



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"



ESCUELA DE POSGRADO

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al **BORRADOR DE TESIS** cuyo título es:

"PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL CONTROL DE DESBORDES EN EL CANAL DE RIEGO LA MOCHICA – TRAMO CIUDAD UNIVERSITARIA, APLICANDO MODELOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA"

Presentado por:

ALCÁZAR GONZALES ALFREDO MIGUEL

De la **MAESTRÍA EN INGENIERÍA HIDRÁULICA** mención **OBRAS HIDRÁULICAS**.

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Escuela de Posgrado de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 4%.

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. En Ica 16 de agosto de 2023

Atentamente


UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. LUIS ALBERTO PECHO TATAJE
Director (e)

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA HIDRÁULICA

MENCIÓN: OBRAS HIDRÁULICAS



TESIS

Propuesta metodológica para el control de desbordes en el canal de riego La Mochica – Tramo Ciudad Universitaria, aplicando modelos de simulación hidráulica

Línea de Investigación:

Recursos hídricos, riesgo de desastres y cambio climático

PRESENTADO POR:

ALFREDO MIGUEL ALCÁZAR GONZALES

GRADO A OBTENER: MAESTRO

Ica – Perú

2024

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres, quienes siempre confiaron en mi como profesional y como persona.

Gracias mamá.

Gracias papá.

AGRADECIMIENTOS

Dedicada a todos mis colegas de la Facultad de Ingeniería Civil con quienes he compartido años de trabajo y experiencias en la docencia.

Gracias colegas.

Índice de Contenidos

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
RESUMO	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema General y Específicos	3
1.1.1 Problema general	3
1.1.2 Problemas específicos	3
1.2 Importancia de la Investigación	4
1.3 Objetivo Principal y Específicos	6
1.3.1 Objetivo Principal	6
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 Hipótesis General y específicas	7
1.4.1 Hipótesis General	7
1.4.2 Hipótesis específicas	7
1.5 Antecedentes de Investigación	7
1.5.1 Antecedentes de investigación internacionales	7
1.5.2 Antecedentes de investigación nacionales	8
1.5.3 Antecedentes de investigación locales	9
1.5.4 Contenido de los capítulos	9
II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	11
2.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación.	11
2.2. Población y muestra.	12
2.3.1 Población	12
2.3.2 Muestra	12
2.3. Técnicas y procedimientos de recolección y procesamiento de datos.	12
III. RESULTADOS	13
3.1. Propuesta metodológica para el control de desbordes	13
3.2. Presentación de información relevante	14
3.2.1. Descripción del canal.	14
3.2.2. Administración del canal.	16
3.2.3. Ubicación geográfica.	17
3.2.4. Accesibilidad.	18

3.3. Identificación del estado del canal	19
3.3.1. Reconocimiento visual del tramo de estudio.	19
3.4. Identificación del caudal disponible	23
3.4.1. Aforo de caudal.	24
3.5. Identificación de parámetros hidráulicos del canal	25
3.5.1 Parámetros hidráulicos físicos	25
3.5.2 Parámetros hidráulicos cinéticos	26
3.5.3 Determinación de Parámetros hidráulicos físicos y cinéticos	26
3.5.4. Estimación del coeficiente de Manning.	27
3.5.5. Cálculo de los parámetros hidráulicos.	28
3.6. Identificación de problemas hidráulicos del canal	33
3.6.1. Erosión.	33
3.6.2. Sedimentación.	33
3.6.3. Infiltración y evaporación.	33
3.6.4. Eficiencia.	34
3.6.5. Desbordes.	34
3.6.5.1 Modelos de simulación hidráulica de canales	34
3.6.5.2 Aplicación del modelo HEC-RAS 4.1.0	35
3.7. Diseño hidráulico	43
IV. DISCUSIÓN	48
4.1. Discusión de Resultados.	48
4.1.1. Elaborar una propuesta metodológica utilizando modelos de simulación hidráulica, para el control de desbordes en el Canal de Riego La Mochica - Tramo Ciudad Universitaria.	48
4.1.2. Determinación de los nuevos parámetros hidráulicos para lograr el control de desborde del canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.	48
4.1.3. Aplicar los modelos de simulación hidráulica en la propuesta metodológica que influyen en el control de desbordes en el canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.	50
4.1.4. Diseñar las obras de arte que se implementan para mejorar la eficiencia hidráulica en el Canal de Riego la Mochica – Tramo Ciudad Universitaria.	52
V. CONCLUSIONES	53
VI. RECOMENDACIONES	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Uso del agua de los ríos de la provincia de Ica.	17
Tabla II. Verificaciones hidráulicas del canal.	24
Tabla III. Sub tramos en el canal de estudio.	27
Tabla IV. Valores de rugosidad “n” de Manning.	27
Tabla V. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning.	28
Tabla VI. Características hidráulicas del canal existente para 0.80 m ³ /seg.	29
Tabla VII. Características hidráulicas del canal existente para 1.00 m ³ /seg	31
Tabla VIII. Características hidráulicas del canal existente para 2.00 m ³ /seg.	32
Tabla IX. Resumen comparativo de tirantes y velocidades.	32
Tabla X. Pérdidas de caudal por infiltración y evaporación.	34
Tabla XI. Datos resultantes de la simulación Q=1 m ³ /seg.	47
Tabla XII. Datos resultantes de la simulación Q=2 m ³ /seg.	47
Tabla XIII. Datos resultantes de la simulación Q=1.39 m ³ /seg.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pobladores de Ica, asegurando los bordes del cauce La Mochica.	4
Figura 2. Hombre fallecido encontrado dentro del cauce La Mochica.	5
Figura 3. Retiro de basura acumulada en el cauce La Mochica.	5
Figura 4. Autoridades del Gobierno Regional de Ica verifican trabajos de limpieza del cauce La Mochica.	6
Figura 5. Propuesta metodológica para el control de desbordes.	13
Figura 6. Recorrido total del Canal La Mochica en la zona urbana de Ica.	15
Figura 7. Ingreso y salida del tramo del canal en la Ciudad Universitaria.	16
Figura 8. Ubicación del departamento y provincia de Ica.	17
Figura 9. Ubicación del distrito de Ica.	18
Figura 10. Acceso al punto de inicio del tramo en estudio.	18
Figura 11. Tramo exterior paralelo a la fachada principal.	19
Figura 12. Punto de acceso al campus universitario.	19
Figura 13. Inicio del tramo al interior de la C.U.	20
Figura 14. Deformación del canal y depósitos de desperdicios en el fondo.	20
Figura 15. Vista del canal paralelo al cerco del lado izquierdo de la C.U.	21
Figura 16. Vista del flujo laminar en el tramo de estudio.	22
Figura 17. Vista de una zona de desborde reforzada con sacos terreros.	22
Figura 18. Compuerta de regulación entre la Av. Arco real y Av. Los Maestros.	23
Figura 19. Medición de tramos de aforo.	25
Figura 20. Parámetros hidráulicos para el sub tramo I. ($Q=0.80$ m ³ /seg).	28
Figura 21. Parámetros hidráulicos para el sub tramo II ($Q=0.80$ m ³ /seg).	29
Figura 22. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=0.80$ m ³ /seg).	29
Figura 23. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=1.00$ m ³ /seg).	30
Figura 24. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=1.00$ m ³ /seg).	30
Figura 25. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=1.00$ m ³ /seg).	30
Figura 26. Parámetros hidráulicos para el sub tramo I ($Q=2.00$ m ³ /seg).	31
Figura 27. Parámetros hidráulicos para el sub tramo II ($Q=2.00$ m ³ /seg).	31
Figura 28: Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=2.00$ m ³ /seg).	32
Figura 29: Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=2.00$ m ³ /seg).	36
Figura 30: Ingreso del caudal de diseño $Q=0.80$ m ³ /seg.	36
Figura 31. Ingreso de pendientes aguas arriba y aguas abajo.	37
Figura 32. Selección de análisis de flujo mixto.	37
Figura 33. Simulación realizada con éxito.	37

Figura 34. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal de tierra existente.	38
Figura 35. Sección transversal 3, 0+44.39 - Canal de concreto existente.	38
Figura 36. Sección transversal 2 0+581.93 - Canal de concreto existente.	38
Figura 37. Sección transversal Aguas abajo 1 1+028 - Canal de tierra.	39
Figura 38. Ingreso de caudal de diseño de 1 m ³ /seg.	39
Figura 39. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal de tierra existente.	39
Figura 40. Sección transversal 3, 0+44.39 - Canal de concreto existente.	40
Figura 41. Sección transversal 2 0+581.93 - Canal de concreto existente.	40
Figura 42. Sección transversal Aguas abajo 1 1+028 - Canal de tierra.	40
Figura 43. Ingreso de caudal de diseño de 2 m ³ /seg.	41
Figura 44. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal de tierra existente.	41
Figura 45. Sección transversal 3, 0+44.39 - Canal de concreto existente.	41
Figura 46. Sección transversal 2 0+581.93 - Canal de concreto existente.	42
Figura 47. Sección transversal Aguas abajo 1 1+028 - Canal de tierra.	42
Figura 48. Ingreso de datos de flujo para 1 m ³ /seg sección de concreto.	43
Figura 49. Condiciones de borde para la simulación.	43
Figura 50: Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal rectangular de concreto.	44
Figura 51: Sección transversal 3 0+44.39 - Canal rectangular de concreto.	44
Figura 52: Sección transversal 2 0+154.33 - Canal rectangular de concreto.	44
Figura 53: Sección transversal 1 1+182.33 - Canal rectangular de concreto.	45
Figura 54: Perfil longitudinal de canal rectangular propuesto.	45
Figura 55: Ingreso de datos de flujo para 2 m ³ /seg sección de concreto.	45
Figura 56. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal rectangular de concreto.	46
Figura 57. Sección transversal 3 0+44.39 - Canal rectangular de concreto.	46
Figura 58. Sección transversal 2 0+154.33 - Canal rectangular de concreto.	46
Figura 59. Sección transversal 1 1+182.33 - Canal rectangular de concreto.	46
Figura 60. Cálculo del caudal para y=0.85 m.	49
Figura 61. Nuevos parámetros hidráulicos para Q=1.39 m ³ /seg.	49
Figura 62. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 – Q=1.39 m ³ /seg.	51
Figura 63. Sección transversal 3 0+44.39 – Q=1.39 m ³ /seg.	51
Figura 64. Sección transversal 2 0+154.33 – Q = 1.39 m ³ /seg.	51
Figura 65. Sección transversal 1 1+182.33 – Q=1.39 m ³ /seg.	52

RESUMEN

La investigación desarrollada propone una metodología a seguir para realizar el control de desbordes aplicado a un sector del canal de irrigación La Mochica, que pasa por el campus de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” en el distrito de Ica. En ella se propone el uso del modelo de simulación hidráulica como el HEC-RAS 4.1.0.

La propuesta metodológica identifica fases a seguir, para desarrollar procesos que permiten al investigador llevar una secuencia ordenada en el diseño de canales de irrigación, de manera que no se omitan detalles que obliguen a volver a revisar la secuencia. Además de incluir la simulación hidráulica, esta propuesta se ha elaborado en base a la experiencia revisada en diversos investigadores sobre el diseño de canales de riego, pudiendo ser mejorada para su uso en canales de irrigación más complejos.

Pero en forma general se ha aplicado al canal mencionado con lo cual se ha identificado que el canal original tiene un diseño que asegura que no haya sedimentación. Se determinó que el canal tiene una capacidad máxima para $Q = 1.39 \text{ m}^3/\text{seg}$, menor al indicado por la administración del sistema de riego. Respetando la pendiente original se ha propuesto una sección transversal rectangular de concreto, con lo cual se asegura una buena eficiencia hidráulica y evitando los posibles desbordes.

Se concluye que en la propuesta metodológica que permitió cumplir con todos los objetivos de la investigación debe incluirse la participación de la junta de regantes como parte administrativa responsable en el control de desbordes.

Palabras claves: Simulación hidráulica, máxima eficiencia, caudal de diseño.

ABSTRACT

The research carried out proposes a methodology to follow to control overflows applied to a sector of the La Mochica irrigation canal, which passes through the campus of the "San Luis Gonzaga" National University in the district of Ica. It proposes the use of the hydraulic simulation model such as HEC-RAS 4.1.0.

The methodological proposal identifies phases to follow, to develop processes that allow the researcher to carry out an orderly sequence in the design of irrigation canals, so that details that force the sequence to be reviewed again are not omitted. In addition to including hydraulic simulation, this proposal has been developed based on the experience reviewed by various researchers on the design of irrigation canals, and can be improved for use in more complex irrigation canals.

But in general it has been applied to the aforementioned channel, with which it has been identified that the original channel has a design that ensures that there is no sedimentation. It was determined that the canal has a maximum capacity for $Q = 1.39 \text{ m}^3/\text{sec}$, less than that indicated by the administration of the irrigation system. Respecting the original slope, a rectangular cross section of concrete has been proposed, thus ensuring good hydraulic efficiency and avoiding possible overflows.

It is concluded that in the methodological proposal that allowed all the research objectives to be met, the participation of the irrigators' board should be included as the administrative party responsible for overflow control.

Keywords: Hydraulic simulation, maximum efficiency, design flow.

RESUMO

A pesquisa realizada propõe uma metodologia a seguir para o controle de transbordamentos aplicada a um setor do canal de irrigação La Mochica, que passa pelo campus da Universidade Nacional "San Luis Gonzaga" no distrito de Ica. Propõe a utilização do modelo de simulação hidráulica como o HEC-RAS 4.1.0.

A proposta metodológica identifica fases a seguir, para desenvolver processos que permitam ao pesquisador realizar uma sequência ordenada no projeto de canais de irrigação, de forma que não sejam omitidos detalhes que obriguem a uma nova revisão da sequência. Além de incluir simulação hidráulica, esta proposta foi desenvolvida com base na experiência revisada por vários pesquisadores sobre o projeto de canais de irrigação, podendo ser aprimorada para uso em canais de irrigação mais complexos.

Mas em geral foi aplicado ao referido canal, com o qual se identificou que o canal original possui um desenho que garante que não haja sedimentação. Foi determinado que o canal tem capacidade máxima para $Q = 1,39 \text{ m}^3/\text{seg}$, inferior ao indicado pela administração do sistema de irrigação. Respeitando a inclinação original, foi proposta uma seção transversal retangular de concreto, garantindo assim uma boa eficiência hidráulica e evitando possíveis transbordamentos.

Conclui-se que na proposta metodológica que permitiu atender a todos os objetivos da pesquisa, deve-se incluir a participação da diretoria dos irrigantes como órgão administrativo responsável pelo controle do transbordamento

Palavras-chave: Simulação hidráulica, eficiência máxima, fluxo de projeto.

I. Introducción

La ciudad de Ica, ha sufrido periódicas inundaciones que han provocado daños a las viviendas, bienes, servicios y principalmente a la población en forma considerable. Pero no han sido los únicos problemas de origen hídrico que ha soportado, de manera continua las redes de canales que atraviesan las zonas urbanas y periurbanas, han estado amenazadas por desbordes provocados por diversas causas, las cuales se analizarán en la presente investigación con un estudio de caso.

El canal identificado para el análisis es el Canal La Mochica en el tramo que atraviesa la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, el cual recorre la parte frontal y perimetral izquierda del terreno de esta institución. Este tramo quedó aislado al construirse el cerco perimétrico de la Ciudad Universitaria (C.U.) y fue conectado al Canal La Mochica del cual ahora forma parte quedando un tramo en el interior de la Ciudad Universitaria.

Para lo cual, se utilizará la información existente en los archivos de la Facultad de Ingeniería Civil (FIC), de la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor Ica y los datos de campo de medición obtenidos por el investigador, como son las verificaciones topográficas, geotécnicas e hidrológicas.

La recurrencia de los desbordamientos anuales de este canal con el consiguiente perjuicio a los terrenos y edificaciones adyacentes de la entidad universitaria es uno de los aspectos problemáticos que se pretenden analizar, así mismo se introduce la investigación en el análisis vía modelos de la simulación hidráulica de la presencia y acumulación de sedimentos no controlados, con el objetivo de plantear una propuesta metodológica de control integral que incluya obras hidráulicas específicas para cada caso.

Ica es una ciudad que ha pretendido borrar los canales de riego que antiguamente alimentaron los sembríos que constituían su campiña, hoy desaparecida por el proceso urbanizador.

[1] La ciudad y sus sucesivas administraciones han permitido la ocupación de terrenos sobre los antiguos cauces de canales, y la eliminación de estos, sin medir el daño futuro. Los barrios de Nueva Esperanza, San Carlos, Pedreros, Mollendo, Maúrtua, Santa Anita, Botijería y Manzanilla ocuparon los terrenos del Cauce La Poruma. Los barrios del Pasaje Valle, San Idelfonso, Acomayo A-B-C, Andrés A. Cáceres, León de Vivero, Túpac Amaru, Micaela Bastidas, Abraham Valdelomar, San Martín de Porres y Villa de Valverde se han asentado sobre el cauce La Mochica.

Adicionalmente, se han asfaltado calles sin ninguna consideración técnica, o se han edificado viviendas, centros de abasto y terminales de buses y camiones de carga,

cubriendo los antiguos canales de riego, que siguen fluyendo en profundidad y provocan constantes hundimientos de pistas.

Las más importantes avenidas de Ica, como Los Maestros (Panamericana Sur) y Avda. Arenales han sido edificadas sobre terraplenes interrumpiendo decenas de canales menores de riego y drenaje de aguas, a las tierras de cultivo ubicadas al sur y poniente de Ica.

De tal modo, la Avda. Arenales impidió el drenaje de las Urbanizaciones Santa María, Los Viñedos y Saraja hacia el cauce natural de evacuación de la Mochica, ramal Comatrana; la Avda. Los Maestros hizo lo mismo en las urbanizaciones Santo Domingo de Guzmán, Santo Domingo de Marcona y Santa Rosa del Palmar, impidiendo el drenaje hacia el cauce natural de evacuación al sur, a Cachiche.

En el caso concreto de esta investigación, desde años anteriores los regantes del distrito de Cachiche han conducido el agua captada del río Ica a través del canal la Mochica, el cual pasa a través del Campus Universitario de Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” (UNSLG). Este es el único canal disponible para llevar agua a aquellos terrenos de cultivo que aún no han sido afectados por el crecimiento urbano de la ciudad de Ica. Con el transcurso de los años, las áreas netamente destinadas a la agricultura, cambiaron de uso cuando dichos terrenos fueron adquiridos por empresas inmobiliarias para ser urbanizadas, cercando las zonas de cultivo y aislando los canales de riego de manera que hoy en día estos pasan por zonas urbanas, a través de canales “tapados”.

Sin embargo, el tramo de estudio que comprende el inicio desde la intersección de las avenidas Los Maestros y Arco Real, es un canal abierto, que entra al Campus Universitario de la UNSLG y sale por la parte colindante con el Establecimiento Penitenciario Ica, en el distrito de Cachiche, desde allí se deriva hacia las zonas de cultivo que están más hacia el suroeste. El problema se presenta cuando se traslada el agua por dicho canal, que, al estar dentro de la propiedad de la UNSLG, la infraestructura de la Ciudad Universitaria se ve afectada por desbordes y aniegos, cuyas causas deben ser investigadas, pero que a simple vista identificamos que se deben verificar todas las características hidráulicas del tramo, especialmente la pendiente, la velocidad y el proceso de sedimentación.

Sumado a ello, como procesos exógenos debemos investigar como variables la falta de limpieza del cauce, lo cual influye en la eficiencia hidráulica del canal, tales como el crecimiento desmesurado de vegetación en su interior o la acumulación de residuos sólidos domésticos de la población circundante, lo cual puede estar generando desbordes en algunas zonas críticas.

En consecuencia, podemos mencionar que la problemática se centra en una inadecuada infraestructura de riego, donde se identifican las filtraciones y pérdidas del flujo, que generan

la ineficiencia del transporte del agua a todas las parcelas del sector Cachiche y que indirectamente no mejora el entorno urbano del interior de la Ciudad Universitaria en el lado Este.

De acuerdo a lo mencionado párrafos antes Se puede visualizar como problemática central la ineficiencia hidráulica del canal, pero eso no describe los efectos generales y secundarios que causa esta situación, por lo cual se deben realizar verificaciones con modelos de simulación hidráulica, que permitan profundizar en el funcionamiento del tramo del canal de manera integral, contemplando las probables obras de arte que se deben incorporar, así como los efectos en el flujo del canal.

Ante esta situación, los aspectos críticos mencionados anteriormente se resumen en lo siguiente:

- a) Ineficiente control de los caudales que ingresan al tramo del canal en épocas de riego, lo cual provoca desbordes en varios puntos, siendo los del interior de la Ciudad Universitaria por su infraestructura y población los más críticos.
- b) Existencia de gran cantidad de sedimentos, que colmatan y obstruyen varios puntos del tramo en investigación.
- c) Inadecuados programas de limpieza anuales y de mantenimiento periódico del tramo del canal, que permitan afrontar contingencias extraordinarias.
- d) Inexistencia de obras de arte en el tramo del canal, que sirvan para el control del caudal, desagüe por emergencia u protección contra acciones de contaminación.
- e) Acumulación de residuos domésticos y contaminantes en el curso del agua, que pueden provocar enfermedades de origen hídrico y contaminación a las plantaciones.

1.1 Problema General y específicos

En consecuencia, a los antecedentes mencionados y a los aspectos críticos resumidos en los párrafos anteriores, se plantea:

1.1.1 Problema general

¿De qué manera la propuesta metodológica utilizando modelos de simulación hidráulica, incide en el control de desbordes en el canal de riego La Mochica - tramo Ciudad Universitaria?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿De qué manera los nuevos parámetros hidráulicos, influyen en el control de desbordes del canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria?
- b) ¿De qué manera la aplicación los modelos de simulación hidráulica en la propuesta metodológica influyen en el control de desbordes del canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria?

- c) ¿De qué manera las obras de arte a implementar influyen en el control de desbordes del canal de riego la Mochica – tramo Ciudad Universitaria?

1.2 Importancia de la Investigación

La importancia de la investigación ser abordada desde la perspectiva de los daños que se han ocasionado por el mal funcionamiento hidráulico del canal y que ocasiona daños y perjuicios a la propiedad privada y pública.

Para graficar mejor esta situación y apoyar en la justificación de la investigación, se señalan algunos casos registrados en los medios de información al respecto a sucesos acaecidos en el Canal la Mochica, tales como:

- a) En enero del 2012 Radio Programas del Perú (RPP) en su página digital tituló: “Desborde del cauce La Mochica afecta a varias urbanizaciones en Ica”, y mencionó lo siguiente:

[2] El cauce La Mochica se desbordó en el kilómetro 303 de la carretera Panamericana Sur debido a la colmatación de residuos sólidos y arenamiento, perjudicando a los vecinos de las urbanizaciones Divino Maestro y Raúl Porras Barrenechea, así como el Coliseo Cerrado del Instituto Peruano de Deporte en Ica.



Fig. 1. Pobladores de Ica, asegurando los bordes del cauce La Mochica
Fuente: Radio Programas del Perú (RPP), 2012 [2]

- b) En agosto del año 2018, el informativo digital ICA REC [3] informo sobre la existencia de grandes cantidades de basura en el canal la Mochica incluso la existencia de una persona fallecida.



Fig. 2. *Hombre fallecido encontrado dentro del cauce La Mochica*
Fuente: ICA REC - Noticias, 2019 [3]

- c) El 6 de junio del 2019, el Diario Iqueño “La Opinión” publicó en su edición matutina: *Retiran más de cuatro toneladas de basura del Canal la Mochica*”, en la nota se expresa:

[4] Mientras la maquinaria pesada de la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor Ica, con apoyo de la JUASVI, retiraba el desmonte acumulado en el canal, personal de Diestra SAC recogía gran cantidad residuos sólidos de la ribera. Al finalizar la jornada que se inició a las 9:00 de la mañana, desde el mercado Arenales hasta la sede del Gobierno Regional Ica, se informó que se logró retirar más de cuatro toneladas de basura.



Fig. 3. *Retiro de basura acumulada en el cauce La Mochica*
Fuente: Diario La Opinión – Ica [4]



Fig. 4. *Autoridades del Gobierno Regional de Ica verifican trabajos de limpieza del cauce La Mochica.*

Fuente: Diario La Opinión – Ica [4]

En esa medida, la investigación aborda la temática de los Desbordes, Colmatación y Contaminación en los Canales de Riego que atraviesan zonas Urbanas, en este caso la zona urbana de la ciudad de Ica en el tramo que ingresa a la Ciudad Universitaria de la UNSLG.

La investigación busca marcar un precedente en la relación de la infraestructura hidráulica y los asentamientos humanos, para controlar las malas prácticas y así reducir la vulnerabilidad de toda la parte urbana y de los terrenos agrícolas adyacentes que están ubicados dentro del radio de influencia del canal La Mochica y que han sido identificados como zonas de riesgo.

En conclusión, la investigación plantea una propuesta metodológica bajo el enfoque de costos evitados para la sociedad, que serán considerados como beneficios, al no ser necesario intervenir bajo escenarios adversos de catástrofe y destrucción, pues la implementación de medidas oportunas evitará asumir los costos que signifique reconstruir, reparar probables daños que se producirían si no se toman las medidas recomendadas.

1.3 Objetivo Principal y específicos

1.3.1 Objetivo Principal

Elaborar una propuesta metodológica utilizando modelos de simulación hidráulica, para el control de desbordes en el canal de riego La Mochica - tramo Ciudad Universitaria.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar los nuevos parámetros hidráulicos para lograr el control de desbordes del canal La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.
- b) Aplicar los modelos de simulación hidráulica en la propuesta metodológica que influyen en el control de desbordes en el canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.
- c) Diseñar las obras de arte a implementar que influyen en el control de desbordes del canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.

1.4 Hipótesis General y específicas

1.4.1 Hipótesis General

La propuesta metodológica utilizando modelos de simulación hidráulica, incide en el control de desbordes en el canal de riego La Mochica - tramo Ciudad Universitaria.

1.4.2 Hipótesis específicas

- a) La determinación de los nuevos parámetros hidráulicos influye en el control de desbordes en el canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.
- b) La aplicación de modelos de simulación hidráulica en la propuesta metodológica influye en el control de desbordes del canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.
- c) Las obras de arte a implementar influyen en el control de desbordes del canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.

1.5 Antecedentes de Investigación

1.5.1 Antecedentes de investigación internacionales

J. Tovar, M. Fierro y V. Achury [5] que en 2019 mencionan que el sistema de riego de 49 km de canales, en el distrito de riego El Juncal, en Palermo, Colombia, se planteó el diseño de canales trapezoidales para subsanar 3.247 ml de daños observados en el sistema, para mejorar la conducción de agua, empleando la observación, encuesta y metodologías de diseño, concluyendo que debe reforzarse las secciones de canal con concreto reforzado de 15 cm de espesor, asegurando una máxima eficiencia hidráulica y mejor distribución del agua para riego según su normativa nacional, para un período de 25 años

X. Carrasco [6] en 2019 afirma que el objetivo de su investigación es evaluar al canal Ambato-Huachi-Pelileo en el tramo óvalo 21 y ovalo 22 ubicado en el Cantón Cevallos, Tungurahua, Ecuador para determinar las características hidráulicas y físicas que influyen en su comportamiento hidráulico aplicando un modelo numérico. Aplica una investigación descriptiva, correlacional y explicativa. Concluye que los resultados obtenidos mediante la modelación numérica en el software Hec-Ras indican un comportamiento subcrítico del flujo.

Mediante la simulación numérica se determinó que el máximo valor de Manning es de 0.045 lo que respecta a tener un canal con superficie irregular y salientes muy sinuosa, mientras que el valor mínimo de Manning es de 0.013 perteneciente al concreto. Mediante la simulación individual de secciones se determinó que los resultados de velocidad y calado obtenidos en campo son muy cercanos a los resultados entregados por el programa Hec-Ras.

F. Mogollón, en 2018, afirma que

Busca aplicar la teoría de la dinámica de fluidos computacional para hacer la simulación del comportamiento del flujo de la estructura hidráulica aliviadero el Ejido [...] para ello, se llevó a cabo la simulación numérica bajo condiciones de flujo permanente utilizando el modelo Volumen de Fluido en la superficie libre y el modelo K-ε estándar para la turbulencia, se estudió el comportamiento del flujo sobre la estructura de alivio para varios caudales, incluyendo caudales cercanos al evento ocurrido el 8 de noviembre de 2008. [7]

1.5.2 Antecedentes de investigación nacionales

Ortiz, en 2017, menciona:

El trabajo de investigación tiene como objetivo describir los mecanismos que la Comisión de Regantes Surco utiliza para gestionar y resolver los conflictos por el agua desarrollados alrededor de la infraestructura de riego Surco y analizar las lógicas a las que estos responden. [...] los casos revelan que, a lo largo de la historia del canal, la ciudad se impone sobre el canal de regadío, modificando la infraestructura y creando puntos vulnerables en su recorrido. La invasión de fajas marginales vinculada a una desordenada expansión urbana o la alteración del recorrido por obras de envergadura municipal como El Metropolitano, son algunos ejemplos. Si bien la Comisión de Regantes de Surco, logra en algunos casos, luego de una larga inversión de tiempo y esfuerzo, hacer prevalecer su posición de

defensa del canal frente a las autoridades competentes; los procesos para lograrlo son complejos. [8]

En 2020, J. Asalde [9] sobre un canal de riego en el distrito de Salas, Lambayeque, plantea un diseño con máxima eficiencia hidráulica que al modelarse demostró la influencia de aplicar el software HEC-RAS en el funcionamiento del canal. Como conclusión el diseño apoyado en la modelación hidráulica con Hec – Ras influye en la conducción del flujo.

P. Cueto [10] en 2020, expone la problemática del canal Carlos Leigh en el distrito de Nuevo Chimbote, en Ancash. Plantea como **objetivo general** evaluar la estructura hidráulica del canal de concreto entre el km. 22+220 a 22+720 para determinar su influencia en su condición hídrica. Aplica una **metodología** de investigación correlacional, con nivel de investigación cuantitativo y cualitativo. Los resultados muestran que el daño con más incidencia es la erosión. Concluye en que el nivel de severidad es **LEVE**. Según el análisis desarrollado el daño total en el tramo del canal, influye en la condición hídrica, porque disminuye la calidad y cantidad del recurso hídrico.

1.5.3 Antecedentes de investigación locales

No se encontraron antecedentes locales de investigación relacionada al tema.

1.5.4 Contenido de los capítulos

En el capítulo I: Introducción, se hace referencia a la realidad problemática; la formulación de las interrogantes que dan origen al problema general de la investigación; los antecedentes que se relacionan a la investigación y su justificación.

El capítulo II: Estrategia Metodológica, describe detalladamente el proceso de la investigación y los elementos que en ella influyen. Se describen en forma general los procedimientos propios de la metodología de la investigación propuesta.

En el capítulo III: Resultados. Se muestran los datos obtenidos en campo: geometría, parámetros físicos, cinéticos y modelos de simulación empleados, de manera justificada para dar respuesta a los problemas y objetivos que se han planteado.

El Capítulo IV: Discusión. Se presentan los análisis desarrollados respecto a los resultados obtenidos y en relación a cada uno de los objetivos planteados.

El Capítulo V: Conclusiones. Se presentan resultados concretos obtenidos durante la investigación, desarrolladas con mayor detalle en los capítulos anteriores, en concordancia con los objetivos de la investigación

El Capítulo VI: Recomendaciones: Se plantean algunas recomendaciones a que se deben tomar en cuenta para cumplir y sostener el objetivo principal, a futuro.

El Capítulo VII: Referencia bibliográficas. Aquí se han agrupado todas fuentes que han sido consultadas para el desarrollo de esta investigación.

El capítulo VIII: Anexos. Aquí se han colocado documentos que complementan el informe, relacionadas con la investigación como planos, reportes adicionales.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación.

De acuerdo al objetivo que se plantea, se usará una investigación del tipo aplicada, ya que se apoya en informaciones y busca utilizar los conocimientos que se adquieren mediante su desarrollo a favor de la sociedad. Según Salinas [11] La investigación aplicada es “La investigación que soluciona una cuestión raudamente”. Se apoya sobre revelaciones, hallazgos y conclusiones de la investigación dirigida. Se le denomina así porque sus conclusiones se pueden aplicar para la solución inmediata y directa de los problemas que les concierne. Tiene propósitos utilitarios. Este tipo son empleadas en ciencias tales como la medicina, la agronomía, mineralogía, la ingeniería, galénica, veterinaria, arquitectura, etc.

El enfoque es cuantitativo, porque se desarrollan mediciones para obtener las características geométricas de canal y las características físicas y cinéticas del flujo de agua en él. C. A. Monge Álvarez, sobre el enfoque cuantitativo, menciona que se basa en el positivismo. Con este fin la ciencia debe apoyarse exclusivamente en la observación directa, de la comprobación y la experiencia...lo que importa para el positivismo es la cuantificación, la medición, por medio de ella se podrá formular tendencias, hipótesis fundamentalmente a través del conocimiento cuantitativo. [12]

El nivel de la investigación es descriptivo – explicativo. Descriptivo porque se trata de un estudio práctico y técnico; asimismo porque reseña las características de un fenómeno existente y lo describe en su parte inicial. Para Sabino [13] “En este tipo de investigación se ahonda más nuestro entendimiento de la realidad, porque esclarece la razón, el motivo de las cosas, y por consiguiente es más delicado y complejo, pues el peligro de incurrir en errores se intensifica considerablemente”.

Es explicativo porque se debe tener en cuenta que se trata de demostrar que X es la causa de Y, para lo cual debemos de tener en claro los siguientes conceptos: Concepto de causa, los requisitos de causalidad, el control de variables adicionales y el diseño de modelos de simulación.

El diseño es no experimental, ya que se observan fenómenos ya realizados, de tal manera que no son provocados intencionalmente por el investigador y esta situación puede ser indirecta, porque se recaudan datos en un solo acto de medición. En estas investigaciones

las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

El ambiente en que se llevará a cabo será primeramente en el campo donde se procederá al levantamiento de datos. Posteriormente en gabinete se desarrollará todo tipo de análisis de la información obtenida y se procesará para obtener resultados que conlleven a propuestas de solución.

2.2. Población y muestra.

2.3.1 Población

Se considera para la presente investigación, toda la longitud del Canal la Mochica en el Tramo Urbano de la ciudad de Ica, tomado desde la captación en el río Ica y todo su recorrido hasta la zona de Cachiche que constituye el ámbito espacial general en estudio.

2.3.2 Muestra

Es el canal de riego La Mochica en el tramo de la Ciudad Universitaria, partiendo de la intersección de la avenida Los Maestros y la salida del canal a la altura del Establecimiento Penitenciario Ica, en el distrito de Cachiche.

2.3. Técnicas y procedimientos de recolección y procesamiento de datos.

Las fuentes a las que se recurrirá para obtener la información son orales o documentales, impresas y/o digitales. Las técnicas a usarse son varias dependiendo de la fuente, en el caso de fuentes orales se recurrirá a la observación, levantamiento de testimonios y encuestas; para fuentes escritas se recurrirá principalmente a la recolección de datos de estudios previos tanto de bibliotecas especializadas como de instituciones del área.

III. RESULTADOS.

3.1. Propuesta metodológica para el control de desbordes

El control de desbordes en canales requiere pasos secuenciales que implican recopilación de datos, evaluación, diagnóstico y propuestas finales.

No existe una guía oficial para este fin, sin embargo, existen procedimientos aislados que utilizan los investigadores experimentados para secuenciar las actividades necesarias para el diseño. En tal sentido se propone una serie de fases principales dentro de las cuales se encontrarán los procedimientos disponibles y mayormente utilizados, mediante el cual el investigador pueda llegar a una conclusión final que se traduce en un documento elaborado para materializar la propuesta. Estas fases son las siguientes:

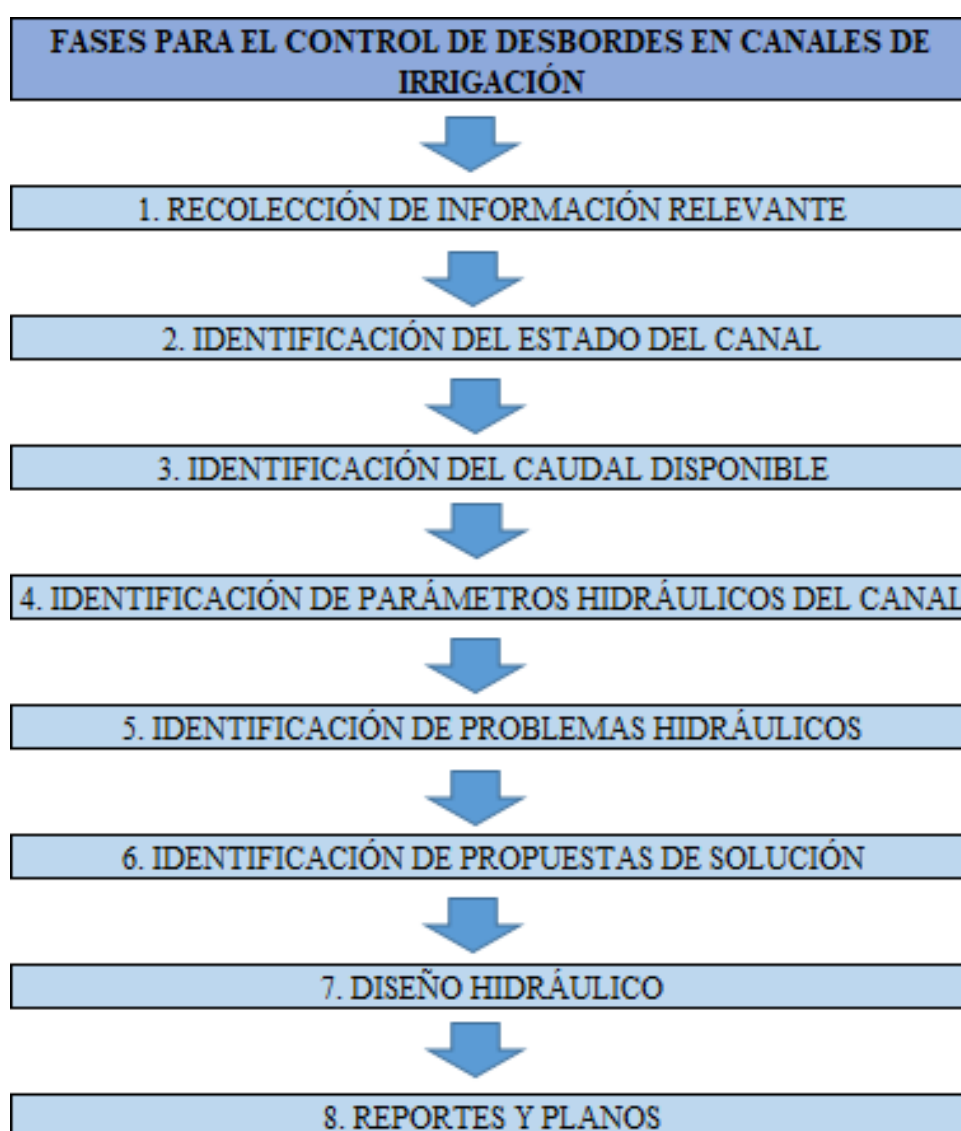


Fig. 5. *Propuesta metodológica para el control de desbordes*

Estas fases son las que se aplicarán para el control de desbordes en el canal de riego La Mochica –Tramo Ciudad Universitaria.

3.2 Presentación de información relevante

3.2.1 Descripción del canal

El canal La Mochica, ubicado en el distrito de Ica, se inicia a la altura de la progresiva 129+636.00 del río Ica donde capta su caudal en la Bocatoma La Mochica. Hace su recorrido por la zona urbana hasta llegar a la Ciudad Universitaria de la UNSLG, ingresando al campus y sale a la altura del Centro Penitencial de Cachiche con una longitud aproximada de 15.5 km.

La capacidad de conducción del canal es de 2.00 m³/seg. El tramo de inicio tiene una longitud aproximada de 2 km, desde la bocatoma, cuya sección es trapezoidal de $b=2.50\text{m}$; $h=1.50\text{m}$ revestido de concreto.

El tramo siguiente, tiene una longitud aproximada de 13.50 km de sección irregular y sin revestir (canal de tierra), presenta las siguientes características hidráulicas: $b=2.50\text{ m.}$, $h=1.20\text{ m.}$

Este canal se encuentra sedimentado en toda su longitud (revestido y sin revestir), existiendo tramos con sección hidráulica reducida a consecuencia de los desperdicios que arrojan en su interior lo que dificulta la conducción del flujo, generando desbordes y aniegos en algunos tramos por falta de mantenimiento.

Su recorrido desde la bocatoma a la altura del cercado de San Juan Bautista, sigue paralelo al río Ica hasta el grifo que se encuentra en el camino a San Juan, donde cruza hacia el caserío “Los Patos”. Desde allí, discurre paralelo a la Av. León Arechua, desviándose hacia la urbanización “Unidad Vecinal” y circulando paralelo a la calle Chota para llegar a la Av. Arenales, pasando por la urbanización “San Miguel” en dirección este a oeste.

Desde aquí llega nuevamente a la Avenida León Arechua, a la altura de la del local de Los Jubilados. Cambia de dirección hacia el sur, por el centro de la misma avenida hasta la sede del Gobierno Regional de Ica. Ya desde este punto cruza hacia la institución educativa “Antonia Moreno de Cáceres”, y sigue por la Av. Arco Real, adjunto a la urbanización Divino Maestro hasta llegar a la intersección con la Av. Los Maestros al lado de la sede del Ministerio Público de Ica donde se encuentra una compuerta de regulación de flujo.

A partir de allí el canal se divide en dos tramos: Uno va hacia la urbanización “San Carlos”, el otro cambia de dirección hacia la Ciudad Universitaria de la UNSLG, discurriendo por la berma central y a la altura del puente peatonal casi a la entrada principal cruza a la orilla derecha de la avenida. Casi al final del cerco frontal de la ciudad universitaria ingresa al

interior del campus para salir a la altura del Centro Penitenciario de Ica, en el caserío de Cachiche.



Fig. 6. Recorrido total del Canal La Mochica en la zona urbana de Ica
Fuente: Google Earth 2023

El tramo en estudio comprende precisamente desde la intersección de la Av. Los Maestros con la Av. Arco Real, hasta la salida del canal a la altura del Penal, en el caserío de Cachiche.

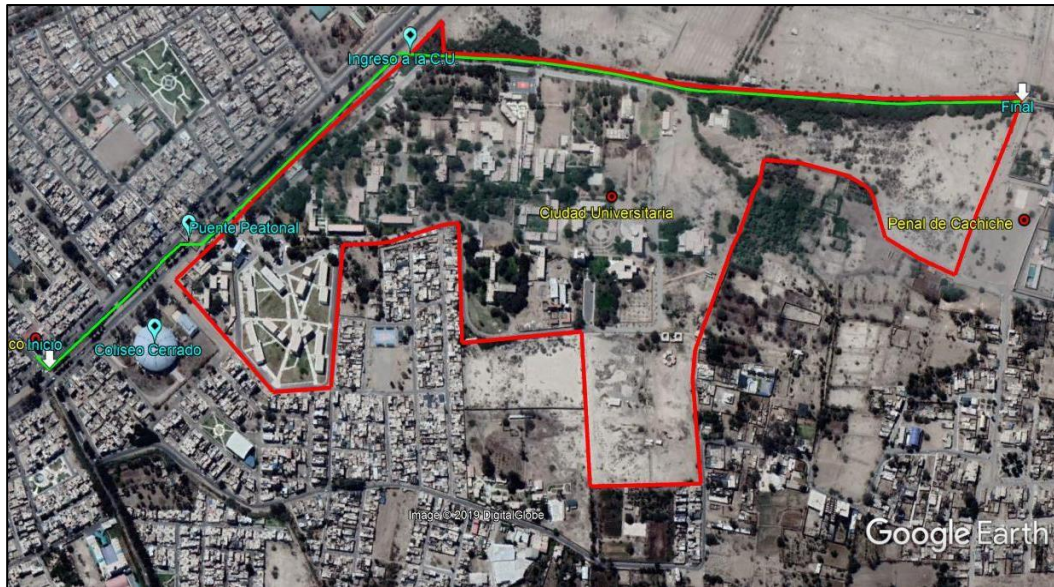


Fig. 7. Ingreso y salida del tramo del canal en la Ciudad Universitaria
 Fuente: Google Earth 2023

3.2.2 Administración del canal

El Canal La Mochica, está administrado por una Comisión de Regantes denominado “La Mochica”, con un número de 1031 usuarios. Sirve a 1585 predios de cultivo, con un área total de 1,857.91 hectáreas. El área bajo riego es de 1,789.29 hectáreas.

La Junta de Usuarios del Distrito de Riego Ica, tiene a su cargo 5 comisiones cuyos nombres toman el nombre del canal o sistemas de riegos que existen en Ica y son:

- Comisión Macacona
- Comisión Quilloay
- Comisión Acequia Nueva
- Comisión La Mochica
- Comisión San Jacinto

La Comisión que tiene a su cargo el canal La Mochica, al 2009 presentaba la siguiente información:

- No. de Usuarios : 1,031
- Predios : 1,585
- Área total : 1,857.91 has
- Área bajo riego : 1,789.29 has
- Sector de riego : Río Ica

TABLA I

USO DEL AGUA DE LOS RÍOS DE LA PROVINCIA DE ICA

Cuenca	Área (km ²)	Vol. medio anual	Doméstico		Agrícola		Pecuario		Industrial		Total	
			Vol. MMC	%	Vol. MMC	%	Vol. MMC	%	Vol. MMC	%	Vol. MMC	%
Ica	7711	694.89	38.2	5.5	648.98	93	4.2	0.6	3.51	0.5	694.89	100

Fuente: Portal Agrario/Ministerio de Agricultura. Diagnóstico de la Agricultura en la Provincia de Ica (2007) - Dirección Regional de Agricultura. Elaboración propia.

3.2.3 Ubicación geográfica

- Departamento : Ica
- Provincia : Ica
- Distrito : Ica

Geolocalización del tramo en estudio:

- Coordenadas del Inicio : 420,446.92 m E; 8°443,276.64 m S
- Coordenadas del final : 421,080.40 m E; 8°441,744.19 m S
- Cota promedio : 402 m.s.n.m.

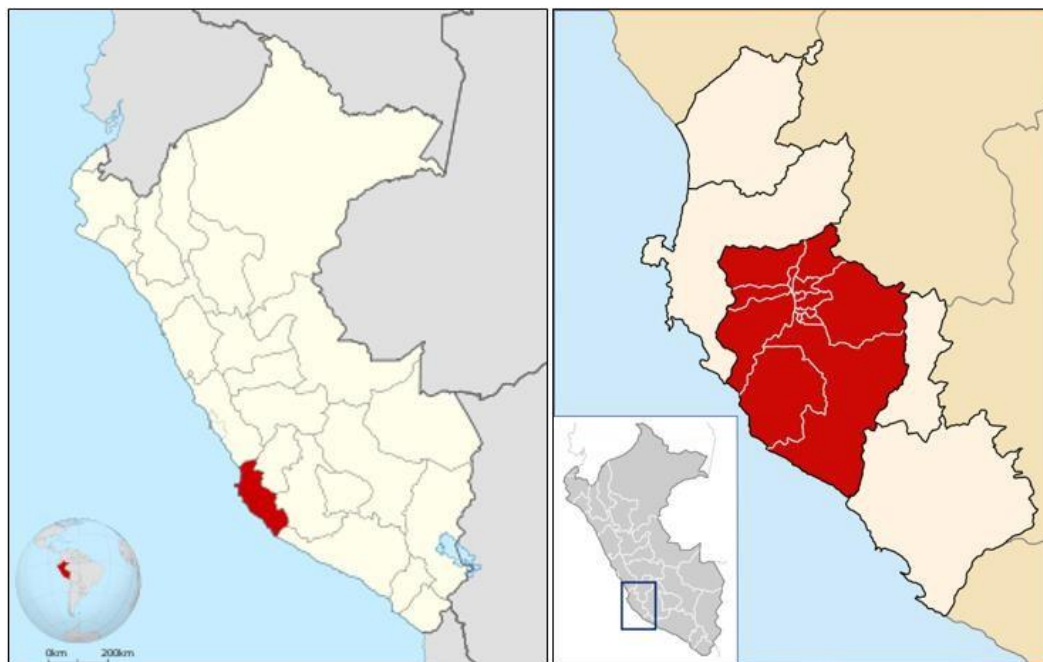


Fig. 8. Ubicación del departamento y provincia de Ica

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Ica#/media/Archivo:Location_of_the_province_Ica_in_Ica.svg



Fig. 9. *Ubicación del distrito de Ica*

Fuente: <https://www.perutoptours.com/index10icicamap.html>

3.2.4 Accesibilidad

Partiendo de la Plaza de Armas de Ica al punto de inicio del tramo en estudio, en la Avenida Los Maestros (Panamericana Sur), frente a la fachada principal de la Ciudad Universitaria de la UNSLG, se recorre aproximadamente 3.1 km con un tiempo de 9 minutos.

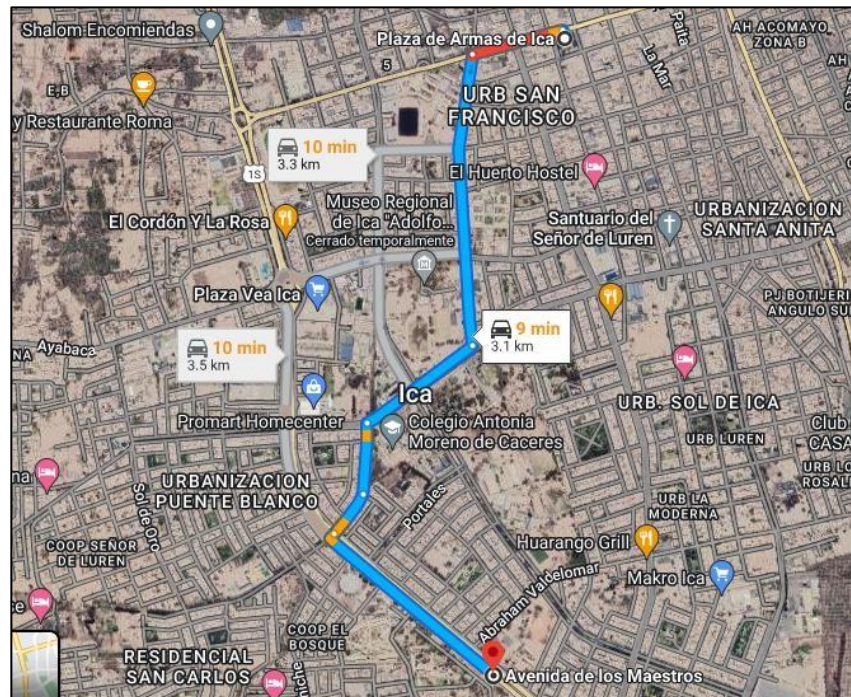


Fig. 10. *Acceso al punto de inicio del tramo en estudio*

Fuente: <https://www.google.com/maps>

3.3 Identificación del estado del canal

3.3.1. Reconocimiento visual del tramo de estudio

Antes de desarrollar un levantamiento topográfico se hizo un recorrido de todo el tramo en estudio, donde aprecia su estado actual y su entorno.



Fig. 11. *Tramo exterior paralelo a la fachada principal*

Como se aprecia en la imagen, el tramo que va paralelo al frontis de la Ciudad Universitaria es una estructura de concreto.



Fig. 12. *Punto de acceso al campus universitario*

En esta vista se aprecia el punto donde el canal ingresa al campus universitario y se muestran desperdicios domésticos que han sido extraídos del canal para liberar el acceso. Esta actividad la realizan los usuarios del canal.

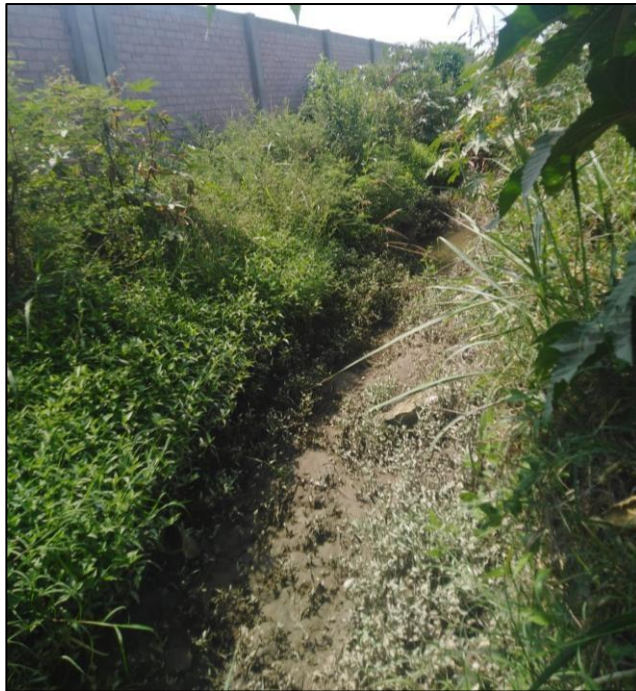


Fig. 13. Inicio del tramo al interior de la C.U.

Una vez que el canal ingresa al campus universitario ya la estructura del cauce es natural (canal de tierra) apreciándose que abunda la vegetación y existe la probabilidad de que se haya producido sedimentación en el tramo estudiado.



Fig. 14. Deformación del canal y depósitos de desperdicios en el fondo

Se aprecia que existe sedimentación y depósitos de desperdicios en el fondo del canal, además su sección transversal ya tiene deformaciones que podrían influir en su eficiencia hidráulica.



Fig. 15. Vista del canal paralelo al cerco del lado izquierdo de la C.U.

El mantenimiento realizado por la junta de usuarios del canal en forma periódica, demuestra que el canal se sedimenta ya que, al hacer la limpieza, han extraído regular volumen de tierra para mantener la pendiente del canal y lo han acumulado en el bordo exterior haciendo que este aumente su altura.

Se aprecia además que han existido desbordes que han afectado a la estructura del pavimento, deteriorándolo.

Por otro lado, la excesiva acumulación del material en el bordo externo ha invadido la mitad del carril externo de la vía adyacente.

Esta estructura no es un cauce natural, fue diseñada por los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNSLG y construida por la junta de usuarios hace casi 40 años y al incrementarse el crecimiento urbano en la zona, muchas zonas agrícolas desaparecieron con su infraestructura de riego quedando un remanente en la zona de Cachiche que se vieron obligados a desviar el cauce principal ingresando por la ciudad universitaria.

Lógicamente, cuando esta propiedad de la universidad empezó a cercarse, las autoridades de la UNSLG y de la Comisión de Regantes “La Mochica” llegaron a un acuerdo para que este tramo quede dentro del campus universitario.

La siguiente vista muestra un flujo laminar que denota bajas velocidades, las cuales favorecen al proceso de sedimentación. Del mismo modo, las bajas velocidades son las que favorecen el crecimiento de vegetación que reduce el flujo y disminuye la eficiencia del canal.



Fig. 16. Vista del flujo laminar en el tramo de estudio.



Fig. 17. Vista de una zona de desborde reforzada con sacos terreros

Como primeras conclusiones de esta fase de reconocimiento se identifican los siguientes problemas en el canal:

- a) Debido a que la zona donde se encuentra la C.U., los terrenos adyacentes y los remanentes de cultivo tienen una pendiente bastante moderada que obligan a que el canal mantenga su pendiente y no sea posible modificarla.
- b) Está pendiente es la que permite un flujo laminar, no turbulento, lo que favorece a la sedimentación y crecimiento excesivo de vegetación.
- c) Se ha observado que no existe una estructura desarenadora que evite el problema de sedimentación.
- d) Los materiales extraídos de las limpiezas periódicas no son transportados fuera de la C.U. lo que genera el deterioro de la vía adyacente.
- e) La reducción de la sección transversal ha generado algunos desbordes en el bordo más bajo del canal.
- f) Con los problemas evidenciados anteriormente se deduce que el canal no llega a su máxima eficiencia hidráulica.

3.4 Identificación del caudal disponible

Según los regantes de la zona, el tramo del canal en estudio, conduce 1 m³/seg en condiciones normales, sin embargo, la administración del canal indica que su capacidad de conducción es de 2.00 m³/seg. Ya que el flujo es regulado por una compuerta a la altura del edificio del Ministerio Público, en la Avenida Arco Real, es probable que los 2.00 m³/seg sea la máxima capacidad de conducción del canal.



Fig. 18. Compuerta de regulación entre la Av. Arco real y Av. Los Maestros

Conocido este caudal, hay que verificarlo mediante pruebas de aforo y mediante el levantamiento topográfico obtener la pendiente y las secciones transversales a cada 20 metros. La longitud total del tramo estudiado es de 1,182.33 m.

3.4.1. Aforo de caudal

Se aplicó en este caso el método de Velocidad – Área, para determinar al caudal que circula por el canal. Este consiste en seleccionar tramos uniformes y lo más rectos posibles, libres de obstáculos para medir el tiempo que un objeto flotante llevado por el flujo de agua, demora en recorrerlo. La sección transversal promedio del tramo, debe obtenerse por medio de un levantamiento topográfico y se toma la altura de agua en el inicio y final del tramo para obtener el área mojada de cada sección.

La velocidad se determina por:

$$V = \frac{e}{t}$$

Donde:

V = Velocidad (m/seg)

e = Longitud recorrida por el flotador (m)

t = Tiempo de recorrido (seg)

El caudal se determina por:

$$Q = A \times V.$$

Donde:

Q = Caudal (m3/seg)

A = Área mojada promedio del tramo (m2)

V = Velocidad promedio en el tramo (m/seg)

Se tomaron 4 tramos de diferente longitud para establecer el aforo, en cada uno de ellos se tomaron los datos 5 veces para obtener un promedio, luego de cada tramo se obtuvo el caudal promedio que circula en el canal.

TABLA II
VERIFICACIONES HIDRÁULICAS EN EL CANAL

Longitud del tramo (m)	Tiempo de recorrido (seg)	Velocidad calculada (m/seg)	Área de flujo promedio (m2)	Caudal (m3/seg)
14	12.85	1.09	0.74	0.81
10	8.98	1.11	0.74	0.82
13	11.94	1.09	0.74	0.81
20	18.95	1.06	0.74	0.78
Promedios =		1.09		0.80



Fig. 19. *Medición de tramos de aforo*

Como primera conclusión de esta fase se tiene que:

- a) El caudal actual que viene circulando por el canal es de $0.80 \text{ m}^3/\text{seg}$, menor al que han manifestado los usuarios del canal en la zona.
- b) La velocidad del flujo es de $1.09 \text{ m}/\text{seg}$
- c) El caudal disponible según la administración de riego del canal es de $2 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- d) Según los datos anteriores el canal no está trabajando bajo condiciones de máxima eficiencia hidráulica.

3.5 Identificación de parámetros hidráulicos del canal

3.5.1 Parámetros hidráulicos físicos

Los parámetros hidráulicos de un canal son todos aquellos que definen e intervienen en la caracterización del flujo, para un determinado caudal. Estas son:

- Caudal: Volumen de agua por unidad de tiempo que conduce el canal
- Coeficiente rugosidad: Número adimensional que define la resistencia que las paredes y fondo de un canal ofrece al flujo de agua, para deslizarse en su interior. Su valor depende del material que las conforman. Mientras mayor sea el valor del coeficiente mayor es la resistencia al flujo debido a la rugosidad del canal.
- Ancho de solera: Es la dimensión geométrica que define el ancho del fondo del canal

- Talud: Inclinación de las paredes del canal que define la forma geométrica de su sección transversal.
- Pendiente: Inclinación longitudinal del canal que influye en sus parámetros cinéticos.

3.5.2 Parámetros hidráulicos cinéticos

Estos resultan de la aplicación de los parámetros hidráulicos físicos en la Ecuación de Manning, los cuales son:

- Tirante normal: Es la profundidad del flujo en movimiento, el cual es influenciado por la pendiente longitudinal del canal.
- Área hidráulica: Es el área del flujo en movimiento dentro del canal y está influenciada por la forma de la sección transversal.
- Espejo de agua: Es el ancho de la superficie libre del flujo dentro del canal.
- Perímetro Mojado (Pm): Es el perímetro de la sección transversal del flujo en movimiento, que está en contacto con las paredes del canal. No se incluye el espejo de agua.
- Radio hidráulico: Es una relación entre el área del flujo en movimiento y su perímetro mojado.
- Velocidad: Es el recorrido (m) de un flujo de agua dentro de un canal por unidad de tiempo (seg), lo que infiere que es una velocidad instantánea.
- Energía específica: Es un parámetro que sirve para definir el régimen de flujo generado en una determinada estructura hidráulica.
- Número de Froude: es un valor adimensional mayor o igual que la unidad, que expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las de gravedad. Este define el tipo de flujo en canales abiertos como críticos, subcríticos o supercrítico.
- Tipo de flujo: Dependiendo del número de Froude o Reynolds se clasifican en laminares subcríticos, turbulentos subcríticos, laminares supercríticos y turbulentos supercríticos.

3.5.3 Determinación de Parámetros hidráulicos físicos y cinéticos

Ya conocido el caudal mediante aforo, se determinan los parámetros del canal aplicando la ecuación de Manning.

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n}$$

Dónde:

Q = Caudal de diseño en m³/seg.

n = coeficiente de rugosidad de Manning.

S = Pendiente del canal en m/m

A = Área de la sección transversal en m²

R = Radio hidráulico (A/P) en m

No obstante, debido a que el revestimiento del canal no es continuo se han establecido 3 sub-tramos cuya longitud se ha obtenido luego del levantamiento topográfico, así como la pendiente promedio. Las características de estos sub – tramos son las siguientes:

TABLA III
SUBTRAMOS EN EL CANAL DE ESTUDIO

Sub - tramo	Longitud (m)	Pendiente promedio (m/m)	Revestimiento	Sentido
I	44.39	0.002455853	Tierra	Aguas arriba
II	109.94	0.002455853	Concreto	Aguas arriba
III	1028.00	0.002455853	Tierra	Aguas abajo
Total:	1182.33	m		

Para aplicar la ecuación de Manning se requiere identificar la rugosidad de cada tramo de acuerdo a lo observado en campo, de lo cual van a depender varias de las características hidráulicas de cada sub-tramo.

3.5.4 Estimación del coeficiente de Manning

Depende de las características del cauce y los valores del talud, pero principalmente del tipo de revestimiento del canal. Generalmente se asume un canal limpio con trazo uniforme, pero la realidad es totalmente distinta. En canales en tierra puede haber obstrucciones, vegetación, curvas e irregularidades, que deben considerarse en los cálculos.

Según el manual del ANA [14] “Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos” la siguiente tabla contiene valores sugeridos para este caso:

TABLA IV
VALORES DE RUGOSIDAD “n” DE MANNING

n	Superficie
0.010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre
0.011	Concreto muy liso
0.013	Madera suave, metal, concreto frotachado
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo
0.035	Canales naturales con abundante vegetación
0.040	Arroyos de montañas con muchas piedras

Fuente: ANA [14]

El valor correspondiente a las características observadas en los tramos de tierra es:

$$n = 0.035 \text{ (canal de tierra con abundante vegetación)}$$

TABLA V
VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
Conductos Abiertos Revestidos y de Alineamiento Recto

Revestimiento	Calidad Buena	Calidad Regular
Concreto vaciado en formaletas sin acabado	0.013	0.017
Concreto alisado a boca de cepillo	0.013	0.015
concreto emparejado con llana	0.012	0.014
Mortero lanzado, sección buena	0.016	0.019
Piedras irregulares, unidas con mortero cemento	0.017	0.02
Mampostería de piedra bruta y mortero de cemento frisado	0.016	0.02

Nota: Cuando la calidad de la construcción es mala usar los mayores valores de “n”
Fuente: Bolinaga, J.J. [15]

El valor correspondiente a las características del tramo de concreto es:

$$n = 0.014 \text{ (canal de concreto emparejado con llana)}$$

3.5.5 Cálculo de los parámetros hidráulicos

Para tal efecto se ha usado el programa Hcanales 3.0 cuyo algoritmo de cálculo se basa en la ecuación de Manning. Considerando los parámetros físicos e hidráulicos existentes como caudal, pendiente, talud promedio, ancho de solera promedio y la rugosidad que caracteriza al tramo, se obtienen los siguientes parámetros cinéticos:

Lugar:	<input type="text" value="U.N.S.L.G"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Canal La Mochica"/>
Tramo:	<input type="text" value="Ciudad Universitaria"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Canal de tierra + vegetación"/>

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.8"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.5"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="1.002455853"/>	m/m

Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.7652"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="2.7111"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="1.0580"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.3903"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.7652"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.7561"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.3118"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.7944"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Fig. 20. Parámetros hidráulicos para el sub tramo I. ($Q=0.80 \text{ m}^3/\text{seg}$)

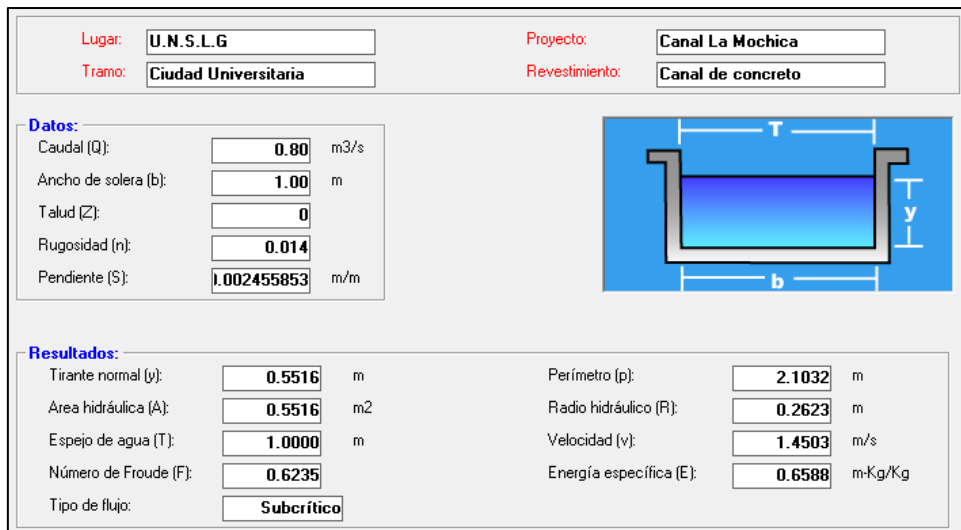


Fig. 21. Parámetros hidráulicos para el sub tramo II ($Q=0.80$ m³/seg)

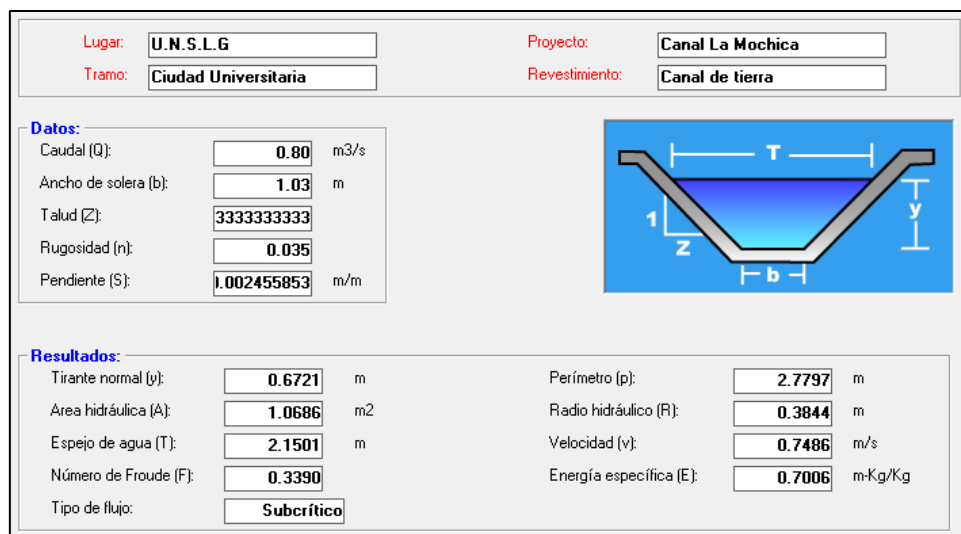


Fig. 22. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=0.80$ m³/seg)

TABLA VI
PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL EXISTENTE PARA 0.80 M³/SEG

Parámetro	Unidad	Sub Tramos		
		I	II	III
Longitud (L)	m	44.39	109.94	1028
Caudal (Q)	m ³ /seg	0.80	0.80	0.80
Solera (b)	m	1.00	1.00	1.06
Talud (z)		0.50	0.00	0.333333
Rugosidad (n)		0.035	0.014	0.035
Tirante (Y)	m	0.765	0.552	0.672
Espejo (T)	m	1.77	1.00	2.15
Velocidad (V)	m/seg	0.76	1.45	0.75
Perímetro mojado (p)	m	2.711	2.103	2.78
Número de Froude		0.312	0.624	0.339
Tipo de flujo		Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico

Estos parámetros se han calculado para un caudal de 0.80 m³/seg, obtenido mediante aforo, ahora se calcularán con un caudal de 1.00 m³/seg y luego con 2 m³/seg.

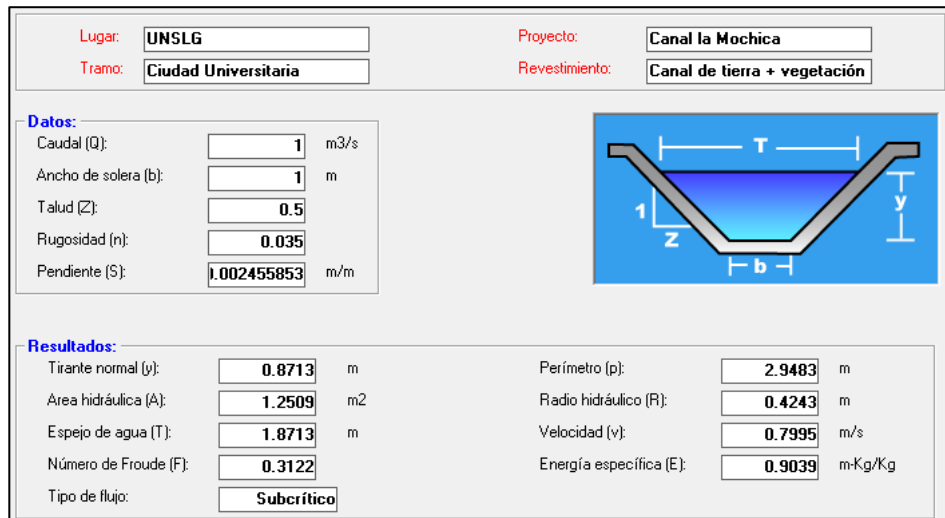


Fig. 23. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=1.00$ m³/seg)

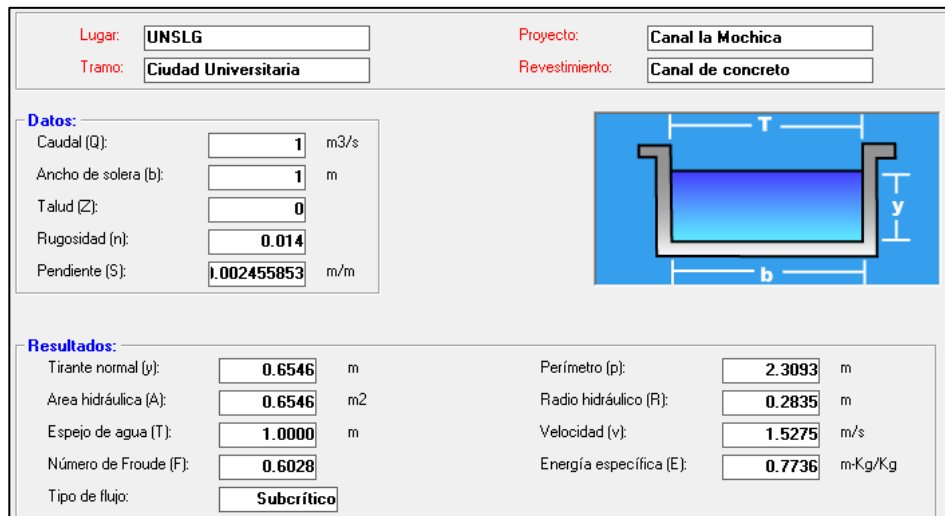


Fig. 24. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=1.00$ m³/seg)

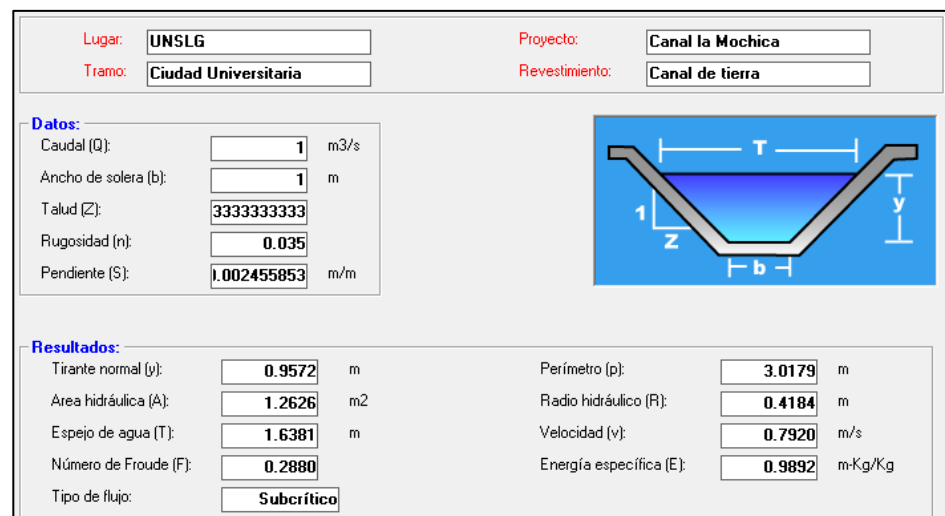


Fig. 25. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=1.00$ m³/seg)

TABLA VII

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL EXISTENTE PARA 1.00 M³/SEG

Parámetro	Unidad	Sub Tramos		
		I	II	III
Longitud (L)	m	44.39	109.94	1028
Caudal (Q)	m ³ /seg	1.00	1.00	1.00
Solera (b)	m	1.00	1.00	1.06
Talud (z)		0.50	0.00	0.333333
Rugosidad (n)		0.035	0.014	0.035
Pendiente (S)	m/m	0.0024559	0.0024559	0.0024559
Tirante (Y)	m	0.8713	0.6546	0.9572
Espejo (T)	m	1.8713	1.00	1.2626
Velocidad (V)	m/seg	0.7995	1.5275	1.6381
Perímetro mojado (p)	m	2.9483	2.3093	3.0179
Número de Froude		0.3122	0.6028	0.288
Tipo de flujo		Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico

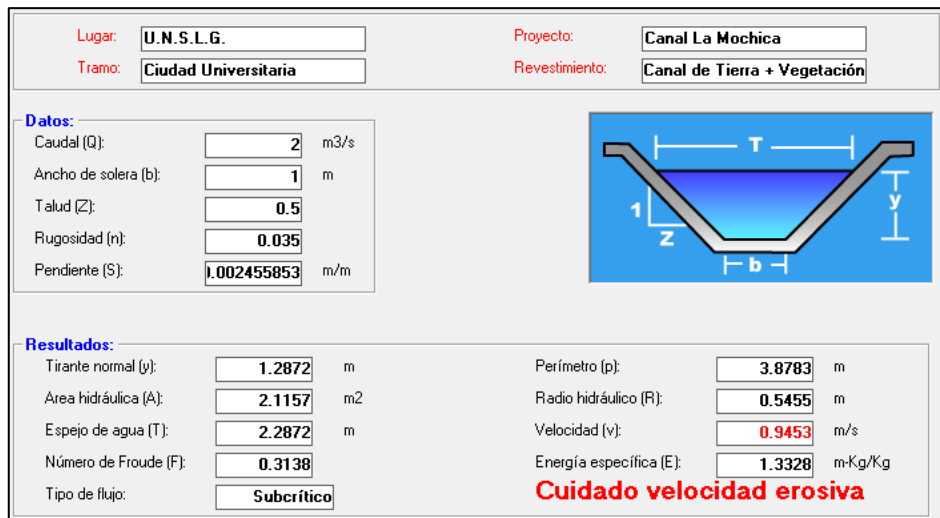


Fig. 26. Parámetros hidráulicos para el sub tramo I (Q=2.00 m³/seg)

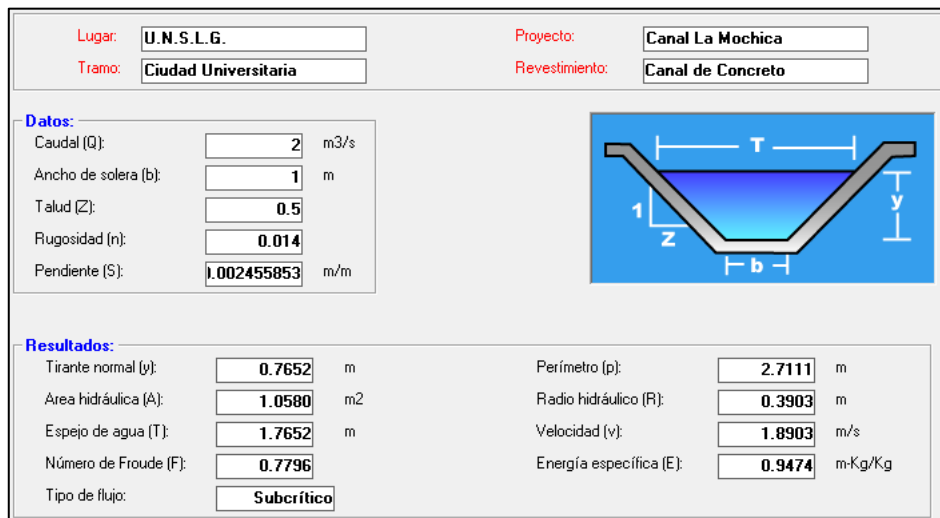
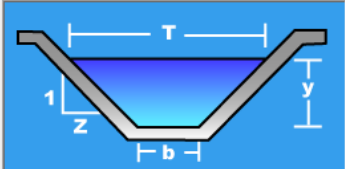


Fig. 27. Parámetros hidráulicos para el sub tramo II (Q=2.00 m³/seg)

Lugar:	<input type="text" value="U.N.S.L.G."/>	Proyecto:	<input type="text" value="Canal La Mochica"/>
Tramo:	<input type="text" value="Ciudad Universitaria"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Canal de tierra"/>

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="2"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="3333333333"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="1.002455853"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="1.4522"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="4.0615"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="2.1551"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.5306"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.9681"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.9280"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.2831"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="1.4961"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Cuidado velocidad erosiva

Fig. 28. Parámetros hidráulicos para el sub tramo III ($Q=2.00$ m³/seg)

TABLA VIII
PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL EXISTENTE PARA 2.00 M³/SEG

Parámetro	Unidad	Sub Tramos		
		I	II	III
Longitud (L)	m	44.39	109.94	1028
Caudal (Q)	m ³ /seg	2.00	2.00	2.00
Solera (b)	m	1.00	1.00	1.06
Talud (z)		0.50	0.00	0.333333
Rugosidad (n)		0.035	0.014	0.035
Pendiente (S)	m/m	0.0024559	0.0024559	0.0024559
Tirante (Y)	m	1.2872	0.7652	1.4522
Espejo (T)	m	2.2872	1.7652	1.9681
Velocidad (V)	m/seg	0.9453	1.8903	0.928
Perímetro mojado (p)	m	3.8783	2.7111	4.0615
Número de Froude		0.3138	0.7796	0.2831
Tipo de flujo		Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico

TABLA IX
RESUMEN COMPARATIVO DE TIRANTES Y VELOCIDADES

Sub Tramos	Caudal	Tirante	Velocidad	Tipo de flujo
I	0.80	0.77	0.76	Subcrítico
II	0.80	0.52	1.45	Subcrítico
III	0.80	0.67	0.75	Subcrítico
I	1.00	0.87	0.80	Subcrítico
II	1.00	0.65	1.53	Subcrítico
III	1.00	0.96	1.64	Subcrítico
I	2.00	1.29	0.95	Subcrítico
II	2.00	0.77	1.89	Subcrítico
III	2.00	1.45	0.93	Subcrítico

Como conclusiones de esta fase se puede manifestar lo siguiente:

- a) Los tirantes en los canales de tierra aumentan considerablemente respecto al canal de concreto, esto es debido a la resistencia que el revestimiento ofrece al flujo, expresado en el valor de la rugosidad de Manning.
- b) Esto se comprueba cuando las velocidades de los canales de tierra son menores respecto al canal de concreto que son muy superiores, la rugosidad influye en la velocidad del flujo.
- c) De acuerdo a lo que se ha calculado con Hcanales 3.0 las velocidades en los canales de tierra son erosivas.

3.6 Identificación de problemas hidráulicos del canal

3.6.1 Erosión

De acuerdo a lo procesado en la fase anterior, uno de los problemas identificados es que, si el canal trabaja a su máxima capacidad $2\text{ m}^3/\text{seg}$, las velocidades son erosivas, incluso si opera con un caudal de $1\text{ m}^3/\text{seg}$.

3.6.2 Sedimentación

ANA [14] considera que $0.8\text{ m}/\text{seg}$ es una apropiada velocidad que evita la sedimentación e impide el crecimiento de plantas en el canal. Es decir que por debajo de este valor si se produce el fenómeno.

IMEFEN [16] recomienda que la velocidad del canal debe estar por debajo de 0.10 a $0.20\text{ m}/\text{seg}$, suponiendo que son aguas limpias. Pero si el canal lleva material en suspensión el rango aceptable esta entre 0.60 y 0.90 .

Chereque [17] sugiere valores para canales revestidos, para evitar la sedimentación del escaso limo en el agua entre $0.60 - 0.90\text{ m}/\text{seg}$. Para canales de tierra y evitar el crecimiento de plantas entre $0.70 - 0.75\text{ m}/\text{seg}$.

La mínima velocidad calculada en todos los tramos del canal es $0.75\text{ m}/\text{seg}$ para un caudal de $0.80\text{ m}^3/\text{seg}$. Esta se encuentra por encima o al límite de estos rangos por lo cual el canal no sufrirá sedimentación.

3.6.3 Infiltración y evaporación

Según Chereque [17] la pérdida de agua por infiltración y evaporación es del orden del 5% en los canales revestidos y del 30% en los canales de tierra.

De acuerdo a ello se puede deducir las pérdidas para los diferentes caudales en cada sub tramo.

TABLA X
PÉRDIDAS DE CAUDAL POR INFILTRACIÓN Y EVAPORACIÓN

Sub Tramos	Material	Caudal	% de pérdidas	Pérdida m3/seg	Caudal final m3/seg
I	Tierra	0.80	30	0.24	0.56
II	Concreto	0.80	5	0.04	0.76
III	Tierra	0.80	30	0.24	0.56
I	Tierra	1.00	30	0.30	0.70
II	Concreto	1.00	5	0.05	0.95
III	Tierra	1.00	30	0.30	0.70
I	Tierra	2.00	30	0.60	1.40
II	Concreto	2.00	5	0.10	1.90
III	Tierra	2.00	30	0.60	1.40

3.6.4 Eficiencia

Tomando como referencia los caudales máximos y mínimos, se determina la eficiencia en la capacidad de conducción respecto al caudal calculado mediante aforo. Entonces:

- Para $Q = 1.00 \text{ m}^3/\text{seg}$:

$$Eficiencia = \frac{Q_{conducido}}{Q_{disponible}} \times 100\%$$

$$Eficiencia = \frac{0.80}{1.00} \times 100\%$$

$$Eficiencia = 80\%$$

- Para $Q = 2.00 \text{ m}^3/\text{seg}$:

$$Eficiencia = \frac{Q_{conducido}}{Q_{disponible}} \times 100\%$$

$$Eficiencia = \frac{0.80}{2.00} \times 100\%$$

$$Eficiencia = 40\%$$

3.6.5 Desbordes

Para tal efecto es necesario modelar el canal para verificar las zonas críticas de desborde.

3.6.5.1 Modelos de simulación hidráulica de canales

Un modelo hidráulico es un programa digital construido de tal modo que permite utilizar las características físicas de un canal y reproducir virtualmente el comportamiento de un flujo de agua en todo su recorrido, basado en un conjunto de algoritmos de cálculo que sirven para observar e identificar problemas y definir soluciones en un tiempo relativamente corto lo que permite realizar numerosas pruebas hasta encontrar una solución óptima, proporcionando información gráfica de los resultados y también en forma de tablas.

Estos modelos pueden modelar flujos unidimensionales y bidimensionales, su elección depende de la magnitud e importancia del proyecto. Existen diversos modelos como:

- SIC (Systeme d'Irrigation de Canaux) Simulación Integrada de Canales y su Control, desarrollado en IRSTEA [18], Francia, basa la simulación del flujo en cálculos hidráulicos unidimensionales, en régimen permanente y transitorio cuyo algoritmo de cálculo se basa en las ecuaciones de Saint-Venant.
- MIKE 2023: Es un software de origen danés desarrollado en el Danish Hydraulic Institute [19]. Desarrolla análisis de flujos estacionarios o transitorios en canales usando métodos computacionales. No es un software libre y requiere la asistencia del DHI para configurarlo.
- HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) [20]. Ha sido desarrollado por el US Army Corps of Engineers (**Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU.**) a través de su Centro de Ingeniería Hidrológica. El modelo analiza flujos en canales y ríos con régimen permanente o transitorios, transporte de sedimentos y calidad del agua. También basa sus simulaciones de flujo en cálculos hidráulicos unidimensionales. Es de licencia libre.

3.5.5.2 Aplicación del modelo HEC-RAS 4.1.0

Existen muchos otros modelos que son mucho más complejos, no obstante, requieren pago de licencia, por lo cual se optó por usar el modelo de simulación hidráulica HEC-RAS en su versión 4.1.0, porque que es la mayormente utilizada por los investigadores y desarrolladores de proyectos hidráulicos y por ser más estable en el cálculo, que otras versiones superiores, además de ser de licencia libre. No requiere de mucho espacio en el ordenador y es muy fácil de instalar. En cuanto a su aplicación, la interfaz gráfica que ofrece facilita el manejo y es compatible con los sistemas de información geográfica (GIS), sus reportes de resultados son tanto gráficos como tabulares muy fáciles de entender.

Se aplicó el modelo para simular el canal con diferentes caudales. La verificación hidráulica en el tramo de estudio del canal La Mochica con HEC RAS 4.1.0 se realiza para un solo perfil del flujo sin embargo se harán tres simulaciones:

- **Simulación 1:** Para canal en tierra en condiciones topográficas e hidráulicas actuales para un caudal de 0.80 m³/seg.
- **Simulación 2:** Para canal en tierra en condiciones topográficas e hidráulicas actuales para un caudal de 1 m³/seg.
- **Simulación 3:** Para canal en tierra en condiciones topográficas e hidráulicas actuales para un caudal de 2.00 m³/seg.

Simulación 1:

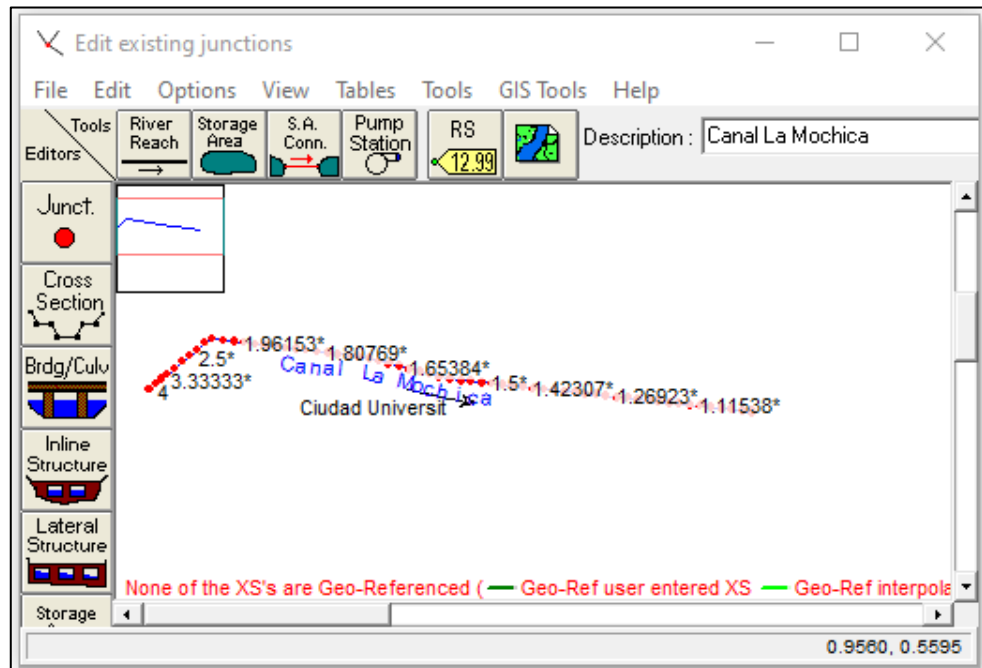


Fig. 29. Ingreso de datos geométricos del canal a cada 20 m. $Q=0.80$ m³/seg

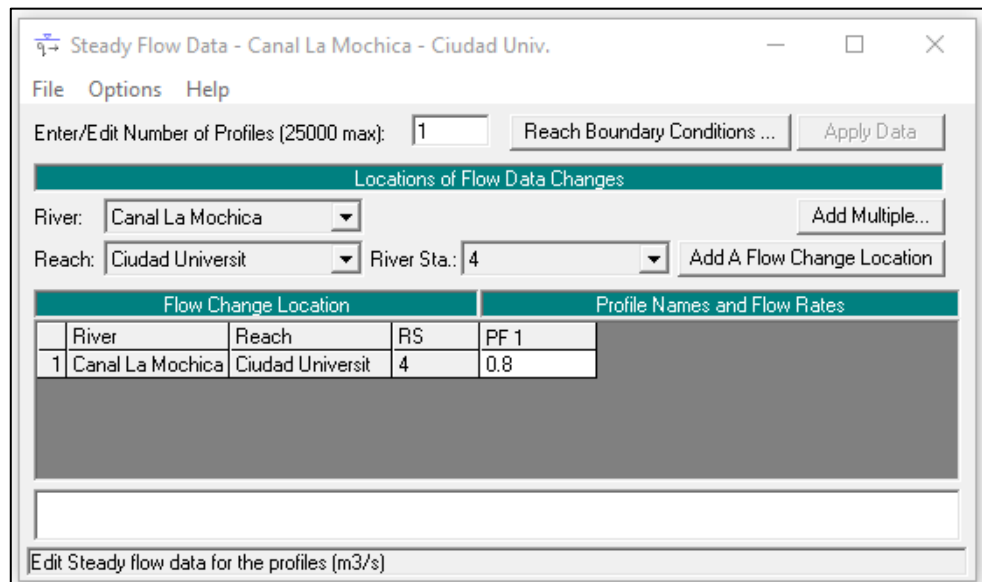


Fig. 30. Ingreso del caudal de diseño $Q=0.80$ m³/seg

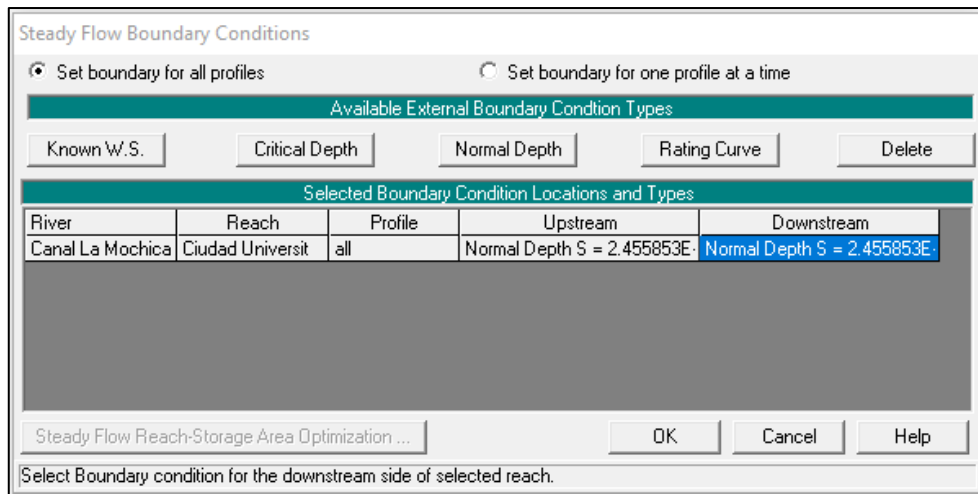


Fig. 31. Ingreso de pendientes aguas arriba y aguas abajo

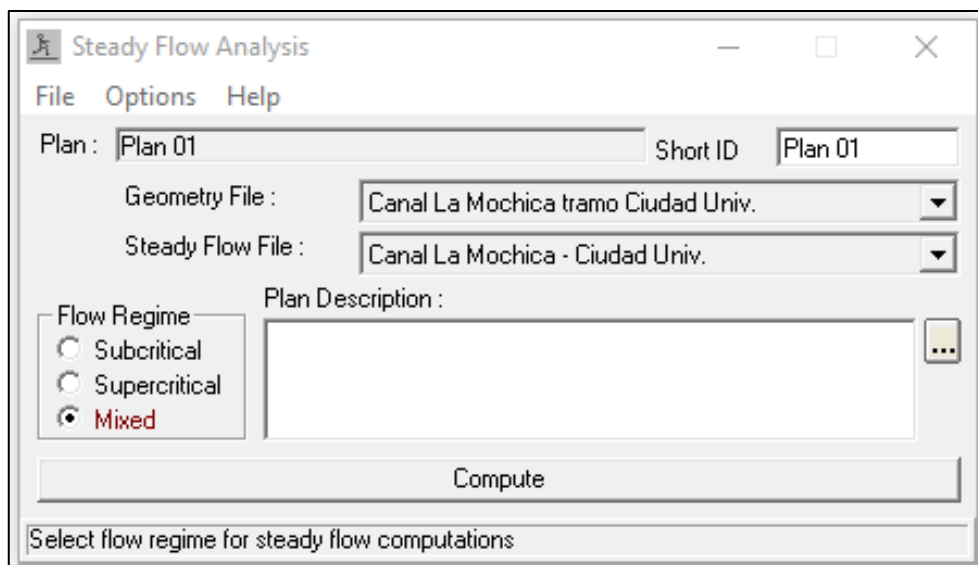


Fig. 32. Selección de análisis de flujo mixto

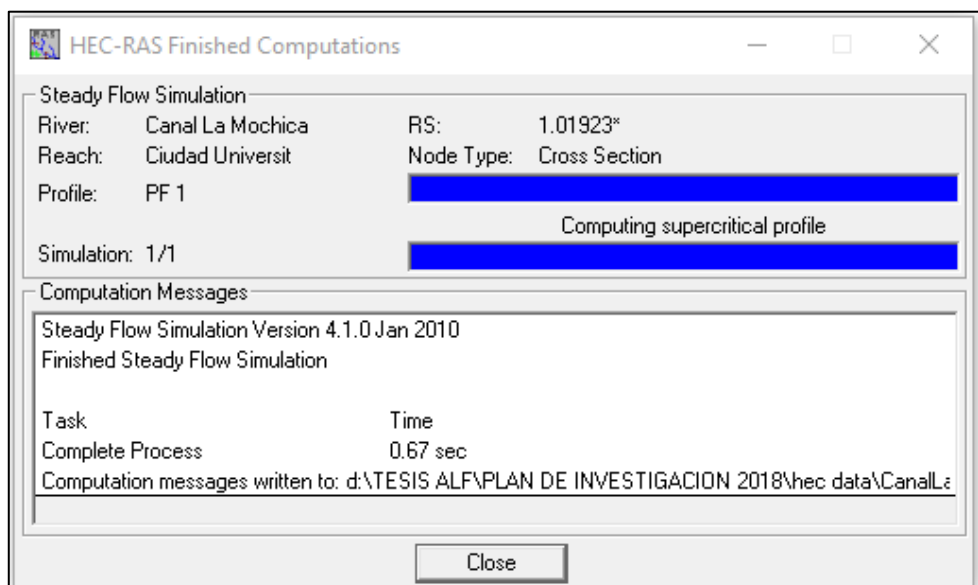


Fig. 33. Simulación realizada con éxito

A continuación, se presentan las secciones transversales como resultado de la modelación hidráulica con el HEC-RAS 4.1.0.

- La línea continua de color azul, es el tirante normal del agua.
- La línea segmentada color verde, es la línea de energía.
- La línea punteada de color rojo, es la línea del tirante crítico.

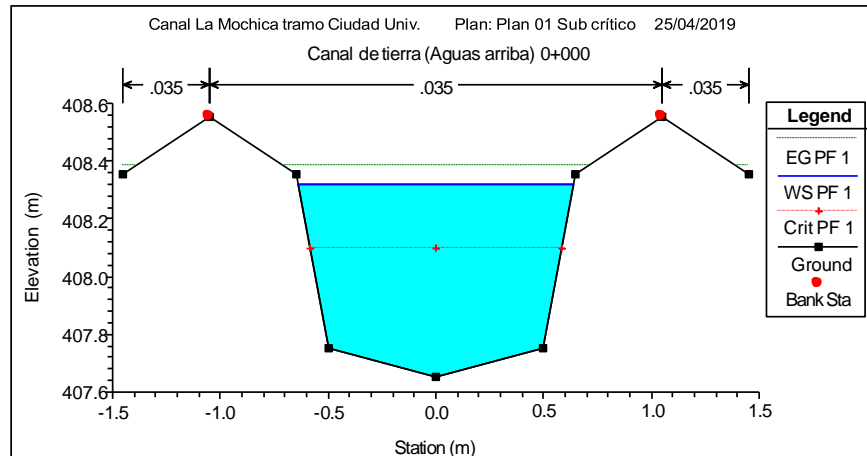


Fig. 34. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal de tierra existente

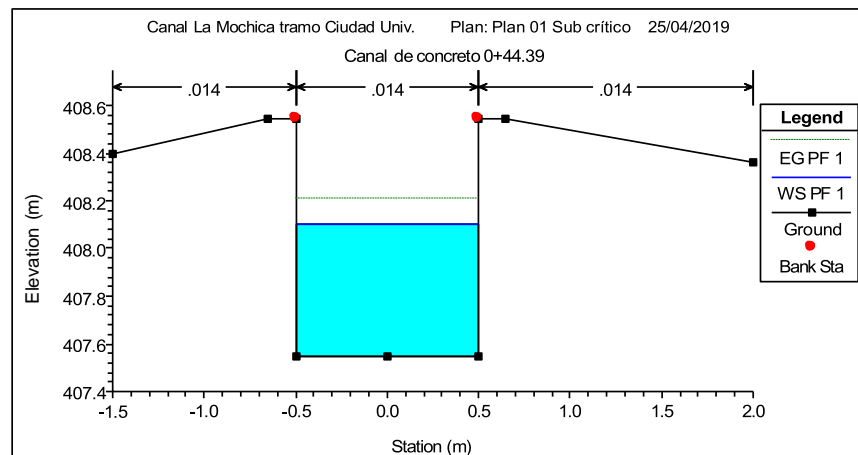


Fig. 35. Sección transversal 3, 0+44.39 - Canal de concreto existente

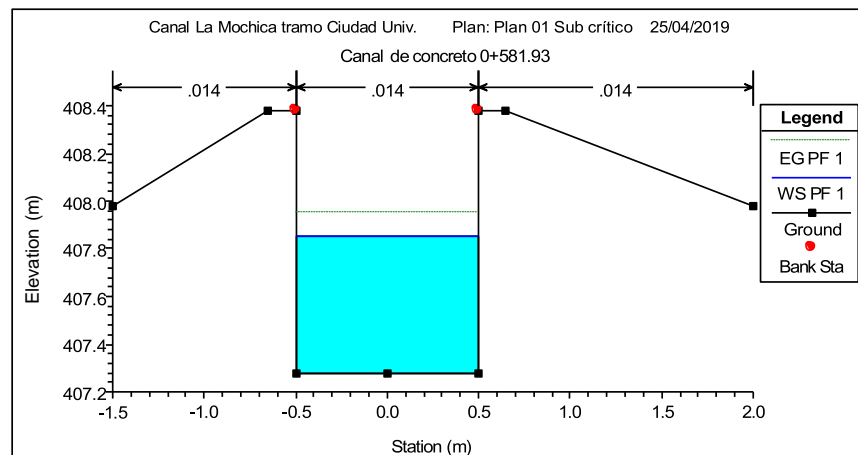


Fig. 36. Sección transversal 2 0+581.93 - Canal de concreto existente

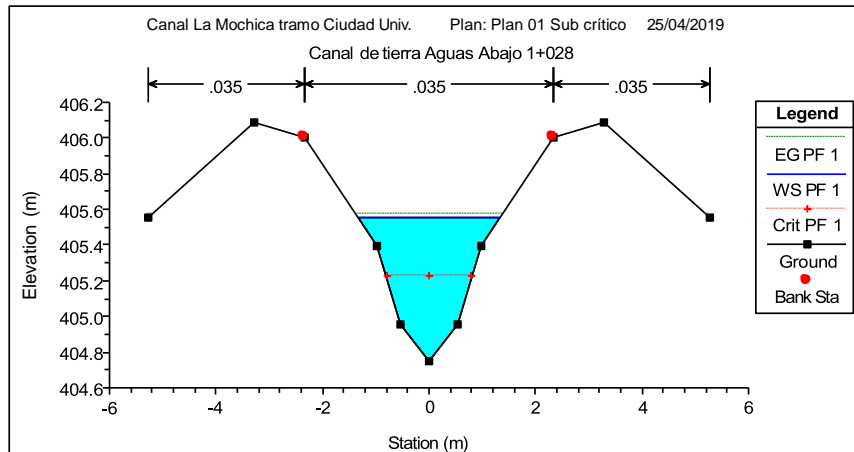


Fig. 37. Sección transversal Aguas abajo 1 1+028 - Canal de tierra

Simulación 2:

Se considera una caudal de 1 m³/seg. Los datos geométricos son los mismos.

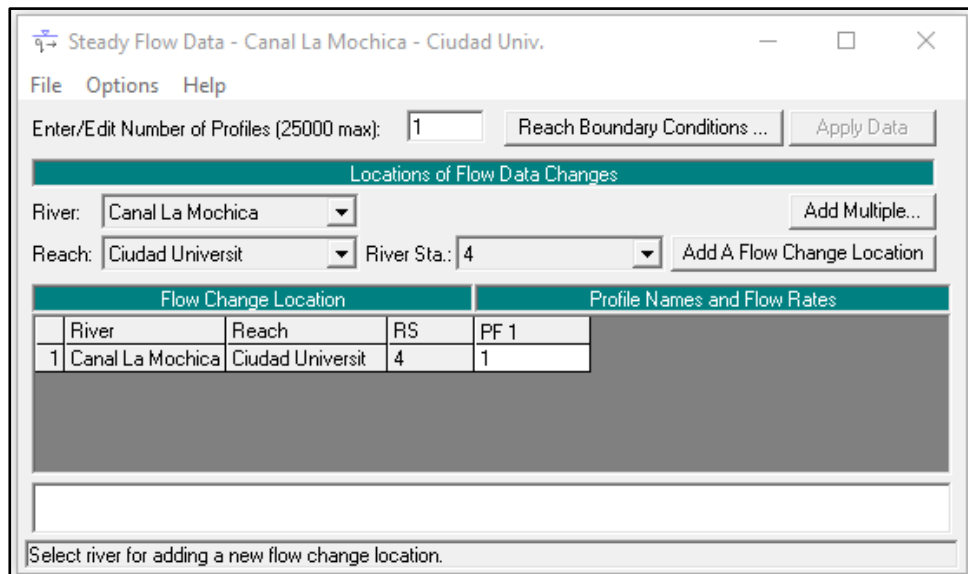


Fig. 38. Ingreso de caudal de diseño de 1 m³/seg

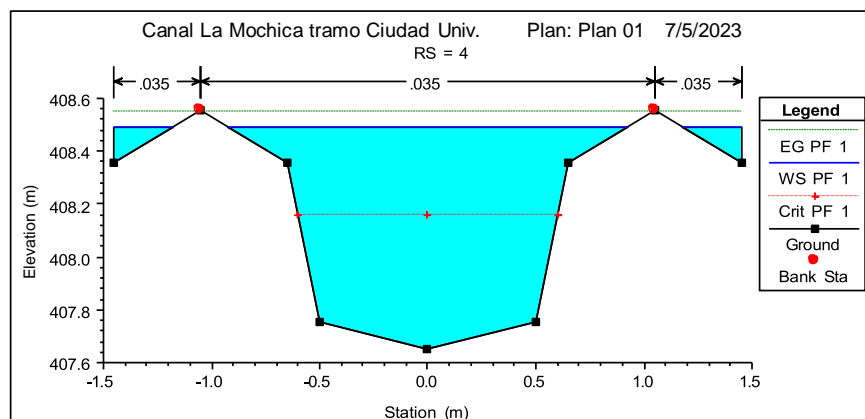


Fig. 39. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal de tierra existente

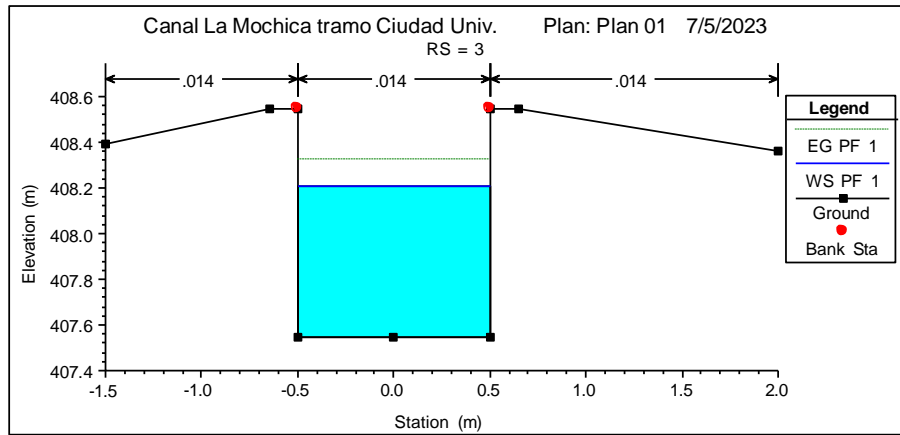


Fig. 40. Sección transversal 3, 0+44.39 - Canal de concreto existente

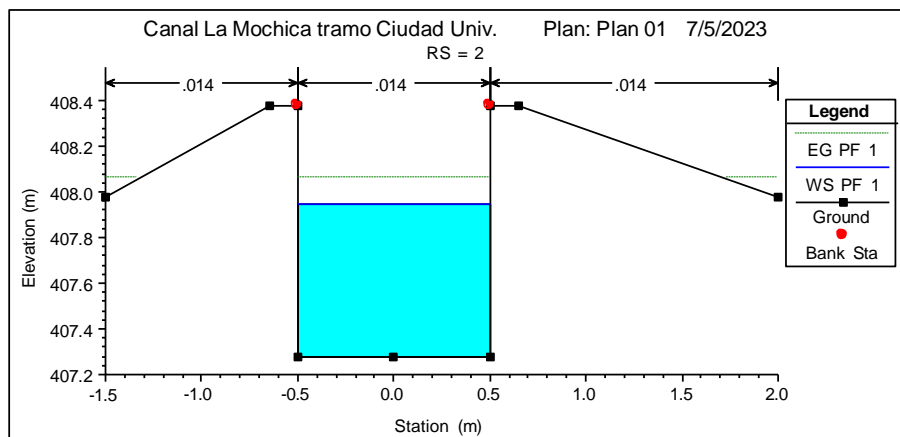


Fig. 41. Sección transversal 2 0+581.93 - Canal de concreto existente

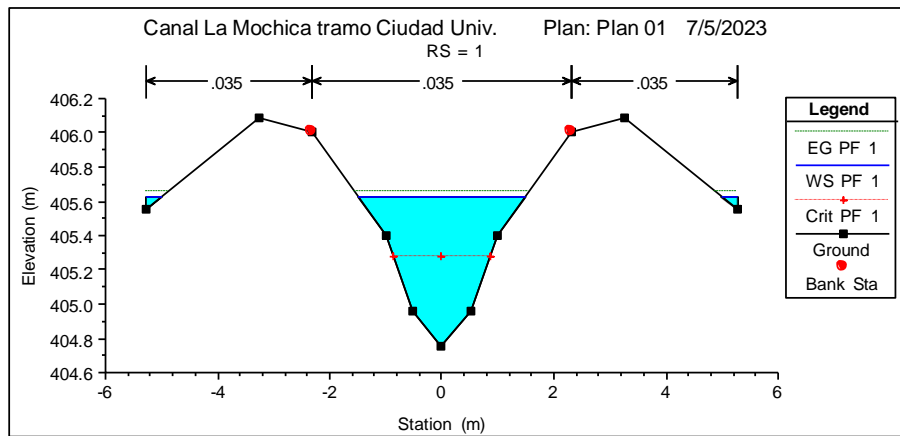


Fig. 42. Sección transversal Aguas abajo 1 1+028 - Canal de tierra

Simulación 3:

Se considera una caudal de 2 m³/seg. Los datos geométricos son los mismos.

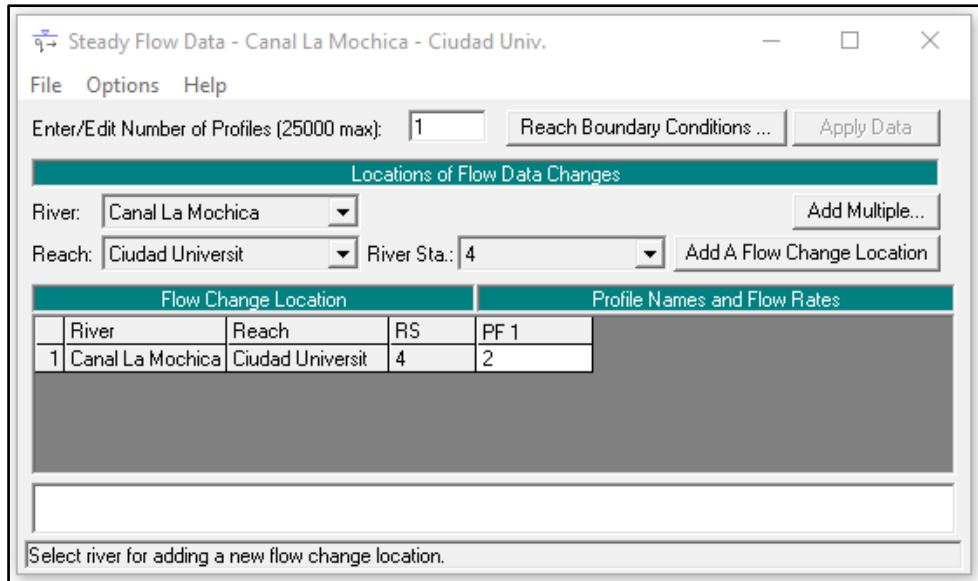


Fig. 43. Ingreso de caudal de diseño de 2 m³/seg

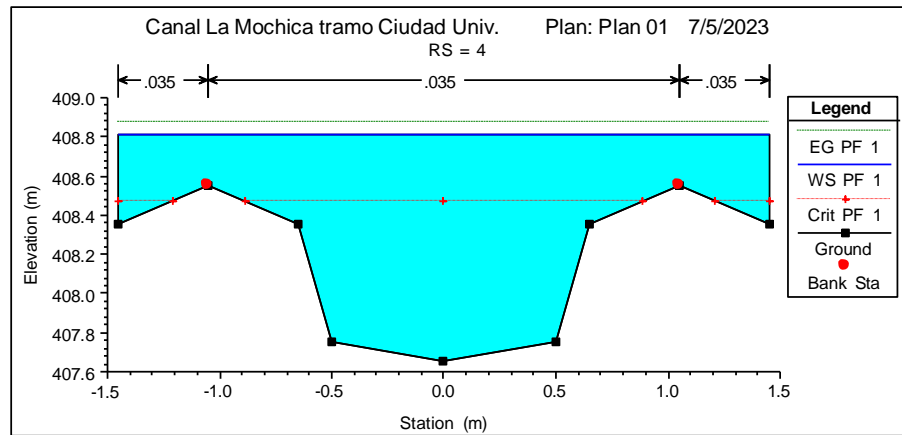


Fig. 44. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal de tierra existente

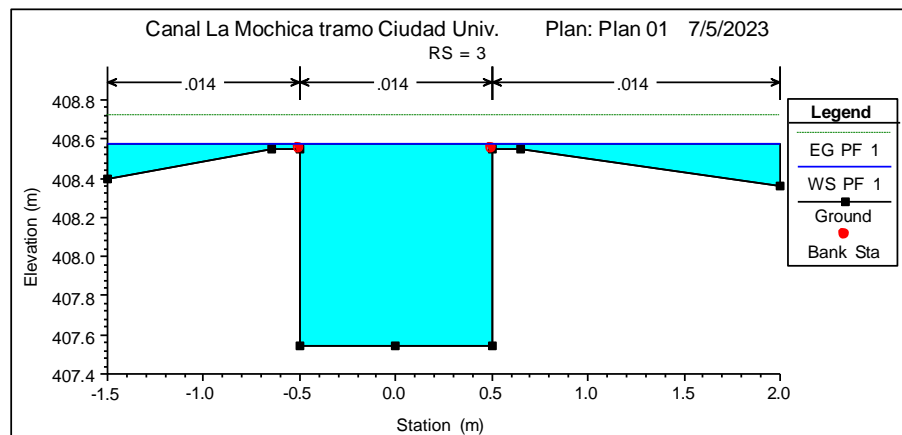


Fig. 45. Sección transversal 3, 0+44.39 - Canal de concreto existente

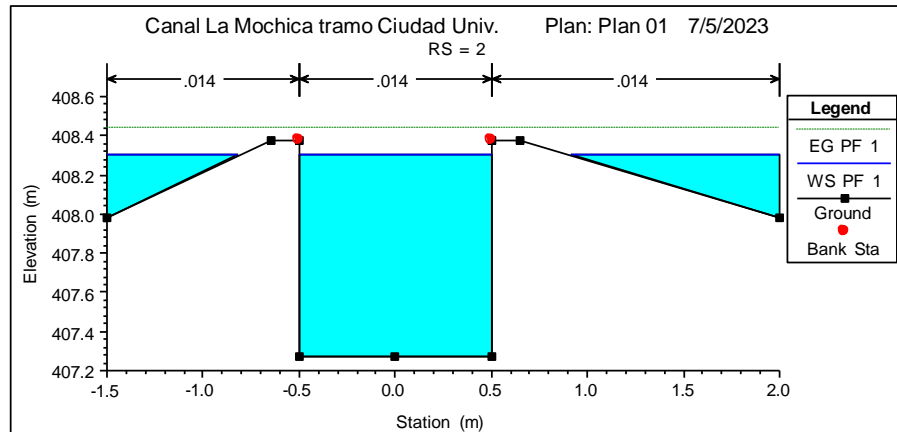


Fig. 46. Sección transversal 2 0+581.93 - Canal de concreto existente

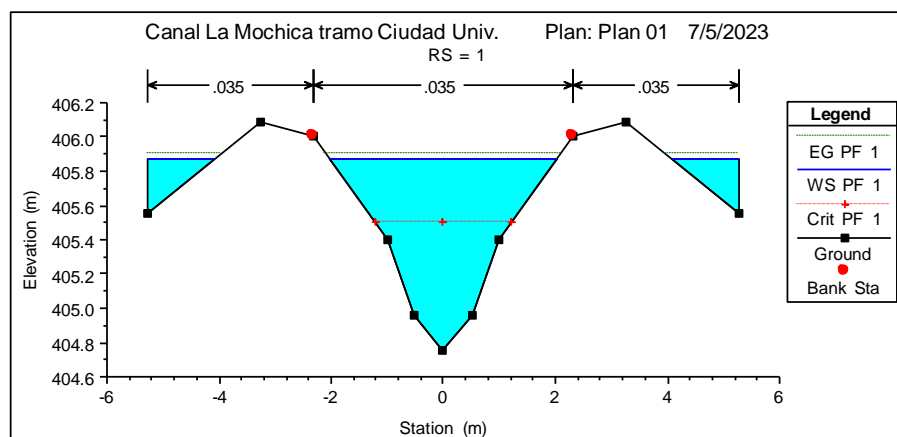


Fig. 47. Sección transversal Aguas abajo 1 1+028 - Canal de tierra

Como conclusiones de esta fase se observa:

- a) Que existen desbordes en el canal en las simulaciones que corresponden al caudal de 1m³/seg y 2 m³/seg. Las cuales se pueden apreciar en las figuras 38, 43, 44, 45 y 46.
- b) Que el canal actual no tiene capacidad para conducir el caudal máximo de 2 m³/seg.

Resumiendo:

- a) Los sectores de tierra del tramo total estudiado sufren erosión frente a los caudales de 1 m³/seg y 2 m³/seg.
- b) Según las velocidades mínimas obtenidas para los 3 caudales, 0.80 m³/seg, 1.00 m³/seg y 2.00 m³/seg, no generan sedimentación, siendo la velocidad más baja de 0.75 m/seg, registrada en todos los casos.
- c) Las pérdidas de caudal por infiltración y evaporación son altas en los tramos de tierra, lo que contrasta significativamente con las pequeñas pérdidas en el tramo de concreto.

- d) El canal en condiciones actuales el canal está trabajando con baja eficiencia considerando el caudal calculado mediante aforo. Esta eficiencia disminuye considerablemente si se toma en cuenta el máximo caudal de conducción para el canal.
- e) Se evidencia el riesgo de desbordes para caudales mayores a 0.80 m³/seg.

3.7 Diseño hidráulico

De acuerdo a las conclusiones de la fase anterior se puede identificar la siguiente propuesta técnica:

Modelar el canal con sección transversal rectangular con revestimiento de concreto, manteniendo la pendiente y con ancho de solera de 1m con altura total de 1.10 m en el que se incluye el borde libre. La simulación se hará para los caudales de 1.00 m³/seg y 2.00 m³/seg. Esta solución se adapta a la sección rectangular de concreto existente.

Simulación para Q = 1 m³/seg

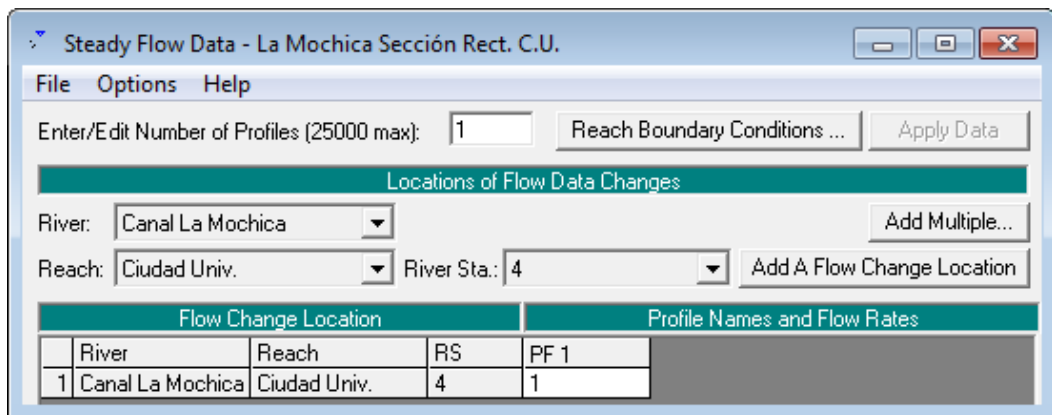


Fig. 48. Ingreso de datos de flujo para 1 m³/seg sección de concreto

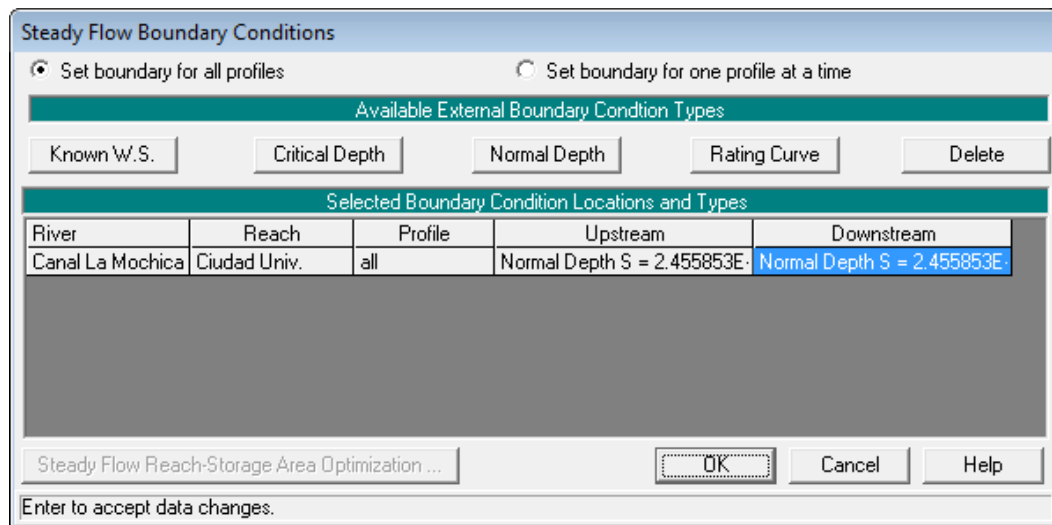


Fig. 49. Condiciones de borde para la simulación

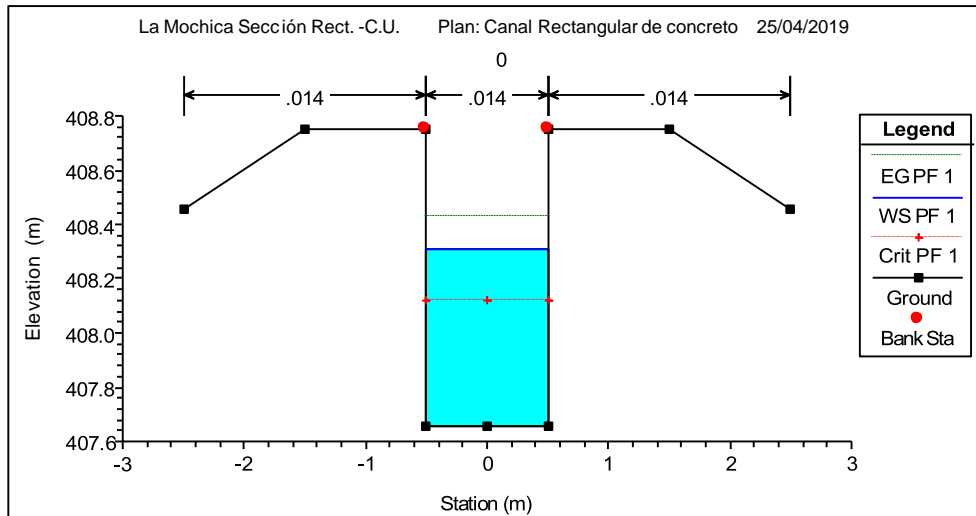


Fig. 50. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal rectangular de concreto

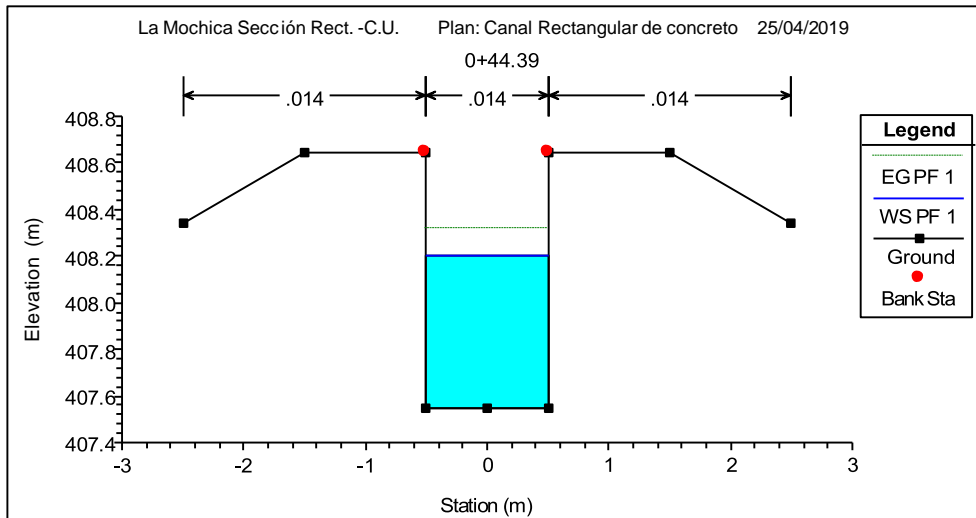


Fig. 51. Sección transversal 3 0+44.39 - Canal rectangular de concreto

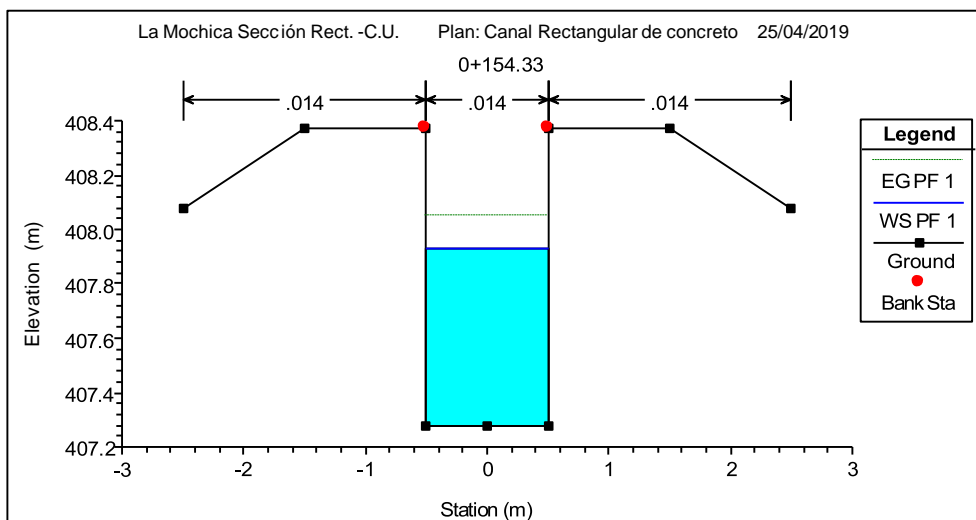


Fig. 52. Sección transversal 2 0+154.33 - Canal rectangular de concreto

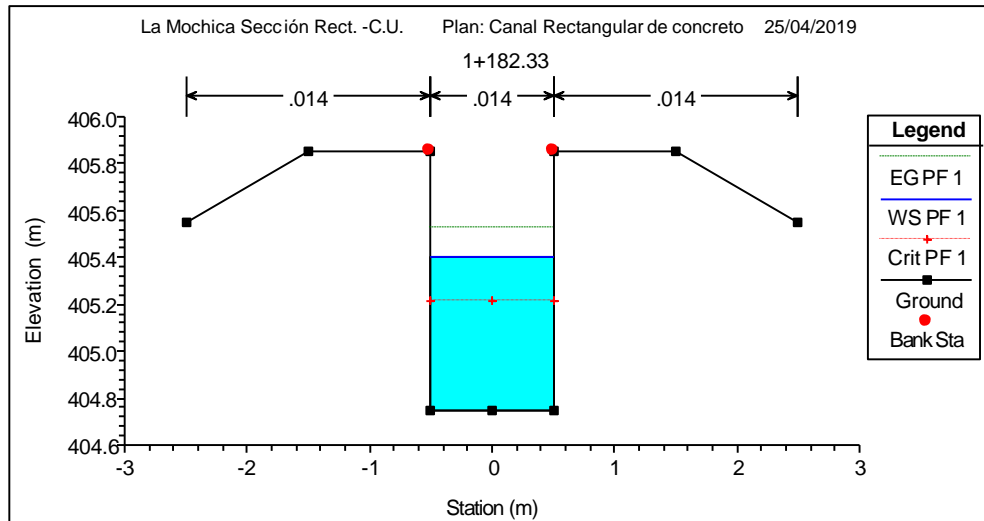


Fig. 53. Sección transversal 1 1+182.33 - Canal rectangular de concreto

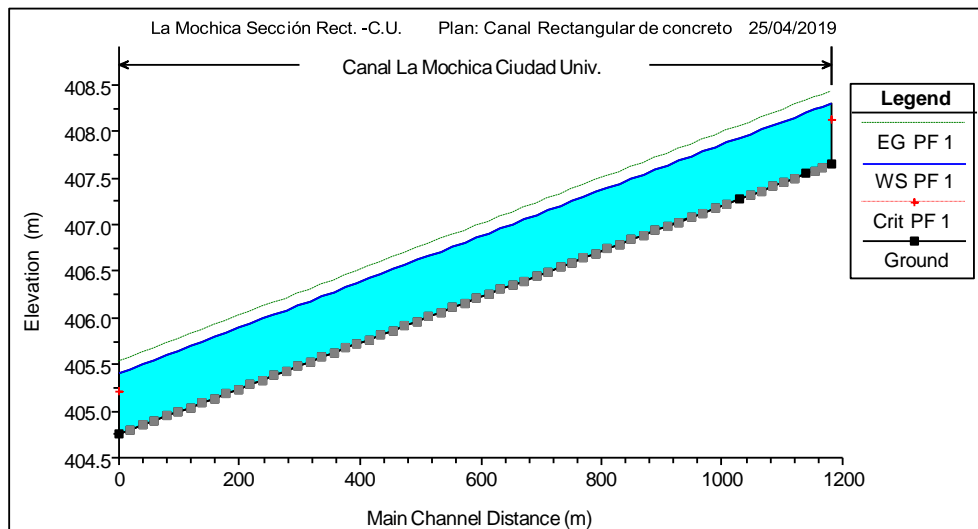


Fig. 54. Perfil longitudinal de canal rectangular propuesto

Simulación para $Q = 2 \text{ m}^3/\text{seg}$

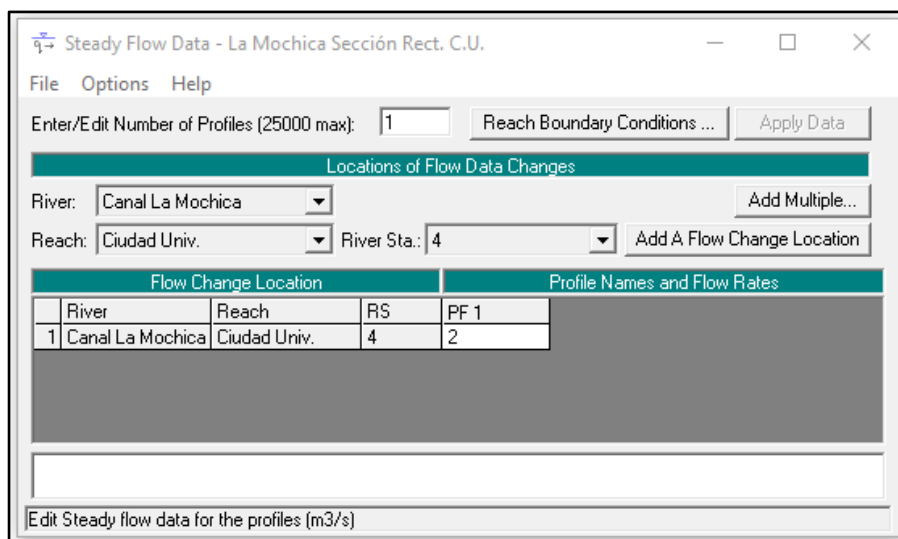


Fig. 55. Ingreso de datos de flujo para 2 m³/seg sección de concreto

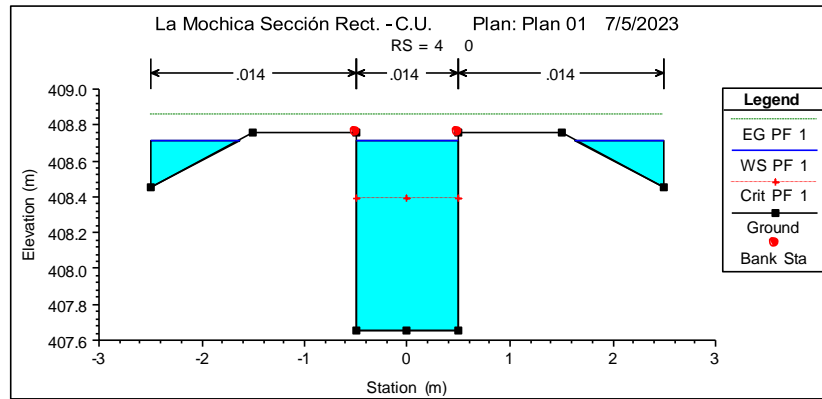


Fig. 56. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 - Canal rectangular de concreto

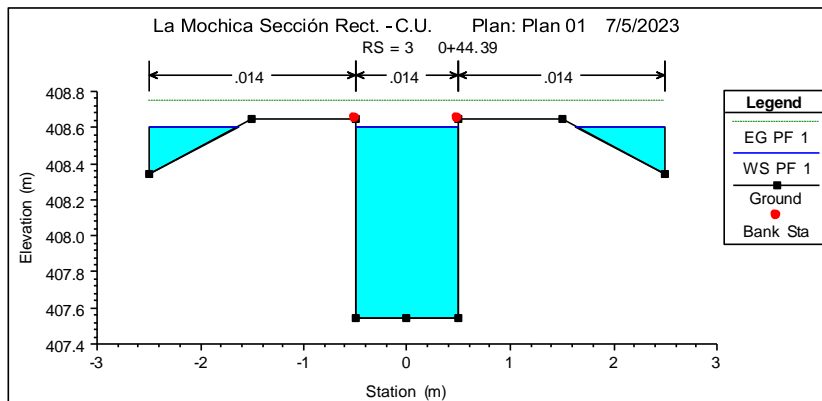


Fig. 57. Sección transversal 3 0+44.39 - Canal rectangular de concreto

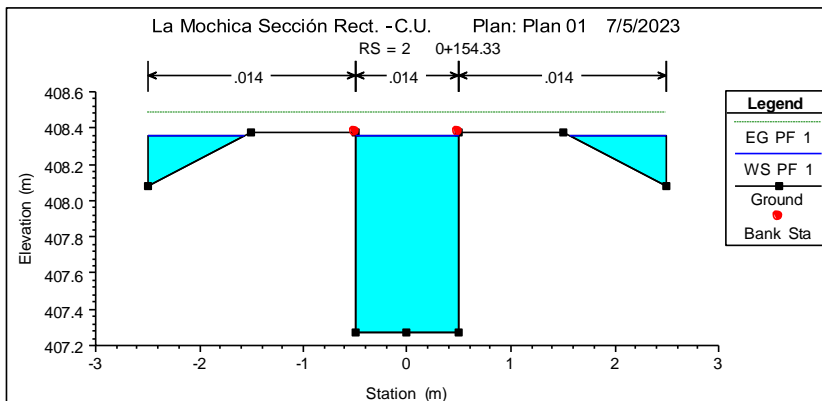


Fig. 58. Sección transversal 2 0+154.33 - Canal rectangular de concreto

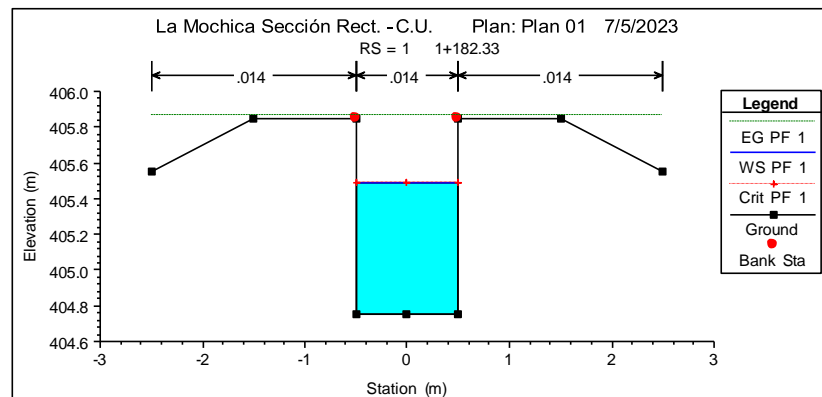


Fig. 59. Sección transversal 1 1+182.33 - Canal rectangular de concreto

TABLA XI

DATOS RESULTANTES DE LA SIMULACIÓN Q = 1 M3/SEG

Sección	Tirante crítico (m)	Tirante máximo (m)	Borde libre (m)	Velocidad (m/seg)	No. de Froude
4	0.47	0.67	0.43	1.00	1.00
3	0.47	0.67	0.43	1.00	1.00
2	0.47	0.67	0.43	1.00	1.00
1	0.47	0.67	0.43	2.00	1.00

TABLA XII

DATOS RESULTANTES DE LA SIMULACIÓN Q = 2 M3/SEG

Sección	Tirante crítico (m)	Tirante máximo (m)	Borde libre (m)	Velocidad (m/seg)	No. de Froude
4	0.74	1.08	0.02	2.00	1.00
3	0.74	1.08	0.02	2.00	1.00
2	0.74	1.08	0.02	2.00	1.00
1	0.74	0.74	0.36	3.00	1.00

Según los resultados obtenidos se puede concluir con lo siguiente:

- a) El canal propuesto puede conducir holgadamente el caudal de 1.00 m³/seg con flujo uniforme y velocidad constante según como se aprecia en la tabla XI.
- b) Con un caudal de 2 m³/seg el canal estaría al límite del desbordamiento, por lo que no sería recomendable usarlo a no ser que se aumente el ancho del canal o la altura total.
- c) En todos los casos el flujo es subcrítico.

IV. DISCUSIÓN.

4.1. Discusión de Resultados.

4.1.1 Elaborar una propuesta metodológica utilizando modelos de simulación hidráulica, para el control de desbordes en el Canal de Riego La Mochica - Tramo Ciudad Universitaria.

La propuesta metodológica que se presentó en el ítem 3.1 es la que precisamente ha llevado a desarrollar y dar cumplimiento a los objetivos de la investigación, con lo que la secuencia de sus fases está confirmada y claramente definida.

No obstante, para que esta propuesta se encuentre mejor definida en su análisis, hay que incluir la participación de la Comisión La Mochica, de la Junta de Riego del Distrito de Riego de Ica, como actores en el análisis cualitativo y subjetivo de la investigación en relación a su percepción del problema y la vivencia de los usuarios beneficiarios del proyecto.

4.1.2 Determinar los nuevos parámetros hidráulicos para lograr el control de desbordes del canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.

Con los cálculos que se han desarrollado en la fase anterior se han determinado los parámetros hidráulicos del canal diseñado, simulando dos alternativas que indican que el caudal de 0.80 m³/seg no representa riesgo de desbordes con la sección transversal propuesta.

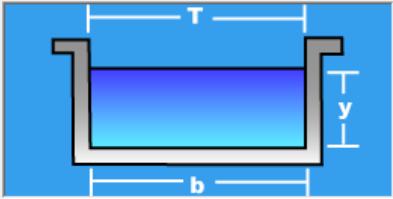
Sin embargo, la segunda alternativa muestra que, si existe un riesgo de desborde, ya que el tirante máximo en el canal llega casi al límite de la altura total de la sección.

Para aprovechar al máximo el caudal, conservando un borde libre suficiente para controlar los desbordes, el tirante máximo debería ser 0.85 m, considerando borde libre de 0.15 m. En consecuencia, haciendo uso del programa Hcanales 3.1 se calcula el caudal necesario para que se mantenga dicho tirante con lo que se obtiene:

Lugar:	<input type="text" value="UNSLG"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Canal La Mochica"/>
Tramo:	<input type="text" value="Ciudad Universitaria"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Concreto"/>

Datos:

Tirante (y):	<input type="text" value="0.85"/>	m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>	
Coefficiente de rugosidad (n):	<input type="text" value="0.014"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002455853"/>	m/m



Resultados:

Caudal (Q):	<input type="text" value="1.3924"/>	m ³ /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="1.6381"/>	m/s
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.8500"/>	m ²	Perímetro (p):	<input type="text" value="2.7000"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.3148"/>	m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.0000"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.5673"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.9868"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

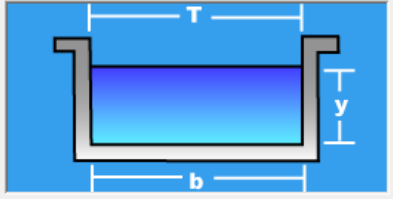
Fig. 60. Cálculo del caudal para $y=0.85$ m

Entonces el caudal máximo que se puede usar en el canal propuesto es de $Q = 1.39$ m³/seg. Luego con ello se obtienen los nuevos parámetros hidráulicos para lograr el control de desbordes en el canal de riego.

Lugar:	<input type="text" value="UNSLG"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Canal La Mochica"/>
Tramo:	<input type="text" value="Ciudad Universitaria"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Concreto"/>

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="1.39"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.014"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002455853"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.8488"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="2.6977"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.8488"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.3147"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.0000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="1.6376"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.5675"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.9855"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Fig. 61. Nuevos parámetros hidráulicos para $Q=1.39$ m³/seg

Como conclusión y resumen, los nuevos parámetros hidráulicos son:

- a) Parámetros hidráulicos físicos:
- Caudal = 1.39 m³/seg
 - Ancho de solera = 1.00 m
 - Altura total del canal = 1.10 m
 - Borde libre = 0.15 m
 - Talud = 0

- Material de revestimiento = Concreto
 - Rugosidad = 0.014
 - Pendiente = 0.00246 m/m
- b) Parámetros hidráulicos cinéticos:
- Tirante normal = 0.85 m
 - Área hidráulica = 0.85 m²
 - Espejo de Agua = 1.00 m
 - Perímetro mojado = 2.70 m
 - Radio hidráulico = 0.3147 m
 - Velocidad = 1.64 m/seg
 - Energía específica = 0.99 m-kg/kg
 - Número de Froude = 0.57
 - Tipo de flujo = Subcrítico

Con lo cual se logra el primer objetivo específico.

4.1.3 Aplicar los modelos de simulación hidráulica en la propuesta metodológica que influyen en el control de desbordes en el canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.

Como se ha podido apreciar en el ítem 3.6, se han realizado las verificaciones para dos alternativas de uso de caudal con la sección transversal propuesta y utilizando la pendiente original, en la que resulta que el caudal de 2 m³/seg tiene sus tirantes máximos casi al límite de la altura total de la sección, según como se puede apreciar en la Tabla XII, lo que representaría riesgo de desborde si, por falta de mantenimiento, el canal pierde 2 cm de altura.

Por lo tanto, el caudal máximo utilizable en el canal sería $Q = 1.39$ m³/seg, como se indica en el ítem anterior, el cual, simulado en HEC-RAS 4.1.0 presenta las siguientes características:

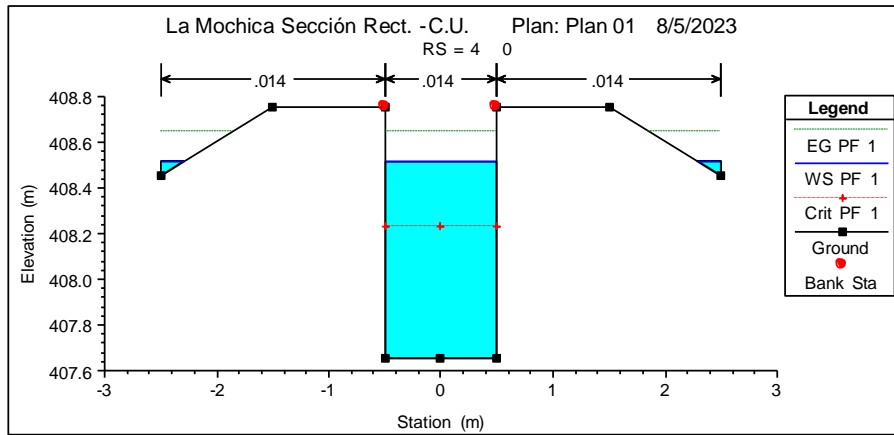


Fig. 62. Sección transversal 4 aguas arriba 0+000 – $Q=1.39$ m³/seg

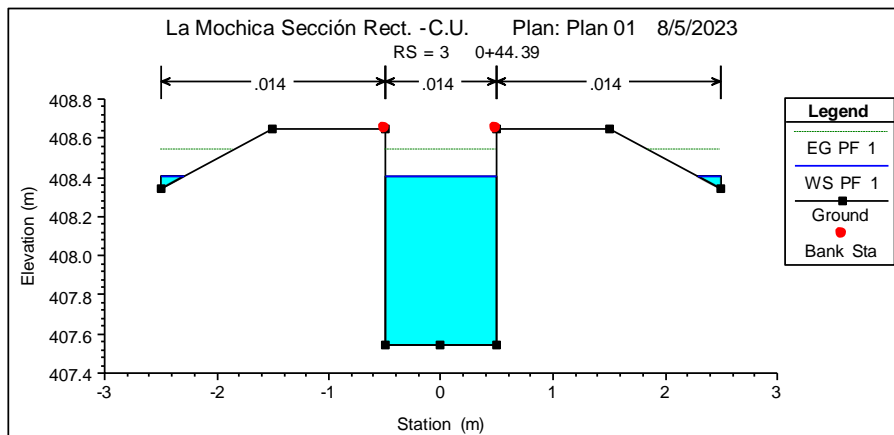


Fig. 63. Sección transversal 3 0+44.39 – $Q=1.39$ m³/seg

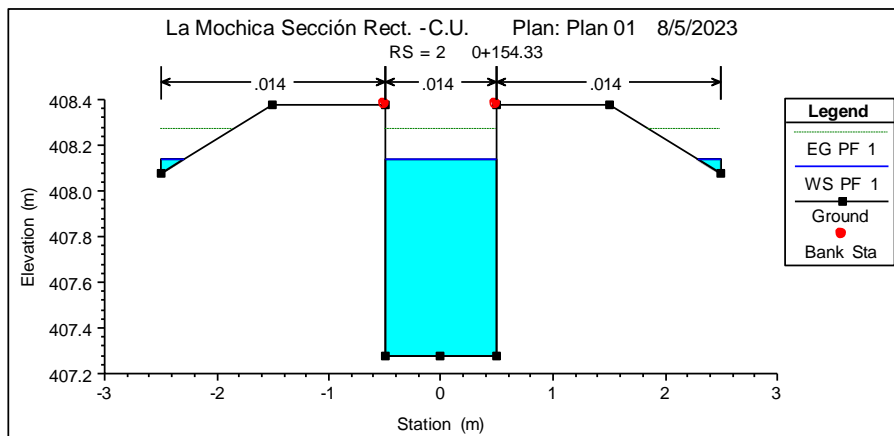


Fig. 64. Sección transversal 2 0+154.33 – $Q = 1.39$ m³/seg

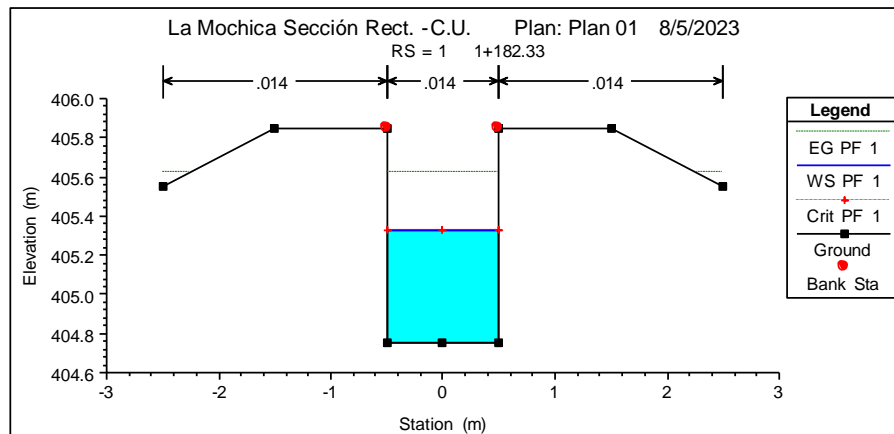


Fig. 65. Sección transversal 1 1+182.33 – $Q=1.39 \text{ m}^3/\text{seg}$

Con la simulación realizada con el modelo HEC –RAS 4.1.0, se demuestra que existe el control de desborde, lo cual se aprecia gráficamente observándose que no hay riesgo de desborde porque existe holgura suficiente para evitarlo, lo que también se refleja en la siguiente tabla:

TABLA XIII
DATOS RESULTANTES DE LA SIMULACIÓN $Q = 1.39 \text{ M}^3/\text{SEG}$

Sección	Tirante crítico (m)	Tirante máximo (m)	Borde libre (m)	Velocidad (m/seg)	No. de Froude
4	0.58	0.86	0.24	2.00	1.00
3	0.58	0.86	0.24	2.00	1.00
2	0.58	0.86	0.24	2.00	1.00
1	0.58	0.58	0.52	2.00	1.00

Con lo que se cumple el segundo objetivo específico

4.1.4 Diseñar las obras de arte a implementar que influyen en el control de desbordes del canal de riego La Mochica – tramo Ciudad Universitaria.

Según las conclusiones del ítem 3.5.2 se evidenció que no hay necesidad de diseñar alguna obra de arte como por ejemplo un desarenador, ya que, de acuerdo a las velocidades calculadas en la propuesta final, estas no generan depósitos de sedimentos, por lo que solo es necesario ejecutar el diseño de la nueva sección transversal del canal. Con lo cual se rechaza la tercera hipótesis.

V. CONCLUSIONES

1. La secuencia de las fases indicadas en la propuesta metodológica ha facilitado la secuencia necesaria para un diseño que permite el control de desbordes. Por ello se propone incluir la participación de la Comisión La Mochica, de la Junta de Riego del Distrito de Riego de Ica, como actores en el análisis cualitativo y subjetivo de la investigación en relación a su percepción del problema y la vivencia de los usuarios beneficiarios del proyecto
2. En base a las alternativas simuladas y con la conclusión final del ítem 4.1.2, se obtuvo los nuevos parámetros hidráulicos que definen la característica del canal propuesto, que permite controlar los posibles desbordes.
3. Se ha demostrado que la inclusión y aplicación del modelo de simulación hidráulica HEC-RAS 4.1.0, en la propuesta metodológica permite obtener información más detallada que puede corregir la información preliminar que se obtiene mediante el software Hcanales 3.0, ya que esta última no analiza todo el tramo como si lo hace el modelo en cada sección transversal que tenga el canal.
4. Se ha comprobado que el canal de tierra, en su diseño original, se ha desarrollado de tal forma que no permite la sedimentación por lo cual no fue ni es necesario implementar estructuras de control de sedimentos, de manera que se rechaza la hipótesis específica C.
5. El estado actual del canal y los problemas identificados son por falta de mantenimiento periódico y por la acumulación del material extraído durante las limpiezas en el bordo exterior, el cual en ocasiones se desmorona hacia el interior y reduce la capacidad de conducción generando algunos desbordes. Pero al cambiar de una sección y transversal trapezoidal a una rectangular con material de concreto mejora la eficiencia del canal, de manera que se puede utilizar toda su capacidad para conducir un caudal máximo de $Q = 1.39 \text{ m}^3/\text{seg}$.

VI. RECOMENDACIONES

1. Desarrollar una investigación que mejore la propuesta metodológica constituyendo un algoritmo rector que sea aplicable para cualquier tipo de canal.
2. Desarrollar investigación para establecer rangos de valores de los parámetros hidráulicos aplicables a la realidad de nuestro país.
3. Aplicar otros modelos de simulación que verifique los resultados de esta investigación.
4. Realizar un control y mantenimiento periódico del canal que asegure la permanencia de las dimensiones de la sección propuesta, en el tiempo.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- [1] INEI, 1991. Artículo: "*Conociendo a Ica*". Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima. <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/est/lib0270/sub12.htm>
- [2] RPP, 2012. Artículo: "*Desborde del cauce La Mochica afecta a varias urbanizaciones en Ica*". Radio Programas del Perú. Edición digital., 2012. <https://rpp.pe/peru/actualidad/desborde-del-cauce-la-mochica-afecta-a-varias-urbanizaciones-en-ica-noticia-446270?ref=rpp>
- [3] ICA REC-Noticias, 2019. "Hallan hombre sin vida en el Canal La Mochica. Edición digital. <https://www.facebook.com/657835997724786/videos/485465512018010>
- [4] La Opinión: Artículo: "*Retiran más de cuatro toneladas de basura del Canal la Mochica*". Diario de circulación regional. Edición matutina. Ica, 2019.
- [5] J. Tovar, M. Fierro y V. Achury. "*Análisis del estado actual de los canales pertenecientes a la zona e en la asociación de usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras de mediana escala el juncal ASOJUNCAL*". Tesis para optar el título profesional. Universidad Cooperativa de Colombia, 2019.
- [6] X. A. Carrasco. "*Estudio y caracterización hidráulica del óvalo 21 al óvalo 22 del canal de riego Ambato – Huachi - Pelileo, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua*". Tesis para optar el título profesional. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador, 2019.
- [7] F. Mogollón. "*Modelación numérica de estructuras hidráulicas 3D en Ansys – Fluent. Caso de estudio Aliviadero el Ejido*". Tesis para optar el título de magister. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia, 2018.
- [8] M. Ortiz. "*La ciudad nos agrade*": *Gestionando conflictos por el agua en Lima Metropolitana. El caso del canal de riego Surco (2008 – 2016)*". Tesis para optar el título de magister. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú, 2017.
- [9] J. Asalde. "*Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el distrito de Salas, región Lambayeque*". Tesis para optar título profesional. Universidad de San Martín de Porres. Lima, 2020.
- [10] P. Cueto. "*Evaluación y mejoramiento de la estructura hidráulica en el canal de concreto Carlos Leight del km. 22+220 al km. 22+720, del centro poblado Tangay Alto, distrito de Nuevo Chimbote, provincia del Santa, Región Ancash y su incidencia en la condición hídrica – 2020*". Tesis para optar título profesional. Universidad Católica Los Ángeles Chimbote. Chimbote, 2020.
- [11] P. Salinas, "Metodología de la Investigación Científica," *saber.ula*, 2010. http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/34398/metodologia_investigacion.p

- df;jsessionid=0EA73C272D758476173059B7C40D1402?sequence=1 (accessed Dec. 10, 2021).
- [12] C. Monje. “*Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa: Guía Didáctica*” Universidad Surcolombiana. Neiva, Colombia, 2011.
<https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- [13] Sabino, C. “*El Proceso de investigación*”. Ed. Panapo. Caracas, 1992.
http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf
- [14] ANA. “*Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*”. Autoridad Nacional del Agua. 2010
<http://www.ana.gob.pe/normatividad/criterios-de-diseno-de-obras-hidraulicas-para-la-formulacion-de-proyectos-0>
- [15] J. J. Bolinaga. “*Drenaje Urbano*”. Instituto Nacional de Obras Sanitarias, Caracas, Venezuela 1979.
https://kupdf.net/download/drenaje-urbano-bolinaga_58f12de3dc0d60a310da9811_pdf
- [16] IMEFEN. *Flujo Uniforme (2): Flujo en superficie libre*. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno el Niño. Universidad Nacional de Ingeniería.
http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/FSL/07_Flujo_uniforme.pdf
- [17] W. Chereque M. “*Mecánica de Fluidos 2*”. Pontificia Universidad Católica del Perú.
https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/41245/mecanica_de_fluidos_2.pdf
- [18] IRSTEA. SIC-2. Systeme d'Irrigation de Canaux. Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.
<https://www-cairn-info.translate.goog/revue-sciences-eaux-et-territoires-2013-2-page-48.htm? x tr sl=fr& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=sc>
- [19] DHI. MIKE 2023. IRSTEA. Danish Hydraulic Institute.
<https://www.dhigroup.com/>
- [20] HEC-RAS. *Hydrologic Engineering Center's - River Analysis System*. US Army Corps of Engineers.
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

