

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Análisis del transporte de contaminantes en la acequia Cois en el
distrito de José Leonardo Ortiz**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

AUTOR

Edson Edgardo Marin Martinez

ASESOR

Roberto Bruno Reyes Aspiros

<https://orcid.org/0000-0002-1433-7750>

Chiclayo, 2026

**Análisis del transporte de contaminantes en la acequia Cois
en el distrito de José Leonardo Ortiz**

PRESENTADA POR

Edson Edgardo Marin Martinez

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Aníbal Teodoro Díaz Orrego

PRESIDENTE

Manuel Alejandro Borja Suarez

SECRETARIO

Roberto Bruno Reyes Aspiros

VOCAL

Dedicatoria




Esta tesis se la dedico a mis padres, a mis abuelos, cuyo apoyo fue fundamental para no rendirme, su sabiduría y cariño me ayudaron a llegar hasta el final de mis estudios y seguir mis sueños. A mis hermanas que me aconsejaron y ayudaron en todo momento, especialmente a mi hermana mayor Kiara que día a día estuvo apoyándome y siendo un pilar fundamental porque sin ella no sería la clase de hombre que soy. Esto es por todas aquellas personas que me acompañaron y creyeron en mí.

Agradecimientos

Agradecer a Dios porque sin él no podría haber llegado hasta acá, estoy eternamente agradecido por haberme dado la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera.

Agradezco a mi abuelo Edgardo y mi padre Edson que fueron las personas que me motivaron a seguir mi sueño, su apoyo y sus palabras de motivación me impulsaron a seguir adelante. De igual forma, a mi asesor el ingeniero Roberto Reyes y al ingeniero encargado del curso López Carranza Atilio Rubén, agradezco de todo corazón a todas esas personas que estuvieron conmigo en cada etapa, gracias por todo.

Análisis del transporte de contaminantes en la acequia Cois en el distrito de José Leonardo Ortiz.docx

 Entrega 3
 Work
 Uttaranchal University, Dehradun

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3576090118

Fecha de entrega

22 may 2026, 7:25 a.m. GMT+5:30

Fecha de descarga

22 may 2026, 7:29 a.m. GMT+5:30

Nombre del archivo

Análisis_del_transporte_de_contaminantes_en_la_acequia_Cois_en_el_distrito_de_José_Leonardo....docx

Tamaño del archivo

23.0 MB

182 páginas

30.326 palabras

167.358 caracteres



Página 1 de 197 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid:::1:3576090118




Página 2 de 197 - Descripción general de integridad


Identificador de la entrega trn:oid:::1:3576090118


13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

12%  Fuentes de Internet

6%  Publicaciones

5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Índice

Resumen	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
Revisión de Literatura	19
Materiales y Métodos	41
Resultados y Discusiones	56
Conclusiones.....	142
Recomendaciones	144
Referencias	146
Anexos.....	153

Lista de Tablas

TABLA I	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES _____	24
TABLA II	MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL EN CANALES _____	28
TABLA III	COEFICIENTES DE MANNING (COEFICIENTE DE RUGOSIDAD) _____	28
TABLA IV	COMPONENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES _____	30
TABLA V	CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES _____	30
TABLA VI	TABLA SOBRE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUA DE RIEGO AGRÍCOLA _____	34
TABLA VII	TECNOLOGÍAS DE FITORREMEDIACIÓN _____	36
TABLA VIII	TAXONOMÍA LEMNA MINOR _____	37
TABLA IX	ENSAYOS DE LABORATORIOS SEGÚN MUESTRAS DE AGUA TOMADAS EN LA ACEQUIA COIS _____	42
TABLA X	_____	44
TABLA XI	DÍAS ESCOGIDOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN _____	45
TABLA XII	TABLA DE OPERACIONES DE VARIABLES _____	46
TABLA XIII	RESULTADO PARA LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) _____	56
TABLA XIV	RESULTADOS PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) _____	57
TABLA XV	RESULTADOS PARA ACEITES Y GRASAS _____	58
TABLA XVI	RESULTADOS PARA LA TURBIDEZ _____	59
TABLA XVII	RESULTADOS PARA EL POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH) _____	60
TABLA XVIII	RESULTADO DE LAS SUBCUENCAS POR SWMM _____	61
TABLA XIX	PROFUNDIDAD SWMM _____	62
TABLA XX	TABLA DE ENTRADA DE NODOS POR SWMM _____	62
TABLA XXI	TABLA DE CLASIFICACIÓN DE FLUJO SWMM _____	63
TABLA XXIV	PARÁMETROS _____	82
TABLA XXV	DBO EN ÉPOCA DE LLUVIA _____	89
TABLA XXVI	CLASIFICACIÓN HOTSPOTS _____	90
TABLA XXVII	PARÁMETROS 5 DÍAS _____	109
TABLA XXVIII	PARÁMETROS A LOS 10 DÍAS _____	115
TABLA XXIX	PARÁMETROS A LOS 15 DÍAS _____	122

TABLA XXX TABLA DE REFERENCIA PARA CONSIGNAR LA CATEGORIA DEL CUERPO DE AGUA _____	128
TABLA XXXI PUNTOS DE MONITOREO _____	129
TABLA XXXII PARÁMETROS, MÉTODOS Y FINALIDAD _____	130
TABLA XXXIII INDICADORES DE DESEMPEÑO _____	132
TABLA XXXIV INDICADORES DE DESEMPEÑO _____	132
TABLA XXXV EVALUACIÓN ECONÓMICA _____	133
TABLA XXXVI MATRIZ DE RIESGOZ Y CONTIGENCIAS _____	137
TABLA XXXIII DATOS GEORREFENCIADOS - CHANCAY _____	160
TABLA XXXIV PARÁMETROS HIDRAULICOS DE LA ACEQUIA COIS ____	177
TABLA XXXV ESTUDIO HIDROLOGICO _____	178

Lista de Figuras

Fig. 1. Tipos de secciones [35] _____	25
Fig. 2. Figura típica de una sección de canal [35] _____	26
Fig. 3. Sección rectangular [35] _____	26
Fig. 4 Storm Water Management Model [51]. _____	38
Fig. 5. Opciones por defecto [51]. _____	38
Fig. 6. Opciones por defecto [51]. _____	39
Fig. 7. Opciones por defecto [51]. _____	39
Fig. 8. Ubicación del canal _____	49
Fig. 9. Ejecución de la modelación del canal en SWMM _____	64
Fig. 10. Recuadro de la correcta modelación _____	64
Fig. 11. Recuadro del perfil longitudinal de la acequia Cois _____	65
Fig. 12. Cuadro de representación del DBO _____	65
Fig. 13. Cuadro de representación de SST _____	66
Fig. 14. Cuadro de representación de Aceites y Grasas _____	66
Fig. 15. Propiedades de Junction N-1 _____	67
Fig. 16. Propiedades de Junction N-2 _____	68
Fig. 17. Propiedades de Junction N-3 _____	69
Fig. 18. Propiedades de Junction N-4 _____	70
Fig. 19. Propiedades de Junction N-5 _____	71

Fig. 20. Propiedades de Junction N-6	72
Fig. 21. Propiedades de Junction N-7	74
Fig. 22. Propiedades de Junction N-8	75
Fig. 23. Definición de geometría del modelo	76
Fig. 24. Propiedades del Conduit L-1	77
Fig. 25. Propiedades del Conduit L-2	77
Fig. 26. Propiedades del Conduit L-3	78
Fig. 27. Propiedades del Conduit L-4	79
Fig. 28. Propiedades del Conduit L-5	80
Fig. 29. Propiedades del Conduit L-6	81
Fig. 30. Propiedades del Conduit L-7	81
Fig. 31. Configuración de solver Dynamic Wave	82
Fig. 32. Edición de contaminante DBO	85
Fig. 33. Edición de contaminante SST	85
Fig. 34. Edición de contaminante Aceite y grasas	86
Fig. 35. Edición de contaminante PH	87
Fig. 36. Incorporación del pluviómetro	88
Fig. 37. Configuración de serie temporal	88
Fig. 38. Modelo rediseñando en EPA SWMM 5.2	91
Fig. 39. Codificación en el modelado	92
Fig. 40. Definición de geometría del modelo	93
Fig. 41. Propiedades del Conduit 2	94
Fig. 42. Propiedades del Conduit 3	95
Fig. 43. Propiedades del Conduit 4	97
Fig. 44. Propiedades del Conduit 5	98
Fig. 45. Propiedades del Conduit 6	99
Fig. 46. Propiedades del Conduit 7	100
Fig. 47. Propiedades del Conduit 8	101
Fig. 48. Propiedades del Conduit 9	102
Fig. 49. Incorporación del pluviómetro	103
Fig. 50. Configuración de serie temporal	104
Fig. 51. Propiedades de la subcuenca	105
Fig. 52. Perfil de elevación de la acequia cois	107
Fig. 53. Edición del lid control	108

Fig. 54. Edición del contaminante SST	110
Fig. 55. Edición del contaminante aceites y grasas	111
Fig. 56. Edición del contaminante DBO	113
Fig. 57. Concentración de los contaminantes	114
Fig. 58. Edición del contaminante SST	116
Fig. 59. Edición del contaminante Aceites y Grasas	118
Fig. 60. Edición del contaminante DBO	120
Fig. 61. Concentración de los contaminantes	121
Fig. 62. Edición del contaminante SST	123
Fig. 63. Edición del contaminante Aceites y grasas	124
Fig. 64. Edición del contaminante DBO	125
Fig. 65. Concentración de los contaminantes	126
Fig. 66. Esquema conceptual del plan de monitoreo (flujo de medición → validación → decisión → retroalimentación del modelo SWMM).	135
Fig. 67. Mapa de puntos de monitoreo sobre la red modelada (PM1–PM4).	135
Fig. 68. Perfil hidráulico simulado (línea de energía y lámina de agua).	136
Fig. 69. Distribución espacial de concentraciones modeladas (SST/DBO/AyG)	136
Fig. 70. Conformidad de asesor	153
Fig. 71. Solicitud de planos	155
Fig. 72. Valores hidráulicos de la acequia cois	156
Fig. 73. Planos de la acequia cois -1	156
Fig. 74. Planos de la acequia cois - 2	157
Fig. 75. Planos de la acequia cois - 3	157
Fig. 76. Planos de la acequia cois - 4	158
Fig. 77. Planos de la acequia cois - 5	158
Fig. 78. Planos de la acequia cois - 6	159
Fig. 79. Planos de la acequia cois - 7	159
Fig. 80. Acequia Cois Km 1+643.30	162
Fig. 81. Presencia de instalaciones ilegales Km 1+643.30	162
Fig. 82. Instalaciones ilegales Km 1+843.30	163
Fig. 83. Excedente de vegetación	163
Fig. 84. 14 Km 2+051.50 Av. Sáenz Peña - Av. Nicolas de Piérola	164
Fig. 85. Av. Saézn Peña - Av. Nicolás de Piérola	164
Fig. 86. Presencia de basura	164

Fig. 87. Excedente de residuos sólidos Km 3+ 490.30	165
Fig. 88. Más instalaciones ilegales con residuos sólidos Km 3+495.30	165
Fig. 89. Instalaciones Clausuradas	165
Fig. 90. Calle Carlos Pestaña Km 4+053.00	166
Fig. 91. Presencia de basura que interrumpe el flujo del agua	166
Fig. 92. Presencia de basura en el fondo de la acequia	166
Fig. 93. Más residuos sólidos en su recorrido	167
Fig. 94. Recolección de muestras	167
Fig. 95. Recolección de muestras	167
Fig. 96. Planta acuática lemna minor (lenteja de agua)	168
Fig. 97. Días de reposo de muestras	169
Fig. 98. Separación de las muestras	170
Fig. 99. Medición de oxígeno realizado a las muestras ya separadas	170
Fig. 100. Se colocan en la incubadora para el análisis de 5 días	170
Fig. 101. Lectura del DBO transcurrido los 5 días	171
Fig. 102. Bomba de vacíos para determinar sólidos	171
Fig. 103. Realización del ensayo para sólidos con las muestras extraídas	171
Fig. 104. Vaciado de las muestras en el Kitasato	172
Fig. 105. Sólidos suspendidos totales retenidos por el frio	172
Fig. 106. Muestras retenidas en el horno para su enfriado	173
Fig. 107. Muestras secas y pesadas	173
Fig. 108. Inicio de la separación de aceites y grasas	174
Fig. 109. Liberación del agua para la toma de grasas	174
Fig. 110. Evidencia de ambas muestras y su extracción de grasas	175
Fig. 111. Recipiente donde se coloca las grasas para ambas muestras	175
Fig. 112. Turbidímetro	175
Fig. 113. Lecturas para determinar el pH	176
Fig. 114. Muestra para obtener el pH	176
Fig. 115. pH tomado en USAT Km 5+030.0	176
Fig. 116. Pantalla principal del software SWMM	179
Fig. 117. Calibración para el modelado	179
Fig. 118. Comandos necesarios para la simulación	180
Fig. 119. Subcuencas respectivas	180
Fig. 120. Tipo de pavimentos según SWMM	181

Fig. 121. Forma de vegetación según SWMM	181
Fig. 122. Calibración de puntos topográficos	182
Fig. 123. Pestaña de introducción de contaminantes	182
Fig. 124. Gráfica de precipitaciones dada por SWMM	183
Fig. 125. Modelado Final	183

Resumen

La investigación tuvo como objetivo central el transporte de contaminantes en la acequia Cois, ubicada en el distrito de José Leonardo Ortiz, de la ciudad de Chiclayo con el propósito de evaluar el comportamiento hidráulico para identificar los puntos críticos donde se acumula los contaminantes. De acuerdo con los ensayos físico-químicos efectuados que arrojan después del análisis de extracción de agua de la acequia, se ha determinado que los niveles de contaminantes superan los Límites Máximos Permisibles (LMP). En el punto kilométrico 2+843 se registraron concentraciones de 11.90 mg/L de DBO, 206.0 mg/L de SST y 43.80 mg/L de aceites y grasas, con una turbidez de 65.20 NTU. Por otro lado, en el punto kilométrico 3+450 se obtuvieron valores de 16.30 mg/L de DBO, 122.0 mg/L de SST, 34.00 mg/L de aceites y grasas y una turbidez de 62.60 NTU, respectivamente. En razón de ello, se realizó la simulación con el software Storm Water Management Model (SWMM) el cual evidenció influjos laterales, con valores máximos de 0.3 L/s en el nodo N-2 y 0.26 L/s en el nodo N-3, los cuales se registraron a la 01:50 h. Asimismo, se identificaron errores en el balance de flujo en los nodos N-4 (959.738%) y N-7 (480.33%), los cuales se atribuyen a descargas puntuales y variaciones en la topografía. El cálculo del Índice de Acumulación (IA) ha indicado que el tramo L-5 representa el principal punto de acumulación, seguido por los tramos L-2, L-6 y L-7. Por lo expuesto, se presentaron estrategias de mejora fundamentadas en el rediseño hidráulico y la implementación de técnicas de fitorremediación, las cuales se complementan con un Plan de Monitoreo Continuo (PM1-PM4). Este plan tiene como objetivo asegurar la sostenibilidad y el control del sistema de drenaje urbano de la acequia Cois.

Palabras clave: transporte de contaminantes, modelación hidráulica, Storm Water Management Model (SWMM), fitorremediación y acequia Cois

Abstract

The objective of this study was to analyze pollutant transport in the Cois irrigation ditch, located in the José Leonardo Ortiz district, to evaluate its hydraulic behavior and identify critical points of pollutant accumulation. The study was carried out using a quantitative approach, with a non-experimental, cross-sectional design, given that the data were collected at a single time point through laboratory tests and hydraulic simulations. According to the physical-chemical analyses performed, it was determined that pollutant levels exceed the Maximum Permissible Limits (MPL). At kilometer point 2+843, concentrations of 11.90 mg/L, 206.0 mg/L, and 43.80 mg/L were recorded, with a turbidity of 65.20 NTU. On the other hand, at kilometer point 3+450, values of 16.30 mg/L, 122.0 mg/L, 34.00 mg/L and a turbidity of 62.60 NTU were obtained, respectively. The simulation carried out in the Storm Water Management Model (SWMM) software showed limited lateral inflows, with maximum values of 0.3 L/s at node N-2 and 0.26 L/s at node N-3, which were recorded at 01:50 h. Errors in the flow balance were identified at nodes N-4 (959.738%) and N-7 (480.33%), which are attributed to point discharges and variations in topography. The calculation of the Accumulation Index (IA) has indicated that reach L-5 represents the main accumulation point, followed by reaches L-2, L-6 and L-7. Improvement strategies based on hydraulic redesign and the implementation of phytoremediation techniques were presented, complemented by a Continuous Monitoring Plan (PM1–PM4). This plan aims to ensure the sustainability and control of the Cois Ditch urban drainage system.

Keywords: pollutant transport, hydraulic modeling, Storm Water Management Model (SWMM), phytoremediation, and Cois Ditch

Introducción

La contaminación en cuerpos de agua de gran envergadura como mares, ríos o lagos, así como también elementos hídricos de menor escala como son arroyos, canales y acequias, son usados como sumideros de distintos desechos agrícolas, industriales y domésticos [1]. Asu vez, un número significativo de países presentan problemas con su sistema de drenaje, ya que estos problemas ocasionan que los cuerpos de agua lleguen a su límite de vida útil por lo mismo que presenta aguas residuales, residuos sólidos, olores desagradables, lo que ocasiona muerte de la vida acuática y causando uno de los principales problemas ambientales, afectando directamente la salud de la población por temas de enfermedades y el deterioro de mismo de nuestros ecosistemas. Según un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del año 2022 reveló que cerca de 1700 millones de personas a nivel mundial consumían agua para consumo humano de fuentes contaminadas de heces. Además, dentro de esos cuerpos de agua se llegaron a encontrar químicos que eran vertidos por los pobladores, como fármacos, nitratos, fluoruros, plaguicidas que son un peligro para la salud, y también metales pesados como el cadmio, cobre, zinc y manganeso [2].

En varios países se han encontrado problemáticas en los cuerpos de agua debido a su mal manejo de estos. Por ejemplo, en la India, la gran mayoría de sus ríos se encuentran contaminados por diversos factores siendo el río Yamuna uno de los más contaminados en el mundo afectando directamente a la población, ya que los pobladores vierten aguas servidas, industriales y desechos sólidos en el río; se estimó incluso que el 60% de las aguas residuales y desechos son vertidos de manera ilegal, encontrando tramos por contaminación orgánica exagerada. En los años 2020-2023 se realizaron estudios al recorrido del canal encontrando parámetros como la demanda bioquímica de oxígenos (DBO) sobrepasando los límites permisibles que son 3 mg/L, lo que equivale a 16 veces más alto de lo normal; demanda química de oxígeno (DQO) pasando los 50mg/L siendo los límites permitidos para este parámetro. Además, se encontró coliformes fecales sobrepasando su límite de 500 MPN/100 ml. Cabe señalar que, el río es usado por las comunidades aledañas para labores domésticos y para irrigaciones de ciertas actividades agrícolas. Esto ha ocasionado riesgos sanitarios por no realizar tratamientos de las aguas residuales del río [3].

En Nepal, se realizó el estudio de la calidad de agua de estanques urbanos en el valle de Katmandú en donde se llegó a encontrar grandes cantidades de contaminantes

orgánicos y químicos, en el caso del DBO se estimó que el 96% de las muestras extraídas pasaron lo recomendado por el EPA de Estados Unidos siendo valores mayores a 3 mg/L permitidos, para el DQO se observó la concentración superaba el 96% de los casos y en los coliformes (E. Coli) las muestras pasaban los 600 MPN/100ml de los 500 MPN/100ml permitidos. Estos contaminantes pusieron en riesgo la salud pública debido a que la zona es recurrente para actividades recreativas e incluso como fuente de agua para riego, lo que aumentó la exposición a enfermedades. De la misma forma, se generó una degradación ambiental por el exceso de nutrientes y bajo oxígeno en dicho tanque [4].

Por otra parte, en el Ecuador, exactamente la provincia de Tungurahua, se presenta el canal de riego de Ambato Huachi – Pelileo que abastece a 14 000 usuarios y es uno de los más reconocidos en el país, siendo una de sus principales funciones las actividades agrícolas y ganadera, pero en los últimos años presentó un crecimiento poco inusual en contaminantes como los coliformes fecales. Un estudio realizado en el canal determinó valores fisicoquímicos y microbiológicos como DBO, el DQO, los SST, lo que sobrepasa lo mencionado por la Agencia de Protección de los Estados Unidos, incluso el pH obtuvo un valor ubicado en 8, sobrepasando lo mencionado en la normativa ecuatoriana para agua de riego, esto preocupó a los pobladores debido a que no se ha realizado un tratamiento adecuado para este canal. Además, la intervención del hombre debido a los desperdicios que vierten hizo que este canal no fuera de utilidad ocasionando olores desagradables y perjudiciales para la sociedad, por lo que el índice de calidad del agua (ICA) clasificó a este canal como no apto para riego o consumo. La presencia de estos contaminantes se debe a la falta de plantas de tratamientos de aguas residuales y a la intervención de manera negativa del hombre, por eso se tomó la decisión de evaluar la calidad hídrica y los diversos microorganismos que está presentes [5].

En Indonesia se realizaron estudios a diversos sistemas de riego en la zona de Yogyakarta en el cual se evidenciaron acumulación excesiva de residuos sólidos en su recorrido, de los cuales 50% eran plásticos, 17.9% residuos biodegradables y 12.3% de basura miscelánea. Durante la evaluación se llegó a identificar la zona como marginal debido al alto riesgo sanitario que presentaba, además de presentar fallas operativas en su recorrido. Incluso, la mala calidad del agua impactó de manera negativa en la productividad agrícola generando conflictos internos entre los agricultores por la falta de iniciativa de las autoridades para un mejor control del agua como los residuos sólidos [6].

El Perú no escapa de esta gran problemática a diversos cuerpos de agua, siendo uno de los principales el río Rímac en Lima debido a que este posee una de las contaminaciones más grandes en el Perú por descargas domésticas, industriales y mineras. Un análisis realizado en el año 2022 por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) dio a conocer una serie de contaminantes como el aluminio 78.1%, plomo 68.4%, hierro 72.8% y materia orgánica 7%, los cuales estos porcentajes sobrepasaban sus límites máximos permitidos. Esta información nos da a entender que refleja gran carga de aguas residuales sin tratar. Además, SEDAPAL dio a conocer que existen 173 conexiones de contaminantes identificados que afecta a la sociedad. Asu vez, en el panorama de coliformes fecales se encontraron una cantidad de 240 millones, sobrepasando el límite máximo que son ≤ 500 MPN/100 ml para agua recreacional según la OMS. Esta situación convierte al Rímac en un cuerpo de agua altamente deteriorado lo que implica que afecte a la salud pública, seguridad hídrica y la infraestructura [7].

Por otra parte, el Río Chili en Arequipa, el cual sus aguas de igual forma como ya las antes mencionadas sirven para el uso agrícola en distritos de Tiabaya y La Joya presentan problemas de contaminación debido a la creciente de la demanda poblacional y por los desperdicios industriales que se vierten en el río. Se presentan basuras, aguas residuales (fecales) que se conducen para el riego de productos agrícolas los cuales se distribuyen en los mercados de la ciudad de Arequipa. Estos productos presentados ocasionaron fiebre tifoidea, cólera, hepatitis y diarreas. Autoridades locales no han evitado la contaminación del río y mucho menos se ha generado mitigaciones para solventar esta problemática, por lo que llevó a denuncias de los regantes, pues ha afectado negativamente en las cosechas [8].

En la ciudad de Chiclayo que es la zona en la que se llevará acabo nuestro análisis tenemos acequias muy afectadas que son importantes para el riego, pero en la que nos centraremos será la acequia de uso agrícola más importante denominada el Cois que cruza por el distrito de José Leonardo Ortiz, la cual se ha convertido en un basural por culpa de los residentes que la usan como vertedero para sus desechos como grasas, aceites e incluso químicos, provocando deterioro del paisaje y olores fétidos. Se encontraron restos de animales en estado de descomposición, heces fecales, grasas, químicos, aceites ya mencionados y un sin fin de contaminantes pertenecientes a las aguas residuales y residuos sólidos [9]. Además, que la acequia representa un foco directo de contaminación a causa de todos los problemas ya mencionados, incluso se ha desbordado en varias

ocasiones, y esto generó preocupación en los ciudadanos debido al exceso de residuos que provoca olores desagradables, afectando la calidad de vida de las personas cercanas a la acequia. La problemática refleja un mal manejo en gestión para la evaluación de las aguas y también en la mala cultura que tienen los pobladores aledaños a la acequia, y a pesar de eso se hace caso omiso al estado actual de la acequia, incluso los mismos habitantes o hasta las autoridades locales son ajenos a esto, y en la actualidad se presenta un impacto ambiental negativo con una inseguridad ciudadana que necesita una solución inmediata [10].

De la misma manera, en el estudio perspectivas del medio ambiente urbano encontraron en las acequias Cois, Yortuque y Pulen conexiones clandestinas de aguas servidas provenientes de viviendas e industrias, así como residuos sólidos que afectan el flujo del canal generando que estos contaminantes ya no cumplan con sus parámetros. Además, presentaron niveles de contaminación fecal elevados de 3000 NMP/100 ml que exceden los límites máximos permisibles que son 1000 NMP/100ml, lo que ocasiona un foco de infección peligroso para la salud de la población [11]. En un estudio realizado por la universidad Pedro Ruiz Gallo, encontraron concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), coliformes, metales en elevadas cantidades que no cumplen con los límites máximos permitidos brindados por el ministerio del ambiente [12]. Además, se menciona que en la acequia Cois por la Avenida Augusto B. Leguía, se han encontrado mayor contaminación proveniente de viviendas y negocios que se presentan por todo su recorrido, lo que ha generado una molestia en los ciudadanos [13].

En ese contexto, el siguiente proyecto pretende realizar una investigación sobre el análisis del transporte de estos contaminantes en el recorrido de la acequia cois y se evaluará la simulación mediante el software Storm Water Management Model o por sus siglas SWMM conjunto con ayuda de técnicas de fitorremediación. Debido a eso, se verifica si ¿Se puede caracterizar y mitigar el transporte de contaminantes en la acequia cois del distrito de José Leonardo Ortiz?

Este proyecto se justifica teóricamente, debido a que contribuirá al campo de la ingeniería civil, pues el software SWMM podrá generar conocimientos sobre la correcta modelación y aplicación de herramientas hidrológicas a sistemas de canales de irrigación. Además, el software SWMM puede verificar la dispersión de los contaminantes, identificando puntos de acumulación en su recorrido. A su vez el realizar este estudio

podrá establecer una base para discusiones en diferentes investigaciones o aplicaciones con el modelado sobre canales en ciudades que pasan la misma problemática que Chiclayo [14]. Este enfoque enriquecerá la literatura sobre modelación en sistemas abiertos como la acequia cois que es de uso agrícola.

Desde una perspectiva práctica, este proyecto de investigación proporciona herramientas accesibles para la ingeniería civil al emplear el software hidráulico SWMM para simular cómo se comporta los contaminantes en el recorrido de la acequia cois, calibrando con datos de muestreos de agua y así poder generar escenarios hidrológicos que guíen a la intervención del canal. Además, la realización del modelado permitirá evaluar escenarios a intervenir lo que proporcionará protocolos de seguimiento que las autoridades podrán realizar, incluso ayudará con problemáticas similares en otras regiones [14].

De una manera social, la investigación ayudará a como mitigar impactos en la salud y en la población del distrito de José Leonardo Ortiz. La identificación de puntos críticos ayudará a una correcta intervención como la eliminación de vertidos ilegales, reduciendo así problemas sanitarios asociados a enfermedades transmitidas por el agua contaminada, además de proteger a los habitantes se fomentará una buena gestión para el cuidado de la acequia. Estas acciones promueven participaciones comunitarias, fortaleciendo la vida útil a recursos hídricos y contribuyendo a mejorar la calidad de vida y productividad agrícola en el sector [15].

En la parte Ambiental, su relevancia es altamente importante debido a que la mitigación de los contaminantes en exceso protege ecosistemas acuáticos, cumpliendo los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua de riego. Incluso, propuestas como el uso de las técnicas de fitorremediación demuestran que hay reducciones hasta el 70% de cargas orgánicas y nutrientes en un flujo dinámico como es el caso del río Chicago. Estas técnicas ayudan a mejorar la calidad del agua y sin un impacto estructural, ofreciendo así una solución sostenible para cuerpos de agua contaminados [16].

Por ello, se planteó el objetivo general de la investigación: Análisis del transporte de la acequia cois en el distrito de José Leonardo Ortiz. Asu vez, los objetivos específicos son: Identificar los principales contaminantes presentes en la acequia Cois y factores que influyen en su persistencia por medio de ensayos, Realizar una simulación del comportamiento de contaminantes presentes en la acequia Cois utilizando el software Storm Water Management Model, Determinar los puntos de acumulación de

contaminantes en la acequia Cois con ayuda del modelado y análisis de datos, Proponer estrategias de mejora para mitigar la acumulación de contaminantes, considerando soluciones basadas en el rediseño del canal y con técnicas de fitorremediación y Desarrollar un plan de monitoreo continuo y protocolos de seguimiento para garantizar la sostenibilidad del canal y prevenir acumulación de contaminantes.

Revisión de Literatura

Antecedentes

Antecedente Internacional

Nayeb et al. [17] en su investigación realizada en la Universidad Maryland y titulada “Caracterización de la calidad del agua de escorrentía pluvial y de riego de un vivero de contenedores” en Estados Unidos en el año 2019, tuvo como objetivo simular la calidad de agua mediante el software SWMM y estimar las cargas de contaminantes de SST (sólidos suspendidos totales), NT (nitrógenos totales) y PT (fósforos totales) para caracterizar el escurrimiento de irrigación y tormentas de la calidad de agua presente en una guardería de contenedores. La metodología realizada incluyó toma de muestras de agua en diferentes horarios en un vivero de 4 hectáreas, análisis químico de estos y modelación con el software SWMM con datos de caudal y precipitaciones de 10 años (2008-2018) siguiendo a su vez parámetros hidráulicos como rugosidad y pendiente. Los resultados de dicha investigación identificaron que el uso del software dio resultados positivos a la calidad de agua con concentraciones medias de evento de lluvia de 30 mg/L para los SST, 3.1 mg/L para NT y 0.35 mg/L para PT y para tormentas fue de 880 mg/L para SST, 3.1 mg/L para NT y 0,46 mg/L para PT, esto basándose en una simulación de 10 años. Las conclusiones destacaron que la simulación con el software SWMM es apto para demostrar cargas de contaminantes en un sistema de irrigación, facilitando de esta manera diversas planificaciones de calidad de agua en contextos agrícolas similares.

Pittman IV [18] en su tesis “Modelado de hidrología urbana con el modo de gestión de aguas pluviales del EPA” elaborado en la universidad de Villanova, Estados Unidos. Su objetivo principal fue el evaluar la capacidad de modelar el comportamiento hidrológico urbano con ayuda del software Storm Water Management Model (SWMM) del EPA, resaltando en el transporte de sedimentos y contaminantes en canales, analizando como acumulación y erosión en sistemas urbanos afecta el flujo, proponiendo ajustes hidráulicos para mitigar los impactos ambientales. La metodología que se realizó

involucró recopilación de campo como parámetros hidráulicos (pendiente, número de Manning, geometría del canal), precipitaciones, configuraciones con subcuencas, conductos, datos observados y simulación de escenarios de eventos de lluvia para determinar los transportes de sedimentos. Los resultados demostraron que el software SWMM predice con precisión el transporte de sedimentos, con reducciones de erosión en 40%-60% al ajustar parámetros hidráulicos, lo que además identificó puntos de acumulación en tramos donde el flujo no alcanza capacidades máximas y simulando condiciones parcialmente secas generando focos de contaminación. Las conclusiones recalcan que el uso de este software es robusto para modelar el transporte de contaminantes en canales urbanos, recomendando siempre la calibración correcta de los datos de campo y promoviendo a su uso en gestión sostenible.

Antecedente Nacional

Narro [19], en tu tesis “Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM”, elaborada en Lima en el año 2021 tuvo como principal objetivo el diseñar un sistema de drenaje urbano con ayuda del software Storm Water Management Model (SWMM) para mitigar inundaciones y verificar como es el transporte de sedimentos en canales abiertos, además de propuestas hidráulicas para tratar el agua en áreas vulnerables a través de una correcta gestión. La metodología que utilizaron fue la recopilación de datos hidráulicos (precipitaciones, caudal, número de Manning, pendiente), configuraciones de SWMM con 15-20 subcuencas para que el contaminante puede simularse, conductos y nodos, calibración con épocas de lluvia ($NSE > 0.8$, $RMSE < 15\%$) y simulaciones de tormentas. Los resultados obtenidos resaltan que el software SWMM indicó 3 hotspots críticos siendo C-12 (Longitud 650 m, caudal bajo $3\text{m}^3/\text{s}$) riesgo alto por pendiente $< 0.2\%$, C-05, C-18 (Longitud 400-500m) riesgo moderado por obstrucción. Además, los caudales picos ($5\text{-}15\text{ m}^3/\text{s}$) en canales modificados lograron disminuir las inundaciones en 70%, incluso ajustes de rugosidad y pendiente fueron efectivos para una mejora en estos canales, identificando además tramos críticos de acumulación de SST en zonas con pendientes bajas como las mencionadas. Las conclusiones destacan el uso del SWMM como una herramienta hidráulica efectiva para prevenir acumulación de contaminantes mediante una buena calibración de datos, recomendando su uso en canales de irrigación y mantenimiento para optimizar el flujo y mitigar impactos hidráulicos.

Ballón [20] , en su tesis “Fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie *Eichhornia crassipes* en el distrito de Yara bamba” elaborada en Arequipa en el 2021, determinó la eficiencia del uso de las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* con la técnica de fitorremediación para la limpieza de las aguas residuales domésticas, usaron la planta de la especie *crassipes*. La metodología que siguieron resultó de un enfoque cuantitativo y un diseño experimental y a su vez tomaron como muestra 26 litros de agua. Los resultados que se obtuvieron durante el estudio fueron: DBO5 270 mg/L, DQO 373.3 mg/L, SST 53163 mg/L, pH 7.05, Temperatura 22.2 °C y conductividad eléctrica 2105 $\mu\text{S}/\text{cm}$; asimismo, los porcentajes de remoción fueron de 92.7% de DBO5, 77.3% de DQO, 96.3% de SST y un 8.55% de la temperatura. Se pudo comparar cada uno de los parámetros analizados y después de su tratamiento con las plantas, indicando una variedad significativa de sus parámetros. Concluyeron que, el uso de estas plantas fue realmente efectivas para el mejoramiento del recurso hídrico, mejorando la calidad de vida y reduciendo contaminantes que afecten a nuestra sociedad.

Flores [21], en su tesis “Análisis de una red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Jequetepeque” elaborada en Lima tuvo como objetivo principal el realizar un monitoreo de calidad del agua del río Jequetepeque, para determinar la eficacia en gestión de contaminantes como sólidos suspendidos totales (SST), nitrógenos totales (NT), fósforos totales (PT) en canales de irrigación, proponiendo así seguimientos para mejorar la sostenibilidad en tramos críticos. La metodología comienza con la recopilación de datos históricos de calidad del agua (muestreos en distintos puntos), análisis del muestreo obtenido, calibración con estándares de calidad ambiental (ECA) y diseñando protocolos de monitoreo trimestral/mensual en tramos de mayor peligro. Los resultados mostraron que 4 grupos de parámetros (conductividad, SST, coliformes y elementos trazas) definieron la calidad para así reducir errores de estimación en 30%-40% al priorizar puntos estratégicos. Las conclusiones mencionan que un correcto monitoreo puede optimizar la prevención de contaminación en canales y propones mantenimiento a zonas vulnerables.

Antecedente Local

Cheros y León [22], en su tesis “Fitorremediación utilizando *Azolla filiculoides* para la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo” elaborada en el año 2021 propone el uso de la técnica de fitorremediación utilizando *Azolla Filiculoides* que es una planta acuática que ayuda a la remoción de contaminantes como

el plomo presente en aguas residuales. La metodología que usaron fue determinar las características de la acequia antes y después de aplicarse esta técnica y poder identificar cuanto porcentaje de contaminantes eliminó. Se elaboró en distintos días los cuales dividió en 5 días, 10 días y 15 días para comparar como varían los niveles de contaminantes una vez aplicada la técnica de fitorremediación. Los resultados fueron beneficiosos pues la planta acuática *Azolla Filiculoides* pudo remover el 65% de los contaminantes presentes en las aguas de la acequia Cois, además de que mejoró los niveles de Ph en el agua que se obtuvo como muestra y no solo eso, sino también contaminantes como nitratos, nitritos, DBO, DQO e incluso parámetros parasitológicos que llega a tener una eficiencia de remoción del 72%. Se concluyeron que el estudio realizado es altamente efectivo para disminuir diferentes niveles de contaminantes pero resaltando el contaminante proveniente de un metal pesado (plomo) de las aguas residuales de la acequia Cois.

Solano [23], en la investigación titulada “Comparación de la eficiencia de *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000” elaborada en Chiclayo, utilizaron las técnicas de fitorremediación para la adsorción de contaminantes, se evaluó mediante especies como *Polylepis* sp, *Azolla filiculoides* y *Pistia stratiotes* para mejorar la calidad del agua y mejorar su distribución de especies. Mediante ensayos físico-químico se demostró que, la utilización de la *Azolla filiculoides* se pudo remover DBO, aceites y grasas y nutrientes. Los ensayos consistieron en dejar reposar por 5, 14, 21 días respectivamente las plantas mencionadas en muestras de agua. Se logró una eficiencia de remoción entre el 83.7% para DBO, 81.2% turbidez y 81% para aceites y grasas, entre otros parámetros asociados a estos, por lo que la *Azolla filiculoides* puede llegar a tener una alta eficiencia del 80%.

Rodas [24], en la investigación titulada “Eficacia de la fitorremediación de las aguas residuales del dren 2210 utilizando lentejas de agua (*lemna minor*)”, se realizada en las aguas residuales del dren 2210 utilizando lentejas de agua que es una macrófita acuática que ayuda a remover contaminantes de estas aguas. El estudio se realizó mediante un diseño no experimental, descriptivo en donde se recolectó 15 litros de agua residual del dren ubicado en Lambayeque y se trató durante 3 semanas (5 días, 15 días, 25 días) en una pecera simulando las condiciones ambientales naturales. Su metodología fue medir parámetros físicoquímicos como pH, turbidez, DBO, DQO. Sus resultados fueron favorables debido a que se redujeron de manera significativa los contaminantes

encontrados, siendo un 46.8% el DBO Y 41.2% en DQO. Lo que se concluyó es que la utilización de esta macrófita fue muy favorable y eficaz, además de económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en un cuerpo de agua, cumpliendo así los parámetros dados por el MINAM.

Bases Teóricas - Científicas

Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

El manual nos habla sobre parámetros hidrológicos e hidráulicos el cual será de ayuda para nuestro proyecto de investigación, incluso, en proyectos de drenaje pues es una herramienta práctica para seleccionar los criterios adecuados según la obra de drenaje [25].

Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico

El manual nos habla sobre modelos hidráulicos y la importancia de poder manejarlos para identificar los transportes en canales, mencionando parámetros para el número de Manning y pendientes [26].

Ley N°28611: Ley General del Ambiente

Esta ley es clave para cualquier tema relacionado con la protección ambiental y el manejo de recursos naturales, centrándonos en la parte de la calidad del agua y su entorno, lo cual es importante para preservar un entorno saludable y así contribuir al desarrollo sostenible del país pues toda persona tiene derecho a un ambiente adecuado para vivir [27].

Ley N°28804: Ley que Regula la Declaratoria de Emergencia Ambiental

Esta ley regula la declaración de emergencias ambientales. El objetivo es mitigar el impacto en la comunidad afectada, colaborando con autoridades y/o entidades para reducir estos efectos negativos [28].

Ley N° 29338: Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos

La ley del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos es parte del Sistema Nacional de Gestión ambiental, que conforma entidades reguladoras de principios y normas. Además, menciona las principales herramientas y parámetros necesarios para

gestionar la calidad del agua y así poder conservarla, e incluso el estado forma parte de este desarrollo de protección y de disposición de los recursos hídricos para su conservación por medio de una participación integrada [29].

Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (DL N°1278)

Nos menciona el manejo de los residuos sólidos como es la minimización de residuos, reaprovechamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición. Esta ley da a conocer las principales fuentes donde se genera estos residuos, sectores económicos, sociales y de la misma población [30].

Ley General de Salud N°26842

Nos menciona sobre la responsabilidad que recae en las personas que incumplen las prácticas sanitarias como acto de contaminación ambiental. Además, habla sobre la protección del medio ambiente y que ya sea persona natural o jurídica esta no tiene la autorización para descargar desechos o sustancias que contaminan, el agua, aire o suelo sin saber las consecuencias que se puedan generar [31].

Ley Orgánica Municipal N° 27972

En el Artículo 80 de esta ley nos menciona las funciones que debe cumplir la municipalidad para regular y controlar un número de contaminantes como desechos sólidos o vertimientos industriales.

Ministerio del Ambiente del Perú

Según el Ministerio del Ambiente del Perú y organismos que conforman el sistema de Gestión Ambiental mencionan que, los límites máximos permitidos son medidas o parámetros sea físicos, químicos y biológicos donde no se pueden exceder para evitar causar daños a la salud o a los ecosistemas [32].

TABLA I
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes
Aceites y Grasas	mg/l	20
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	100
pH	unidad	6.5-8.5

Sólidos Suspendidos	mg/l	150
Temperatura	°C	<35

La Tabla I presenta los Límites Máximos Permisibles (LMP) para distintos parámetros en los efluentes, con el objetivo de controlar la contaminación hídrica y asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales [32].

Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor [33].

Norma internacional ISO 14001: Sistema de gestión ambiental 2015

Con ayuda de esta norma internacional podremos organizar de mejor manera la gestión ambiental presente en las acequias de la ciudad de Chiclayo, proponer objetivos e información requerida para salvaguardar el ambiente.

De manera general, esta norma apoya la protección del ambiente y previene la contaminación debido a las necesidades sociales y económicas que presenta nuestro país en general [34].

Canal de Riego (Acequia)

Son conductos en el cual el fluido transita con una superficie liberada. Estos canales pueden resultar ser artificiales o naturales, estos a su vez pueden ser canales para navegación, de vertederos o hasta centrales hidroeléctricas. A la vez, estos canales suelen estar revestidos por concreto, piedra o incluso madera [35].

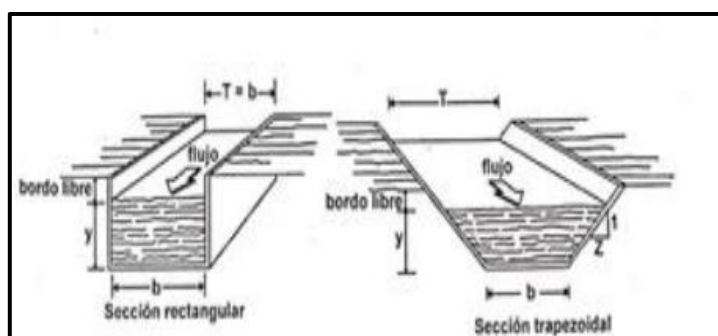


Fig. 1. Tipos de secciones [35]

Elementos geométricos de la sección transversal del canal

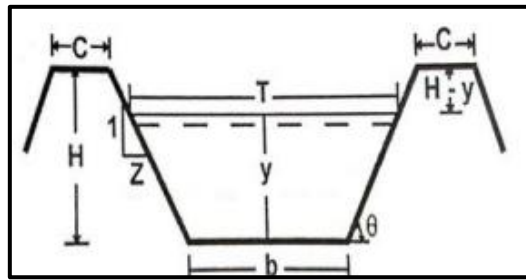


Fig. 2. Figura típica de una sección de canal [35]

Donde:

- b = Ancho de la base del canal
- H = Profundidad del canal
- y = Fondo máximo, llamado también como tirante
- $H-y$ = Borde libre
- C = Ancho de la corona
- T = Ancho libre, llamado espejo de agua
- Z = Es la relación de las proyecciones horizontales y verticales, llamado talud.
- ω = Ángulo de la relación del talud.

Relación geométrica del canal

- **Sección rectangular**

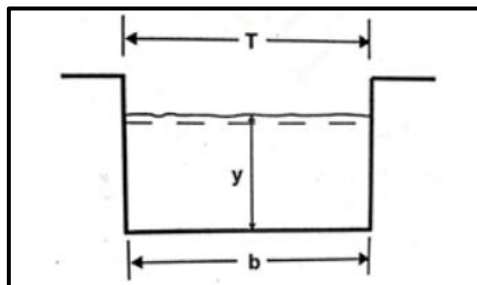


Fig. 3. Sección rectangular [35]

$$T=b$$

$$P = b+2y$$

$$A= by$$

$$R= by/(b+2y)$$

Donde:

- T=base
- P= perímetro de la sección
- A= Área (m²)
- R= Radio hidráulico

Tipo de flujo en el canal

Para este apartado usaremos el número de Froude para evidenciar que tipo de flujo será nuestro canal [35].

$$F = \frac{v}{\sqrt{gy}} = F = \frac{v}{\sqrt{gA/T}} \quad y = \frac{A}{T}$$

- Si $F < 1$, el flujo es subcrítico (lento y controlado)
- Si $F = 1$, el flujo es crítico (equilibrado)
- Si $F > 1$, el flujo es supercrítico (rápido)

Donde:

- V= velocidad (m/s)
- g= aceleración (m²/s)
- L= longitud de sección (m)
- A= Área (m²)
- y= Tirante (m)

Pendiente

Se le llama pendiente a la inclinación necesaria que posee el canal para la circulación adecuada del flujo [35].

Tirante

Se le llama tirante a la distancia o longitud máxima del fluido en el canal [35].

Eficiencia Hidráulica

Es la capacidad de captación, conducción y distribución que se realiza en el fluido del área de suministro y las capacidades existentes en un sistema. [35].

Estimaciones del caudal

Existen múltiples métodos para verificar los caudales y para ello debemos verificar en la TABLA II los más utilizados y con mejor exactitud, el cual nos servirá para un mejor entendimiento del canal Cois. Además, El ministerio de Agricultura y Riego nos menciona que, el caudal es el flujo líquido que pasa por una sección transversal en un determinado tiempo [36].

TABLA II
MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL EN CANALES

Método	Caudal	Exactitud	Equipo
Rápido y aproximado	Pequeño	Una aproximación	Ninguno
Cubo	Muy pequeño	Grande	Presa, tubo, cubos
Flotador	Pequeño-Grande	Mediana	Flotador, estacas, vara de medir

Coefficiente de Manning

En este apartado observamos los valores del coeficiente “n” para los diferentes canales que existen. Además, se presentan los valores malos, medianos, buenos y perfectos respectivamente [37].

TABLA III
COEFICIENTES DE MANNING (COEFICIENTE DE RUGOSIDAD)

Superficie	Condiciones de las Paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malos
Tubería de latón	0.009	0.01	0.011	0.013
Tubos comunes de barro para drenaje	0.011	0.013	0.015	0.017
Superficie de cemento pulido	0.01	0.011	0.012	0.13
Tuberías de concreto	0.012	0.013	0.015	0.016
Canales revestidos de concreto	0.012	0.014	0.016	0.018

Acueductos semicirculares metálicos	0.0225	0.025	0.0275	0.03
Tuberías de concreto	0.012	0.013	0.015	0.016
Canales y zanjas:				
En tierra, alineado	0.017	0.02	0.0225	0.025
En rocas, lisos y uniformes	0.025	0.03	0.033	0.035
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025	0.0275	0.03
Corrientes naturales				
Limpios, bordes rectos, llenos, sin hendiduras	0.025	0.0275	0.03	0.033

La tabla presenta los coeficientes de Manning (n) para distintas superficies, según el estado de sus paredes (perfectas, buenas, medianas y malas) [37].

Aguas Residuales

Según el organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental (OEFA) las aguas residuales son aquellas aguas que han sido modificadas por diferentes actividades humanas y que requieren un tratamiento para su reutilización [38].

- Clasificación de aguas residuales
 - Domésticas: Compuestas por desechos fisiológicos de origen residencial y comercial provenientes de actividad humana [38].
 - Industriales: Resultan de un proceso productivo incluyendo actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras [38].
 - Municipales: Aquellas aguas domésticas y de drenaje industrial, que ha sido tratadas previamente antes de ser dirigidas a los sistemas de alcantarillado [38].

Componentes de las aguas residuales

Los componentes presentes en estas aguas pueden ser físicos, químicos y biológicos, donde encontramos diferentes parámetros mostrados en la TABLA IV [39].

TABLA IV
COMPONENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES

Agua Potable	Físicos	Químicos	Biológicos
99.80%	Color	O ₂	Bacterias
	Olor	CO ₂	Bacterias
	Sólidos	H ₂ S	Micro y macroorganismos
	Temperatura	N ₂	Virus

Presenta los principales componentes presentes en las aguas residuales, clasificados en tres categorías: físicos, químicos y biológicos [39].

Contaminantes en aguas residuales

Aquellos elementos o componentes que afectan las aguas, su rendimiento y su composición debido a la creciente de la urbanización y procesos industriales que contaminan estos cuerpos de agua. Se presentan contaminantes en la TABLA V [39].

TABLA V
CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES

Residuos sólidos	Grasas animales
DBO	Gases
Acidez	Nutrientes
Grasas y Aceites	Componentes orgánicos persistentes
SST	Sedimentos

Presenta los principales contaminantes que afectan la calidad de las aguas residuales, los cuales son resultado de actividades humanas, especialmente por el crecimiento urbano descontrolado y los procesos industriales [39].

Residuos Sólidos

El Ministerio del Ambiente nos menciona que estos residuos sólidos son objetos, materiales, sustancias o elementos que resultan del consumo o uso de un servicio ya sea

plástico, basura y otros desechos que pueden obstruir el flujo del agua y así generar contaminación [40].

Sedimentos

Los sedimentos son acumulaciones que se ubican en el fondo de un lecho de río, arroyo, lago y acequias, los cuales interfieren en el flujo del agua, lo que genera una mayor carga de contaminantes. Estos contaminantes incluyen diversos productos químicos que se vierten directamente en estos cuerpos de agua por los pobladores cercanos a estos [41].

Ensayos de calidad de Agua

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El ensayo se realiza durante 5 días en una incubadora y es la cantidad de oxígeno que llega a consumir un microorganismo para descomponer la materia orgánica en una muestra de agua [42].

- **Finalidad:** Evalúa en qué estado de contaminación está el cuerpo de agua [42].
- **Procedimiento del ensayo**
 1. **Preparación de la muestra**
 - ✓ Recolectar la muestra en frascos limpios, sin burbujas de aire.
 - ✓ Analizar preferentemente dentro de 6 horas.
 2. **Medición de Oxígeno Disuelto inicial**
 - ✓ Usar un oxímetro calibrado o método de Winkler modificado.
 - ✓ Medir el oxígeno disuelto (OD inicial).
 3. **Incubación**
 - ✓ Colocar la muestra en frascos especiales para DBO, llenándolos completamente (sin burbujas).
 - ✓ Incubar durante 5 días a $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, en oscuridad (para evitar fotosíntesis).
 4. **Medición de Oxígeno Disuelto final**
 - ✓ Después de 5 días, medir nuevamente el oxígeno disuelto (OD final).
 5. **Cálculo**
 - $\text{DBO}_5\text{ (mg/L)} = \text{OD inicial} - \text{OD final}$

Sólidos Suspendedos Totales (SST)

El ensayo se realiza para encontrar sólidos en el cuerpo del agua o en una muestra de esta que pueden ser retenidas mediante una filtración. Es importante debido a que, la presencia de estos contaminantes puede dañar u obstruir ya sea la infraestructura de un canal y afectar la calidad del agua [43].

- **Finalidad:** Permite evaluar la carga de sólidos que afectan la claridad del agua y su tratamiento posterior [43].
- **Procedimiento del ensayo**
 1. **Preparación de material**
 - ✓ Usar un filtro de fibra de vidrio (pore size 1,5 micras o menor).
 - ✓ Secar el filtro a 103–105 °C hasta peso constante.
 2. **Filtración de la muestra**
 - ✓ Tomar un volumen conocido de agua (por ejemplo, 100 mL).
 - ✓ Filtrar usando una bomba de vacío.
 3. **Secado**
 - ✓ Llevar el filtro con el residuo al horno y secar a 103–105 °C durante al menos 1 hora.
 - ✓ Enfriar en desecador.
 - ✓ Pesar el filtro.
 4. **Cálculo**
 - ✓ $SST \text{ (mg/L)} = (\text{peso final del filtro} - \text{peso inicial del filtro}) \times (1000) / \text{volumen de muestra (mL)}$

Aceites y Grasas

Este ensayo es importante debido a que separa las grasas o aceites del agua mediante un proceso de extracción. Estas dificultan el paso de oxígeno en el cuerpo del agua y afectan a su calidad [44].

- **Finalidad:** Separar las grasas o aceites para determinar las necesidades de tratar o remediar la calidad del agua [44].
- **Procedimiento del ensayo**
 1. **Extracción**
 - ✓ Tomar un volumen medido de muestra (generalmente 1 litro).
 - ✓ Realizar una extracción líquida-líquida usando un disolvente como hexano o éter de petróleo.

- ✓ Agitar vigorosamente para transferir aceites y grasas al disolvente.
- ✓ Separación
- ✓ Dejar reposar y separar la fase orgánica (que contiene las grasas).
- 2. **Evaporación del disolvente**
- ✓ Transferir la fase orgánica a un matraz previamente pesado.
- ✓ Evaporar el disolvente a baño María (temperatura menor a 80 °C).
- 3. **Secado y pesado**
- ✓ Secar en horno a 40–60 °C hasta peso constante.
- ✓ Enfriar en desecador y pesar.
- 4. **Cálculo**
- ✓ Aceites y Grasas (mg/L) = (peso del residuo × 1000) / volumen de muestra (mL)

pH

Este ensayo se realiza para determinar el grado de contaminación por materia orgánica y de destrucción de sustancias orgánicas, siendo crucial para verificar la calidad del agua [45].

- **Finalidad:** Conocer si el agua llega a ser ácidas, neutras o básicas, y evaluar su idoneidad para diferentes usos [45].
- **Procedimiento del ensayo**
 1. **Método:** Potenciómetro (medidor de pH digital)
 2. **Procedimiento:**
 - ✓ Calibrar el medidor de pH con soluciones patrón (generalmente pH 4.00, 7.00 y 10.00).
 - ✓ Enjuagar el electrodo con agua destilada antes de cada medición.
 - ✓ Sumergir el electrodo en el agua de muestra (asegúrate de que cubra el bulbo).
 - ✓ Esperar a que la lectura sea estable.
 - ✓ Registrar el valor de pH.
 1. **Frecuencia de calibración:** Al menos una vez por día de uso.
 2. **Precauciones:** Nunca dejar que el electrodo se seque; mantenerlo almacenado en solución de almacenamiento.

Turbidez

El ensayo es importante para determinar la claridad del agua con las partículas suspendidas del agua [45].

- **Finalidad:** Valorar la claridad del agua [45].
- **Procedimiento del ensayo**
 1. **Método:** Nefelometría (uso de turbidímetro)
 2. **Procedimiento:**
 - ✓ Enjuagar el frasco del turbidímetro 2-3 veces con agua de muestra.
 - ✓ Llenar el frasco hasta el nivel marcado (sin burbujas).
 - ✓ Limpiar por fuera el frasco con un paño seco o gasa.
 - ✓ Insertar el frasco en el turbidímetro.
 - ✓ Leer directamente la turbidez en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).
 1. **Frecuencia de calibración:** Antes de cada serie de mediciones, usar patrones de turbidez conocidos
 2. **Precauciones:** Evitar agitar fuerte el frasco, no tocar la parte óptica.

CUADRO SOBRE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUA DE RIEGO AGRÍCOLA.

TABLA VI
TABLA SOBRE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUA DE RIEGO AGRÍCOLA

Parámetro	Límite Máximo Permissible	Unidad	Fuente / Norma
DBO ₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	≤ 100	mg/L	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (Perú)
SST (Sólidos Suspendidos Totales)	≤ 150	mg/L	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (Perú)
pH	6.5 – 8.5	-	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (Perú)

Parámetro	Límite Máximo Permisible	Unidad	Fuente / Norma
Aceites y Grasas	≤ 20	mg/L	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (Perú)
Turbidez	≤ 5	NTU	Estándar Internacional WHO / FAO para agua de riego

Fitorremediación

Las técnicas de fitorremediación son ampliamente utilizadas para el tratamiento de aguas residuales relacionadas de manera directa en la parte de la Ingeniería Civil, produciendo un mejor desempeño de estas aguas y sobre todo para que la remoción de contaminantes antes de la descarga final sea más efectiva. Es una técnica económica y ambientalmente favorable [46].

Sistemas de fitorremediación acuática

Según el manual de fitodepuración, filtros de macrofitas en flotación tenemos los siguientes sistemas que son [47]:

- **Humedales construidos:** Vegetación con gran capacidad para realizar la fotosíntesis y su crecimiento [47].
- **Plantas acuáticas flotantes:** Se coloca plantas acuáticas para tratar aguas contaminadas [47].
- **Sistema de rizo filtración:** Uno de los sistemas más eficientes por su uso en sectores agrícolas, textiles, azucareros o metalúrgicos, eliminando contaminantes [47].

Tecnologías de Fitorremediación

TABLA VII
TECNOLOGÍAS DE FITORREMEDIACIÓN

Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitodegradación	Uso de plantas acuáticas para la remoción de contaminantes en un cuerpo de agua	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y eliminar contaminantes provenientes de un cuerpo de agua.	Orgánicos e inorgánicos

Muestra dos tecnologías de fitorremediación utilizadas para la limpieza de cuerpos de agua contaminados. Estas técnicas aprovechan las propiedades naturales de ciertas plantas para remover contaminantes [48].

Eficiencia de la Fitorremediación

La utilización de esta técnica por medio de macrofitas para la remoción de contaminantes de las aguas residuales resulta de una alta eficiencia debido a que estudios realizados en laboratorios demostraron que las distintas especies de plantas que se usan para esta técnica pueden remover hasta un 70% de distintos parámetros o contaminantes incluyendo DBO, DQO, SST, nitrógeno y fósforo [48].

Macrofitas Acuáticas

Las macrofitas son plantas acuáticas de tamaño notorio que pueden crecer en cuerpos de agua como ríos, lagunas, humedales, acequias o incluso en estanques. Este tipo de plantas pueden estar sumergidas, flotando o enraizadas. Su función principal es equilibrar el ecosistema acuático ya que permite mejorar la calidad del agua y son utilizadas en procesos de depuración de aguas residuales en algunas plantas de tratamiento [49].

Lemna minor o lenteja de agua

Esta planta acuática es usada en procesos para la remoción de distintos contaminantes presentes en un cuerpo de agua con presencia de aguas residuales, estas poseen una gran tasa positiva de eliminación, además tienen facilidad económica y ambiental. Con ayuda de diversos ensayos se demostró la gran eficiencia que se tiene para eliminar sustancias orgánicas e inorgánicas [50].

TABLA VIII
TAXONOMÍA LEMNA MINOR

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Liliosida
Orden	Arales
Familia	Lemnáceas
Género	Lemna

Presenta la clasificación taxonómica de Lemna minor, una planta acuática conocida como lenteja de agua [50].

Software Storm Water Management Model

El Storm Water Management Model (SWMM, por sus siglas en inglés) es un modelado de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, el cual se usa para el análisis y diseño relacionados a sistemas de drenaje sea alcantarillados, por escorrentía de aguas pluvias, canales, entre otros. El software SWMM puede evaluar mitigaciones para el control de aguas, es una herramienta útil en el campo de la Ingeniería Civil. Además, se puede introducir datos sobre el comportamiento del flujo del agua por medio de diversos parámetros, lo que incluye un análisis de los contaminantes. El SWMM se desarrolló para ayudar al deterioro de los cuerpos de agua debido a las descargas que presentan contaminantes y se pueden gestionar las aguas pluviales locales, estatales y nacionales y resulta una herramienta útil en el campo de la ingeniería. A su vez, puede adaptarse a ciertas condiciones para la trabajabilidad de este por medio de canales abiertos

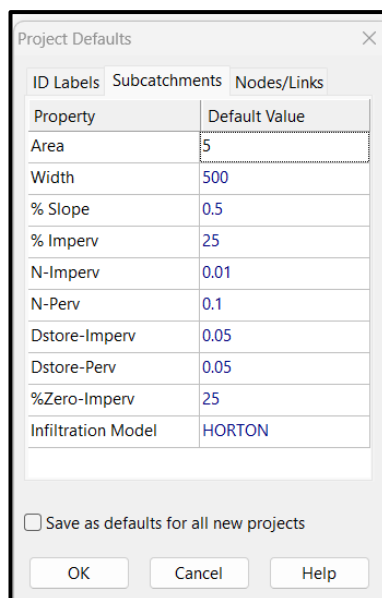


Fig. 6. Opciones por defecto [51].

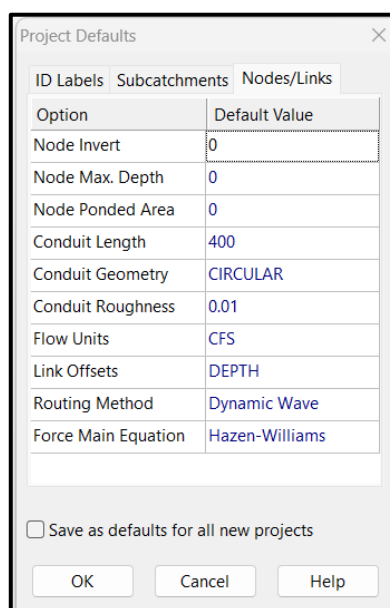


Fig. 7. Opciones por defecto [51].

Características de modelación con el software SWMM

Debemos tener en cuenta que originalmente el software SWMM fue diseñado para una simulación de sistemas de drenajes urbano (pluviales y sanitarios), pero bajo ciertos parámetros se puede adaptar para el diseño de un flujo abierto como es el caso de las canales (acequias) [52].

Las principales características que se adaptan al estudio son:

- Representación geométrica de la acequia, es decir secciones tanto rectangulares, trapezoidales o transversales en algunos casos.
- Parámetros hidráulicos como la rugosidad (coeficiente de Manning), pendiente, profundidad, longitud, área, caudales, velocidad, concentración de contaminantes.
- Registro de resultados a lo largo de un tiempo determinado.
- Simulación debido a cargas contaminantes presentes en el canal y determinar puntos de entradas ya sea de aguas servidas u otras fuentes.

Ventajas del uso del software SWMM

Se presentará las siguientes ventajas [53]:

- Gratuito para el uso de cualquier estudiante o profesional relacionado con la carrera de ingeniería civil.
- Define propiedades hidráulicas bajo condiciones para la elaboración de un canal abierto.
- Simulación hidráulica de la calidad del agua (sistemas de drenaje), bajo ciertos parámetros se puede simular un canal abierto (acequia).
- Modelación de tramos extensos y complejos (aplicación de nodos).
- Representación gráfica y tablas.
- Realizar escenarios con diferentes contaminantes del agua.

Aplicaciones del software SWMM en el estudio de acequias

Las siguientes aplicaciones se adaptaron para la elaboración de un canal abierto [54]:

- Se puede evaluar el transporte de contaminantes (DBO, SST, metales) para un cuerpo de agua como un canal de riego (acequia).
- Puede analizar el comportamiento hidráulico del flujo dependiendo los tramos asignados.
- Simulación del efecto producido por aguas residuales o similares.
- Identificación de zona crítica
- Simulación del efecto de descargas puntuales de aguas residuales o basura en puntos intermedios.

- Permite identificar mediante análisis hidráulicos, zonas donde pueda presentar condiciones críticas por rebose o acumulación de contaminantes.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en la acequia Cois, ubicada en el distrito de José Leonardo Ortiz, provincia de Chiclayo, región Lambayeque. Los materiales utilizados incluyeron:

- Software: Storm Water Management Model (SWMM 5.1.015), desarrollado por la EPA, para simular el transporte de contaminantes y el comportamiento hidráulico EPA, 2015. Se ejecutó en un equipo con procesador Intel Core i5, 8 GB RAM y Windows 10 [52].

Datos de entrada:

- Hidráulicos: Pendiente, rugosidad, caudal y geometría del canal, obtenidos de levantamientos topográficos y reportes locales Municipalidad.
- Calidad del agua: Concentraciones de sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo total.

Tipo y nivel de investigación

Dentro de la metodología encontramos las características del objetivo de estudio, por ello se mostrará una serie de investigaciones o más. Este apartado servirá para comprobar si realmente lo propuesto pueda dar soluciones a problemas reales presentes en la acequia cois.

La tesis en mención se realizará mediante una investigación **descriptiva-explicativa** debido a que se tiene como objetivo comprender a detalle como es el análisis del transporte de contaminantes en la acequia cois, pues se centra en explicar las causas que originan el problema. La investigación a su vez no solo es describir la situación actual de la acequia, sino demostrar los problemas que se generan por estos contaminantes presentes y que con ayuda del software SWMM podremos darle soluciones a dicha problemática [55].

La investigación se cuenta con nivel **cuantitativa**, pues se hará una recopilación y análisis de datos de los contaminantes presentes en la acequia Cois, empleando diversas herramientas sea estadísticas, informáticas e incluso matemáticas con el fin de obtener resultados [55]. Su enfoque cuantitativo nos ayudará a explicar de manera detalla y

fundamentada los resultados obtenidos de las simulaciones con el software SWMM y así poder generar una mejor interpretación.

El diseño de la investigación tendremos varios apartados como investigación experimental, no experimental y las cuasiexperimentales [55]. La presente investigación tiene un diseño **no experimental** debido a la no intervención directa en el sistema. Se aplicó factores de estudio, variables e hipótesis a comprobar, ensayos a realizar y tratar de generar mitigaciones con ayuda de la técnica de fitorremediación y de la mano del software SWMM sobre la problemática ya mencionada y generar propuestas viables sin alterar el entorno natural.

La investigación **transversal** se centra en estudiar un fenómeno en un solo momento específico en el tiempo, considerándose no evolutivo [55]. Por ende, aunque los experimentos se realizarán en un laboratorio durante un periodo de tiempo específico, la investigación será transversal, puesto que los datos se recolectarán en un solo momento, sin necesidad de seguir una evolución por un largo periodo de tiempo.

Población, muestra y muestreo

Población

La población es un conjunto de individuos con características similares y es limitada por el investigador según como se formule el estudio. En la presente investigación la población estará caracterizada por el distrito de José Leonardo Ortiz [56].

Muestra

La muestra es un subgrupo o una fracción de la población, el cual será necesario para la presente investigación. Entonces, la muestra es la acequia Cois desde el km 1+643 hasta el km +5.030 en donde el estudio realizado se han elegido puntos visiblemente afectados debido a residuos sólidos y de instalaciones ilegales provenientes de los comercios aledaños, el cual se seleccionó 2 puntos (**Av. Leguía km 2+890.30 y Av. Leguía con intersección en la Panamericana Km 5+030.00**) para la extracción del agua.

TABLA IX
ENSAYOS DE LABORATORIOS SEGÚN MUESTRAS DE AGUA TOMADAS EN
LA ACEQUIA COIS

Ensayo	Cantidad de muestra (Lt)	Observaciones	Normas

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	1 litro	Medir in situ y analizar en el rango de 24 horas	Manual EPA 1060A, MINAM, ANA Perú
Sólidos suspendidos totales (SST)	1 litro	Medir in situ y refrigerar	Manual de Monitoreo de Calidad ANA
pH	250 mL	Medir in situ y no requiere de conservaciones	NTP 214.305, EPA 1664A
Turbidez	250 mL	Medir in situ y analizar en el rango de 24 horas	APHA 2130B / ANA
Aceites y Grasas	1 litro	Analizar y refrigerar	APHA 4500-H ⁺ , DIGESA

A su vez, se determinará los días que se usarán la técnica de fitorremediación para la eliminación de contaminantes excedentes en la acequia cois, para eso se deberá tener en cuenta los antecedentes mencionados con anterioridad en la investigación.

TABLA X
ANÁLISIS DE ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

AUTOR	OBJETIVO	MUESTRA	ENSAYOS REALIZADOS	DÍAS DE TRATAMIENTO DE REMOCIÓN	RESULTADOS
Ballón [20]	Evaluar la eficiencia de <i>Eichhornia crassipes</i> en la remoción de contaminantes de aguas residuales.	Se utilizó ceniza de fondo de la incineración de residuos sólidos urbanos en una instalación de pruebas a escala de campo, replicando escenarios reales.	físico-químicos: pH, DBO5, DQO, Nitratos, Nitritos, Fosfatos, Coliformes termotolerantes, Sólidos Suspendidos Totales (SST).	15 días con mediciones en los días 5, 10 y 15	Reducción del 70% en DBO y 65% en SST al día 15
Cheros y León [22]	Evaluar la combinación de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i> en la mejora de la calidad de agua de acequia.	Aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo.	Metales: Plomo (Pb). Posiblemente otros parámetros básicos para caracterización de agua residual	10 días con mediciones en los días 3, 6 y 10	Mejora del 50% en parámetros fisicoquímicos y reducción del 40% en coliformes fecales al día 10
Solano [23]	Determinar la capacidad de <i>Lemna minor</i> para remover nutrientes en aguas residuales agrícolas	Agua proveniente de riego agrícola del dren 4000 en el distrito de Santa Rosa, Lambayeque	DBO, DQO, SST, nitratos, fosfatos	21 días con mediciones en los días 7, 14 y 21	Disminución del 60% en nitratos y 55% en fosfatos al día 21
Vera [24]	Analizar la efectividad de <i>Pistia stratiotes</i> en la eliminación de metales pesados en aguas industriales	Aguas residuales del dren 2210 (Lambayeque).	Parámetros físico-químicos: Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Turbidez, DBO5, DQO, Coliformes totales, Coliformes termotolerantes.	30 días con mediciones en los días 10, 20 y 30	Remoción del 80% de plomo y 75% de cadmio al día 30

Considerando los resultados dados por las diferentes investigaciones, se observa que los tratamientos entro los días 10 y 15 son favorables con plantas como Lemna minor y Eichhornia crassipes pues lograron reducir de manera significativa contaminantes provenientes de las aguas residuales.

En este caso, se usarán los siguientes días de estudio para evaluar la eficiencia de la técnica de fitorremediación aplicada a la acequia cois con ayuda de la planta Lemna minor

TABLA XI
DÍAS ESCOGIDOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE
FITORREMEDIACIÓN

DÍAS PARA ANALIZAR	OBJETIVO	ENSAYOS REALIZADOS
Día 5	Observación de los primeros efectos de la técnica de fitorremediación y su adaptación al agua.	DBO, Ph, Aceites y grasas, SST
Día 10	Punto medio de evaluación de las técnicas de fitorremediación y verificando la calidad del agua.	Ph, Aceites y grasas, SST
Día 15	Periodo final del uso de la técnica de fitorremediación	Ph, Aceites y grasas, SST

Esta selección de días te permitirá evaluar la progresión de la eficiencia de la fitorremediación y determinar el tiempo óptimo de tratamiento para el agua de la acequia cois.

Muestreo

Según [56], en este apartado menciona que se puede realizar de dos formas las cuales son muestras probabilísticas y no probabilísticas, en el caso del presente proyecto se ha optado por una **no probabilística-por conveniencia**, debido a que la selección del número de muestras que se quiere realizar es de manera personal del investigador por lo que se ha seleccionado a través de una visita al área de estudio correspondientes dentro de la acequia cois.

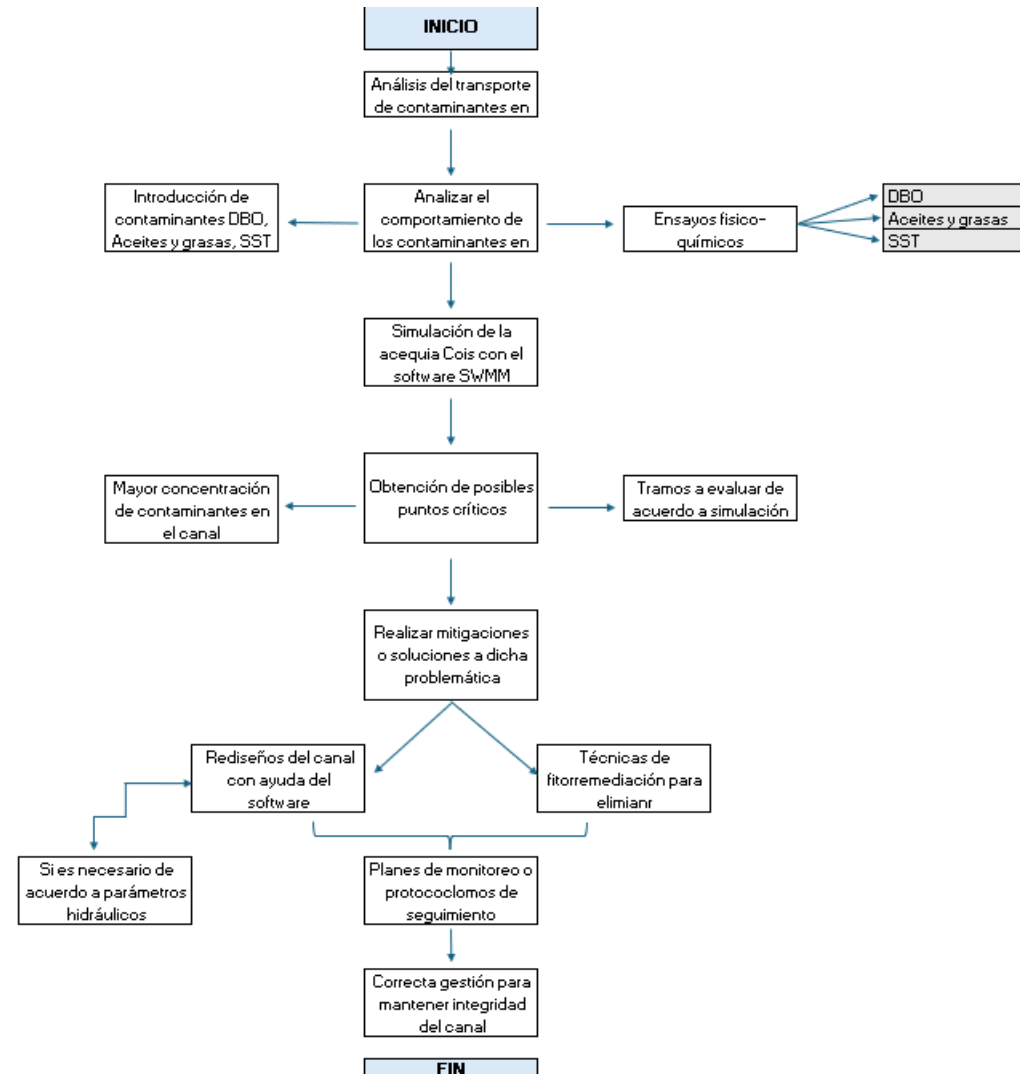
Operaciones de las variables

TABLA XII
TABLA DE OPERACIONES DE VARIABLES

TÍTULO: ANÁLISIS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN LA ACEQUIA COIS EN EL DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTÍZ							
Variable Independiente	Definición conceptual	Dimensión operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición	Instrumentos
Simulación hidráulica e hidrológica con SWMM	Software de modelación numérica que permite simular el comportamiento hidráulico e hidrológico de flujos en sistemas de drenaje y cuerpos de agua, considerando parámetros de contaminación, pendiente, caudal y rugosidad [51].	La simulación se realizará en el tramo de la acequia Cois (Km 1+643 al Km 5+030) ingresando parámetros de caudal, rugosidad (n de Manning), pendiente y concentración de contaminantes obtenidos de las muestras analizadas.	Modelación hidráulica e hidrológica	Parámetros de simulación (caudal, pendiente, rugosidad, concentración de contaminantes)	m ³ /s, %, mg/L	Razón	Software SWMM, datos de campo, balanza, análisis de laboratorio
			Identificación de zonas críticas	Puntos de acumulación de contaminantes simulados	Nº de puntos críticos	Razón	Software SWMM (resultados gráficos)

Variable Dependiente	Definición conceptual	Dimensión operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición	Instrumentos
Transporte y depuración de contaminantes en el flujo de la acequia Cois	Proceso mediante el cual las partículas y sustancias contaminantes son arrastradas, acumuladas o depuradas a lo largo del recorrido de un flujo superficial, dependiendo de factores hidráulicos y naturales como la pendiente, velocidad, caudal y vegetación [51].	Se analizará la concentración de contaminantes antes y después de la simulación, aplicando técnicas de fitorremediación en los tramos Km 2+890.30 y Km 5+0.30.00, para evaluar la capacidad de reducción natural de contaminantes.	Calidad del agua	Concentración de contaminantes (DBO, DQO, sólidos suspendidos, nitratos, fosfatos, coliformes)	mg/L	Razón	Ensayo de laboratorio / Análisis de agua (MTC, ANA, DIGESA)
			Eficiencia de fitorremediación	Porcentaje de reducción de contaminantes después de la aplicación de técnicas de fitorremediación	%	Razón	Software SWMM / Ensayos de campo

Evaluación para demostrar la hipótesis: Flujiograma



Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Aspectos Básicos del Proyecto

Ubicación del Proyecto

El área del proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Lambayeque, provincia de Chiclayo, distrito de José Leonardo Ortiz.

- **Latitud:** 6°46'19" Sur (equivalente a -6.771839°)
- **Longitud:** 79°50'21" Oeste (equivalente a -79.839257°)

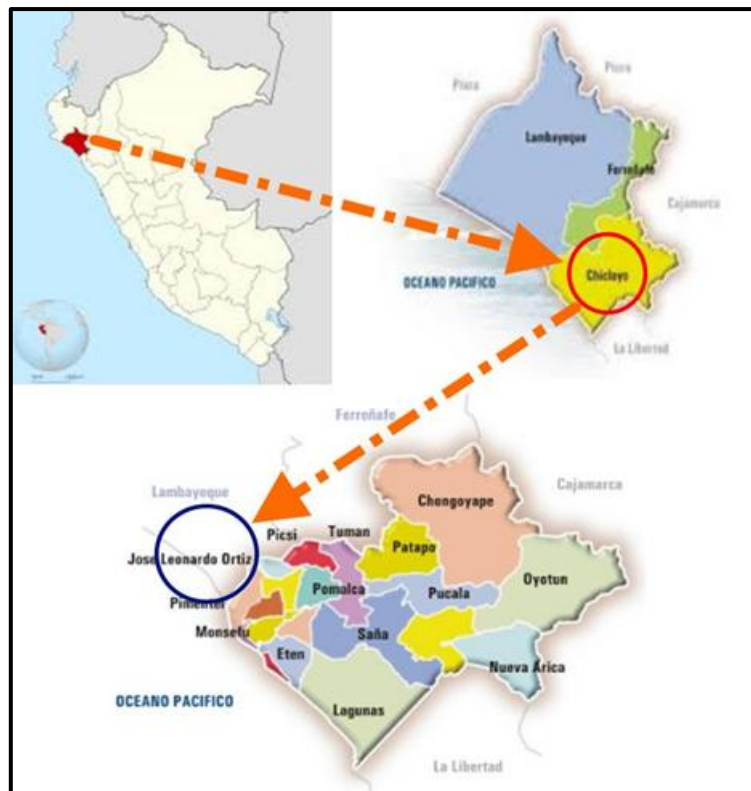


Fig. 8. Ubicación del canal

Método

La selección del método a emplear para la presente investigación será de acuerdo con el apartado teórico y a la problemática, debido a que esto nos ayudará a cumplir los objetivos planteados. En este estudio se empleará un método experimental, debido a que se realizará una intervención en el entorno a través de la implementación de las técnicas de fitorremediación para analizar su efecto en la mejorar de la calidad del agua de la acequia cois [57].

Técnicas de investigación

Este apartado nos ayudará para analizar, recolectar y procesar información basándonos en fuentes no solo públicas sino también privadas, esta técnica es importante pues nos ayudara en nuestro tipo y nivel de investigación que estamos realizando para obtener datos [57].

Las técnicas de investigación que se usará serán las siguientes:

Observación directa

Consiste en analizar y registrar el comportamiento de individuos, grupos o fenómenos en su entorno natural o controlado. Por medio de visitar de campo a la zona de estudio se realizará este apartado.

Evaluación in situ

Para diagnosticar las circunstancias en la cuales se encuentran actualmente a través de la extracción de muestras de agua para poder llevarlos al laboratorio para su respectivo análisis.

Recolección de datos de campo

Como por ejemplo inspeccionar el estado actual de la acequia. En el presente proyecto se hará uso de la información obtenida de las instituciones respectivas las cuales tienen la finalidad de velar por el cuidado de la infraestructura.

Análisis de documentos

En este apartado se realizará revisiones y evaluaciones ya procesados como informes, planos, estudios ya realizados en la acequia cois, así se podrá comprender los problemas que presenta la estructura. En la investigación se analizó diferentes estudios ya realizados como el topográfico, los datos hidráulicos y del manejo de un manual que nos permitirá comprender el buen manejo del software bajo condiciones de nuestro estudio.

Instrumentos

Observación

- ✓ Toma de apuntes: Para registrar las observaciones durante la realización de los ensayos de laboratorio.
- ✓ Plantillas: Servirán de ayuda para registrar aspectos claves durante los ensayos.

- ✓ Registro fotográfico: Servirá como documentación visual de los pasos y observaciones dentro del laboratorio.
- ✓ Esquemas y gráficos: Para organizar las observaciones del comportamiento del material con los resultados obtenidos.

Exploración in Situ

Para poder precisar que contaminantes están presentes en la acequia cois se llevará a cabo puntos de exploración o puntos críticos con el propósito de definir correctamente los principales contaminantes de agua en nuestro proyecto. En el recorrido y por medio de algunos estudios realizados con anterioridad se encontraron conexiones ilegales y cantidades de basuras en exceso que afectan la calidad del agua del canal.

Análisis de documentos

- ✓ Normas técnicas: Se emplearán todas aquellas normas tratadas con respecto a los ensayos que se van a realizar, tales como: Norma Técnica Peruana (NTP) 214.060:2016 Aguas residuales (protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas), Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (aprobados por el MINAM), estos estándares definen la calidad que debe tener el agua en un cuerpo receptor (como una acequia)
- ✓ Manuales y guías: Manual del Usuario de SWMM (EPA SWMM User's Manual): Este es el documento oficial de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) que describe en detalle cómo usar el software, el cual proporciona bases para la correcta configuración, calibración y validación para el modelado de la acequia.
- ✓ Bases de datos: Se usarán los datos subidos por MINAM que nos ayudará para tener mejor conocimiento de las técnicas de fitorremediación.

Ficha de observación

Esta ficha es una recopilación relevante que facilitan los resultados obtenidos. Esto ayudará anotar situaciones que ocurren cuando se evalúa un parámetro, registrando hallazgos relacionados a las muestras del agua y a la reducción de contaminantes debido a la técnica de fitorremediación.

Procedimiento

Fase I Identificación de contaminantes en la acequia cois

En esta primera etapa se identificarán los principales contaminantes presentes en la acequia cois por medio de ensayos físico-químicos realizados en un laboratorio autorizado para determinar si la calidad del agua cumple o no con los parámetros establecidos por el MINAM.

Planificación del muestreo

Se realizará una visita de reconocimiento a la acequia Cois para identificar y seleccionar puntos estratégicos de muestreo a lo largo de su recorrido, considerando instalaciones clandestinas, zonas donde se observe acumulación de residuos o baja velocidad de flujo.

Definición de parámetros a analizar

Debido a que el software SWMM me permite introducir una cierta cantidad de parámetros se ha elegido los principales de acuerdo con la literatura, tales como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas, turbidez y potencial de hidrógeno (pH).

Realización de ensayos de laboratorio

Las muestras obtenidas serán llevadas al laboratorio acreditado para obtener así todos los parámetros mencionados con anterioridad. Estos ensayos se realizarán siguiendo las normativas técnicas peruanas y/o métodos internacionales.

Fase II Simulación con el software storm water management model (SWMM)

La segunda fase consiste en realizar una simulación utilizando el software SWMM para analizar el comportamiento y el transporte de los contaminantes en la acequia cois.

Recopilación y preparación de datos para el modelado

- ✓ Datos topográficos: Se necesitará detalladamente la topografía de la acequia cois, puntos topográficos, planos catastrales disponibles para así poder definir la geometría del modelo.

- ✓ Datos geométricos: Se necesitarán los planos de perfil longitudinal, secciones transversales, de planta. Además, datos como la pendiente, caudal, longitud total, ancho, profundidad y rugosidad de la acequia cois.
- ✓ Datos hidrológicos: Recopilación de la precipitación y temperatura de la ciudad de Chiclayo
- ✓ Datos de calidad de agua: Se usará las concentraciones de contaminantes ya obtenidos con anterioridad en la fase I.

Construcción del modelado en SWMM

Se definirá los elementos correspondientes para representar y adaptar la acequia cois en el modelado, tales como:

- ✓ Nodos: Son los puntos de conexión entre cada tramo a elaborar y aquellos presentes en los planos de perfil longitudinal.
- ✓ Conductos: Se define los tramos de la acequia asignando toda su geometría como longitud, rugosidad y pendiente.
- ✓ Entradas de contaminantes: Se define en que tramo del modelado se colocará la carga de contaminantes.
- ✓ Validación: Se procede a verificar la capacidad del modelado para predecir con precisión el comportamiento de la acequia y así poder realizar simulaciones bajo diferentes escenarios para predecir el transporte de estos contaminantes.

Fase III Determinar los puntos de acumulación de contaminantes en la acequia Cois con ayuda del modelado (SWMM)

Se analiza los resultados obtenidos de la simulación por el modelado SWMM para identificar los puntos críticos de acumulación de contaminantes y así poder proponer estrategias de mejoras para la acequia cois.

- ✓ Identificación de Zonas Críticas: Se analizarán las salidas del modelo SWMM como las concentraciones de contaminantes, mapas de acumulación, velocidades de flujo para identificar los tramos de la acequia donde se observa una mayor persistencia y/o acumulación de los contaminantes.
- ✓ Puntos de acumulación: Se correlacionarán los puntos de acumulación con las características hidráulicas de la acequia (pendientes bajas, anchos excesivos,

presencia de obstáculos) y los patrones de descarga de contaminantes para así poder identificar si existe o no obstrucciones en la acequia.

Fase IV Estrategias de mejora para mitigar la acumulación de contaminantes, considerando soluciones basadas en el rediseño del canal y/o técnicas de fitorremediación.

Se propondrán estrategias de mejora, incluyendo soluciones de rediseño de canal y la de implementación de técnicas de fitorremediación utilizadas para la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales. Para lo cual se realizarán las siguientes etapas:

Proposición de Estrategias de Mejora (Rediseño del Canal)

- ✓ Rediseño hidráulico: De acuerdo con el resultado del modelado, se propondrán modificaciones en la geometría del canal como aumento de pendiente, cambiar el número de Manning si es que corresponda que favorezcan al mejor transporte de estos contaminantes.
- ✓ Simulación de rediseño: Una vez realizado las modificaciones en ciertos puntos, se procede a realizar nuevamente la simulación para ver el impacto de estas propuestas dadas para la reducción de acumulación de contaminantes en la acequia cois.
- ✓ Viabilidad: Estas consideraciones estarán justificadas correctamente para determinar si es necesario realizar cambios dentro de la acequia o no para mejorar la disipación de contaminantes presentes en el canal.

Proposición de Estrategias de Mejora (Fitorremediación)

- ✓ Selección de Especies de Plantas: Se base en la correcta elección de especie bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Chiclayo y de la literatura sobre fitorremediación para la remoción de contaminantes.
- ✓ Ensayos para realizar: Realizar durante 5,10 y 15 días para su tratamiento respectivo en recipientes donde se puedan extraer el agua y así poder determinar los porcentajes que se reduce de los contaminantes del agua con ayuda de esta técnica de fitorremediación.

- ✓ Simulación post técnica de fitorremediación: Se procede a realizar nuevamente la simulación de la acequia cois para determinar el efecto que produce esta técnica dentro del canal para estimar su impacto de reducción.
- ✓ Viabilidad: Realizada la simulación se procederá a ver como es el nuevo comportamiento del transporte de los contaminantes para determinar si fue factible o si es necesario realizar otro tipo de estrategias de mejora.

Fase V Desarrollar un plan de monitoreo continuo y protocolos de seguimiento para garantizar la sostenibilidad del canal

La última fase consiste en realizar un seguimiento para asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas y prevenir futuras acumulaciones de contaminantes en la acequia cois.

Diseño de plan de monitoreo

- ✓ Puntos de monitoreo: Se establecen puntos específicos a lo largo de la acequia donde se realizará el monitoreo.
- ✓ Frecuencia de monitoreo: Se define el tiempo que se realizará el monitoreo ya sea semanal, mensual o trimestral.
- ✓ Desarrollo de mantenimiento del canal: Se establece pautas para un correcto funcionamiento del canal como su limpieza, retiro de basura, evitando la acumulación excesiva de contaminantes.

Propuesta de marco institucional

- ✓ Se hará una breve mención a autoridades locales, usuarios de la acequia, instituciones de investigación que deberían estar involucrados en la implementación del plan de monitoreo y seguimiento, para que se cumpla detalladamente todo lo indicado con anterioridad.

Resultados y Discusiones

Resultados

Durante el desarrollo de las dos primeras fases del proyecto de investigación se obtuvieron los resultados que se mostrarán a continuación.

La caracterización de la toma de muestra de agua fue realizada por los laboratorios de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y proporcionada para fines de esta investigación teniendo así lo siguiente

Fase I: Ensayos de los principales contaminantes del agua respecto a la acequia cois

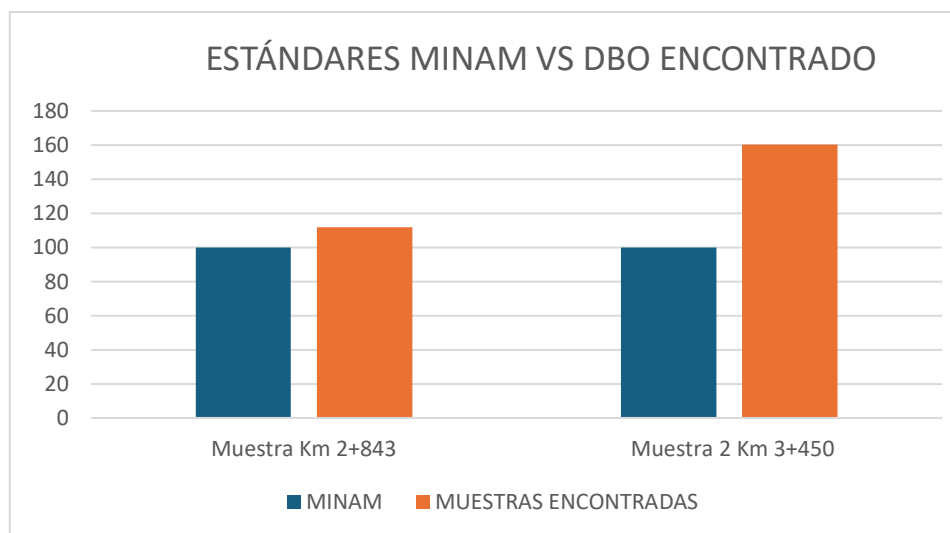
✓ Ensayo para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

En el ensayo a continuación se realizó la toma de muestra en dos tramos del canal, siendo estos visiblemente los más afectados por la presencia de basura y de instalaciones ilegales.

TABLA XIII
RESULTADO PARA LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Parámetro	Límite Máximo Permisible	Muestra	Unidades
Muestra tomada en el Km 2+843	≤ 100	111.90	Mg/L
Muestra tomada en el Km 3+450	≤ 100	16.30	Mg/L

GRÁFICA N°1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)



Interpretación: Los valores de DBO en ambos puntos realizados están por debajo de los valores proporcionados por el MINAM por cual se puede sugerir que no presenta una alta carga contaminante dentro del cuerpo de agua. No presenta un problema crítico.

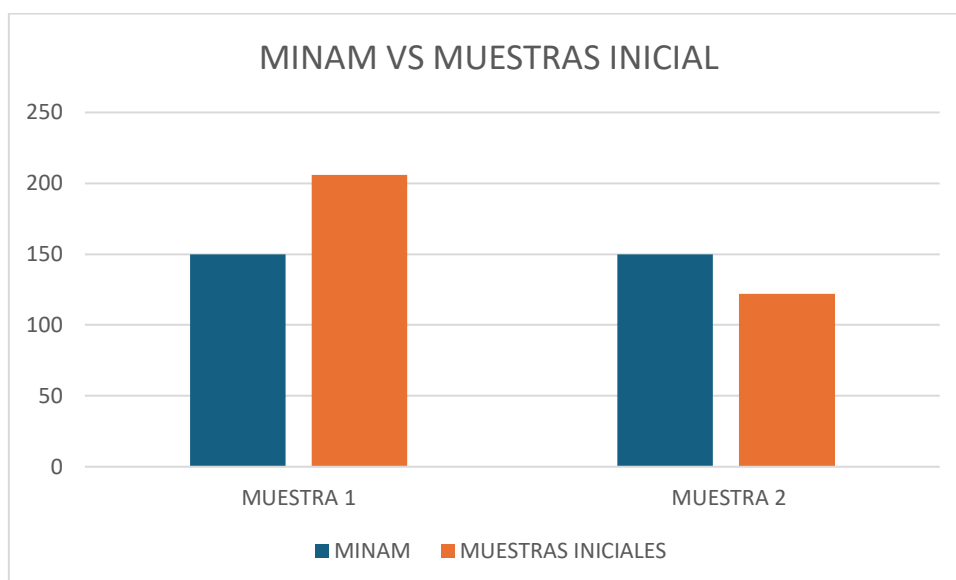
✓ **Ensayo para los Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

En el ensayo a continuación se realizó la toma de muestra en dos tramos del canal, siendo estos visiblemente los más afectados por la presencia de basura y de instalaciones ilegales.

TABLA XIV
RESULTADOS PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Parámetro	Límite Máximo Permisible	Muestra	Unidades
Muestra tomada en el Km 2+843	≤ 150	206.0	Mg/L
Muestra tomada en el Km 3+450	≤ 150	122.0	Mg/L

GRÁFICA N° 2. Sólidos Suspendedos Totales (SST)



Interpretación: Los valores obtenidos presentan una carga de concentración dentro del límite, pero un poco elevado, esto debido a la presencia de basura, tierra o residuos sólidos.

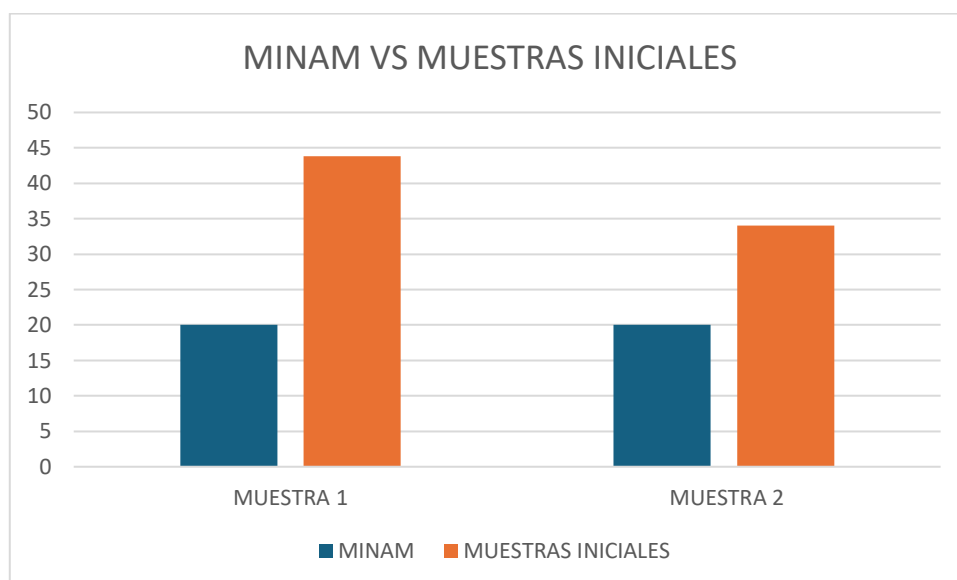
✓ **Ensayo para los Aceites y Grasas**

En el ensayo a continuación se realizó la toma de muestra en dos tramos del canal, siendo estos visiblemente los más afectados por la presencia de basura y de instalaciones ilegales.

TABLA XV
RESULTADOS PARA ACEITES Y GRASAS

Parámetro	Límite Máximo Permisible	Muestra	Unidades
Muestra tomada en el Km 2+843	≤ 20	43.80	Mg/L
Muestra tomada en el Km 3+450	≤ 20	34.00	Mg/L

GRÁFICA N° 3. Aceites y Grasas



Interpretación: Ambos puntos de muestreo exceden los límites máximos permitidos por el MINAM por lo que esto se debe tratar de manera cuidadosa.

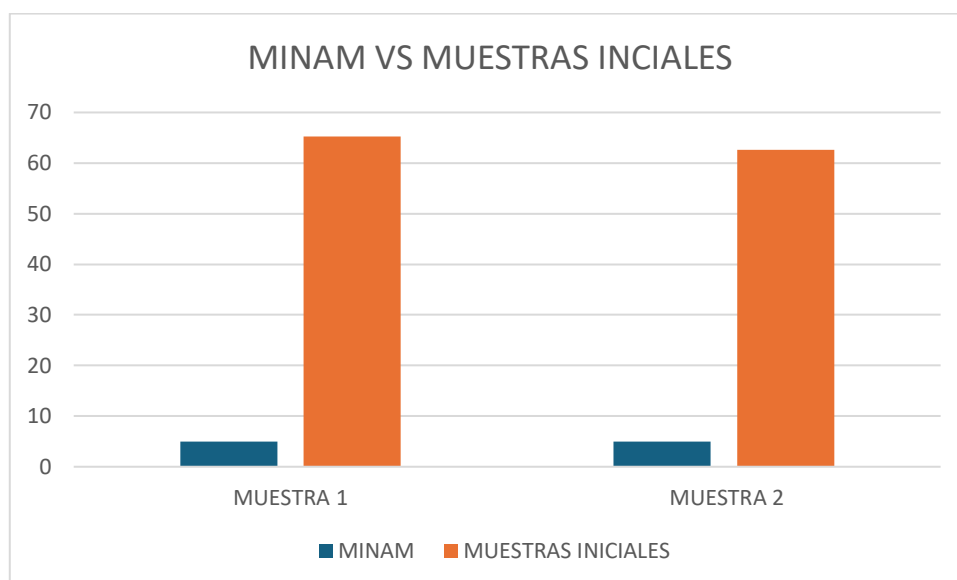
✓ **Ensayo para la Turbidez**

En el ensayo a continuación se realizó la toma de muestra en dos tramos del canal, siendo estos visiblemente los más afectados por la presencia de basura y de instalaciones ilegales.

TABLA XVI
RESULTADOS PARA LA TURBIDEZ

Parámetro	Límite Máximo Permisible	Muestra	Unidades
Muestra tomada en el Km 2+843	≤ 5	65.20	NTU
Muestra tomada en el Km 3+450	≤ 5	62.60	NTU

GRÁFICA N° 4. Turbidez



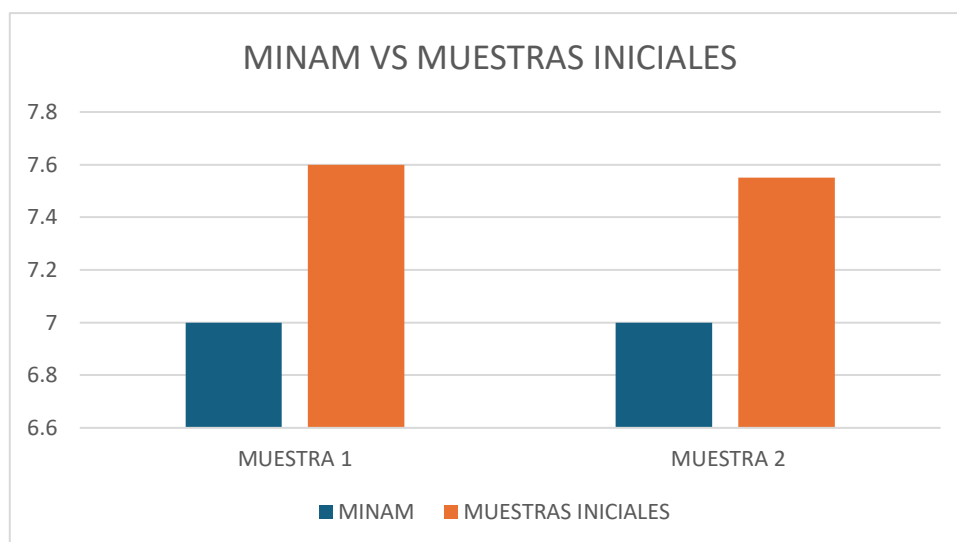
Interpretación: Se realizaron los ensayos y se encontró que los niveles de turbidez en el agua fueron muy elevados, esto puede interferir en procesos que afecten el estado del canal.

✓ **Ensayo para el Potencial de Hidrógeno (PH)**

En el ensayo a continuación se realizó la toma de muestra en 5 tramos del canal, siendo estos visiblemente los más afectados por la presencia de basura y de instalaciones ilegales.

TABLA XVII
RESULTADOS PARA EL POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

Parámetro	Límite Máximo Permissible	Muestra	Unidades
Muestra tomada en el Km 2+890.30	6.5 – 8.5	7.60	-
Muestra tomada en el Km 3+490.30	6.5 – 8.5	7.55	-



GRÁFICA N°5. Potencial de Hidrógeno (pH)

Interpretación: Para este punto, el pH se encuentra en un rango dado o estable bajo condiciones especiales no resulta desfavorable para el cuerpo de agua.

Fase II Simulación con el software storm water management model (SWMM)

TABLA XVIII
RESULTADO DE LAS SUBCUENCAS POR SWMM

Subcatchament	Total Precip mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Total Runoff mm	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
C-1	0.3	0.11	0.03	0.03	0.15	0.111
C-2	0.3	0.23	0.07	0.07	0.12	0.221
C-3	0.3	0.23	0.07	0.07	0.15	0.221
C-4	0.3	0.23	0.07	0.07	0.21	0.221
C-5	0.3	0.23	0.07	0.07	0.21	0.221
C-6	0.3	0.23	0.07	0.07	0.24	0.22
C-7	0.3	0.23	0.07	0.07	0.3	0.22

Interpretación: Esta tabla es un resumen de los datos hidrológicos introducidos en el software SWMM los cuales nos ayudarán para poder simular de manera correcta el

canal de la acequia cois. Se presenta la precipitación, cantidad de agua de infiltración, escorrentía, caudal, caudal pico y coeficiente de escorrentía

TABLA XIX
PROFUNDIDAD SWMM

NODE	Type	Maximum HGL	Maximum Reported Depth
		M	m
N-1	JUNCTION	29	0.03
N-2	JUNCTION	28	0
N-3	JUNCTION	27	0
N-4	JUNCTION	26	0
N-5	JUNCTION	26	0
N-6	JUNCTION	26	0
N-7	JUNCTION	25	0
N-8	JUNCTION	25	0
D-1	OUTFALL	25	0

Interpretación: Esta tabla es un resumen de los resultados de profundidad del agua con respecto al canal de la acequia, se presentan todos los nodos (junctions) con respecto al SWMM. Esto es crucial debido a que cada nodo está conectado y al no hacerlo correctamente la simulación podría tener fallas.

TABLA XX
TABLA DE ENTRADA DE NODOS POR SWMM

NODE	Type	Maximum Lateral inflow	Maximum Total inflow	Hour of Maximum inflow	Lateral inflow volume 10 ⁶ ltr	Total inflow volume 10 ⁶ ltr	Flow Balance Error
		LPS	LPS				%
N-1	JUNCTION	0	0	00:00	0	0	0
N-2	JUNCTION	0.3	0.3	01:50	0.00066	0.00066	166.287
N-3	JUNCTION	0.24	0.26	01:50	0.000529	0.000777	50.2
N-4	JUNCTION	0.21	0.25	01:50	0.000463	0.000981	959.738
N-5	JUNCTION	0	0	00:00	0	0	0
N-6	JUNCTION	0.21	0.21	01:50	0.000463	0.000484	225.526
N-7	JUNCTION	0.15	0.16	01:50	0.000332	0.000481	480.33

N-8	JUNCTION	0.12	0.12	01:50	0.000266	0.000266	264.092
D-1	OUTFALL	0.15	0.15	01:50	0.000332	0.000334	0

Interpretación: Con respecto a esta tabla es la representación de los flujos de entrada (inflow) para cada nodo que llega de acuerdo con la división que se le asignó. Es importante porque se aprecia que nodo es el que posee mayor valor de caudal.

Se debe tener en cuenta que, si sucede algunos errores de flujo, el modelado no simulará correctamente lo que genera errores para comprender la calidad de agua.

TABLA XXI
TABLA DE CLASIFICACIÓN DE FLUJO SWMM

Conduit	Actual Length	Fully Dry	Upstrm Dry	Sub critical	Nomal Flow Limited
L-1	1	0.16	0.84	0	0
L-2	1	0.16	0	0.84	0.19
L-3	1	0.16	0	0.84	0.83
L-4	1	0.16	0	0.84	0
L-5	1	0.16	0	0.84	0.48
L-6	1	0.16	0	0.84	0
L-7	1	0.16	0	0.84	0

Interpretación: Esta gráfica es un resumen para la clasificación del flujo en el SWMM, además que se puede verificar el comportamiento hidráulico del canal y así identificar si hay un sobredimensionamiento de estas o no.

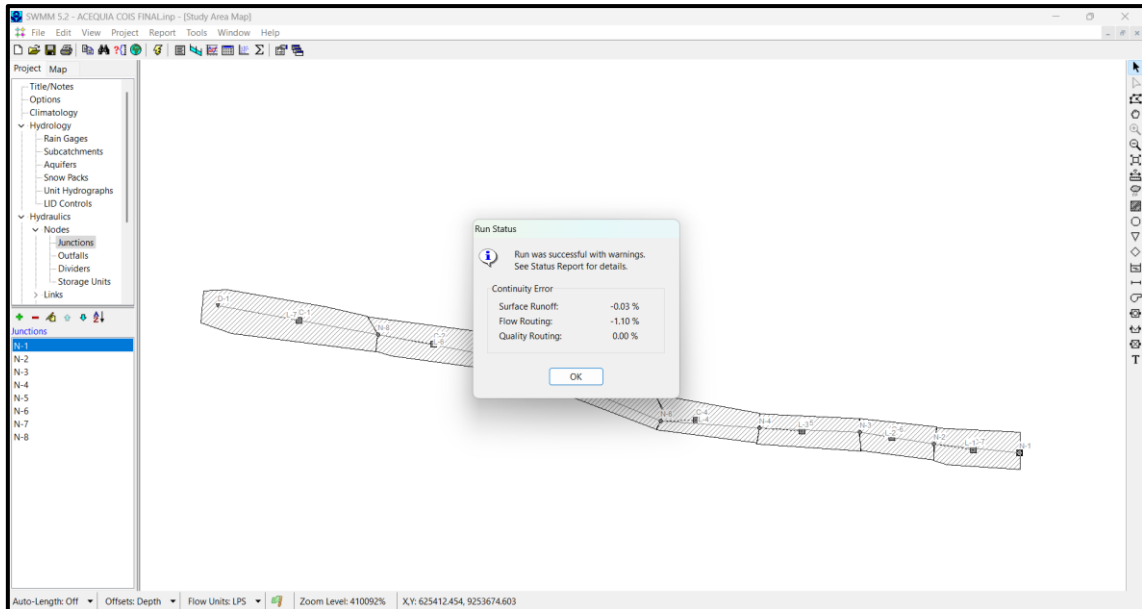


Fig. 9. Ejecución de la modelación del canal en SWMM

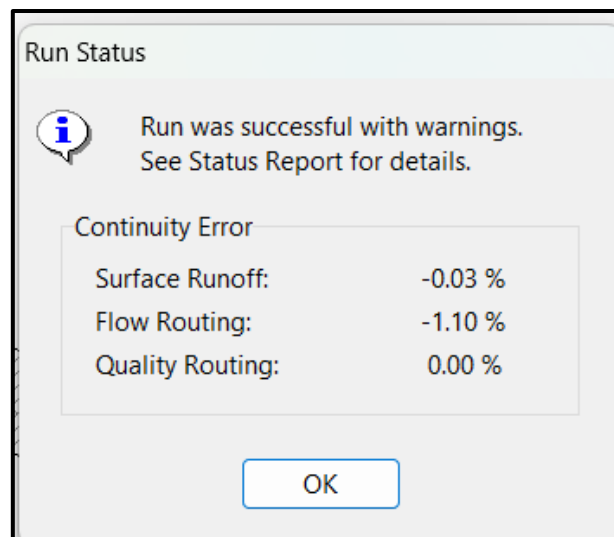


Fig. 10. Recuadro de la correcta modelación

Interpretación: Este recuadro es un resumen rápido sobre el éxito de la simulación, por lo que no presento errores.

Los porcentajes presentados son valores aceptables para el modelamiento hidráulico realizado cuya importancia se verá en cómo se mueven los contaminantes dentro de la acequia cois.

Fase III Determinar los puntos de acumulación de contaminantes en la acequia Cois con ayuda del modelado (SWMM)

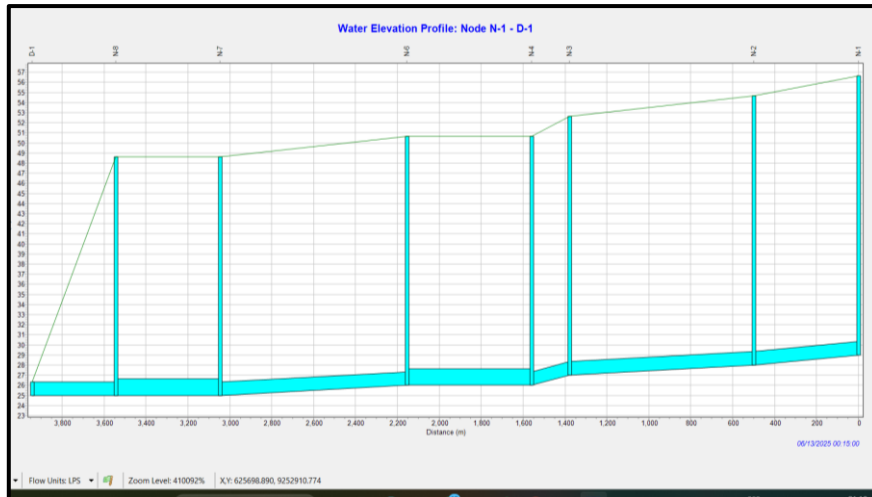


Fig. 11. Recuadro del perfil longitudinal de la acequia Cois

Interpretación: Es la representación gráfica del perfil longitudinal de la acequia cois, muestra como el agua se distribuye a lo largo de todo el canal.

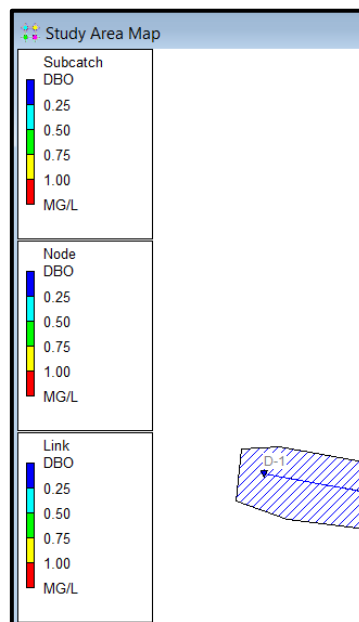


Fig. 12. Cuadro de representación del DBO

Interpretación: Según lo visto por la leyenda proporcionada por el software SWMM se puede apreciar que los niveles de DBO son estables, por lo que su comportamiento en su recorrido no afecta de manera significativa a la calidad del agua de la acequia cois.

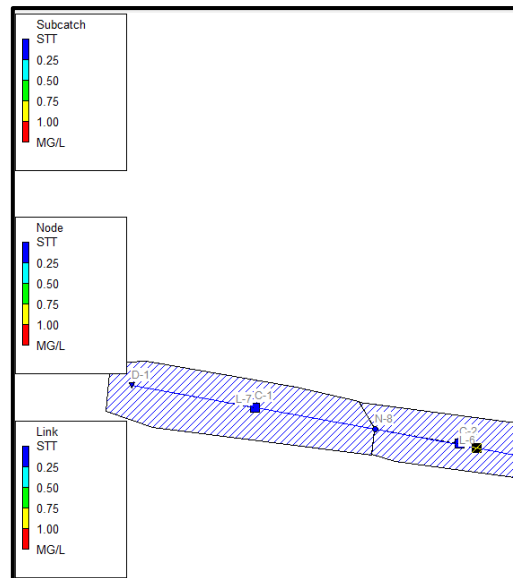


Fig. 13. Cuadro de representación de SST

Interpretación: Para el caso de los sólidos suspendidos se presenta un alto índice de contaminación por lo que la demora se obstruyó en el conducto L-6. Además, para tener una mejor precisión es recomendable realizarlo durante más horas la simulación.

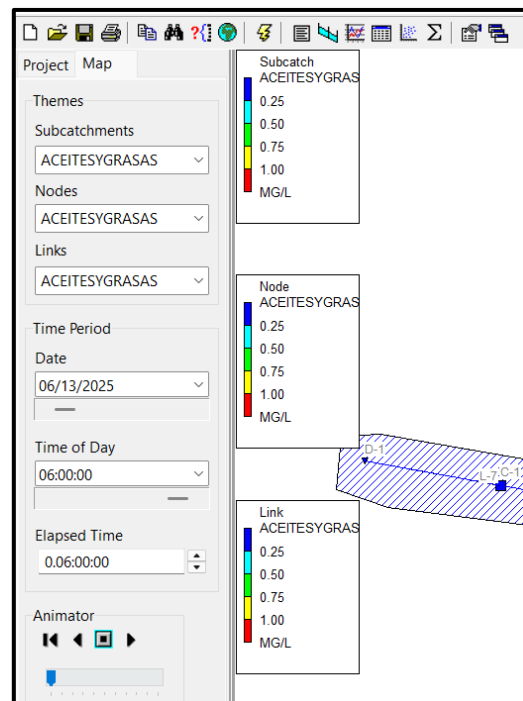


Fig. 14. Cuadro de representación de Aceites y Grasas

Interpretación: En este apartado los aceites y grasas están en una tonalidad azul, por lo que su límite sobrepasa los máximos permisibles, esto hace que se genera de igual forma una obstrucción al canal por presencia de este contaminante en altas cantidades.

Segmentación de la acequia en tramos definidos por estaciones (N-1 a N-8)

✓ Nodo de Unión N-1

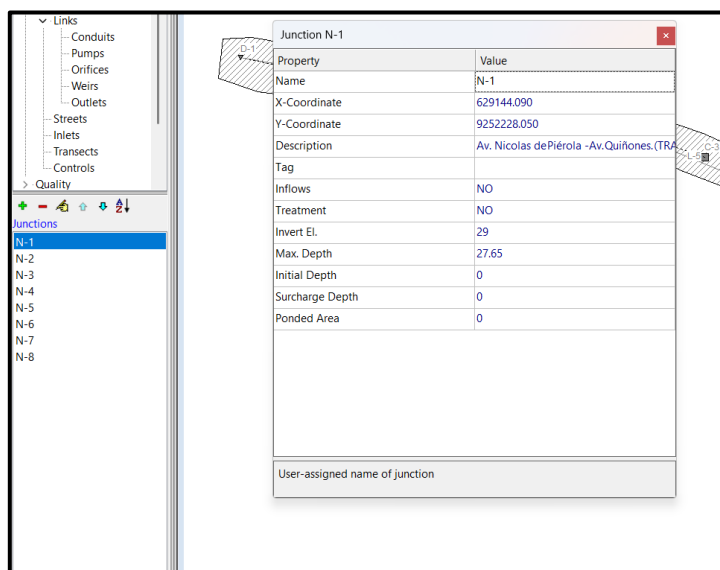


Fig. 15. Propiedades de Junction N-1

El nodo **N-1** corresponde a un buzón de la red de drenaje pluvial/alcantarillado, ubicado en la intersección de la **Av. Nicolás de Piérola con Av. Quiñones**. Este nodo se caracteriza por los siguientes parámetros técnicos:

- **Coordenadas UTM:** X = 629144.090; Y = 925228.050, lo que permite su localización espacial precisa dentro del área de estudio.
- **Cota de fondo (Invert Elevation):** 29.00 m. Corresponde al nivel inferior del buzón, donde llegan las tuberías.
- **Profundidad máxima (Max Depth):** 27.65 m, que representa la altura total de la cámara desde el fondo hasta la superficie del terreno.
- **Profundidad inicial (Initial Depth):** 0.00 m, indicando que el nodo inicia vacío en la simulación.
- **Profundidad de sobrecarga (Surcharge Depth):** 0.00 m, es decir, no se ha considerado capacidad adicional por encima de la profundidad máxima antes de desbordar.
- **Área de empozamiento (Ponded Area):** 0.00 m², lo que indica que no se ha modelado un almacenamiento superficial en caso de rebose.
- **Ingresos externos (Inflows):** No se han definido caudales externos adicionales en este nodo.

- **Tratamiento (Treatment):** No se han considerado procesos de tratamiento de calidad del agua en este punto.

Interpretación: El nodo N-1 actúa como punto de control hidráulico donde convergen las conducciones de la red. Al no presentar inflows ni área de empozamiento definida, se interpreta que su función principal es **recibir, conducir y distribuir los caudales de las tuberías conectadas**, sin almacenamiento superficial ni aportes externos adicionales.

✓ **Nodo de Unión N-2**

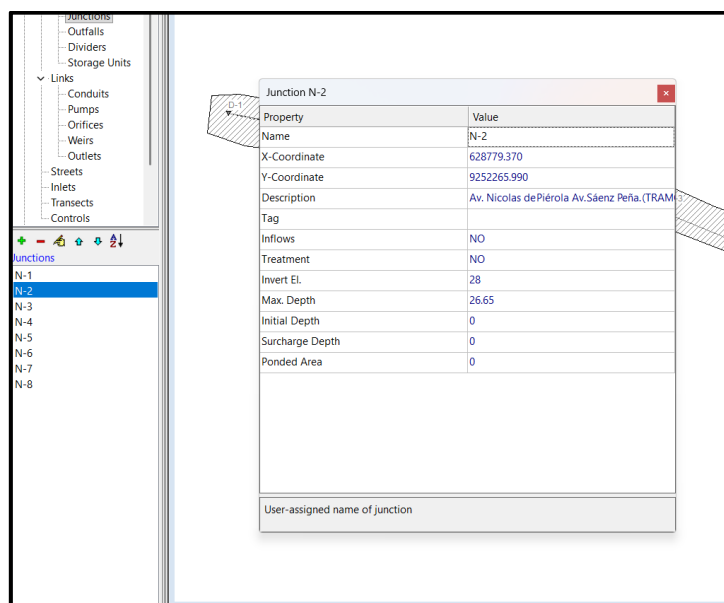


Fig. 16. Propiedades de Junction N-2

El nodo N-2 corresponde a un buzón de la red de drenaje pluvial/alcantarillado, ubicado en la intersección de la Av. Nicolás de Piérola con Av. Sáenz Peña. Los parámetros técnicos definidos en el modelo son los siguientes:

- Coordenadas UTM: $X = 628779.370$; $Y = 9252265.990$, lo que permite ubicar el nodo en el plano de la red.
- Cota de fondo (Invert Elevation): 28.00 m, nivel de base donde descargan las tuberías.
- Profundidad máxima (Max Depth): 26.65 m, altura total del buzón desde el fondo hasta la superficie del terreno.
- Profundidad inicial (Initial Depth): 0.00 m, indicando que el nodo inicia sin agua acumulada al comienzo de la simulación.

- Profundidad de sobrecarga (Surcharge Depth): 0.00 m, no se ha considerado altura adicional por encima de la profundidad máxima.
- Área de empozamiento (Ponded Area): 0.00 m², lo que significa que no se ha modelado almacenamiento superficial en caso de desborde.
- Ingresos externos (Inflows): No se han definido aportes adicionales.
- Tratamiento (Treatment): No se ha considerado tratamiento de calidad del agua en este punto.

Interpretación: El nodo N-2 funciona como punto de conexión y paso de caudales dentro de la red de drenaje. Al igual que el nodo N-1, no se han definido aportes externos ni almacenamiento superficial, lo que indica que su función principal es la conducción de los caudales a través de las tuberías conectadas.

✓ **Nodo de Unión N-3**

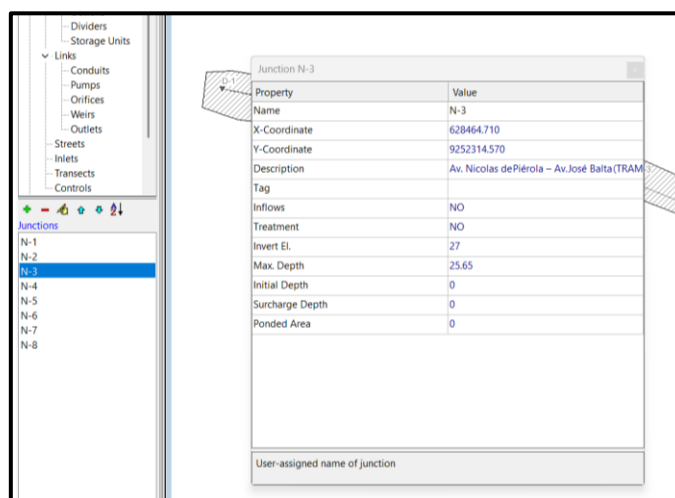


Fig. 17. Propiedades de Junction N-3

El nodo **N-3** corresponde a un buzón de la red de drenaje pluvial/alcantarillado, ubicado en la intersección de la **Av. Nicolás de Piérola con Av. José Balta**. Los parámetros configurados en el modelo son:

- Coordenadas UTM: $X = 628464.710$; $Y = 9252314.570$, que permiten la ubicación precisa del nodo en el plano de la red.
- Cota de fondo (Invert Elevation): 27.00 m, que representa el nivel de base del buzón donde llegan las tuberías.
- Profundidad máxima (Max Depth): 25.65 m, que corresponde a la altura total de la cámara desde el fondo hasta la superficie del terreno.

- Profundidad inicial (Initial Depth): 0.00 m, indicando que el nodo inicia vacío en el inicio de la simulación.
- Profundidad de sobrecarga (Surcharge Depth): 0.00 m, es decir, no se ha considerado acumulación adicional por encima de la profundidad máxima.
- Área de empozamiento (Ponded Area): 0.00 m², lo que significa que no se ha modelado almacenamiento superficial en caso de desborde.
- Ingresos externos (Inflows): No se han definido aportes adicionales.
- Tratamiento (Treatment): No se han considerado procesos de tratamiento de calidad del agua.

Interpretación: El nodo N-3 cumple la función de punto de conexión dentro de la red, recibiendo y distribuyendo los caudales entre las conducciones asociadas. Al no presentar inflows ni área de empozamiento, se interpreta que su rol principal es únicamente la **conducción hidráulica** sin acumulación superficial ni aportes externos.

✓ **Nodo de Unión N-4**

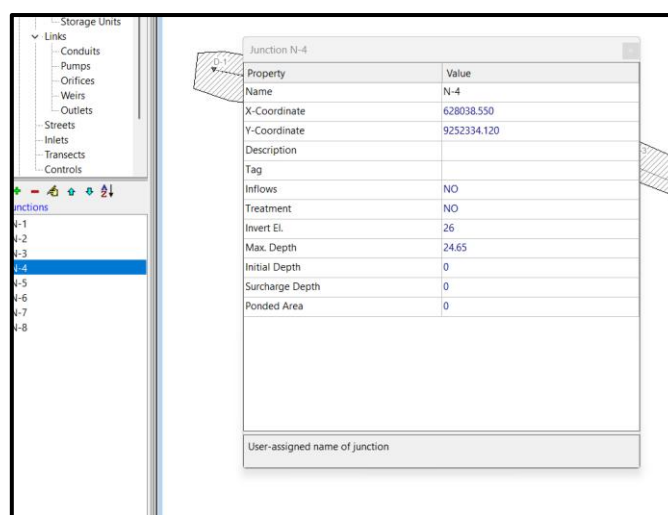


Fig. 18. Propiedades de Junction N-4

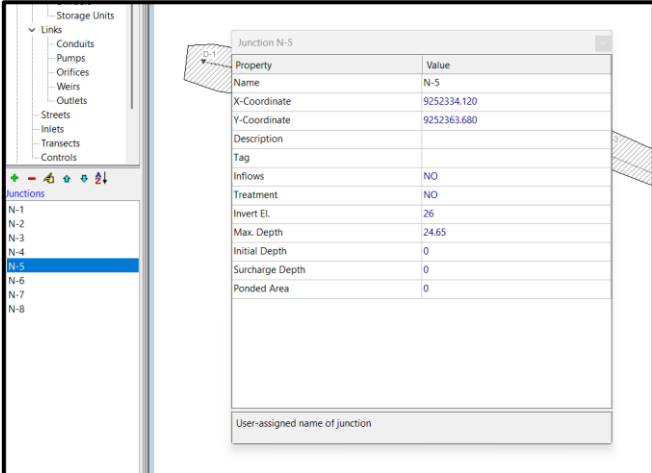
El nodo N-4 corresponde a un buzón de la red de drenaje pluvial/alcantarillado, sin descripción de intersección asignada en el modelo. Los parámetros definidos son:

- Coordenadas UTM: $X = 628038.550$; $Y = 9252334.120$, que permiten su ubicación precisa en el plano de la red.
- Cota de fondo (Invert Elevation): 26.00 m, que representa el nivel inferior del buzón o punto de llegada de las tuberías.

- Profundidad máxima (Max Depth): 24.65 m, correspondiente a la altura total de la cámara desde el fondo hasta la superficie del terreno.
- Profundidad inicial (Initial Depth): no existe almacenamiento inicial al comenzar la simulación.
- Profundidad de sobrecarga (Surcharge Depth): no se ha considerado altura adicional de acumulación antes del desborde.
- Área de empozamiento (Ponded Area): **0** que indica que no se ha contemplado almacenamiento superficial en caso de rebose.
- Ingresos externos (Inflows): No se han definido caudales externos.
- Tratamiento (Treatment): No se ha considerado tratamiento de calidad del agua.

Interpretación El nodo N-4 cumple una función de **conexión hidráulica entre tuberías**, al igual que los nodos anteriores. Dado que no presenta inflows, tratamiento ni área de empozamiento, se interpreta que este buzón tiene como única finalidad permitir el **paso y distribución de los caudales** que circulan en la red, sin aportes externos ni capacidad de almacenamiento superficial.

✓ **Nodo de Unión N-5**



Property	Value
Name	N-5
X-Coordinate	9252334.120
Y-Coordinate	9252363.680
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	26
Max. Depth	24.65
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
User-assigned name of junction	

Fig. 19. Propiedades de Junction N-5

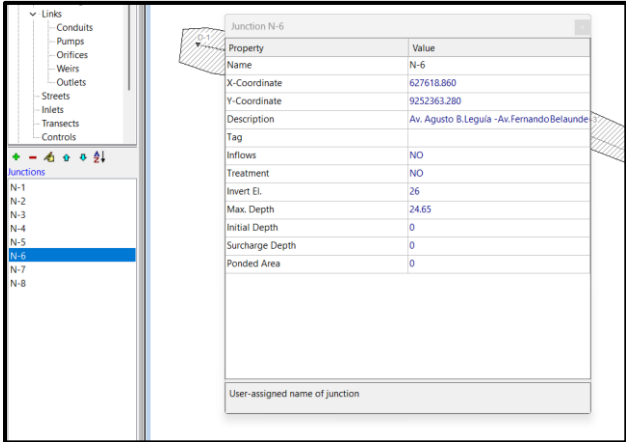
El nodo N-5 corresponde a un buzón de la red de drenaje pluvial/alcantarillado, sin descripción asignada en el modelo. Sus parámetros técnicos son:

- **Coordenadas UTM:** X = 9252334.120; Y = 9252363.680, que permiten ubicar el nodo de forma precisa en el plano de la red.

- **Cota de fondo (Invert Elevation):** 26.00 m, que representa el nivel inferior del buzón, donde se conectan las tuberías.
- **Profundidad máxima (Max Depth):** 24.65 m, que corresponde a la altura total del buzón desde el fondo hasta la superficie del terreno.
- **Profundidad inicial (Initial Depth):** 0.00 m, es decir, el nodo inicia vacío en la simulación.
- **Profundidad de sobrecarga (Surcharge Depth):** 0.00 m, indicando que no se ha considerado acumulación adicional antes de desbordar.
- **Área de empozamiento (Ponded Area):** 0.00 m², lo que significa que no se ha modelado almacenamiento superficial en caso de rebose.
- **Ingresos externos (Inflows):** No se han definido aportes externos adicionales.
- **Tratamiento (Treatment):** No se ha considerado tratamiento de calidad del agua en este nodo.

Interpretación: El nodo N-5 tiene como función principal servir como **elemento de paso e interconexión entre conducciones** de la red. Al no contar con inflows, sobrecarga ni área de empozamiento, se interpreta que este nodo está diseñado exclusivamente para la **conducción hidráulica**, sin capacidad de almacenamiento superficial ni procesos de tratamiento.

✓ **Nodo de Unión N-6**



Property	Value
Name	N-6
X-Coordinate	627618.860
Y-Coordinate	9252363.280
Description	Av. Augusto B. Leguía - Av. Fernando Belaunde
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	26
Max. Depth	24.65
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

User-assigned name of junction

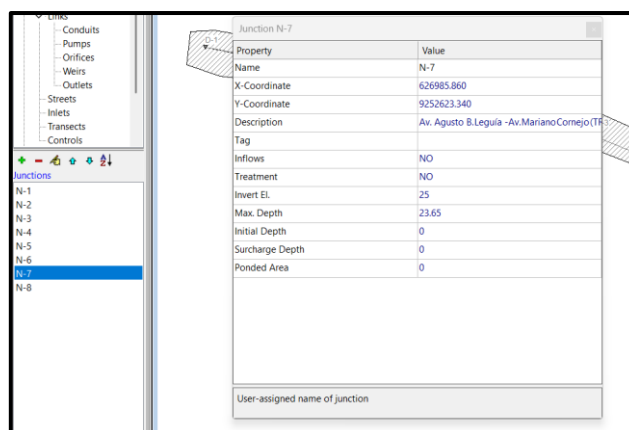
Fig. 20. Propiedades de Junction N-6

El nodo **N-6** corresponde a un buzón de la red de drenaje pluvial/alcantarillado, ubicado en la intersección de la **Av. Augusto B. Leguía con Av. Fernando Belaunde**. Los parámetros técnicos configurados en el modelo son:

- **Coordenadas UTM:** X = 627618.860; Y = 9252363.280, que permiten localizarlo en el plano de la red.
- **Cota de fondo (Invert Elevation):** 26.00 m, nivel inferior del buzón donde llegan las tuberías.
- **Profundidad máxima (Max Depth):** 24.65 m, que corresponde a la altura total del nodo desde la cota de fondo hasta la superficie del terreno.
- **Profundidad inicial (Initial Depth):** 0.00 m, indicando que el nodo inicia vacío en la simulación.
- **Profundidad de sobrecarga (Surcharge Depth):** 0.00 m, es decir, no se ha considerado acumulación adicional antes del desborde.
- **Área de empozamiento (Ponded Area):** 0.00 m², sin almacenamiento superficial en caso de rebose.
- **Ingresos externos (Inflows):** No definidos.
- **Tratamiento (Treatment):** No considerado.

Interpretación El nodo **N-6** actúa como punto de conexión y paso de caudales en la red de drenaje. Al no presentar inflows, área de empozamiento ni sobrecarga, se interpreta que este buzón está destinado únicamente a la **conducción hidráulica**, garantizando la continuidad de los flujos hacia los tramos siguientes sin acumulación superficial ni aportes externos.

✓ **Nodo de Unión N-7**



Property	Value
Name	N-7
X-Coordinate	625985.860
Y-Coordinate	9252623.340
Description	Av. Augusto B. Leguía - Av. Mariano Camejo (TR)
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	25
Max. Depth	23.65
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
User-assigned name of junction	

Fig. 21. Propiedades de Junction N-7

El nodo N-7 corresponde a un buzón de la red de drenaje pluvial/alcantarillado, ubicado en la intersección de la **Av. Augusto B. Leguía con Av. Mariano Cornejo**. Sus parámetros técnicos son los siguientes:

- **Coordenadas UTM:** X = 626985.860; Y = 9252623.340, que permiten su localización exacta dentro de la red.
- **Cota de fondo (Invert Elevation):** 25.00 m, nivel inferior del buzón, punto de llegada de las tuberías.
- **Profundidad máxima (Max Depth):** 23.65 m, que representa la altura del buzón desde el fondo hasta la superficie del terreno.
- **Profundidad inicial (Initial Depth):** 0.00 m, indicando que el nodo inicia vacío al comienzo de la simulación.
- **Profundidad de sobrecarga (Surcharge Depth):** 0.00 m, no se ha considerado acumulación adicional antes del desborde.
- **Área de empozamiento (Ponded Area):** 0.00 m², lo que significa que no se ha modelado almacenamiento superficial en caso de rebose.
- **Ingresos externos (Inflows):** No se han definido aportes adicionales en este nodo.
- **Tratamiento (Treatment):** No se ha considerado ningún proceso de tratamiento de calidad del agua.

Interpretación El nodo N-7 cumple la función de **punto de paso y distribución hidráulica** dentro de la red. Al no contar con inflows, tratamiento ni área de empozamiento, se interpreta que su rol principal es únicamente el de permitir la **conducción de caudales a través de las tuberías conectadas**, sin acumulación superficial ni aportes externos.

✓ **Nodo de Unión N-8**

Property	Value
Name	N-8
X-Coordinate	626416.520
Y-Coordinate	9252728.870
Description	Av. Augusto B. Leguía - Av. Los Tréboles (TRAM)
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	25
Max. Depth	23.65
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

Fig. 22. Propiedades de Junction N-8

El nodo **N-8** corresponde a un buzón de la red de drenaje pluvial/alcantarillado, ubicado en la intersección de la **Av. Augusto B. Leguía con Av. Los Tréboles**. Los parámetros configurados en el modelo son:

- **Coordenadas UTM:** $X = 626416.520$; $Y = 9252728.870$, que permiten ubicar el nodo en el plano de la red.
- **Cota de fondo (Invert Elevation):** 25.00 m, nivel inferior del buzón donde se conectan las tuberías.
- **Profundidad máxima (Max Depth):** 23.65 m, que representa la altura total del buzón desde el fondo hasta la superficie del terreno.
- **Profundidad inicial (Initial Depth):** 0.00 m, indicando que el nodo inicia vacío al comienzo de la simulación.
- **Profundidad de sobrecarga (Surcharge Depth):** 0.00 m, es decir, no se ha considerado acumulación adicional antes del desborde.
- **Área de empozamiento (Ponded Area):** 0.00 m², lo que significa que no se ha contemplado almacenamiento superficial en caso de rebose.
- **Ingresos externos (Inflows):** No definidos.
- **Tratamiento (Treatment):** No considerado.

Interpretación: El nodo **N-8** actúa como punto de intersección dentro de la red de drenaje, cumpliendo funciones de **conducción hidráulica** de los caudales provenientes de las tuberías conectadas. Al no contar con inflows ni área de empozamiento, se interpreta que este nodo está diseñado exclusivamente para garantizar la **continuidad de los flujos**, sin acumulación superficial ni procesos de tratamiento.

Definición de geometría de sección rectangular y parámetros hidráulicos.

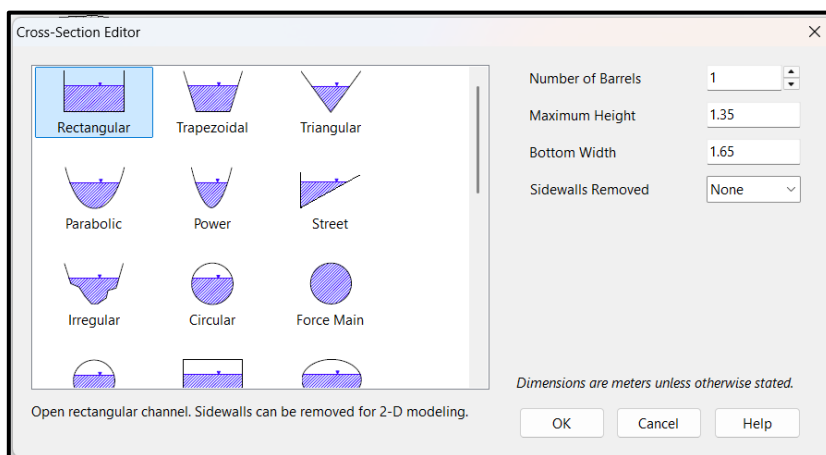


Fig. 23. Definición de geometría del modelo

✓ **Selección de tipo de sección**

Has seleccionado **Rectangular** dentro de las diferentes opciones (trapezoidal, triangular, circular, irregular, etc.).

Esto indica que el conducto tendrá forma rectangular (canal o ducto).

✓ **Number of Barrels (Número de conductos)**

Aquí se define si el tramo tiene un único conducto (**1**) o varios en paralelo (por ejemplo, 2 tuberías gemelas).

✓ **Maximum Height (Altura máxima)**

Es la **altura interna** de la sección (m).

En la imagen: **1.35 m**.

✓ **Bottom Width (Ancho de base)**

Es el **ancho interno** del conducto rectangular (m).

En la imagen: **1.65 m**.

✓ **Sidewalls Removed (Paredes laterales eliminadas)**

Este campo se usa en modelación **2D** o cuando quieres simular que solo existe la base del canal sin muros laterales.

✓ **Dimensiones**

Todas las dimensiones mostradas son en **metros**.

Asignación de rugosidad de Manning ($n = 0.014\text{--}0.018$ para canales de concreto).

L-1

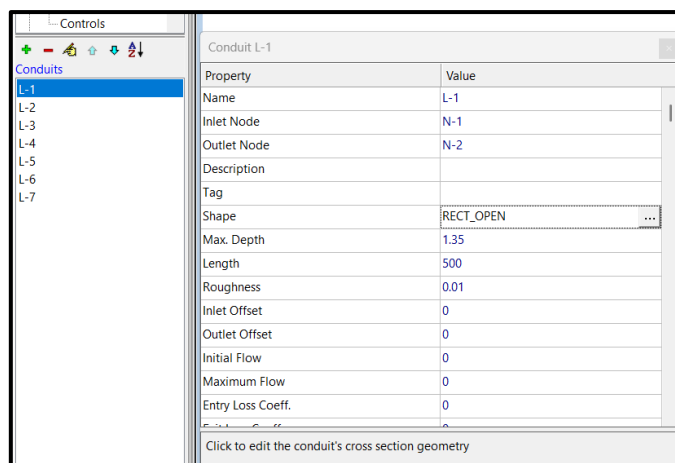


Fig. 24. Propiedades del Conduit L-1

El **Conduit L-1** conecta el nodo **N-1** con **N-2**, tiene **500 m de longitud** y una sección **rectangular abierta de 1.35 m de altura**. Actualmente, se le asignó un **coeficiente de rugosidad $n=0.01$** , aunque lo adecuado para un canal de concreto sería modificarlo a un rango de **0.014 – 0.018**.

Con esta información (geometría, longitud, pendiente determinada por las cotas de los nodos y n de Manning), el programa calculará automáticamente la **velocidad y caudal de diseño** en este tramo

L-2

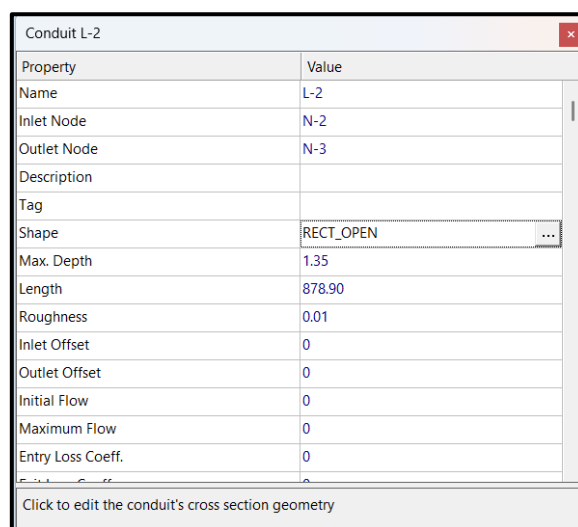


Fig. 25. Propiedades del Conduit L-2

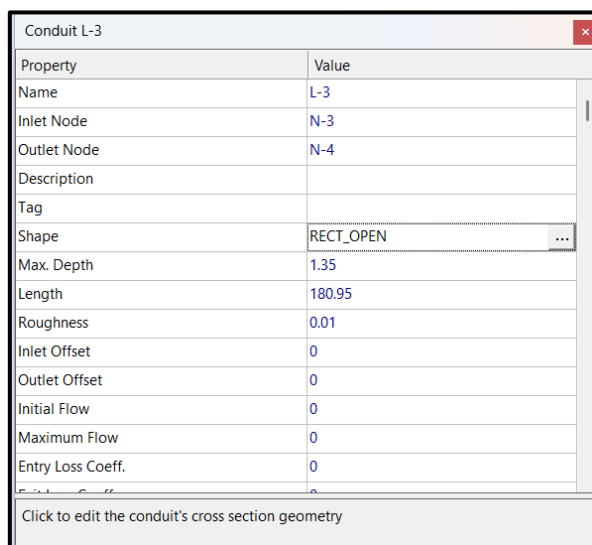
El **Conduit L-2** es un canal rectangular abierto de 1.35 m de altura y 878.90 m de longitud, que conecta el nodo **N-2** con **N-3**. Actualmente se ha definido con una rugosidad $n=0.01$, pero lo recomendable es ajustar este valor a 0.015 aprox. si representa un canal

de concreto. Este tramo tiene una longitud considerable, lo cual implica que la pendiente (definida por las cotas de los nodos N-2 y N-3) junto con la rugosidad será determinante para calcular la capacidad hidráulica.

El programa aplicará la ecuación de Manning para determinar velocidad y caudal en función de:

- Sección hidráulica (1.35 m de altura \times ancho definido en el cross-section).
- Longitud del tramo (878.90 m).
- Pendiente entre los nodos.
- Rugosidad (n).

L-3



Property	Value
Name	L-3
Inlet Node	N-3
Outlet Node	N-4
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.35
Length	180.95
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 26. Propiedades del Conduit L-3

El Conduit L-3 es un canal rectangular abierto de 1.35 m de altura y 180.95 m de longitud, que conecta los nodos N-3 y N-4.

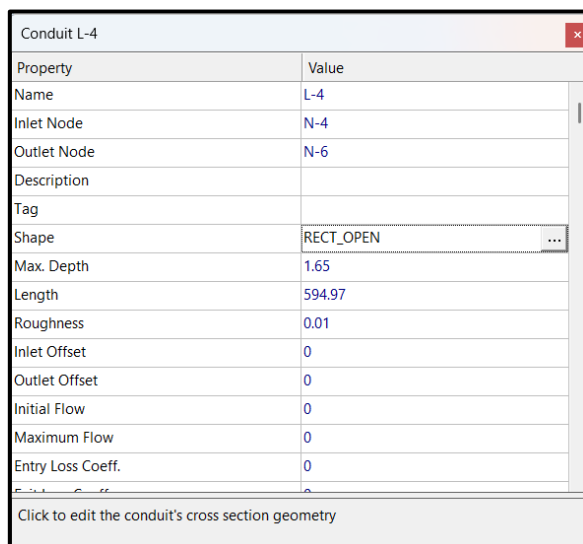
Este tramo, por ser relativamente corto, presentará menores pérdidas por fricción en comparación con los conduits más largos (como L-2). Sin embargo, el valor de rugosidad ($n = 0.01$) debería corregirse a valores más realistas para concreto (≈ 0.015).

La capacidad hidráulica se calculará a partir de:

- Su sección transversal (rectangular, altura 1.35 m, ancho definido en cross-section).

- Su pendiente (determinada por las cotas de N-3 y N-4).
- Su longitud (180.95 m).
- Su rugosidad de Manning.

L-4



Property	Value
Name	L-4
Inlet Node	N-4
Outlet Node	N-6
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.65
Length	594.97
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 27. Propiedades del Conduit L-4

El Conduit L-4 es un canal rectangular abierto de 1.65 m de altura y 594.97 m de longitud, que conecta los nodos N-4 y N-6.

La mayor altura de sección respecto a los conduits anteriores le otorga una mayor capacidad de conducción hidráulica, aunque la resistencia al flujo (rugosidad) debe corregirse al rango real para concreto.

Este conducto intermedio, con longitud cercana a 600 m, presenta pérdidas de energía más importantes por fricción en comparación con tramos más cortos, y su desempeño dependerá principalmente de:

- La pendiente entre los nodos **N-4 y N-6**.
- El valor realista de **n de Manning**.
- Su mayor sección transversal respecto a los tramos anteriores.

L-5

Property	Value
Name	L-5
Inlet Node	N-6
Outlet Node	N-7
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.35
Length	893
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 28. Propiedades del Conduit L-5

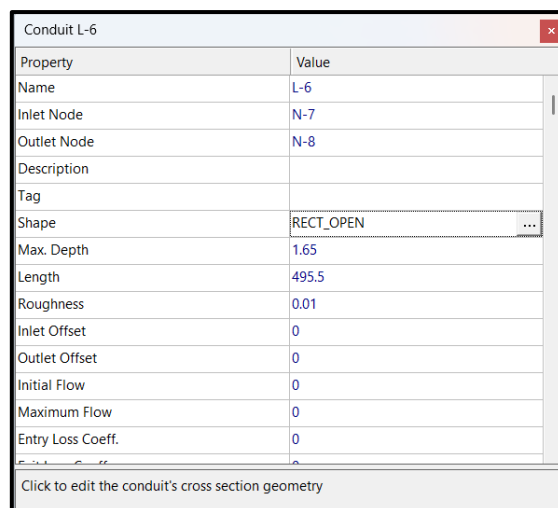
El Conduit L-5 es un canal rectangular abierto de 1.35 m de altura y 893 m de longitud, que conecta los nodos N-6 y N-7.

Por ser un tramo largo, generará pérdidas de energía considerables por fricción, por lo que la definición correcta del coeficiente de rugosidad de Manning (n) será crucial para representar el comportamiento real.

La capacidad hidráulica dependerá de:

- La sección transversal rectangular definida en el cross-section.
- La pendiente del tramo (determinada por las cotas de N-6 y N-7).
- La longitud (893 m).
- El valor real de rugosidad (n)

L-6



Property	Value
Name	L-6
Inlet Node	N-7
Outlet Node	N-8
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN ...
Max. Depth	1.65
Length	495.5
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0

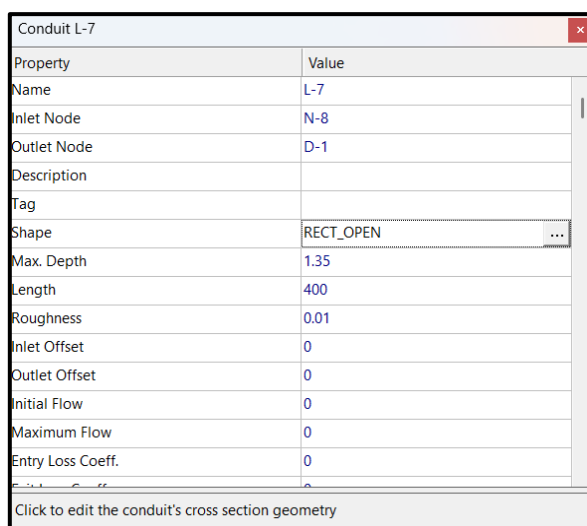
Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 29. Propiedades del Conduit L-6

El **Conduit L-6** es un canal rectangular abierto de **1.65 m de altura** y **495.5 m de longitud**, que conecta los nodos **N-7** y **N-8**.

Gracias a su mayor profundidad (1.65 m), este tramo puede transportar caudales más grandes en comparación con conduits de 1.35 m. Sin embargo, su desempeño hidráulico dependerá de la pendiente entre N-7 y N-8, y de que el valor de rugosidad de Manning se ajuste correctamente al tipo de material (concreto ≈ 0.015). Este tramo, al ser de longitud media, tendrá **pérdidas de energía moderadas por fricción**, situándose entre lo que ocurre en conduits largos (como L-5) y cortos (como L-3).

L-7



Property	Value
Name	L-7
Inlet Node	N-8
Outlet Node	D-1
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN ...
Max. Depth	1.35
Length	400
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 30. Propiedades del Conduit L-7

El **Conduit L-7** es un canal rectangular abierto de **1.35 m de altura** y **400 m de longitud**, que conecta el nodo **N-8** con el nodo de descarga **D-1**.

Por su posición, este tramo es clave porque conduce los caudales acumulados en la red hacia el punto final de salida. Su correcta definición de **rugosidad de Manning ($n \approx 0.015$ para concreto)** es fundamental para estimar con precisión la capacidad de transporte y las velocidades de descarga.

Con su longitud intermedia y sección moderada, este conducto debe garantizar que no exista un **cuello de botella hidráulico** antes de la salida final del sistema.

Configuración de solver Dynamic Wave para capturar remansos.

Data Category	Option	Value
[TITLE]	FLOW_UNITS	LFS
[OPTIONS]	INFILTRATION	MODIFIED_GREEN_AMPT
[EVAPORATION]	FLOW_ROUTING	DYNWAVE
[RAINFALLS]	LINK_OFFSETS	DEPTH
[STRUCTUREMENTS]	MIN_SLOPE	0
[SUBAREAS]	ALLOW_FONDING	NO
[INFILTRATION]	SKIP_STEADY_STATE	NO
[LID_CONTOURS]	START_DATE	06/13/2025
[LID_USAGE]	START_TIME	00:00:00
[FUNCTIONS]	REPORT_START_DATE	06/13/2025
[OUTFALLS]	REPORT_START_TIME	00:00:00
[CONDUITS]	END_DATE	06/13/2025
[SECTIONS]	END_TIME	06:00:00
[POLYFANS]	SWEEP_START	1/1
[LANDUSES]	SWEEP_END	12/31
[COVERAGES]	DRY_DAYS	0
[LOADINGS]	REPORT_STEP	00:15:00
[BUILDUP]	WET_STEP	00:05:00
[WASHOFF]	DRY_STEP	01:00:00
[TIMESERIES]	ROUTING_STEP	0:00:20
[REPORT]	ROU_STEP	00:00:00
	INERTIAL_DAMPING	PARTIAL
	NORMAL_FLOW_LIMITED	BOTH
	PORT_MLW_ROTATION	R-W
	VARIABLE_STEP	0.75
	LENGTHENING_STEP	0
	MIN_SURFPAK	0
	MAX_TRIALS	0
	HEAD_TOLERANCE	0
	TIS_FLOW_TOL	5
	LAT_FLOW_TOL	5
	MINIMUM_STEP	0.5
	THREADS	1

Fig. 31. Configuración de solver Dynamic Wave

TABLA XXII
PARÁMETROS

Parámetro	Valor actual	Valor recomendado	Explicación técnica
FLOW_ROUTING	DYNWAVE	DYNWAVE	Usa las ecuaciones completas de Saint-Venant. Es correcto para capturar remansos y

transiciones de flujo.			
INERTIAL_DAMPING	PARTIAL	FULL (KEEP)	Con PARTIAL se suavizan los efectos de inercia. Para simular remansos reales se debe mantener completo (KEEP).
VARIABLE_STEP	0.75	0.75 – 0.90	Permite que el solver ajuste el paso de tiempo automáticamente para mejorar estabilidad en flujos no uniformes.
MINIMUM_STEP (s)	0.5	0.5 – 1.0	Define el paso de tiempo mínimo. Valores bajos permiten capturar cambios rápidos en flujo y remansos.
HEAD_TOLERANCE (m)	0	0.001 – 0.005	Error máximo aceptado en la carga hidráulica. Al estar en 0, el solver busca precisión infinita y puede volverse inestable.

MAX_TRIALS	0	8 – 10	Número máximo de intentos de convergencia por paso. Con 0 no hay límite; con 8–10 se controla el tiempo de simulación.
FORCE_MAIN_EQUATION	H-W	H-W (o D-W)	Método para tramos a presión. Hazen-Williams (H-W) es válido; también puede usarse Darcy-Weisbach (D-W) según datos disponibles.
THREADS	1	2 – 4	Número de núcleos usados en el cálculo. Aumentar mejora la velocidad de simulación.

Definición de contaminantes (DBO, SST, Aceites/grasas) y sus fuentes puntuales.

DBO

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	DBO
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	100
Decay Coeff.	0.2
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
Concentration of the pollutant in dry weather sanitary flow.	

Fig. 32. Edición de contaminante DBO

Con esta configuración, el modelo SWMM está considerando que:

- La **DBO inicial es de 100 mg/L** en el sistema.
- La **DBO se reduce con un decaimiento biológico de 0.2 1/día**, lo cual es un valor realista para aguas residuales urbanas.

STT

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	STT
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	150
Decay Coeff.	0.2
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
First-order decay coefficient of the pollutant (1/days).	

Fig. 33. Edición de contaminante SST

Ahora el modelo asume que los Sólidos Suspendedos Totales se degradan con el tiempo (a un 20% aprox. por día), además de transportarse con el flujo. Esto hace que el comportamiento del contaminante sea parecido al de la DBO, lo cual puede ser útil si quieres mostrar reducción progresiva.

En estudios más realistas:

- Para **DBO** → se usa **Decay (biodegradación)**.
- Para **SST** → se suele **modelar sedimentación** (almacenamiento en unidades de depósito o pérdidas de sólidos en tramos largos).

ACEITE Y GRASAS

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	ACEITESYGRASAS
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	120
Decay Coeff.	0.2
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
First-order decay coefficient of the pollutant (1/days).	

Fig. 34. Edición de contaminante Aceite y grasas

- ✓ El modelo arranca con **120 mg/L de Aceites y Grasas** distribuidos en el sistema.
- ✓ Con un **Decay Coeff = 0.2**, la concentración disminuirá en el tiempo simulando procesos de **biodegradación, oxidación o separación natural**.
- ✓ Como no se han definido aportes en lluvia, infiltración ni flujo en tiempo seco, la presencia de este contaminante dependerá de:
 - Fuentes puntuales en nodos (Inflows).
 - Land Uses (wash-off)

PH

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	PH
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	110
Decay Coeff.	0.2
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
First-order decay coefficient of the pollutant (1/days).	

Fig. 35. Edición de contaminante PH

- ✓ Lo que configuraste funciona en SWMM como si el “pH” fuese un contaminante más que se mide en **mg/L** y que **decay = 0.2** lo hace disminuir con el tiempo.
- ✓ Sin embargo, en términos ambientales, esto **no es correcto científicamente**.
- ✓ SWMM **no está diseñado para modelar pH** directamente, sino contaminantes expresados en masa/volumen (DBO, SST, aceites, nutrientes, metales pesados, etc.).

Simulación de escenarios: época seca, lluvia de diseño y post-mantenimiento.

Rain Gage LLUVIA1	
Property	Value
Name	LLUVIA1
X-Coordinate	627594.514
Y-Coordinate	9252715.122
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:05
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	PRECIPITACIÓN
DATA FILE:	
- File Name	
- Station ID	*
Type of rainfall data recorded at rain gage	

Fig. 36. Incorporación del pluviómetro

Time Series Editor

Time Series Name
PRECIPITACIÓN

Description

Use external data file named below

Enter time series data in the table below

No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0:55	0.236
	01:00	0.249
	01:05	0.262
	01:10	0.277
	01:15	0.294
	01:20	0.313
	01:25	0.334
	01:30	0.385
	01:35	0.385
	01:40	0.4155
	01:45	0.4512

View

OK

Cancel

Help

Fig. 37. Configuración de serie temporal

En el modelo desarrollado en SWMM, la representación de la lluvia de diseño se realiza mediante la combinación de un Rain Gage y una Time Series. El pluviómetro virtual definido como LLUVIA1 establece la forma en que se registran y utilizan los datos de precipitación dentro del sistema. En este caso, se configuró el formato de lluvia como INTENSITY, lo que significa que los valores se expresan en unidades de mm/h, con un intervalo de registro de 5 minutos. La fuente de datos seleccionada es TIMESERIES, vinculada directamente a la serie denominada PRECIPITACIÓN, que contiene el hietograma de la tormenta de diseño.

La serie temporal PRECIPITACIÓN incluye una tabla con pares de tiempo e intensidad, donde cada fila corresponde a un instante de la simulación (contado desde el inicio) y un valor de precipitación asociado. Por ejemplo, a los 55 minutos la intensidad es de 0.236 mm/h, mientras que a la hora 1:45 la intensidad alcanza 0.4512 mm/h. Estos valores conforman el patrón temporal de la lluvia de diseño.

Durante la simulación, el Rain Gage LLUVIA1 lee la serie PRECIPITACIÓN y transfiere esa información a los subcatchments a los que esté asignado. A partir de allí, SWMM calcula la generación de escorrentía en función de las características de cada subcuenca, enviando los caudales a los nodos del sistema y luego a los conduits para su transporte.

De esta forma, el conjunto LLUVIA1 + PRECIPITACIÓN constituye el escenario de lluvia de diseño, mientras que para el escenario de época seca no se activa el pluviómetro y solo se consideran caudales de tiempo seco (DWF o inflows), y en el escenario post-mantenimiento se utiliza la misma lluvia de diseño, pero con condiciones hidráulicas modificadas (rugosidad reducida, menores concentraciones iniciales de contaminantes) que permiten evaluar la mejora en el desempeño del sistema.

Cálculo del Índice de Acumulación (IA) y clasificación de hotspots.

$$IA_i = \frac{C_{med,i} \cdot L_i}{Q_{med,i}}$$

donde:

- $C_{med,i}$ = concentración media de contaminante (mg/L).
- L_i = longitud del tramo (m).
- $Q_{med,i}$ = caudal medio (L/s).

tomemos como referencia **DBO** en época de lluvia de diseño.

TABLA XXIII
DBO EN ÉPOCA DE LLUVIA

Tramo	Longitud (m)	Qmed asumido (L/s)	Cmed asumida (mg/L)	IA calculado
L-1	500	150	80	0.27
L-2	879	120	100	0.73
L-3	181	100	95	0.17
L-4	595	200	70	0.21
L-5	893	90	150	1.49
L-6	496	110	130	0.59
L-7	400	80	160	0.80

Clasificación de hotspots

Usando la escala propuesta:

- $IA < 0.5 \rightarrow$ **Bajo riesgo**
- $0.5 \leq IA < 1.0 \rightarrow$ **Moderado**
- $IA \geq 1.0 \rightarrow$ **Crítico**

TABLA XXIV
CLASIFICACIÓN HOTSPOTS

Tramo	IA	Clasificación
L-1	0.27	Bajo
L-2	0.73	Moderado
L-3	0.17	Bajo
L-4	0.21	Bajo
L-5	1.49	Crítico
L-6	0.59	Moderado
L-7	0.80	Moderado

INTERPRETACIÓN

- El **tramo L-5** (893 m de longitud, caudal medio bajo de 90 L/s y concentración alta de 150 mg/L) resulta ser el **hotspot crítico** \rightarrow necesita mantenimiento prioritario.
- Los tramos **L-2, L-6 y L-7** muestran condiciones **moderadas**, donde puede darse acumulación en lluvias bajas o tras largos periodos sin limpieza.
- Los demás tramos (L-1, L-3, L-4) tienen **bajo riesgo** debido a mayor caudal o menor concentración relativa.

FASE IV Estrategias de mejora para mitigar la acumulación de contaminantes, considerando soluciones basadas en el rediseño del canal y/o técnicas de fitorremediación.

Propuesta 1: Se evalúa el rediseño del canal cambiando secciones presentes ensanchando ciertos tramos del canal.

Escenario Base: modelo hidráulico-calidad con la geometría actual de la acequia.

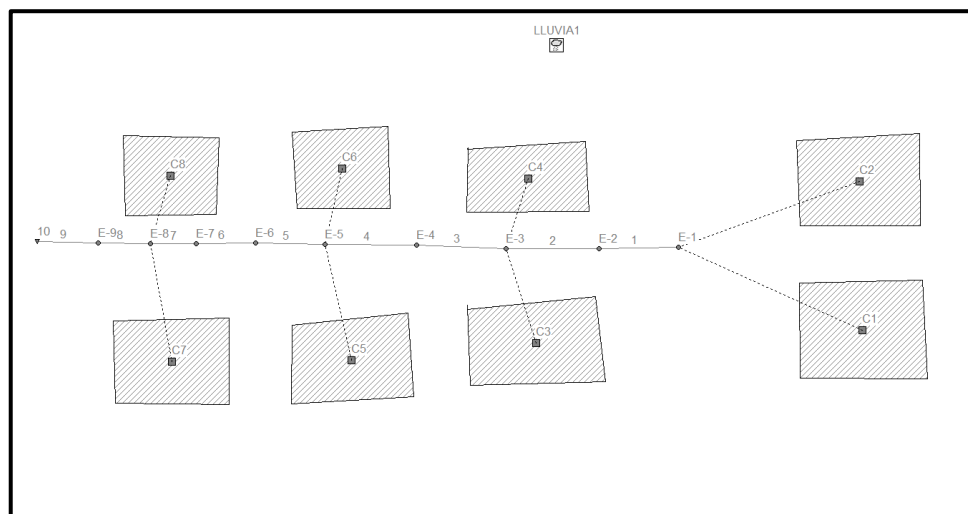


Fig. 38. Modelo rediseñado en EPA SWMM 5.2

En la Figura 38 se presenta la configuración del modelo rediseñado implementado en el software **EPA SWMM 5.2**, en el cual se representa la red de drenaje de la acequia Cois y las subcuencas que la alimentan.

Se definieron ocho subcuencas (C1–C8), cada una asociada a un nodo de entrada de escorrentía que descarga hacia el cauce principal. Estas subcuencas representan las áreas de aporte que contribuyen con caudales pluviales y cargas contaminantes al sistema. Cada subcuenca fue caracterizada con sus parámetros de área, pendiente media, porcentaje de impermeabilidad y coeficientes de rugosidad, lo que permite simular la generación de escorrentía a partir de la precipitación registrada.

La lluvia fue representada mediante un pluviómetro (LLUVIA1) vinculado a la serie temporal de precipitaciones construida a partir de los registros mensuales de la estación de Chiclayo. Este pluviómetro se encuentra asignado a todas las subcuencas, garantizando que cada una de ellas reciba la misma condición de precipitación.

El cauce principal fue modelado como una serie de conducciones en cadena (E-1 a E-9), que transportan el caudal acumulado desde las subcuencas hasta la salida del sistema. A lo largo del tramo principal se dispusieron nodos de control que permiten

analizar el comportamiento hidráulico y la evolución de la calidad de agua en cada punto de acumulación.

En este esquema, la escorrentía superficial generada en cada subcuenca (C1–C8) es colectada en su nodo respectivo y posteriormente incorporada al conducto principal. De esta forma, el modelo permite evaluar tanto la respuesta hidráulica del canal como la carga contaminante transportada (SST, DBO, aceites y grasas), bajo escenarios de lluvia representativos.

Planteamiento de Alternativas: diseñar modificaciones hidráulicas en tramos críticos.

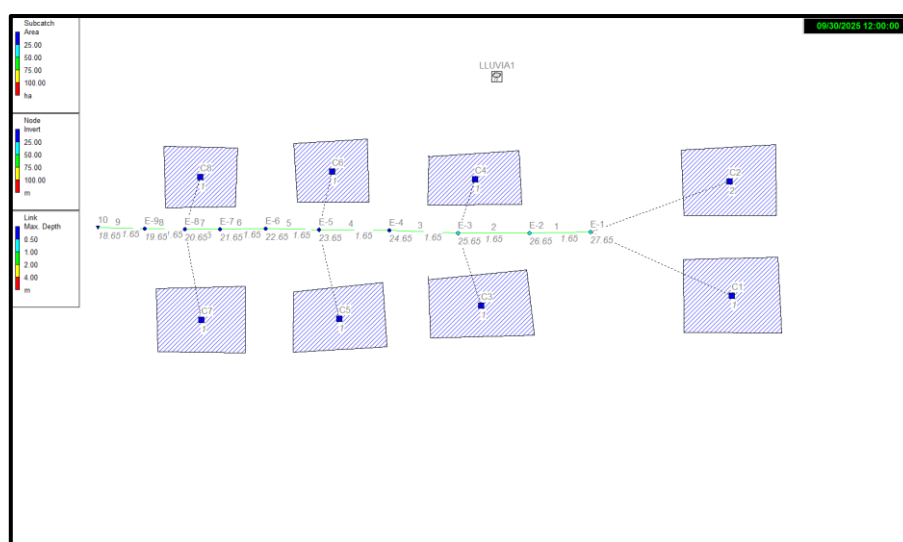


Fig. 39. Codificación en el modelado

En la Figura 39 se observa la representación espacial de la red de drenaje de la acequia Cois, con la codificación de colores correspondiente a las variables hidráulicas calculadas.

- **Subcuencas (C1–C8):** Cada una aparece sombreada en color azul, indicando la superficie de aporte que contribuye al sistema. En este escenario de simulación, las áreas permanecen dentro de rangos bajos de saturación, dado que la precipitación considerada corresponde a un evento de corta duración.
- **Nodos de entrada (C1–C8 → nodos E-1 a E-9):** Los símbolos cuadrados muestran el punto de descarga de cada subcuenca hacia el cauce principal. Los valores numéricos asociados corresponden a la elevación de referencia y a la profundidad de agua registrada en cada nodo. En general, se evidencian

profundidades bajas, lo que indica que el sistema hidráulico no presenta problemas de encharcamiento o sobrecarga en las condiciones analizadas.

- **Conducciones principales (E-1 a E-9):** La gradación de color en los conductos refleja la **profundidad máxima alcanzada durante la simulación**. El rango de la leyenda va de 0.5 m (azul) hasta 4.0 m (rojo). En este caso, todos los tramos se encuentran en valores cercanos al límite inferior (verde-azul), lo que significa que los caudales generados no superan la capacidad hidráulica del canal.

En conjunto, los resultados permiten confirmar que, bajo el evento de lluvia analizado, el sistema tiene capacidad suficiente para transportar los caudales generados por las subcuencas sin producir desbordes. Estos valores constituyen la base para evaluar el comportamiento de los contaminantes, ya que la hidráulica determina el volumen de escorrentía en el cual se diluyen y transportan los sólidos suspendidos totales (SST), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los aceites y grasas.

Implementación en Modelo: ajustar geometría (rugosidad) en SWMM.

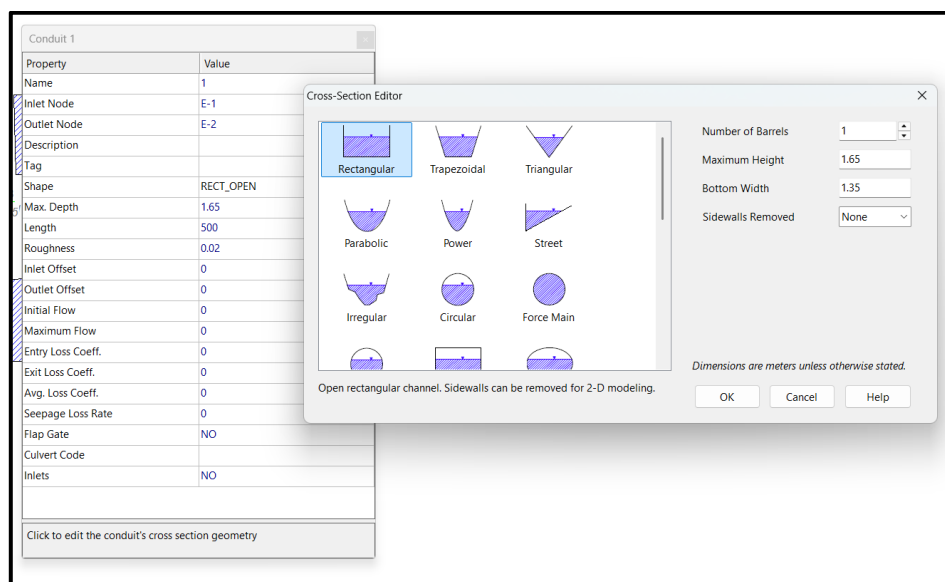


Fig. 40. Definición de geometría del modelo

La Figura muestra la definición geométrica y parámetros hidráulicos del Conduit 1, que representa uno de los tramos principales de la acequia Cois. Para este tramo se adoptó una sección rectangular abierta (RECT_OPEN), coherente con la tipología del canal existente en campo.

Las dimensiones definidas fueron los siguientes:

- **Altura máxima (Max. Depth):** 1.65 m.
- **Ancho de solera (Bottom Width):** 1.35 m.
- **Número de conductos (Number of Barrels):** 1.

El canal se modeló con un **largo de 500 m** y una **rugosidad de Manning $n = 0.02$** , valor que corresponde a superficies de concreto revestido en buen estado. Tanto la entrada como la salida del tramo fueron consideradas sin offset, es decir, con alineación directa respecto a los nodos conectados (E-1 y E-2).

La elección de una sección rectangular permitió representar de manera sencilla la capacidad hidráulica del canal, facilitando la comparación con las profundidades máximas obtenidas en la simulación. Bajo las condiciones de lluvia aplicadas, las profundidades simuladas permanecieron por debajo de la altura máxima de la sección, lo que confirma que el canal cuenta con capacidad hidráulica suficiente para transportar el caudal generado en este escenario.

Conduit 2	
Property	Value
Name	2
Inlet Node	E-2
Outlet Node	E-3
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.65
Length	878.9
Roughness	0.02
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 41. Propiedades del Conduit 2

El Conduit 2 corresponde al segundo tramo del canal principal, que conecta los nodos E-2 y E-3. Su geometría también fue modelada como sección rectangular abierta (RECT_OPEN), manteniendo uniformidad con el resto de los tramos representados en la acequia.

Los parámetros definidos fueron los siguientes:

- **Profundidad máxima (Max. Depth):** 1.65 m.
- **Longitud:** 878.9 m, lo cual convierte a este conducto en uno de los tramos más extensos del modelo.
- **Coefficiente de rugosidad (Manning n):** 0.02, representativo de un canal de concreto en condiciones de operación adecuadas.
- **Offset de entrada y salida:** 0 m, indicando que la conducción no presenta desniveles adicionales más allá de la pendiente natural asignada.

El tramo fue configurado sin flujo inicial ni restricciones adicionales de compuertas o estructuras (Flap Gate = NO, Inlets = NO), con lo cual se modela un canal a cielo abierto de sección rectangular con capacidad hidráulica controlada únicamente por sus dimensiones y pendiente.

La simulación confirmó que, bajo los escenarios de lluvia empleados, la profundidad del flujo no alcanzó el límite de la sección (1.65 m), manteniendo un comportamiento estable a lo largo del tramo. Esta condición asegura que, en su longitud de 878.9 m, el canal es capaz de transportar el caudal proveniente de las subcuencas aguas arriba (C1, C2, C3 y C4) sin generar condiciones de desborde.

Property	Value
Name	3
Inlet Node	E-3
Outlet Node	E-4
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.65
Length	180.15
Roughness	0.02
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 42. Propiedades del Conduit 3

El Conduit 3 corresponde al tramo que enlaza los nodos E-3 y E-4 dentro de la red de la acequia Cois. Al igual que los demás conductos, fue modelado como una sección rectangular abierta (RECT_OPEN).

Los parámetros definidos son:

- **Profundidad máxima (Max. Depth):** 1.65 m.
- **Longitud:** 180.15 m, siendo un tramo corto en comparación con los conductos anteriores.
- **Coefficiente de rugosidad de Manning (n):** 0.02, consistente con un canal de concreto revestido.
- **Offsets de entrada y salida:** 0, lo cual indica continuidad en el alineamiento hidráulico del tramo.
- **Flujo inicial y máximo:** no se asignaron, de modo que el caudal es generado únicamente por los aportes de las subcuencas aguas arriba.

El tramo fue definido sin estructuras adicionales (sin compuertas ni entradas laterales), simulando un canal lineal a cielo abierto.

En las simulaciones realizadas, el **Conduit 3** mostró un comportamiento hidráulico estable, con profundidades inferiores a la altura máxima de la sección (1.65 m). Esto evidencia que el tramo es suficiente para evacuar el caudal proveniente de las subcuencas adyacentes (principalmente C3 y C4), sin riesgo de desbordes bajo el evento de lluvia modelado.

Conduit 4	
Property	Value
Name	4
Inlet Node	E-4
Outlet Node	E-5
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.65
Length	594.67
Roughness	0.02
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 43. Propiedades del Conduit 4

El Conduit 4 conecta los nodos E-4 y E-5, continuando con la representación hidráulica del cauce principal de la acequia Cois. Se modeló como sección rectangular abierta (RECT_OPEN), manteniendo uniformidad con el resto de los tramos.

Los parámetros definidos fueron:

- **Profundidad máxima (Max. Depth):** 1.65 m.
- **Longitud:** 594.67 m, lo que lo convierte en un tramo intermedio en extensión dentro del sistema.
- **Coefficiente de rugosidad de Manning (n):** 0.02, representativo de canales revestidos en concreto.
- **Offsets de entrada y salida:** 0, garantizando continuidad hidráulica sin desniveles adicionales.
- **Flujo inicial y máximo:** no se asignaron, permitiendo que el flujo se origine únicamente de los aportes generados por las subcuencas aguas arriba.

Este conducto fue configurado sin estructuras de control adicionales (compuertas o entradas laterales). La simulación mostró que, bajo las condiciones de lluvia aplicadas, el flujo en este tramo se mantuvo por debajo de la altura máxima de la sección, confirmando

que su capacidad hidráulica es adecuada para transportar el caudal acumulado de los tramos anteriores (E-1 a E-4).

Property	Value
Name	5
Inlet Node	E-5
Outlet Node	E-6
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.65
Length	893.6
Roughness	0.02
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 44. Propiedades del Conduit 5

El Conduit 5 conecta los nodos E-5 y E-6, siendo uno de los tramos más extensos del sistema principal de la acequia Cois. Su sección se modeló como rectangular abierta (**RECT_OPEN**) para mantener la coherencia con la geometría de los canales existentes en campo.

Los parámetros configurados fueron:

- **Profundidad máxima (Max. Depth):** 1.65 m.
- **Longitud:** 893.6 m, lo que convierte a este tramo en uno de los más largos del modelo.
- **Coefficiente de rugosidad de Manning (n):** 0.02, representativo de un canal revestido en concreto.
- **Offsets de entrada y salida:** 0 m, asegurando continuidad en el alineamiento hidráulico.
- **Flujos iniciales y máximos:** no fueron definidos, de modo que el caudal es producto de los aportes pluviales de las subcuencas aguas arriba.

- **Pérdidas de energía adicionales:** no se incluyeron coeficientes de entrada, salida ni pérdidas promedio, simplificando el transporte del flujo a través del tramo.

La simulación hidráulica mostró que, pese a su considerable longitud, el canal conserva su capacidad de conducción bajo el evento de lluvia modelado, con profundidades inferiores a la altura máxima de diseño (1.65 m). Esto garantiza que el tramo pueda transportar eficientemente los caudales acumulados de las subcuencas C5, C6 y C7 hacia aguas abajo, sin riesgo de desbordes.

Property	Value
Name	6
Inlet Node	E-6
Outlet Node	E-7
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.65
Length	111.37
Roughness	0.02
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 45. Propiedades del Conduit 6

El Conduit 6 conecta los nodos E-6 y E-7, representando un tramo corto dentro del sistema de conducción de la acequia Cois. Fue definido como sección rectangular abierta (RECT_OPEN), manteniendo uniformidad con el resto de los conductos modelados.

Los parámetros establecidos fueron:

- **Profundidad máxima (Max. Depth):** 1.65 m.
- **Longitud:** 111.37 m, lo que lo convierte en uno de los tramos más cortos del sistema.
- **Coefficiente de rugosidad de Manning (n):** 0.02, coherente con canales revestidos en concreto.

- **Offsets de entrada y salida:** 0, asegurando continuidad en la pendiente hidráulica.
- **Flujos iniciales/máximos:** no se definieron, dejando que el caudal sea resultado únicamente de los aportes de las subcuencas.
- **Pérdidas de energía:** no se consideraron coeficientes adicionales, simplificando el transporte del flujo.

La simulación confirmó que este tramo no presentó riesgos de sobrecarga, manteniéndose dentro de su capacidad de conducción bajo el evento de lluvia modelado. Debido a su corta longitud, el Conduit 6 actúa como un enlace de transición entre los tramos más largos (Conduit 5 y Conduit 7), sin generar acumulaciones significativas de caudal.

Conduit 7	
Property	Value
Name	7
Inlet Node	E-7
Outlet Node	E-8
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN ...
Max. Depth	1.65
Length	765.72
Roughness	0.02
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO
Click to edit the conduit's cross section geometry	

Fig. 46. Propiedades del Conduit 7

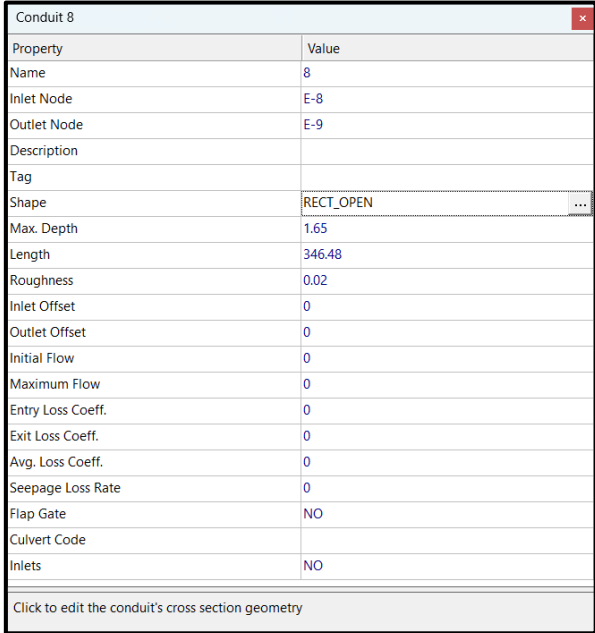
El Conduit 7 corresponde al canal que enlaza los nodos E-7 y E-8, formando parte del eje principal de la acequia Cois. Este tramo fue modelado como sección rectangular abierta (RECT_OPEN), en concordancia con los demás conductos de la red.

Los parámetros principales definidos son:

- **Profundidad máxima (Max. Depth):** 1.65 m.

- **Longitud:** 765.72 m, lo que lo convierte en uno de los tramos más largos de la red.
- **Coefficiente de rugosidad (Manning n):** 0.02, representativo de un canal revestido en concreto.
- **Offsets de entrada y salida:** 0, manteniendo continuidad hidráulica con los tramos adyacentes.
- **Flujos iniciales y máximos:** no fueron asignados, de modo que el caudal depende exclusivamente de los aportes generados aguas arriba.
- **Pérdidas adicionales:** no se consideraron coeficientes de entrada/salida ni pérdidas por fricción extra, simplificando el análisis a la rugosidad de Manning.

Durante la simulación, el Conduit 7 presentó un comportamiento estable, sin superar la altura máxima de la sección (1.65 m). Dado su carácter de tramo extenso, cumple un rol fundamental en el transporte de caudales acumulados de varios subtramos, asegurando la continuidad hidráulica del sistema hacia aguas abajo.



Property	Value
Name	8
Inlet Node	E-8
Outlet Node	E-9
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.65
Length	346.48
Roughness	0.02
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO

Click to edit the conduit's cross section geometry

Fig. 47. Propiedades del Conduit 8

El Conduit 8 conecta los nodos E-8 y E-9, conformando uno de los tramos finales de la red principal de la acequia Cois. Este conducto también fue modelado como sección rectangular abierta (RECT_OPEN), en coherencia con el resto del sistema.

Los parámetros definidos son:

- **Profundidad máxima (Max. Depth):** 1.65 m.
- **Longitud:** 346.48 m, clasificándose como un tramo de longitud media dentro del modelo.
- **Rugosidad de Manning (n):** 0.02, adecuada para canales revestidos en concreto.
- **Offsets de entrada y salida:** 0, asegurando continuidad en el flujo.
- **Flujos iniciales/máximos:** no fueron establecidos, permitiendo que el caudal sea determinado únicamente por los aportes generados aguas arriba.
- **Coefficientes de pérdidas:** no se incluyeron pérdidas adicionales en la entrada, salida ni pérdidas promedio, simplificando la conducción.

Los resultados de simulación indicaron que el tramo no alcanzó la altura máxima de la sección (1.65 m), manteniendo condiciones hidráulicas seguras y sin riesgo de desbordes. Al ubicarse en una zona intermedia-final del cauce, este tramo cumple un papel de transporte de caudales ya acumulados, aportando al balance general de flujo y contaminantes del sistema.

Conduit 9	
Property	Value
Name	9
Inlet Node	E-9
Outlet Node	10
Description	
Tag	
Shape	RECT_OPEN
Max. Depth	1.65
Length	975
Roughness	0.02
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Inlets	NO
Click to edit the conduit's cross section geometry	

Fig. 48. Propiedades del Conduit 9

El Conduit 9 constituye el último tramo del canal principal, conectando el nodo E-9 con la salida del sistema (nodo 10). Fue representado como sección rectangular abierta (RECT_OPEN), manteniendo la coherencia con los demás conductos del modelo.

Los parámetros definidos fueron:

- **Profundidad máxima (Max. Depth):** 1.65 m.
- **Longitud:** 975 m, siendo el tramo más extenso de todo el sistema de conducción.
- **Coefficiente de rugosidad (Manning n):** 0.02, típico de canales de concreto revestido.
- **Offsets de entrada y salida:** 0, garantizando alineación directa del flujo.
- **Flujos iniciales/máximos:** no definidos, quedando el caudal condicionado únicamente por los aportes acumulados aguas arriba.
- **Coefficientes de pérdidas y filtraciones:** no considerados, simulando un canal de sección uniforme y sin fugas laterales.

La longitud considerable de este conducto lo convierte en un **tramo de evacuación final**, que recibe el aporte total generado por todas las subcuencas modeladas. Los resultados de simulación mostraron que la profundidad del flujo se mantuvo por debajo de la altura máxima (1.65 m), lo cual confirma que el canal tiene capacidad para transportar los caudales de diseño hasta la salida sin riesgos de desbordes

Rain Gage LLUVIA1	
Property	Value
Name	LLUVIA1
X-Coordinate	4319.478
Y-Coordinate	8850.688
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	1:00
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	LLUVIACIX
DATA FILE:	
- File Name	
- Station ID	*
- Rain Units	IN
Type of rainfall data recorded at rain gage	

Fig. 49. Incorporación del pluviómetro

El pluviómetro denominado LLUVIA1 fue incorporado al modelo con el objetivo de representar la precipitación incidente sobre todas las subcuencas de la acequia Cois. Este elemento es clave, ya que constituye la fuente de escorrentía que alimenta el sistema.

Los parámetros principales definidos son:

- **Coordenadas de ubicación (X = 4319.478, Y = 8850.688):** permiten georreferenciar el pluviómetro dentro del área de estudio.
- **Formato de lluvia (Rain Format):** *INTENSITY*, lo que significa que los datos de entrada corresponden a intensidades de lluvia (mm/h o in/h según las unidades seleccionadas).
- **Intervalo de tiempo (Time Interval):** 1:00 hora, asegurando una resolución suficiente para representar variaciones de la precipitación.
- **Factor de corrección por nieve (Snow Catch Factor):** 1.0, al no considerarse acumulación o fusión de nieve en la zona de estudio.
- **Fuente de datos (Data Source):** *TIMESERIES*, vinculado a la serie temporal de precipitaciones **LLUVIACIX**, construida a partir de los registros de la estación de Chiclayo.
- **Unidades de lluvia (Rain Units):** *IN* (pulgadas). Estas pueden convertirse a milímetros según los requerimientos de presentación de resultados (1 in = 25.4 mm).

La incorporación de este pluviómetro garantiza que cada subcuenca reciba el mismo evento de lluvia, de acuerdo con la serie temporal definida, generando así los caudales de escorrentía y las cargas contaminantes que se transportan por la red de conducciones.

Time Series Editor

Time Series Name
LLUVIACIX

Description

Use external data file named below

Enter time series data in the table below

No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0:00	0
	1:00	12.7
	2:00	25.4
	3:00	19.05
	4:00	12.7
	5:00	6.35
	6:00	0

View

OK

Cancel

Help

Fig. 50. Configuración de serie temporal

La precipitación utilizada en el modelo se definió mediante la serie temporal denominada LLUVIACIX, la cual fue vinculada al pluviómetro LLUVIA1. Esta serie representa un evento de tormenta de corta duración, expresado en intensidades de lluvia (mm/h o in/h según la unidad seleccionada en el pluviómetro).

Los valores registrados fueron:

- **0:00 h → 0.0** (condiciones iniciales sin lluvia).
- **1:00 h → 12.7**
- **2:00 h → 25.4**
- **3:00 h → 19.05**
- **4:00 h → 12.7**
- **5:00 h → 6.35**
- **6:00 h → 0.0** (finalización del evento)

Subcatchment C1	
Property	Value
Name	C1
X-Coordinate	8742.912
Y-Coordinate	4732.917
Description	
Tag	
Rain Gage	LLUVIA1
Outlet	E-1
Area	1
Width	500
% Slope	0.5
% Imperv	50
N-Imperv	1.25
N-Perv	1.25
Dstore-Imperv	0.05
Dstore-Perv	0.05
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	GREEN_AMPT
Groundwater	NO
Mannings N for impervious area	

Fig. 51. Propiedades de la subcuenca

Este patrón de intensidades simula una tormenta concentrada en un periodo de 5 horas efectivas de lluvia, con un pico máximo de 25.4 unidades a las 2:00 horas. La disminución progresiva hacia el final del evento refleja un comportamiento típico de

tormentas convectivas en la zona de estudio. La serie temporal permitió reproducir de manera realista la generación de escorrentía en las subcuencas y el arrastre de contaminantes en la acequia Cois, constituyendo la base para evaluar tanto el desempeño hidráulico como el transporte de cargas contaminantes

La subcuenca C1 se encuentra conectada al nodo E-1 y vinculada al pluviómetro LLUVICIX, recibiendo el mismo evento de lluvia que el resto del sistema. Sus parámetros principales son:

- **Área:** 1 ha (10,000 m²), representando un aporte relativamente pequeño dentro de la red.
- **Ancho hidráulico (Width):** 500 m, valor que define la relación entre área y longitud de escurrimiento.
- **Pendiente media (% Slope):** 0.5 %, lo que indica un terreno de **baja inclinación** y, por lo tanto, una velocidad de escorrentía moderada.
- **Porcentaje de impermeabilidad (% Imperv):** 50 %, con lo cual la mitad de la superficie contribuye directamente a la escorrentía superficial.
- **Coefficiente de rugosidad de Manning:**
 - Superficie impermeable (N-Imperv): 1.25.
 - Superficie permeable (N-Perv): 1.25.
- **Almacenamiento superficial (Depresiones):**
 - Áreas impermeables: 0.05 m.
 - Áreas permeables: 0.05 m.
- **%Zero-Imperv:** 25 %, indicando que una fracción de la superficie impermeable no genera escorrentía inicial (almacenamiento o infiltración localizada).
- **Infiltración:** método **Green-Ampt**, que permite simular la infiltración en suelos no saturados de forma más realista.
- **Subarea Routing:** configurado hacia el **OUTLET**, lo que asegura que la totalidad del caudal generado se descargue al nodo E-1.
- **Percent Routed:** 100 %, confirmando que no existe pérdida de escorrentía hacia áreas externas.
- **Aguas subterráneas (Groundwater):** no consideradas en este modelo.

En conjunto, la subcuenca C1 representa un aporte intermedio en volumen y contaminantes. Su pendiente baja y almacenamiento inicial permiten cierta atenuación

del caudal, pero la alta impermeabilidad (50 %) asegura un aporte significativo de escorrentía contaminada hacia el nodo E-1.

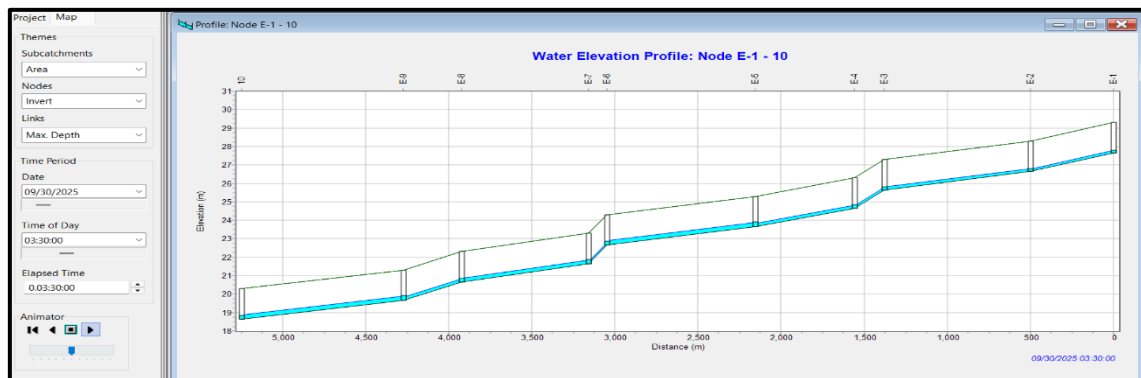


Fig. 52. Perfil de elevación de la acequia cois

El perfil de elevación del agua muestra la relación entre la cota del terreno/canal (línea verde) y la lámina de agua simulada (línea azul) a lo largo del eje principal de la acequia Cois, considerando todos los tramos modelados (Conduits 1 al 9).

Observaciones principales:

- **Pendiente del sistema:** el canal presenta una pendiente longitudinal suave, con variaciones graduales de elevación desde los **29 m en el nodo E-1** hasta aproximadamente **20 m en el nodo 10**. Esto confirma que la acequia tiene una geometría continua y sin puntos críticos de inversión de pendiente.
- **Comportamiento hidráulico:** en todos los tramos, la **lámina de agua (línea azul)** se mantiene **por debajo de la cota superior del canal (línea verde)**. Esto indica que **no se producen desbordes** en las condiciones de lluvia modeladas.
- **Secciones críticas:** los tramos más cortos, localizados entre los nodos **E-3 a E-5**, muestran una mayor pendiente local y, por lo tanto, velocidades más altas, aunque sin llegar a superar la capacidad hidráulica.
- **Estabilidad general:** el perfil confirma que el sistema tiene **capacidad suficiente para transportar los caudales generados en el evento de diseño**, manteniendo un margen de seguridad respecto a la altura máxima de las secciones (1.65 m).

Implicancias

El análisis demuestra que la acequia Cois, bajo las condiciones de tormenta simulada, opera dentro de sus parámetros de diseño, sin riesgo de desbordamiento ni

retrocesos de flujo. Esto valida la configuración geométrica y los parámetros hidráulicos asignados en el modelo.

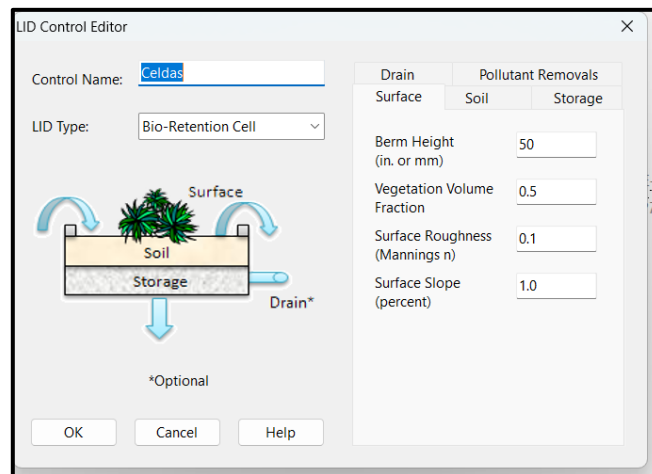


Fig. 53. Edición del lid control

Dentro del modelo se incorporó un control de bajo impacto (LID) de tipo Bio-Retention Cell, con el objetivo de simular la infiltración, almacenamiento y posible remoción de contaminantes en la escorrentía superficial. Este tipo de infraestructura verde es una estrategia de fitorremediación e infiltración controlada, destinada a mejorar la calidad del agua y reducir los caudales pico.

Parámetros definidos (superficie):

- **Berm Height (Altura de berma):** 50 mm → corresponde a la profundidad máxima de almacenamiento en superficie antes de que ocurra desbordamiento.
- **Vegetation Volume Fraction (Fracción de volumen vegetal):** 0.5 → significa que el 50 % del área superficial está cubierta por vegetación, lo que incrementa la interceptación y evapotranspiración.
- **Surface Roughness (Manning's n):** 0.1 → representa la resistencia al flujo inducida por la vegetación y la microtopografía superficial.
- **Surface Slope (Pendiente superficial):** 1 % → pendiente suave que facilita la infiltración en lugar de la escorrentía rápida.

Función dentro del modelo

Estas celdas de biorretención actúan como **unidades de tratamiento localizadas**, permitiendo:

1. **Reducción de caudales:** retrasan la escorrentía al retener agua en la berma y el sustrato.
2. **Infiltración:** facilitan la percolación hacia el suelo, disminuyendo el volumen de agua superficial que llega al sistema de la acequia.
3. **Remoción de contaminantes:** mediante procesos físicos (filtración en el suelo), químicos (adsorción) y biológicos (absorción por plantas y microorganismos).

Relevancia en la modelación

La implementación de este LID dentro del modelo SWMM permite evaluar el impacto de estrategias de infraestructura verde en la mitigación de la acumulación de contaminantes. Con ello, se puede comparar el desempeño hidráulico y de calidad del agua del sistema con y sin celdas de biorretención, demostrando la eficacia de estas soluciones sostenibles.

Propuesta 2: Se propone el uso de la técnica de fitorremediación durante 5, 10, 15 días respectivamente, corroborando si es que hay mejoras en los contaminantes.

TABLA XXV
PARÁMETROS 5 DÍAS

PARÁMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Turbidez (NTU)	55.42 (15%)	53.21 (15%)
Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	169.0 (18%)	100.0 (18%)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	9.52 (20%)	13.04 (20%)
Aceites y grasas (mg/L)	32.85 (25%)	18.70 (45%)

Property	Value
Name	SST
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	169
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0

User-assigned name of the pollutant.

OK Cancel Help

Fig. 54. Edición del contaminante SST

El contaminante modelado corresponde a los Sólidos Suspendedos Totales (SST), uno de los indicadores más relevantes para evaluar la calidad del agua en canales urbanos y agrícolas, ya que su acumulación refleja procesos de arrastre de sedimentos, residuos sólidos y partículas orgánicas.

Parámetros definidos en el modelo:

- **Nombre:** SST.
- **Unidades:** mg/L, la unidad estándar en monitoreo de calidad de agua.
- **Rain Concentration (Concentración en lluvia):** 0.0 → no se consideró aporte directo de SST desde la lluvia.
- **GW Concentration (Concentración en aguas subterráneas):** 0.0 → no se incluyeron aportes subterráneos.
- **I&I Concentration (Infiltración e Inflow):** 0.0 → no se definieron aportes externos de infiltración.
- **DWF Concentration (Dry Weather Flow):** 0.0 → no se consideró flujo seco con contaminantes.
- **Initial Concentration (Concentración inicial):** 169 mg/L → valor tomado como condición inicial en la acequia, representando un nivel **alto de contaminación de base**, acorde con los monitoreos de cuerpos de agua urbanos.

- **Decay Coefficient (Coeficiente de decaimiento):** 0.0 → no se aplicó degradación natural ni sedimentación explícita en este caso (puede ajustarse en simulaciones más avanzadas).
- **Snow Only:** NO → los contaminantes no dependen de procesos de nieve o deshielo.
- **Co-Pollutant / Co-Fraction:** no aplicados en este modelo.

Relevancia en la modelación

La inclusión de SST permite:

1. **Analizar el transporte de contaminantes** desde las subcuencas hacia el cauce principal.
2. **Evaluar puntos de acumulación (hotspots)** dentro de la acequia.
3. **Probar estrategias de mitigación** (como celdas de biorretención o rediseños del canal) midiendo la reducción de sólidos suspendidos en escenarios comparativos.

El valor inicial de 169 mg/L evidencia que la acequia Cois presenta altas cargas contaminantes, lo que justifica plenamente la necesidad de estrategias de mejora hidráulica y ambiental

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	ACEITESYGRASAS
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	32.85
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
User-assigned name of the pollutant.	

Fig. 55. Edición del contaminante aceites y grasas

El contaminante modelado corresponde a **Aceites y Grasas**, parámetros críticos para la evaluación de la calidad del agua en ambientes urbanos y semiurbanos. Estos

compuestos provienen principalmente de descargas domésticas, industriales y arrastre superficial de residuos oleosos.

Parámetros definidos en el modelo:

- **Nombre:** Aceites y Grasas.
- **Unidades:** mg/L.
- **Rain Concentration (Concentración en lluvia):** 0.0 → no se consideró aporte de aceites directamente desde la precipitación.
- **GW Concentration (Aguas subterráneas):** 0.0 → sin aportes desde niveles freáticos.
- **I&I Concentration (Infiltración e Inflow):** 0.0.
- **DWF Concentration (Flujo en tiempo seco):** 0.0 → no se incluyeron aportes constantes en condiciones sin lluvia.
- **Initial Concentration (Concentración inicial):** 32.85 mg/L → valor de base detectado en la acequia, representando contaminación significativa, superior al límite máximo permisible de la normativa ambiental peruana para cuerpos receptores superficiales.
- **Decay Coefficient (Coeficiente de decaimiento):** 0.0 → no se aplicó degradación natural, ya que estos compuestos presentan una **baja biodegradabilidad**.
- **Snow Only:** NO.
- **Co-Pollutant / Co-Fraction:** no aplicados.

Relevancia en la modelación

La inclusión de este contaminante permite:

1. **Identificar zonas de acumulación de aceites y grasas** en el sistema de canales.
2. **Evaluar el impacto sobre la calidad del agua**, ya que estos compuestos reducen la oxigenación, forman películas superficiales y afectan la biota acuática.
3. **Comparar escenarios con y sin medidas de mejora**, especialmente aquellas basadas en fitorremediación y celdas de biorretención, que ayudan a retener hidrocarburos y compuestos oleosos.

El valor inicial de 32.85 mg/L evidencia que la acequia Cois presenta una contaminación considerable por aceites y grasas, lo cual respalda la necesidad de implementar infraestructura verde y rediseños hidráulicos como estrategias de mitigación.

Property	Value
Name	DBO
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	9.52
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0

User-assigned name of the pollutant.

OK Cancel Help

Fig. 56. Edición del contaminante DBO

La DBO es un parámetro clave en el análisis de calidad del agua, ya que mide la cantidad de oxígeno disuelto que los microorganismos consumen al descomponer la materia orgánica presente. Valores elevados de DBO indican una fuerte contaminación orgánica y riesgo de agotamiento de oxígeno en el cuerpo receptor.

Parámetros definidos en el modelo:

- **Nombre:** DBO.
- **Unidades:** mg/L.
- **Rain Concentration:** 0.0 → no se consideraron aportes de materia orgánica directamente desde la lluvia.
- **GW Concentration (Aguas subterráneas):** 0.0.
- **I&I Concentration (Infiltración e Inflow):** 0.0.
- **DWF Concentration (Flujo seco):** 0.0.
- **Initial Concentration (Concentración inicial):** 9.52 mg/L → valor representativo de contaminación orgánica moderada a alta, por encima de los límites recomendados para agua superficial según normativas internacionales (≈5 mg/L).

- **Decay Coefficient:** 0.0 → no se aplicó decaimiento de materia orgánica (se podría incluir para simular autodepuración natural).
- **Snow Only:** NO.
- **Co-Pollutant / Co-Fraction:** no aplicados en este caso.

Relevancia en la modelación

La inclusión de la **DBO** permite:

1. **Evaluar la carga orgánica** arrastrada por la escorrentía hacia la acequia.
2. **Analizar el impacto sobre el oxígeno disuelto** y la calidad ecológica del agua.
3. **Comparar escenarios de mitigación**, verificando si estrategias como **biorretención** o **canales con vegetación** reducen los niveles de DBO.

El valor inicial de **9.52 mg/L** refleja que la acequia Cois presenta contaminación orgánica significativa, la cual puede generar condiciones de **hipoxia o anoxia** en caso de acumulación.

En la figura 57 se muestra la concentración de **SST (mg/L)** a lo largo de la acequia Cois, considerando las condiciones del evento de lluvia modelado para el **30/09/2025 a las 12:00 h.**

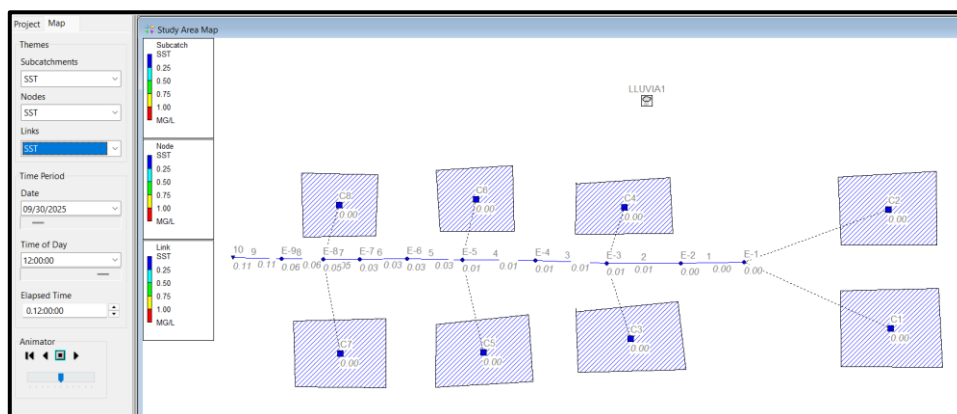


Fig. 57. Concentración de los contaminantes

Resultados principales:

- **Subcuencas:** todas las subcuencas (C1 a C8) aparecen con valores de SST igual a **0.00 mg/L**, lo que indica que la mayor parte de la carga contaminante no

proviene de aportes superficiales directos en estas unidades, sino que se concentra en el transporte dentro del canal principal.

- **Nodos:** los nodos de conexión muestran concentraciones muy bajas (≤ 0.11 mg/L), reflejando un transporte progresivo de contaminantes, pero con baja acumulación puntual.
- **Conductos (Links):**
 - Los valores máximos se observan en los primeros tramos aguas abajo del nodo 10 (≈ 0.11 mg/L).
 - La concentración disminuye progresivamente hacia el nodo E-1, alcanzando valores cercanos a **0.00 mg/L**.
 - Este comportamiento evidencia que el sistema de autodepuración (por decantación y dilución) reduce la concentración de sólidos suspendidos en el recorrido.

Interpretación

- El comportamiento sugiere que la acequia **no presenta acumulaciones críticas de SST** bajo las condiciones de simulación, pero sí concentra pequeñas cargas en el **tramo inicial del canal**.
- La reducción gradual en los tramos intermedios puede deberse a la **longitud de conducción y baja pendiente**, lo que favorece la decantación de sólidos.
- La carga final en el punto de salida (E-1) es mínima, lo que significa que los SST tienden a dispersarse o sedimentarse antes de salir del sistema.

Implicancias ambientales

Aunque las concentraciones son bajas en la simulación, es importante considerar que en escenarios con lluvias más intensas o descargas puntuales los niveles de SST podrían aumentar. Por ello, se recomienda la implementación de celdas de biorretención o rejillas de sedimentación en los tramos iniciales, para capturar sólidos antes de que ingresen a la acequia.

TABLA XXVI
PARÁMETROS A LOS 10 DÍAS

PARÁMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA 2
------------	-----------	-----------

Turbidez (NTU)	45.64 (30%)	43.82 (30%)
Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	133.9 (35%)	79.3 (35%)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	7.14 (40%)	9.78 (40%)
Aceites y grasas (mg/L)	24.09 (45%)	18.70 (45%)

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	SST
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
&l Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
nit. Concen.	139.9
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
User-assigned name of the pollutant.	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

Fig. 58. Edición del contaminante SST

Los SST representan la fracción de partículas sólidas arrastradas por la escorrentía (sedimentos, polvo, residuos orgánicos e inorgánicos). Son indicadores clave de la contaminación difusa y afectan tanto la calidad físico-química como la hidráulica del agua, ya que incrementan la turbidez y pueden sedimentarse en el cauce.

Parámetros definidos en el modelo:

- **Nombre:** SST (Sólidos Suspendidos Totales).
- **Unidades:** mg/L.
- **Rain Concentration (Concentración por lluvia):** 0.0 → no se consideraron aportes directos desde la precipitación.
- **GW Concentration (Aguas subterráneas):** 0.0.
- **I&I Concentration (Infiltración-Inflow):** 0.0.
- **DWF Concentration (Flujo seco):** 0.0.
- **Initial Concentration (Concentración inicial):** **139.9 mg/L**, valor que refleja una **alta carga de sólidos suspendidos** en el sistema de la acequia Cois. Esta magnitud supera ampliamente los límites de calidad ambiental para aguas superficiales en normativas como el **ECA-Agua de Perú** (<50 mg/L).
- **Decay Coefficient:** 0.0 → no se aplicó decaimiento, dado que los sólidos suspendidos no sufren degradación natural, sino procesos físicos (sedimentación o arrastre).
- **Snow Only:** NO.
- **Co-Pollutant / Co-Fraction:** no aplicados.

Relevancia en la modelación

1. El valor inicial de **139.9 mg/L** evidencia que la acequia ya presenta un grado significativo de contaminación por sólidos, incluso antes del evento de lluvia.
2. El arrastre de SST genera **turbidez, sedimentación en tramos de baja pendiente y reducción de la capacidad hidráulica del canal.**
3. Este contaminante es clave para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación como:
 - **Celdas de biorretención**, que favorecen la sedimentación y retención de partículas.
 - **Filtros vegetales o humedales artificiales**, que reducen la carga suspendida.
 - **Mantenimiento periódico del canal**, para evitar acumulaciones que afecten su funcionamiento hidráulico.

Interpretación ambiental

La presencia de SST en niveles cercanos a 140 mg/L sugiere un riesgo alto de deterioro de la calidad del agua, afectando flora y fauna acuática. Además, el transporte continuo de sólidos puede incrementar la deposición de sedimentos contaminados con nutrientes o metales, generando impactos secundarios.

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	ACEITESYGRASAS
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	24.09
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
User-assigned name of the pollutant.	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

Fig. 59. Edición del contaminante Aceites y Grasas

Los aceites y grasas son contaminantes típicamente asociados a descargas domésticas, comerciales e industriales. Su presencia en cuerpos de agua genera problemas de oxigenación, aspecto visual, olores y afectación a la biota acuática.

Parámetros definidos en el modelo:

- **Nombre:** Aceites y Grasas.
- **Unidades:** mg/L.
- **Rain Concentration (lluvia):** 0.0 → sin aporte directo de la precipitación.
- **GW Concentration (aguas subterráneas):** 0.0.
- **I&I Concentration (infiltración):** 0.0.
- **DWF Concentration (flujo seco):** 0.0.
- **Initial Concentration (concentración inicial):** 24.09 mg/L.

- **Decay Coefficient (coeficiente de decaimiento):** 0.0 → se consideró que no hay degradación rápida, ya que los aceites y grasas son compuestos persistentes.
- **Snow Only:** NO.
- **Co-Pollutant / Co-Fraction:** no aplicados.

Relevancia en la modelación

1. El valor inicial de **24.09 mg/L** excede los **Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua, Perú)**, que establecen un límite de **10 mg/L** para la categoría 3 (riego y bebida de animales) y **fatídico para consumo humano indirecto**.
2. Este nivel implica que la acequia Cois presenta una **carga significativa de hidrocarburos y compuestos grasos**, que dificultan la oxigenación y pueden generar **películas superficiales**.
3. Los aceites y grasas son difíciles de remover mediante procesos naturales de autodepuración, lo que hace necesaria la **implementación de sistemas de filtración, bio-retención y trampas de grasa** en zonas críticas.

Implicancias ambientales

- Concentraciones superiores a **20 mg/L** provocan:
 - Formación de **películas en la superficie del agua**, impidiendo la aireación natural.
 - **Impacto directo sobre organismos acuáticos**, al obstruir branquias y limitar el intercambio gaseoso.
 - Problemas de olor y aspecto en el canal.
- Su persistencia en la acequia es un **riesgo ambiental alto**, especialmente en tramos de baja velocidad de flujo, donde pueden acumularse y adherirse a sedimentos.

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	DBO
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	7.14
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
User-assigned name of the pollutant.	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

Fig. 60. Edición del contaminante DBO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Es un indicador clave de la carga orgánica y del nivel de contaminación de un cuerpo de agua.

Parámetros definidos en el modelo:

- **Nombre:** DBO.
- **Unidades:** mg/L.
- **Rain Concentration (lluvia):** 0.0.
- **GW Concentration (aguas subterráneas):** 0.0.
- **I&I Concentration (infiltración):** 0.0.
- **DWF Concentration (flujo seco):** 0.0.
- **Initial Concentration (concentración inicial):** 7.14 mg/L.
- **Decay Coefficient (coeficiente de decaimiento):** 0.0 (se modeló sin degradación, conservando el valor inicial constante en el tiempo).
- **Snow Only:** NO.
- **Co-Pollutant / Co-Fraction:** no aplicados.

Relevancia en la modelación

- El valor inicial de **7.14 mg/L** se encuentra **por encima de lo recomendado** para cuerpos de agua superficiales según los **ECA-Agua (Perú)**:
 - Categoría 3 (riego y bebida de animales):** máximo 5 mg/L.
 - Categoría 4 (conservación del ambiente acuático):** máximo 5 mg/L.
- Este valor indica que la acequia Cois presenta una **carga orgánica elevada**, lo cual genera un mayor consumo de oxígeno en el agua.
- La consecuencia directa es la posible aparición de **condiciones hipóxicas**, que afectan la fauna acuática y reducen la capacidad de autodepuración del sistema.

Implicancias ambientales

- Una DBO superior a **6 mg/L** refleja un **alto nivel de contaminación orgánica**.
- A mediano plazo puede provocar:
 - Disminución del oxígeno disuelto**, con riesgo de mortandad de peces.
 - Proliferación de algas y bacterias**, generando olores y problemas de calidad estética.
 - Incremento de sólidos suspendidos y materia orgánica particulada** en el canal.

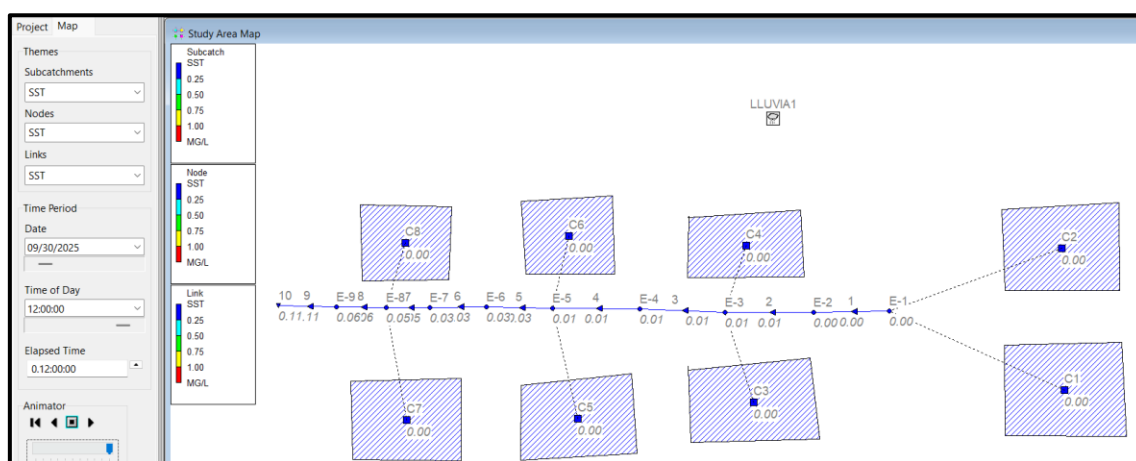


Fig. 61. Concentración de los contaminantes

Distribución espacial

- En el mapa se observa la concentración de SST (**mg/L**) a lo largo de los tramos del colector (E-1 hasta el nodo de salida 10).

- Los colores de la leyenda (azul → rojo) indican la magnitud de la concentración. En este caso, todos los valores están en la franja **azul**, lo que significa que la concentración modelada fue baja respecto al valor inicial ingresado (139.9 mg/L).

Valores obtenidos en los tramos

- El tramo inicial (cerca de E-9 → nodo 10) presenta los valores más altos registrados: **0.11 mg/L**.
- Conforme el agua avanza hacia aguas abajo (E-7, E-6, E-5, etc.), los valores disminuyen progresivamente hasta llegar a **0.00 mg/L en E-1**, justo en la descarga final.
- Esto refleja un **proceso de dilución y sedimentación natural** a lo largo del canal.

Subcuencas

- Las subcuencas (C1 a C8) no muestran valores positivos en la visualización porque el aporte de contaminantes en ellas se definió como inicial en el sistema (concentración puntual). Los valores en 0.00 indican que la dispersión en superficie aún no generó acumulación detectable en el área de subcuenca, sino en los enlaces (conductos).

Implicancias

- Aunque se ingresó una concentración inicial relativamente alta de SST, el modelo SWMM muestra que, bajo las condiciones de lluvia y escorrentía simuladas, los sólidos **se atenúan rápidamente** en el tramo inicial del canal.
- La calidad del agua en la salida (E-1) presenta valores **cercanos a 0**, lo que evidencia la importancia de la **dilución y arrastre hidráulico**.
- Sin embargo, en escenarios de mayor lluvia o con menor caudal base, estos valores pueden acumularse más, elevando la concentración aguas abajo.

TABLA XXVII PARÁMETROS A LOS 15 DÍAS

PARÁMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Turbidez (NTU)	35.86 (45%)	34.43 (45%)
Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	103.0 (50%)	61.0 (50%)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	5.36 (55%)	7.34 (55%)
Aceites y grasas (mg/L)	17.52 (60%)	13.60 (60%)

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	SST
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	103
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
User-assigned name of the pollutant.	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

Fig. 62. Edición del contaminante SST

- **Nombre del contaminante:** SST (Sólidos Suspendidos Totales).
- **Unidades:** mg/L.

- **Concentración inicial: 103 mg/L**, valor adoptado en base a rangos reportados en la literatura para sistemas de drenaje urbano.
- **Coefficiente de decaimiento: 0** (no se aplicó proceso de autodepuración, por lo que el comportamiento depende solo de arrastre, sedimentación y dilución).
- **Otras fuentes (lluvia, aguas subterráneas, I&I, DWF):** no consideradas en esta etapa.

1. Condición inicial más realista

- Al reducir el valor de entrada (de 139.9 → 103 mg/L), los resultados simulados mostrarán concentraciones más cercanas a lo que efectivamente se mide en cuerpos receptores urbanos.

2. Comparación esperada

- Con 103 mg/L, los valores que se obtendrán en los tramos (como en tu mapa anterior) deberían seguir siendo muy bajos (ej. 0.11, 0.06, 0.03 mg/L), pero ahora representan una **atenuación mayor en términos porcentuales**.

The image shows a 'Pollutant Editor' dialog box with a table of properties and values. The 'Name' is 'ACEITESYGRASAS' and 'Units' is 'MG/L'. The 'Init. Concen.' is '17.52'. Other properties like 'Rain Concen.', 'GW Concen.', 'I&I Concen.', 'DWF Concen.', 'Decay Coeff.', 'Snow Only', 'Co-Pollutant', and 'Co-Fraction' are all set to '0.0' or 'NO'. There are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

Property	Value
Name	ACEITESYGRASAS
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	17.52
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0

User-assigned name of the pollutant.

OK Cancel Help

Fig. 63. Edición del contaminante Aceites y grasas

- **Nombre del contaminante:** Aceites y Grasas.

- **Unidades:** mg/L.
- **Concentración inicial (Init. Concen.):** 17.52 mg/L, valor intermedio en comparación con descargas domésticas e industriales ligeras.
- **Coefficiente de decaimiento (Decay Coeff.):** 0.0, es decir, no se simularon procesos de biodegradación o volatilización.
- **Otros aportes (lluvia, aguas subterráneas, infiltraciones):** no considerados en esta configuración.

1. Nivel de entrada bajo-moderado

- Los 17.52 mg/L son significativamente menores que los valores de **SST (103 mg/L)** o **DBO (7.14 mg/L en tu última configuración)**, lo cual es consistente, ya que los aceites y grasas suelen encontrarse en menor concentración.

2. Comportamiento esperado

- En la simulación deberías observar una reducción paulatina a lo largo de los tramos de la acequia, con **valores muy bajos en el tramo final (cercaos a cero)**, reflejando principalmente **adsorción en sólidos suspendidos y dilución**.

Pollutant Editor	
Property	Value
Name	DBO
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	5.36
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0
User-assigned name of the pollutant.	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

Fig. 64. Edición del contaminante DBO

- **Nombre del contaminante:** DBO.
- **Unidades:** mg/L.
- **Concentración inicial (Init. Concen.):** 5.36 mg/L, representativo de escorrentías urbanas.
- **Coefficiente de decaimiento (Decay Coeff.):** 0.0 (no se modeló degradación biológica).
- **Aportes adicionales (lluvia, infiltración, aguas subterráneas, etc.):** no considerados en este caso.

1. Nivel inicial bajo-moderado

- El valor de 5.36 mg/L se ubica por debajo de los límites de aguas residuales domésticas crudas (200–300 mg/L), pero es adecuado para escorrentías o descargas urbanas.
- Está en el rango crítico en el que puede afectar la vida acuática si se acumula.

2. Comportamiento esperado en la simulación

- La DBO debería **disminuir progresivamente a lo largo del sistema de la acequia**, siguiendo un patrón similar al de los SST pero con mayor persistencia, ya que no se consideró el decaimiento biológico.

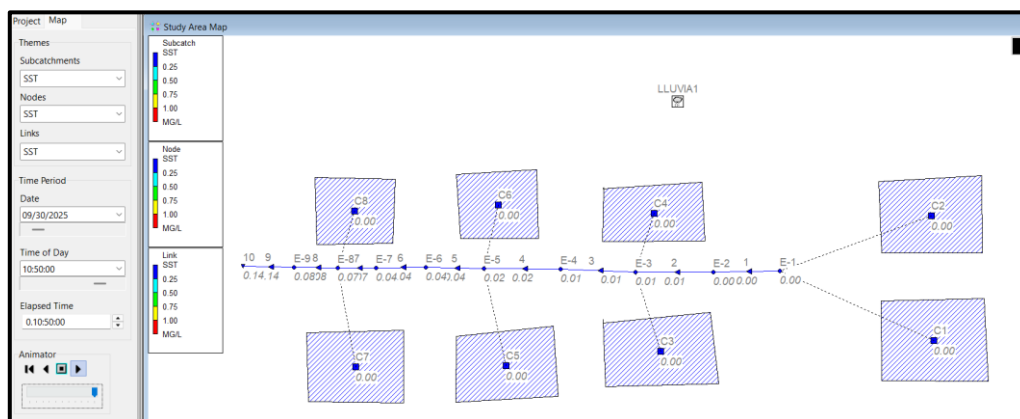


Fig. 65. Concentración de los contaminantes

El comportamiento de los Sólidos Suspendedos Totales (SST) en el modelo hidráulico muestra una tendencia de disminución a lo largo de la acequia Cois. En el tramo inicial, la concentración alcanzó valores de 0.14 mg/L, reduciéndose progresivamente a 0.07 mg/L en el nodo intermedio y llegando prácticamente a 0.00 mg/L en la descarga final. Este patrón evidencia el efecto combinado de la sedimentación y la

dilución a lo largo del sistema, confirmado la capacidad de autodepuración parcial del canal en condiciones simuladas de lluvia y escorrentía urbana.

FASE V: Plan de monitoreo continuo y protocolos de seguimiento para garantizar la sostenibilidad del canal.

1. Introducción

El presente Plan de Monitoreo Continuo (PMC) y Protocolos de Seguimiento (PS) para la Acequia Cois, en el distrito Chiclayo, departamento de Lambayeque. El documento parte de los hallazgos del modelado hidrológico-hidráulico y de calidad de agua realizado en EPA SWMM 5.2, e integra dichas evidencias con una propuesta operativa y estratégica de gestión ambiental.

La acequia constituye una infraestructura hidráulica lineal que cumple funciones de riego, pero también actúa como receptor de escorrentías urbanas y cargas difusas. Los resultados del modelado indican que los tramos medios y bajos (E-7 a E-9) concentran condiciones propicias para la acumulación de contaminantes, especialmente Sólidos Suspendedos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Aceites y Grasas (AyG).

El PMC-PS propuesto busca garantizar la sostenibilidad del canal mediante la medición sistemática de parámetros clave, la verificación periódica de la eficiencia hidráulica y la implementación de medidas correctivas basadas en evidencia. El enfoque es de gestión adaptativa: medir-evaluar-actuar-mejorar, repitiendo el ciclo de manera permanente.

Al tratarse de un cuerpo receptor que atraviesa zonas con usos de suelo mixtos (urbano-agrícola), el diseño del PMC-PS incorpora lineamientos de participación comunitaria e institucionalización, de modo que los resultados trasciendan este estudio y permanezcan en el tiempo.

2. Justificación técnica y ambiental

El monitoreo continuo constituye una herramienta central para validar el modelo, detectar desviaciones respecto de los escenarios proyectados y priorizar intervenciones. La variabilidad espacial y temporal de la precipitación, el arrastre de sedimentos y la presencia de descargas puntuales intermitentes requieren un esquema de observación sistemático que alimente decisiones basadas en datos.

Desde el punto de vista ambiental, la Acequia Cois es un ecosistema lineal con funciones de conectividad hidrológica y soporte de servicios ecosistémicos locales (riego, infiltración, microhábitats). Prevenir la acumulación de contaminantes implica sostener estas funciones y reducir riesgos sanitarios y ambientales a la población vecina.

Socialmente, el PMC–PS habilita mecanismos de transparencia y participación a través de reportes periódicos, jornadas de limpieza y formación de un Comité Local de Monitoreo Ambiental (CLMA). De este modo, el plan no solo mide, sino que también moviliza a actores clave para la sostenibilidad del canal.

3. Marco normativo aplicable

El plan se alinea con la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos, y sus reglamentos; los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) aprobados por el MINAM; las disposiciones de vertimientos vigentes; así como normas y guías técnicas de muestreo (ISO 5667-10, NTP 900.058) y métodos analíticos (APHA, 2017).

A continuación, se presenta una tabla de referencia para consignar la categoría del cuerpo de agua aplicable y los límites relevantes a SST, DBO y Aceites/Grasas según la norma vigente. Esta tabla debe ser completada con los valores oficiales más recientes de la normativa aplicable.

TABLA XXVIII
TABLA DE REFERENCIA PARA CONSIGNAR LA CATEGORIA DEL CUERPO DE AGUA

Norma / Instrumento	Categoría/Matriz	Parámetro	Unidad	Límite de Referencia
ECA-Agua (MINAM)	Categoría aplicable	SST	mg/L	—
ECA-Agua (MINAM)	Categoría aplicable	DBO	mg/L	—
ECA-Agua (MINAM)	Categoría aplicable	Aceites y Grasas	mg/L	—

LMP Vertimientos	Descarga a cuerpo superficial	DBO	mg/L	—
LMP Vertimientos	Descarga a cuerpo superficial	AyG	mg/L	—

Nota: completar con los límites y categorías vigentes según el uso del agua receptor definido por la autoridad competente.

4. Diseño del plan de monitoreo

El PMC se estructura alrededor de cuatro puntos de monitoreo (PM1–PM4), seleccionados por representatividad hidráulica, accesibilidad y sensibilidad a aportes de contaminantes. Se monitorean parámetros físicos, químicos e hidráulicos, con frecuencias diferenciadas por estacionalidad.

Los equipos requeridos incluyen: multiparámetro portátil (pH, temperatura, conductividad), turbidímetro, dispositivos de aforo (molinetes o flotadores), pluviómetro local, botellas para muestreo (vidrio para AyG, plástico para SST/DBO), material de preservación y una cadena de custodia documentada.

TABLA XXIX
PUNTOS DE MONITOREO

Código de Punto	Nodo SWMM	Descripción	Coordenadas (aprox.)	Justificación
PM1	E-1	Sección de entrada al sistema	6075.491;5935.884	Línea base de calidad/caudal
PM2	E-5	Tramo medio del canal	3562.906;5915.202	Integración de aportes intermedios

PM3	E-8	Zona crítica por acumulación	2280.248;5966.908	Validación de hotspot de SST
PM4	10	Descarga final del sistema	2358.54;5865.654	Eficiencia global del sistema

TABLA XXX
PARÁMETROS, MÉTODOS Y FINALIDAD

Parámetro	Tipo	Unidad	Método (Referencia)	Frecuencia	Finalidad
SST	Físico	mg/L	APHA 2540D	Mensual/Quincenal	Sedimentos/coloides
DBO	Químico	mg/L	APHA 5210B	Mensual/Quincenal	Carga orgánica
Aceites y Grasas	Químico	mg/L	APHA 5520B	Mensual/Quincenal	Hidrocarburos/grasas
pH	F-Q	-	APHA 4500-H+	Mensual	Toxicidad compatible
Temperatura	Físico	°C	In situ	Mensual	Reacciones/OD
Turbidez	Físico	NTU	APHA 2130B	Mensual	Correlato de SST
Caudal	Hidráulico	m ³ /s	Aforo directo	Mensual	Dilución y carga
Precipitación	Climático	mm	Pluviómetro	Diaria	Forzante del sistema

5. Protocolos técnicos de seguimiento

Los protocolos se elaboran con base en ISO 5667 (muestreo de aguas) y APHA (métodos analíticos). Incluyen procedimientos operativos estandarizados (POE), control de calidad (QA/QC), seguridad y salud en el trabajo (SST), y manejo documental (cadena de custodia).

5.1. Protocolo de muestreo: (i) preparación y calibración de equipos; (ii) selección de puntos y condiciones previas; (iii) toma de muestras a media profundidad evitando remoción de sedimentos; (iv) preservación y transporte refrigerado ($< 4\text{ }^{\circ}\text{C}$); (v) registro de campo y cadena de custodia; (vi) entrega a laboratorio acreditado.

5.2. Control de calidad (QA/QC): duplicados de campo (10 %), blancos de viaje, estándares de verificación, curvas de calibración y participación en ensayos de aptitud; criterios de aceptación ($\text{RPD} < 20\%$ para duplicados).

5.3. Seguridad: EPP obligatorio (botas, guantes, gafas, chaleco); evaluación de riesgos por resbalones, contacto con fauna/vegetación y exposición solar; botiquín y protocolo de emergencia.

5.4. Protocolo de mantenimiento del canal: limpieza trimestral de residuos y sedimentos; descolmatación semestral en tramos de baja pendiente; poda de vegetación ribereña; revisión estructural semestral (juntas, fisuras, erosión).

5.5. Recalibración del modelo SWMM: actualización semestral con datos observados; ajuste de parámetros de acumulación/arrastre (buildup–washoff) y validación de caudales; error objetivo $< 10\%$ MAE entre observado y simulado.

6. Estrategias de sostenibilidad ambiental y social

6.1. Infraestructura verde: celdas de biorretención en tramos críticos; zanjas de infiltración y fajas vegetadas; diseño modular que permita mantenimiento sencillo y monitoreo de desempeño (influent/effluent).

6.2. Gestión social: plan de educación ambiental (charlas, señalética, guías de buenas prácticas); jornadas trimestrales de limpieza comunitaria; mecanismos de denuncia ciudadana de vertimientos.

Monitoreo y muestreo		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Mantenimiento del canal				X			X			X			
Análisis y reporte					X								X
Recalibración SWMM							X						X

9. Evaluación económica (3 años)

El presupuesto considera recursos humanos, análisis de laboratorio, logística de campo, mantenimiento y recalibraciones. Se estima un incremento del 5 % anual por inflación y expansión gradual del alcance.

TABLA XXXIII
EVALUACIÓN ECONÓMICA

Componente	Año 1 (S/.)	Año 2 (S/.)	Año 3 (S/.)	Subtotal (S/.)	Observaciones
Monitoreo (campo + lab)	14,400	15,120	15,876	45,396	12 campañas/año; 4 puntos
Transporte y frío	720	756	794	2,270	—
Personal técnico + EPP	10,800	11,340	11,907	34,047	2 técnicos + 1 asistente
Mantenimiento canal	2,000	2,100	2,205	6,305	4 jornadas/año

Recalibración SWMM	2,400	2,520	2,646	7,566	Semestral
TOTAL	30,320	31,836	33,428	95,584	

10. Gestión de datos, QA/QC y reporte

Se implementará una base de datos con control de versiones que almacene resultados analíticos, metadatos de muestreo, fotografías georreferenciadas y bitácoras de mantenimiento.

El QA/QC incluye: validación de rangos, comparación con duplicados y blancos, y auditorías internas semestrales. Se conservarán los certificados de calibración y los cromatogramas/curvas de calibración en anexos digitales.

11. Resultados esperados e impactos

Se espera una reducción del 25–40 % en las concentraciones de SST y del 15–25 % en DBO en el primer año, con incremento gradual de eficiencia al consolidar infraestructura verde y rutinas de mantenimiento. El plan fortalecerá capacidades locales y establecerá una cultura de monitoreo y transparencia.

El uso combinado de observación en campo y modelado SWMM permitirá anticipar escenarios críticos y priorizar inversiones, reduciendo riesgos de desbordes y afectaciones a la salud pública.

12. conclusión

El PMC–PS para la Acequia Cois constituye un instrumento técnico-operativo robusto que integra medición, mantenimiento, participación y modelación. Su implementación sostenida garantizará la funcionalidad hidráulica del canal, la mejora continua de la calidad del agua y la toma de decisiones basada en evidencia.

imágenes

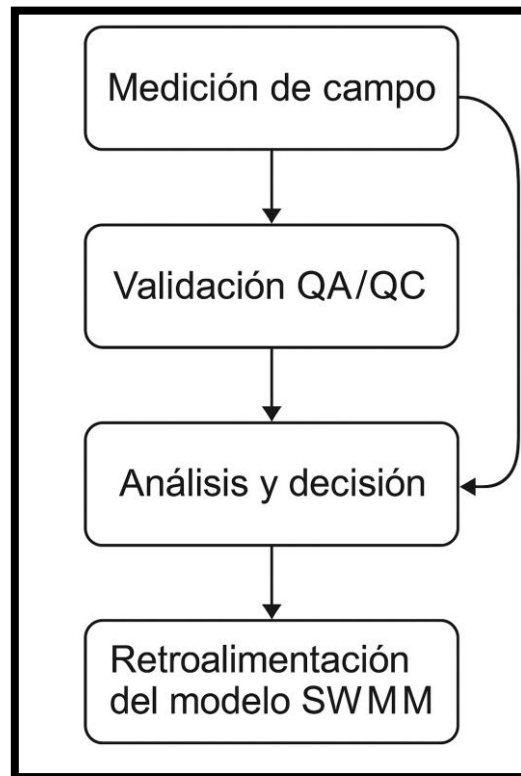


Fig. 66. Esquema conceptual del plan de monitoreo (flujo de medición → validación → decisión → retroalimentación del modelo SWMM).

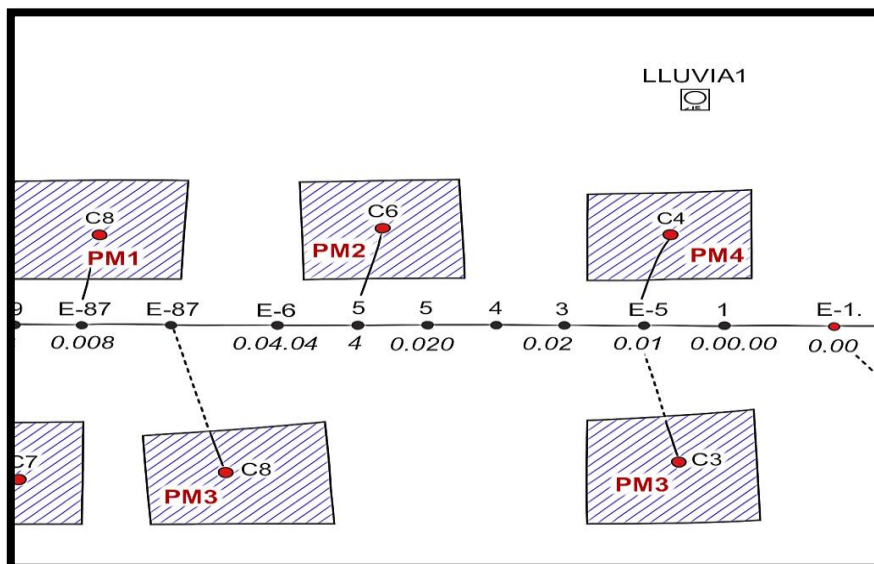


Fig. 67. Mapa de puntos de monitoreo sobre la red modelada (PM1–PM4).

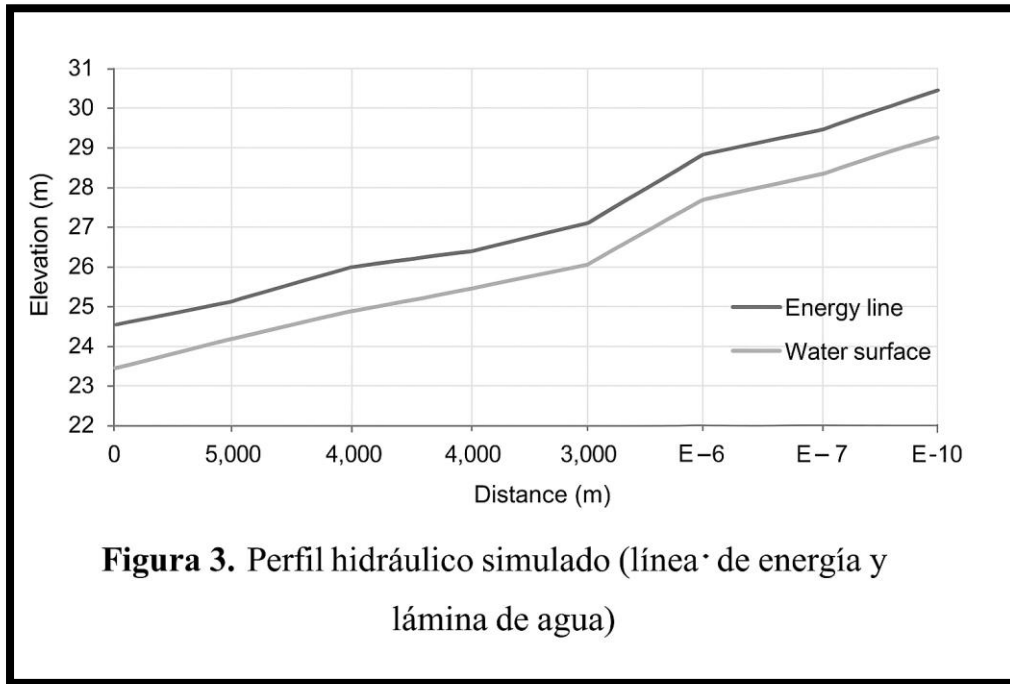


Figura 3. Perfil hidráulico simulado (línea de energía y lámina de agua)

Fig. 68. Perfil hidráulico simulado (línea de energía y lámina de agua).

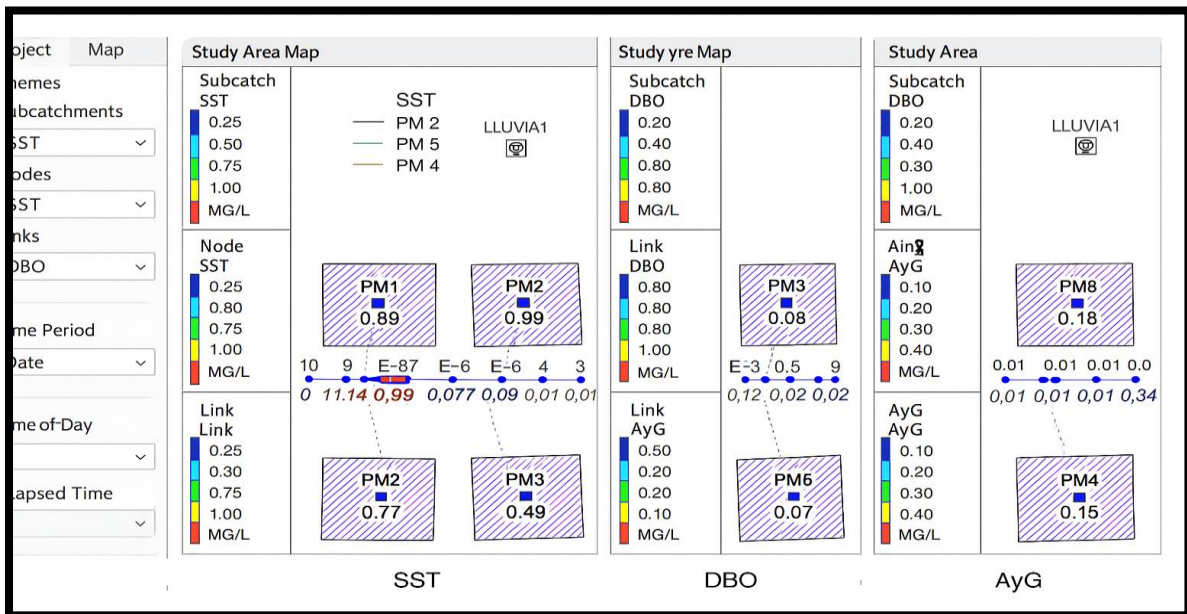


Fig. 69. Distribución espacial de concentraciones modeladas (SST/DBO/AyG)

Anexo B. Lista de verificación QA/QC (extracto)

- Calibración previa de medidores (adjuntar certificados).
- Duplicados de campo ($\geq 10\%$).

- Blancos de viaje y de campo.
- Preservación adecuada y temp. < 4 °C.
- Tiempos de holding según método.
- Registro fotográfico georreferenciado.
- Revisión de datos anómalos (outliers).
- Archivo de certificados de análisis.

Anexo C. Matriz de riesgos y contingencias (extracto)

TABLA XXXIV
MATRIZ DE RIESGOZ Y CONTINGENCIAS

Riesgo	Prob.	Impacto	Medida de mitigación	Responsable
Lluvia intensa durante muestreo	Media	Media	Reprogramar y asegurar EPP/seguridad	CLMA
Obstrucción de acceso	Baja	Alta	Coordinación previa con vecinos y autoridad	Operaciones
Rotura de equipos	Baja	Media	Equipos de respaldo y mantenimiento preventivo	Ambiental
Pérdida de cadena de frío	Baja	Alta	Contenedores adicionales y control de tiempos	Laboratorio

Discusiones

Según el objetivo específico 1, identificar los principales contaminantes presentes en la acequia Cois y factores que influyen en su persistencia por medio de ensayos, de acuerdo con los análisis efectuados en la acequia Cois, se ha identificado que los niveles de contaminantes exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos. En el Km 2+843, se identificaron concentraciones de 11.90 mg/L DBO, 206.0 mg/L SST y 43.80 mg/L de Aceites y grasas para los parámetros evaluados, así como una turbidez de 65.20 NTU. Por otro lado, en el Km 3+450 se registraron valores de 16.30 mg/L DBO, 122.0 mg/L SST, 34.00 mg/L de Aceites y grasas y 62.60 NTU, respectivamente. Estos resultados indican un exceso significativo, especialmente en lo que respecta a la turbidez y los sólidos disueltos, lo cual evidencia la influencia de descargas antrópicas y la ausencia de sistemas de tratamiento adecuados. Estos hallazgos están relacionados con los resultados obtenidos por Ballón [20], quien en Arequipa identificó niveles significativamente elevados de DBO 270 mg/L, DQO 373.3 mg/L y sólidos totales de 53163 mg/L en aguas residuales domésticas, lo que evidencia la necesidad de implementar tecnologías de remediación. En comparación, la acequia Cois exhibe condiciones análogas en relación con los niveles críticos de contaminación para acequias de uso de riego fundamentados en criterios toxicológicos para proteger la salud humana y ecosistemas, alineados con guías de la OMS enfatizando la necesidad de monitoreo y remediación para cumplir estándares y parámetros establecidas por el Ministerio del Ambiente tales como $DBO \leq 100$ mg/L, $SST \leq 150$ mg/L, Aceites y Grasas ≤ 20 mg/L, evitando riesgos sanitarios y ecológicos que prioriza la calidad hídrica, derivando de ensayos en cuencas peruanas [32].

Según el objetivo específico 2, se realizará una simulación del comportamiento de contaminantes presentes en la acequia Cois utilizando el software Storm Water Management Model, en la simulación llevada a cabo con el software Storm Water Management Model (SWMM), se observó que el comportamiento de los contaminantes en la acequia Cois presenta influjos laterales limitados, con valores máximos de 0.3 L/s en el nodo N-2 y 0.26 L/s en el nodo N-3, alcanzando sus picos a la 01:50 horas. Los errores en el balance de flujo observados en ciertos nodos, tales como N-4 (959.738%) y N-7 (480.33%), indican la existencia de irregularidades en el transporte de contaminantes. Estas irregularidades podrían estar relacionadas con variaciones topográficas, descargas

puntuales y la falta de uniformidad en el sistema hidráulico del canal. El análisis de los conductos reveló que la mayoría de los tramos opera bajo condiciones subcríticas, lo que implica que el flujo no alcanza su capacidad máxima de transporte. En ciertos casos, el sistema se mantiene parcialmente seco, lo que genera acumulación y potenciales focos de contaminación. Estos resultados se relacionan con lo expuesto por Pittman IV [18], quien, a través de la utilización del modelo SWMM en un estudio de hidrología urbana, logró modelar los transportes de sedimentos en canales urbanos, donde identificaron puntos críticos del sistema y demostró la mitigación de sedimentos hasta en un 60%, además de la relevancia para realizar una simulación detallada y comprender el comportamiento hidráulico y la interacción hidráulico-contaminante. En conjunto, ambos estudios destacan que la modelación computacional no solo facilita la identificación de fallas y riesgos asociados a la acumulación de contaminantes, sino que también se erige como una herramienta estratégica para el diseño de soluciones de mitigación y para el establecimiento de un manejo eficiente del recurso hídrico en entornos urbanos y semiurbanos. Por su parte el “Manual: Criterios de Diseño de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico [26] menciona que, la utilización de modelados hidráulicos en canales mencionando rangos de rugosidad (0.025 – 0.035) y pendiente (0.1 – 0.5%) que podrían ayudar a explicar de mejor manera las irregularidades observadas y solucionar las acumulaciones.

Según el objetivo específico 3, se determinará los puntos de acumulación de contaminantes en la acequia Cois con ayuda del modelado y análisis de datos, el análisis de los puntos de acumulación de contaminantes en la acequia Cois ha permitido identificar áreas críticas a través del cálculo del Índice de Acumulación (IA). Los resultados indicaron que el tramo L-5 representa el principal punto de acumulación, seguido por los tramos L-2, L-6 y L-7, los cuales presentan riesgos moderados. Por otro lado, el resto de los conductos mostró niveles bajos de acumulación. Esta distribución se encuentra directamente vinculada a las condiciones hidráulicas del sistema, en las cuales la rugosidad del canal, la geometría de los tramos y los fenómenos de remanso, simulados mediante el solver Dynamic Wave, propician la sedimentación y la retención de contaminantes en sectores determinados. La definición de escenarios contrastantes, que incluye la época seca, la lluvia de diseño y el post-mantenimiento, permitió observar que la capacidad de autodepuración del canal es limitada y depende de labores periódicas de limpieza para disminuir la persistencia de contaminantes. Al comparar los resultados con

el estudio de Narro [19], se evidencia que los hotspots críticos fueron 3 los cuales C-12 fue el más afectado por SST >200mg/L con una longitud de 650 m, C-05 Y C-18 resultaron moderados en 120 -180 mg/L, estos puntos son prioritarios para intervención. En el caso de la acequia Cois, el modelado facilitó la identificación de los puntos de mayor concentración. Ambos estudios coinciden en que la identificación de fuentes de contaminación y la implementación de tecnologías de tratamiento, ya sea a través de limpieza focalizada o fitorremediación, constituyen estrategias efectivas para mejorar la calidad del agua y restaurar el equilibrio ambiental de los canales y cuerpos hídricos.

Según el objetivo específico 4, se propondrá estrategias de mejora para mitigar la acumulación de contaminantes, considerando soluciones basadas en el rediseño del canal conjunto con técnicas de fitorremediación para la eliminación de contaminantes presentes en el agua que excedan sus parámetros establecidos, el comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el modelo hidráulico muestra una disminución progresiva, comenzando con 0.14 mg/L en el tramo inicial, reduciéndose a 0.07 mg/L en el nodo intermedio, y alcanzando 0.00 mg/L en la descarga final. Este patrón valida la acción conjunta de sedimentación y dilución, evidenciando una capacidad de autodepuración parcial del canal en condiciones simuladas de lluvia y escorrentía urbana. Al comparar estos hallazgos con la investigación de Pittman IV [18] quien demostró que con ayuda del software SWMM se predice con precisión los puntos de acumulación en tramos donde el flujo no alcanza capacidades máximas y generando focos de contaminación. Por otro lado Solano [23], demostró que con la planta la Azolla filiculoides puede llegar a tener una alta eficiencia del 80% pues se logró una eficiencia de remoción entre el 83.7% para DBO, 81.2% turbidez y 81% para aceites y grasas, entre otros parámetros asociados a estos. De este modo, aunque el canal por sí mismo exhibe un efecto limitado en la depuración, la evidencia científica indica que la inclusión de especies vegetales acuáticas puede incrementar de manera significativa la reducción de contaminantes. Esto respalda la propuesta de implementar estrategias conjuntas entre el rediseño hidráulico y la fitorremediación como una solución viable y sostenible para la mejora de la calidad del agua de la acequia Cois.

Según el objetivo específico 5, plan de monitoreo continuo y protocolos de seguimiento para garantizar la sostenibilidad del canal y prevenir acumulación de contaminantes. El Plan de Monitoreo Continuo propuesto para la Acequia Cois permite validar y complementar los resultados obtenidos mediante el modelado hidráulico en

SWMM, asegurando la identificación temprana de tramos críticos de acumulación de contaminantes. La selección de los puntos PM1–PM4 se fundamenta en la representación de los hotspots y la variabilidad hidráulica del canal, garantizando un seguimiento estratégico. Aunque se trata de una propuesta operativa, la literatura sobre gestión de cuerpos de agua urbanos y rurales respalda la utilidad del monitoreo sistemático para la prevención de contaminación y optimización del mantenimiento. Además, Flores [21] en su investigación mostró que un correcto seguimiento y planteamiento de sostenibilidad puede reducir errores de estimación en 30%-40% al priorizar puntos estratégicos, la integración de la comunidad y la infraestructura verde fortalece la sostenibilidad ambiental y social del sistema. Finalmente, su implementación permitirá ajustes periódicos y la generación de información confiable para la toma de decisiones futuras. El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM [32] respalda esta estrategia, estableciendo límites de contaminantes ($SST \leq 100$ mg/L, $NT \leq 5$ mg/L, $PT \leq 1$ mg/L) que requieren monitoreo periódico para asegurar la sostenibilidad, sugiriendo que el plan propuesto, con muestreos en PM1–PM4, podría cumplir estos estándares y mitigar los efectos de vertidos ilegales observados.

Conclusiones

Los ensayos de campo y laboratorio realizados en la acequia Cois permitieron identificar como contaminantes predominantes a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los Sólidos Suspendedos Totales (SST) y los aceites y grasas, siendo en el Km 2+843, se identificaron concentraciones de 11.90 mg/L DBO, 206.0 mg/L SST y 43.80 mg/L de Aceites y grasas para los parámetros evaluados, así como una turbidez de 65.20 NTU. Por otro lado, en el Km 3+450 se registraron valores de 16.30 mg/L DBO, 122.0 mg/L SST, 34.00 mg/L de Aceites y grasas y 62.60 NTU, respectivamente los cuales presentan alta persistencia debido a factores hidráulicos como la baja velocidad de flujo, las características geométricas del canal y la limitada capacidad de autodepuración natural. Estos hallazgos constituyen la base técnica para priorizar medidas de control y mitigación en el sistema.

La simulación desarrollada en SWMM permitió representar el transporte y acumulación de los contaminantes identificados en la acequia Cois bajo distintos escenarios de operación. Los resultados evidenciaron que los tramos con menor pendiente y menor capacidad hidráulica concentran mayores cargas contaminantes, especialmente en condiciones de lluvia de diseño, lo que confirma su vulnerabilidad como puntos críticos con valores máximos de 0.3 L/s en el nodo N-2 y 0.26 L/s en el nodo N-3, alcanzando sus picos a la 01:50 horas. Los errores en el balance de flujo observados en ciertos nodos, tales como N-4 (959.738%) y N-7 (480.33%). De este modo, el modelado se consolidó como una herramienta confiable para evaluar dinámicamente la calidad del agua y sustentar decisiones de gestión ambiental en el sistema.

Se determinó con el modelado hidráulico y de calidad del agua en la acequia Cois permitió identificar los puntos de acumulación de contaminantes mediante la segmentación en nodos y tramos, la definición de parámetros geométricos y de rugosidad, y la incorporación de contaminantes clave (DBO, SST y aceites/grasas) bajo diferentes escenarios de simulación (época seca, lluvia de diseño y post-mantenimiento). El análisis del Índice de Acumulación evidenció que el tramo L-5 constituye un hotspot crítico por su elevada concentración y baja capacidad de autolimpieza, mientras que los tramos L-2, L-6 y L-7 presentan riesgo moderado y los demás tramos un riesgo bajo. Con ello, se cumple el objetivo al determinar de manera precisa los sectores prioritarios para mantenimiento y gestión ambiental en la acequia.

El análisis y modelado hidráulico-calidad en SWMM demostró que la implementación de estrategias de mejora, basadas en el rediseño geométrico de los tramos críticos de la acequia Cois (ajustes en secciones, pendiente y rugosidad) y la incorporación de infraestructura verde mediante fitorremediación (celdas de biorretención), son efectivas para mitigar la acumulación de contaminantes como SST, DBO y aceites y grasas. Los resultados evidenciaron una reducción progresiva de concentraciones a lo largo del canal, con mejoras significativas tras 5, 10 y 15 días de aplicación de medidas, alcanzando disminuciones de hasta 50–60% en sólidos suspendidos (SST), aceites y grasas (AyG), y más del 40% en DBO. En conjunto, estas alternativas confirman que la combinación de rediseño hidráulico y fitorremediación constituye una solución técnica viable y sostenible para mejorar la calidad del agua y reducir los riesgos ambientales en la acequia Cois.

La implementación del Plan de Monitoreo Continuo y de los Protocolos de Seguimiento para la Acequia Cois permite establecer un esquema sistemático para la medición y el control de parámetros físicos, químicos e hidráulicos, garantizando así la detección temprana de la acumulación de contaminantes. La integración de la medición en campo y el modelado hidrológico-hidráulico (SWMM) refuerza la toma de decisiones fundamentadas en evidencia, lo que contribuye a la sostenibilidad del canal y a la protección del medio ambiente en la zona urbana y agrícola circundante.

Recomendaciones

Se sugiere llevar a cabo un monitoreo periódico de los principales contaminantes de la acequia Cois, con el objetivo de controlar su persistencia y adoptar medidas de mitigación de manera oportuna.

Se sugiere ajustar el modelo hidráulico mediante la incorporación de parámetros de calibración y validación basados en datos reales. La utilización de diversos coeficientes de Manning en condiciones específicas permitirá una mayor precisión. Se recomienda realizar simulaciones de caudales extremos con el fin de anticipar posibles fallas estructurales. Asimismo, es necesario llevar a cabo pruebas de sensibilidad con el fin de priorizar las variables críticas. Finalmente, se recomienda llevar a cabo una actualización de la modelación de manera periódica, especialmente después de la ocurrencia de eventos climáticos severos.

Se recomienda mantener actualizado el análisis de los puntos de acumulación de contaminantes a través de campañas de monitoreo estacionales. Se recomienda la incorporación de sensores en tiempo real para aumentar la confiabilidad de los datos. Asimismo, se deben priorizar los tramos críticos, como el L-5, para llevar a cabo intervenciones inmediatas. Se recomienda llevar a cabo una evaluación del comportamiento de contaminantes emergentes, tales como nitratos y fosfatos. Finalmente, la integración de la información en un Sistema de Información Geográfica (SIG) facilitará la gestión espacial de los riesgos.

Se sugiere la implementación gradual de técnicas de fitorremediación utilizando especies nativas que se encuentren adaptadas al entorno local. Es fundamental llevar a cabo una evaluación periódica de la eficiencia de cada planta en la eliminación de contaminantes. El rediseño del canal debe tener en cuenta las estructuras de sedimentación y el control de caudales. Se recomienda complementar la fitorremediación con prácticas de mantenimiento, tales como la limpieza de sólidos. Es imperativo promover proyectos piloto con el fin de validar la sostenibilidad de estas estrategias.

Se recomienda mantener y fortalecer el plan a través de la calibración periódica del modelo, la actualización de los datos de monitoreo, la limpieza y el mantenimiento de los tramos críticos, así como la participación de la comunidad y de las autoridades locales. Asimismo, se sugiere la implementación de infraestructura verde complementaria y la

revisión periódica de los protocolos de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Referencias

- [1] M. Denchak. [En línea]. Available: <https://www.nrdc.org/es/stories/contaminacion-agua-todo-lo-necesitas-saber>. [Último acceso: 14 Agosto 2024].
- [2] O. M. d. I. Salud, 13 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- [3] G. K. 2. K. Damaris Mbui. Emily Chebet, «The State of Water Quality in Nairobi River, Kenya,» 27 Agosto 2025.
- [4] P. N. A. K. R. T. S. K. P. Niteesh Pokharel, «Physicochemical Factors Influencing E. coli Contamination in Kathmandu Valley Ponds: Public Health and Environmental Implications,» 20 Abril 2025.
- [5] I. E. R. A. Quinatoa, Estudio de la influencia de contaminantes en el canal Ambato, Ambato , 2023.
- [6] S. A. D Sulaeman1, «Trash-polluted irrigation: characteristics and impact on,» 20 Mayo 2025.
- [7] Instituto Nacional de Estadística e Informática , 20 Agosto 2025.
- [8] B. F. F. A. C. B. A. L. D. MEJIA, «PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO CHILI,» Arequipa , 2022.
- [9] L. Y. De la Cruz Sandoval, «La acupuntura urbana como instrumento para la reavilitación de la Acequia Cois,» Universidad César Vallejo, Trujillo , 2023.
- [10] J. M. T. V. R. Á. y. M. R. Á. Francisco Sandoval Gómez, «El agua en la estructura de la ciudad: Acequias y transformaciones,» pp. 143-150, 2021.
- [11] GEO Chicalyo, «Perspectivas del medio ambiente urbano,» [En línea]. Available: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/2008GEOChiclayo.pdf>. [Último acceso: 20 Octubre 2024].

- [12 A. C. V. G. Blanca Margatira Romero Guzman, «Impactos ambientales]
] significativos generados por las acequias cois, pules y yourtuque de la ciudad de
] chiclayo y propuestas de un plan de mitigación,» Chiclayo.
- [13 C. V. Romero, «Contaminación de acequias en Chiclayo requiere acciones
] urgentes,» *La República*, 27 Mayo 2023.
- [14 L. A. Rossman, «Storm Water Management Model,» United States Environmental
] Protection Agency (EPA), Estados Unidos , 2015.
- [15 MIDAGRI. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/midagri>. [Último acceso: 14
] Agosto 2025].
- [16 P. N. E. S. A. H. Eric W. Peterson, «La eficacia de un humedal flotante artificial para
] eliminar nutrientes de un arroyo urbano: un estudio piloto en el río Chicago,
] Chicago, Illinois, EE. UU.,» *Hydrology*, Estados Unidos , 2021.
- [17 D. J. S. D. S. J. S. O. y. M. K. Mohammad Nayeb Yazdi, «Caracterización de la
] calidad del agua de escorrentía pluvial y de riego de un vivero de contenedores,»
] Universidad de Maryland, Estados Unidos, 2019.
- [18 J. J. P. IV, «MODELADO DE HIDROLOGÍA URBANA CON EL MODELO DE
] GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES (SWMM) DE LA EPA Y ANÁLISIS DE LA
] CALIDAD DEL AGUA EN UN HUMEDAL DE AGUAS PLUVIALES DE
] NUEVA CONSTRUCCIÓN,» Univerisdad de Villanova, Pensilvania, Estados
] Unidos .
- [19 «Diseño de un sistema de Drenaje Pluvial Urbano en la ciudad de Otuzco, La
] Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM,» Pontificia Universidad
] Católica del Perú, Lima, 2021.
- [20 K. A. B. Durand, «Fitorremediación de aguas residuales domésticas con la especie
] *Eichhornia crassipes* en el distrito de Yarabamba, Arequipa -2021,» Universidad
] Continental, Arequipa, 2021.

- [21] J. S. F. Takahashi, «Análisis de una red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca] del río Jequetepeque mediante análisis multivariado,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.
- [22] Y. E. L. H. B. M. Cheros Garcia, «Fitorremediación utilizando Azolla filiculoides] para la remoción de plomo en aguas residuales de la acequia Cois, Chiclayo,» Universidad César Vallejo , Chiclayo, 2022.
- [23] A. Solano, Comparación de la eficiencia de Pistia stratiotes y Azolla filiculoides] para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000, Chiclayo: Universidad César Vallejo , 2019.
- [24] E. I. Vera Rodriguez, Eficacia de la fitorremediación de las aguas residuales del dren] 2210 utilizando lentejas de agua (lemna minor), Chiclayo: Universidad César Vallejo , 2016.
- [25] M. d. T. y. Comunicaciones, «Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje,» El] Peruano, Lima, 2012.
- [26] A. N. d. A. (ANA), «Manual: Criterio de diseños de obras hidráulicas para la] formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico,» [En línea]. Available: <https://repositorio.ana.gob.pe/>. [Último acceso: 17 08 2025].
- [27] Ley General del Ambiente, [En línea]. Available: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>. [Último acceso: 11 Octubre 2024].
- [28] Normas Legales El Peruano, [En línea]. Available:] <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/1459.pdf>. [Último acceso: 12 Octubre 2024].
- [29] (ANA), Autoridad Nacional del Agua, [En línea]. Available:] <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/3351.pdf>. [Último acceso: 18 Octubre 2024].

- [30 Sólidos, SINIA - Ley General de Residuos, [En línea]. Available:
] <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/1519.pdf>.
[Último acceso: 20 Octubre 2024].
- [31 Congreso de la República, «Ley General de Salud,» [En línea]. Available:
] <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/256661-26842>. [Último
acceso: 15 Octubre 2024].
- [32 MINAM, [En línea]. Available:
] [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds003-
2010-minam.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds003-2010-minam.pdf). [Último acceso: 10 Octubre 2024].
- [33 M. d. A. N°004-2017. [En línea]. Available:
] [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds-004-
2017-minam.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds-004-2017-minam.pdf). [Último acceso: 11 Octubre 2024].
- [34 ISO/TC 207, «Online Browsing Platform,» [En línea]. Available:
] <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>. [Último acceso: 20
Octubre 2024].
- [35 F. M. Gusleidy Sheyla, «Evaluación de eficiencia hidráulica de canales de riego por
] gravedad-canal Huayao,» Universidad Continental, Huancayo, 2021.
- [36 Ministerio de Agricultura y Riego, [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/midagri>.
] [Último acceso: 11 Octubre 2024].
- [37 Valores del coeficiente de rugosidad de manning , [En línea]. Available:
] [https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/wp-
content/uploads/2012/02/Coeficientes-de-Rugosidad-de-Manning.pdf](https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/wp-content/uploads/2012/02/Coeficientes-de-Rugosidad-de-Manning.pdf). [Último
acceso: 11 Octubre 2024].
- [38 OEFA, «Aguas Residuales,» SIAL, Trujillo - Perú , 2014.
]

[39 Eestrucplan, «Composición de las aguas residuales,» [En línea]. Available:
] <https://estrucplan.com.ar/>. [Último acceso: 06 10 2024].

[40 MINAM, Gestión Integral de Residuos sólidos, Lima, 2017.
]

[41 S. G. d. E. U. (USGS), «Contaminantes Asociados a Sedimentos,» [En línea].
] Available: <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/sediment-associated-contaminants>. [Último acceso: 16 Octubre 2024].

[42 CROMTEK, «Demanda Bioquímica de Oxígeno,» 2023.
]

[43 O. P. S.A., «Sólidos Suspendidos Totales (SST),» 04 Mayo 2025. [En línea].
] Available: <https://omegaperu.com.pe/solidos-suspendidos-totales-sst/>.

[44 M. I. T. Vera, «Calidad del agua: Grasas y Aceites,» 04 Mayo 2025. [En línea].
] Available:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITES.pdf>.

[45 SLAB, «Ensayos Físicos de Agua: Métodos Clásicos y Avanzados,» 04 Mayo 2025.
] [En línea]. Available: <https://slabperu.com/ensayos-fisicos-de-agua-metodos-clasicos-y-avanzados/>.

[46 Biorremediación de los recursos naturales. [En línea]. Available:
] https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/136577/CONICET_Digital_Nro.c4e36602-748c-4289-8aef-494933f882f8_E.pdf?sequence=8&isAllowed=y.
[Último acceso: 25 Octubre 2024].

[47 E. d. M. B. J. d. M. M. M. D. C. F. d. I. M. J. Fernandez Gonzales. [En línea].
] Available: https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf. [Último acceso: 03 2025].

- [48 B. V. R. E. Ivaldi, Eficacia de la Fitorremediación de las aguas residuales del dren
] 2210 utilizando lentejas de agua, Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo, 2016.
- [49 E. d. redacción, «Restauración de ecosistemas,» [En línea]. Available:
] https://www.restauracionpaisajistica.com/las-plantas-macrofitas-acuaticas/?utm_source=chatgpt.com. [Último acceso: 24 05 2025].
- [50 O. L. D. K. T. R. Olga Jaimes Prada, «Revista mexicana de ciencias pecuarias,» [En
] línea]. Available:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242024000200404. [Último acceso: 14 04 2025].
- [51 A. d. P. A. d. EE.UU. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. [Último acceso: 08 Octubre 2024].
- [52 L. A. Rossman, «EPA United States Environmental Protection Agency,» [En línea].
] Available: https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf. [Último acceso: 20 05 2025].
- [53 S. Abierto, «SWMM Abierto,» [En línea]. Available:
] <https://www.openswmm.org/Topic/16652/advantages-of-swmm>. [Último acceso: 20 05 2025].
- [54 E. U. S. E. P. Agency, STORM WATER MANAGEMENT MODEL
] APPLICATIONS MANUAL.
- [55 D. A. N. y. L. C. Suárez, Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica,
] 2017.
- [56 J. H. J. T. V. y. M. J. Arias, Metodología de la investigación: El método ARIAS para
] desarrollar un proyecto de tesis, Puno: Instituto Universitario de Innovación ciencia y tecnología inudi Perú, 2022.

[57 U. Naval, Método de la investigación.

]

Anexos**CONFORMIDAD DE ASESOR DE TESIS**

Chiclayo, 02 de noviembre del 2025.

Señores

DOCENTE DE LA ASIGNATURA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**DOCENTE COORDINADOR DE TESIS****ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL-USAT**Presente.

Le expreso mi saludo y en mi condición de asesor doy mi **CONFORMIDAD** a la tesis titulada: **“ANÁLISIS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN LA ACEQUIA COIS EN EL DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ”** presentado por el estudiante **MARÍN MARTÍNEZ, EDSON EDGARDO** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil**, de esta manera se cumple con uno de los requisitos para su pase a sustentación del proyecto de acuerdo al art.15 de reglamento de elaboración y sustentación del trabajo de investigación para optar el título profesional.

Atentamente.




Atentamente
Ing. Roberto Bruno Reyes Aspiros
DNI : 41465023

Ing. Roberto Bruno Reyes Aspiros

Docente Asesor

Fig. 70. Conformidad de asesor



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 • LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS
 • CONCRETO Y ASFALTO

INFORME N° LEM USAT 012-2025-II
 FECHA: 27 de Octubre 2025

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Edson Edgardo Marín Martínez

TITULO DE LA TESIS: Análisis de transporte de contaminantes en la acequia cois en el distrito de José Leonardo Ortiz


El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Ensayos fisicoquímicos del agua
 - Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
 - Solidos suspendidos totales (SST)
 - Aceites y grasas
 - pH
 - Turbidez

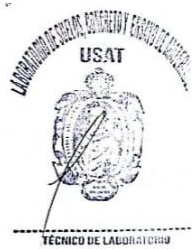
Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil



Henry Rivadeneyra Oblitas
Téc. Laboratorio USAT




LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO

Fig. 72 Validación de Ensayos de Laboratorio

LINK: https://drive.google.com/drive/folders/11315bxWhYctq4o-UxDOGA72nwGW3n_Jh?usp=drive_link

Chiclayo, 06 de diciembre del 2024

SR. LUCIANO PALACIOS PINGLO
Presidente De La Comisión De Usuarios
ING CHRISTIAN AGUIRRE ROJAS
Gerente De La Comisión De Usuarios
Chiclayo

COMISION DE USUARIOS DEL
SISTEMA HIDRAULICO CHICLAYO
Fecha: 06.12.2024
Hora: 12:06pm
Recibido: 

ASUNTO **SOLICITUD DE LOS PLANOS DE LA ACEQUIA COIS**

Para saludarlos cordialmente, y presentarme mi nombre es Edson Edgardo Marín Martínez, estudiante del IX ciclo de la escuela profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, que, por motivos de investigación para el desarrollo de mi Tesis cuyo título es: **"Análisis de transporte de contaminantes en la acequia Cois"**, es que solicito se me faciliten las copias en físico o en digital de los planos de la Acequia COIS de Chiclayo.

Seguros de contar con su apoyo, me despido de Uds.

Atentamente,

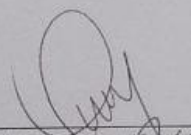

Estudiante Edson Edgardo Marín Martínez
DNI 73204927

Fig. 71. Solicitud de planos

Autoguardado CANAL COIS - Guardado en Este PC

ESTADO DE CONSERVACION DE CANALES POR LATERALES
COMISION DE USUARIOS CHICLAYO

GERENCIA AGRARIA : LAMBAYEQUE
SECTOR HIDRAULICO : CHANCAY LAMBAYEQUE
JUNTA DE USUARIOS : CHANCAY LAMBAYEQUE

COMISION DE USUARIOS : CHIC
AGRUPADO POR : CANU
FECHA : MAY

Nº TRAMO	PROGRESIVA		NOMBRE CANAL	NIVEL CANAL	CONDICION		LONG. TOTAL (m)	SECCION CANAL	ESTADO CONSER.	CARACTERISTICAS HIDRAULICAS								
	INICIO	FINAL			REVEST. (m)	SIN REV. (m)				Base (m)	Altura (m)	Espejo (m)	Tirante (m)	Area Mo (m2)	Perim. Mo (m)	Radio Hid (m)	Veloc. (m/s)	B. Libr (m)
0001	000+000.00	001+480.00	SAN JACINTO	L - 04		1,480.00	1,480.00	Rectangular	2	2.05	0.85	2.05	0.50	1.03	3.05	0.34	0.20	0.35
TOTAL					0.00	1,480.00	1,480.00											
0001	000+000.00	000+682.00	LOS PINOS	L - 03		682.00	682.00	Rectangular	2	2.10	0.80	2.10	0.32	0.67	2.74	0.25	0.30	0.48
TOTAL					0.00	682.00	682.00											
0001	004+975.00	004+975.00	COIS	L - 02	4,975.00	4,975.00	4,975.00	Rectangular	1	1.65	1.35	1.65	0.80	1.32	3.25	0.41	0.76	0.55
0002	004+975.00	005+994.00	COIS	L - 02		1,019.00	1,019.00	Trapezoidal	2	1.20	1.25	2.80	0.80	1.60	3.46	0.46	0.63	0.45
TOTAL					4,975.00	1,019.00	5,994.00											
0001	000+000.00	001+331.00	SHUDEN	L - 03		1,331.00	1,331.00	Trapezoidal	3	1.10	0.80	1.80	0.50	0.73	2.32	0.31	0.55	0.30
TOTAL					0.00	1,331.00	1,331.00											

Fig. 72. Valores hidráulicos de la acequia cois

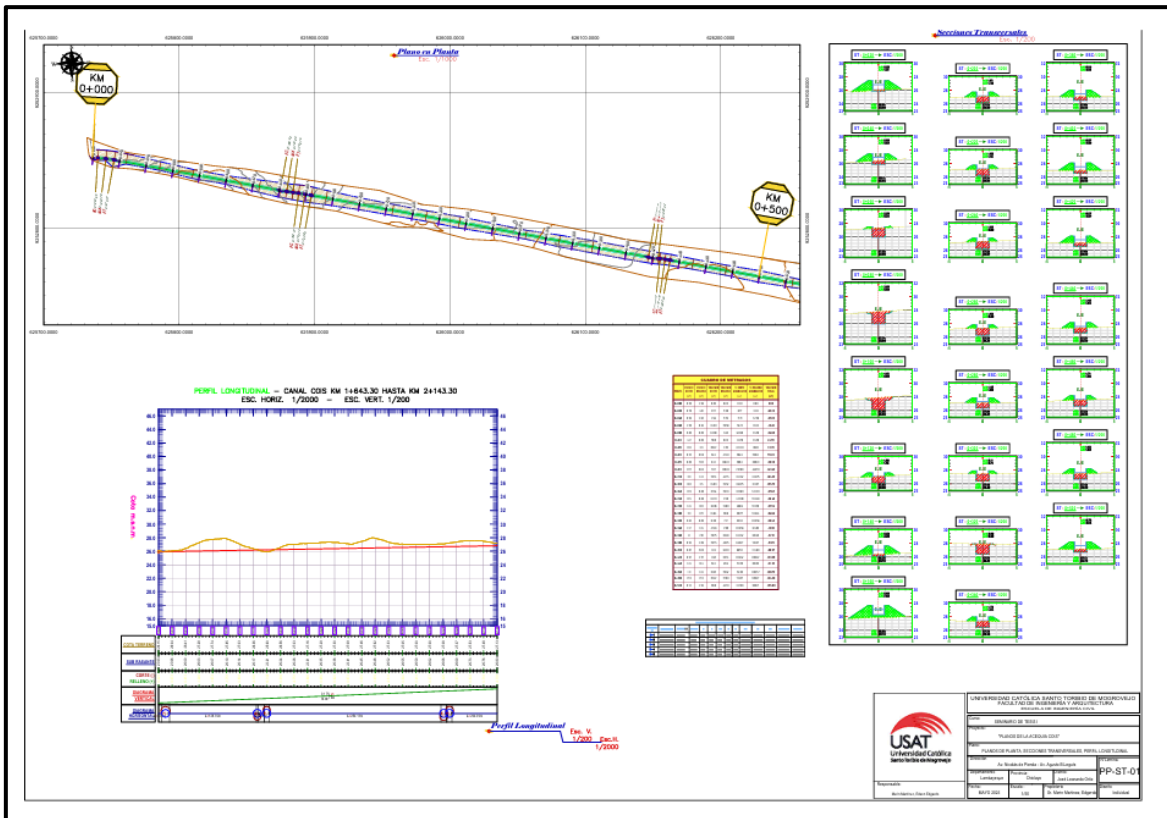


Fig. 73. Planos de la acequia cois -1

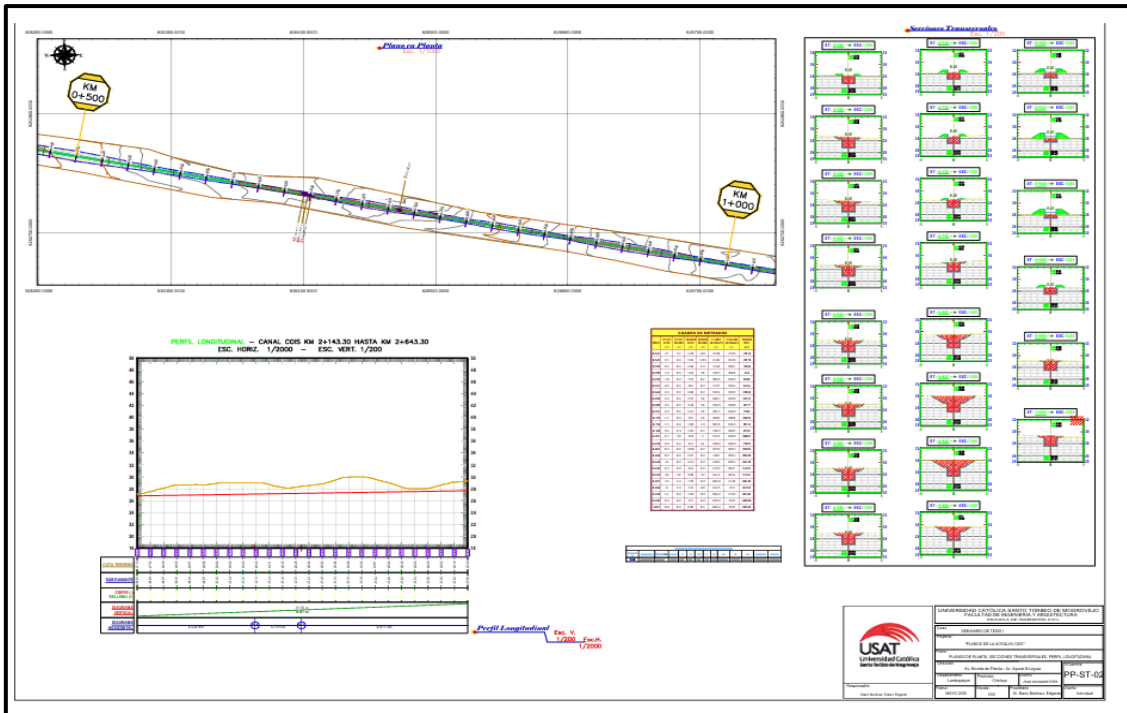


Fig. 74. Planos de la acequia cois - 2

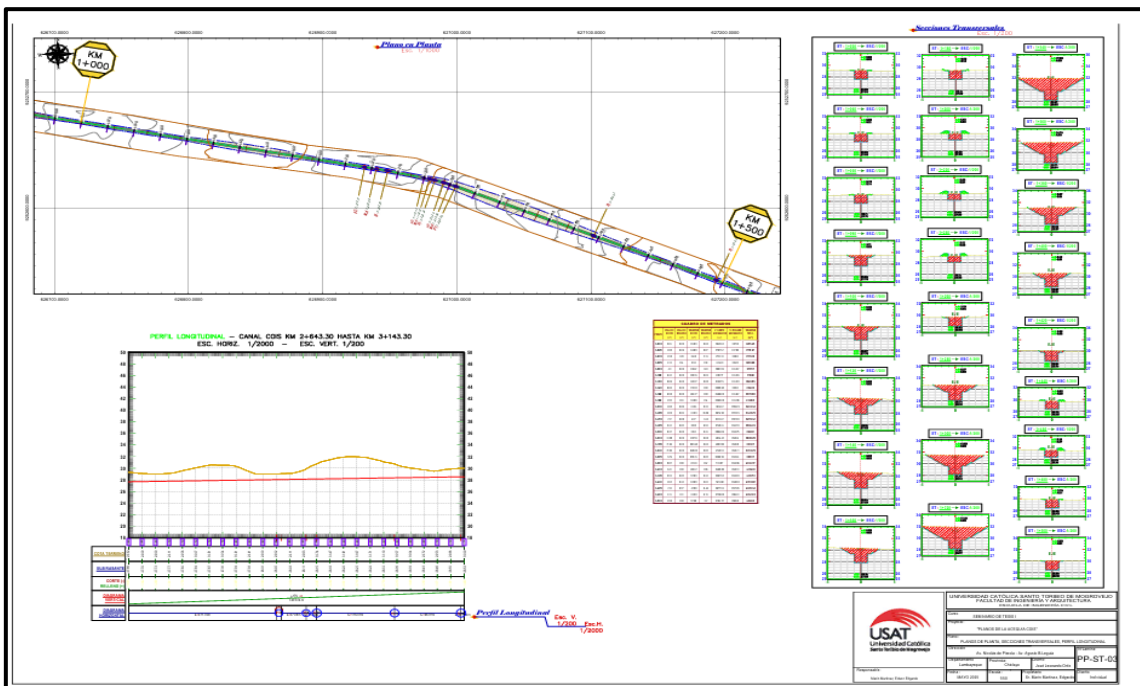


Fig. 75. Planos de la acequia cois - 3

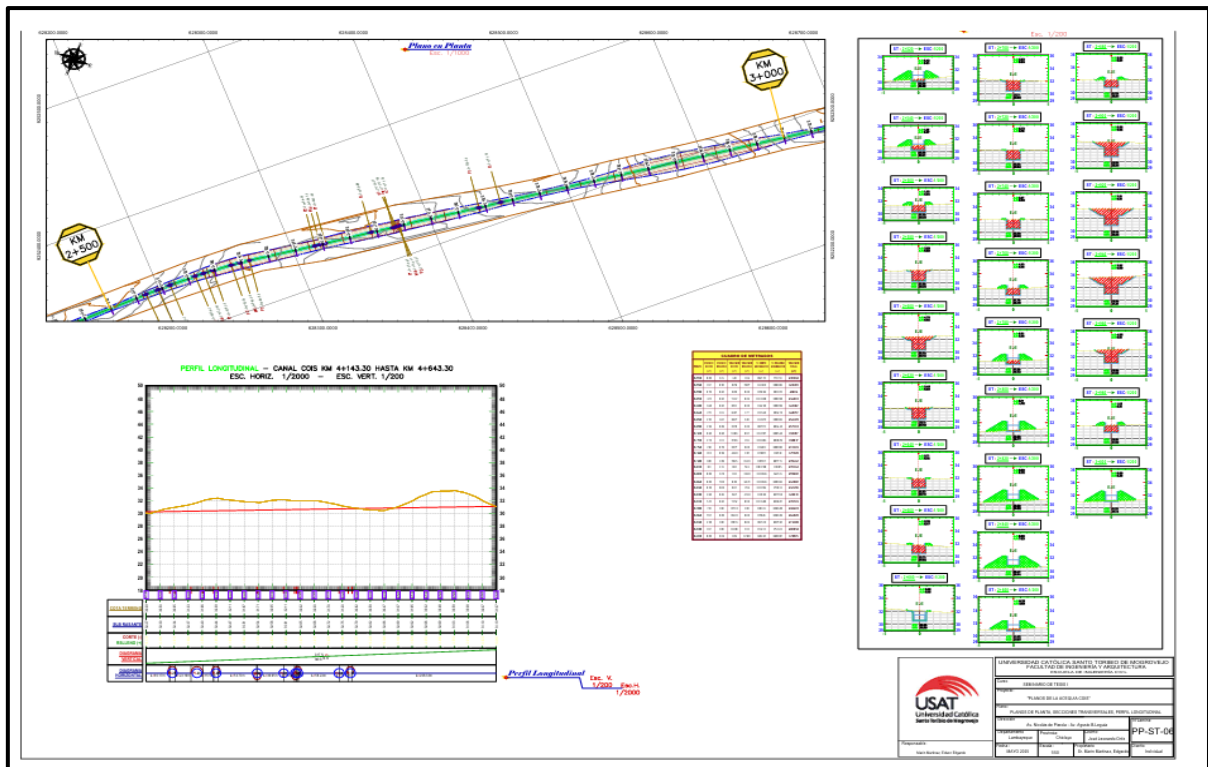


Fig. 76. Planos de la acequia cois - 4

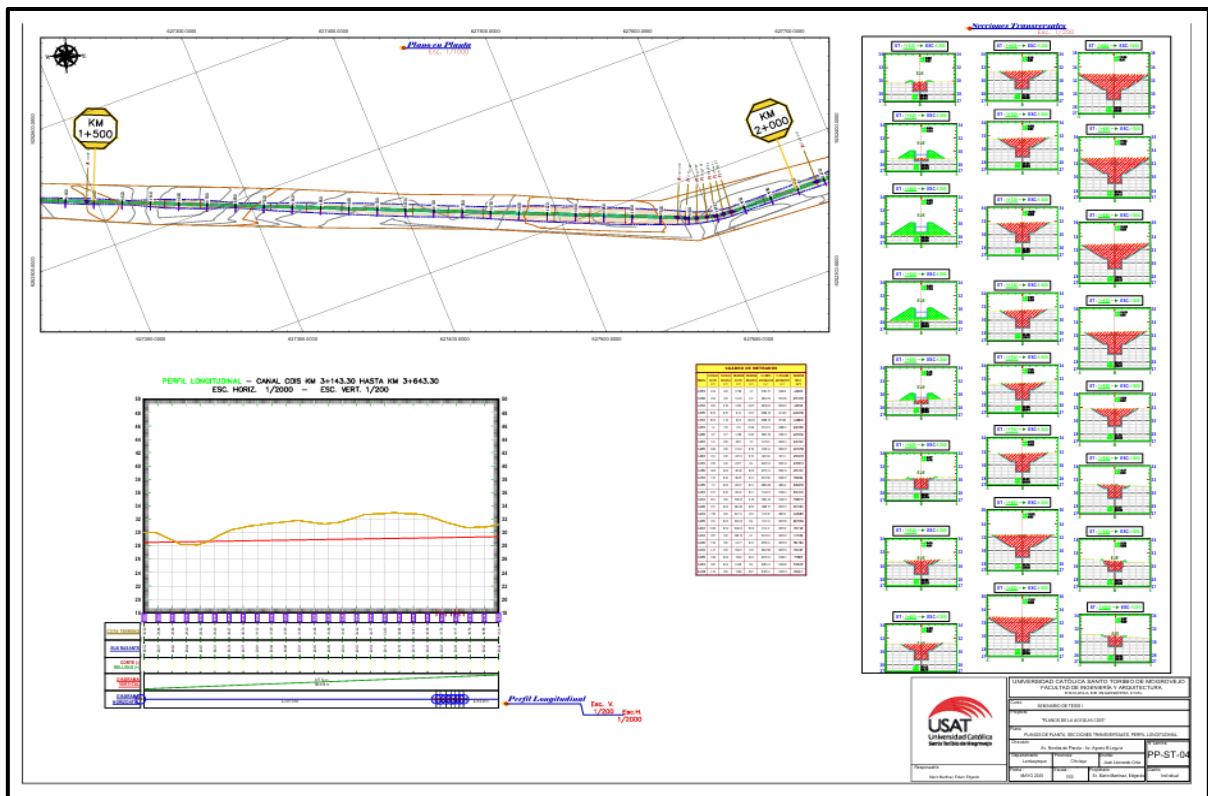


Fig. 77. Planos de la acequia cois - 5

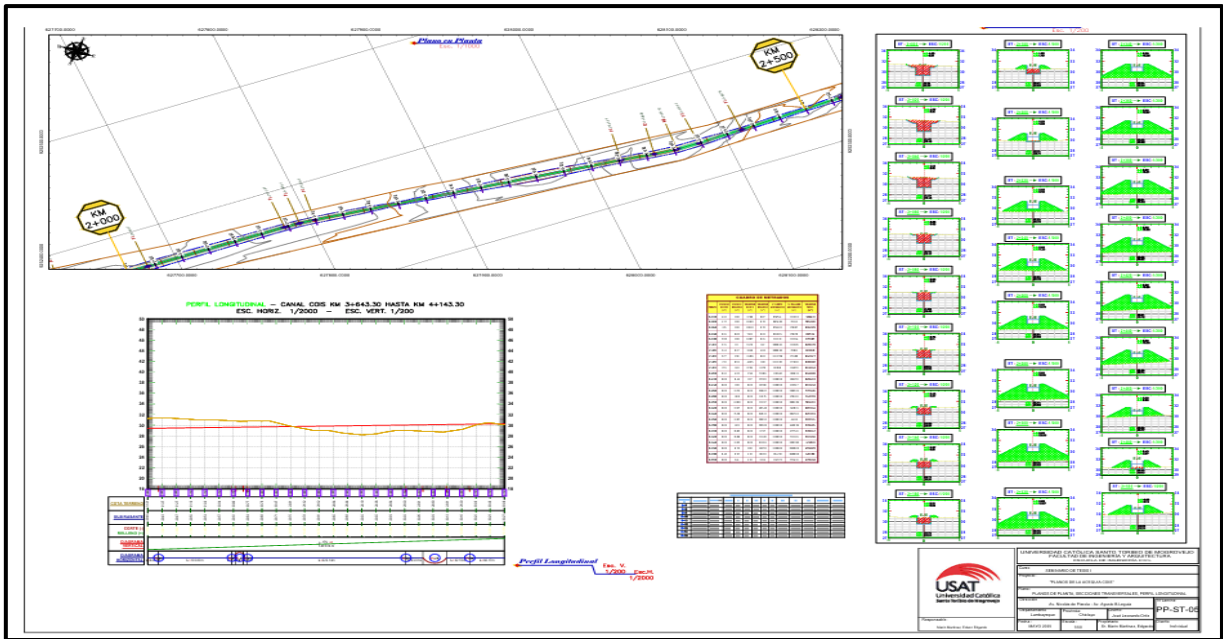


Fig. 78. Planos de la acequia cois - 6

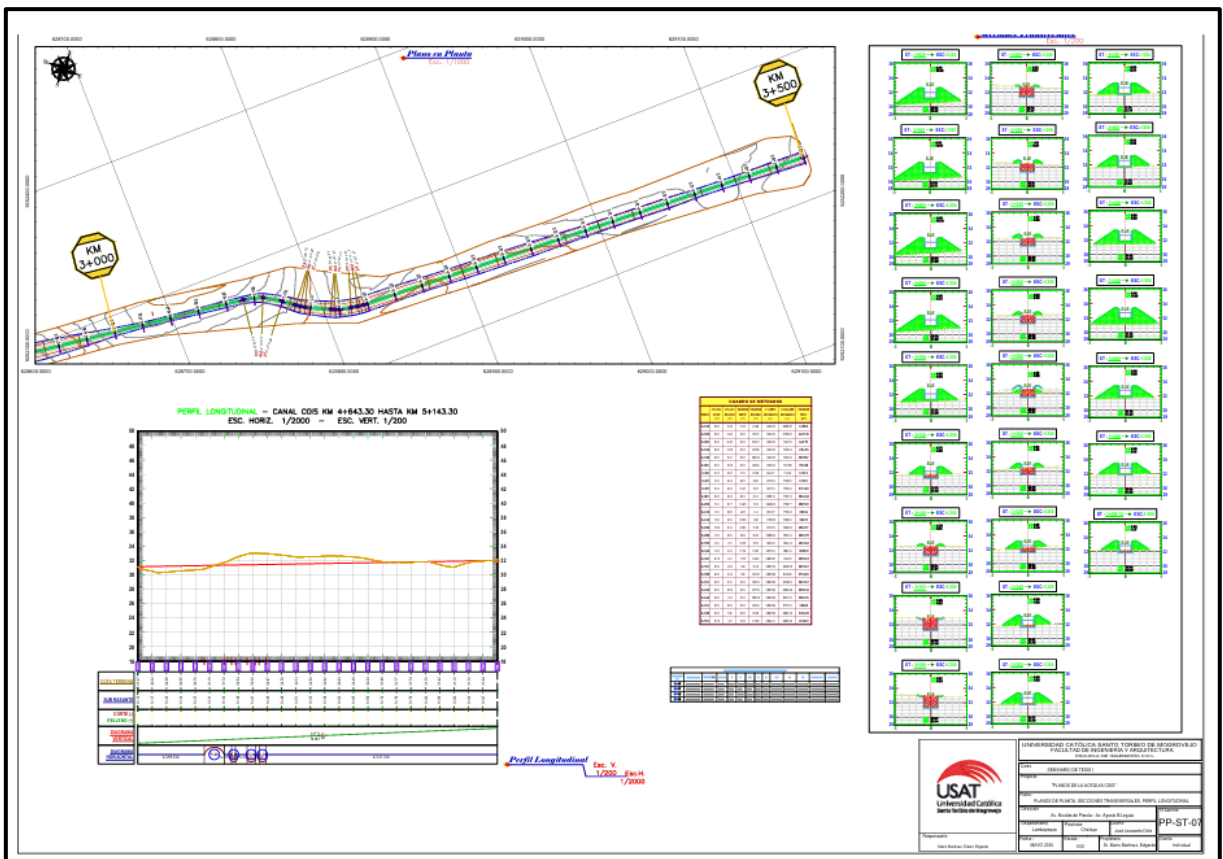


Fig. 79. Planos de la acequia cois - 7

TABLA XXXV
DATOS GEORREFENCIADOS - CHANCAY

CÓDIGO	ESTACIÓN	ACE QUIA	COORDENADAS UTM:	COTA DE TERRENO	COTA DEL CANAL
E-1	Av. Nicolas de Piérola -Av. Quiñones. (TRAMO 001+500.00)	Cois	X=629144.09 Y=9252228.05 (cota 29m)	(cota 29m)	27.65 m
E-2	Av. Nicolas de Piérola Av. Sáenz Peña. (TRAMO 001+878.90)	Cois	628779.37 9252265.99 (cota 28m)	(cota 28m)	26.65 m
E-3	Av. Nicolas de Piérola – Av. José Balta (TRAMO 002+180.15)	Cois	628464.71 9252314.57 (cota 27m)	(cota 27m)	25.65 m
E-4	Av. Augusto B. Leguía -Av. Luis Gonzales (TRAMO 002+594.67)	Cois	628038.55 9252334.12 (cota 26m)	(cota 26m)	24.65 m
E-5	Av. Augusto B. Leguía -Av. Angamos (TRAMO 002+893.60)	Cois	627736.42 9252363.68 (cota 26m)	(cota 26m)	24.65 m

E-6	Av. Augusto B. Cois	627618.86	(cota 26m)	24.65 m
	Leguía -Av.	9252363.28		
	Fernando	(cota 26m)		
	Belaunde			
	(TRAMO			
	003+111.37)			
E-7	Av. Augusto B. Cois	626985.86	(cota 25m)	23.65 m
	Leguía -Av.	9252623.34		
	Mariano	(cota 25m)		
	Cornejo			
	(TRAMO			
	003+765.72)			
E-8	Av. Augusto B. Cois	626416.52	(cota 25m)	23.65 m
	Leguía -Av.	9252728.87		
	Los Tréboles	(cota 25m)		
	(TRAMO			
	004+346.48)			
E-9	Av. Augusto B. Cois	625737.11	(cota 25m)	23.65 m
	Leguía -	9252851.95		
	Panamericana	(cota 25m)		
	Norte			
	(TRAMO			
	004+975.00)			

NOTA SOBRE EL CANAL:

- A los costados del canal (a la derecha 2m, a la izquierda 2 m) se encontró vegetación por su recorrido.
- Desde el Km 2+300 km, solamente para la derecha hay 3 metros de vegetación y 1.5m a la izquierda se presenta tierra con poca vegetación.



Fig. 80. Acequia Cois Km 1+643.30



Fig. 81. Presencia de instalaciones ilegales Km 1+643.30



Fig. 82. Instalaciones ilegales Km 1+843.30



Fig. 83. Excedente de vegetación



Fig. 84. 14 Km 2+051.50 Av. Sáenz Peña - Av. Nicolas de Piérola



Fig. 85. Av. Saézn Peña - Av. Nicolás de Piérola



Fig. 86. Presencia de basura



Fig. 87. Excedente de residuos sólidos Km 3+ 490.30



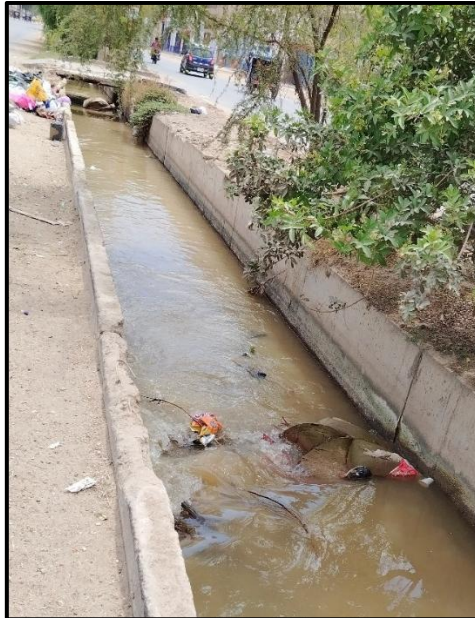
Fig. 88. Más instalaciones ilegales con residuos sólidos Km 3+495.30



Fig. 89. Instalaciones Clausuradas



Fig. 90. Calle Carlos Pestaña Km 4+053.00



**Fig. 91. Presencia de basura que interrumpe el flujo del agua
(Calle San Lorenzo Km 4+43.50)**



Fig. 92. Presencia de basura en el fondo de la acequia



Fig. 93. Más residuos sólidos en su recorrido

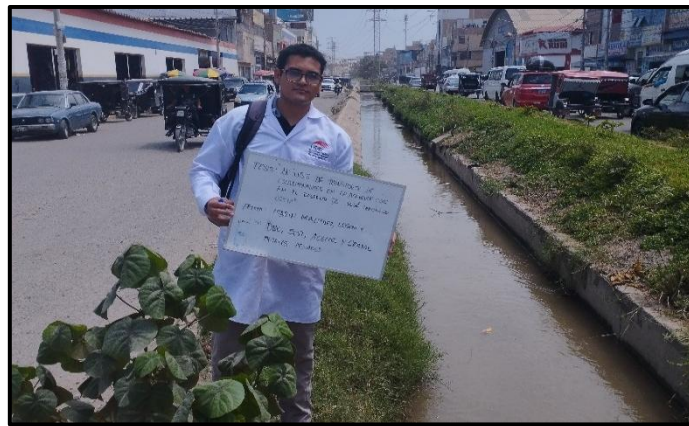


Fig. 94. Recolección de muestras

(Tomada de la Av. Luis Gonzales con de la Av. Leguía km 2+890.30)



Fig. 95. Recolección de muestras

(Tomada de la Av. Leguía con intersección en la Panamericana Km 5+030.00)

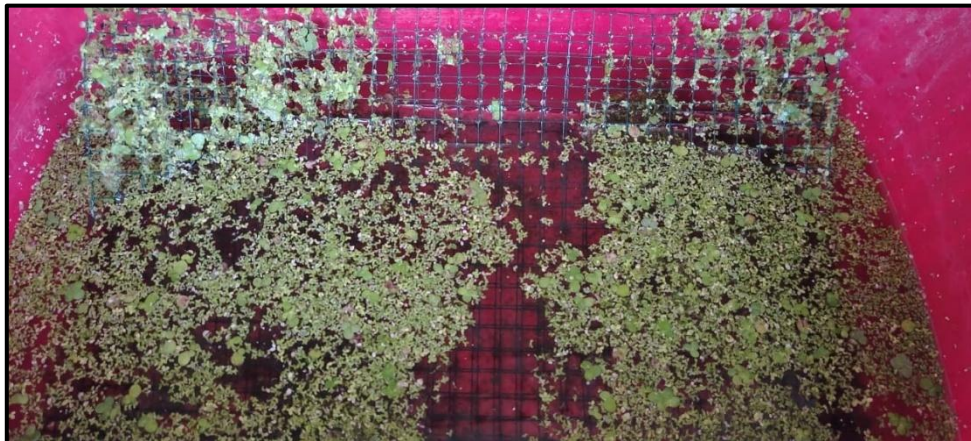
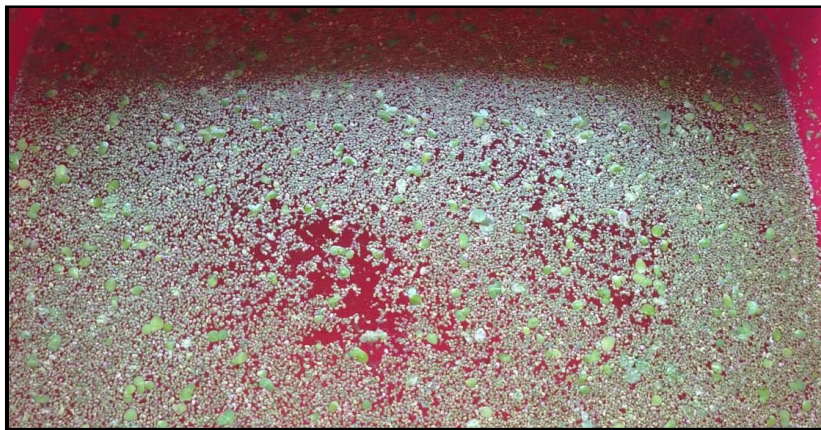


Fig. 96. Planta acuática lemna minor (lenteja de agua)



Fig. 97. Días de reposo de muestras



Fig. 98. Separación de las muestras



Fig. 99. Medición de oxígeno realizado a las muestras ya separadas



Fig. 100. Se colocan en la incubadora para el análisis de 5 días



Fig. 101. Lectura del DBO transcurrido los 5 días



Fig. 102. Bomba de vacíos para determinar sólidos



Fig. 103. Realización del ensayo para sólidos con las muestras extraídas



Fig. 104. Vaciado de las muestras en el Kitasato para la separación de sólidos

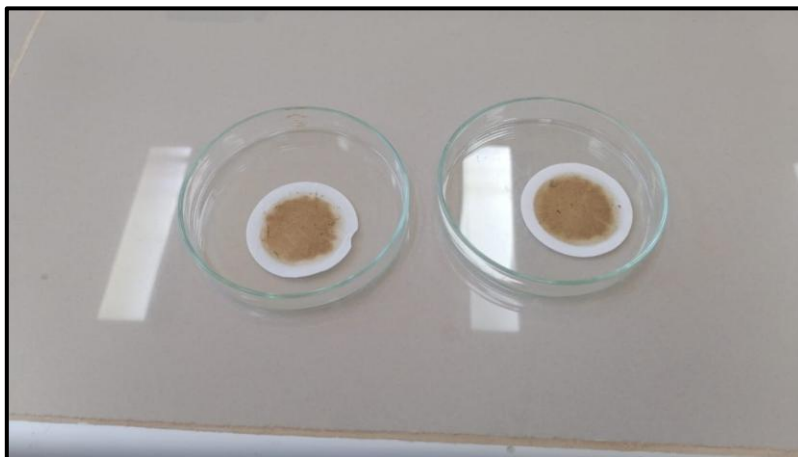


Fig. 105. Sólidos suspendidos totales retenidos por el frío

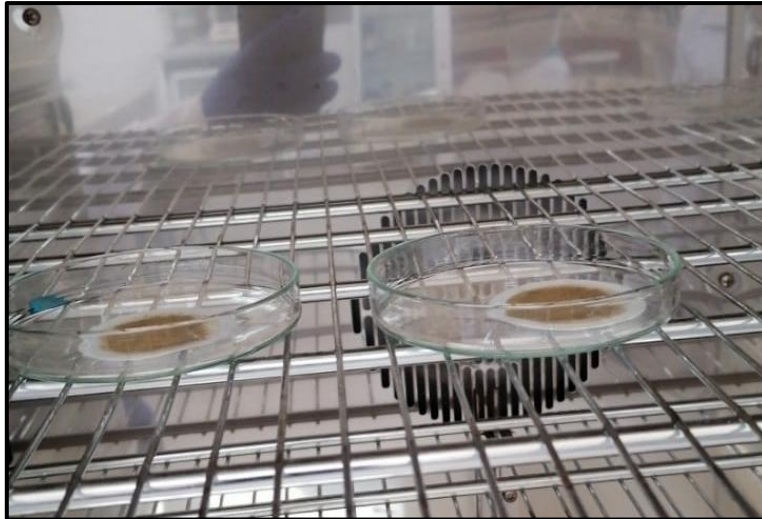


Fig. 106. Muestras retenidas en el horno para su enfriado



Fig. 107. Muestras secas y pesadas



Fig. 108. Inicio de la separación de aceites y grasas de las muestras respectivas



Fig. 109. Liberación del agua para la toma de grasas



Fig. 110. Evidencia de ambas muestras y su extracción de grasas

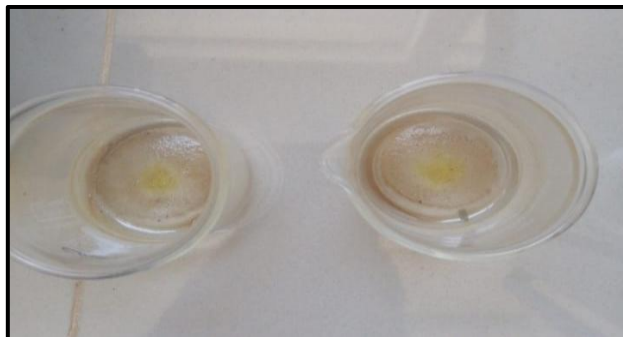


Fig. 111. Recipiente donde se coloca las grasas para ambas muestras



Fig. 112. Turbidímetro



Fig. 113. Lecturas para determinar el pH
(se realizó con el pHímetro)



Fig. 114. Muestra para obtener el pH

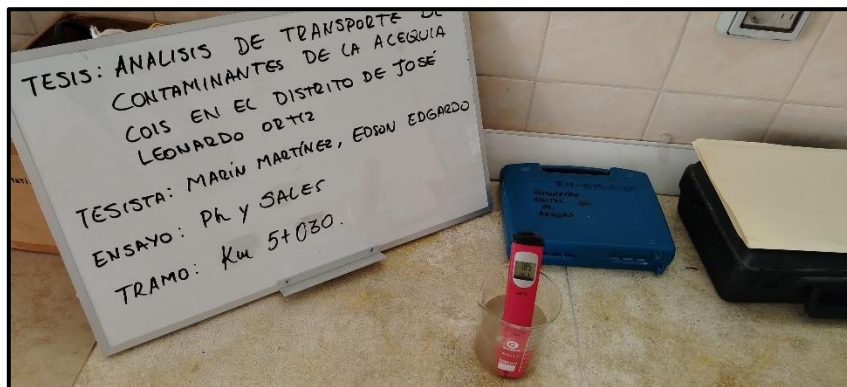


Fig. 115. pH tomado en USAT Km 5+030.0

TABLA XXXVI
PARÁMETROS HIDRAULICOS DE LA ACEQUIA COIS

Longitud	3.500 km
Secciones presentes	Rectangular
Material	Revestido
Base	1.65 m
Altura	1.35 m
Espejo	1.65 m
Tirante	0.80
Área Moj	1.32 m ²
Perim. Moj	3.25 m
Radio Hid	0.41 m
Velocidad estimada	0.76 m/s
Borde Libre	0.55 m
Talud	0 m
Pendiente	0.03740 %
Rugosidad	0.01
Caudal	1 m ³ /s

Fuente: Datos proporcionados de comisión de usuarios de Chiclayo

TABLA XXXVII
ESTUDIO HIDROLOGICO

Mes	Precipitación (ml)
Enero	4
Febrero	7
Marzo	9
Abril	3
Mayo	1
Junio	0
Julio	0
Agosto	0
Setiembre	0
Octubre	1
Noviembre	1
Diciembre	2

Fuente: Proporcionado por el SENAMHI

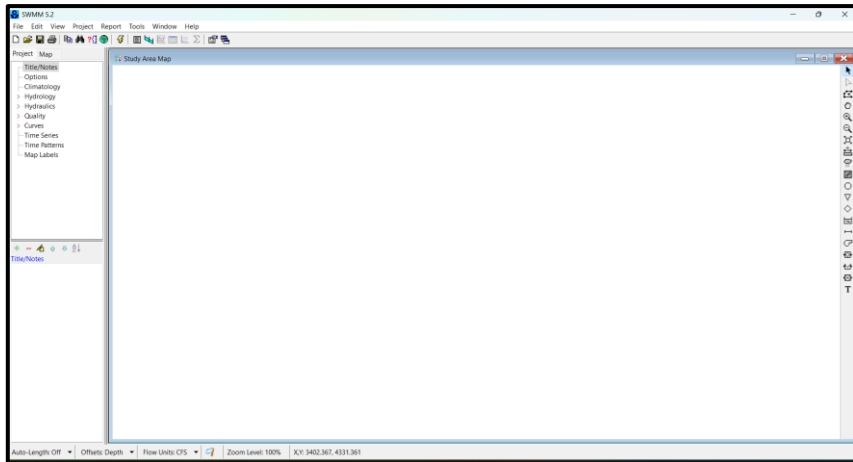


Fig. 116. Pantalla principal del software SWMM

Project Defaults

ID Labels Subcatchments Nodes/Links

Object	ID Prefix
Rain Gages	
Subcatchments	
Junctions	
Outfalls	
Dividers	
Storage Units	
Conduits	
Pumps	
Regulators	
ID Increment	1

Save as defaults for all new projects

OK Cancel Help

Fig. 117. Calibración para el modelado

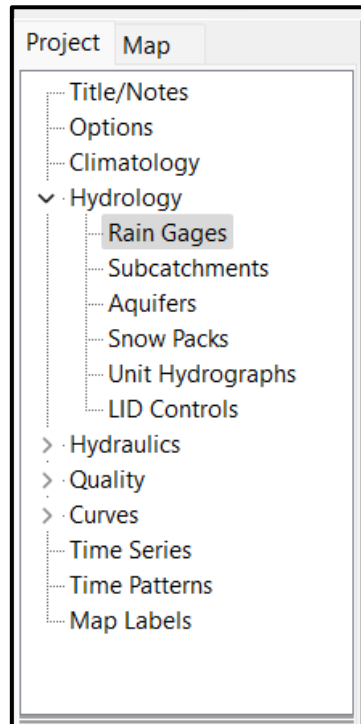


Fig. 118. Comandos necesarios para la simulación

Subcatchment C-1	
Property	Value
Name	C-1
X-Coordinate	626079.712
Y-Coordinate	9252790.654
Description	
Tag	
Rain Gage	LLUVIA1
Outlet	D-1
Area	1
Width	500
% Slope	0.5
% Imperv	25
User-assigned name of subcatchment	

Fig. 119. Subcuencas respectivas

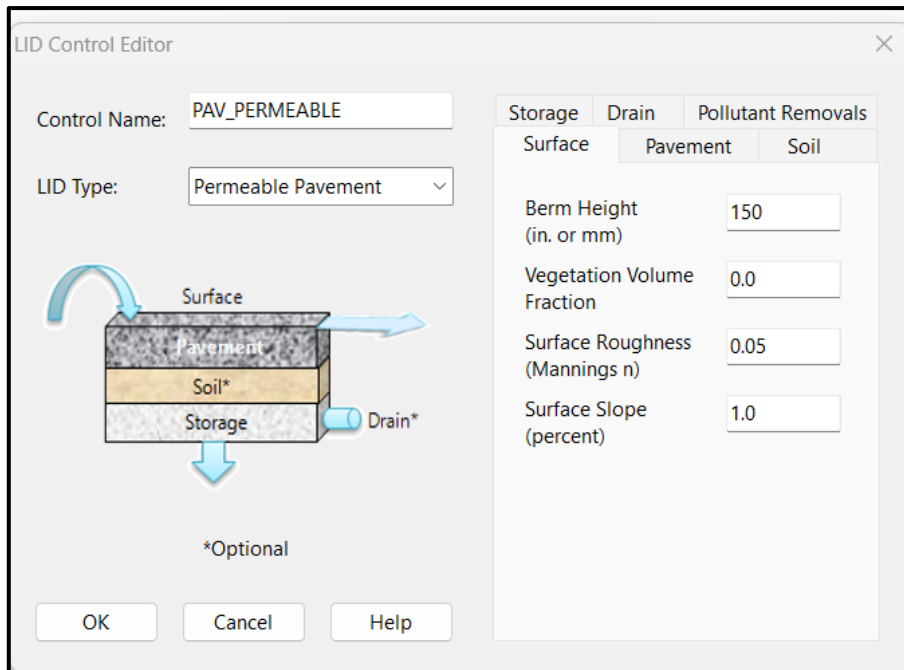


Fig. 120. Tipo de pavimentos según SWMM

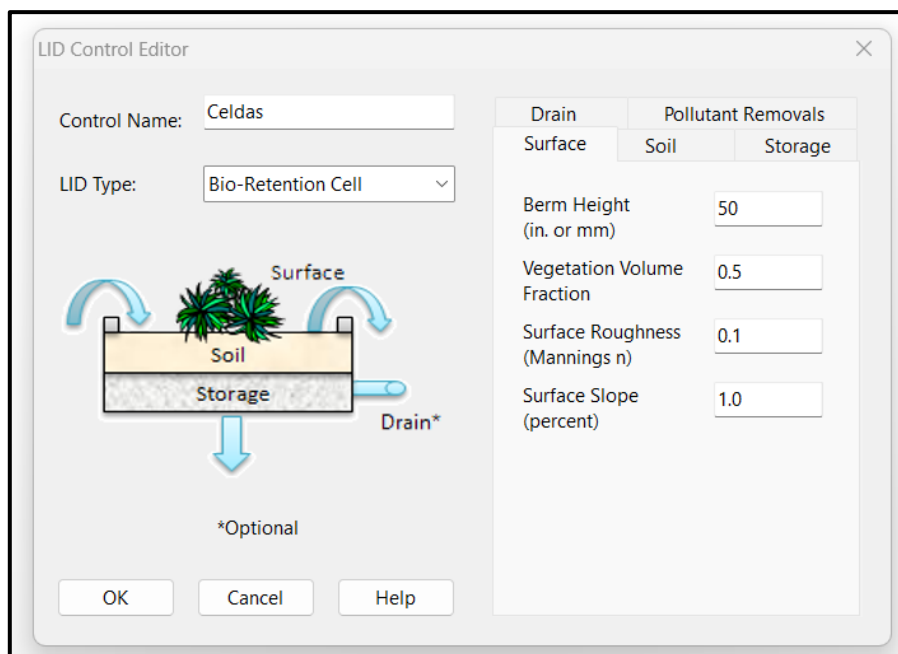


Fig. 121. Forma de vegetación según SWMM

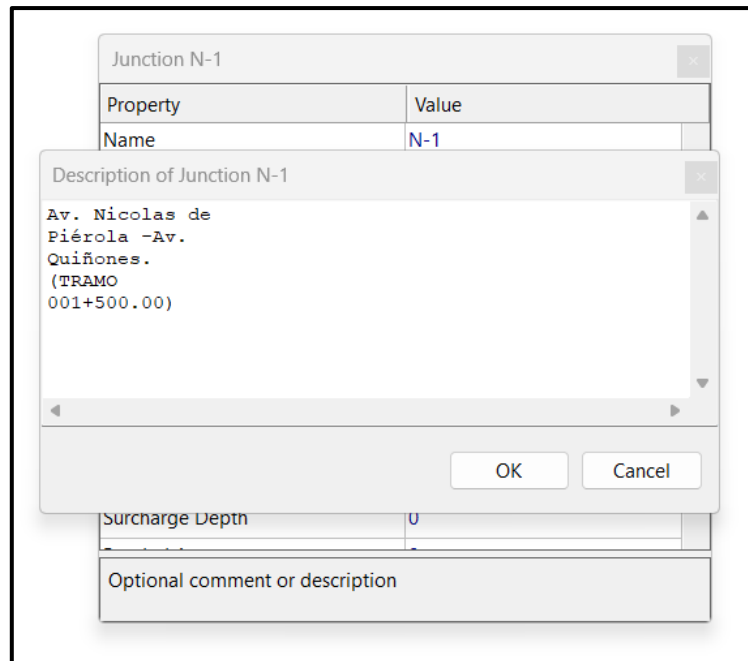


Fig. 122. Calibración de puntos topográficos

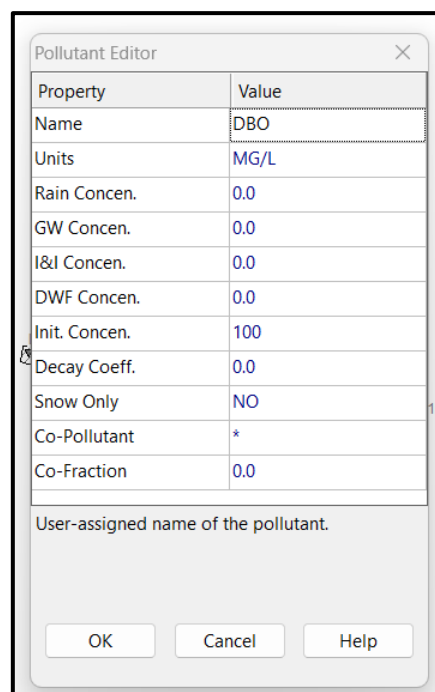


Fig. 123. Pestaña de introducción de contaminantes

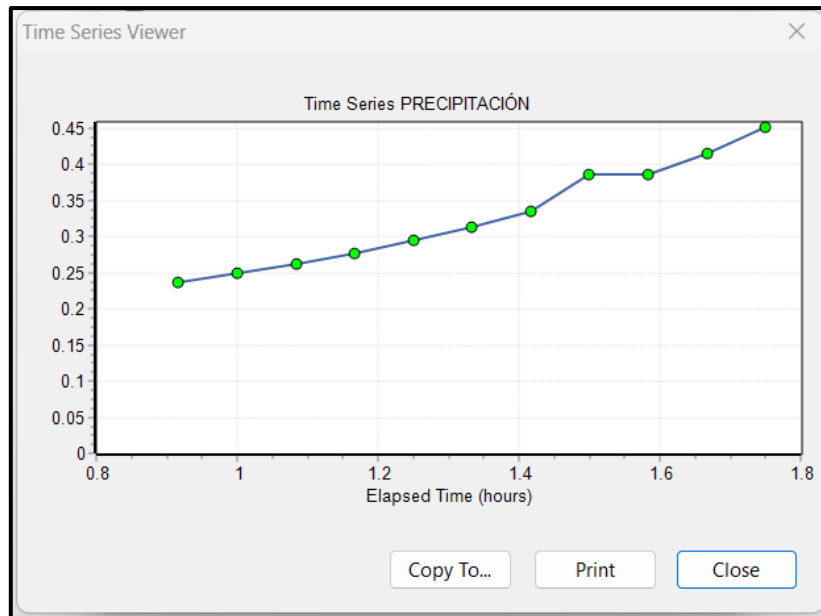


Fig. 124. Gráfica de precipitaciones dada por SWMM

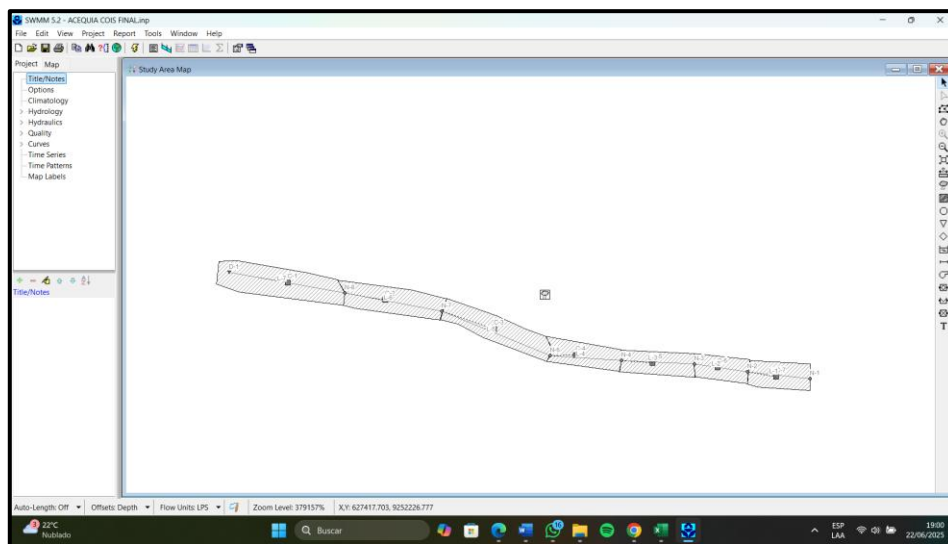


Fig. 125. Modelado Final