



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**

**Cálculo de eficiencia de conducción desde Bocatoma La Juliana hasta  
Bocatoma Miraflores, del Proyecto Irrigación Olmos, distrito de Olmos -  
Lambayeque**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Autor:

Bach. Cornejo Zapata Jarol David

Asesor:

Ing. Hernández Alcántara Juan Vicente

Lambayeque, 2026



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**

**Cálculo de eficiencia de conducción desde Bocatoma La Juliana hasta  
Bocatoma Miraflores, del Proyecto Irrigación Olmos, distrito de Olmos -  
Lambayeque**

Para optar el título profesional de:

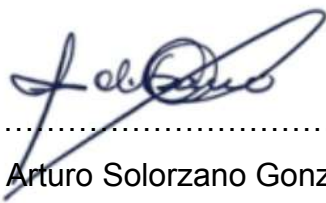
**INGENIERO AGRÍCOLA**

Autor:

Bach. Cornejo Zapata Jarol David

Aprobado por:

  
.....  
Ing. Dr. Wilfredo Diaz Cordova  
Presidente

  
.....  
Ing. José Arturo Solorzano Gonzales  
Secretario

  
.....  
Ing. M.Sc. Víctor Andrés Jiménez Drago  
Vocal

  
.....  
Ing. M.I. Juan Vicente Hernández Alcántara  
Asesor

**ACTA DE SUSTENTACIÓN N°003-2026-UINV-FIA**

Siendo las 9:30 horas del día 04 de Enero de 2026, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola, se reunieron los Miembros del Jurado designado mediante Resolución N°073-2023-FIA-VIRTUAL, conformado por:

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| ING. DR. WILFREDO DIAZ CORDOVA         | Presidente |
| ING. JOSE ARTURO SOLORZANO GONZALES    | Secretario |
| ING. M.SC. VICTOR ANDRES JIMENEZ DRAGO | Vocal      |



Para llevar a cabo la sustentación de tesis, citados mediante Resolución N°001-2026-FIA; denominado **"CALCULO DE EFICIENCIA DE CONDUCCION DESDE BOCATOMA LA JULIANA HASTA BOCATOMA MIRAFLORES, DEL PROYECTO IRRIGACION OLMOS, DISTRITO DE OLMOS - LAMBAYEQUE"**, bajo la responsabilidad del bachiller: **JAROL DAVID CORNEJO ZAPATA**, asesorado por el Ing. M.I. Juan Vicente Hernández Alcántara; para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola.

Luego de culminar la sustentación, el Jurado procedió a realizar las preguntas al sustentante y si hubiera observaciones, anotándolas para su corrección respectiva, el jurado luego de evaluar las rubricas decidió APROBAR la tesis con el calificativo de MUY BUENO correspondiente a la nota de 18 (dieciocho).

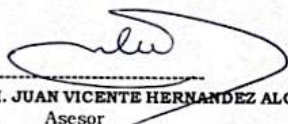
En consecuencia, el referido Bachiller queda apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, de acuerdo a la Ley Universitaria N°30220, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 11:15 horas del mismo día, se dio por finalizado el acto de sustentación y se procedió a firmar la presente acta los que en ella han intervenido.

  
ING. DR. WILFREDO DIAZ CORDOVA  
Presidente de jurado

  
ING. JOSE ARTURO SOLORZANO GONZALES  
Secretario de jurado

  
ING. M.SC. VICTOR ANDRES JIMENEZ DRAGO  
Vocal del jurado

  
ING. M.I. JUAN VICENTE HERNANDEZ ALCANTARA  
Asesor



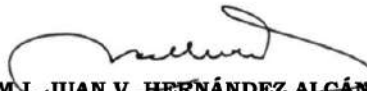
### **CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD**

Yo, JUAN VICENTE HERNÁNDEZ ALCÁNTARA usuario revisor de tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ y/o Trabajo Académico ☐, titulado: **“Cálculo de eficiencia de conducción desde Bocatoma La Juliana hasta Bocatoma Miraflores, del Proyecto Irrigación Olmos, distrito de Olmos - Lambayeque”**, cuyo autor es: Bach. Cornejo Zapata Jarol David, con DNI N° 74766141, declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un **porcentaje de similitud 17 %**, verificables en el **Resumen del reporte** automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó el reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el **recibo digital** a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 16 de octubre del 2025.

  
**ING. M.I. JUAN V. HERNÁNDEZ ALCÁNTARA**  
DNI: N° 16460970.  
Asesor

Adjunta:

Resumen del Reporte automatizado de similitudes (firmado por el asesor, indicar el nombre y apellidos)

Recibo digital (firmado por el asesor, indicar el nombre y apellidos)

## RESUMEN DEL REPORTE AUTOMATIZADO DE SIMILITUDES FIRMADO POR EL ASESOR

"Cálculo de eficiencia de conducción desde Bocatoma La Juliana hasta Bocatoma Miraflores, del Proyecto Irrigación Olmos, distrito de Olmos - Lambayeque"

### INFORME DE ORIGINALIDAD

|                     |                     |               |                         |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| <b>17</b> %         | <b>17</b> %         | <b>2</b> %    | <b>6</b> %              |
| ÍNDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

### FUENTES PRIMARIAS

|          |                                                                                |                |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>1</b> | <b>hdl.handle.net</b><br>Fuente de Internet                                    | <b>8</b> %     |
| <b>2</b> | <b>repositorio.uap.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                            | <b>1</b> %     |
| <b>3</b> | <b>repositorio.unprg.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                          | <b>1</b> %     |
| <b>4</b> | <b>dspace.unitru.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                              | <b>1</b> %     |
| <b>5</b> | <b>Submitted to Universidad Nacional de Colombia</b><br>Trabajo del estudiante | <b>1</b> %     |
| <b>6</b> | <b>www.dspace.uce.edu.ec</b><br>Fuente de Internet                             | <b>1</b> %     |
| <b>7</b> | <b>www.slideshare.net</b><br>Fuente de Internet                                | <b>&lt;1</b> % |

  
**ING. M.I. JUAN V. HERNÁNDEZ ALCÁNTARA**  
DNI. N°16460970.  
Asesor

|    |                                                                |      |
|----|----------------------------------------------------------------|------|
| 8  | Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo             | <1 % |
|    | Trabajo del estudiante                                         |      |
| 9  | Submitted to Universidad Central de Colombia                   | <1 % |
|    | Trabajo del estudiante                                         |      |
| 10 | cdn.www.gob.pe                                                 | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                             |      |
| 11 | dokumen.site                                                   | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                             |      |
| 12 | Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego                | <1 % |
|    | Trabajo del estudiante                                         |      |
| 13 | dspace.unach.edu.ec                                            | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                             |      |
| 14 | repositorio.uandina.edu.pe                                     | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                             |      |
| 15 | Submitted to Universidad Industrial de Santander UIS           | <1 % |
|    | Trabajo del estudiante                                         |      |
| 16 | Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga | <1 % |
|    | Trabajo del estudiante                                         |      |
| 17 | repositorio.unp.edu.pe                                         | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                             |      |

  
**ING. M.I. JUAN V. HERNÁNDEZ ALCÁNTARA**

DNI. N°16460970.  
 Asesor

|    |                                                                                                          |      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 18 | <a href="http://www.ccquito.org">www.ccquito.org</a><br>Fuente de Internet                               | <1 % |
| 19 | <a href="http://repositorio.unprg.edu.pe:8080">repositorio.unprg.edu.pe:8080</a><br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 20 | Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica<br>Trabajo del estudiante                        | <1 % |
| 21 | <a href="http://repositorio.unipiloto.edu.co">repositorio.unipiloto.edu.co</a><br>Fuente de Internet     | <1 % |
| 22 | <a href="http://vsip.info">vsip.info</a><br>Fuente de Internet                                           | <1 % |
| 23 | <a href="http://issuu.com">issuu.com</a><br>Fuente de Internet                                           | <1 % |
| 24 | <a href="http://repositorio.ujcm.edu.pe">repositorio.ujcm.edu.pe</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 25 | <a href="http://repositorio.uladech.edu.pe">repositorio.uladech.edu.pe</a><br>Fuente de Internet         | <1 % |
| 26 | <a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 27 | <a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a><br>Fuente de Internet                         | <1 % |
| 28 | <a href="http://www.regulacionagua.gob.ec">www.regulacionagua.gob.ec</a><br>Fuente de Internet           | <1 % |
|    | <a href="http://www.tecnologiayambiente.com.ar">www.tecnologiayambiente.com.ar</a><br>Fuente de Internet |      |
| 29 |                                                                                                          | <1 % |
| 30 | <a href="http://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a><br>Fuente de Internet         | <1 % |
| 31 | Submitted to Universidad Ricardo Palma<br>Trabajo del estudiante                                         | <1 % |
| 32 | <a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 33 | <a href="http://urural.edu.gt">urural.edu.gt</a><br>Fuente de Internet                                   | <1 % |

Excluir citas      Activo      Excluir coincidencias      < 15 words  
Excluir bibliografía      Activo

  
**ING. M.I. JUAN V. HERNÁNDEZ ALCÁNTARA**

DNI. N°16460970.

## RECIBO DIGITAL FIRMADO POR ASESOR



### Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jarol David Cornejo Zapata  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: "Cálculo de eficiencia de conducción desde Bocatoma La Julian...  
Nombre del archivo: PROYECTO\_DE\_TESIS\_-\_Cornejo\_Zapata.docx  
Tamaño del archivo: 31.26M  
Total páginas: 79  
Total de palabras: 12,260  
Total de caracteres: 64,926  
Fecha de entrega: 16-oct-2025 09:15p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2783550526



Derechos de autor 2025 Turnitin. Todos los derechos reservados.

  
**ING. M.I. JUAN V. HERNÁNDEZ ALCÁNTARA**  
DNI. N°16460970.  
Asesor

## DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico al ser humano más importante en mi vida, que estuvo siempre a mi lado en los momentos buenos y también difíciles, la que me enseñó muchos valores para ser una mejor persona cada día y a quién admiro por ser una mujer luchadora, mi querida madre. Eres y siempre serás el mejor ejemplo para mi vida y que con tanto amor, cariño y sobre todo tu apoyo incondicional me demostraste que debo luchar por mis sueños.

A la persona que también fue uno de los pilares en mi vida y a quien agradezco infinitamente por dejarme los mejores y maravillosos recuerdos y grandes enseñanzas, que fueron fundamentales para el desarrollo de mi vida personal y profesional, mi querido padre, sé que en el lugar donde te encuentras estarás orgulloso de mi y siempre te estaré eternamente agradecido.

A mis familiares y hermana: Cinthya, por su apoyo moral y cariño brindado a lo largo de mi vida.

A mi morsi Ivonne, por brindarme su apoyo en lo personal y profesional, demostrándome siempre que todo se puede lograr con mucho esfuerzo y dedicación.

## AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios, además a mi familia por haberme brindado todo su apoyo durante todo el trayecto de mi vida personal y universitaria, a mi querida madre por todo su amor incondicional y a mi querido padre que partió al cielo mi mayor agradecimiento por dejarme las mejores enseñanzas para mi vida.

Agradezco a mi casa de estudios, la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo por darme una grata acogida y formarme profesionalmente.

Agradecer también a todos los docentes que estuvieron presentes en mi formación profesional, y principalmente al Ingeniero Juan Hernández Alcántara por ser mi guía en este proyecto de investigación.

A la empresa H2olmos por brindarme todo el apoyo requerido, a la gerencia O&M representado por el Ing. Carlos Samaniego Minaya en facilitarme el uso de las instalaciones y equipos para la ejecución de mi tesis, a la Ing. Shey Asalde por compartirme sus conocimientos teóricos y prácticos, y al Ing. Deivy Facundo Morales por el apoyo en campo para la recolección de datos, que fueron de mucha utilidad para mi aprendizaje y el desarrollo de la presente investigación.

A Ivonne Ignacio, que estuvo a mi lado siempre apoyándome y dándome muchos ánimos durante todo el desarrollo de mi tesis.

## RESUMEN

Este estudio se centró en la evaluación de la eficiencia de conducción y la cuantificación de las pérdidas de caudal en el río Olmos, específicamente en el tramo comprendido entre las bocatomas La Juliana y Miraflores. El problema central identificado fue la extracción no autorizada de agua a través de tomas informales, lo cual impacta negativamente en la distribución del recurso hídrico. Por ello, la investigación buscó determinar el porcentaje exacto de caudal que se pierde en dicho trayecto. Los objetivos incluyeron medir la pérdida total, distinguir entre los factores que la causan (tanto sociales como naturales) y proponer estrategias para mejorar la gestión del agua.

Metodológicamente, se utilizó el método área - velocidad con un correntómetro para realizar aforos en las dos bocatomas: La Juliana y Miraflores. Se analizaron las pérdidas debidas a infiltración, evaporación y las captaciones ilegales.

Los resultados arrojaron un caudal de 8.156 m<sup>3</sup>/s en La Juliana y 7.771 m<sup>3</sup>/s en Miraflores. Esto representó una pérdida neta de 0.225 m<sup>3</sup>/s. De esa pérdida, se atribuyó 0.195 m<sup>3</sup>/s a infiltración y 30.20 l/s a evaporación. Se destacó que el factor social (las extracciones ilegales) fue la principal causa de la disminución del caudal, con un total de siete tomas irregulares que sustrajeron 0.160 m<sup>3</sup>/s. Aunque los factores naturales influyen, el componente humano es el más significativo en el déficit de agua.

Finalmente, el estudio concluye que la eficiencia de conducción del río Olmos en el tramo que se ha determinado para este estudio, es alta, alcanzando el 97.24%, lo que indica que el río es hidráulicamente favorable. No obstante, se subraya que las extracciones informales son el mayor obstáculo para una distribución justa; por ello, se recomienda establecer un plan de gestión y control, incrementar la supervisión técnica y fomentar la sensibilización sobre el uso responsable del agua que benefician tanto al Valle Viejo de Olmos, así como también a las Tierras Nuevas.

## ABSTRACT

This study focused on the evaluation of conduction efficiency and the quantification of flow losses in the Olmos River, specifically in the section between the La Juliana and Miraflores intakes. The central problem identified was the unauthorized extraction of water through informal intakes, which negatively impacts the distribution of water resources. Therefore, the research sought to determine the exact percentage of flow that is lost on this route. The objectives included measuring total loss, distinguishing between the factors that cause it (both social and natural) and proposing strategies to improve water management.

Methodologically, the area-speed method was used with a currentmeter to carry out gauging at the two intakes: La Juliana and Miraflores. Losses due to infiltration, evaporation and illegal catchments were analyzed.

The results showed a flow of 8,156 m<sup>3</sup>/s in La Juliana and 7,771 m<sup>3</sup>/s in Miraflores. This represented a net loss of 0.225 m<sup>3</sup>/s. Of this loss, 0.195 m<sup>3</sup>/s was attributed to infiltration and 30.20 l/s to evaporation. It was highlighted that the social factor (illegal extractions) was the main cause of the decrease in flow, with a total of seven irregular taps that stole 0.160 m<sup>3</sup>/s. Although natural factors play a role, the human component is the most significant in the water deficit.

Finally, the study concludes that the conduction efficiency of the Olmos River in the section that has been determined for this study is high, reaching 97.24%, which indicates that the river is hydraulically favorable. However, it is stressed that informal extractions are the greatest obstacle to fair distribution; therefore, it is recommended to establish a management and control plan, increase technical supervision and promote awareness about the responsible use of water that benefit both the Valle Viejo of Olmos, as well as the Tierras Nuevas.

## ÍNDICE

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Dedicatoria                                          | 2  |
| Agradecimiento                                       | 3  |
| Resumen                                              | 4  |
| Abstract                                             | 5  |
| Índice de tablas                                     | 8  |
| Índice de figuras                                    | 9  |
| Introducción                                         | 10 |
| Capítulo I: El problema de la Investigación          | 12 |
| 1.1 Planteamiento del problema                       | 12 |
| 1.2 Formulación del problema                         | 12 |
| 1.3. Objetivos de la Investigación                   | 13 |
| 1.3.1 Objetivos Generales                            | 13 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos                          | 13 |
| 1.4 Justificación del estudio                        | 13 |
| Capítulo II: Marco Teórico                           | 14 |
| 2.1 Antecedentes del estudio                         | 14 |
| 2.1.1 Antecedentes Nacionales                        | 14 |
| 2.1.2 Antecedentes Locales                           | 15 |
| 2.2 Bases teóricas                                   | 16 |
| 2.2.1 Eficiencia de Conducción en ríos y canales     | 16 |
| 2.2.2 Factores que determinan la pérdida de caudales | 17 |
| 2.3 Definición de términos                           | 28 |
| 2.4 Hipótesis                                        | 29 |
| 2.4.1 Hipótesis general                              | 29 |
| 2.4.2 Hipótesis específica                           | 29 |
| 2.5 Variables                                        | 30 |
| 2.5.1 Definición conceptual de la variable           | 30 |
| 2.5.2 Definición operacional de la variable          | 30 |
| 2.5.3 Operacionalización de la variable              | 31 |
| Capítulo III: Metodología                            | 32 |
| 3.1 Tipo y nivel de investigación                    | 32 |
| 3.1.1 Tipo de investigación                          | 32 |
| 3.1.2 Nivel de investigación                         | 32 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2 Descripción del ámbito de la investigación                      | 32 |
| 3.2.1 Ubicación política                                            | 32 |
| 3.2.2 Ubicación hidrográfica                                        | 33 |
| 3.2.3 Accesibilidad - vías de acceso y rutas                        | 34 |
| 3.2.4 Cuenca del río Olmos                                          | 37 |
| 3.3 Descripción del contexto social de la investigación             | 38 |
| 3.4 Población y muestra                                             | 41 |
| 3.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos            | 42 |
| 3.5.1 Técnicas                                                      | 42 |
| 3.5.2 Instrumentos                                                  | 42 |
| 3.6 Plan de recolección y procesamiento de datos                    | 43 |
| 3.7 Metodología                                                     | 44 |
| Capítulo IV: Resultados                                             | 46 |
| 4.1 Cálculo de caudal y estimación de pérdida entre ambas secciones | 46 |
| 4.1.1 Caudal aguas abajo de Bocatoma La Juliana                     | 46 |
| 4.1.2 Caudal aguas arriba de Bocatoma Miraflores                    | 51 |
| 4.2 Resumen de pérdida de caudales                                  | 56 |
| 4.3 Factores involucrados en la pérdida de caudales                 | 56 |
| 4.3.1 Factores Sociales                                             | 56 |
| 4.3.2 Factores Naturales                                            | 61 |
| 4.3.3 Pérdida de conducción del río Olmos, por factores naturales   | 64 |
| Capítulo V: Discusión                                               | 65 |
| Conclusiones                                                        | 66 |
| Recomendaciones                                                     | 67 |
| Bibliografía                                                        | 68 |
| Anexos                                                              | 71 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla N° 1: Rugosidades relacionadas al comportamiento del cauce de un río                          | 18 |
| Tabla N° 2: Variación de la permeabilidad según la textura del suelo                                | 19 |
| Tabla N° 3: Relación entre ancho superficial del río y número de flotadores a utilizar              | 25 |
| Tabla N° 4: Coordenadas Geográficas WGS-84                                                          | 33 |
| Tabla N° 5: Líneas de comunicación                                                                  | 35 |
| Tabla N° 6: Producción - Valle Viejo                                                                | 39 |
| Tabla N° 7: Producción - Tierras Nuevas                                                             | 40 |
| Tabla N° 8: Puntos identificados para el cálculo del caudal                                         | 41 |
| Tabla N° 9: Número de secciones según la dimensión transversal del río                              | 45 |
| Tabla N° 10: Caudal aguas abajo de la Bocatoma La Juliana                                           | 47 |
| Tabla N° 11: Caudal aguas arriba de la Bocatoma Miraflores                                          | 52 |
| Tabla N° 12: Caudal de los puntos elegidos en el río Olmos                                          | 56 |
| Tabla N° 13: Diferencia de caudales y estimación de pérdidas                                        | 56 |
| Tabla N° 14: Tomas identificadas entre Bocatoma La Juliana y Bocatoma Miraflores                    | 57 |
| Tabla N° 15: Caudal de las tomas identificadas entre Bocatoma La Juliana y Bocatoma Miraflores      | 58 |
| Tabla N° 16: Tomas en ambas secciones y sus caudales                                                | 61 |
| Tabla N° 17: Evapotranspiración - Estación Meteorológica Palo Verde                                 | 62 |
| Tabla N° 18: Pérdidas por evaporación del río Olmos entre Bocatoma La Juliana y Bocatoma Miraflores | 63 |
| Tabla N° 19: Pérdidas naturales total y parcial                                                     | 64 |
| Tabla N° 20: Pérdidas por conducción natural del río Olmos y su eficiencia de conducción            | 64 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura N° 1: Tipos de ríos de acuerdo a su geometría                                                    | 23 |
| Figura N° 2: Método de la sección media                                                                 | 26 |
| Figura N° 3: Método de la semi sección                                                                  | 27 |
| Figura N° 4: Ubicación Geopolítica de Lambayeque                                                        | 32 |
| Figura N° 5: Cuenca del río Olmos - subcuencas                                                          | 33 |
| Figura N° 6: Ruta de acceso desde la Agencia Santo Domingo de Olmos (Chiclayo) hasta la ciudad de Olmos | 35 |
| Figura N° 7: Ruta de acceso desde Olmos (Terminal Santo Domingo de Olmos) hacia Bocatoma La Juliana     | 35 |
| Figura N° 8: Ruta de acceso desde Olmos (Terminal Santo Domingo de Olmos) hacia la Bocatoma Miraflores  | 36 |
| Figura N° 9: Puntos de referencia para la zona de estudio                                               | 40 |
| Figura N° 10: Puntos seleccionados para realizar los aforos                                             | 41 |
| Figura N° 11: Perfil de la sección aguas abajo de Bocatoma La Juliana                                   | 47 |
| Figura N° 12: Velocidad de la sección aguas abajo de Bocatoma La Juliana                                | 48 |
| Figura N° 13: Caudal total aguas abajo de Bocatoma La Juliana                                           | 49 |
| Figura N° 14: Perfil de la sección aguas arriba de Bocatoma Miraflores                                  | 52 |
| Figura N° 15: Velocidad de la sección aguas arriba de Bocatoma Miraflores                               | 53 |
| Figura N° 16: Caudal total aguas arriba de Bocatoma Miraflores                                          | 54 |
| Figura N° 17: Tomas identificadas entre Bocatoma La Juliana y Bocatoma Miraflores                       | 56 |
| Figura N° 18: Ubicación de Toma 1                                                                       | 57 |
| Figura N° 19: Ubicación de Toma 2                                                                       | 58 |
| Figura N° 20: Ubicación de Toma 3                                                                       | 58 |
| Figura N° 21: Ubicación de Toma 4                                                                       | 59 |
| Figura N° 22: Ubicación de Toma 5                                                                       | 59 |
| Figura N° 23: Ubicación de Toma 6                                                                       | 60 |
| Figura N° 24: Ubicación de Toma 7                                                                       | 60 |

## INTRODUCCIÓN

La medición de caudales posibilita el seguimiento espacial y temporal de los afluentes en puntos estratégicos, donde se calcula la cantidad de agua que fluye en las diferentes zonas de la cuenca, permitiendo así elaborar una base de datos que sirva de apoyo para la toma de decisiones en la gestión integral del recurso hídrico entre los distintos usuarios (ICC, 2017).

Actualmente, una gestión deficiente de los recursos hídricos está generando una amplia gama de problemas en los ámbitos social, político, productivo, ambiental y de salud. Una de las mayores deficiencias en la administración del agua es la carencia de registros de caudal. Para subsanar esta limitación y apoyar la planificación y el manejo eficiente por parte de los usuarios, el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), a través de su enfoque en el manejo integral del agua, se dedica a obtener y difundir información sobre los caudales de los principales ríos de la vertiente del Pacífico de Guatemala (ICC, 2017).

Una gestión eficaz del agua en el país requiere esencialmente de datos hidrológicos confiables, obtenidos a través de los puntos de control hidrométrico instalados en las principales cuencas. Reconociendo esto, el Estado peruano ha invertido significativamente en los últimos cinco años para fortalecer la red hidrométrica nacional, tanto en cantidad de estaciones como en tecnología. Para asegurar que esta inversión se traduzca en información hidrológica de alta calidad, las prácticas de medición en el país deben adherirse estrictamente a los estándares y directrices internacionales, como las Guías Hidrométricas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el reglamento técnico nacional de hidrología. (SENAMHI, 2018).

La presente investigación abarca el estado de pérdida de caudal en el cauce del río Olmos que comprende el tramo Bocatoma la Juliana – Bocatoma Miraflores, a través del aforo de secciones identificadas en el tramo de estudio con un instrumento llamado correntómetro electromagnético automático para obtener una mayor precisión del trabajo.

Esta investigación empezó con el interés de calcular de una mejor forma el caudal que transita en el cauce del río Olmos, debido a que muchos de los usuarios se benefician con estas aguas donde principalmente se da para uso doméstico y así como también para uso agroindustrial. Es por ello por lo que se pretende realizar dichos aforos con el apoyo de algunas entidades privadas.

Para el resultado que se logre obtener del cálculo y estudio de las pérdidas en todo el trayecto del tramo de investigación Bocatoma La Juliana – Bocatoma Miraflores el proyecto consistirá de varios fragmentos importantes que tienen en cuenta los datos que ofrecen referencia de cómo se da a conocer a nivel de todo el país (ya sea local y nacional) y también de manera internacional el asunto del cálculo de caudales en los ríos o fuentes de agua que favorecen a muchos de los usuarios que en este proyecto comprende el Valle en general (Valle Viejo y Tierras Nuevas), además del fundamento teórico que faciliten el conocimiento técnico de todos los factores que serán empleados en campo, así como también de indicar las herramientas y métodos para realizar el aforo de caudales, donde se conseguirán como resultado final conclusiones y recomendaciones fundamentales para el futuro de este proyecto.

## Capítulo I: El problema de la investigación

### 1.1. Planteamiento del problema

El principal problema en la conducción del agua en el río Olmos es uno de los temas de mucho interés, debido a que existen personas y agricultores que no tienen derecho de agua (licencia o permiso) y que usan este recurso de manera clandestina.

Para poder contrarrestar este gran problema, es de mucha importancia realizar un estudio técnico del tramo del proyecto a elaborar, de tal manera que se lleva a cabo la medición de los caudales que son captados en la Bocatoma La Juliana y comprobar qué porcentaje de eficiencia de conducción y entrega se puede obtener durante el recorrido del agua en los tramos comprendidos desde la Bocatoma la Juliana hasta la Bocatoma Miraflores, donde dichas infraestructuras Hidráulicas son operadas por parte de la Concesionaria H2Olmos.

### 1.2. Formulación del problema

La cantidad de agua que se desplaza por un río o atraviesa una sección transversal se representa como un volumen por unidad de tiempo. La medición del caudal en un momento específico puede realizarse mediante distintos métodos, cuya elección varía según las características y condiciones particulares de cada lugar.

La exactitud en la medición del caudal depende de la cantidad de puntos verticales en los que se registren las observaciones de profundidad y velocidad. Estos puntos de observación deben seleccionarse cuidadosamente para reflejar correctamente las variaciones en la elevación del lecho del río y en la distribución horizontal de la velocidad del flujo.

El método área - velocidad será usado para el desarrollo de dicho estudio, la profundidad del río en la sección transversal será medida en verticales con una barra o sonda. A la vez que se mide la profundidad, se harán las mediciones de la velocidad con el instrumento a usar en uno o más puntos de la vertical. Además, la medición del ancho, profundidad y velocidad permitirán calcular el caudal propio a cada segmento de la sección transversal, donde la suma de los caudales de cada segmento mostrará el

caudal total. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, S.F.)

En lo antes mencionado el problema se formula de la siguiente manera: ¿Cuál es el porcentaje de pérdida de caudal en el cauce del río Olmos desde la Bocatoma la Juliana hasta la Bocatoma Miraflores?

### **1.3. Objetivos de la Investigación**

#### **1.3.1 Objetivos generales**

- Calcular la eficiencia de conducción en el cauce del río Olmos desde la Bocatoma la Juliana hasta la Bocatoma Miraflores.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar y evaluar en porcentaje la cantidad de pérdida de caudal en el tramo de estudio respectivamente.
- Identificar los factores que afectan la eficiencia de conducción del agua en el cauce del río Olmos.
- Analizar y proponer medidas para mejorar de manera fundamental la eficiencia de conducción del agua en el cauce del río Olmos.

### **1.4. Justificación del estudio**

La información recopilada y procesada de los diferentes aforos en los tramos comprendidos del río en investigación, nos va a mostrar el porcentaje de agua que es utilizada, y que porcentaje se pierde debido a varios factores que puedan existir, tales como: evaporación, infiltración, erosión, escorrentía, tomas informales, etc.

De tal manera que nos permitirá saber de forma clara y concisa, la cantidad de campos que se podría irrigar si el agua mal utilizada se encontrará apta y a la vez permitirnos calcular en dinero lo que se pierde por cada metro cúbico de agua que no es utilizada correctamente.

Además, se debe tener en cuenta que la eficiencia de conducción y distribución de forma correcta en el tramo comprendido del río en investigación nos permitirá conocer los puntos exactos donde se identifican pérdidas de agua, y a la vez ayudar a proponer mejoras al sistema hidráulico con el propósito de irrigar. (Carranza Córdova Galindo, 2017).

### 2.1 Antecedentes del estudio

A raíz de la crisis hídrica que afectó a Lambayeque en 2014, el Gobierno Regional de Lambayeque autorizó el suministro de agua al Valle Viejo de Olmos, siendo beneficiado desde el 21 de febrero como el primer sector atendido. De acuerdo con los reportes de la Concesionaria H2Olmos, encargada de la operación, en 2018 la Junta de Usuarios de Olmos recibió una asignación de 12.5 millones de metros cúbicos de agua destinada al riego de 286 hectáreas registradas formalmente en sus Programas de Dotación de Agua (PDA). La cantidad de agua utilizada para el riego de las 5,500 hectáreas en Valle Viejo supera considerablemente la dotación establecida. Este uso desmedido no solo conlleva graves problemas de salinización del terreno, sino que también implica la derivación de agua hacia sectores externos a lo planificado en la primera etapa del Proyecto Olmos. (Gobierno Regional de Lambayeque, 2019)

De tal manera que se planteó dar una solución a este problema que se ha generado dentro de la zona del proyecto y por lo que se necesita realizar estudios técnicos como la medición de caudales que son trasvasados, para poder evaluar la eficiencia de conducción que presenta el río Olmos durante los tramos comprendidos en la presente investigación.

#### 2.1.1 Antecedentes Nacionales

En Piura, se realizó la investigación “Estudio de la distribución de agua riego en el sector 29 + 90b Cieneguillo centro del año 2015–2016 comisión de usuarios del sub sector hidráulico de cieneguillo – Provincia de Sullana – Departamento de Piura”, con el objetivo de evaluar la distribución de volúmenes de agua de riego del canal 29+90B, encontrando la existencia del mal estado de la infraestructura de riego, la ausencia de limpieza del canal además de su descolmatación, deficientes manejos en la distribución y uso del agua, etc (Cayotopa, 2018).

En Cajamarca, se desarrolló el estudio “Cálculo de la eficiencia de conducción y distribución en el sector hidráulico menor clase B del río Chonta y Cajamarquino en el canal de riego la Victoria, Yanamarca, Rumicucho –

Cajamarca” con la finalidad de permitir una mayor cantidad de áreas irrigadas con la misma dotación de agua (Córdova, 2019). Donde los estudios comprenden el análisis de la eficiencia de conducción y distribución en los canales ya mencionados llevando a cabo los aforos respectivos teniendo como resultado una eficiencia de conducción de 65.46 % en el canal la Victoria (2.9 km de longitud), una eficiencia del 76.46 % el canal de distribución Yanamarca L1 (1.2 km de longitud) y una eficiencia de 59.33 % el canal de distribución Rumicucho L2 ( 2.4 km de longitud), obteniendo como resultado una eficiencia de distribución del 67.90 %, permitiendo un registro hidrométrico y facilitando una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación de utilizar el agua en los canales existentes.

### **2.1.2 Antecedentes Locales**

En el distrito de Monsefú se llevó a cabo la investigación titulada “Estudio y evaluación de las eficiencias por conducción y distribución del recurso hídrico en el canal L1 Chacupe del subsector hidráulico Monsefú”, cuyo propósito fue identificar y analizar los factores que afectan las bajas eficiencias en la conducción y distribución del agua dentro de la red de riego del canal Chacupe. A partir del análisis de los datos obtenidos, se determinó que la eficiencia de conducción del agua de riego en el canal Monsefú, durante la campaña arrocerá 2019-2020, alcanzó un 98.24%, mientras que la eficiencia operativa total del canal Chacupe fue del 64.96%. El estudio concluyó que, en los subsectores de riego canalizados, la deficiente infraestructura y el exceso de tiempo de recorrido del agua son las principales causas de la disminución en las eficiencias de conducción y distribución del recurso hídrico en la red del canal Chacupe, perteneciente a la Comisión de Usuarios de Monsefú (Tineo, 2021).

En Olmos, se desarrolló el estudio “Determinación de la eficiencia de conducción del río Olmos desde el túnel Lajas hasta la Bocatoma la Juliana, Lambayeque 2019”, con el objetivo de calcular la eficiencia de distribución del río Olmos en los tramos señalados. Se tomó como referencia para la investigación 21.2 Km de trayecto que abarca aguas abajo desde la salida del túnel Lajas hasta la Bocatoma la Juliana, aplicando el método área – velocidad. Teniendo como resultado una eficiencia de conducción del 92.43 %

de agua trasvasada en el trayecto estimado dentro del tramo comprendido (Cotrina, 2019).

Teniendo como referencia esta investigación, en el presente trabajo se llevará a cabo la verificación de la eficiencia de conducción en el tramo siguiente que comprende desde la Bocatoma la Juliana hasta la Bocatoma Miraflores.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1 Eficiencia de Conducción en ríos y canales**

La eficiencia de conducción sirve para evaluar las condiciones operativas y de mantenimiento del canal principal o de derivación, en el tramo comprendido desde la fuente de abastecimiento hasta el punto en que el agua comienza a distribuirse hacia los canales laterales L1, L2, L3, ..., Ln.

$$Ec = \frac{VS}{VE} \quad \text{ó} \quad Ec(\%) = \frac{VS}{VE} \times 100$$

La eficiencia de conducción ( $E_c$ ) se define como la relación entre el volumen de agua que ingresa al canal o a un tramo del canal de derivación (VE) y el volumen de agua que egresa de dicho canal o tramo (VS), según la siguiente fórmula: (Minagri, 2004)

En relación con la eficiencia de conducción en los canales, se reconoce que esta aumenta a medida que mejora el estado físico del canal o del cauce por el cual se transporta el agua.

Esto significa:

- Que, de preferencia sea revestido, para evitar que haya pérdidas de infiltración.
- Que no tenga roturas, ni en la base, ni en los taludes ni en los bordos.
- Que no tenga mucho espejo de agua expuesto a la evaporación.
- Que no se produzcan hurtos o sustracción de agua en el recorrido, como el caso de usuarios informales, carguío de agua en cisternas, abastecimiento permanente de uso pecuario etc.
- Que se deriven los caudales mínimos recomendables técnicamente, para tener velocidad aceptable y no producir sedimentación que reduce

la capacidad del canal o erosión que deforma la sección, exponiendo una mayor superficie a la infiltración. (Minagri, 2004)

En el cálculo de la eficiencia en los ríos, el principal factor a considerar es la rugosidad “n”, la cual depende del tipo de material del cauce, las variaciones en la sección transversal, el nivel de irregularidad, la presencia de obstrucciones, vegetación y meandros. Para este propósito, se aplica la ecuación de Cowan:  $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) (n_5)$ , donde “n” es un valor adimensional (Cieza, s.f.).

### **2.2.2 Factores que determinan la pérdida de caudales**

Evaporación: La evaporación es el fenómeno físico donde el agua pasa de líquido a vapor. Se produce evaporación desde:

- a. La superficie del suelo y la vegetación seguidamente después de la precipitación.
- a. Desde las superficies de agua (ríos, lagos, embalses).
- b. Desde el suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo.

Así como también de agua recién infiltrada o, en áreas de desfogue, de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo tránsito en el subsuelo (Sánchez, s.f.)

Infiltración: Según Bateman (2007), la infiltración es el movimiento del agua desde la superficie del suelo hacia capas más profundas, un proceso que varía según la morfología y composición del terreno. Este fenómeno puede ocurrir en condiciones saturadas o no saturadas, siendo estos dos procesos fundamentalmente distintos. La infiltración saturada se rige por la ley de Darcy, mientras que la no saturada está influida por reacciones fisicoquímicas entre el material y el agua. Un factor crucial en el movimiento no saturado es la tensión superficial, responsable también del transporte de una cantidad significativa de sales dentro del suelo.

Pendiente: La pendiente del cauce principal se calcula por medio de la pendiente equivalente constante, que viene a ser la pendiente de un canal de sección transversal uniforme de igual longitud del cauce principal y que contiene la misma velocidad media que la del cauce principal. Este método es

favorable ya que señala las distintas pendientes del cauce principal del tramo en estudio (Mogollón y Sánchez, 2018).

Rugosidad: Pastora (2010) indica que la rugosidad se encuentra determinada por el tamaño y la forma de las partículas que conforman el perímetro mojado, las cuales generan una resistencia al movimiento del flujo. En este sentido, los materiales con granos finos presentan valores de rugosidad relativamente bajos, mientras que los de granos gruesos producen valores más altos de “n”.

**Tabla N° 1:** Rugosidades relacionadas al comportamiento del cauce de un río

| CONDICIONES DEL CAUCE                     |                          | VALORES              |               |
|-------------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|
| <b>Material Considerado</b>               | Tierra                   | <b>n<sub>0</sub></b> | 0.030         |
|                                           | Roca Cortada             |                      | 0.025         |
|                                           | Grava fina               |                      | 0.024         |
|                                           | Grava gruesa             |                      | 0.028         |
| <b>Grado de Irregularidad</b>             | Liso                     | <b>n<sub>1</sub></b> | 0.000         |
|                                           | Menor                    |                      | 0.005         |
|                                           | Moderado                 |                      | 0.010         |
|                                           | Severo                   |                      | 0.020         |
| <b>Variaciones de Sección Transversal</b> | Gradual                  | <b>n<sub>2</sub></b> | 0.000         |
|                                           | Ocasionalmente alterante |                      | 0.005         |
|                                           | Frecuentemente alterante |                      | 0.010 - 0.015 |
| <b>Efecto Relativo de Obstrucciones</b>   | Despreciable             | <b>n<sub>3</sub></b> | 0.000         |
|                                           | Menor                    |                      | 0.010 - 0.015 |
|                                           | Apreciable               |                      | 0.020 - 0.030 |
|                                           | Severo                   |                      | 0.040 - 0.060 |
| <b>Vegetación</b>                         | Baja                     | <b>n<sub>4</sub></b> | 0.005 - 0.010 |
|                                           | Media                    |                      | 0.010 - 0.020 |
|                                           | Alta                     |                      | 0.025 - 0.050 |
|                                           | Muy alta                 |                      | 0.050 - 0.100 |
| <b>Cantidad de Meandros</b>               | Menor                    | <b>n<sub>5</sub></b> | 1.000         |
|                                           | Apreciable               |                      | 1.150         |
|                                           | Severa                   |                      | 1.300         |

**Fuente:** Cieza (2019)

Permeabilidad del suelo: Fierro, Parra y Vásquez (2017) señalan que este concepto se refiere a la facilidad con que el flujo se desplaza a través de un medio poroso, lo que permite clasificar los suelos como permeables o impermeables. Asimismo, puede definirse como la velocidad del flujo generada por un gradiente hidráulico unitario.

**Tabla N° 2:** Variación de la Permeabilidad según la textura del suelo

| Suelo             | Textura              | Permeabilidad                   |
|-------------------|----------------------|---------------------------------|
| Suelos arcillosos | Fina                 | De muy lenta<br>a<br>muy rápida |
| Suelos limosos    | Moderadamente fina   |                                 |
|                   | Moderadamente gruesa |                                 |
| Suelos arenosos   | Gruesa               |                                 |

**Fuente:** FAO (2006)

**Hidráulica de ríos:** Los desafíos en la ingeniería de ríos se vuelven cada vez más complejos, ya que están vinculados a la creciente demanda de la población por utilizar los ríos con diversos propósitos relacionados con su desarrollo. Entre los usos más relevantes se encuentran el suministro de agua, la generación de energía eléctrica, el riego agrícola y la navegación (Nava y Cortes, s.f.).

**Hidrometría:** Según Bentancor (2013), la hidrometría consiste en la técnica de medir, registrar, calcular y realizar un análisis de los volúmenes de agua que transitan en una sección transversal de un río, canal o tubería relacionadas con la distribución en espacio y tiempo del agua sobre la superficie.

**Estación Hidrométrica:** El Senamhi (2018) menciona que aquí se extraen datos del agua en los ríos, lagos y embalses, de uno o varios de los componentes siguientes tales como niveles, flujo de las corrientes, transporte y depósito de sedimentos, temperatura y otras propiedades físicas y químicas del agua.

**Sección de aforo o de control hidrométrico:** Sección transversal al lecho de río donde se llevan a cabo mediciones frecuentes de caudales con el fin de fijar la relación altura gasto, la cual está relacionada a la estación hidrométrica que tiene como fin asegurar una buena medición y representatividad del caudal (Senamhi, 2018).

**Aforo de corrientes:** La determinación de la velocidad del flujo, junto con los datos geométricos de la sección donde se efectúan las mediciones y el registro de los niveles del agua, permite establecer el volumen que circula por el cauce en un periodo específico. Este procedimiento de cálculo se denomina aforo y puede aplicarse tanto en ríos como en canales (Senamhi, 2018).

Hidráulica Fluvial en ríos: Nava y Cortes (s.f.) hacen una amplia investigación sobre este tema, explicando que la Hidráulica fluvial en ríos consiste en la participación del ser humano en los ríos para adaptarse y aprovechar de la mejor manera los recursos y contrarrestar los riesgos de daño que se puedan dar. Además, se debe tener en cuenta que el río es un componente natural que reúne las aguas de toda una cuenca y las traslada de acuerdo con la norma hasta su desembocadura. Por otro lado, los autores anteriormente mencionados también hablan sobre los canales, y demás temas relacionados.

Diferencia entre canales y ríos: Explican que ambos tienen la finalidad de transportar agua en régimen laminar pero las diferencias que indican empiezan por lo más sencillo:

- ¿Qué cantidad de agua conduce?
- ¿Cuándo la conduce?
- ¿Hacia dónde la conduce?
- ¿Encima de qué objeto o material?
- ¿Con qué propiedades hidráulicas?
- ¿Qué más conducen?
- ¿Cuál es el apoyo que tienen para conducirlo?
- ¿Es importante la ayuda de una obra para utilizar de la mejor manera esa agua?

Canal: Es una obra de infraestructura de la ingeniería civil, donde primero en el canal se responden de acuerdo a las preguntas mencionadas anteriormente a través de un proyecto donde se identifica el caudal de diseño (cuánto) que puede ser constante, el régimen de investigación (cuándo), el trazado (hacia donde), el revestimiento (encima de que y con que se apoya), la sección tipo (operación hidráulica), y que se planifica una serie de medidas para prevenir el ingreso de sedimentos o su decantación en un desarenador (apoyo de una obra).

Río: Aquí las respuestas respecto a las preguntas mencionadas anteriormente son materia de estudio de la hidrología, la geomorfología, la hidráulica marítima y otros apoyos de investigación. Teniendo en cuenta siempre que el caudal del río varía según el régimen hidrológico de la cuenca,

en un rango de tiempo estacionario o bastante reducido a un suceso meteorológico.

Rugosidad del río: En un canal la rugosidad es un indicador bastante claro y definitivo de su capacidad. En el río, el canal circulante y el nivel del agua se relacionan de forma complicada, debido a que se encuentra una obstrucción al flujo por el tamaño del grano del material de fondo y otra adicional por la estructura del fondo granular.

Avenida en ríos: Durante el recorrido se utiliza el conocimiento de avenidas muy seguido, como cualquier episodio que crea las mayores solicitudes: se pone a prueba la estabilidad de un cauce, provoca mayores erosiones y por consiguiente, origina desbordamientos o inundaciones. También en ríos grandes las avenidas son un incremento de caudal y crecidas de la altura del agua, es decir preocupantes, pero no son un fenómeno independiente. En esta situación se relacionan factores hidrológicos (tamaño reducido de la cuenca), hidráulico (pendiente elevada de los cauces) y arrastre de sedimentos (gran tamaño).

Régimen de un río: Generalmente provienen directamente de las precipitaciones que descienden de las nubes que estas forman. Además, con la fuerza de gravedad, los ríos transcurren hasta desembocar en el mar o en zonas sin salida que reciben el nombre de lago. En el caso de régimen tranquilo o llamados también llanura, el agua rebosa cuando los caudales de aumento sobrepasan la capacidad a cauce lleno. Y respecto al régimen torrencial o también llamado montaña, se observan principalmente fenómenos de socavación de fondo y erosión de márgenes.

El curso de los ríos: Se origina en manantiales a partir de aguas subterráneas que surgen a la superficie. A partir de su origen continúan la pendiente del terreno hasta desembocar en el mar. Se sabe que un río con sus afluentes drena una zona denominada “cuenca hidrográfica”. En el caso de originarse en una zona montañosa y alta hasta su salida en el mar, la pendiente del río se reduce. Naturalmente la pendiente del río suele ser resistente en el primer tramo (tránsito alto), y moderado cuando está muy cerca de su salida (transito bajo). Es decir, entre ambas debe presentar una pendiente suave (tránsito medio).

Clasificación de ríos según su geometría: Se tiene que los factores que intervienen en la corriente son:

- Variables hidráulicas.
- Características del fluido.
- Propiedades del flujo.
- Características del fondo y del borde.
- Propiedades biológicas.
- Agentes humanos como la agricultura en general.
- Urbanización.
- Drenaje.
- Crecimiento de las llanuras de inundación.
- Bordos de apoyo.

Según la naturaleza, los ríos presentan tres formas:

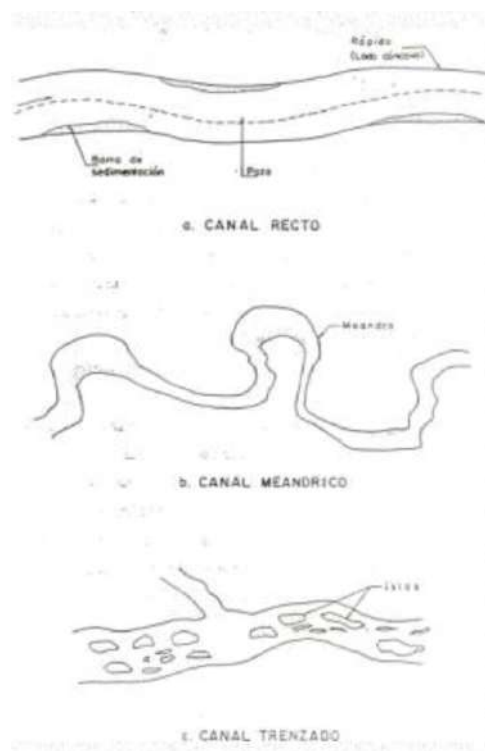
- a. Rectos: Se encuentran en planicies que son inapropiadas para ceder velocidades erosivas, o en pendientes bastante pronunciadas donde se pueden llegar a tener elevadas velocidades.
- b. Trenzados: Aquí se ubican extrañamente en pendientes relativamente resistentes:

$$S = 0.10 Q^{1/4} \text{ o superiores si, } S = 0.06^{-0.44}.$$

Donde en la primera ocasión, Q es el caudal promedio en pies cúbicos por segundo, y en la segunda ocasión es el caudal total comprendido por el bordo. El término S es la pendiente en pies por miles de pies. Estos almacenamientos constantemente forman barras en donde se desarrolla la vegetación:

- a. Con meandranes: Es aquel río en el que la conformación se presenta en forma de una serie de curvas continuas, y que están vinculadas a las características de las márgenes.

**Figura N° 1:** Tipos de ríos de acuerdo a su geometría



**Fuente:** Escuela Colombiana de Ingeniería (s.f.)

Aforo: El Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2019) señala que el aforo consiste en determinar la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal en un instante de tiempo específico, siendo aplicable tanto a ríos como a canales. Para ello, se realiza el levantamiento de la sección transversal en el punto donde se medirán las velocidades del agua, y mediante una operación matemática sencilla (multiplicando la velocidad por el área) se obtiene el caudal o gasto de agua expresado en volumen por unidad de tiempo. Los métodos para llevar a cabo los aforos son:

- Aforo con correntómetro: En esta técnica de aforo se puede efectuar de dos tipos y son los siguientes:

Aforo por vadeo: Asimismo, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2019) fundamenta que esta técnica permite efectuar la medición de las velocidades y conseguir la geometría de la sección. Se usa para corrientes de profundidad menor a 60 cm, con fondo estable y resistente. El flujo debe mostrar velocidades

superficiales menores a 1 m/s, de tal manera que permita la entrada de los técnicos y equipos sin originarse ningún riesgo. En este tipo de aforo es importante ingresar al volumen de agua ya sea en el cauce de un río o canal teniendo un eje de referencia en la abscisa, y una cuerda que señale las verticales, siendo aquí donde se efectúan las mediciones.

Aforo por suspensión: En este tipo de aforo se efectúa la medición de las velocidades y se consigue la geometría de la sección, sin entrar a la corriente ya sea del cauce de un río o canal. Se obtiene proporcionando al equipo de un lastre (peso muerto) que permita aforar la sección desde puntos más altos, tales como puentes. En el caso de las mediciones de la velocidad del agua se hace uso del correntómetro o molinete (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).

- Aforo con ADCP: El Senamhi (2018) indica que uno de los principales avances en hidrometría es la incorporación de correntómetros hidroacústicos basados en la tecnología Doppler. Estos instrumentos permiten obtener rápidamente lecturas de la distribución de velocidades en la sección de aforo, la cual se divide en celdas de tamaño predefinido. Además, cuentan con un software que posibilita visualizar los resultados en tiempo real durante la medición. Los datos generados por estos equipos son de alta calidad, y su uso e implementación resultan sencillos. Las mediciones de aforo con esta tecnología pueden realizarse desde carros huero, puentes o embarcaciones como botes y deslizadores.
- Aforo con pistola radar de velocidades: La aparición de nuevos tipos de equipos hidrométricos denominados “equipos no intrusivos” están dados bajo la necesidad de contar con datos de caudal en aguas elevadas para tener una mejor calibración de las curvas altura-caudal y una mejor valoración de los caudales excesivos. Este tipo de equipo permite efectuar estimaciones indirectas de caudal sin tener contacto con el

agua, es aquí donde se utiliza la pistola radar para realizar mediciones de la velocidad superficial del flujo del agua.

Los velocímetros de radar miden la velocidad de la superficie del agua utilizando el efecto Doppler. Funcionan emitiendo una señal de radio que rebota hacia la antena, reflejada por las pequeñas olas superficiales creadas por la turbulencia, la lluvia o el viento (Senamhi, 2018).

- Aforo con flotadores: Este método se emplea en situaciones donde la velocidad del agua es muy alta o existen condiciones que puedan poner en peligro la seguridad de los hidromensores o el funcionamiento de los equipos. En estos casos, se utiliza el aforo mediante flotadores para medir la velocidad superficial del flujo y estimar el caudal de forma indirecta, conociendo previamente la sección transversal del río. La técnica consiste en utilizar objetos que floten y registrar el tiempo que tardan en recorrer un tramo determinado, el cual debe ser recto y con una longitud adecuada (preferiblemente igual o superior a 30 metros, según las condiciones del lugar). Es recomendable usar varios flotadores distribuidos proporcionalmente a lo largo del ancho del río, procurando que tengan formas y pesos similares para obtener mediciones más precisas (Senamhi, 2018).

**Tabla N° 3:** Relación entre ancho superficial del río y número de flotadores a utilizar

| Ancho de sección                                                                     | Menor a 50 m | 50 – 100 m | 100 – 200 m | 200 – 400 m | 400 – 800 m | Mayor a 800 m |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Número de tramos que se subdivide la sección de control y cantidad mínima de aforos. | 3            | 4          | 5           | 6           | 7           | 8             |

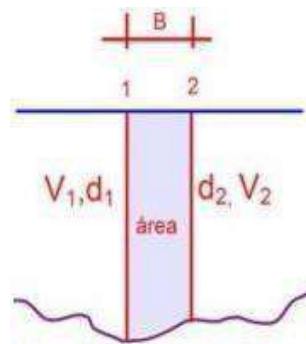
**Fuente:** Senamhi (2018)

Métodos para el cálculo de caudales: Los métodos aritméticos que están divididos en dos tales como método de la sección media y método de la semi sección son los más utilizados en el Perú, es por esto por lo que el Senamhi (2018) explica concretamente los dos métodos ya mencionados:

- Método de la sección media: Este procedimiento se emplea para determinar el caudal promedio entre dos verticales consecutivas, considerando el área comprendida entre ellas. V1 representa la velocidad media en la primera línea de medición y V2 la velocidad media en la segunda, independientemente del método utilizado para obtener dichos valores (ya sea mediante mediciones a 0.6 o a 0.2 y 0.8 de la profundidad). Las variables d1 y d2 corresponden a las profundidades totales de cada línea de cálculo, mientras que B indica la distancia horizontal entre ambas. Por lo que el caudal del tramo 1-2 es:

$$q_{1-2} = \frac{V1 + V2}{2} * \frac{d1 + d2}{2} * B$$

**Figura N° 2:** Método de la sección media



**Fuente:** SENAMHI, 2018

Donde:

V1, V2: Promedio de las velocidades en cada línea de cálculo 1 y 2.

d1, d2: Profundidades de las líneas de cálculo.

B: Ancho entre las líneas de cálculo 1-2.

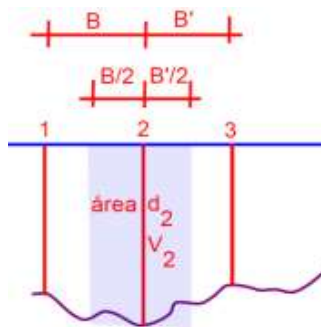
q1-2: Caudal parcial en el tramo 1-2.

- Método de la semi sección: Se utiliza este método para calcular el caudal, el promedio de las velocidades en la fila de cálculo y el área calculada con la profundidad en la fila de cálculo multiplicada por la mitad de la separación del lado izquierdo sumado la mitad de la separación con relación a la fila de cálculo del lado derecho.

$$q_1 = V_2 * \left(\frac{B}{2}\right) + \left(\frac{B'}{2}\right) * d_2$$

$$q_2 = V_2 * A_2$$

**Figura N° 3:** Método de la semi sección



**Fuente:** SENAMHI, 2018

Donde:

$q_2$ : Caudal parcial en la distancia.

$V_2$ : Promedio de velocidades en la fila de cálculo 2.

$d_2$ : Profundidad en la fila de cálculo 2.

$B, B'$ : Ancho entre las filas de cálculo\*.

$Q$ : Caudal total que transcurre por la sección transversal.

Totalmente en los trabajos de aforo, en las estaciones hidrométricas B y B', son volúmenes iguales.

Nota:

- El caudal puede ser desigual si el método que será empleado aquí es V0.6, V0.2- V0.8, cualquier método.

- El caudal también será desigual si la medición es dada por el método de la sección media o semi sección.

## **2.3. Definición de términos**

### ***Eficiencia de conducción***

El Ministerio de Agricultura y Riego (2015) señala que la eficiencia de conducción analiza la relación entre el caudal que alcanza un punto específico de un río o canal y el caudal que se mantiene al final del recorrido, permitiendo así determinar las pérdidas de agua ocurridas en el tramo evaluado.

### ***Caudal***

Volumen de agua que transita a lo largo de una sección transversal del cauce de un río, riachuelos, tuberías y es multiplicado por la unidad de tiempo, y puede ser expresado de dos formas: en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) o litros por segundo (l/s) (Hidalgo, 2017).

### ***Estación de aforo***

Se le conoce también como sección de aforo, es la sección transversal del cauce de un río que nos va a permitir medir el caudal, teniendo en cuenta el flujo del agua y su trayectoria (Marbello, 2005).

### ***Hidrometría***

Parte de la hidráulica que tiene como función principal medir y evaluar los volúmenes de agua que transitan en una sección transversal en unidades de tiempo, ya sea de una fuente de agua como ríos, canales o tuberías (Marbello, 2005).

### ***Bocatoma***

Estructura hidráulica que es construida por encima de un río o canal teniendo como finalidad la captación del agua del flujo principal, ya sea de forma parcial o total (Rocha, s.f.).

### ***Correntómetro***

Instrumento de medición que permite determinar la velocidad del flujo del agua que transita por un canal, río, arroyo, quebradas entre otros que cumplan la función de conducir o transitar agua (Marbello, 2015).

### ***Aforo***

Proceso por el cual determinamos la cantidad de agua que pasa por una sección transversal de un río o canal en un instante de tiempo determinado. Se puede dar de dos tipos: aforo por vadeo y aforo por suspensión (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).

### ***OTT C31***

Molinete hidrométrico universal que permite medir la velocidad del agua en ríos y cauces abiertos, con un margen de medición de 0,025 a 10 m/s, una precisión de  $\pm 2\%$  y una tecnología de medición mecánica. Su aplicación se puede dar como molinete de barra o suspendido es decir como molinete flotante montado encima de un lastre, y está dado tanto para medir la velocidad de fluidez o del caudal en arroyos pequeños como también en ríos con grúas de cable estacionarios o barcos hidrográficos (OTT Hydromet, 2019).

### ***Velocidad del flujo***

Campo vectorial que sirve para determinar el movimiento de un fluido en un tiempo y lugar determinado (Autoridad Nacional del Agua, 2013).

### ***Río***

Se le conoce también como curso de agua, fuente de agua, riachuelo, y es el flujo de agua continua que sirve como canal natural de drenaje de una cuenca desde un lugar elevado hacia otro más bajo. La mayoría desembocan en lagos o mares, pero algunas desaparecen debido a que se infiltran en la superficie o se evaporan en la atmósfera (Autoridad Nacional del Agua, 2013).

### ***Tirante del flujo***

Es la distancia vertical entre el punto más bajo de la sección del río o canal al terreno o superficie del agua (Autoridad Nacional del Agua, 2013).

## **2.4. Hipótesis**

### ***2.4.1. Hipótesis general***

El principal problema en la conducción del agua en el río Olmos es uno de los temas de mucho interés, debido a que existen personas y agricultores que no tiene derecho de agua (licencia o permiso) y que usan este recurso de manera clandestina, por lo que se estima encontrar tomas informales a lo largo de todo el tramo. Esto hace que la eficiencia de conducción se reduzca.

#### **2.4.2. Hipótesis específica**

La eficiencia de conducción se ve afectada por la existencia de tomas informales elaboradas por parte de los pobladores que habitan a lo largo del río, que en su mayoría son agricultores y que usan el agua para regar sus cultivos a través de canales rústicos.

Para poder contrarrestar este gran problema, es de mucha importancia realizar un estudio técnico del tramo del proyecto a elaborar, de tal manera que se lleva a cabo la medición de los caudales que son captados en la Bocatoma La Juliana y comprobar qué porcentaje de eficiencia de conducción y entrega se puede obtener durante el recorrido del agua en los tramos comprendidos desde la Bocatoma la Juliana hasta la Bocatoma Miraflores, donde dichas infraestructuras Hidráulicas son operadas por parte de la Concesionaria H2OImos.

### **2.5. Variables**

#### **2.5.1. Definición conceptual de la variable**

Eficiencia de conducción: Indicador que permite determinar la cantidad de agua que transita entre los tramos comprendidos o que se pierde desde el tramo inicial que es la Bocatoma la Juliana siendo la primera captación, hasta el tramo final que es la Bocatoma Miraflores siendo la segunda captación. Esto fijado en dicha investigación.

Agentes causantes de la disminución de caudales: Este indicador determina aquellos agentes que participan en la disminución del caudal que transita en el cauce del río Olmos de tal manera que se determinen los más relevantes e importantes, desde la Bocatoma la Juliana hasta la Bocatoma Miraflores.

#### **2.5.2. Definición operacional de la variable**

Eficiencia de conducción ( $E_c$ ): Llevaremos a cabo los aforos respectivos a lo largo de todo el tramo de estudio, con la finalidad de calcular la eficiencia de conducción en el cauce del río Olmos a través del uso de un equipo especial llamado correntómetro.

Agentes causantes de la disminución de caudales: Aquí se establecen los agentes que participan en la disminución del caudal en el cauce del

río olmos, realizando una inspección del lugar y el trayecto en campo, comprendido en los tramos ya establecidos.

### **2.5.3. Operacionalización de la variable**

| <b>VARIABLES</b>                                                            | <b>INDICADORES</b>                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eficiencia de conducción – Ec<br>(Variable dependiente)                     | a) Caudal recibido en la primera captación<br>b) Caudal recibido en la segunda captación                                |
| Agentes causantes de la disminución de caudales<br>(Variable independiente) | a) Tomas informales a lo largo de los tramos establecidos<br>b) Caudal que transita en cada una de las tomas informales |

### 3.1. Tipo y nivel de investigación

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

En la presente investigación de tesis se ha utilizado el tipo de investigación no experimental, debido a que las variables no son manipuladas, solamente los fenómenos se observan de manera natural para que se pueda llevar a cabo el análisis correspondiente. No se construye una situación nueva, pero si se observan las ya existentes sin haber control directo sobre las variables.

#### **3.1.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación aplicado fue el correlacional, porque determina cómo se relacionan las dos variables estudiadas a lo largo de todo el proceso, y a la vez como se puedan ver afectadas una con otra durante todo el estudio de la investigación, de tal modo que con el desarrollo de todo el trabajo y los resultados obtenidos se pueda explicar cómo suceden y el grado de impacto que puedan tener.

### 3.2. Descripción del ámbito de la investigación

#### **3.2.1. Ubicación política**

- Departamento: Lambayeque
- Provincia: Lambayeque
- Distrito: Olmos

**Figura N° 4: Ubicación Geopolítica de Lambayeque**



**Fuente:** Gobierno Regional de Lambayeque (2016)

### 3.2.2. Ubicación hidrográfica

Los tramos en estudio del presente trabajo de investigación de tesis se encuentran ubicados en las siguientes coordenadas que hacen referencia al sistema de coordenadas geográficas WGS-84.

**Tabla N° 4: Coordenadas Geográficas WGS-84.**

| Puntos de Referencia | WGS 84 Zona 17S |         | Cota        |
|----------------------|-----------------|---------|-------------|
|                      | Este            | Norte   |             |
| Bocatoma La Juliana  | 643679          | 9339033 | 238 m s.n.m |
| Bocatoma Miraflores  | 635008          | 9334548 | 164 m s.n.m |

**Fuente:** Propia

### 3.2.3. Accesibilidad – vías de acceso y rutas

Después de ello, nos dirigimos al primer tramo en estudio (Bocatoma la Juliana), partiendo desde el distrito de Olmos (E.T.S.M. “Santo Domingo de Olmos como punto de partida) cruzando la carretera antigua Panamericana Norte, pasando por la empresa Agro Olmos SCRL, Agrícola Zeit Organisch SAC, haciendo un recorrido total de 5.3 km hasta llegar a la Bocatoma la

Juliana (punto de llegada), en un tiempo estimado del trayecto de 15 minutos y utilizando como medio de transporte una camioneta.

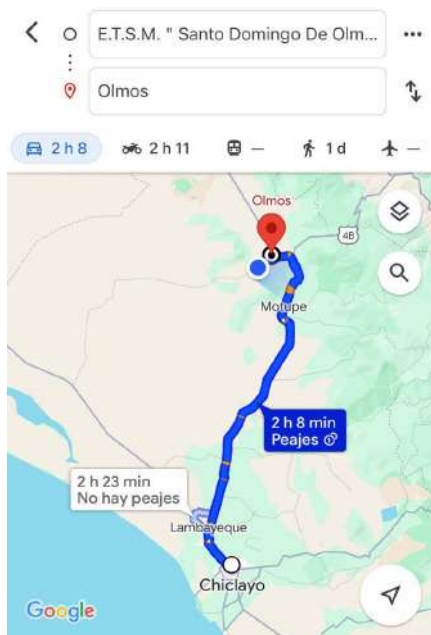
Por último, nos dirigimos al segundo tramo en estudio (Bocatoma Miraflores), partiendo desde el distrito de Olmos (E.T.S.M. “Santo Domingo de Olmos” como punto de partida), pasando por la Av. Augusto B. Leguía, calle San Juan, y calle San Francisco, haciendo un recorrido total de 6.4 km hasta llegar a la Bocatoma Miraflores (punto de llegada) en un tiempo estimado del trayecto de 1 minutos y utilizando como medio de transporte una camioneta.

**Tabla N° 5:** Líneas de comunicación

| Punto de partida | Punto de llegada    | Distancia estimada (Km.) | Tiempo estimado   | Vía                          |
|------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|------------------------------|
| Chiclayo         | Olmos               | 105                      | 2 horas 8 minutos | Panamericana Norte (Antigua) |
| Olmos            | Bocatoma La Juliana | 5.3                      | 15 minutos        | Panamericana Norte (Antigua) |
| Olmos            | Bocatoma Miraflores | 6.4                      | 15 minutos        | Panamericana Norte (Antigua) |

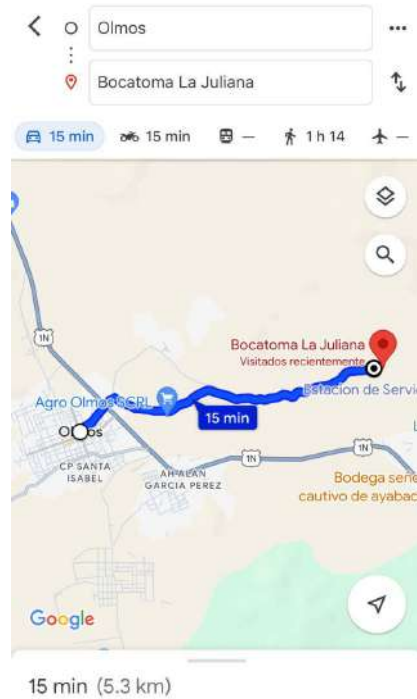
**Fuente:** Propia

**Figura N° 6:** Ruta de acceso desde la Agencia Santo Domingo de Olmos (Chiclayo) hasta la ciudad de Olmos



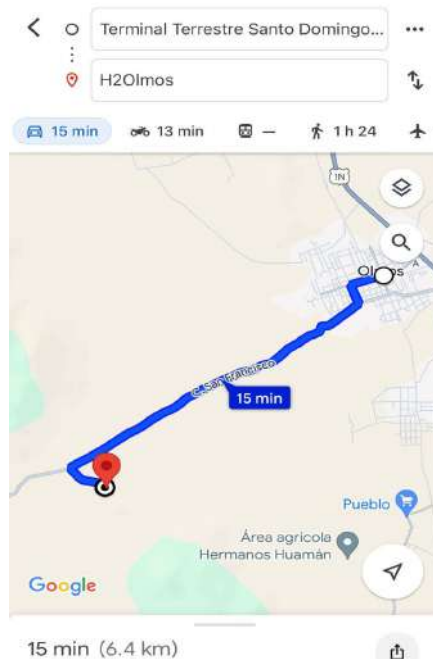
**Fuente:** Google Maps

**Figura N° 7:** Ruta de acceso desde Olmos (Terminal Santo Domingo de Olmos) hacia Bocatoma La Juliana



**Fuente:** Google Maps

**Figura N° 8:** Ruta de acceso desde Olmos (Terminal Santo Domingo de Olmos) hacia la Bocatoma Miraflores



**Fuente:** Google Maps

### **3.2.4. Cuenca del Río Olmos**

La Autoridad Nacional del Agua (2010) y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2021) mencionan que la cuenca del río Olmos alberga uno de los proyectos de infraestructura más grandes del Perú, el Proyecto Especial de Irrigación de Olmos, cuyo objetivo es trasvasar aguas del río Huancabamba al departamento de Lambayeque a través de un túnel de 20 km a través de los Andes. El área de estudio que comprende la parte media y baja de la cuenca del río Olmos se encuentra ubicada en la costa, al norte de la ciudad de Lambayeque, a aproximadamente 150 km de distancia que pertenece al Distrito de Olmos. Además, es importante resaltar que la cuenca del río Olmos es una zona desértica, pero el proyecto de irrigación ha convertido parte de estas tierras en un suelo productivo y fértil donde prospera la actividad agrícola.

Por otro lado, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2017) resaltan las principales características geomorfológicas de la cuenca del río Olmos son:

1. Ubicación y Extensión: La cuenca del río Olmos está formada por las márgenes de los ríos Cascajal y Olmos, comprendiendo una superficie de 1539 km<sup>2</sup>. Asimismo, nace en la confluencia de los ríos Tocto y Palo Blanco, en las estribaciones de la Cordillera Occidental.
2. Relieve y Pendientes: Presenta un relieve irregular, con pendientes suaves en la desembocadura de las cuencas y elevaciones superiores a 3600 m.s.n.m. en las nacientes de las aguas superficiales, entre mesetas y cimas agudas, además la cuenca del río Olmos es la de un río maduro, debido a que presenta características que indican una evolución geomorfológica e hidrológica prolongada.
3. Geología y Suelos: A lo largo del río Olmos se han cartografiado formaciones geológicas que van desde el Paleozoico inferior al Cuaternario. Por otro lado, el suelo es de aspecto no consolidado, con pequeñas acumulaciones de arcilla calcárea, encontrándose depósitos aluviales al pie de las estribaciones de la Cordillera Occidental y en los flancos de los grandes cursos fluviales, consistentes en gravas, arenas y limos.

Con respecto a la hidráulica fluvial, la cuenca del río Olmos presenta las siguientes características:

1. Régimen Hidrológico: El río Olmos es un río estacional, lo que indica una regulación hidrológica más avanzada típica de una cuenca madura, de igual manera las principales fuentes de recurso hídrico en la cuenca son el río Zaña, que es la fuente principal para consumo humano, agricultura y ganadería, y las aguas subterráneas, especialmente en los valles costeros. Existen también importantes reservorios ubicados en Copán Bajo, San Luis y Campana que son relevantes para el riego.
2. Caudales y Escorrentía: La cuenca del río Olmos presenta un relieve irregular con pendientes pronunciadas en las nacientes y suaves en la desembocadura, esto se refleja en una curva hipsométrica típica de una cuenca madura, con una regulación hidrológica más avanzada; asimismo, los caudales del río Olmos varían a lo largo del año, siendo más altos en la época de lluvias y más bajos en la época seca, lo que es característico de un río estacional.
3. Transporte de Sedimentos: Los depósitos aluviales encontrados a lo largo del río Olmos, compuestos por gravas, arenas y limos, indican un transporte de sedimentos importante.

Durante el recorrido no se encontró ningún aporte al río Olmos (quebrada, entre otras) del tramo en estudio, por lo que se continuó con la identificación de las secciones para realizar los aforos en ambos puntos del proyecto.

### **3.3. Descripción del contexto social de la investigación**

El proyecto Irrigación Olmos fue realizado con el fin de beneficiar a todos los usuarios que pertenecen al Valle Viejo de Olmos y a Tierras Nuevas, a través de un contrato firmado para la repartición del agua según las dotaciones de riego que cuenten con la licencia de uso del agua.

Toda el agua trasvasada es utilizada para riego con la finalidad de poder desarrollar la agricultura en toda la región y el país. Aquí en el ámbito de estudio encontramos los siguientes cultivos y sus respectivas hectáreas producidas:

**Tabla N° 6 : Producción - Valle Viejo**

| <b>Cultivos</b> | <b>Héctareas Sembradas (ha)</b> |
|-----------------|---------------------------------|
| Banano Orgánico | 102                             |
| Frijol Caupí    | 5                               |
| Limón Sutil     | 28                              |
| Maíz Amarillo   | 150                             |
| Mango           | 33                              |
| Maracuyá        | 155                             |
| Naranja         | 12                              |
| Papaya          | 3                               |
| Sandía          | 7                               |
| Uva             | 100                             |
| Yuca            | 2                               |

**Fuente:** H2Olmos, 2017.

**Tabla N° 7: Producción - Tierras Nuevas**

| <b>Empresa</b>               | <b>Cultivo</b>                                | <b>Hectáreas Sembradas (ha)</b> |
|------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|
| AGROL MOS                    | Caña de azúcar                                | 10,638                          |
| AGROVISIÓN                   | Uva                                           | 192                             |
|                              | Espárrago                                     | 39                              |
|                              | Palto                                         | 14                              |
|                              | Arándano                                      | 247                             |
| AGROINDUSTRIAS AIB           | Maracuyá                                      | 122                             |
|                              | Limón Sutil                                   | 70                              |
|                              | Espárrago                                     | 20                              |
| AGRÍCOLA ALAYA               | Palto                                         | 200                             |
| AGRÍCOLA CAMPO NOBLE         | Alfalfa                                       | 165                             |
| AGRÍCOLA PAMPA BAJA          | Palto                                         | 329                             |
|                              | Ají Párika                                    | 52                              |
|                              | Cebolla                                       | 72                              |
|                              | Ají Guajillo                                  | 42                              |
|                              | Maíz                                          | 158                             |
| AQP OLMOS                    | Arándano                                      | 35                              |
|                              | Banano Orgánico                               | 52                              |
| CHIMÚ AGROPECUARIA           | Maíz                                          | 100                             |
| COMPLEJO AGROINDUSTRIAL BETA | Palto                                         | 388                             |
|                              | Arándano                                      | 214                             |
| DANPER AGRÍCOLA OLMOS        | Espárrago                                     | 330                             |
|                              | Uva                                           | 101                             |
| HFE BERRIES PERÚ             | Arándano                                      | 144                             |
| ICCGSA AGROINDUSTRIAL        | Espárrago                                     | 275                             |
|                              | Palto                                         | 57                              |
|                              | Estevia                                       | 26                              |
| INAGRO                       | Palto                                         | 900                             |
|                              | Mango                                         | 294                             |
| INVERSIONES HEFEI            | Palto                                         | 600                             |
| INVERSIONES MOSQUETA         | Palto                                         | 600                             |
| INVERSIONES PIRONA           | Palto                                         | 300                             |
| PLANTACIONES DEL SOL         | Uva                                           | 35                              |
|                              | Arándano                                      | 52                              |
|                              | Palto                                         | 300                             |
|                              | Estevia                                       | 2                               |
|                              | Mandarina                                     | 2                               |
| CULTIVOS VARIOS              | Crotalaria, Frejol de palo, King Grass y Maíz | 400                             |

**Fuente:** H2OImos, 2017.

### 3.4. Población y muestra

- Población: Río Olmos, 11.7 km entre el tramo inicial la Bocatoma la Juliana primera captación hasta el tramo final la Bocatoma Miraflores segunda captación.

**Figura N° 9:** Puntos de referencia para la zona de estudio



**Fuente:** Google Earth

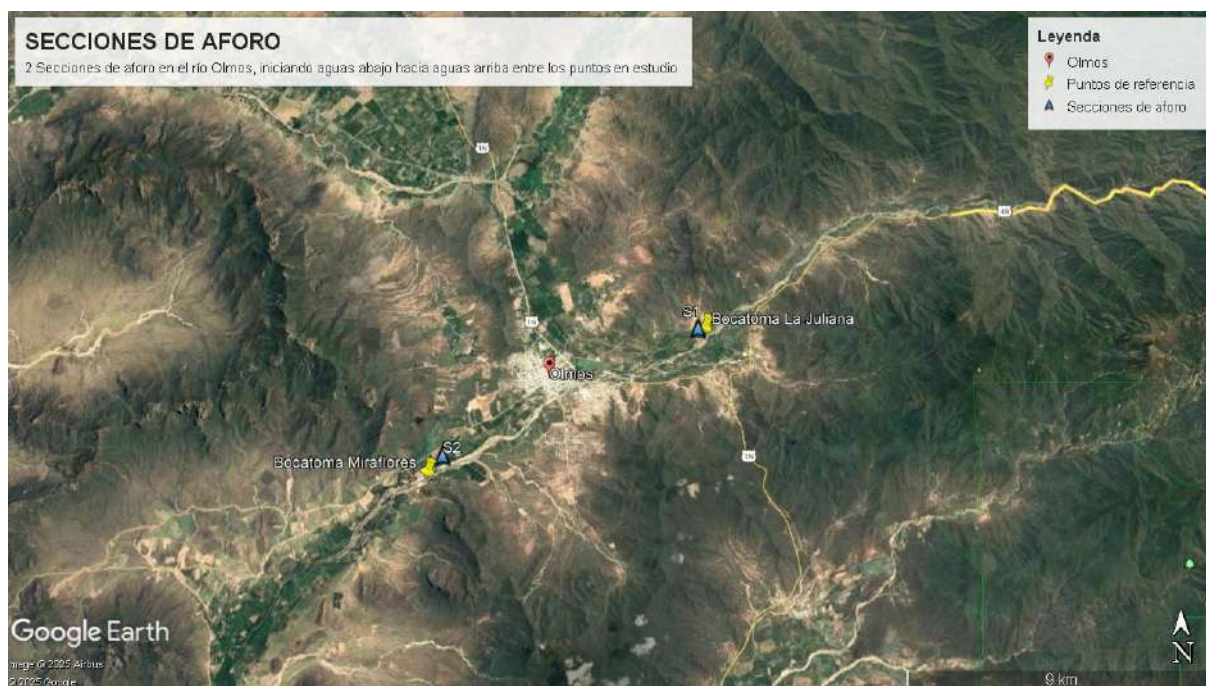
- Muestra: Se realizaron dos secciones del río Olmos, que se encuentran comprendidos desde el tramo inicial que es la Bocatoma la Juliana hasta el tramo final la Bocatoma Miraflores.

**Tabla N° 8:** Puntos identificados para el cálculo del caudal

| N° | COORDENADAS             |         | ALTURA<br>(m s.n.m) | DESCRIPCION                                           |
|----|-------------------------|---------|---------------------|-------------------------------------------------------|
|    | WGS 84 Zona 17S<br>ESTE | NORTE   |                     |                                                       |
| 1  | 643547                  | 9338879 | 236                 | Sección N°01 - Aguas abajo de la Bocatoma la Juliana  |
| 2  | 635552                  | 9334911 | 168                 | Sección N°02 - Aguas arriba de la Bocatoma Miraflores |

**Fuente:** Propia

**Figura N° 10:** Puntos seleccionados para realizar los aforos



Fuente: Google Earth

### **3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.5.1 Técnicas**

- Inspección: A través de esta técnica se podrá desarrollar el cálculo de caudales trasvasados en el cauce del río Olmos en el tramo comprendido desde la bocatoma la Juliana hasta la bocatoma Miraflores.
- Estudio bibliográfico: Utilizado para la verificación de información de mucho interés y que está relacionada al cálculo de caudales que se llevará a cabo empleando el principal equipo como lo es el correntómetro.

#### **3.5.2. Instrumentos**

- Ficha de inspección: Utilizada para llevar a cabo los apuntes respectivos de la toma de cálculo de los caudales hallados en el transcurso de toda la inspección en el área de estudio.
- Ficha de inspección de estudio bibliográfico: Se utilizó para organizar toda la información adquirida de la revisión bibliográfica y seleccionar lo de mucha utilidad relacionada al proyecto de investigación.

- Equipos:
  - 01 computadora.
  - 01 cámara fotográfica.
  - 01 correntómetro OTT C 31.
  - 01 vara de acero inoxidable de doble cuerpo (1m c/u).
- Materiales:
  - 01 wincha de 50 m.
  - Estacas de madera.
  - 01 cordel de nylon.
  - 01 balde de plástico.
  - 01 comba.
  - 01 GPS navegador Garmin.
  - 01 cuaderno de campo.

### **3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos**

Para calcular el caudal que fluye a través de la sección de un río, se midió el caudal correspondiente a cada una de las sub-secciones en las que se divide la sección transversal del canal, utilizando el siguiente procedimiento:

1. Como parte de esta primera fase se determinó el caudal del río con precisión y confiabilidad, por lo que se seleccionó una sección del río con flujo uniforme y sin obstrucciones ni remolinos.
2. Se realizaron las calibraciones para los sensores del correntómetro digital OTT C31, para las dimensiones de la sección transversal se utilizó la wincha y para la medición de la profundidad fue necesario utilizar una varilla graduada, siendo la primera calibración fuera del agua y después en un recipiente donde la velocidad es 0.
3. Se procedió a instalar estacas de un extremo al otro de la sección hidráulica o corte transversal del río, asegurándose que estuvieran perpendiculares al eje transversal de tal manera que se pueda dividir el río en varias subsecciones.
4. Se utilizó la misma wincha como cuerda entre ambas estacas para dividir el eje transversal del río en secciones, siguiendo las directrices de la norma EN - ISO 748, con el objetivo de determinar el número de

estaciones transversales, garantizando que cada subsección tenga un ancho uniforme o adecuado a las variaciones del flujo.

5. Se inició la recolección de datos de profundidades y velocidades registrados por el equipo en la estación 1, situada en la margen derecha del río, siguiendo la dirección de aguas arriba hacia aguas abajo. La primera medición proporcionada por el equipo indicó una velocidad de 0.
6. La segunda estación se ubicó lo más cerca posible de la estación 1, específicamente a una distancia de 1 m. En esta estación, el equipo registró tres velocidades medidas por su sensor, tomando como referencia la superficie del agua hasta el fondo del cauce.
7. Se establecieron "n" estaciones, siendo la estación "n-1" realizada de manera similar a la estación 2 descrita en el paso 5. En la estación "n", ubicada en la margen izquierda, la velocidad registrada es cero.
8. Se anotaron todas las mediciones de velocidad, ancho y profundidad obtenidos del ccv del OTT C31 en un tablero de datos para su posterior esquematización y procesamiento.

### **3.7. Metodología**

Para medir el caudal del Río Olmos, se utilizó el método indirecto (Área-Velocidad), que es una de las dos clasificaciones principales para aforar corrientes de agua (siendo la otra los métodos directos).

Este enfoque calcula el Caudal (Q) multiplicando el área (A) de la sección transversal del río por la velocidad promedio del agua (V) (es decir,  $Q=V \times A$ ).

- Determinación del Área (A): La sección transversal se midió directamente en el campo. Esto se logró al determinar la profundidad en varios puntos a lo largo del ancho de la corriente.
- Determinación de la Velocidad (V): La velocidad del flujo se midió con un correntómetro electromagnético específico, el OTT C31.

Para establecer las secciones parciales necesarias para la medición transversal, se siguieron los estándares de la norma EN-ISO 748 como guía.

Para calcular el área hidráulica de cada parte de la sección transversal, se empleó el Método de Mitad de Sección. Este método delimita el área de cada

subsección mediante segmentos imaginarios que se trazan a la mitad de la distancia que hay a los puntos de medición (verticales) adyacentes. El caudal final se calcula utilizando como datos hidráulicos fijos la profundidad del agua y la velocidad promedio obtenida con el correntómetro.

**Tabla N° 9:** Número de secciones según la dimensión transversal del río

| Pies              | Medidores   | Número de estaciones |
|-------------------|-------------|----------------------|
| < 1.6             | < 0.5       | 5 a 6                |
| > 1.6 y hasta 3.3 | > 0.5 y < 1 | 6 a 7                |
| > 3.3 y 9.8       | > 1 y < 3   | 7 a 12               |
| > 9.8 y < 16.4    | > 3 y < 5   | 13 a 16              |
| > 16.4            | ≥ 5         | ≥ 22                 |

Fuente: UNE-EN ISO 748, 2009.

## Capítulo IV: Resultados

### 4.1 Cálculo de caudal y estimación de pérdida entre ambas secciones

#### ***4.1.1 Caudal aguas abajo de Bocatoma La Juliana***

- Nombre: Bocatoma La Juliana
- Fecha: 21/09/23
- Río: Olmos
- Cálculo del flujo: Mitad sección
- Margen de inicio: Izquierdo
- Número de estaciones: 20
- Ancho de corriente: 19 m
- Descarga total: 8.156 m<sup>3</sup>/s
- Área total: 7.840 m<sup>2</sup>
- Duración del aforo: 00:24:00
- Profundidad media: 0.392 m

**Tabla N° 10:** Caudal aguas abajo de la Bocatoma La Juliana

|                     |                      |                |                   |                      |                       |                 |                |         |       |          |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|----------------|---------|-------|----------|
| AREA TOTAL:         | 7.84                 | m²             | VELOCIDAD MEDIA:  | 1.04                 | m/seg                 | DESCARGA TOTAL: | 8.16           | m³/seg  |       |          |
|                     |                      |                |                   |                      |                       |                 |                |         |       |          |
| SONDEOS             | CORRENTOMETRO        |                |                   | VELOCIDAD DE SECCION |                       |                 | SECCION        |         |       |          |
| Dist. Punto Inicial | Prof. De Observacion | Tiempo en Seg. | N° de Revolucion. | Revoluc. por Seg.    | Velocidad en el Punto | Velocidad Media | Profund. Media | Anchura | Area  | Descarga |
| 0                   | Superficial          | 30             | 0                 | 0                    | 0                     | 0               | 0              | 0       | 0     | 0        |
| 1                   | Superficial          | 30             | 80                | 2.667                | 0.6                   | 0.3             | 0.12           | 1       | 0.12  | 0.036    |
| 2                   | 0.14                 | 30             | 90                | 3                    | 0.793                 | 0.696           | 0.295          | 1       | 0.295 | 0.205    |
| 3                   | 0.19                 | 30             | 122               | 4.067                | 1.071                 | 0.932           | 0.41           | 1       | 0.41  | 0.382    |
| 4                   | 0.19                 | 30             | 140               | 4.667                | 1.228                 | 1.15            | 0.47           | 1       | 0.47  | 0.54     |
| 5                   | 0.18                 | 30             | 112               | 3.733                | 0.984                 | 1.106           | 0.465          | 1       | 0.465 | 0.514    |
| 6                   | 0.17                 | 30             | 96                | 3.2                  | 0.845                 | 0.915           | 0.445          | 1       | 0.445 | 0.407    |
| 7                   | 0.2                  | 30             | 146               | 4.867                | 1.28                  | 1.063           | 0.465          | 1       | 0.465 | 0.494    |
| 8                   | 0.17                 | 30             | 147               | 4.9                  | 1.289                 | 1.285           | 0.465          | 1       | 0.465 | 0.597    |
| 9                   | 0.19                 | 30             | 145               | 4.833                | 1.272                 | 1.28            | 0.455          | 1       | 0.455 | 0.583    |
| 10                  | 0.19                 | 30             | 146               | 4.867                | 1.28                  | 1.276           | 0.48           | 1       | 0.48  | 0.613    |
| 11                  | 0.2                  | 30             | 140               | 4.667                | 1.228                 | 1.254           | 0.495          | 1       | 0.495 | 0.621    |
| 12                  | 0.2                  | 30             | 134               | 4.467                | 1.176                 | 1.202           | 0.505          | 1       | 0.505 | 0.607    |
| 13                  | 0.17                 | 30             | 141               | 4.7                  | 1.237                 | 1.206           | 0.465          | 1       | 0.465 | 0.561    |
| 14                  | 0.18                 | 30             | 106               | 3.533                | 0.932                 | 1.084           | 0.44           | 1       | 0.44  | 0.477    |
| 15                  | 0.18                 | 30             | 115               | 3.833                | 1.01                  | 0.971           | 0.45           | 1       | 0.45  | 0.437    |
| 16                  | 0.17                 | 30             | 96                | 3.2                  | 0.845                 | 0.928           | 0.435          | 1       | 0.435 | 0.404    |
| 17                  | 0.16                 | 30             | 98                | 3.267                | 0.862                 | 0.854           | 0.41           | 1       | 0.41  | 0.35     |
| 18                  | 0.15                 | 30             | 64                | 2.133                | 0.566                 | 0.714           | 0.385          | 1       | 0.385 | 0.275    |
| 19                  | Superficial          | 30             | 0                 | 0                    | 0                     | 0.283           | 0.185          | 1       | 0.185 | 0.052    |

**Fuente:** Propia

**Figura N° 11:** Perfil de la sección aguas abajo de Bocatoma La Juliana



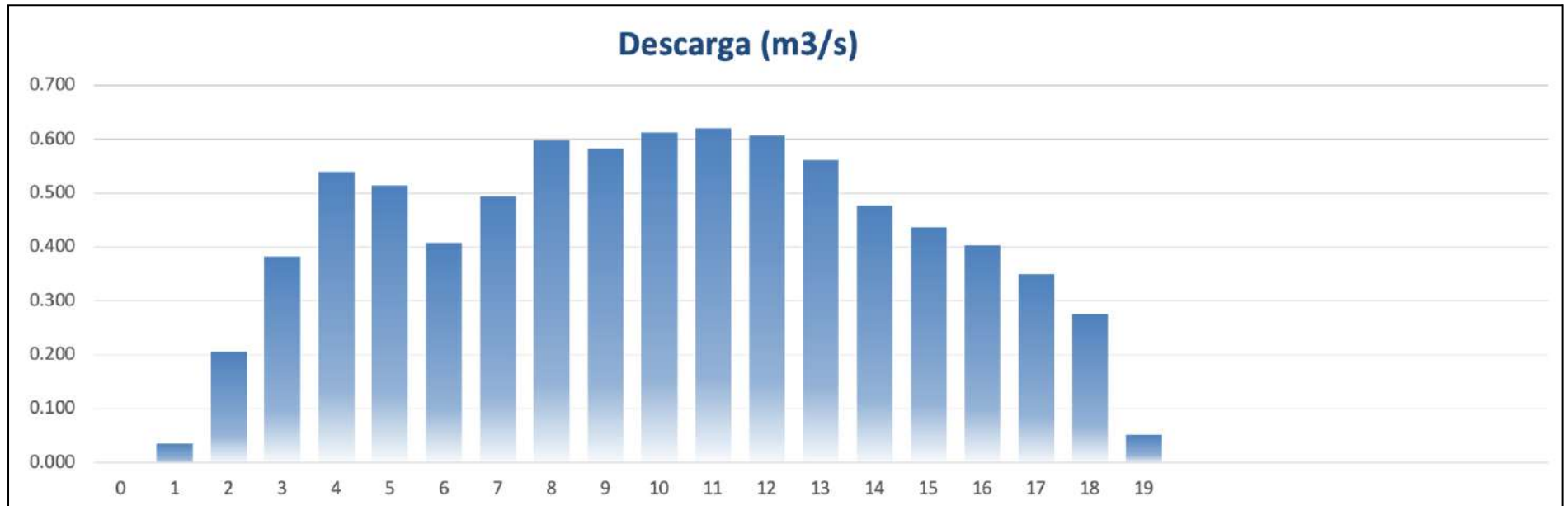
**Fuente:** Propia

**Figura N° 12:** Velocidad de la sección aguas abajo de Bocatoma La Juliana



**Fuente:** Propia

**Figura N° 13:** Caudal total aguas abajo de Bocatoma La Juliana



**Fuente:** Propia

#### **4.1.2 Caudal aguas arriba de Bocatoma Miraflores**

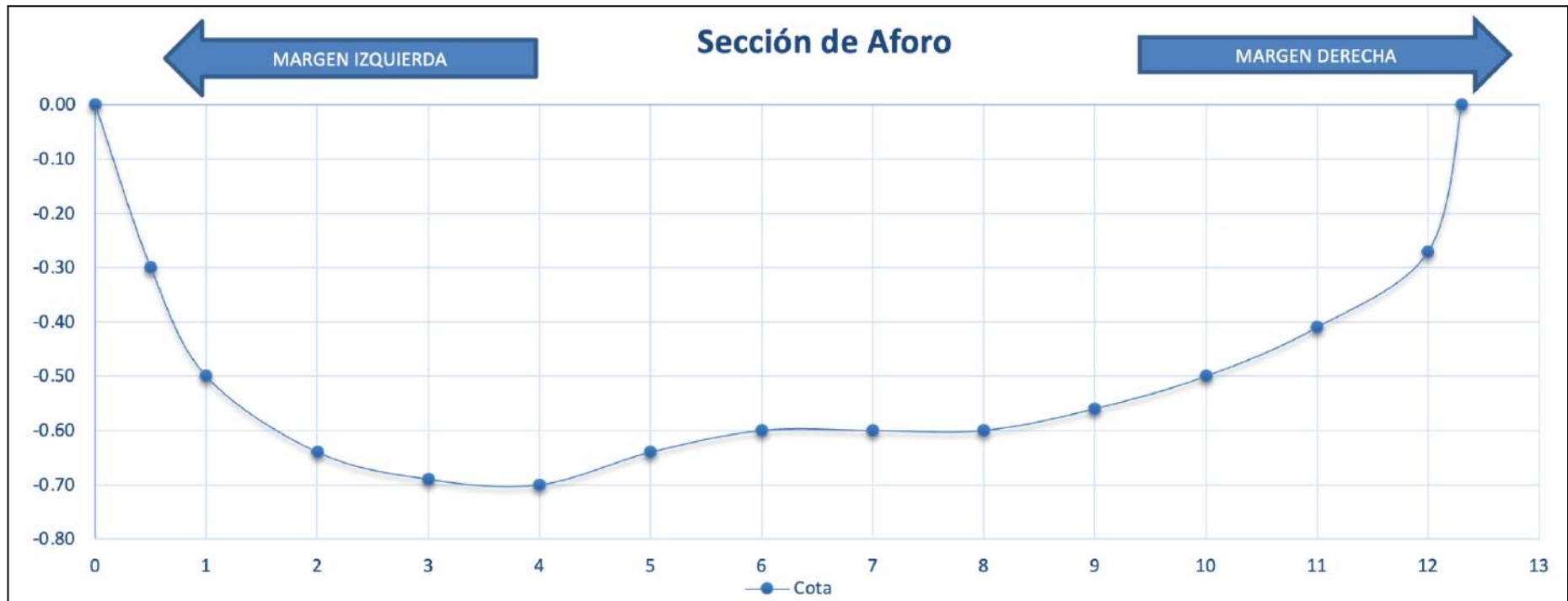
- Nombre: Bocatoma Miraflores
- Fecha: 21/09/23
- Río: Olmos
- Cálculo del flujo: Mitad sección
- Margen de inicio: Izquierdo
- Número de estaciones: 15
- Ancho de corriente: 12.3 m
- Descarga total: 7.771 m<sup>3</sup>/s
- Área total: 6.641 m<sup>2</sup>
- Duración del aforo: 00:22:00
- Profundidad media: 0.467 m

**Tabla N° 11:** Caudal aguas arriba de la Bocatoma Miraflores

|                     |                      |                |                  |                      |                       |                 |                 |         |       |          |
|---------------------|----------------------|----------------|------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|---------|-------|----------|
| AREA TOTAL:         | 6.64                 | m²             | VELOCIDAD MEDIA: |                      | 1.17                  | m/seg           | DESCARGA TOTAL: |         | 7.77  | m³/seg   |
|                     |                      |                |                  |                      |                       |                 |                 |         |       |          |
| SONDEOS             | CORRENTOMETRO        |                |                  | VELOCIDAD DE SECCION |                       |                 | SECCION         |         |       |          |
| Dist. Punto Inicial | Prof. De Observacion | Tiempo en Seg. | N° de Revoluc.   | Revoluc. por Seg.    | Velocidad en el Punto | Velocidad Media | Profund. Media  | Anchura | Area  | Descarga |
| 0                   | Superficial          | 30             | 0                | 0                    | 0                     | 0               | 0               | 0       | 0     | 0        |
| 0.5                 | 0.12                 | 30             | 66               | 2.2                  | 0.584                 | 0.292           | 0.15            | 0.5     | 0.075 | 0.022    |
| 1                   | 0.2                  | 30             | 95               | 3.167                | 0.836                 | 0.71            | 0.4             | 0.5     | 0.2   | 0.142    |
| 2                   | 0.26                 | 30             | 141              | 4.7                  | 1.237                 | 1.037           | 0.57            | 1       | 0.57  | 0.591    |
| 3                   | 0.28                 | 30             | 143              | 4.767                | 1.254                 | 1.246           | 0.665           | 1       | 0.665 | 0.828    |
| 4                   | 0.28                 | 30             | 136              | 4.533                | 1.193                 | 1.224           | 0.695           | 1       | 0.695 | 0.851    |
| 5                   | 0.26                 | 30             | 155              | 5.167                | 1.359                 | 1.276           | 0.67            | 1       | 0.67  | 0.855    |
| 6                   | 0.24                 | 30             | 160              | 5.333                | 1.402                 | 1.381           | 0.62            | 1       | 0.62  | 0.856    |
| 7                   | 0.24                 | 30             | 162              | 5.4                  | 1.42                  | 1.411           | 0.6             | 1       | 0.6   | 0.847    |
| 8                   | 0.24                 | 30             | 143              | 4.767                | 1.254                 | 1.337           | 0.6             | 1       | 0.6   | 0.802    |
| 9                   | 0.22                 | 30             | 141              | 4.7                  | 1.237                 | 1.246           | 0.58            | 1       | 0.58  | 0.722    |
| 10                  | 0.2                  | 30             | 116              | 3.867                | 1.019                 | 1.128           | 0.53            | 1       | 0.53  | 0.598    |
| 11                  | 0.16                 | 30             | 94               | 3.133                | 0.828                 | 0.923           | 0.455           | 1       | 0.455 | 0.42     |
| 12                  | 0.11                 | 30             | 57               | 1.9                  | 0.505                 | 0.666           | 0.34            | 1       | 0.34  | 0.227    |
| 12.3                | Superficial          | 30             | 0                | 0                    | 0                     | 0.253           | 0.135           | 0.3     | 0.041 | 0.01     |

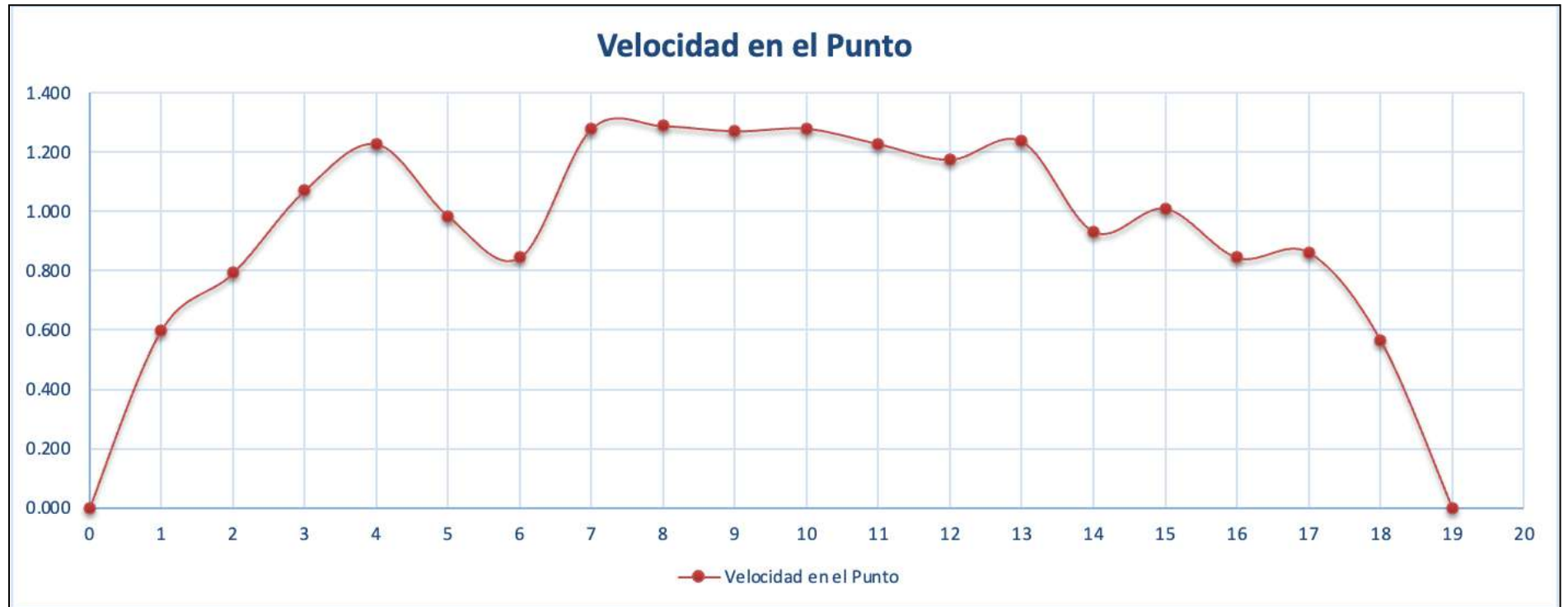
**Fuente:** Propia

**Figura N° 14:** Perfil de la sección aguas arriba de Bocatoma Miraflores



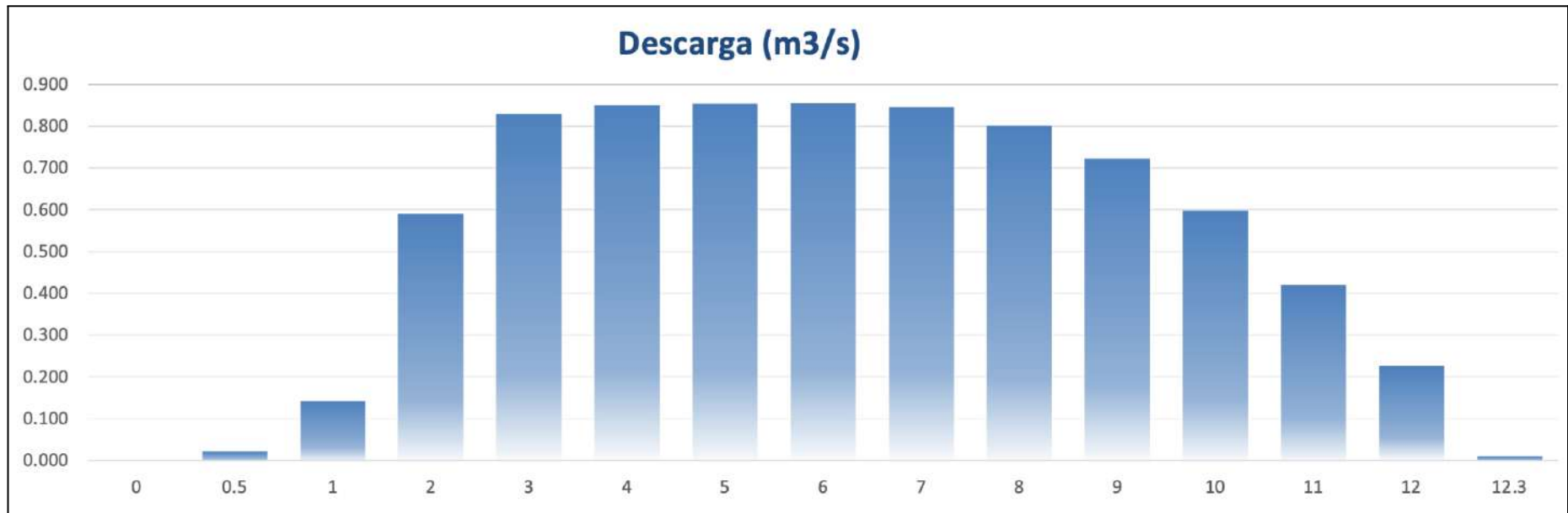
Fuente: Propia

**Figura N° 15:** Velocidad de la sección aguas arriba de Bocatoma Miraflores



**Fuente:** Propia

**Figura N° 16:** Caudal total aguas arriba de Bocatoma Miraflores



**Fuente:** Propia

## 4.2 Resumen de pérdida de caudales

Se identificaron ambas secciones para determinar el caudal y se estimaron las pérdidas en porcentaje desde la primera hasta la segunda sección.

**Tabla N° 12:** Caudal de los puntos elegidos en el río Olmos

| SECCIONES | CAUDAL (M3/S) | % CAUDAL |
|-----------|---------------|----------|
| Sección 1 | 8.156         | 100.00%  |
| Sección 2 | 7.771         | 95.28%   |

**Fuente:** Propia

**Tabla N° 13:** Diferencia de caudales y estimación de pérdidas

| DIFERENCIA ENTRE SECCIONES (S) | DIFERENCIA DE CAUDALES (M3/S) | DIFERENCIA DE COTAS (M) | LONGITUD (M) | PENDIENTE % | PÉRDIDAS % |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------|-------------|------------|
| S1 - S2                        | 0.385                         | 68                      | 11700        | 0.58        | 4.72       |

**Fuente:** Propia

Se encontró una pérdida de 0.385 m3/s y el 4.72% del caudal del río Olmos en una longitud de 11.7 km aproximadamente con una pendiente de 0.58% entre la sección 1 y la sección 2.

## 4.3 Factores involucrados en la pérdida de caudales

### 4.3.1 Factores Sociales

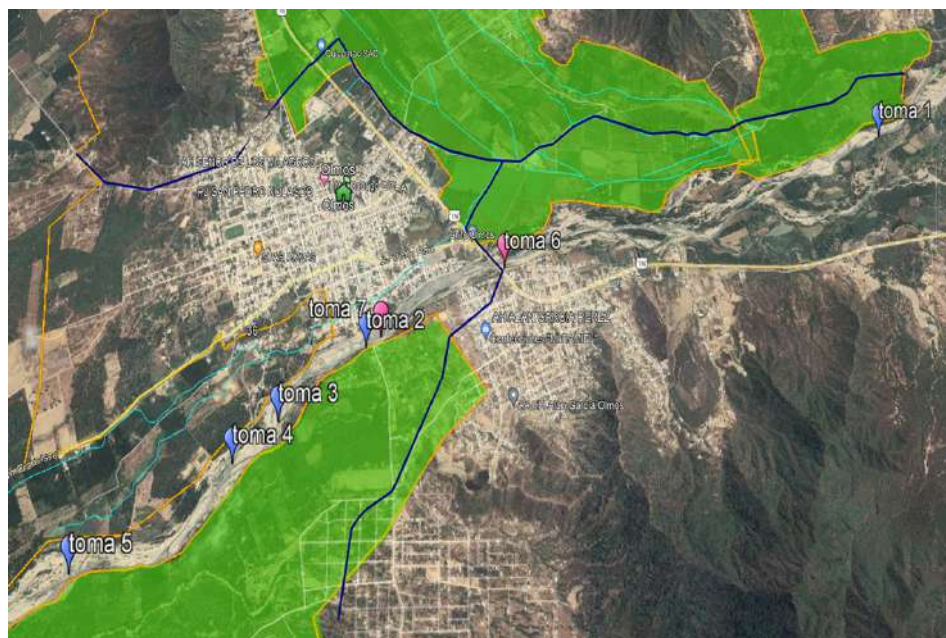
A lo largo del recorrido se identificaron 7 tomas informales, motivo por el cual el caudal se reduce en el río Olmos.

**Tabla N° 14:** Tomas identificadas entre Bocatoma la Juliana y Bocatoma Miraflores

| TOMAS IDENTIFICADAS - COORDENADAS |            |             |           |         |
|-----------------------------------|------------|-------------|-----------|---------|
| Descripción                       | Latitud    | Longitud    | Margen    | Tipo    |
| Toma 1                            | -5.9829786 | -79.7067989 | izquierda | Canal   |
| Toma 2                            | -5.9957083 | -79.7429692 | izquierda | Canal   |
| Toma 3                            | -5.9999606 | -79.7486323 | izquierda | Canal   |
| Toma 4                            | -6.0021707 | -79.7513169 | derecha   | Canal   |
| Toma 5                            | -6.0075887 | -79.7605997 | derecha   | Canal   |
| Toma 6                            | -5.9912565 | -79.7339473 | izquierda | pozo 01 |
| Toma 7                            | -5.9956439 | -79.7425293 | izquierda | pozo 02 |

**Fuente:** Propia

**Figura N° 17:** Tomas identificadas entre Bocatoma La Juliana y Bocatoma Miraflores



**Fuente:** Google Earth

Se realizaron las mediciones respectivas a las tomas informales identificadas que causan la disminución del caudal en el río Olmos.

**Tabla N° 15:** Caudal de las tomas identificadas entre Bocatoma la Juliana y Bocatoma Miraflores

| TOMAS IDENTIFICADAS - MEDICIONES |           |         |            |
|----------------------------------|-----------|---------|------------|
| Descripción                      | Margen    | Tipo    | Caudal l/s |
| Toma 1                           | izquierda | Canal   | 24         |
| Toma 2                           | izquierda | Canal   | 38         |
| Toma 3                           | izquierda | Canal   | 42         |
| Toma 4                           | derecha   | Canal   | 23         |
| Toma 5                           | derecha   | Canal   | 33         |
| Toma 6                           | izquierda | pozo 01 | -          |
| Toma 7                           | izquierda | pozo 02 | -          |
| TOTAL                            |           |         | 160        |

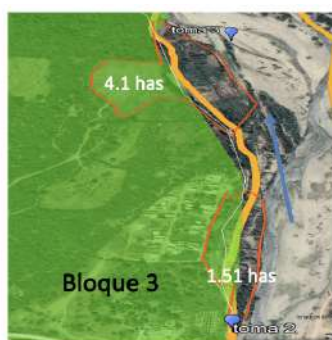
**Fuente:** Propia

**Figura N° 18:** Ubicación de Toma 1



**Fuente:** H2OImos S.A., 2024.

**Figura N° 19: Ubicación de Toma 2**



Ubicación Toma 2 – Google Earth



Ubicación Toma 2 – Imagen tomada por drone



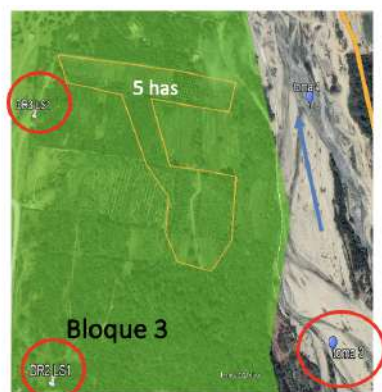
Hidrante DR2 cerca a las áreas de cultivo



Cultivo banano orgánico

**Fuente:** H2OImos S.A., 2024.

**Figura N° 20: Ubicación de Toma 3**



Ubicación Toma 3 – Google Earth



Ubicación Toma 3 – Imagen tomada por drone



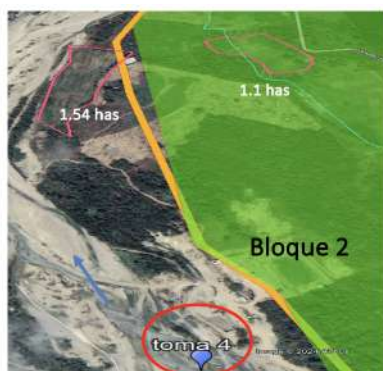
Hidrante DR3 cerca a las áreas de cultivo



Posición de tomas respecto a las DR

**Fuente:** H2OImos S.A., 2024.

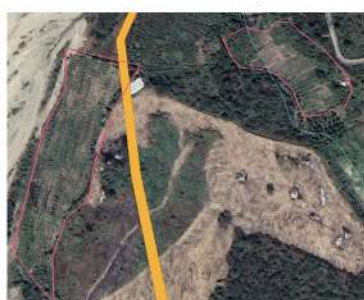
**Figura N° 21: Ubicación de Toma 4**



Ubicación Toma 4 – Google Earth



Ubicación Toma 4 – Imagen tomada por drone



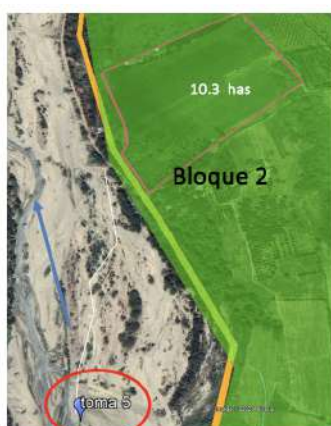
Área cultivada de la toma 4



Canal de JUO pasando por el área irrigada

**Fuente:** H2OImos S.A., 2024.

**Figura N° 22: Ubicación de Toma 5**



Ubicación Toma 5 – Google Earth



Ubicación Toma 5 – Imagen tomada por drone



Área instalada - toma 5



Área instalada

**Fuente:** H2OImos S.A., 2024.

**Figura N° 23:** Ubicación de Toma 6



Ubicación Toma 6 – Google Earth



Ubicación Toma 6 – Imagen tomada por drone

**Fuente:** H2Olmos S.A., 2024.

**Figura N° 24:** Ubicación de Toma 7



Ubicación Toma 7 – Google Earth



Ubicación Toma 7 – Imagen tomada por drone

**Fuente:** H2Olmos S.A., 2024.

Teniendo en cuenta ambas secciones de aforo, se identificaron las tomas y el caudal total en dicho tramo.

**Tabla N° 16:** Tomas en ambas secciones y sus caudales

| SECCIONES             | LONGITUD (m) | TOMAS                | CAUDAL DE TOMAS (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------|--------------|----------------------|-------------------------------------|
| Sección 1 a Sección 2 | 11,700.00    | Toma 1,2,3,4,5,6 y 7 | 0.160                               |

**Fuente:** Propia

#### 4.3.2 Factores Naturales

Se determinó la evapotranspiración para el río Olmos, tomando con referencia la data de la Estación Metereológica Palo Verde.

**Tabla N° 17: Evapotranspiración - Estación Metereológica Palo Verde**

| ESTACION METEREOLÓGICA PALO VERDE |        |                      |       |       |                             |       |      |              |                        |         |                        |        |      |                  |       |       |                        |       |       |      |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|------|--------------|------------------------|---------|------------------------|--------|------|------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|------|
| N°                                | FECHA  | Humedad Relativa (%) |       |       | Velocidad del viento (km/h) |       |      | Evap. (mm/d) | Evaporación diaria EPV |         | Radiación solar (W/m2) |        |      | Temperatura (°C) |       |       | Precipitación (mm/mes) |       |       |      |
|                                   |        | Máx.                 | Prom. | Min.  | Máx.                        | Prom. | Min. | Acum.        | Área m2                | m3/día  | Máx.                   | Prom.  | Min. | Máx.             | Prom. | Min.  | Acum. (mm)             | Máx.  | Prom. | Min. |
| Mes - 01                          | Ene-23 | 89.04                | 66.83 | 43.09 | 16.04                       | 64.94 | 1.19 | 7.32         | 46976.91               | 1515.38 | 920.23                 | 242.10 | 0.00 | 32.03            | 24.91 | 19.93 | 0.20                   | 0.20  | 0.01  | 0.00 |
| Mes - 02                          | Feb-23 | 90.33                | 72.20 | 50.80 | 14.52                       | 70.31 | 1.16 | 5.89         | 195498.18              | 1149.71 | 846.77                 | 196.39 | 0.00 | 32.32            | 26.57 | 22.69 | 38.40                  | 20.60 | 1.37  | 0.00 |
| Mes - 03                          | Mar-23 | 98.60                | 84.46 | 60.68 | 12.01                       | 82.28 | 1.14 | 4.35         | 178308.65              | 780.31  | 889.05                 | 213.91 | 0.00 | 31.54            | 26.46 | 23.19 | 330.80                 | 98.20 | 10.67 | 0.00 |
| Mes - 04                          | Abr-23 | 100.00               | 90.03 | 70.32 | 9.59                        | 87.23 | 1.00 | 2.87         | 178011.70              | 507.01  | 608.75                 | 142.62 | 0.00 | 30.51            | 26.15 | 23.31 | 349.00                 | 72.60 | 11.63 | 0.00 |
| Mes - 05                          | May-23 | 99.67                | 87.90 | 71.13 | 8.68                        | 85.20 | 0.75 | 3.19         | 182092.84              | 582.06  | 650.85                 | 150.62 | 0.00 | 28.89            | 24.70 | 21.76 | 3.40                   | 2.20  | 0.11  | 0.00 |
| Mes - 06                          | Jun-23 | 99.01                | 86.17 | 69.16 | 8.96                        | 83.28 | 0.76 | 2.87         | 183840.03              | 526.21  | 549.57                 | 131.70 | 0.00 | 27.67            | 23.47 | 20.44 | 0.40                   | 0.40  | 0.01  | 0.00 |
| Mes - 07                          | Jul-23 | 99.88                | 87.73 | 69.63 | 9.81                        | 85.21 | 0.62 | 2.58         | 193118.90              | 495.25  | 517.26                 | 123.86 | 0.00 | 27.29            | 22.84 | 19.92 | 1.00                   | 0.60  | 0.03  | 0.00 |
| Mes - 08                          | Ago-23 | 98.41                | 84.44 | 64.31 | 10.69                       | 81.67 | 1.09 | 3.45         | 193851.71              | 669.85  | 548.28                 | 146.41 | 0.00 | 27.70            | 22.69 | 19.34 | 0.00                   | 0.00  | 0.00  | 0.00 |
| Mes - 09                          | Set-23 | 99.05                | 81.64 | 56.21 | 13.53                       | 79.17 | 1.45 | 5.27         | 96272.27               | 511.76  | 771.04                 | 217.55 | 0.00 | 29.33            | 22.55 | 18.44 | 0.20                   | 0.20  | 0.01  | 0.00 |
| Mes - 10                          | Oct-23 | 99.14                | 83.58 | 57.21 | 13.67                       | 81.26 | 2.11 | 5.06         | 189481.10              | 959.33  | 864.61                 | 223.63 | 0.00 | 29.82            | 22.68 | 18.94 | 21.60                  | 9.60  | 0.70  | 0.00 |
| Mes - 11                          | Nov-23 | 98.98                | 81.55 | 55.81 | 14.37                       | 78.99 | 1.60 | 5.33         | 277520.53              | 1623.25 | 860.02                 | 234.52 | 0.00 | 29.52            | 22.57 | 18.49 | 4.00                   | 2.00  | 0.14  | 0.00 |
| Mes - 12                          | Dic-23 | 97.56                | 78.92 | 54.09 | 14.66                       | 76.69 | 1.75 | 5.94         | 188309.23              | 1115.46 | 850.96                 | 232.83 | 0.00 | 31.22            | 24.40 | 20.49 | 3.40                   | 2.80  | 0.12  | 0.00 |

**Fuente:** Estación Metereológica Palo Verde

**Tabla N° 18:** Pérdidas por evaporación del río Olmos entre Bocatoma La Juliana y Bocatoma Miraflores

|                            | Unidad  | Enero    | Febrero  | Marzo    | Abril    | Mayo     | Junio    | Julio    | Agosto   | Setiembre | Octubre  | Noviembre | Diciembre |
|----------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| <b>Horas de sol al día</b> | horas   | 8        | 8        | 8        | 8        | 8        | 8        | 8        | 8        | 8         | 8        | 8         | 8         |
| <b>N° de días por mes</b>  | días    | 31       | 28       | 31       | 30       | 31       | 30       | 31       | 31       | 30        | 31       | 30        | 31        |
| <b>Volúmen Evaporado</b>   | m3/mes  | 46976.91 | 32191.91 | 24189.46 | 15210.45 | 18043.90 | 15786.18 | 15352.67 | 20765.36 | 15352.94  | 29739.15 | 48697.40  | 34579.33  |
|                            | m3/día  | 1515.38  | 1149.71  | 780.31   | 507.01   | 582.06   | 526.21   | 495.25   | 669.85   | 511.76    | 959.33   | 1623.25   | 1115.46   |
| <b>Caudal</b>              | m3/h    | 189.42   | 143.71   | 97.54    | 63.38    | 72.76    | 65.78    | 61.91    | 83.73    | 63.97     | 119.92   | 202.91    | 139.43    |
|                            | m3/s    | 0.053    | 0.040    | 0.027    | 0.018    | 0.020    | 0.018    | 0.017    | 0.023    | 0.018     | 0.033    | 0.056     | 0.039     |
|                            | lts/seg | 52.62    | 39.92    | 27.09    | 17.60    | 20.21    | 18.27    | 17.20    | 23.26    | 17.77     | 33.31    | 56.36     | 38.73     |

**Fuente:** Propia

Al año se puede hallar una pérdida de 316885.65 m3 correspondiente a 0.32 hm3

#### 4.3.3 Pérdida de conducción del río Olmos, por factores naturales

Para poder hallar la pérdida de caudal por factores naturales, correspondientes a las pérdidas neto del río, restamos las pérdidas por factores sociales originados por la toma de agua informal y después obtendremos el caudal neto restando las pérdidas neto al caudal medido.

$$\text{Caudal de salida Neto} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \text{Caudal de entrada} \left( \frac{m^3}{s} \right) - \text{Pérdida de caudal} \left( \frac{m^3}{s} \right) + \text{Pérdida por toma} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

**Tabla N° 19:** Pérdidas naturales total y parcial

| SECCIONES | CAUDAL MEDIDO (m3/s) | DIFERENCIA ENTRE SECCIONES (s) | PÉRDIDA DE CAUDAL (m3/s) | PÉRDIDA POR TOMA (m3/s) | CAUDAL NETO (m3/s) |
|-----------|----------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| Sección 1 | 8.156                | <b>PUNTO DE INICIO</b>         | 0                        | 0                       | 8.156              |
| Sección 2 | 7.771                | S1 - S2                        | 0.385                    | 0.160                   | 7.931              |

**Fuente:** Propia

Para calcular el porcentaje de pérdidas por conducción, iniciamos ubicando los caudales en ambas secciones añadiendo lo que se perdió a cada una de las tomas informales.

**Tabla N° 20:** Pérdidas por conducción natural del río Olmos y su eficiencia de conducción

| SECCIONES | CAUDAL NETO (m3/s) | % CAUDAL NETO | DIFERENCIA ENTRE SECCIONES (s) | PÉRDIDA POR CONDUCCION (m3/s) | % PÉRDIDAS NETO | EFICIENCIA DE CONDUCCION DEL RIO |
|-----------|--------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| SECCIÓN 1 | 8.156              | 100.00%       | S1 - S2                        | 0.225                         | 2.76%           | 97.24%                           |
| SECCIÓN 2 | 7.931              | 97.24%        | <b>TOTAL</b>                   | <b>0.225</b>                  | <b>2.76%</b>    | <b>97.24%</b>                    |

**Fuente:** Propia

Las pérdidas neto por conducción del río Olmos son de 0.225 m3/s y un 2.76% del caudal entre la sección 1 y la sección 2. Obteniendo como resultado una eficiencia de conducción del 97.24% del tramo en estudio en el río Olmos.

## Capítulo V: Discusión

Se eligieron 2 secciones para realizar la medición de caudales, donde estratégicamente fueron 2 los puntos adecuados para llevar a cabo los aforos en el tramo en estudio que comprende desde Bocatoma la Juliana hasta Bocatoma Miraflores. Durante el trayecto no se encontraron afluentes que aportan agua al río Olmos, pero sí se identificaron 7 tomas informales que extraen agua del río Olmos sin contar con alguna licencia o permiso.

Se realizó el aforo de los caudales en los 2 puntos adecuados en el río Olmos, obteniendo como resultado para cada sección es decir la sección 1 y la sección 2 los siguientes caudales en metros cúbicos por segundo: ( $S_1 = 8.156$  ,  $S_2 = 7.771$ ).

Se determinó que los factores que influyen en la pérdida de agua en dicho tramo de estudio, es el factor social principalmente debido a las tomas informales que se identificaron, resultando una pérdida de  $0.160 \text{ m}^3/\text{s}$  en el río Olmos entre la Bocatoma La Juliana y la Bocatoma Miraflores. Además se realizaron los cálculos para hallar las pérdidas por evaporación el cual representa un valor de  $30.20 \text{ lts/seg}$ . Así mismo cabe indicar que el total de las pérdidas netas fueron de  $0.225 \text{ m}^3/\text{s}$  aproximadamente que resultó de la diferencia de caudales entre la sección 1 y la sección 2, también un  $0.195 \text{ m}^3/\text{s}$  representaría las pérdidas por infiltración en todo el tramo en estudio.

Por último se determinó el porcentaje de pérdida neto del caudal siendo el resultado de  $2.76\%$ , así como también la eficiencia de conducción en el río Olmos en el tramo de estudio, el cual fue de  $97.24\%$

## CONCLUSIONES

El análisis realizado reveló que la eficiencia de conducción del río Olmos, específicamente en la sección que se extiende desde la Bocatoma La Juliana hasta la Bocatoma Miraflores, asciende al 97.24%. Este porcentaje indica un comportamiento hidráulico altamente favorable del canal natural. El resultado confirma que las pérdidas durante el transporte del agua son mínimas, asegurando así una excelente capacidad de movilización del recurso hídrico, siempre y cuando se mantenga una supervisión y conservación constante, y se logre controlar la extracción no autorizada de agua.

Se estableció una pérdida de caudal total de 0.385 m<sup>3</sup>/s entre las dos bocatomas, lo que representa el 4.72% del volumen total transportado. De esta cifra, las pérdidas netas atribuibles a las características intrínsecas del cauce natural son de 0.225 m<sup>3</sup>/s (2.76%). Este dato subraya que, si bien las condiciones naturales del río causan una disminución menor del flujo, la causa principal del déficit hídrico es la extracción clandestina de agua mediante captaciones no reguladas. Dicha actividad impacta significativamente en la disponibilidad de agua para los usuarios ubicados aguas abajo.

Los elementos que ejercen la mayor influencia en la merma del caudal poseen un origen tanto social como natural. En el ámbito social, se documentó la existencia de siete puntos de captación irregular distribuidos a lo largo del tramo, los cuales son responsables del mayor volumen de pérdida hídrica. En contraste, los factores naturales (evaporación e infiltración) generan pérdidas de menor magnitud, estimadas en 30.20 L/s por evaporación y 0.195 m<sup>3</sup>/s por infiltración. La combinación de estos factores resalta la urgencia de establecer mecanismos de control y regulación sobre la utilización ilegal del recurso.

Se sugiere la implementación de un esquema de gestión integral para el control y mantenimiento del cauce. Este plan debería incluir: la erradicación de las tomas informales, la inspección continua de los volúmenes de agua por la entidad competente, y la instalación de equipos de monitoreo y medición hidrométrica. Adicionalmente, se aconseja el revestimiento de los segmentos más vulnerables, la ejecución de jornadas de concientización sobre el uso responsable del agua, y el fortalecimiento de la articulación entre H2Olmos y la Autoridad Nacional del Agua.

## RECOMENDACIONES

Se aconseja que las investigaciones futuras extiendan el horizonte temporal del estudio. Es crucial llevar a cabo aforos tanto en las temporadas de estiaje (secas) como en las de máximas precipitaciones (lluviosas). Este enfoque es vital para obtener un análisis exhaustivo de la fluctuación estacional del caudal y de la eficiencia con la que el río Olmos transporta el agua. Al proceder de esta manera, se conseguirán datos más concluyentes y se podrán definir con mayor precisión los patrones hidrológicos anuales.

Por otro lado, para obtener una evaluación más completa del sistema, se propone incrementar el número de puntos de muestreo de caudal a lo largo del cauce. Adicionalmente, se recomienda ampliar el segmento del río bajo estudio para abarcar sectores colindantes al proyecto de irrigación. Este incremento en la cobertura facilitará la localización precisa de las secciones con mayores pérdidas de caudal y la identificación de las áreas donde se concentra la extracción ilegal o no regulada del recurso hídrico.

Además, es imperativo que las siguientes etapas de investigación incorporen el uso de modelos numéricos (como HEC-RAS o MIKE 11) y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Su aplicación permitirá simular el comportamiento del flujo de agua, estudiar diferentes escenarios de pérdida por fenómenos como la infiltración, la evaporación y la fricción del cauce, y, por último, delimitar las áreas con el mayor potencial para elevar la eficiencia de conducción del río.

Se sugiere complementar los análisis puramente técnicos con estudios de corte social, incluyendo entrevistas o sondeos dirigidos a los usuarios de agua locales y a otros actores relevantes en la administración del recurso. Un examen profundo de los factores sociales, económicos y de gobernanza permitirá la creación de estrategias más eficaces. Estas estrategias deben orientarse a disminuir las captaciones de agua no formalizadas, fomentar una cultura de uso responsable y fortalecer el manejo sostenible del agua dentro de la cuenca del río Olmos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, L. (2024) *Delimitación de la Cuenca Olmos*. Recuperado de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-senor-de-sipan/egtopografia-y-geomatrica-ingenia-civil/delimitacion-de-la-cuenca-olmos-arccgis-proyecto-630000/128155884>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2019) *Manual para la realización de aforos de caudal en fuentes superficiales de agua*. Recuperado de <https://www.metropol.gov.co/area/Documents/transparencia/M-GAA-RR-03%20Manual%20para%20la%20realizaci%C3%B3n%20aforos%20caudal%20fuentes%20superficiales.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua (2013) *Evaluación de los Recursos Hídricos en Cabecera de las Subcuencas de las Provincias de Andahuaylas y Chincheros*. Recuperado de [https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/49/ANA0000515\\_1.pdf?sequence=2](https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/49/ANA0000515_1.pdf?sequence=2)
- Bateman, A. (2007) Hidrología Básica y Aplicada. *Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos*. Recuperado de <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Bentancor, L. (2013) Hidrometría. *Universidad de la República*. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Hidrometria%202013.pdf>
- Cieza, J. (s.f.) Determinación de la rugosidad " n " del cauce del río Cumbaza sector puente atumpampa por el Método de Cowan. *Universidad Nacional de San Martín*. Recuperado de [https://www.academia.edu/36552542/DETERMINACI%C3%93N\\_DE\\_LA\\_RUGOSIDAD\\_n\\_DEL\\_CAUCE\\_DEL\\_R%C3%8DIO\\_CUMBAZA\\_SECTOR\\_PUENTE\\_ATUMPAMPA\\_POR\\_EL\\_M%C3%89TODO\\_DE\\_COWAN\\_HIDRAULIC%20A\\_DE\\_RIOS](https://www.academia.edu/36552542/DETERMINACI%C3%93N_DE_LA_RUGOSIDAD_n_DEL_CAUCE_DEL_R%C3%8DIO_CUMBAZA_SECTOR_PUENTE_ATUMPAMPA_POR_EL_M%C3%89TODO_DE_COWAN_HIDRAULIC%20A_DE_RIOS)
- Escuela Colombiana de Ingeniería (s.f) *Hidráulica fluvial. Conceptos generales sobre morfología, dinámica y el transporte de sedimentos en ríos aluviales*. Ecuaciones y métodos de uso más extendido para su evaluación y cálculo. Recuperado de [https://transportesedimentos.tripod.com/esp/pagina\\_nueva\\_16.htm](https://transportesedimentos.tripod.com/esp/pagina_nueva_16.htm)

- FAO (2006) *Permeabilidad del Suelo*. Recuperado de [https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm#top](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm#top)
- Fierro, J.; Parra, A. & Vasquez, C. (2017) Determinación del coeficiente de permeabilidad de las comunas 1, 3 y 5 del Municipio de Girardot - Cundinamarca. (Tesis de licenciatura) *Universidad Piloto de Colombia*. Recuperado de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5643/TRABAJO%20FINAL.pdf?sequence=1>
- H2OImos (2027) *Proyecto Irrigación Olmos*. Concesiones de irrigación H2OImos.
- H2OImos (2024) *Identificación de tomas de agua en el cauce del río Olmos, Bocatoma La Juliana - Bocatoma Miraflores*. Concesiones de irrigación H2OImos
- Hidalgo, L. (2017) *Guía práctica para aforar en canales y cauces naturales , utilizando instrumentación básica y de bajo costo*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18851/1/CD-8242.pdf>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2017) *Prospección Geoquímica Regional de las Cuencas de la vertiente Pacífica al Norte del Paralelo 8°00' Sur*. INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica N° 44. Recuperado de [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/863/1/B-044-Boletin\\_Prospeccion\\_geoquimica\\_regional\\_cuenca\\_vertiente\\_pacifica\\_norte.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/863/1/B-044-Boletin_Prospeccion_geoquimica_regional_cuenca_vertiente_pacifica_norte.pdf)
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (2017) Manual de Medición de Caudales. Recuperado de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- Marbello, R. V. (2005). Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21725>
- Mogollón, D. & Sanchez, E. (2018) Análisis de Estabilidad de Cauces en ríos de montaña empleando el método químico. *Ciencia e Ingeniería*. Vol. 39, N°3, pp. 223-230. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557607002/507557607002.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego (2015) *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Recuperado de

[https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf)

- Nava, A. & Cortes, D. (s.f.) Hidráulica de ríos. (Tesis de licenciatura) *Instituto Politécnico Nacional*. Recuperado de [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4632/358\\_HIDRAULICA%20DE%20RIOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4632/358_HIDRAULICA%20DE%20RIOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- OTT Hydromet (2019) *OTT C31: el original. Molinete universal para medir la velocidad del agua en ríos y cauces abiertos*. Recuperado de <https://www.ott.com/es-la/productos/download/catalogo-molinete-universal-ott-c31-1/>
- Pastora, D. (2010) *Evaluación de la fórmula de Manning en el Río Ostua* (Tesis de postgrado) *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0398\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0398_MT.pdf)
- Rocha, A. (s.f.) *La bocatoma, estructura clave en un proyecto de aprovechamiento hidráulico*. Recuperado de [https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/ROCHA/La\\_bocatoma.PDF](https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/La_bocatoma.PDF)
- Senamhi (2018) *Manual de Hidrometría*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-924.pdf>

## ANEXOS

**Anexo N° 1:** Visualización del primer punto de referencia - Bocatoma La Juliana



**Anexo N° 2:** Visualización del segundo punto de referencia - Bocatoma Miraflores



### **Anexo N° 3:** Identificación de las secciones de aforo

#### Sección 1 aguas abajo de Bocatoma La Juliana



## Sección 2 aguas arriba de Bocatoma Miraflores



**Anexo N° 4:** Estimación de coordenadas de las secciones de aforo con GPS GARMIN



## Anexo N° 5: Identificación de tomas de agua informales

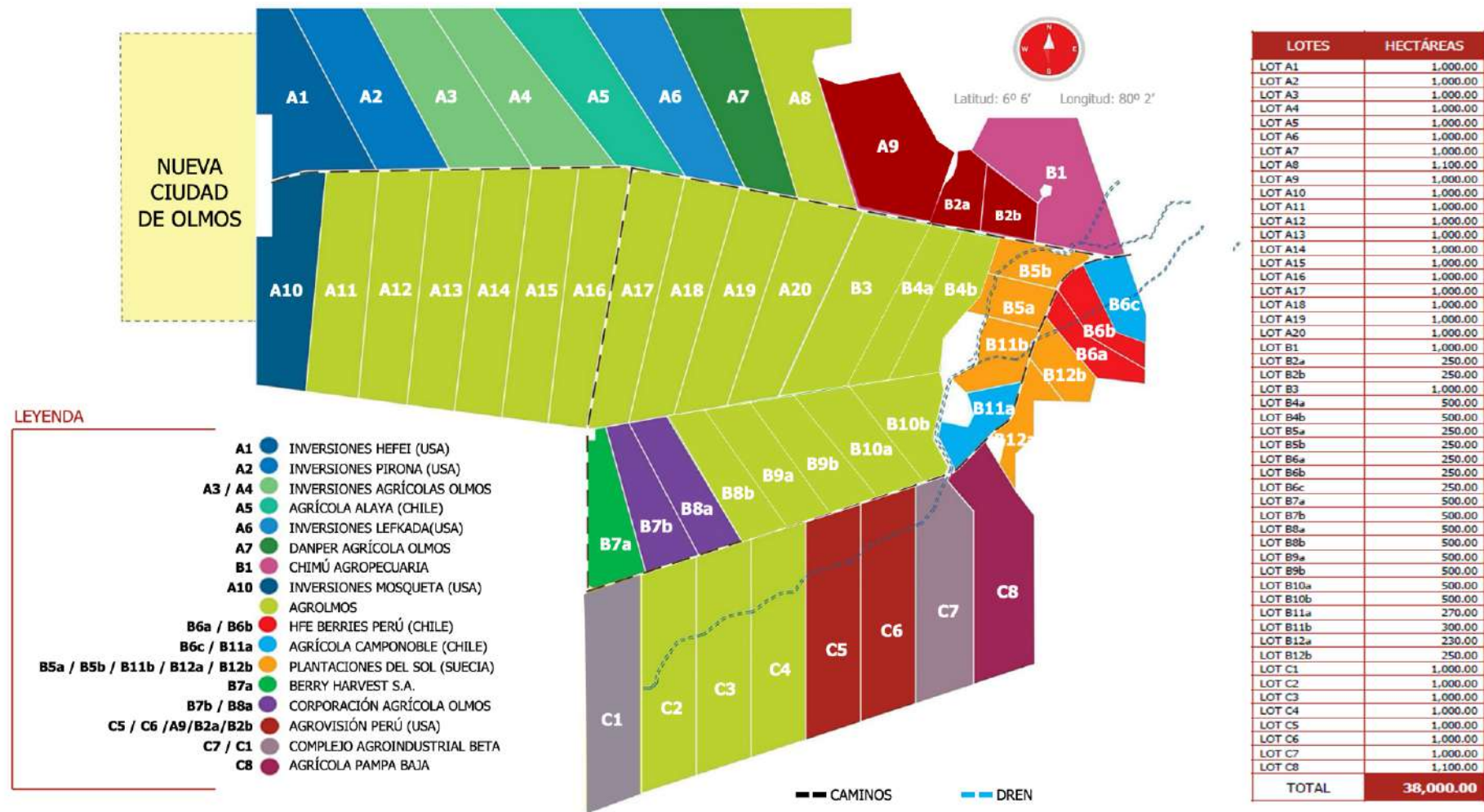


**Anexo N° 6:** Registro del seccionamiento, cálculo del área y velocidad para hallar el caudal aforado con la ayuda del correntómetro en ambas secciones identificadas





Anexo N° 7: Esquematización de Usuarios Poligonal Tierras Nuevas



## Anexo N° 8: Mapa general del Proyecto Irrigación Olmos - Sistema SCADA

