1.47712	0.36248	2.18189	0.88932
5	5	30	0.69897	1.47712	0.48856	2.18189	1.03246
6	6	24	0.77815	1.38021	0.60552	1.90498	1.07401
7	7	24	0.84510	1.38021	0.71419	1.90498	1.16641
8	9	15	0.95424	1.17609	0.91058	1.38319	1.12228
9	11	21	1.04139	1.32222	1.08450	1.74826	1.37695
10	13	12	1.11394	1.07918	1.24087	1.16463	1.20215
11	16	12	1.20412	1.07918	1.44990	1.16463	1.29946
12	19	12	1.27875	1.07918	1.63521	1.16463	1.38001
13	22	14	1.34242	1.14613	1.80210	1.31361	1.53859
14	25	10	1.39794	1.00000	1.95424	1.00000	1.39794
15	29	8	1.46240	0.90309	2.13861	0.81557	1.32068
16	33	9	1.51851	0.95424	2.30588	0.91058	1.44903
17	38	4.5	1.57978	0.65321	2.49572	0.42669	1.03193
18	43	4.8	1.63347	0.68124	2.66822	0.46409	1.11279
19	48	6	1.68124	0.77815	2.82657	0.60552	1.30826
20	58	6	1.76343	0.77815	3.10968	0.60552	1.37221
21	68	4.2	1.83251	0.62325	3.35809	0.38844	1.14211
22	78	4.8	1.89209	0.68124	3.58002	0.46409	1.28897
23	93	3	1.96848	0.47712	3.87493	0.22764	0.93921
24	108	5.2	2.03342	0.71600	4.13481	0.51266	1.45594
25	123	4	2.08991	0.60206	4.36770	0.36248	1.25825
26	153	4.8	2.18469	0.68124	4.77288	0.46409	1.48830
27	183	4	2.26245	0.60206	5.11868	0.36248	1.36213
28	213	3.8	2.32838	0.57978	5.42135	0.33615	1.34996
29	243	4.4	2.38561	0.64345	5.69112	0.41403	1.53502
30	273	4	2.43616	0.60206	5.93489	0.36248	1.46672
31	303	4	2.48144	0.60206	6.15756	0.36248	1.49398
32	333	4	2.52244	0.60206	6.36272	0.36248	1.51866

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 49: Ajuste de infiltración instantánea del cuadrante 49.

Nº	Tiempo Acumulado	Velocidad de infil. ajustada
1	1	60.656
2	2	41.648
3	3	33.426
4	4	28.597
5	5	25.337
6	6	22.951
7	7	21.110
8	9	18.420
9	11	16.520
10	13	15.089
11	16	13.482
12	19	12.282
13	22	11.343
14	25	10.583
15	29	9.765
16	33	9.104
17	38	8.433
18	43	7.886
19	48	7.429
20	58	6.705
21	68	6.150
22	78	5.709
23	93	5.190
24	108	4.785
25	123	4.460
26	153	3.962
27	183	3.595
28	213	3.311
29	243	3.082
30	273	2.894
31	303	2.735
32	333	2.598
Infiltración básica = 2.6 cm/hr		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 50: Datos recolectados de los tirante (Salida de la compuerta 1).

Y	mts
Y_1	0.05
Y_2	0.085
Y_3	0.21
Y_4	0.27
Y_5	0.25
Y_6	0.225
Y_7	0.25
Y_8	0.24
Y_9	0.26
Y_{10}	0.24
Y_{11}	0.21
Y_{12}	0.17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 51: Áreas del canal secundario (Salida de la compuerta 1) por el método de las dovelas.

Áreas	Intervalos	Áreas calculadas
A_3	0.20-0.30	0.0148
A_4	0.30-0.40	0.0240
A_5	0.40-0.50	0.0260
A_6	0.50-0.60	0.0238
A_7	0.60-0.70	0.0238
A_8	0.70-0.80	0.0245
A_9	0.80-0.90	0.0250
A_{10}	0.90-1.00	0.0250
A_{11}	1.00-1.10	0.0225
A_{12}	1.10-1.20	0.0190

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 52: Área total del canal secundario (Salida de la compuerta 1) por el método de las dovelas.

Áreas	*Área (m^2)*
A_1	0.0025
A_2	0.0068
A_3	0.0148
A_4	0.0240
A_5	0.0260
A_6	0.0238
A_7	0.0238
A_8	0.0245
A_9	0.0250
A_{10}	0.0250
A_{11}	0.0225
A_{12}	0.0190
A_{13}	0.0051
Área total	0.2428

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 53: Resultado de análisis físico de suelo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
Departamento de Ingeniería Agrícola
LABORATORIO DE EDAFOLOGIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO DE SUELO

Nombre: Joshua Molina **Fecha de muestreo:** 09/01/13 **Nombre del lugar de muestreo:** COOPAVIJ

Localidad: El Brasil (Timal) **Municipio:** Tipitapa **Departamento:** Managua

Tipo de muestra: Alterada e Inalterada

ANALISIS

Fecha de ingreso: 11/01/2013 **Fecha de análisis:** 25/01/2013

Ítem	Código	Identificación	Cc (%)	PMP (%)	Da (gr/cm³)	Dr (gr/cm³)	P (%)	Textura Bouyoucos			
								% Ar	%L	%A	
1	063	COOPAVIJ 1	58.87	29.43	0.91	2.39	62	70	11	19	Arcilloso
2	064	COOPAVIJ 2	57.26	28.63	---	2.22	---	73	12	15	Arcilloso
3	065	COOPAVIJ 3	62.72	31.36	0.83	2.58	68	76	11	13	Arcilloso
4	066	COOPAVIJ 4	61.06	30.54	---	2.41	---	73	12	15	Arcilloso
		Ultima Línea									

NOTA: Cc (Capacidad de Campo), PMP (Punto de Marchitez Permanente), Da (Densidad Aparente), Dr (Densidad Real), P (Porosidad).

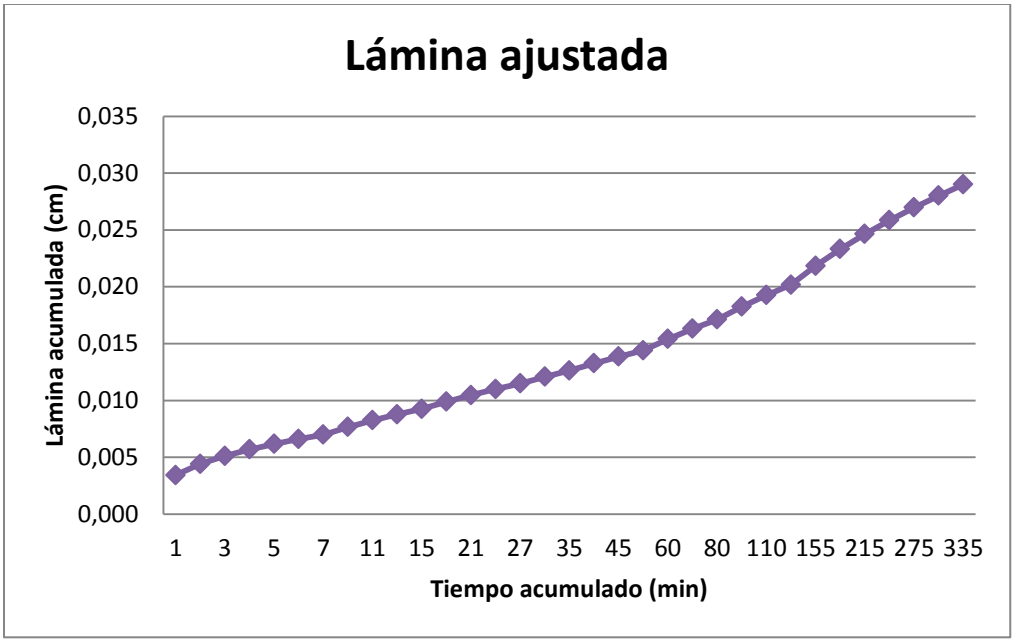
Ing. Aldo Alvarado Munguía
Jefe Dpto. Ingeniería Agrícola

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción
DELEGADO ADMINISTRATIVO
MANAGUA, NICARAGUA

Ing. Víctor Zepeda Guevara
Administrador FTC

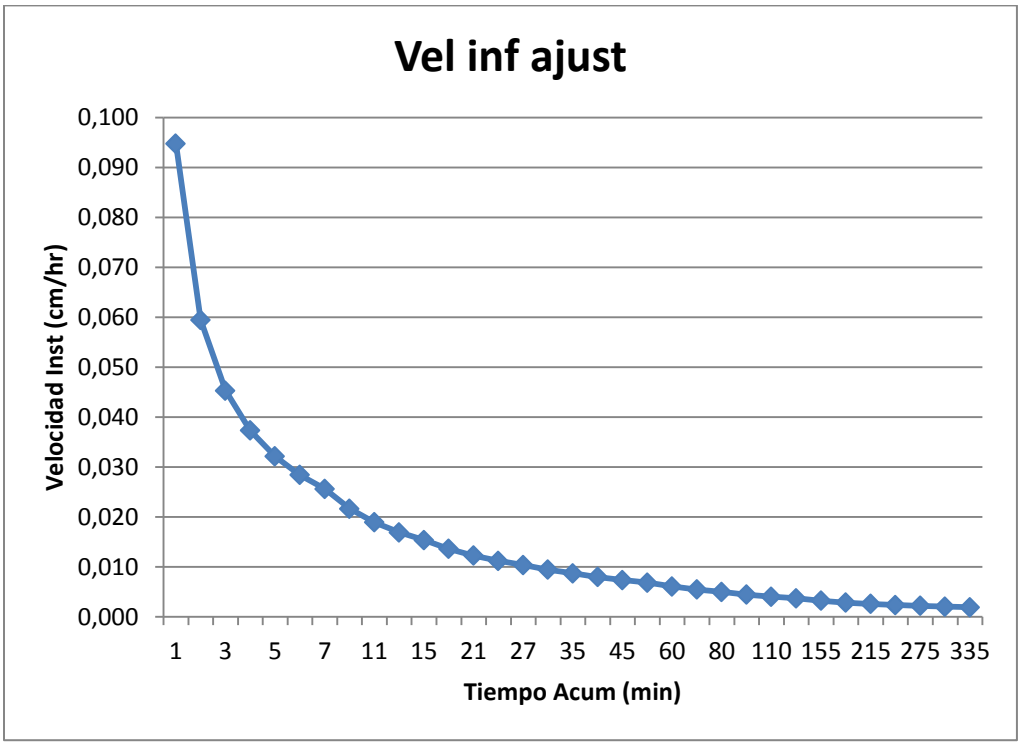
ANEXO 2: GRÁFICOS

Gráfico Nº 3: Lamina acumulada ajustada del cuadrante 39.



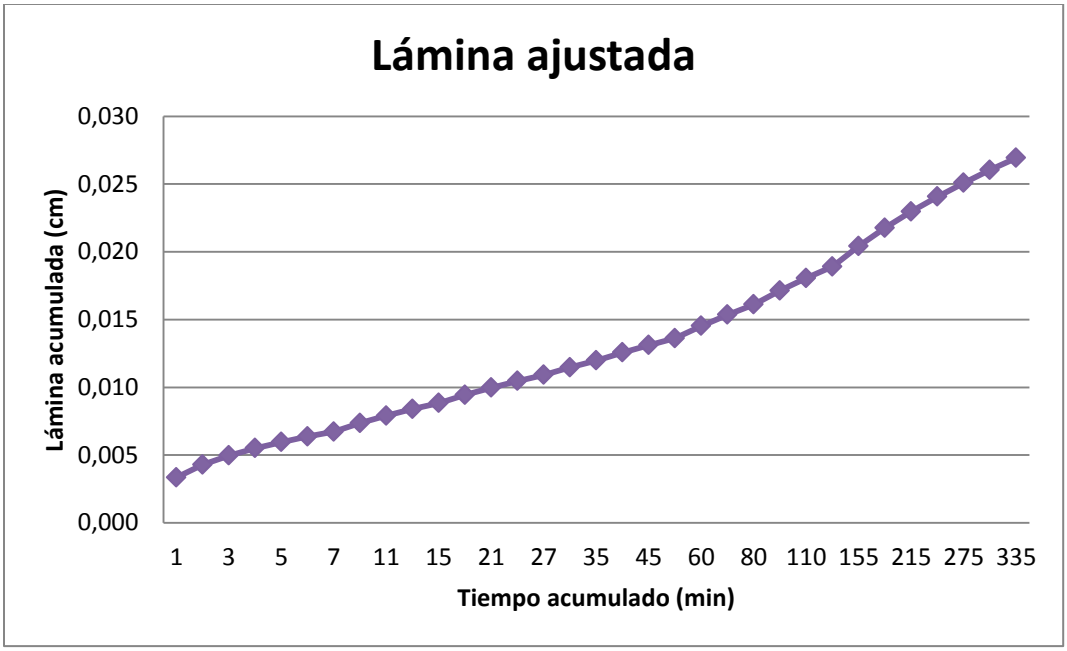
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico Nº 4: Velocidad de infiltración ajustada del cuadrante 39.



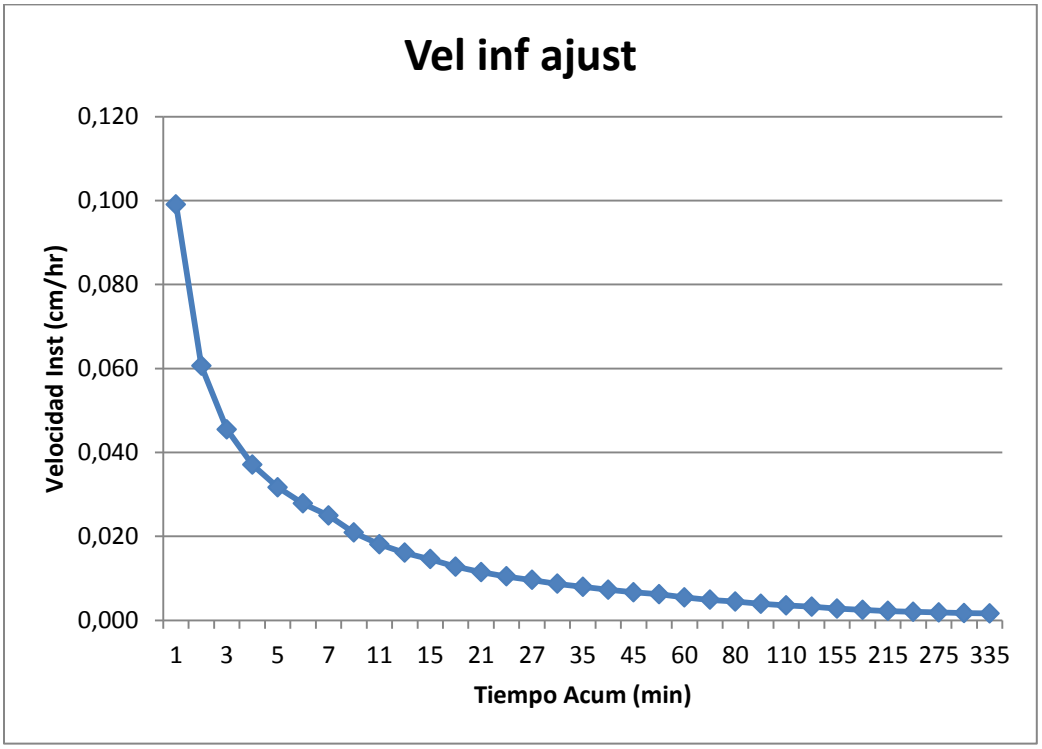
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico Nº 5: Lamina acumulada ajustada del Cuadrante 43.



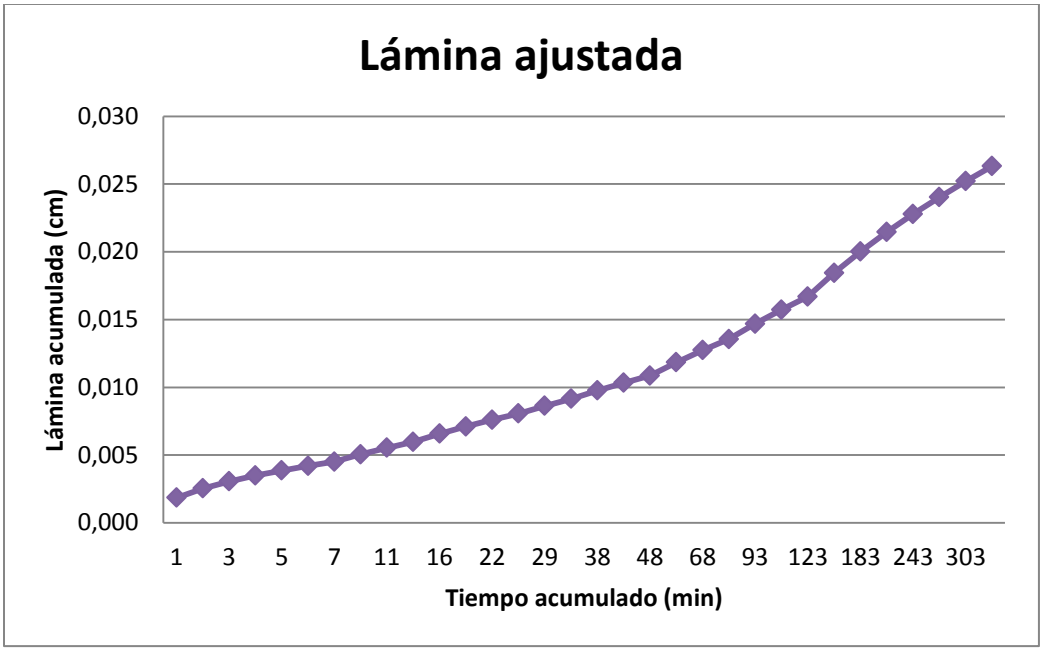
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico Nº 6: Velocidad de infiltración ajustada del cuadrante 43.



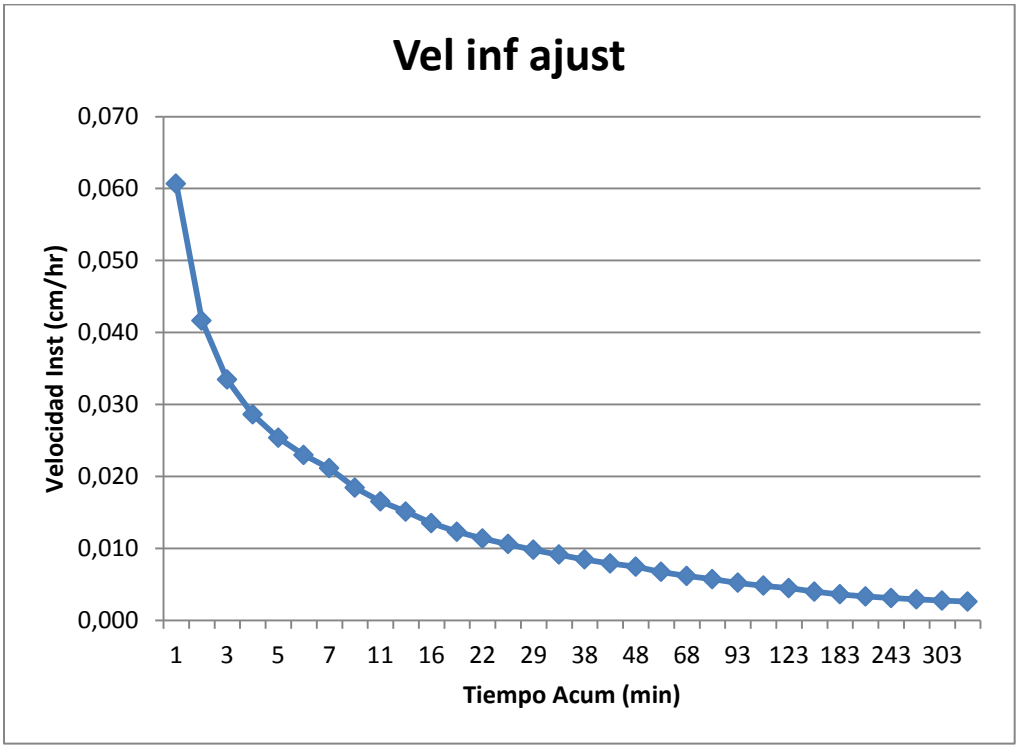
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico Nº 7: Lamina acumulada ajustada del cuadrante 49.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico Nº 8: Velocidad de infiltración ajustada del cuadrante 49.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3: CÁLCULOS

- **Calculo de áreas de canales secundarios de COOPAVIJ:**

Formulas a utilizar:

- Área de un Triángulo**:**

$$\boldsymbol{A = \frac{B * H}{2}}$$

Dónde:

A = es el área total del triángulo (m^2).

B = es la base del triángulo (m).

H = es la altura del triángulo (m).

- Área de un Trapecio:

$$\boldsymbol{A = \frac{(B + b)}{2} * H}$$

Dónde:

A = es el área total de un trapecio (m^2).

B = lado mayor de un trapecio (m).

b = lado menor de un trapecio (m).

H = altura de un trapecio (m).

- Formula de Herón:

$$\boldsymbol{S = \frac{a + b + c}{2}}$$

$$\boldsymbol{A = \sqrt{s\,(s - a)(s - b)(s - c)}}$$

Dónde:

A = área total en metros cuadrados

S = semiperímetro del triángulo en metros

a, b y c = lados del triángulo en metros

- Teorema de Pitágoras:

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Dónde:

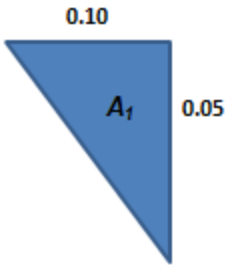
c = hipotenusa

a y b = catetos

Cálculo del área del canal secundario (Salida compuerta 1) por el método de las dovelas.

Sección transversal: Rectangular

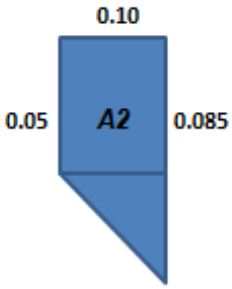
Identificación: Comp. 1



$$c^2 = a^2 + b^2$$
$$c = \sqrt{0.10^2 + 0.05^2}$$
$$c = 0.11\ m$$

$$S = \frac{0.10 + 0.05 + 0.11}{2} = 0.13$$

$$A = \sqrt{0.13(0.13 - 0.10)(0.13 - 0.05)(0.13 - 0.11)} = 0.0025\ m^2$$

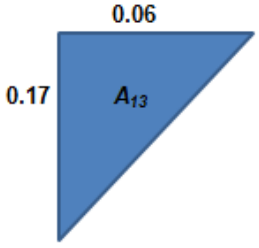


$$A = \frac{(0.05+0.085)}{2} * 0.1 = 0.0068\ m^2$$

- **Nota:**

Las áreas subsiguientes desde (A_3 hasta A_{12}) se calcularon del mismo modo a como se calculó el A_2, utilizando la fórmula del trapecio.

$$c^2 = a^2 + b^2$$
$$c = \sqrt{0.17^2 + 0.06^2}$$
$$c = 0.18\ m$$



$$S = \frac{0.17 + 0.06 + 0.18}{2} = 0.205$$

$$A = \sqrt{0.205(0.205 - 0.17)(0.205 - 0.06)(0.205 - 0.18)} = 0.0051\ m^2$$

ANEXO 4: FIGURA

Figura 37: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 1*

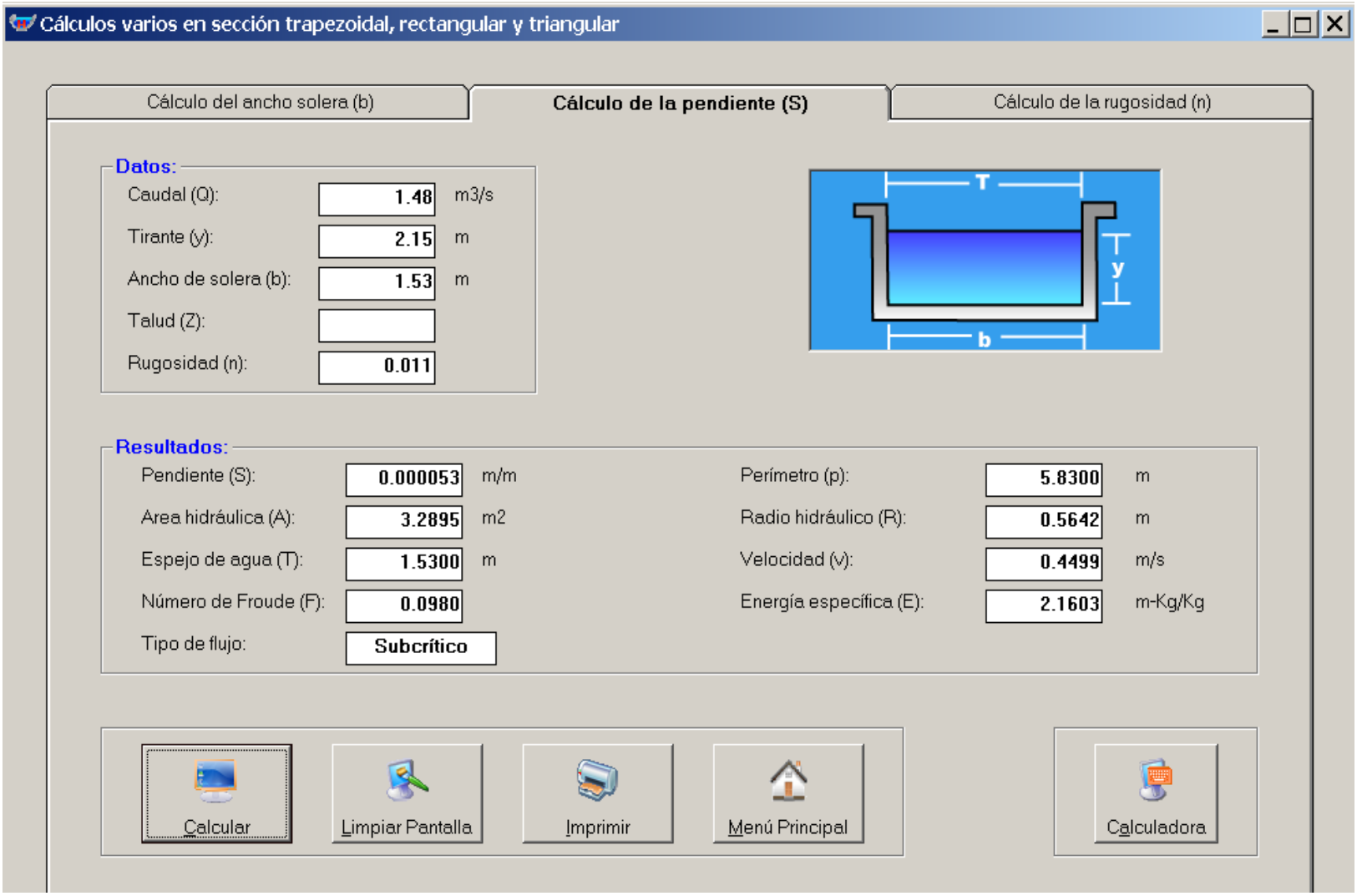


Figura 38: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 2*

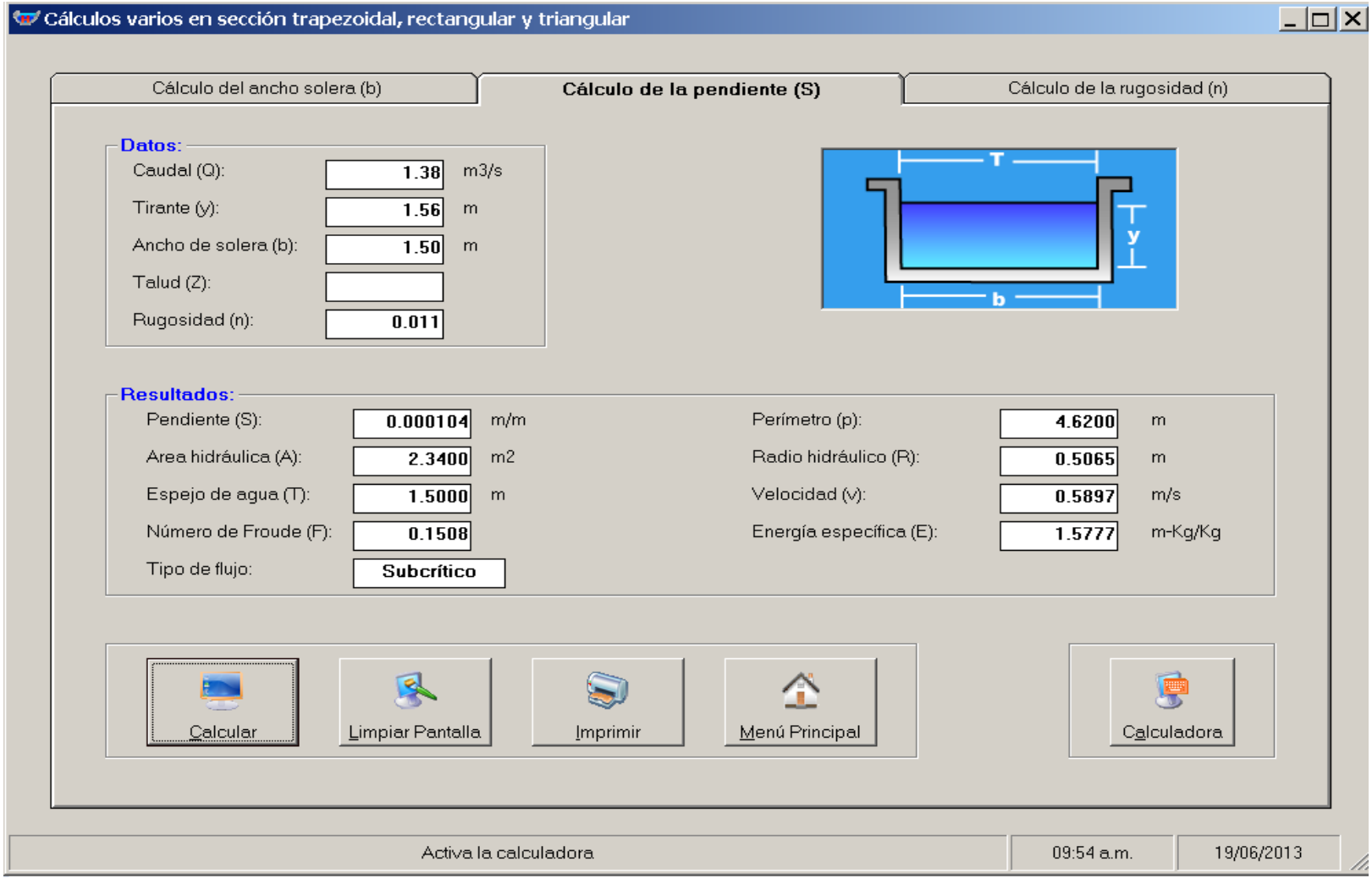


Figura 39: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 3*

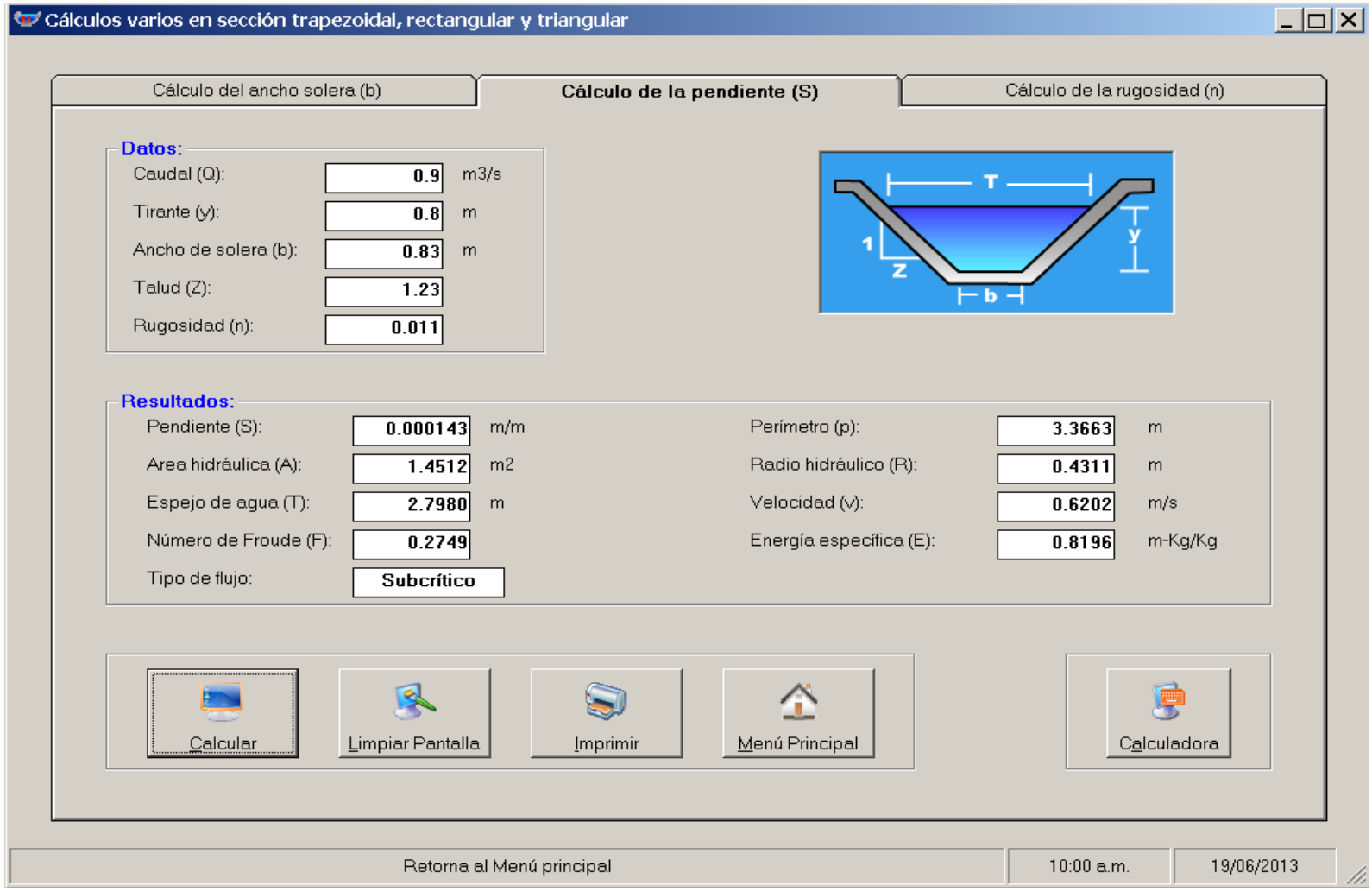


Figura 40: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 4*

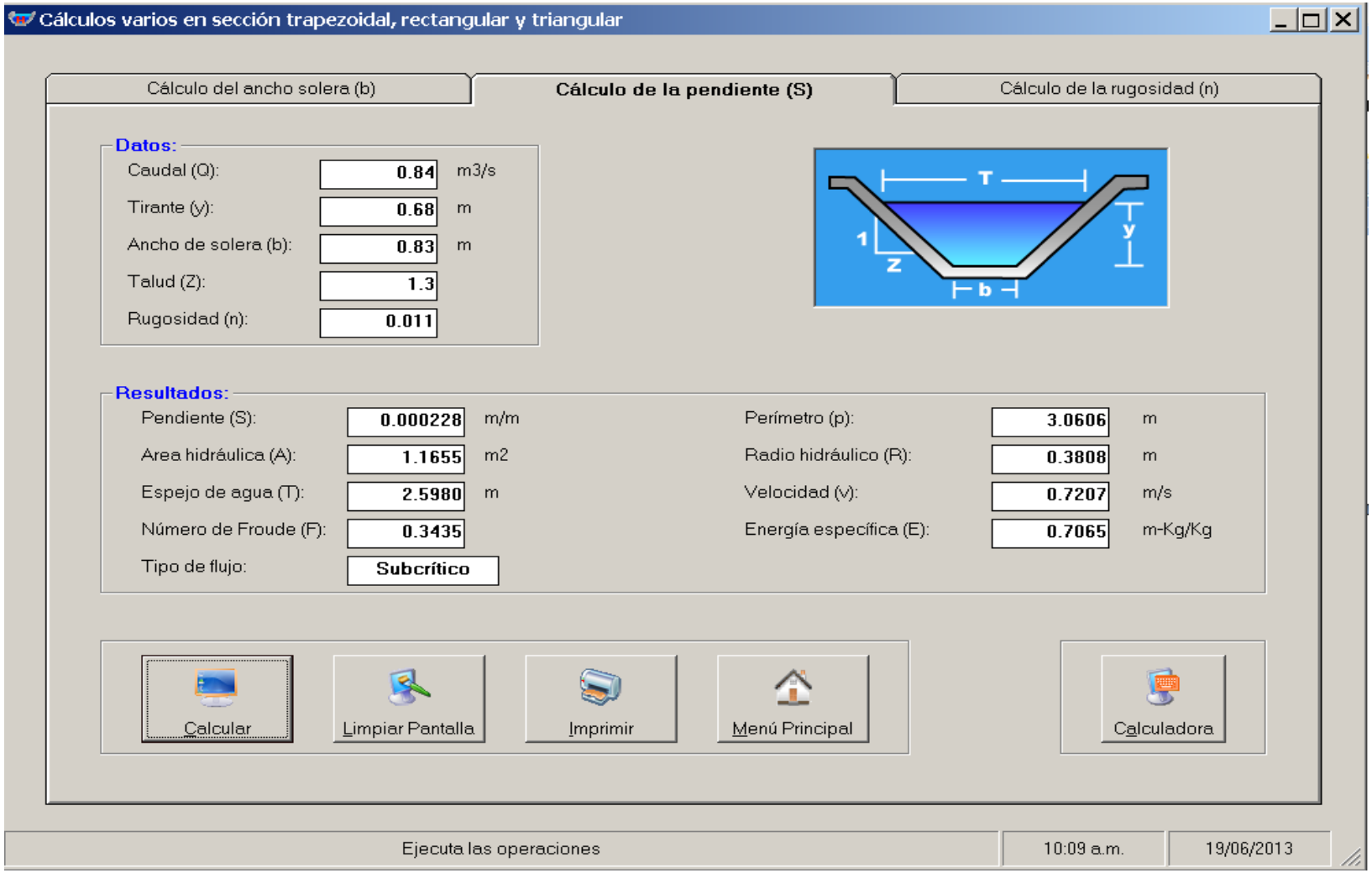


Figura 41: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 5*

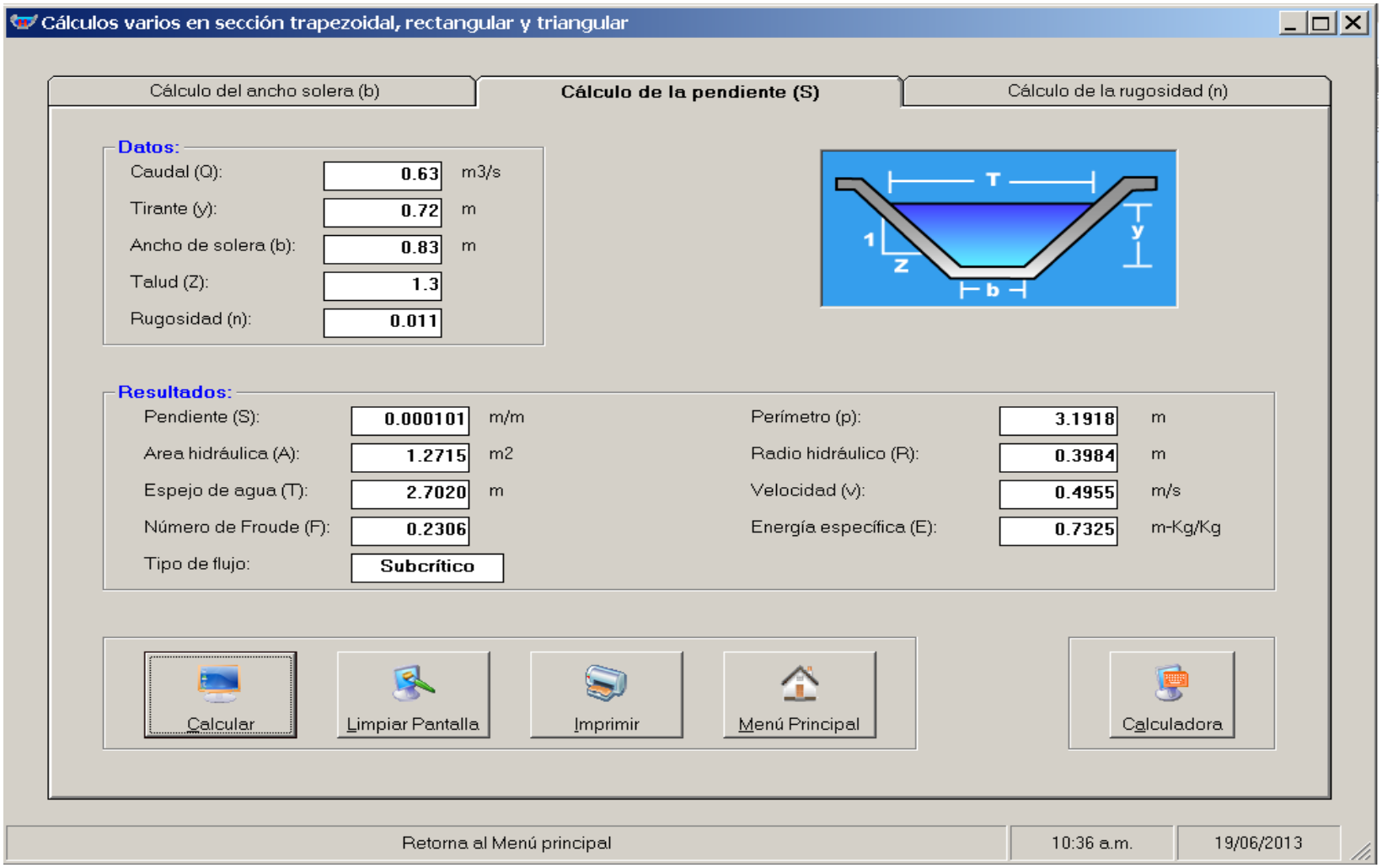


Figura 42: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 6*

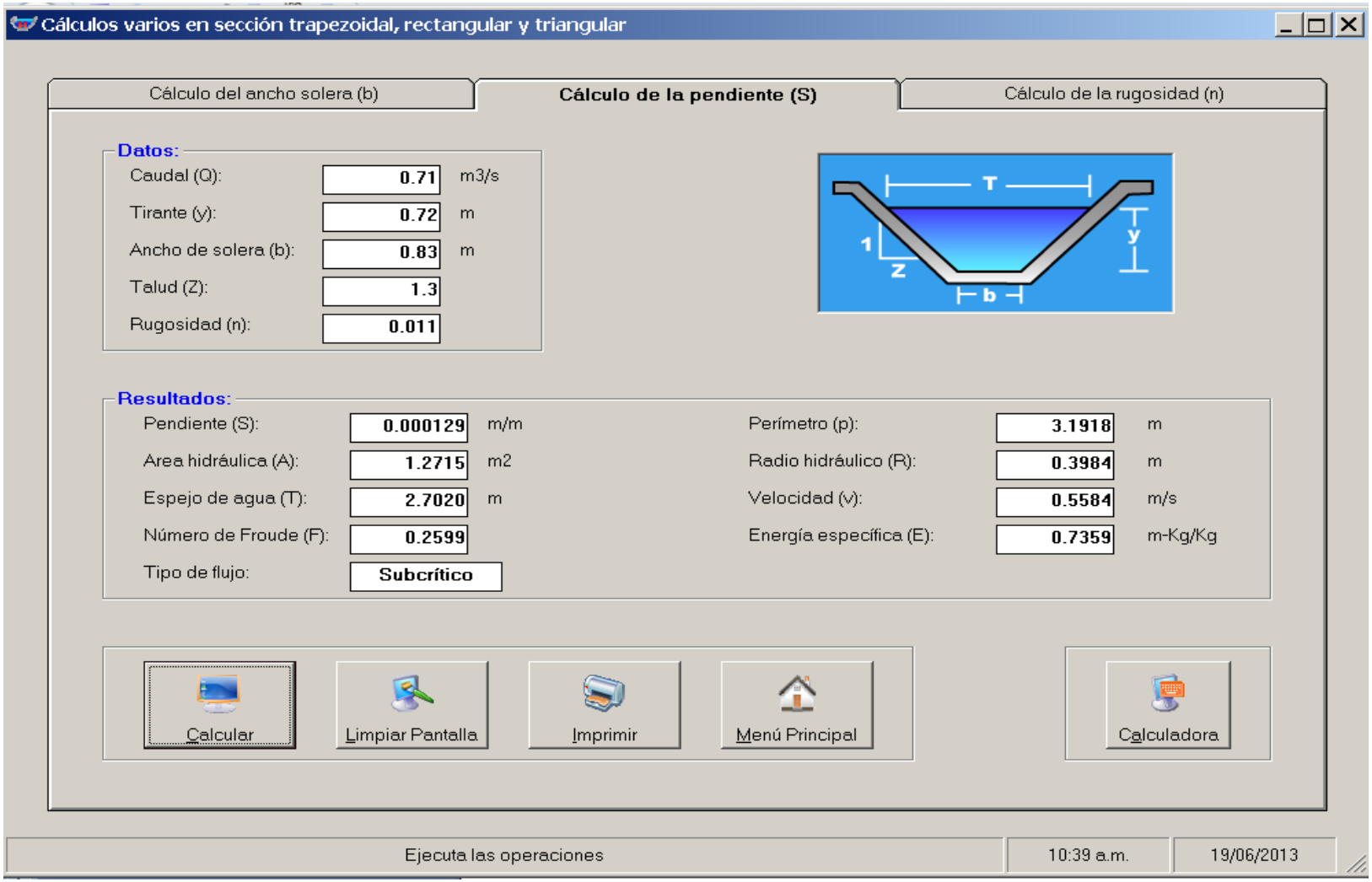


Figura 43: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 7*

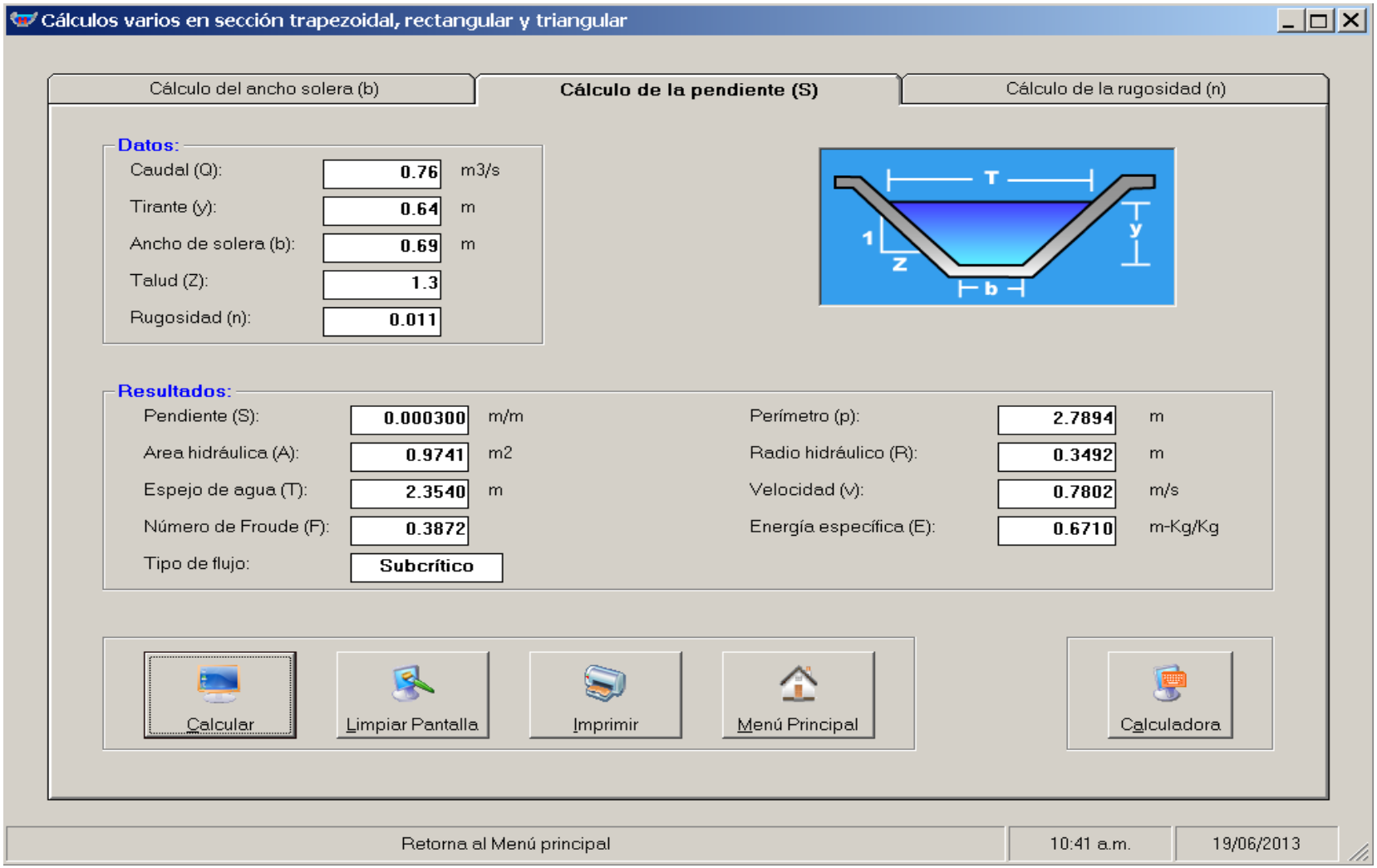


Figura 44: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 8*

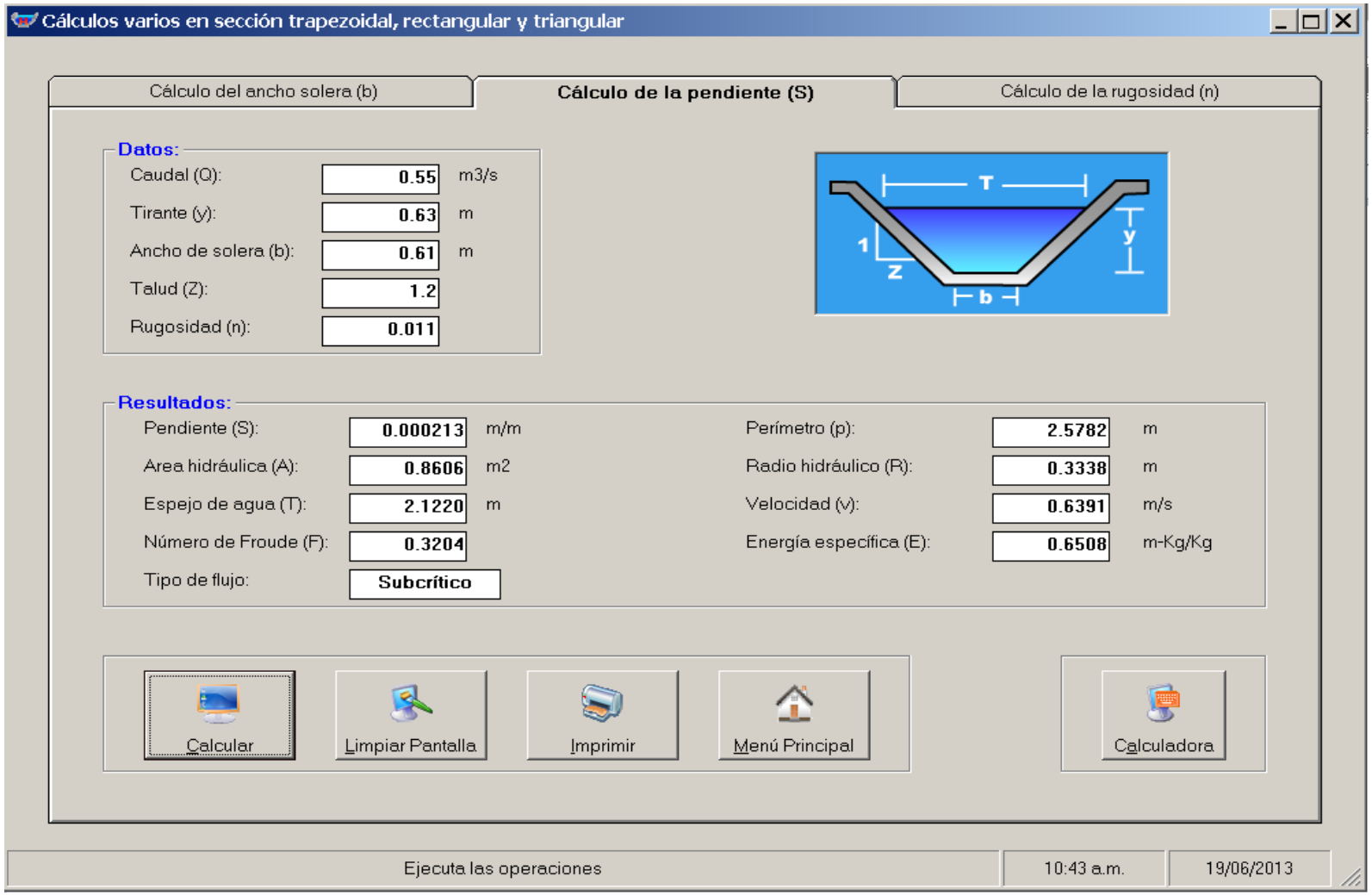
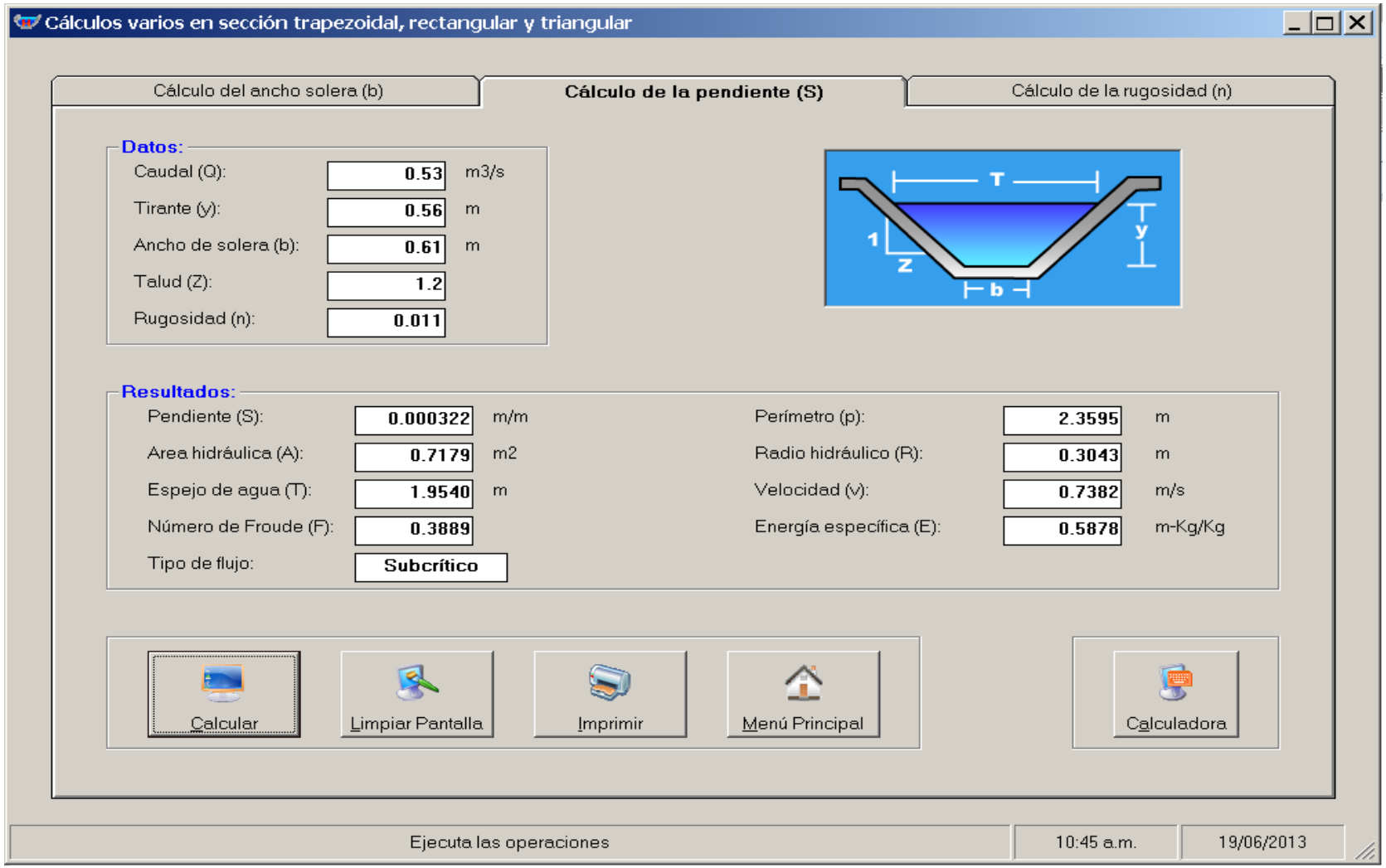


Figura 45: *Presa "El genízaro" (COOPAVIJ).* ***Tramo:*** *número 9*



ANEXO 5: IMÁGENES



Imagen Nº 1: Recolección de muestras en Campo.



Imagen Nº 2: Muestra tratada en Laboratorio.



Imagen No 3: proceso de infiltración.



Imagen Nº 4: Recargando el cilindro interno del infiltrómetro.



Imagen Nº 5: Realizando aforo por el método del flotador.



Imagen Nº 6: Realizando el Método de Aforo del Flotador en la Entrada de la Cooperativa.



Imagen Nº 7: Medición de la sección transversal del canal principal.



Imagen No 8: Realizando el método de aforo del flotador en los canales internos la de cooperativa



Imagen Nº 9: Medición de los canales internos o secundarios de la cooperativa



Imagen Nº 10: Aforo por el Método Volumétrico en la Melga



Imagen Nº 11: Prueba de eficiencia parcelaria.



Imagen Nº 12: Observación de la lámina en la melga.