

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CARGA SÓLIDA SOBRE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO GUANO FASE II Y PROPUESTA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SOLID LOAD ON THE HYDRAULIC PARAMETERS OF THE MAIN CANAL OF THE CHAMBO GUANO IRRIGATION SYSTEM, PHASE II, AND PROPOSAL FOR OPERATION AND MAINTENANCE

Carina Chuquimarca¹, Alfonso Patricio Arellano Barriga²

{cchuquimarca6702@uta.edu.ec¹, aarellano@unach.edu.ec²}

Fecha de recepción: 28/05/2026 / Fecha de aceptación: 08/06/2026 / Fecha de publicación: 08/07/2026

RESUMEN: La acumulación de sedimentos en canales de riego reduce su capacidad hidráulica y compromete la eficiencia del riego agrícola, pero en el Sistema de Riego Chambo Guano Fase II (Ecuador) la colmatación recurrente no había sido cuantificada previamente en términos de su impacto sobre parámetros hidráulicos clave. El presente estudio evaluó la incidencia de la carga sólida sobre los parámetros hidráulicos del canal principal del Sistema de Riego Chambo Guano Fase II, ubicado en el cantón Guano, provincia de Chimborazo. La investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, de campo y no experimental, utilizando levantamiento topográfico, aforos con flotadores y modelación hidráulica en HEC-RAS para comparar condiciones reales del canal con escenarios sin sedimentación. Se analizaron siete tramos de muestreo localizados en sectores críticos asociados a sifones y repartidores de caudal. Los resultados evidenciaron que la acumulación de sedimentos y maleza redujo el área útil de conducción entre 1.35 % y 46.45 %, incrementó el tirante hidráulico hasta 45 cm y elevó el coeficiente de rugosidad de Manning desde 0.014 hasta 0.081. Además, la velocidad media disminuyó significativamente en los tramos con mayor colmatación. El modelo potencial obtenido entre rugosidad y velocidad presentó un ajuste estadístico elevado ($R^2 = 0.9616$), mientras que la relación entre reducción de área útil y aumento del tirante mostró un ajuste polinómico satisfactorio ($R^2 = 0.8034$). Finalmente, se formuló un manual de operación y mantenimiento orientado a prevenir desbordamientos y mejorar la eficiencia hidráulica del sistema de riego.

Palabras clave: *Sedimentación, Parámetros hidráulicos, Coeficiente de rugosidad de Manning Modelación hidráulica HEC-RAS, Plan de operación y mantenimiento*

¹Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-4002-2572>.

²Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba, Ecuador, <https://orcid.org/00000001-7369-0071>

ABSTRACT: Sediment accumulation in irrigation canals reduces their hydraulic capacity and compromises the efficiency of agricultural irrigation; however, in the Chambo Guano Irrigation System Phase II (Ecuador), recurrent siltation had not previously been quantified in terms of its impact on key hydraulic parameters. This study evaluated the impact of sediment load on the hydraulic parameters of the main channel of the Chambo Guano Irrigation System Phase II, located in the Guano canton, Chimborazo province. The research was conducted using a quantitative, field-based, and non-experimental approach, employing topographic surveys, float gauging, and hydraulic modeling in HEC-RAS to compare actual channel conditions with scenarios without sedimentation. Seven sampling sections located in critical areas associated with siphons and flow dividers were analyzed. The results showed that the accumulation of sediment and vegetation reduced the effective flow area by between 1.35% and 46.45%, increased the hydraulic head by up to 45 cm, and raised the Manning roughness coefficient from 0.014 to 0.081. In addition, the average velocity decreased significantly in the sections with the most siltation. The potential model derived from the relationship between roughness and velocity showed a high statistical fit ($R^2 = 0.9616$), while the relationship between the reduction in effective cross-sectional area and the increase in water depth showed a satisfactory polynomial fit ($R^2 = 0.8034$). Finally, an operation and maintenance manual was developed to prevent overflows and improve the hydraulic efficiency of the irrigation system.

Keywords: *Sedimentation, Hydraulic parameters, Manning roughness coefficient, HEC-RAS hydraulic modeling, Operation and maintenance plan*

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el riego constituye un uso prioritario del agua: en 2018 representó el 41,86 % de todas las autorizaciones estatales y el 71,2 % de los usos para riego agrícola. Esto demuestra su importancia estratégica para la producción agrícola, la diversificación de cultivos, la reducción de la inseguridad productiva y el impulso del desarrollo territorial y de la economía agraria (1). En este contexto, la eficiencia hidráulica, definida como la relación entre el volumen de agua efectivamente aprovechado y el volumen total captado o distribuido no depende solo de la infraestructura del sistema, sino también de las prácticas de gestión, la capacidad institucional y la organización social de las comunidades beneficiarias (2).

La acumulación de sedimentos en los canales de riego reduce de manera importante su capacidad de conducción, lo que repercute negativamente en el desempeño del sistema de riego en su conjunto. Por ello, el mantenimiento preventivo y periódico mediante dragado constituye una alternativa eficiente para conservar la capacidad hidráulica y la calidad del agua (3).

Los estudios revisados recientes coinciden en que la sedimentación y el crecimiento de malezas afectan negativamente el desempeño hidráulico de los canales de riego, al incrementar la rugosidad, reducir la sección transversal efectiva y disminuir la capacidad de conducción del flujo (4). De manera comparativa, algunas investigaciones resaltan principalmente los efectos geométricos e hidráulicos de la acumulación de sedimentos, incluso con reducciones medibles de

la sección útil, por lo que las medidas operativas y de mantenimiento se consolidan como la alternativa más viable para mejorar la eficiencia hidráulica y la sostenibilidad de los canales de riego (5).

La sedimentación se intensifica cuando la velocidad del flujo desciende por debajo de valores críticos, especialmente entre 0,3 y 0,5 m/s en materiales finos, elevan la rugosidad, reducen la conducción y modifican la dinámica hidráulica (5). La sedimentación es frecuente en regiones donde la velocidad del flujo disminuye (6).

Las variaciones de los coeficientes de rugosidad del canal Gabčíkovo–Topolníky se presentan en la ecuación de Manning, y los resultados revelan que el valor del coeficiente de Manning “n” aumenta al disminuir la profundidad del flujo. El valor de “n” está en el rango de 0,020 a 0,079. La variación del valor del coeficiente de Manning está influenciada por las características del perfil de la sección transversal, la profundidad del flujo, la pendiente del canal y, especialmente, la cantidad de vegetación sumergida en el canal (7).

La investigación se fundamenta en la medición directa de variables hidráulicas bajo las condiciones actuales de operación del canal de riego Chambo Guano Fase II, considerando dos escenarios de análisis: con presencia de carga sólida y sin carga sólida. Esta comparación permite establecer cómo la acumulación de sedimentos influye sobre el tirante, la velocidad de flujo, el coeficiente de Manning y el caudal conducido. De acuerdo con la norma ISO 748:2007, la determinación del caudal en canales abiertos se basa en la medición de la velocidad y del área de la sección transversal, para posteriormente calcular el flujo mediante la integración o suma de los productos entre velocidad y área correspondiente (8). Bajo estas consideraciones, el levantamiento de campo debe considerar la geometría del canal, la profundidad del agua y la velocidad media del flujo en secciones transversales representativas.

El sistema de riego Chambo Guano Fase II inicia después del sifón invertido sobre el río Guano de 3 km, luego del cual la conducción continúa por canal abierto en 7.4 km hasta la comunidad Chingazo Bajo. Este sistema se denomina Fase II del proyecto, la cual está conformada por ocho comunidades que son: Alacao, Carrera Ambato, Chingazo Alto, Chingazo Bajo, San Gerónimo, San José de Chocón, Santa Rosa, y San Vicente cuyo objetivo es dotar de agua de riego a 1123.32 ha con un caudal de diseño de 460 l/s (9). La operación de limpieza se la hace de forma manual, la cual consiste en evacuar los sólidos cada tres meses mediante la operación de las válvulas de desagüe de los sifones actividad que es realizada por el operador del sistema y el retiro de sólidos se lo realiza dos veces al año, esta actividad la ejecutan con mingas de los usuarios los mismos que se responsabilizan cada tramo que atraviesa por cada una de las ocho comunidades beneficiarias.

La metodología se basó en el método de aforo con flotador, Se seleccionó un tramo recto, uniforme y estable del canal, evitando turbulencias, obstáculos y cambios bruscos de sección, conforme a la ISO 748. El procedimiento consistió en delimitar secciones transversales dentro del tramo de aforo, medir la distancia recorrida por el flotador y registrar el tiempo de tránsito entre dichas secciones. Con estos datos se calculó la velocidad superficial mediante la relación entre

distancia y tiempo (8). La velocidad media es aproximadamente 0.85 a 0.95 de la velocidad superficial (10).

El procedimiento para una medición con flotador consiste en distribuir uniformemente un flotador a lo largo del ancho del canal, soltarse aguas arriba de la primera sección para que alcancen la velocidad del flujo y cronometrarse entre dos secciones previamente definidas (11). Por tanto, aunque el método del flotador no reemplaza la precisión de equipos sofisticados, constituye una alternativa viable para estimar caudales en canales de riego rurales, especialmente en estudios de diagnóstico hidráulico, evaluación de sedimentación y propuestas de operación y mantenimiento.

En este contexto, HEC-RAS se emplea como herramienta de modelación hidrodinámica para simular condiciones de flujo estacionario unidimensional y evaluar la variación de los parámetros hidráulicos ante cambios en el material de frontera o revestimiento del canal. El modelo requiere como datos de entrada la geometría del cauce, secciones transversales, condiciones de contorno, caudal y coeficientes de rugosidad, a partir de los cuales calcula perfiles de superficie libre, tirantes, velocidades, pérdidas de energía y distribución hidráulica del flujo. La precisión de los resultados depende directamente de la calidad, resolución y representatividad de la información ingresada. Por tanto, el análisis con HEC-RAS permite estimar técnicamente el efecto del revestimiento del canal sobre el comportamiento hidráulico, constituyendo una herramienta útil para la evaluación, diseño y optimización de sistemas de conducción en canales abiertos (12).

Desde el punto de vista hidráulico, la acumulación de sedimentos en canales de riego constituye un problema técnico que afecta la gestión eficiente del agua de uso agrícola, modifica la sección transversal efectiva, disminuye el área hidráulica útil, altera el tirante, reduce la velocidad media del flujo, incrementa la rugosidad y afecta el caudal transportado. Estos cambios provocan pérdidas de eficiencia, distribución irregular del agua y mayores costos de operación y mantenimiento. Estudios recientes han demostrado que la sedimentación en canales abiertos compromete la capacidad de conducción y que su control requiere diagnósticos hidráulicos, modelación, limpieza programada, manejo de compuertas y estrategias de operación orientadas a reducir la deposición de material sólido (5), (7), (6).

La presente investigación permitirá medir los parámetros hidráulicos actuales del canal, considerando variables geométricas, cinéticas y dinámicas como velocidad, tirante, caudal, radio hidráulico, pendiente energética y coeficiente de rugosidad de Manning. Esta caracterización facilitará la identificación de tramos con comportamiento crítico, reducción de la capacidad de conducción y alteraciones en la dinámica del flujo. Además, la modelación de escenario sin carga sólida permitirá determinar la sección óptima del canal, comparar los datos de campo levantados y comparar de manera técnica el efecto de los sedimentos sobre el desempeño hidráulico del canal. En conjunto, este procedimiento se alinea con estudios recientes que resaltan la importancia del HEC-RAS que realizar modelos hidráulicos constituyen herramientas importantes para estudiar la dinámica del flujo en canales abiertos para la calibración del coeficiente de Manning (13).

Desde la perspectiva ambiental, la investigación es pertinente porque la sedimentación en canales de riego está relacionada con procesos de erosión, transporte de sólidos, cambios de uso del suelo y variabilidad hidrológica 19. En zonas andinas, estos procesos pueden intensificarse por la pendiente del terreno, las lluvias estacionales y la intervención antrópica en las cuencas. Estudios desarrollados en Ecuador y regiones andinas evidencian que la erosión del suelo, la modificación del uso de la tierra y la presión.

La presente investigación plantea como hipótesis que la presencia y acumulación de carga sólida en el canal de riego del Sistema Chambo Guano Fase II – Cantón Guano incide significativamente en sus parámetros hidráulicos, afectando la capacidad de conducción y la sostenibilidad operativa del sistema, se propone implementar un plan de operación y mantenimiento ajustado a las condiciones técnicas del sistema de riego. Los resultados permitirán identificar tramos críticos, cuantificar la incidencia de los sedimentos y aportar una base metodológica replicable para mejorar la gestión hidráulica de canales de riego en contextos andinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio y Selección de Puntos de Muestreo

El sistema de riego Chambo Guano Fase II está ubicado en el cantón Guano de la provincia de Chimborazo, entre los 1°59' de latitud sur y los 78°61' de longitud oeste, la longitud total es de 6.71 km. cuyo objetivo es dotar de agua de riego a 1123.32 ha con un caudal de diseño de 460 l/s (9). El canal existente es de sección trapezoidal, de revestimiento de hormigón simple con ancho, profundidad y pendiente variada según cada tramo puesto que existen derivación de caudales en su trayecto para las ocho comunidades que son beneficiarias de este sistema de riego.

Se determinaron siete tramos de muestreo (T1-T7), considerando sectores asociados a estructuras hidráulicas relevantes, tales como repartidores de caudal y sifones, debido a que estos elementos pueden modificar las condiciones del flujo y favorecer procesos de acumulación, obstrucción o arrastre de carga sólida. Para cada estructura identificada se establecieron dos puntos de control hidráulico: uno ubicado aguas arriba, antes del ingreso a la estructura, y aguas abajo, posterior a la salida de la misma. La selección de los puntos respondió a dos criterios técnicos principales: i) obras donde exista posible incidencia de sedimentación u obstrucción en las aproximaciones y tanques de carga de los sifones, repartidores de caudal, asociada a cambios donde pueden presentarse variaciones de tirante, velocidad, caudal, pendiente energética; ii) presencia de intervenciones estructurales adicionales, como el realce de las paredes laterales del canal, ejecutadas en tramos donde se evidenciaron problemas de desbordamiento o reducción del borde libre. Los puntos ubicados aguas arriba permitieron caracterizar las condiciones iniciales del flujo y la presencia de carga sólida acumulada, mientras que los puntos localizados aguas abajo facilitaron la evaluación de las variaciones hidráulicas generadas luego del paso del agua por la estructura. Esta distribución permitió comparar el comportamiento hidráulico entre ambos sectores e identificar tramos críticos para la formulación de la propuesta de operación y mantenimiento del canal (Imagen 1).

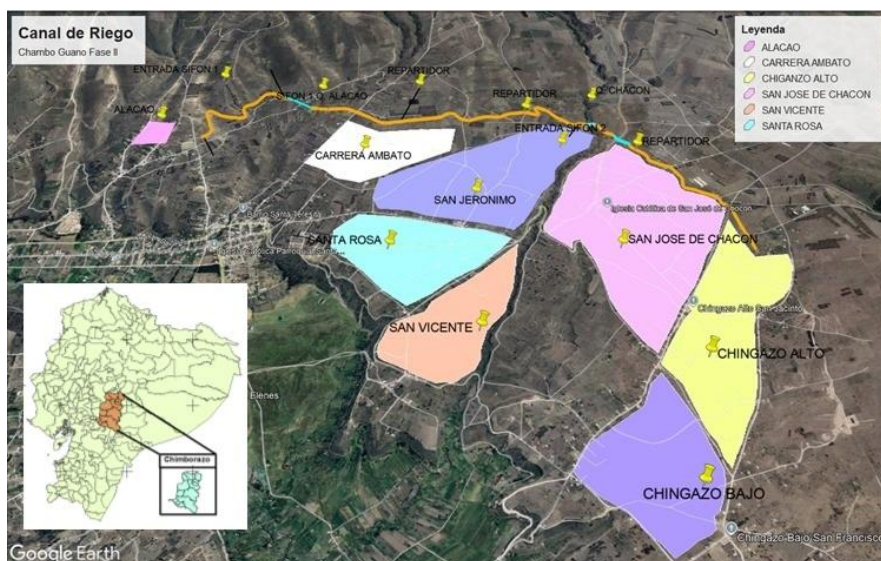


Figura 1. ubicación georreferenciada del canal de riego Chambo Guano Fase II.

Levantamiento Topográfico y Caracterización Geométrica

Para cada tramo de muestreo se realizó el levantamiento topográfico de la sección transversal. Se utilizó un GPS diferencial Trimble R8s (precisión horizontal ± 10 mm + 1 ppm, precisión vertical ± 20 mm + 1 ppm) Receptor GNSS diferencial de alta precisión, compatible con trabajos en modo estático y RTK, para georreferenciación en coordenadas (UTM). Se determinaron dos puntos de partida inicial y puntos de control topográfico cada 0.10 m en la dirección transversal, capturando la geometría canal base y las paredes del canal.

Los perfiles topográficos se diseñaron en AutoCAD Civil 3D 2021 para determinar los elementos geométricos del canal, pendiente de fondo (m/m), base (b), pendiente lateral de las paredes (z), profundidad del flujo (y) de cada tramo de muestreo de canal (Tabla 1).

Tabla 1. Características geométricas en los tramos de muestreo del canal de riego Chambo Guano Fase II.

Tramo	Longitud Tramo (m)	y altura de agua (m)	b (base canal) (m)	T (ancho superficie libre) (m)	S pendiente (m/m)
T1.i	177.23	0.20	0.89	1.06	0.0018
T1.f		0.30	0.89	1.19	0.0011
T2.i	205.74	0.27	0.65	0.89	0.0016
T2.f		0.37	0.87	1.15	0.0010
T3.i	106.52	0.34	0.8	1.08	0.0012
T3.f		0.35	0.76	1.00	0.0016
T4.i	142.96	0.59	0.73	1.09	0.0016
T4.f		0.69	0.7	1.11	0.0010
T5.f	182.59	0.35	0.83	1.02	0.0011
T5.i		0.35	0.78	1.00	0.0012

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CARGA SÓLIDA SOBRE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO GUANO FASE II Y PROPUESTA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

T6.i		0.17	0.54	0.56	0.0021
T6.f	40.66	0.56	0.49	0.55	0.0008
T7.i	45.24	0.60	0.49	0.59	0.0010

Tabla 2. Ecuaciones empleadas para la determinación de parámetros geométricos e hidráulicos del canal de riego Chambo Guano Fase II.

Parámetro hidráulico	Expresión matemática	Ecuación	Referencia
Área mojada	$A = (b + zy)y$	Ec.1	(14)
Perímetro mojado	$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	Ec. 2	(14)
Radio hidráulico	$R = \frac{A}{P}$	Ec. 3	(14)
Pendiente del canal	$S = \frac{\Delta h}{\Delta x}$	Ec. 3	(14)

Donde:

A es el área mojada (m^2), P el perímetro mojado (m), R el radio hidráulico (m), b el ancho de la base del canal (m), y el tirante de agua (m), z el talud lateral, S la pendiente hidráulica, Δh el desnivel entre dos puntos (m) y Δx la distancia horizontal entre dichos puntos (m).

Medición de Velocidad

La velocidad del flujo se calculó mediante el método de flotadores, conforme a lo establecido en la norma. ISO 748:2007 (8). En cada punto de muestreo se localizó un tramo recto de 10.00 m con sección uniforme, pendiente constante y flujo estabilizado. Los flotadores que se utilizaron fueron pelotas de tenis (un núcleo de caucho y una cubierta de fieltro) (diámetro 205 mm, densidad 0.38 g/cm).

Los flotadores se liberaron 3 m aguas arriba en el eje central del canal de la sección inicial, para asegurar velocidad superficial estabilizada (8). Se registró el tiempo de recorrido con cronómetro digital Casio HS-70JH (precisión+0.01 s) desde la intersección de la sección inicial (0 m) hasta la final de (10 m). Se realizaron cinco repeticiones de cada aforo en cada tramo de muestreo, con un solo tipo de flotador (8). Las mediciones se efectuaron en horario de flujo estable (13:00-17:00 h), antes de cada una de los repartidores y sifones existentes donde se dispone de un flujo uniforme en cada tramo aforado.

Cálculo de la velocidad superficial o del flotador

La velocidad del flotador se calcula dividiendo la distancia recorrida entre las secciones por el tiempo empleado (8)

$$V_{supflotador} = \frac{d}{t} \quad (Ec.5)$$

Donde: d es la distancia recorrida (10 m), t el tiempo promedio empleado en segundos (s).

La velocidad media se obtuvo aplicando el factor de corrección 0.86 se asume para la presente investigación (10).

$$V_{media} = V_{supflotador} \times 0.86 \quad (Ec.6)$$

El caudal Q en una sección de canal se expresa por (14).

$$Q = V_{media} \times A \quad (Ec.7)$$

donde V media es la velocidad media y A es el área de la sección transversal, esta es la ecuación de continuidad (14).

Determinación del Coeficiente de Rugosidad de Manning

$$V = \frac{1}{n} R h^{2/3} S^{1/2} \quad (Ec.8)$$

Donde: S es la pendiente de energía (m/m), estimada a partir de la pendiente longitudinal del canal en cada tramo medida topográficamente 10. Los valores obtenidos se discreparon con los rangos establecidos de los valores del coeficiente n en la ecuación de Manning canales recubiertos o revestidos de la tabla 5.6 de Chow (14).

Parámetros Geométricos e Hidráulicos con Modelación en HEC-RAS

Se analizo un escenario de canal sin carga solida donde se consideró el “n” de Manning en función a la tabla 5.6 de Chow, V. T. (14). Con un n= 0.013 en consideración a un revestimiento de hormigón, y la geometría de la topografía levantada de cada punto de muestreo con la finalidad de modelar y calcular la sección optima, la misma que representa el canal sin carga sólida de los siete puntos de muestreo.

Régimen de flujo: mixto (pendiente normal del levantamiento topográfico en situ)

Condiciones de frontera: profundidad normal aguas abajo, caudal conocido aguas arriba.

Esquema numérico: método estándar de paso (Standard Step Method)

Tabla 3. Características geométricas en los tramos de muestreo del canal de riego Chambo Guano Fase II. Calculados mediante la Modelación en HEC-RAS.

Punto	Área Optima (m ²)	Velocidad Media (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Coef. Manning (n)	Tirante Normal (m)	Pendiente S (m/m)
T1.i	0.17	0.76	0.15	0.013	0.18	0.0018
T1.f	0.20	0.46	0.14	0.013	0.21	0.0011
T2.i	0.16	0.64	0.13	0.013	0.21	0.0016
T2.f	0.18	0.34	0.13	0.013	0.23	0.0010
T3.i	0.16	0.35	0.11	0.013	0.19	0.0012
T3.f	0.14	0.36	0.11	0.013	0.18	0.0016
T4.i	0.14	0.21	0.11	0.013	0.19	0.0016

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CARGA SÓLIDA SOBRE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO GUANO FASE II Y PROPUESTA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

T4.f	0.16	0.17	0.11	0.013	0.24	0.0010
T5.f	0.15	0.32	0.10	0.013	0.19	0.0011
T5.i	0.15	0.31	0.10	0.013	0.18	0.0012
T6.i	0.08	0.72	0.07	0.013	0.23	0.0021
T6.f	0.11	0.19	0.06	0.013	0.19	0.0008
T7.i	0.09	0.17	0.05	0.013	0.17	0.0010

Nota: Datos obtenidos de la modelación con HEC RAS

Análisis Estadístico

Se desarrollaron dos modelos de regresión para cuantificar relaciones funcionales:

1. Modelo potencial: Relación entre coeficiente de Manning (x) y velocidad media (y);
2. Modelo polinómico de segundo grado: Relación entre reducción de área útil (%) y elevación R^2 de tirante (cm). El ajuste de los modelos se evaluó mediante el coeficiente de determinación. Los análisis se realizaron en Microsoft Excel 2021.

RESULTADOS

El análisis hidráulico realizado en los siete puntos de muestreo permitió determinar los efectos de la carga solida sobre las características geométricas y de flujo del Canal de riego Chambo Guano Fase II. En los puntos T1 a T7 existieron diferentes porcentajes de acumulación de carga sólida.

Los resultados evidencian una reducción progresiva del área útil, representando una pérdida desde el 1.35% al 46.45% de la sección transversal efectiva. Esta disminución del área se asocia directamente con el incremento del tirante en un rango desde 2 cm a 45 cm estos datos se evidencia en cada tramo de muestreo.

El coeficiente de rugosidad de Manning experimentó un incremento notable desde 0.014 en el canal con carga solida hasta valores máximos de 0.080 en los diferentes puntos de muestreo, respecto a las condiciones de diseño en. Este incremento refleja el efecto de la acumulación de carga sólida de finos y de la proliferación de maleza. La Figura 1,2,3,4 ilustra la variación espacial de los principales parámetros hidráulicos a lo largo del canal.

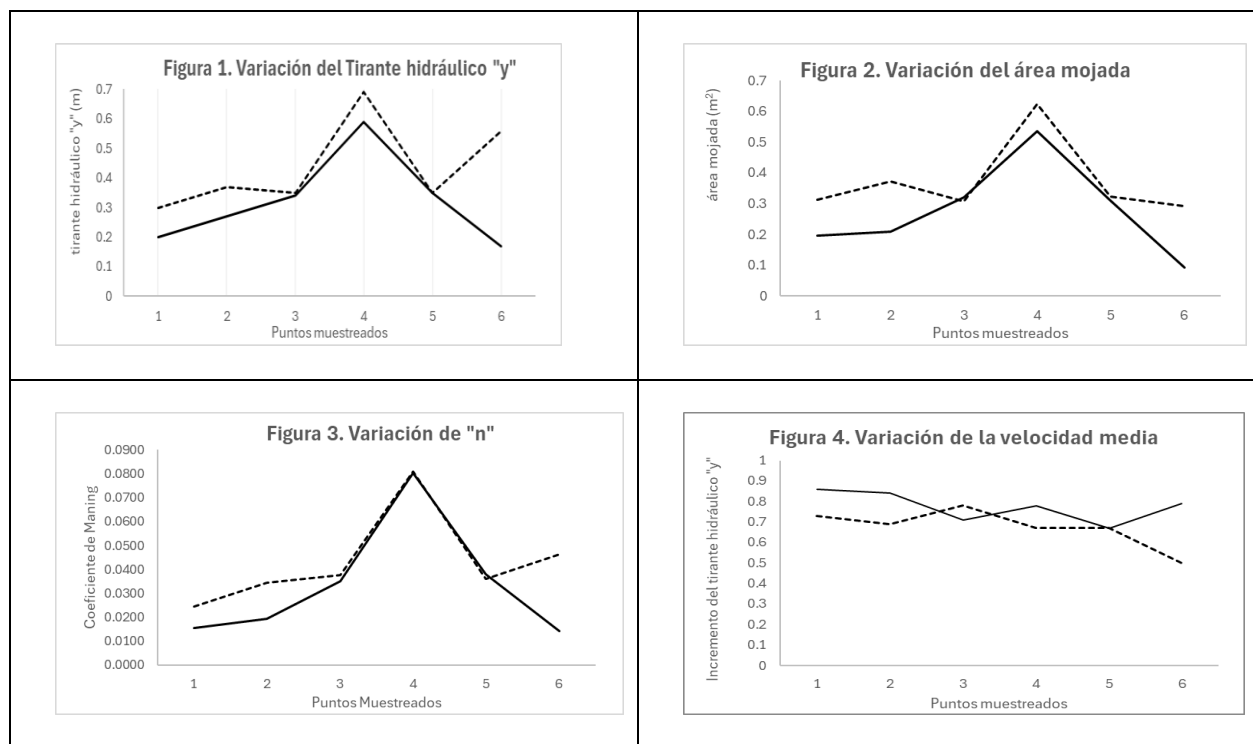


Figura 1,2,3,4. Variación espacial de los principales parámetros hidráulicos a lo largo del canal.

Las figuras 1,2,3 y 4 muestran la variación de las características geométricas e hidráulicas en cada uno de los 6 tramos estudiados. La línea sólida corresponde al punto inicial de aforo de un tramo. La línea entre cortada corresponde al punto final del mismo tramo. Por lo tanto, las líneas sólidas muestran las condiciones sin asentamiento de sedimentos y la línea entre cortada muestra como han cambiado esas condiciones debido a la acumulación de sedimentos en la solera o piso del canal de riego. Esto produce se incremente notablemente el tirante hidráulico (Figura 1) en los tramos 1, 2 y 6. El incremento en el tramo 3 es mínimo y en el 4 no hay incremento porque no hubo sedimentos. Sin embargo, en el tramo 6 disminuye ligeramente. También varía el área mojada (Figura 2) con un patrón parecido al del tirante hidráulico.

La fricción causada por los sedimentos contra el flujo del canal muestra la variación del coeficiente de rugosidad (Figura 3). Se minimiza el efecto de los sedimentos en las paredes porque visualmente no son tan notables como en la solera. Finalmente, la velocidad del flujo varía porque ha cambiado el coeficiente de rugosidad "n" (Figura 4) de manera que podría servir como una herramienta para definir operaciones emergentes de limpieza para evitar el desbordamiento del flujo y el desperdicio del agua.

Relación entre Coeficiente de Manning y Velocidad Media

El análisis de regresión entre el coeficiente de rugosidad de Manning y la velocidad media del flujo reveló mediante la curva de ajuste de tipo Potencial. La Figura 5 presenta esta relación junto con el modelo matemático obtenido.

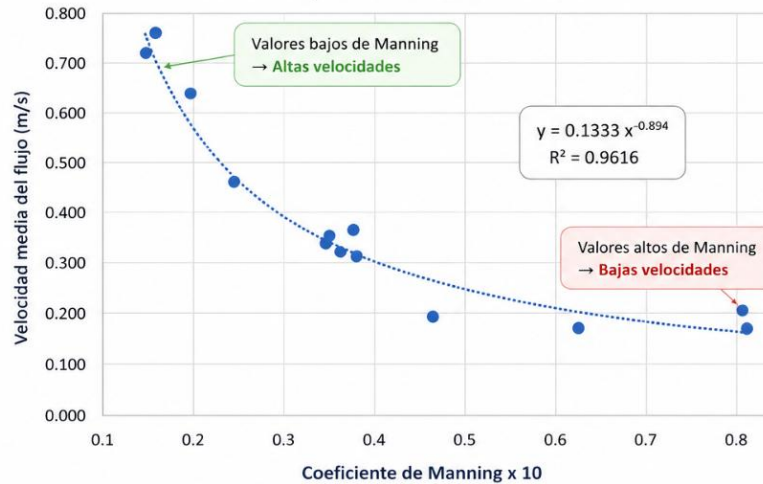


Figura 5. El modelo potencial obtenido se expresa mediante la ecuación.

$$y = 0.1333x^{-0.894} \quad (\text{Ec.9})$$

donde y es la velocidad media del flujo (m/s) y x el coeficiente de Manning. Este modelo presenta un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9616$, lo que indica que el 96.16% de la variabilidad observada en la velocidad media puede explicarse por cambios en el coeficiente de rugosidad. La Figura 5 evidencia una relación inversa no lineal entre ambas variables. A medida que aumenta el coeficiente de Manning, asociado a una mayor rugosidad del canal o a la acumulación de carga sólida, la velocidad media del flujo disminuye. La pendiente de la curva muestra que la reducción de la velocidad es más marcada en los valores bajos e intermedios del coeficiente de Manning, mientras que en valores más altos la disminución tiende a ser más gradual.

En términos estadísticos, el alto valor de R^2 indica que el modelo potencial se ajusta muy bien a los datos experimentales, por lo que puede considerarse adecuado para describir el comportamiento hidráulico observado. La Figura 5 evidencia que el incremento de la rugosidad genera una pérdida progresiva de capacidad de conducción del flujo, reduciendo la velocidad media de manera significativa.

Relación entre Reducción del Área Útil y Elevación del Tirante

El análisis de la relación entre la reducción porcentual del área útil y la elevación del tirante hidráulico reveló un comportamiento polinómico de segundo grado.

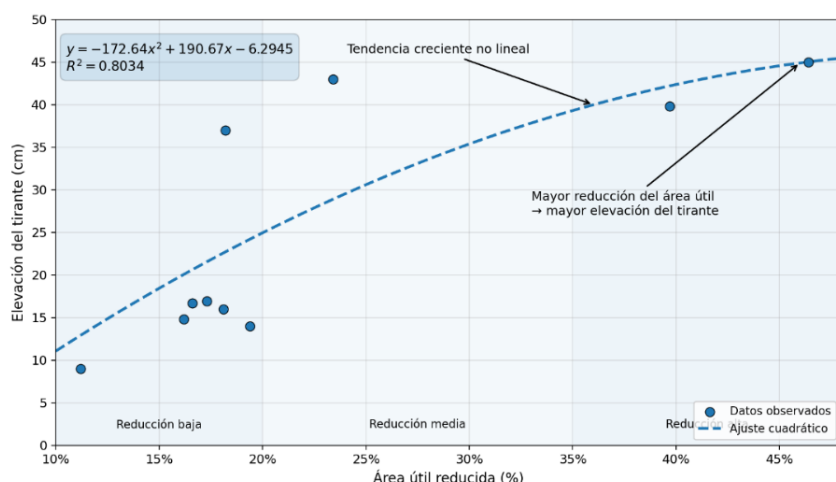


Figura 6. Reducción área reducida vs elevación del tirante.

El ajuste polinómico obtenido se expresa como:

$$y = -172.64x^2 + 190.67x - 6.2945 \quad (\text{Ec.10})$$

donde y representa la elevación del tirante (cm) y x corresponde a la reducción del área útil reducida (%). Este modelo presenta un coeficiente de determinación $R^2 = 0.8034$. La Figura 6 demuestra que el 20% de reducción en el área útil el tirante estimado se ubica alrededor de 25 cm, mientras que para reducciones cercanas al 45 %, el tirante alcanza valores próximos a 45 cm. Este modelo de ajuste Polinómico resulta de particular importancia operativa, ya que permite anticipar incrementos de nivel de agua y riesgo de desbordamiento en función de la colmatación de carga sólida en el canal. La validación consistió en comparar tirantes y área calculados por HEC-RAS en condiciones de modelación sin carga sólida, con tirantes y áreas medidos en campo los cuales se ven afectados por la presencia de carga sólida, lo que permitió evaluar como la carga sólida modifica los parámetros geométricos y reduce la capacidad de conducción.

Manual de Operación y Mantenimiento del canal principal del sistema de riego Chambo Guano Fase II

De los resultados obtenidos se evidencia que la presencia de carga sólida en el trayecto de la conducción principal del sistema de riego Chambo Guano Fase II ocasiona reducción en la capacidad de la conducción modificando los parámetros geométricos del canal por lo que a través de esta investigación se propone un manual de operación y mantenimiento para minimizar los riesgos de desbordamiento en los tramos críticos de la conducción. La Tabla 4 presenta el manual de operación y mantenimiento para el canal de riego Chambo Guano Fase II.

Tabla 4. Manual de operación y mantenimiento para el canal de riego Chambo Guano Fase II.

	Tipo de elemento	Canal	Rejilla	Tanque de carga y aproximación a sifones y
--	------------------	-------	---------	--

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CARGA SÓLIDA SOBRE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO GUANO FASE II Y PROPUESTA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

		(Tramo equivalente de 10 m)		repartidores de caudal
OPERACIÓN	Objetivo técnico	Conservar la sección hidráulica del canal para garantizar la eficiencia de la conducción	Mantener las rejillas en óptimas condiciones y que estén cumplan su función de controlar el ingreso de material flotante a la conducción principal	Garantizar que el canal de conducción esté libre de material flotante
	Daño o condición recurrente	Sedimentos, basura, crecimiento de vegetación, fisuras, agrietamientos, pérdida de sección y obstrucción del flujo.	rejillas inhabilitadas rotas o deformadas, reducen la capacidad de control de reducir el ingreso de material flotante a los sifones y a tanques repartidores	Retiro de sedimentos, material flotante, proliferación de maleza, piedras para evitar la reducción del caudal de la conducción del tramo siguiente
	Criterio técnico de intervención	Intervenir cuando se reduzca la sección útil, se observe agua retenida, exista desbordamiento aguas arriba del canal, aparezcan fisuras abiertas, el material acumulado en las cajas de aproximación a los sifones y repartidores de caudal impida el paso del caudal hacia el tramo siguiente de la conducción.	Intervenir cuando las aberturas estén deformadas o rotas y exista ingreso de material flotante	Intervenir cuando el fondo esté colmatado, se perciba remanso y desbordamientos en los tanques
	Actividad principal	Limpieza, desazolve, retiro de vegetación y maleza de las paredes y fondo del canal	Limpieza y revisión funcional de rejillas.	Limpieza de sólidos y residuos flotantes de los tanques de carga a la entrada de los sifones y aproximación a los repartidores
	Frecuencia recomendada	Bimestral como frecuencia base preventiva, y atención inmediata después de lluvias fuertes por erosión de material de la zona de laderas sobre el canal	Quincenal en época lluviosa, semanal en época seca y adicional después de lluvias intensas.	Bimestral como frecuencia preventiva. En época lluviosa o zonas con arrastre de material se recomienda control y revisión

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CARGA SÓLIDA SOBRE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO GUANO FASE II Y PROPUESTA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

				posterior a lluvias fuertes.
	Tiempo estimado de ejecución	2 a 3 horas por tramo equivalente de 10 m para el retiro de vegetación de las paredes y de los sedimentos del fondo del canal.	10 minutos por rejilla en retiro de material flotante que retiene la rejilla	10 min por unidad en limpieza manual del retiro de material flotante y basura existente.
	Procedimiento resumido	1. Identificar los tramos a intervenir en los puntos más críticos del sistema que son las aproximaciones a los tanques de entrada de sifones y de los repartidores de caudal 2. Retirar basura, maleza y piedras con herramientas manuales. 4. Registrar fotografías antes y después.	1. Retirar residuos detrás de la rejilla con escoba. 2. Extraer el material flotante existente en las cajas de aproximación a los sifones y tanques repartidores.	1. Retirar sedimentos, piedras, basura y material flotante. 2. Limpiar paredes, fondo, ingreso y salida.
	Mano de obra	1 operador del sistema 2 peones	1 operador del sistema.	1 operador del sistema.
	Materiales e insumos	elementos de limpieza para el retiro residuos sólidos en tramos críticos	elementos de limpieza escoba.	Fundas o recipientes para residuos.
	Equipo y herramientas	Palas, machete, moto guadaña	escobas, guantes	escobas, baldes
	Unidad de medida	Metro lineal de canal libre de sedimento y de maleza o tramo equivalente de 10 m.	Unidad de rejilla libre de material flotante que obstruye el paso del caudal.	Unidad de tanque limpio libre de material flotante y basura.
	Verificación	El operador debe verificar que el canal quede limpio	El operador del sistema verifica aberturas de la rejilla estén libre de material flotante y el caudal de la conducción permanente	El operador verifica que no exista material flotante y basura que obstruyan la operación del canal

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CARGA SÓLIDA SOBRE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO GUANO FASE II Y PROPUESTA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

	Indicador de control	Canal libre de sedimentos y maleza; material retirado y dispuesto; registro fotográfico completo.	Rejilla sin residuos; aberturas libres de material flotante, fotografías antes y después.	Caja libre de sedimentos; entradas y salidas despejadas; flujo verificado; residuos retirados.
MANTENIMIENTO	Actividad principal	Sellado de fisuras, reposición de bordes	Reposición, reparación, de rejillas deterioradas.	Reparación estructural de tanques de carga a la entrada de los sifones y aproximación a repartidores bordes y solera.
	Frecuencia recomendada	Revisión del operado bimestral. Intervención correctiva cuando existan fisuras, desprendimientos, pérdida de sección.	Atención inmediata cuando exista desbordamiento del canal aguas arriba. Revisión trimestral que no exista deformación y la falta de barrotes en la rejilla	Revisión de condición semestral, reparación correctiva inmediata cuando haya riegos por infiltración y estos ocasionen daños a los terrenos aledaños a los tanques.
	Tiempo estimado de ejecución	2 horas para fisuras o reparaciones menores en un tramo de 10 m. actividades que deberán ser programadas cada 2 años cuando se realiza mantenimiento en los reservorios del Canal Principal Chambo Guano por cuanto es la fecha donde se programa secar el canal desde la bocatoma por el periodo de un mes, o cuando se evidencien filtraciones que ocasionan daños a los terrenos que está bajo la cota del canal y programar secar el canal desde el desarenador antes del sifón del río guano	2 horas para reemplazo simple de una rejilla.	1 a 2 días todas las cajas para reparación de paredes. actividades que deberán ser programadas cada 2 años cuando se realiza mantenimiento en los reservorios del Canal Principal Chambo Guano por cuanto es la fecha donde se programa secar el canal desde la bocatoma por el periodo de un mes o en eventualidades donde los riegos por estas filtraciones ocasionen daños a los terrenos aledaños
	Procedimiento resumido	1. Levantar ficha del daño con ubicación, longitud y fotografía. 2. Identificar los tramos a intervenir	1. Colocar la nueva rejilla, anclarla o soldarla según diseño original.	1. Identificar daño, dimensiones y tanques afectados. 2. Señalizar las cajas con daños.

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CARGA SÓLIDA SOBRE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL CANAL PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO GUANO FASE II Y PROPUESTA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

		3. Limpiar la superficie de contacto y preparar bordes. 4. Sellar fisuras o reconstruir la sección con mortero u hormigón. 5. Retiro de la maleza en la plataforma del canal		3. Sellado de fisuras y resanado de bordes.
	Mano de obra	1 operador del sistema. 1 maestro mayor o albañil calificado. 2 peones.	1 operador del sistema 1 maestro mayor. 1 soldador o cerrajero cuando la rejilla sea metálica.	1 operador del sistema. 1 maestro mayor. 2 albañiles o peones.
	Materiales e insumos	Mortero cemento-arena, hormigón simple, sellador hidráulico, agua, aditivo impermeabilizante si corresponde.	Rejilla metálica, material de limpieza.	mortero, cemento, sellador para fisuras.
	Equipo y herramientas	Palas, espátulas, bailejo, flexómetro.	Motosoldadora, camioneta.	palas, baldes, nivel, flexómetro
	Unidad de medida	Metro lineal de fisura reparada, metro lineal canal reconstruido o tramo equivalente de 10 m.	Unidad de rejilla reemplazada.	Unidad de caja reparada.
	Verificación	La aprobación debe respaldarse con medición y registro fotográfico.	El operador verifica que los espaciamientos de la rejilla reemplazada cumplan con las características de la rejilla deteriorada	Inspección de las reparaciones realizadas mediante registro fotográfico de antes y después
	Indicador de control	Fisuras selladas; sección recuperada; sin filtraciones visibles	Rejilla estable, riesgo visible eliminado.	sin filtraciones ni desprendimientos visibles.
	Seguridad, ambiente y registros	Trabajar con guantes, botas.	Controlar chispas de soldadura y usar guantes por posibles objetos cortantes o residuos contaminados.	retiro de residuos de material sobrante sin descargarlos en la plataforma del canal.
	Forma de pago / medición	Por metro lineal o tramo de 10 m realmente ejecutado, verificado en campo y respaldado con anexo fotográfico.	Por unidad reemplazada o reparada respaldada con registro fotográfico.	Por unidad intervenida y aprobada, conforme a inspección técnica y evidencia fotográfica.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman de manera cuantitativa que la acumulación de carga sólida en el Canal de Riego Chambo Guano Fase II modifica significativamente las condiciones geométricas e hidráulicas del flujo. La reducción progresiva del área útil, con valores comprendidos entre 1.35 % y 46.45 %, evidencia un proceso de colmatación que disminuye la capacidad hidráulica del canal y compromete su eficiencia operativa. Este comportamiento es coherente con lo señalado por estudios recientes sobre sedimentación en canales de riego, donde la acumulación de sedimentos altera la sección hidráulica efectiva, reduce la capacidad de conducción y genera condiciones de operación menos eficientes (3), (15). Desde una perspectiva hidráulica, la acumulación de carga sólida no solo reduce el área disponible para el flujo, sino que también modifica la rugosidad interna del canal. En esta investigación, el coeficiente de Manning aumentó desde valores mínimos cercanos a 0.014 hasta valores máximos próximos a 0.081, lo que demuestra un incremento considerable de la resistencia al flujo. Este resultado se justifica por la presencia de sedimentos, material fino y maleza en las paredes y fondo del canal, factores que incrementan la fricción hidráulica. Resultados similares han sido reportados en estudios sobre canales abiertos vegetados y canales revestidos, donde la presencia de vegetación, irregularidades superficiales y depósitos sólidos influye directamente en la variación del coeficiente de rugosidad de Manning (16), (17).

La relación entre el coeficiente de Manning y la velocidad media del flujo presentó un ajuste potencial, expresado mediante el modelo potencial: $y = (0.1333)x^{-0.894}$ con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9616$. Este valor indica que el 96.16 % de la variabilidad de la velocidad media puede explicarse por los cambios en la rugosidad hidráulica del canal. El alto ajuste estadístico confirma que el incremento de la rugosidad genera una disminución importante de la velocidad media, comportamiento que responde a los principios hidráulicos del flujo en canales abiertos. Esta relación inversa no lineal muestra que pequeños incrementos del coeficiente de Manning pueden provocar reducciones significativas de velocidad, especialmente en rangos bajos e intermedios de rugosidad. Este hallazgo tiene trascendencia en la gestión y operación del canal, ya que una disminución de la velocidad media favorece la deposición adicional de sedimentos, generando un proceso de retroalimentación positiva de la colmatación. Es decir, la acumulación de carga sólida incrementa la rugosidad, la mayor rugosidad reduce la velocidad y la menor velocidad facilita nuevas deposiciones. Este comportamiento ha sido abordado en investigaciones sobre dinámica sedimentológica en sistemas de riego, donde la velocidad del flujo y las condiciones de operación de compuertas o estructuras hidráulicas influyen directamente en los procesos de transporte y deposición de sedimentos (6), (5).

Por otra parte, la relación entre la reducción del área útil y la elevación del tirante hidráulico fue representada mediante un modelo cuadrático: $y = -172.64x^2 + 190.67x - 6.2945$ con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.8034$. Este resultado indica que aproximadamente el 80.34 % de la variabilidad en la elevación del tirante puede explicarse por la reducción del área útil del canal. Aunque el ajuste no puede considerarse perfecto, sí evidencia una asociación estadística alta entre ambas variables. La tendencia obtenida demuestra que, a medida que la sección hidráulica efectiva disminuye por efecto de la acumulación de sedimentos y maleza, el

nivel del agua tiende a incrementarse, aumentando el riesgo de desbordamiento en tramos críticos. Este comportamiento se relaciona con el principio de continuidad del flujo: cuando el área efectiva de conducción disminuye, el sistema responde con modificaciones en el tirante y la velocidad para mantener el transporte del caudal. En esta investigación, reducciones del área útil cercanas al 16 % se asociaron con elevaciones del tirante aproximadas de 17 cm, mientras que reducciones próximas al 45 % alcanzaron elevaciones cercanas a 45 cm. Estos valores son relevantes porque permiten identificar umbrales críticos de operación y priorizar intervenciones de mantenimiento antes de que el canal alcance condiciones de riesgo hidráulico. Desde el punto de vista de la gestión operativa, los modelos desarrollados poseen aplicabilidad directa para la planificación del mantenimiento preventivo del Canal de Riego Chambo Guano Fase II. El modelo Manning-velocidad permite identificar tramos donde el incremento de rugosidad está reduciendo la capacidad de conducción (4), mientras que el modelo área útil-tirante permite anticipar el aumento del nivel de agua en función del grado de colmatación. El incremento del coeficiente de rugosidad de Manning confirma el efecto de la carga sólida sobre la resistencia al flujo, debido a que este parámetro hidráulico es sensible a las irregularidades del canal, la presencia de vegetación, sedimentos y cambios en la condición superficial de la sección de conducción (17). En los puntos evaluados, el valor de n pasó de valores mínimos cercanos a 0.014 hasta valores máximos próximos a 0.081, lo que representa un aumento considerable de la rugosidad hidráulica. Este comportamiento puede atribuirse a la acumulación de sedimentos, material fino y presencia de maleza en las paredes del canal, factores que incrementan la fricción y reducen la eficiencia hidráulica del sistema, tal como se ha reportado en investigaciones sobre sedimentación y desempeño hidráulico en canales de riego (15), (6). Como consecuencia, la velocidad media disminuyó desde valores cercanos a 0.76 m/s en condiciones menos obstruidas hasta aproximadamente 0.17 m/s en los tramos con mayor resistencia, evidenciando que el aumento de la rugosidad reduce la capacidad de conducción y favorece procesos adicionales de deposición de carga sólida

La metodología empleada también constituye un aporte práctico, ya que combina mediciones de campo accesibles, como levantamiento geométrico, aforos con flotadores, estimación de velocidad media, cálculo del coeficiente de Manning y modelación hidráulica. Este tipo de metodología resulta pertinente para sistemas de riego comunitarios con recursos técnicos y económicos limitados, debido a que permite generar información útil sin depender exclusivamente de tecnologías de alto costo. La aplicación de métodos hidrométricos con flotadores y mediciones en canales abiertos se encuentra respaldada por referencias técnicas de hidrometría y medición de flujo en canales abiertos, así como por enfoques metodológicos aplicados a investigaciones cuantitativas en ingeniería hidráulica (8), (11), (18). Asimismo, el uso de modelos hidráulicos y herramientas de simulación, como HEC-RAS, permite complementar las mediciones de campo y comparar condiciones hidráulicas sin carga sólida frente a condiciones reales afectadas por sedimentos. Este enfoque ha sido utilizado en estudios recientes de análisis hidráulico de canales de riego, donde la modelación permite evaluar tirantes, velocidades, capacidad de conducción y condiciones críticas de operación (13). Por tanto, la integración de mediciones de campo y modelación hidráulica fortalece la interpretación de los efectos de la carga sólida sobre el funcionamiento del canal

CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que la acumulación de carga sólida en el Canal de Riego Chambo Guano Fase II altera de manera significativa las condiciones geométricas e hidráulicas del flujo. La reducción del área útil varió entre 1.35 % y 46.45 %, evidenciando un proceso de colmatación progresiva que disminuye la sección efectiva de conducción y compromete la capacidad hidráulica del canal. Esta pérdida de sección se asoció con incrementos del tirante de hasta 45 cm en los tramos más afectados. Los resultados confirmaron que la acumulación de sedimentos, material fino y maleza incrementa la resistencia al flujo. El coeficiente de rugosidad de Manning aumentó desde valores mínimos cercanos a 0.014 hasta valores máximos aproximados de 0.081, mientras que la velocidad media disminuyó desde 0.76 m/s hasta 0.17 m/s. Esto evidencia que el deterioro físico de la sección del canal reduce la eficiencia hidráulica y favorece condiciones de flujo más lento.

El modelo potencial entre el coeficiente de Manning y la velocidad media, expresado como $y = 0.1333x^{-0.894}$, presentó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9616$. Este resultado indica que el 96.16 % de la variabilidad de la velocidad media puede explicarse por los cambios en la rugosidad hidráulica, por lo que el modelo constituye una herramienta estadísticamente adecuada para describir la pérdida de velocidad asociada al incremento de la carga sólida.

La relación entre la reducción del área útil y la elevación del tirante fue representada mediante un modelo cuadrático, $y = -172.64x^2 + 190.67x - 6.2945$, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.8034$. Este ajuste explica aproximadamente el 80.34 % de la variación del tirante hidráulico, evidenciando que la pérdida de sección efectiva incrementa el nivel del agua y puede generar condiciones de riesgo en tramos críticos, especialmente en zonas próximas a tanques de carga y entradas a sifones.

Finalmente, se concluye que el monitoreo periódico del área útil, tirante hidráulico, velocidad media y coeficiente de Manning debe incorporarse como una práctica fundamental para la gestión del Canal de Riego Chambo Guano Fase II. La actualización continua de estos parámetros permitirá anticipar procesos de colmatación, priorizar labores de limpieza, reducir riesgos de desbordamiento y mejorar la eficiencia hidráulica del sistema de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Garcés, L. M., & Fuertes, M. S. T., Plan nacional de riego y drenaje 2019–2027., 2019.
2. Dominguez Zúñiga, W. M., Narea-Sánchez, F. E., Tapia-Yáñez, L. H., Carrillo-Morales, C. A., & Nieto-Cañarte, C. A., Impacto social de la eficiencia hidráulica en sistemas de riego: El caso de la red de canales del sistema San Jacinto., e-Revista Multidisciplinaria del Saber, 2025.
3. Sui, Z., Zhang, Z., Yang, J., Du, P., Ma, Y., Li, P., ... & Han, F., Assessment of the Siltation Risk of Irrigation Canals: A Case Study of the Irrigation Canal in Golmud., Water, 2026.

4. Ashour, M. A., Abdel Nasser, M. S., & Abu-Zaid, T. S., Field study to evaluate water loss in the irrigation canals of Middle Egypt: A case study of the Al Maanna Canal and its branches, Assiut Governorate, *Limnological Review*, 2023.
5. Benavides-Muñoz, H. M., Predictive sinusoidal modeling of sedimentation patterns in irrigation channels via image analysis, *Water*, 2025.
6. Herrera-Díaz, I. E., Martínez-Yáñez, R., Gamiño, E., & Gutiérrez-Vaca, C., Hydrodynamic removal of sediments in open irrigation channel., *Modern Agriculture*, 2025.
7. Schügerl, R., Velísková, Y., Dulovičová, R., & Sočuvka, V., Influence of submerged vegetation on the Manning's roughness coefficient for Gabčíkovo–Topoľníky channel., *Acta Hydrologica Slovaca*, 2021.
8. Norma B., e ISO B., Hidrometría: medición del flujo de líquidos en canales abiertos mediante medidores de corriente o flotadores., 2007.
9. CUADRADO, B.S.2017., Diseños definitivos de la conducción principal del proyecto del sistema Chambo-Guano Fase II., Ecuador-Chimborazo: Información general del proyecto.Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, 2017.
10. G. Sotelo Ávila, Hidráulica de Canales, F. d. Ingeniería, Ed., México D.F: México: UNAM, 2002, pp. 2-289.
11. Shrestha, S., & Deb, P., Hydrology: Measurement and Analysis Training manual, ResearchGate, 2015, p. 63.
12. Zelenáková, M., Arifjanov, A., Abd-Elhamid, H. F., Bindzárová Gergeľová, M., Fatxulloyev, A., & Allayorov, D., The effect of lining hydraulic properties on the efficiency and cost of irrigation canal reconstruction., *Water Resources Management*, 2025, p. 39.
13. Kumari, S., Kumar, M., & Singh, A., Hydraulic Analysis of Irrigation Canal Using HEC-RAS Model: A Case Study of Latifshah Weir in Uttar Pradesh, India., *Journal of Water Engineering and Management*, 2025.
14. Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano, S., Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador, *Investigaciones Geográficas*, 2023.
15. Chow, V. T., Hidráulica de canales abiertos, M. Interamericana., Ed., Bogota -Colombia: J. G. Saldarriaga, Trad.; A. Zuluaga Ángel, Rev. técnica, 1994, pp. 19-174.
16. Gurmu, ZA, Ritzema, H., de Fraiture, C., & Ayana, M., Modelado hidrodinámico para desarrollar opciones de diseño y operación para la reducción de sedimentación en sistemas de riego, Etiopía, R. Studies, Ed., *Journal of Hydrology*, 2024.
17. Salah Abd Elmoaty, M., & TA, ES, Coeficiente de rugosidad de Manning en canales abiertos vegetados, *Water Science*, 2020.
18. Li, L., Bai, D., Bai, X., & Zhou, W., Análisis espaciotemporal e identificación automatizada del coeficiente de rugosidad de Manning en canales revestidos, *Water*, 2025.
19. Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P., Metodología de la investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, vol. 2 da edision, McGraw-Hill Interamericana Editores.