"ESTUDIO HIDROLÓGICO PARQUE FOTOVOLTAICO MONTERRICO SOLAR"

LÍNEA BASE HÍDRICA

Agosto de 2026

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 4
2. OBJETIVOS 4
2.1. Objetivo General 4
2.2. Objetivos Específicos 4
3. AREA DE ESTUDIO 5
4. METODOLOGÍA 7
5. HIDROLOGÍA GENERAL 8
5.1. Geomorfología 8
5.2. Antecedentes Climáticos 10
5.3. Temperatura 11
5.4. Pluviometría 12
5.5. Usos de suelo 14
5.6. Hidrografía general 15
6. HIDROLOGÍA LOCAL 16
6.1. Identificación de Cursos de Agua: 16
6.2. Identificación de Cuerpos de Agua: 34
6.3. Análisis Hidrológico-Hidráulico Cauces Naturales 38
6.3.1. Caracterización hidrográfica 39
6.3.2. Precipitaciones máximas 41
6.3.3. Método Racional 43
6.3.4. Método DGA-AC y Verni y King Modificado 45
6.3.5. Método de la Curva Número e Hidrograma Sintético Unitario 45
6.3.6. Método Transposición de caudales 47
6.3.7. Resumen caudal máximos estimados por cuenca 50

6.4. Modelación hidráulica Cauces Naturales 51
6.4.1. Consideraciones Generales 51
6.4.2. Resultados Obtenidos 53
6.4.3. Superficie de inundación 60
7. ANÁLISIS APLICABILIDAD DE PERMISO DE MODIFICACIÓN DE CAUCE. 61
8. CONCLUSIONES 64

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como finalidad, realizar un estudio de línea de base hídrica con el fin de respaldar el desarrollo del proyecto Monterrico Solar, en adelante "Proyecto", el cual incluye la instalación de un parque fotovoltaico y una línea eléctrica de alta tensión (ahora en adelante LAT o LEAT).

El proyecto de parque fotovoltaico se encuentra ubicado en la comuna de Coihueco mientras que la LAT abarca las comunas de Coihueco y Chillán, tal como muestra la ilustración 1.

Este estudio se enfocará en realizar una caracterización hidrológica e hidráulica de la zona de emplazamiento del proyecto. Para lo cual se determinarán componentes como el clima, temperatura, precipitaciones, entre otros.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Determinar las características hidrológicas generales, y el comportamiento hidráulico estimado para llevar a cabo el proyecto, con el fin de evaluar los cauces que podrían afectar el emplazamiento del parque fotovoltaico y de la línea de alta tensión.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia de la geomorfología, el clima, la temperatura, la pluviometría y el suelo en el comportamiento hídrico de los cauces en el área de emplazamiento del proyecto.
- Determinar los cauces y cuerpos de agua que se encuentran en el lugar de emplazamiento del proyecto.
- Determinar las características hidrológicas generales y locales del lugar de emplazamiento del parque fotovoltaico, línea de alta tensión y caminos de acceso.

3. AREA DE ESTUDIO

El proyecto se encuentra ubicado en las comunas de Chillán y Coihueco, región de Ñuble, como muestra la ilustración 1.

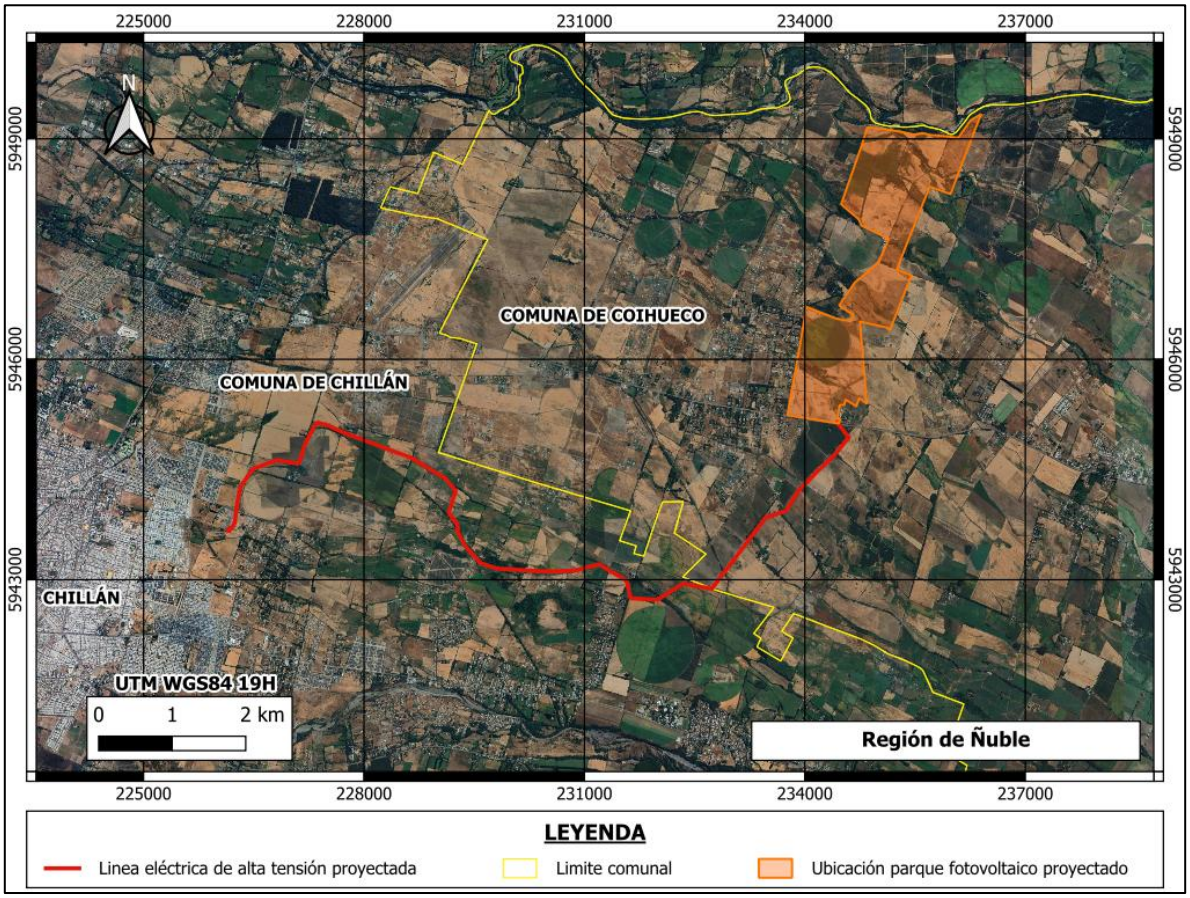


Ilustración 1. Imagen satelital del área de proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

El parque fotovoltaico se proyecta en la comuna de Coihueco y posee un área total de 357 hectáreas aproximadamente. La línea eléctrica de alta tensión (LAT) recorre de oriente a poniente abarcando la comuna de Coihueco y la comuna de Chillán, con un largo total de 12.3 km aproximadamente.

De acuerdo con los registros de las Cartas IGM y del Observatorio Georreferenciado de la DGA, en el área de emplazamiento del proyecto se pueden identificar los siguientes cauces, tal como se muestra en la ilustración 2.

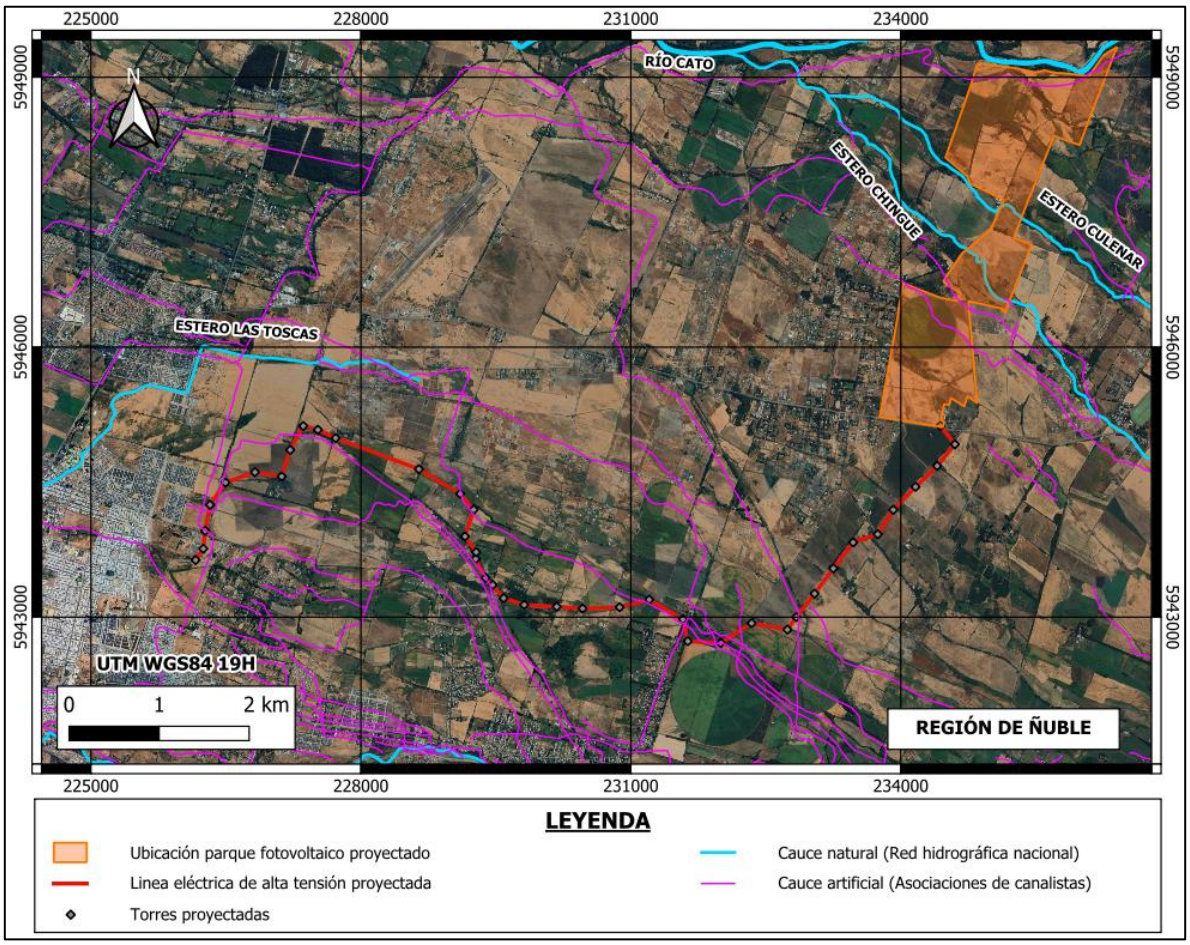


Ilustración 2. Cauces encontrados en el área de emplazamiento del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

El estudio consta de un cuerpo principal, el cual consiste en una caracterización hidrológica, que considera recopilar los antecedentes disponibles en la bibliografía de referencia a la componente hídrica, para luego analizar la información con respecto al desarrollo del proyecto.

Los antecedentes bibliográficos fueron extraídos de diversos estudios previos realizados por la Dirección General de Aguas, así como por algunos informes emitidos por esta Dirección, entre ellos se pueden resaltar los siguientes:

- Balance Hídrico de Chile.
- Precipitaciones en 1, 2 y 3 días.
- Guía de Presentación y Aprobación de Proyectos de Modificación de Cauces (DIC 2016).
- Manual de normas y procedimientos - recursos hídricos.
- Levantamiento y Catastro de Bocatomas en Cauces Naturales, Informe Final. (DGA, 2000)

Del mismo modo, se utilizaron algunos mapas disponibles de Sernageomin, geoportal del IDE Chile (Infraestructura de datos geoespaciales), carta IGM (Instituto Geográfico Militar) y del Atlas Geográfico de la República de Chile. 2005 (IGM).

Finalmente, también fueron consideradas las Guías para permisos ambientales sectoriales del SEA, específicamente las correspondientes al Artículo 155, 156 y 157, a fin de determinar las características y propiedades de los cauces para su aplicabilidad.

5. HIDROLOGÍA GENERAL

5.1. Geomorfología

La geomorfología como componente de influencia en la hidrología permite establecer características y propiedades esperadas para el comportamiento hídrico, ya que, dependiendo de este rasgo, se puede discernir particularidades generales de los cauces en el sector de emplazamiento del proyecto, como pendientes, tipos de flujos esperados, capacidad de escorrentía entre otros.

El proyecto se ubica en la región del Ñuble donde, según R. Börgel (1983), corresponde a un llano central fluvio-glacio-volcánico que se encuentra entre la cordillera de la Costa y la precordillera. Esta formación geomorfológica es resultado de procesos geológicos complejos, combinando la acción de ríos, glaciares y actividad volcánica a lo largo del tiempo. La topografía predominante presenta suaves pendientes y terrazas fluviales que reflejan la dinámica de sedimentación y erosión fluvial. Además, el área se caracteriza por depósitos volcánicos y glaciares que han contribuido a la conformación del relieve actual, proporcionando suelos con alta capacidad de drenaje y una notable heterogeneidad en su estructura. Estos factores geológicos son relevantes para la evaluación del comportamiento hídrico en la zona, dado que influyen en el régimen de escorrentía y la infiltración del agua en los sistemas acuíferos locales.

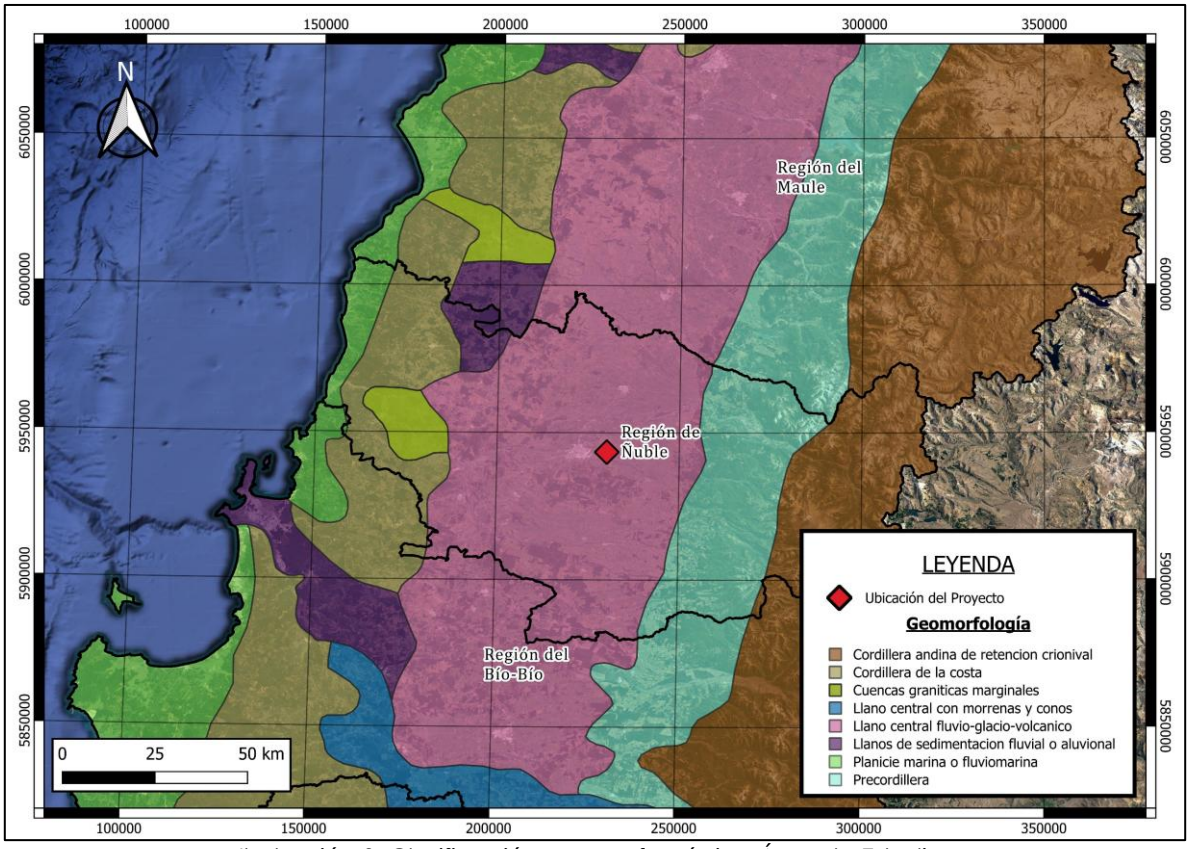


Ilustración 3. Clasificación geomorfomógica Área de Estudio
Fuente: IGM. Atlas Geográfico de la República de Chile. 2005

A nivel regional, se identifican cinco unidades morfológicas principales que, de oriente a poniente, son: la Cordillera Andina, la Precordillera (también denominada "La Montaña"), la Depresión Central, la Cordillera de la Costa y las Planicies Litorales (Börgel, 1983). Estas unidades están dispuestas en general con una orientación norte-sur.

La Cordillera de los Andes, se caracteriza por su relieve abrupto y pronunciadas pendientes, con alturas promedio de 2.000 m sobre el nivel del mar. Entre sus cumbres destacan varios conos volcánicos, como Chillán (3.212 m), Antuco (2.985 m), Copahue (2.965 m) y Callaqui (3.164 m). Esta cordillera es el origen de las principales cuencas hidrográficas de la región, siendo las cuencas del río Itata y del río Biobío las más relevantes para el área de estudio. Los principales ríos que drenan hacia el oeste, como los ríos Longaví, Perquilauquén, Ñuble, Chillán y Diguillín, han generado incisiones profundas en el macizo cordillerano, lo que destaca la importancia de esta unidad morfológica como fuente de acumulación de nieve que alimenta los importantes cursos fluviales de la cuenca.

La unidad conocida como Precordillera actúa como un nexo entre la Cordillera de los Andes y la Depresión Central. Su altitud varía entre los 400 y 600 m sobre el nivel del mar y se estrecha hacia el sur. Esta área ha sido intensamente erosionada por los principales ríos, resultando en la formación de valles bien definidos debido al modelado fluvial. Al norte del río Cato, el límite entre esta unidad y la Depresión Central es claramente reconocible, mientras que, al sur, la transición entre la Depresión Intermedia y la Precordillera se presenta de manera más gradual.

5.2. Antecedentes Climáticos

Según el Manual de Geografía de Chile (clasificación de Köppen) y "Climatología Regional" de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC, 2001), el área de proyecto se encuentra en la zona climática "Csb" que corresponde a un clima mediterráneo de lluvia invernal. El clima le permite un sello transicional a la Región de Ñuble, lo cual se puede visualizar en la Ilustración 4:

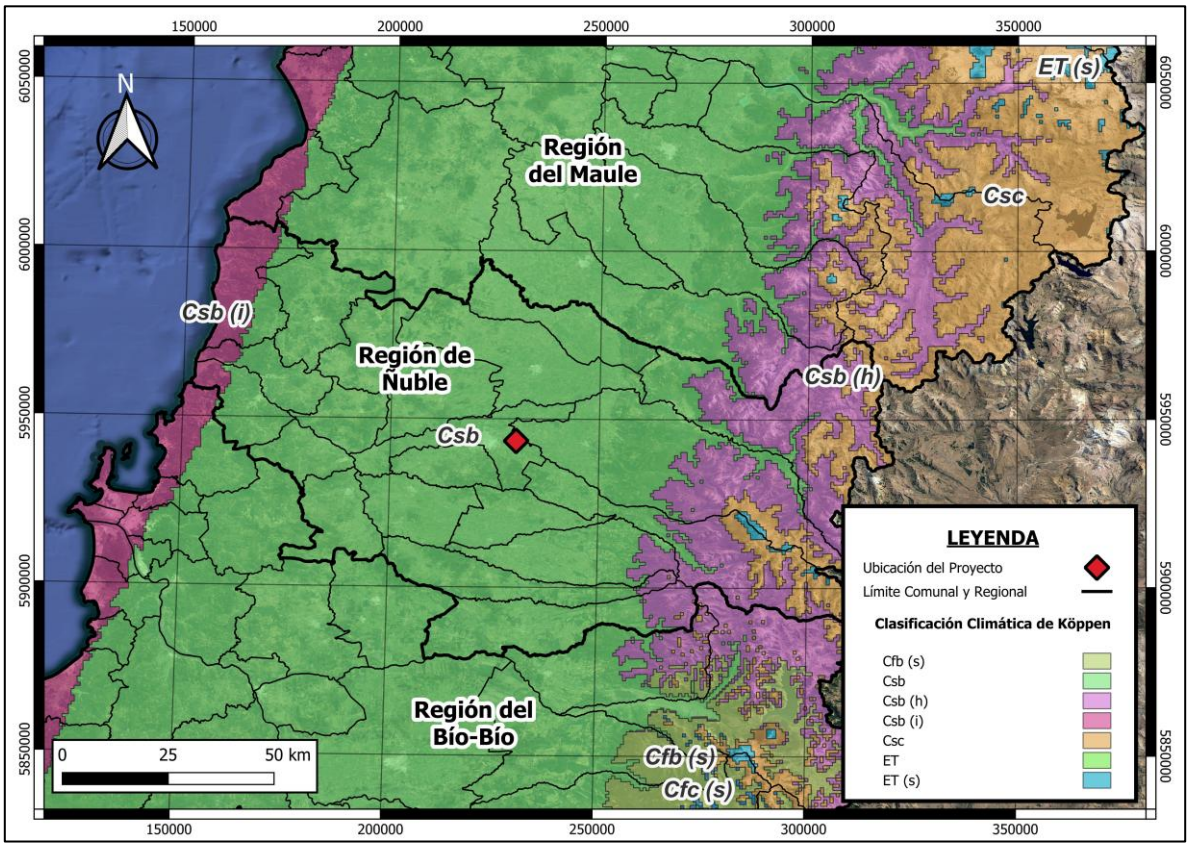


Ilustración 4. Zonas climáticas de Chile según Köppen.
Fuente: Geoportal, IDE Chile.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada, las comunas de Coihueco y Chillan presentan tres tipos de clima. El predominante es el Templado cálido con lluvias invernales (Csb), que se extiende prácticamente por todo el territorio de ambas comunas. Hacia el este, en el sector cordillerano, se observan dos climas adicionales: el Templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (Cfsb) y el clima de tundra debido a la altitud (ETH). Esta diversidad climática se debe a la variación en la altitud y la influencia de los patrones de precipitaciones a lo largo de la región.

El clima de la región se enmarca en el sistema climático de Chile Central, caracterizándose por veranos secos y calurosos, así como inviernos húmedos, nublados, lluviosos y fríos. Entre estas dos estaciones, la primavera y el otoño actúan como períodos de transición, especialmente en lo que respecta a las temperaturas y la pluviosidad.

Durante el verano, predominan los vientos anticiclónicos provenientes de los sectores suroeste y sur, mientras que en invierno se registran vientos ciclónicos que influyen de manera significativa en las condiciones climáticas de la región. Este patrón de vientos contribuye a la variabilidad del clima, afectando tanto la temperatura como la distribución de las precipitaciones a lo largo del año.

Las precipitaciones por su parte se presentan mayoritariamente en meses invernales (entre mayo y agosto) las cuales alcanzan anualmente una precipitación media de 1080 mm.

5.3. Temperatura

El clima del área de emplazamiento del proyecto, corresponde a un clima de lluvia invernal, cuya principal característica es que las precipitaciones se presentan en los meses de mayo y julio, mientras que en enero y febrero corresponden a los meses más secos y con déficit hídrico. La temporada más fría dura 3 meses aproximadamente, y la temperatura promedio diaria en ese período menor a 7.7 °C.

El mes más frío del año es julio, con una temperatura mínima promedio de 3.8 °C y máxima promedio de 12.3 °C. Además, se puede observar que el sector de estudio se encuentra muy cercano a la isoterma de 14°C como se ilustra en el Mapa de Isotermas a continuación.

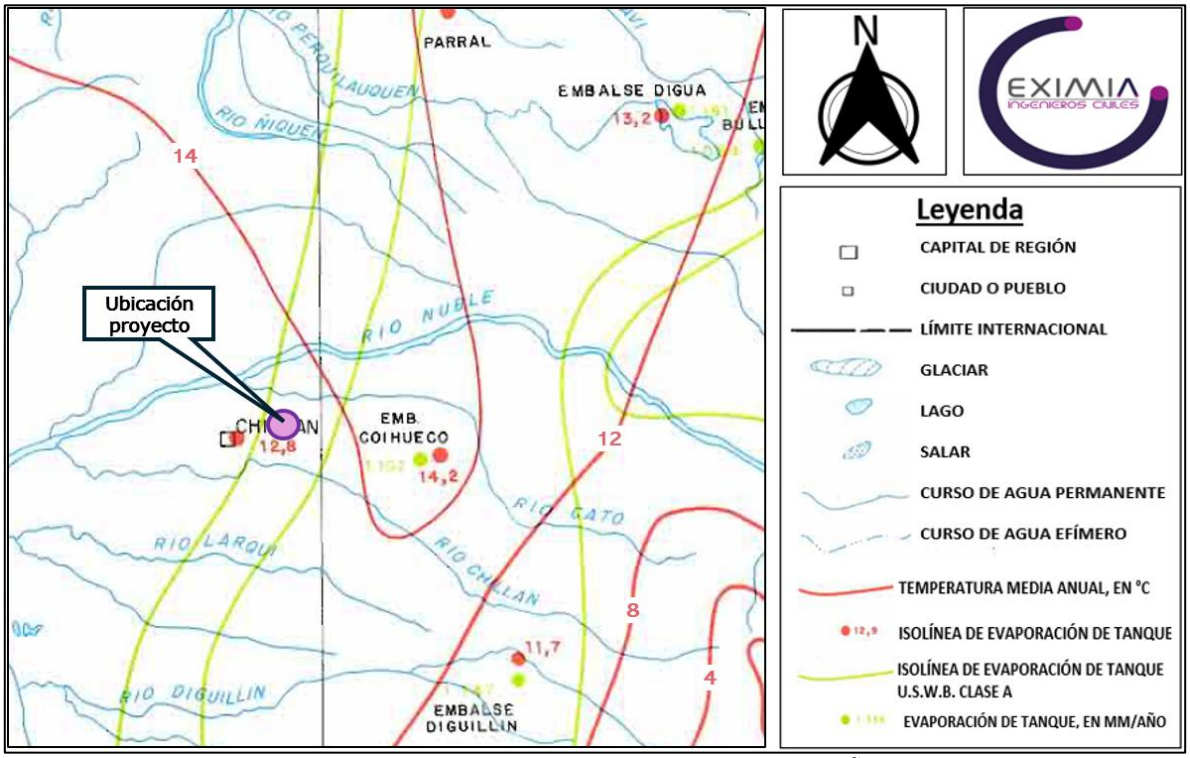


Ilustración 5. Mapa de Isotermas de la Región del Ñuble
Fuente: Balance Hídrico de Chile, DGA.

5.4. Pluviometría

En la región, las precipitaciones varían considerablemente según la altitud y la ubicación geográfica. En la franja costera y las laderas occidentales de la Cordillera de la Costa, las lluvias anuales oscilan entre 800 mm y 1.000 mm, distribuidas de manera uniforme de norte a sur. Hacia el interior, las precipitaciones aumentan, alcanzando entre 1.000 mm y 1.500 mm al año. En estas zonas, se observa un marcado período seco de alrededor de cuatro meses. El valle longitudinal, que abarca gran parte de la zona intermedia, experimenta esta variación de forma notable.

En la Cordillera de los Andes, por encima de los 1.500 metros de altitud, las precipitaciones superan los 2.000 mm anuales. La mayor acumulación de lluvias, sumada a las bajas temperaturas, favorece la presencia de nieve permanente en las cumbres más elevadas.

Específicamente el área en estudio presenta precipitaciones medias anuales cercanas a los 1.000 mm/año y la precipitación máxima en 24 horas asociada a un período de retorno de 10 años, P (24,10), es aproximadamente 115 mm/día como muestran la Ilustración 6 e Ilustración 7 respectivamente

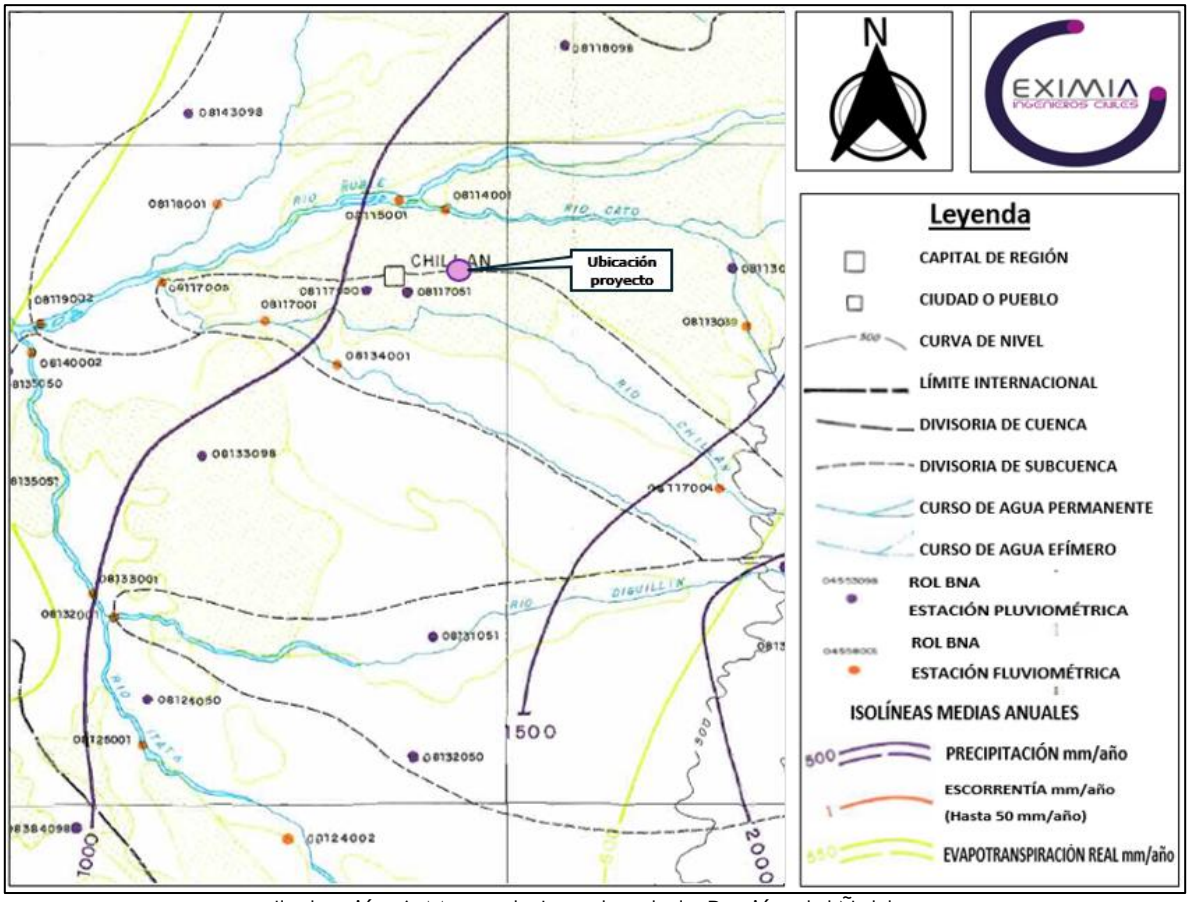


Ilustración 6. Mapa de Isoyetas de la Región del Ñuble
Fuente: Balance Hídrico de Chile, DGA.

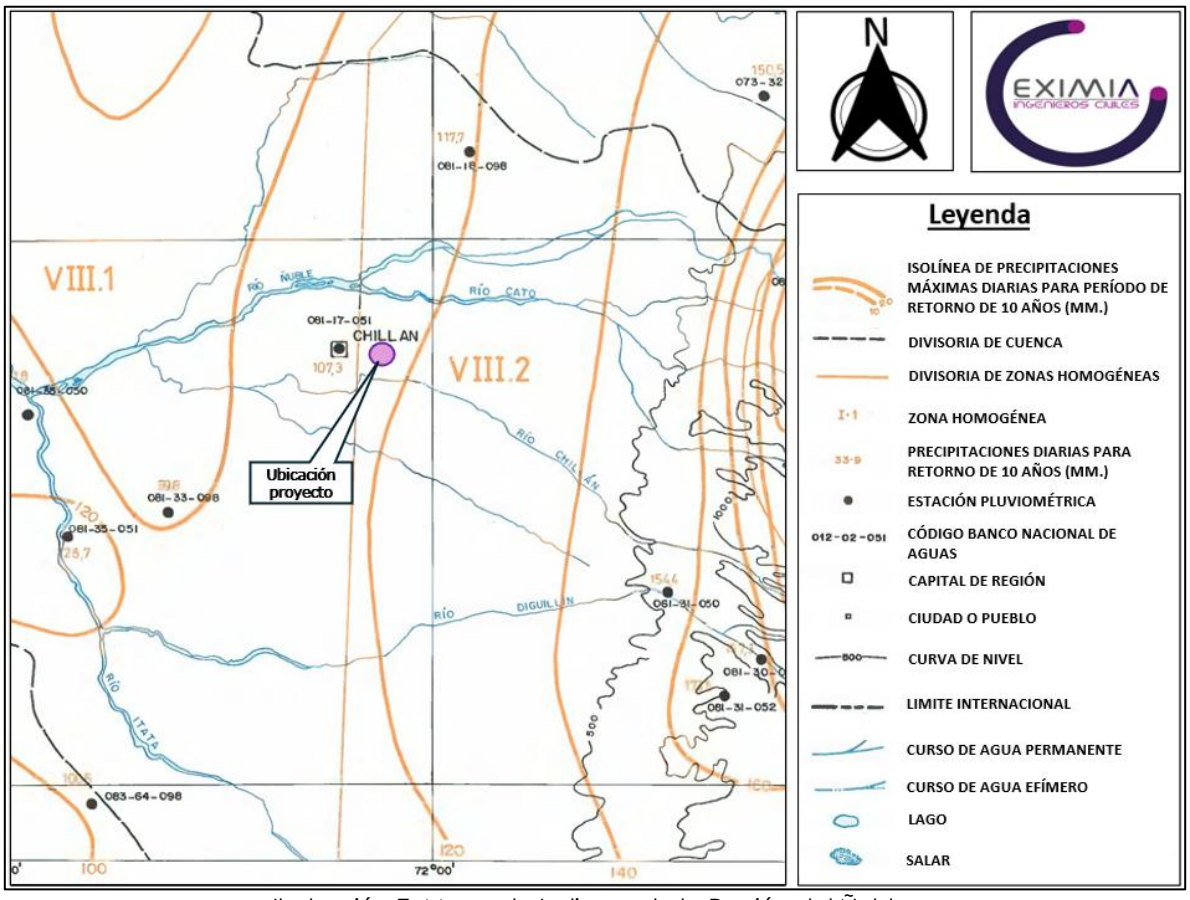


Ilustración 7. Mapa de Isolineas de la Región del Ñuble
Fuente: Precipitaciones máximas en 1,2 y 3 días, DGA.

Conforme con lo visto anteriormente, las precipitaciones medias anuales de la región varían según la ubicación en análisis, lo que también influye en el régimen pluviométrico esperado.

5.5. Usos de suelo

El sector en estudio presenta un área con predominio de uso, correspondientes a terrenos agrícolas, según se puede ver en la siguiente ilustración:

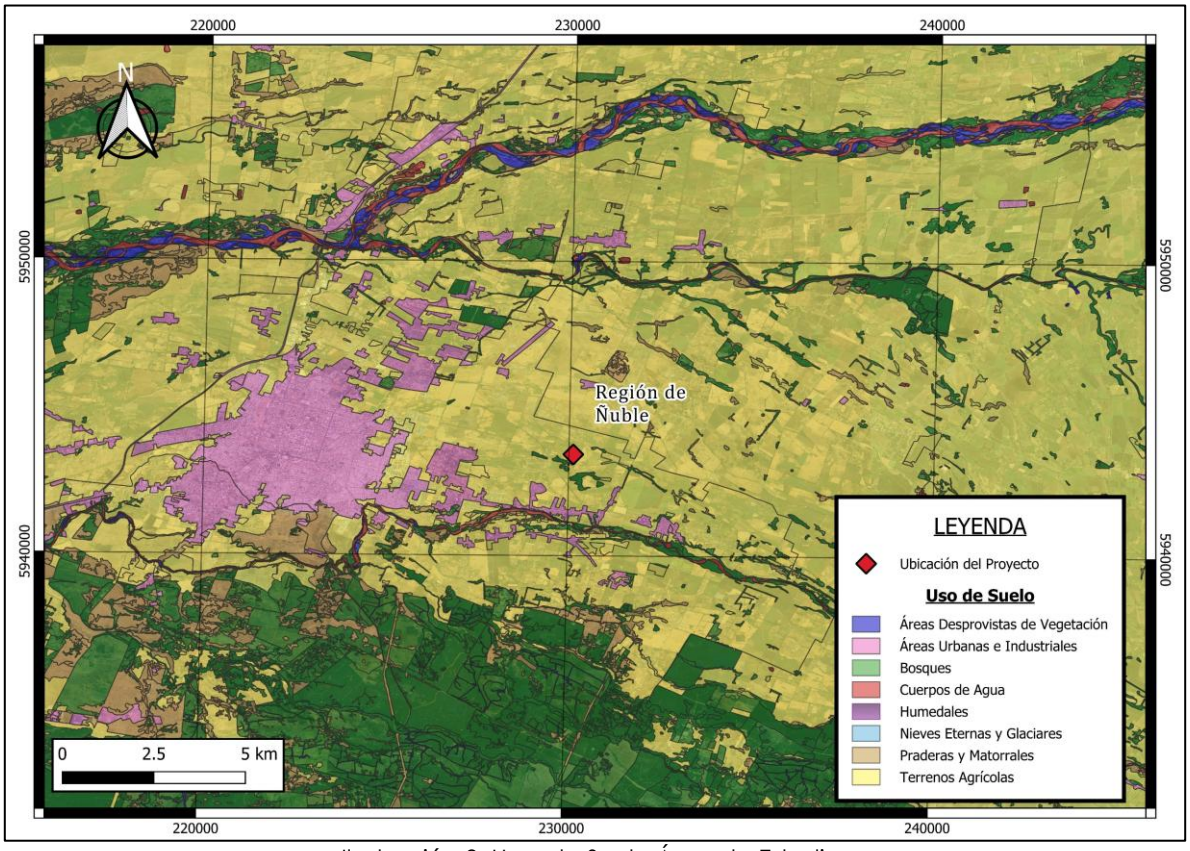


Ilustración 8. Usos de Suelo Área de Estudio
Fuente: Elaboración propia.

Dado que la mayor parte del emplazamiento del proyecto se encuentra en terrenos de uso agrícola, es común la presencia de numerosos canales artificiales, cuya principal función es el riego de cultivos. Estos canales son fundamentales para el manejo y distribución del recurso hídrico en la zona, permitiendo optimizar el uso del agua disponible y garantizar la productividad agrícola en el área

5.6. Hidrografía general

En el área de estudio, el álveo principal identificado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) corresponde al río Chillán, que fluye de oriente a poniente. En el sector del parque fotovoltaico se encuentran el estero Chingue, estero Culenar y el río Cato, todos ellos cauces naturales. Estos cursos de agua al presentar un régimen hidrológico natural deberán ser analizados individualmente para evaluar su interacción con el proyecto. Por otro lado, se han identificado varios canales artificiales dentro del área de estudio, los cuales serán analizados en detalle en el próximo apartado.

Cabe destacar que el área del proyecto se sitúa entre dos cartas del IGM, por lo que se presenta su ubicación con respecto a ambas (Ver Ilustración 9).

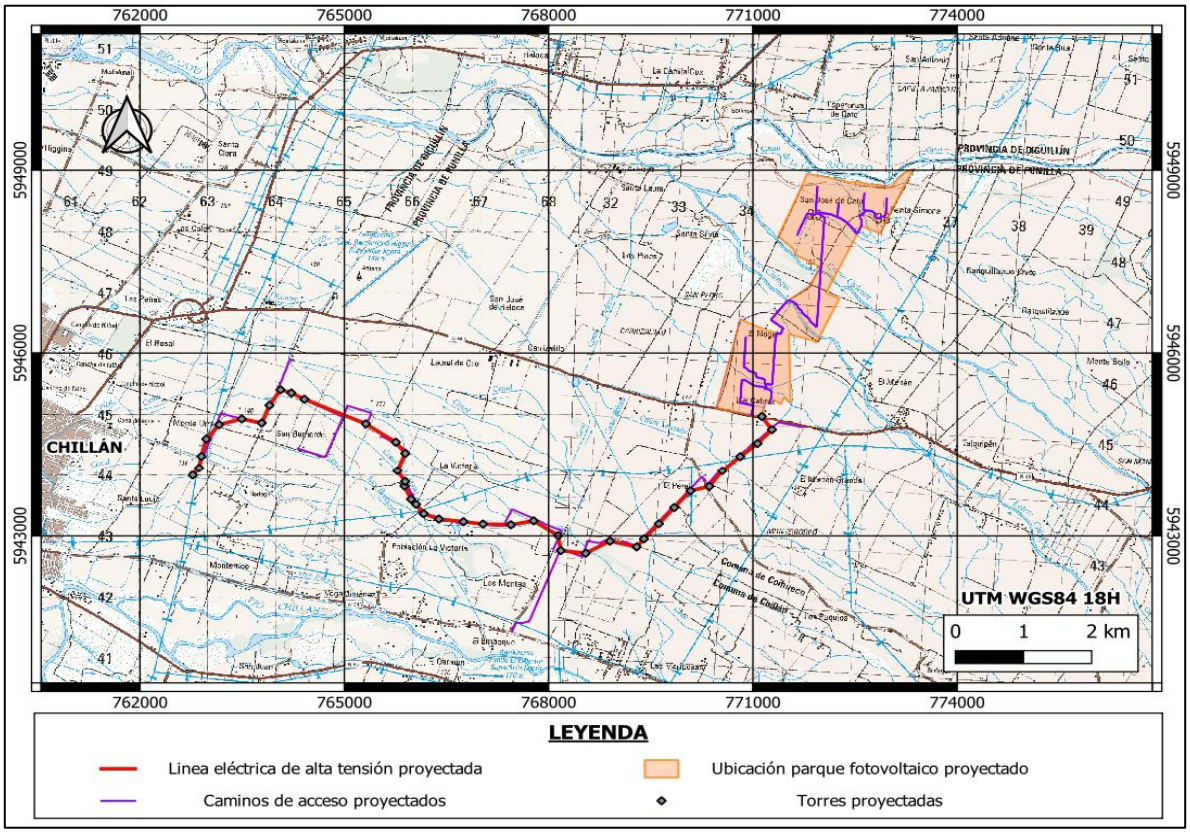


Ilustración 9. Carta IGM en zona de proyecto.
Fuente: Elaboración propia en base a carta IGM F-101 y F-100, Instituto Geográfico Militar.

De acuerdo a la información recopilada, el proyecto se sitúa en la cuenca hidrográfica del Río Itata, específicamente en la subcuenca del Río Chillán, en la Región del Ñuble, Chile.

A lo largo del trazado propuesto para la Línea de Alta Tensión, se han identificado varios cauces mediante el Instituto Geográfico Militar de Chile y el Observatorio Georreferenciado de la DGA, cercanos al área de estudio destacan los cauces del río Chillán, estero Chingue y rio Cato, además de una red de canales artificiales.

6. HIDROLOGÍA LOCAL

6.1. Identificación de Cursos de Agua:

Una vez determinada la red hidrológica general, es posible verificar la red hídrica local, con lo que se puede determinar qué cauces y subcuencas pueden influir en el comportamiento hidrológico del área en estudio. A continuación, se describen los cauces más cercanos al proyecto, distinguiéndose entre cauces oficiales, que están identificados con nombre en las cartas del Instituto Geográfico Militar y el Observatorio Georreferencial de la Dirección General de Aguas, y cauces o canales artificiales sin nombre, que no aparecen en las fuentes oficiales, pero son visibles en el terreno.

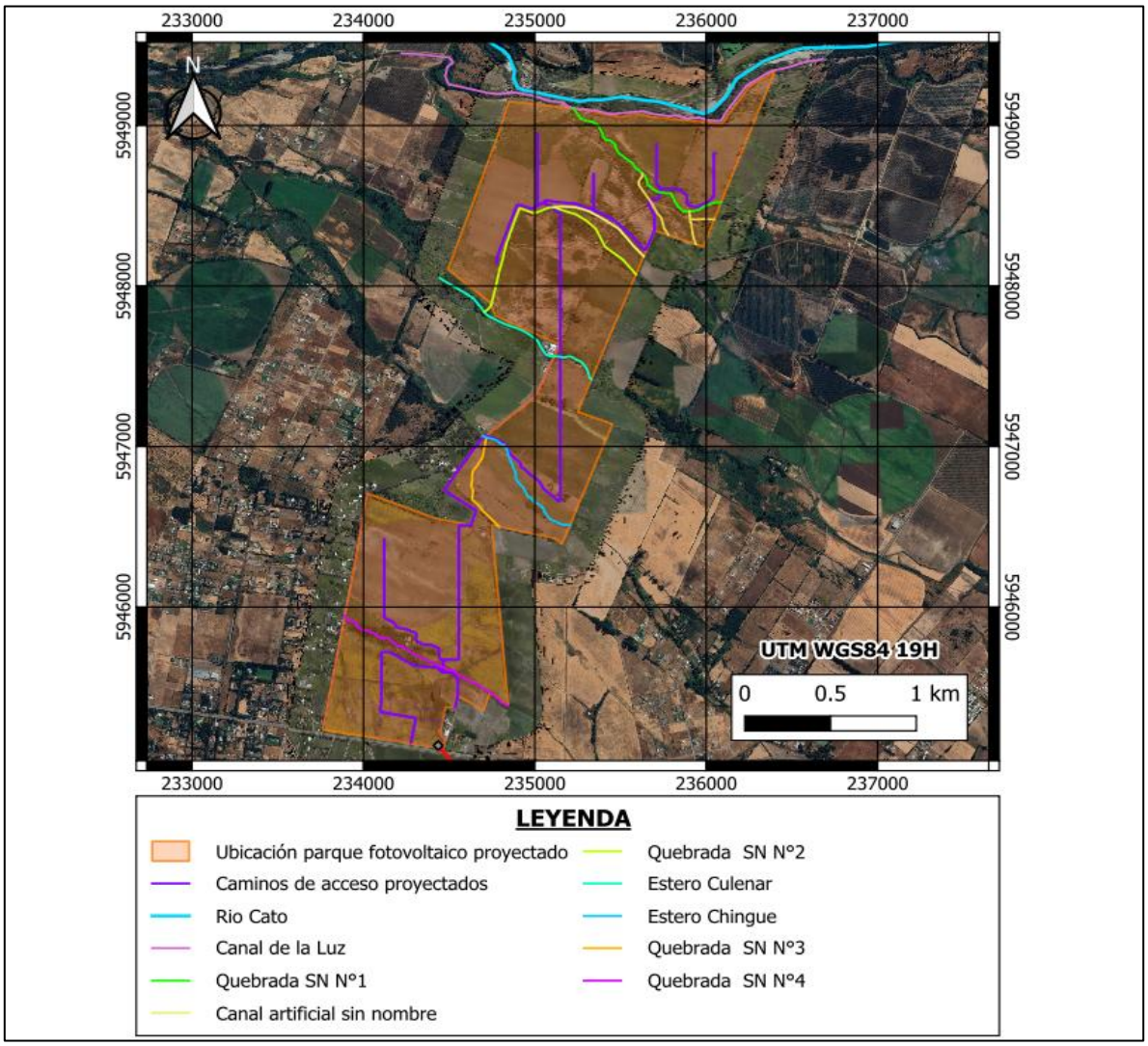


Ilustración 10. Cauces existentes en el área del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

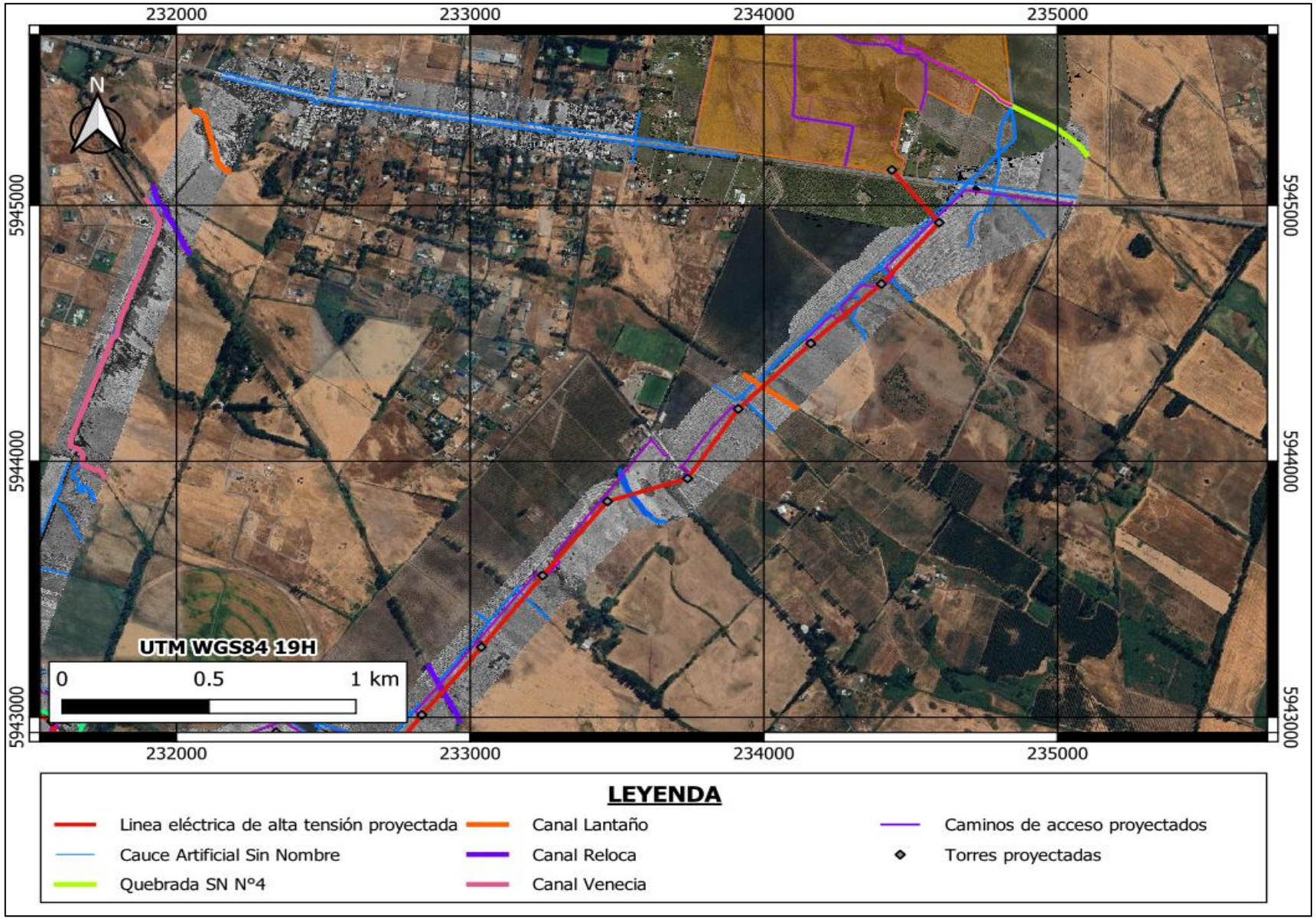


Ilustración 11. Cauces existentes en el área del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

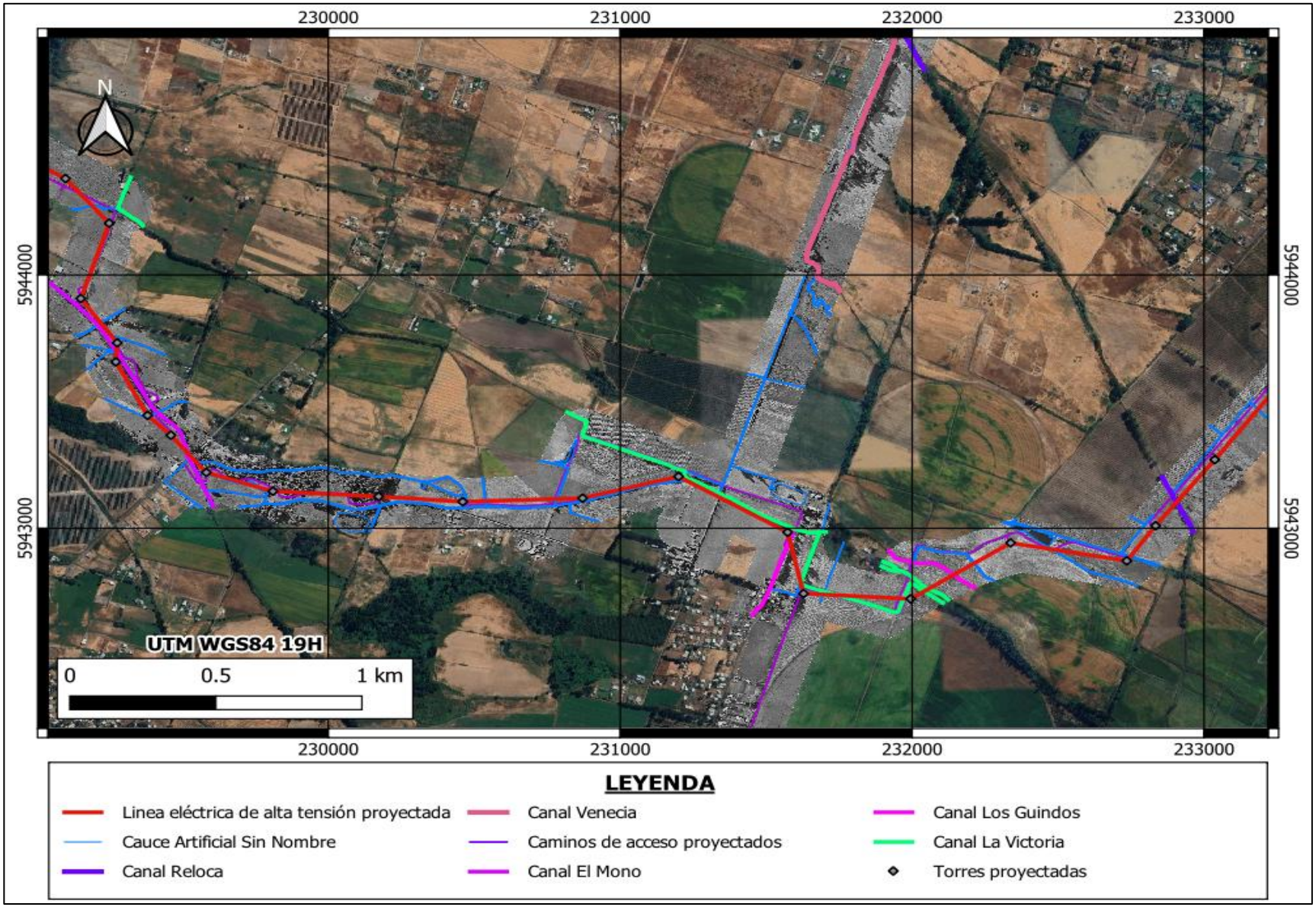


Ilustración 12. Cauces existentes en el área del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

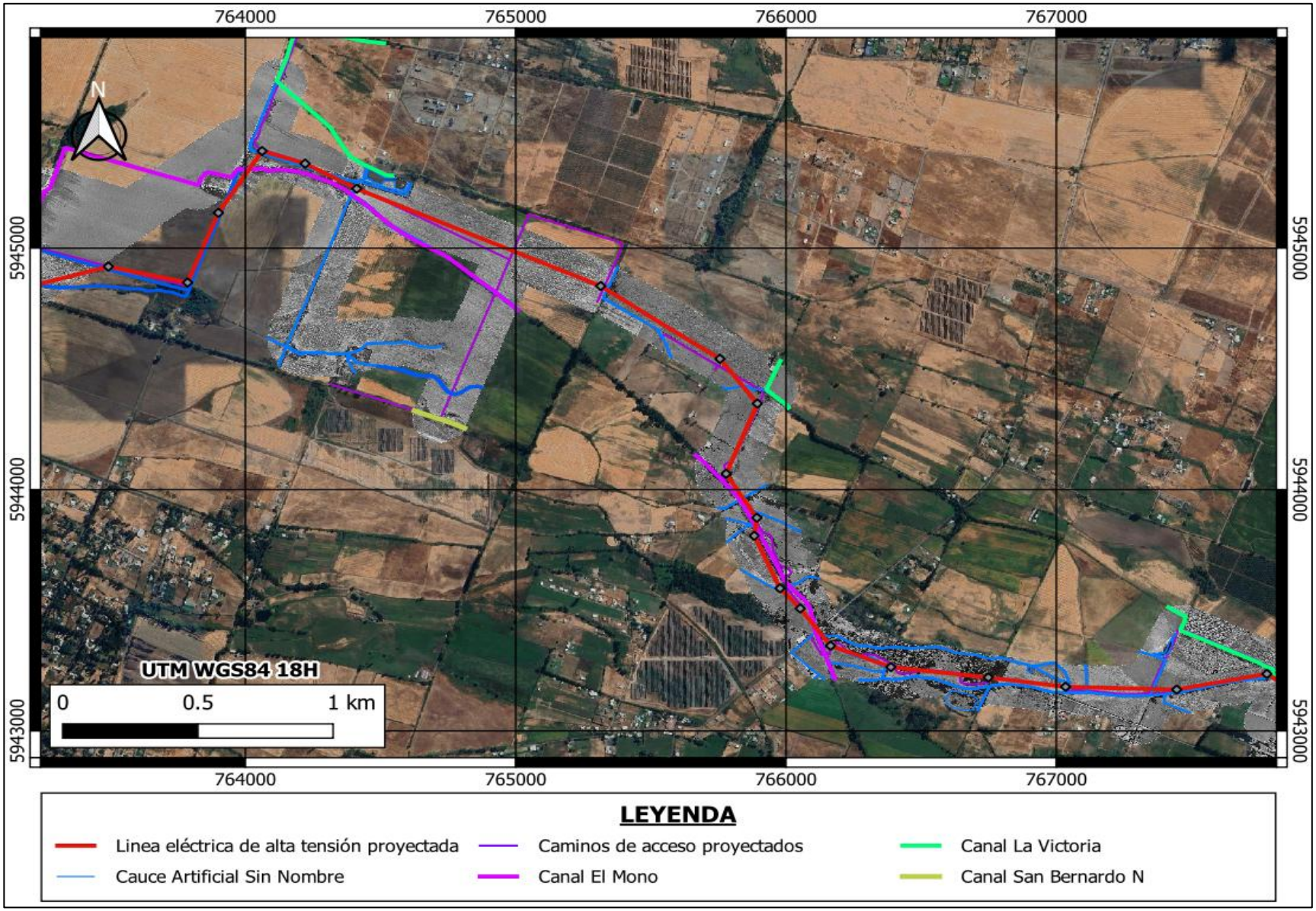


Ilustración 13. Cauces existentes en el área del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

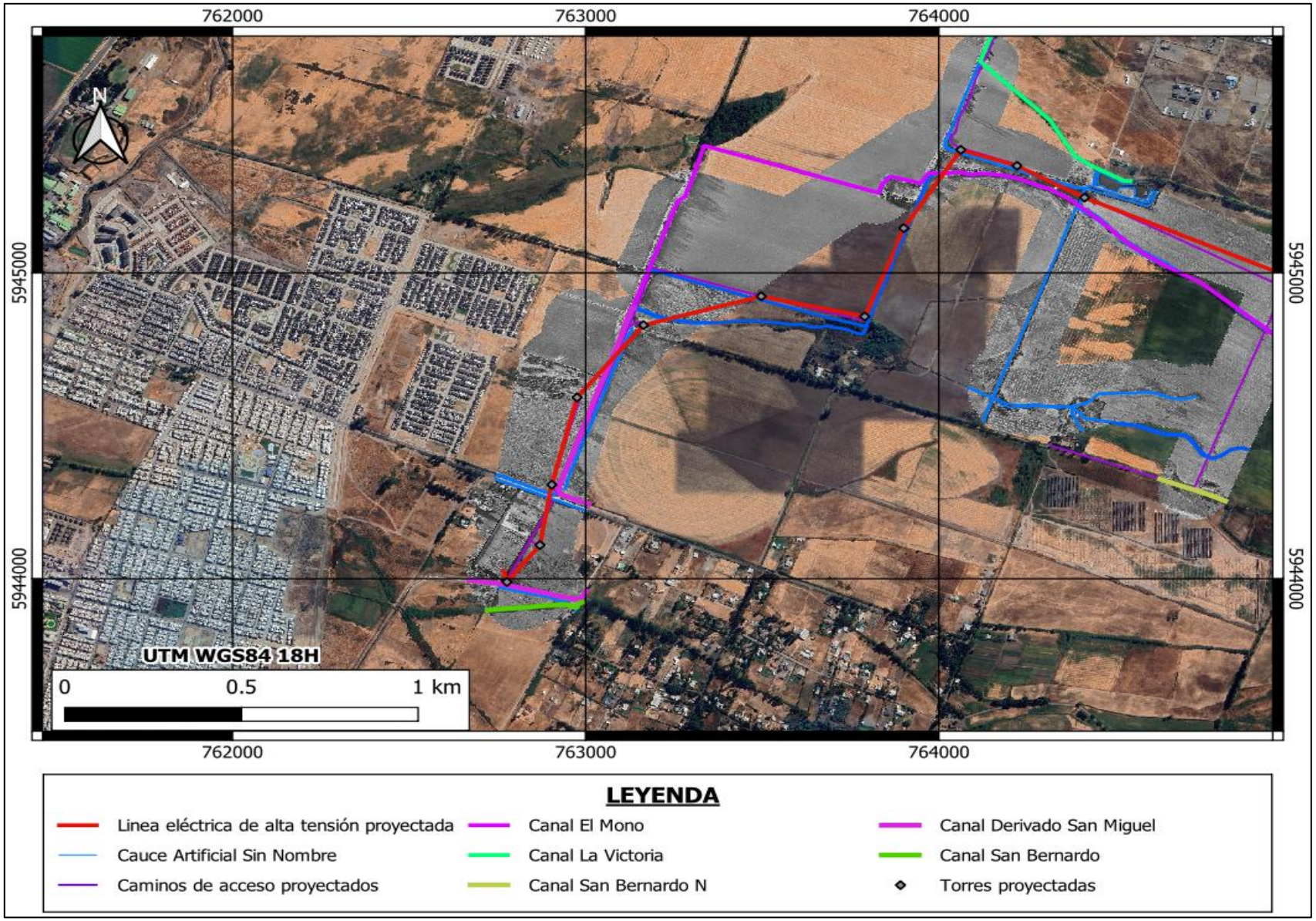


Ilustración 14. Cauces existentes en el área del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

En el área del parque fotovoltaico se identifican cauces naturales como el Rio Cato, Estero Chingue, Estero Culenar y otras quebradas sin nombre, además se identifica un cauce artificial correspondiente al Canal de La Luz.

Los cauces oficiales identificados en el área de la LAT consisten, en su totalidad, en canales artificiales que desempeñan un papel fundamental en la gestión de recursos hídricos en la comuna de Chillán y Coihueco. Entre estos cauces se encuentran el Canal Canal Maitén, Canal Lantaño, Canal Reloca Chillán, Canal Los Guindos, Canal La Victoria, Canal Venecia Chillán, Canal El Mono, Canal San Bernardo Norte, Canal Derivado San Miguel, Canal San Bernardo Sur, Canal Derivado Los Montes, Canal Wiker, todos con orientación suroriente a norponiente.

Estos canales presentan secciones trapezoidales o rectangulares y han sido diseñados con pendientes longitudinales suaves, generalmente entre 0.1% y 0.5%. Esta configuración permite un control eficiente de la velocidad del escurrimiento, asegurando una distribución uniforme del recurso hídrico y minimizando el riesgo de erosión. La infraestructura canalizada es esencial para el riego agrícola en el sector, ya que estos canales están diseñados para manejar caudales variables, que pueden oscilar entre 0.1 m^3/s y 3 m^3/s, adaptándose a las demandas agrícolas.

Por último, los canales identificados de color en azul en las ilustraciones anteriores, conforme con la información recabada, corresponden a acequias para riego interiores (no oficiales). Estos canales tienen un origen artificial, formándose a partir de otros canales artificiales o canales matrices. Están diseñados para formar parte de una red de regadío y abastecer de agua áreas específicas.

Dado lo anterior, la red de canales artificiales identificados en la zona de proyecto cumple un rol crucial en la gestión y distribución eficiente de los recursos hídricos. Estos sistemas de riego, diseñados con pendientes y secciones optimizadas, permiten un control preciso de los caudales, adaptándose a las fluctuaciones en las demandas de riego, y resultan clave para garantizar la productividad agrícola en la zona.

El resumen de los cauces oficiales identificados se puede observar en la siguiente tabla.

Nombre de cauce	Tipo de cauce	Fuente de identificación	Junta de vigilancia	Comunidad de aguas/Asociación de canalistas
Río Cato	Natural	IGM	J.V Río Cato y sus afluentes	-
Canal de La Luz	Artificial	IGM	J.V Río Cato y sus afluentes	Asociación de Canalistas de Cato y Ñuble
Estero Culenar	Natural	IGM	J.V Río Cato y sus afluentes	-
Estero Chingue	Natural	IGM	J.V Río Cato y sus afluentes	-
Canal Maitén	Artificial	IGM	J.V Río Cato y sus afluentes	Asociación de Canalistas de Cato y Ñuble
Canal Lantaño	Artificial	IGM	J.V Río Chillán	Sin información
Canal Reloca Chillan	Artificial	IGM	J.V Río Chillán	Comunidad de Aguas del Canal Reloca Chillán
Canal Los guindos	Artificial	IGM	J.V Río Chillán	Comunidad de Aguas del Canal los guindos Chillán
Canal La Victoria	Artificial	Observatorio Georreferenciado DGA	J.V Río Chillán	Comunidad de aguas canal la Victoria
Canal Venecia Chillan	Artificial	IGM	J.V Río Chillán	Comunidad de aguas del canal Venecia
Canal El Mono	Artificial	IGM	J.V Río Chillán	Sin información
Canal San Bernardo Norte	Artificial	IGM	J.V Río Chillán	Comunidad de Aguas del Canal San Bernardo Norte
Canal Derivado San Miguel	Artificial	IGM	J.V Río Cato y sus afluentes	Asociación de Canalistas de Cato y Ñuble
Canal San Bernardo Sur	Artificial	IGM	J.V Río Chillán	Comunidad de Aguas del Canal San Bernardo Sur
Canal Derivado Los Montes	Artificial	Observatorio Georreferenciado DGA	J.V Río Chillán	Comunidad de Aguas del Canal los guindos Chillán
Canal Wiker	Artificial	Observatorio Georreferenciado DGA	J.V Río Chillán	Comunidad aguas Canal Wiker

Tabla 1. Tabla detallada de los cauces oficiales en el área de emplazamiento del Proyecto.
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la ubicación de los cauces con respecto a la zona urbana.

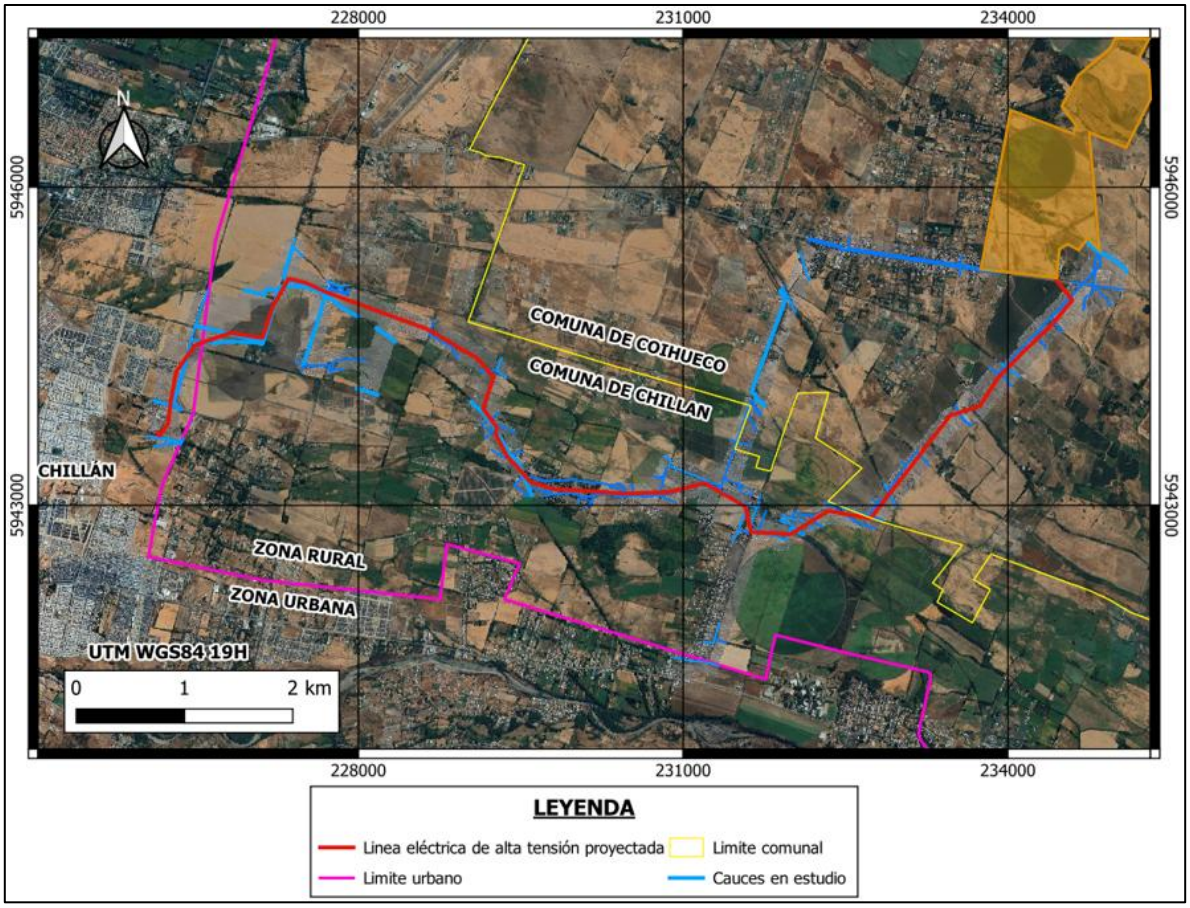


Ilustración 15. Ubicación de cauces respecto a zona urbana.
Fuente: Elaboración propia

Se observa que la mayor parte de los cauces se encuentra en zona rural, en especial los cauces presentes en el sector de parque fotovoltaico, que están en su totalidad en zona rural. En la Tabla 2 se detalla la información con respecto a la ubicación de cada canal oficial identificado.

Nombre de cauce	Sector	Comuna	Ubicación (Rural/Urbano)
Rio Cato	PFV	Coihueco	Rural
Canal de La Luz	PFV	Coihueco	Rural
Estero Culenar	PFV	Coihueco	Rural
Estero Chingue	PFV	Coihueco	Rural
Canal Maitén	LAT	Coihueco	Rural
Canal Lantaño	LAT	Coihueco	Rural
Canal Reloca Chillan	LAT	Coihueco	Rural
Canal Los guindos	LAT	Coihueco	Rural
Canal La Victoria	LAT	Coihueco	Rural
Canal Venecia Chillan	LAT	Coihueco	Rural
Canal El Mono	LAT	Chillán	Rural-Urbano
Canal San Bernardo Norte	LAT	Chillán	Rural
Canal Derivado San Miguel	LAT	Chillán	Urbana
Canal San Bernardo Sur	LAT	Chillán	Urbano
Canal Derivado Los Montes	LAT	Chillán	Rural
Canal Wiker	LAT	Chillán	Urbano

Tabla 2. Tabla informacion de cauces según su ubicación.
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los caudales de los canales analizados se pudo recopilar información de las bocatomas de cada uno de ellos según el texto Levantamiento y Catastro de Bocatomas en Cauces Naturales, II Etapa, (DGA, 2000), con lo cual se puede conocer el caudal máximo de cada canal, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Nombre de canal	Caudal máximo (m^3/s)	Caudal máximo (l/s)
Canal de la Luz	1.00	1000
Canal Maitén	0.036	36
Canal Lantaño	0.900	900
Canal Reloca Chillan	0.864	864
Canal Los guindos	0.581	581
Canal La Victoria	1.360	1360
Canal Venecia Chillan	0.298	298
Canal El Mono	0.390	390
Canal San Bernardo Norte	0.143	143
Canal Derivado San Miguel	1.000	1000
Canal San Bernardo Sur	0.321	321
Canal Derivado Los Montes	0.581	581
Canal Wiker	0.153	153

Tabla 3. Tabla caudales máximos canales oficiales.
Fuente: Elaboración propia

En el caso de los cauces naturales se determinan sus caudales mediante análisis hidrológico detallado en el acápite 6.3 de este estudio.

Por otro lado, tenemos los cauces artificiales sin nombre o no oficiales, de los cuales gran parte no aparece en las fuentes de información como la carta IGM o el observatorio georreferenciado de la DGA, sin embargo, en terreno se verifica su existencia. Estos canales corresponden en su totalidad a cauces artificiales, los cuales, al no ser oficiales no se tiene mayor información al respecto de ellos, pudiendo tratarse de derivados, ramales o canales de derrame.

En el caso de estos cauces se analizará caso a caso su interacción con el proyecto, donde en cada sector en que el camino proyectado atraviese un canal se calcularán los caudales máximos de porteo estimados en base a sus características geométricas.

A continuación, en las siguientes ilustraciones se muestran los cruces de caminos del proyecto con los cauces en análisis.

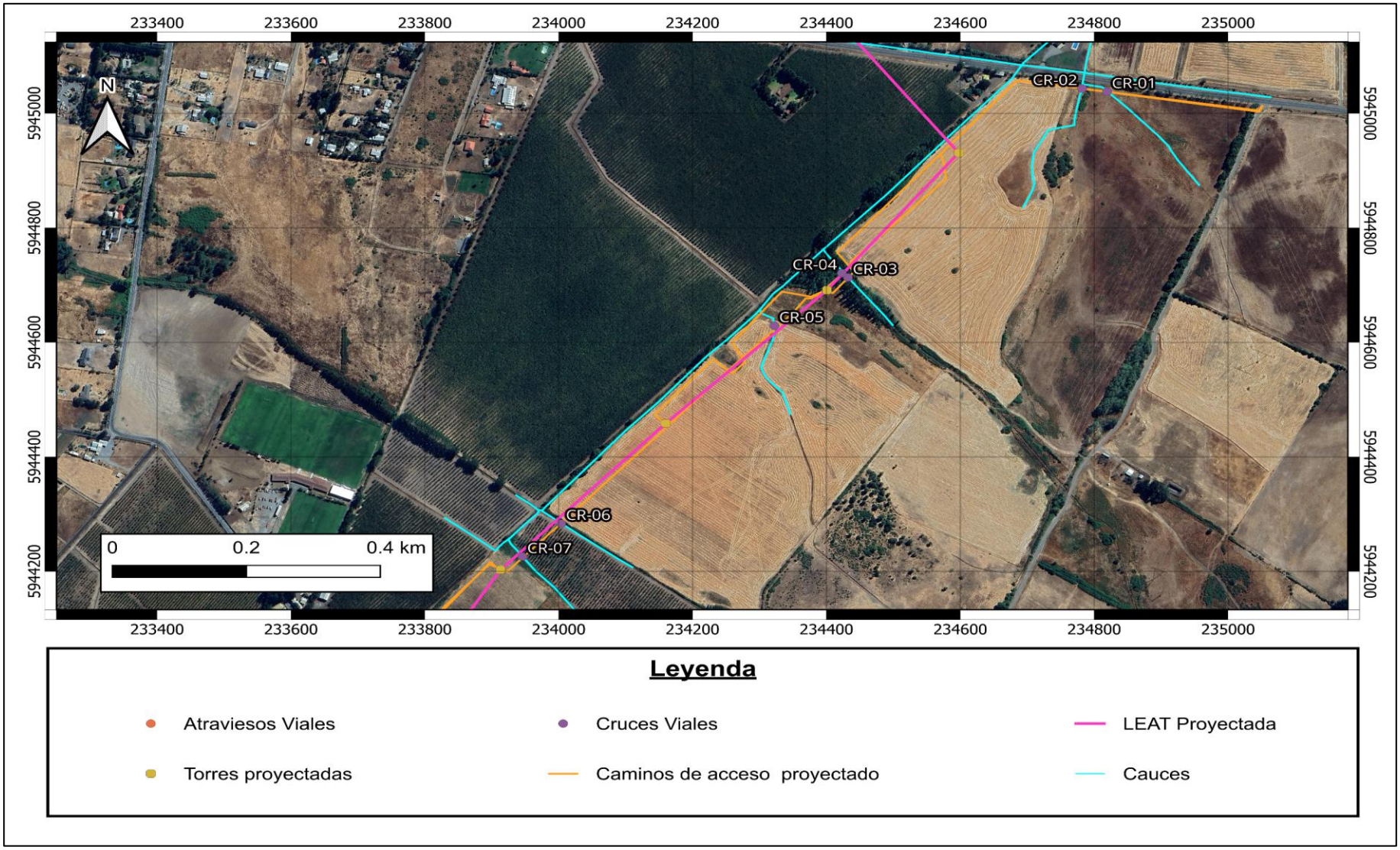


Ilustración 16. Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

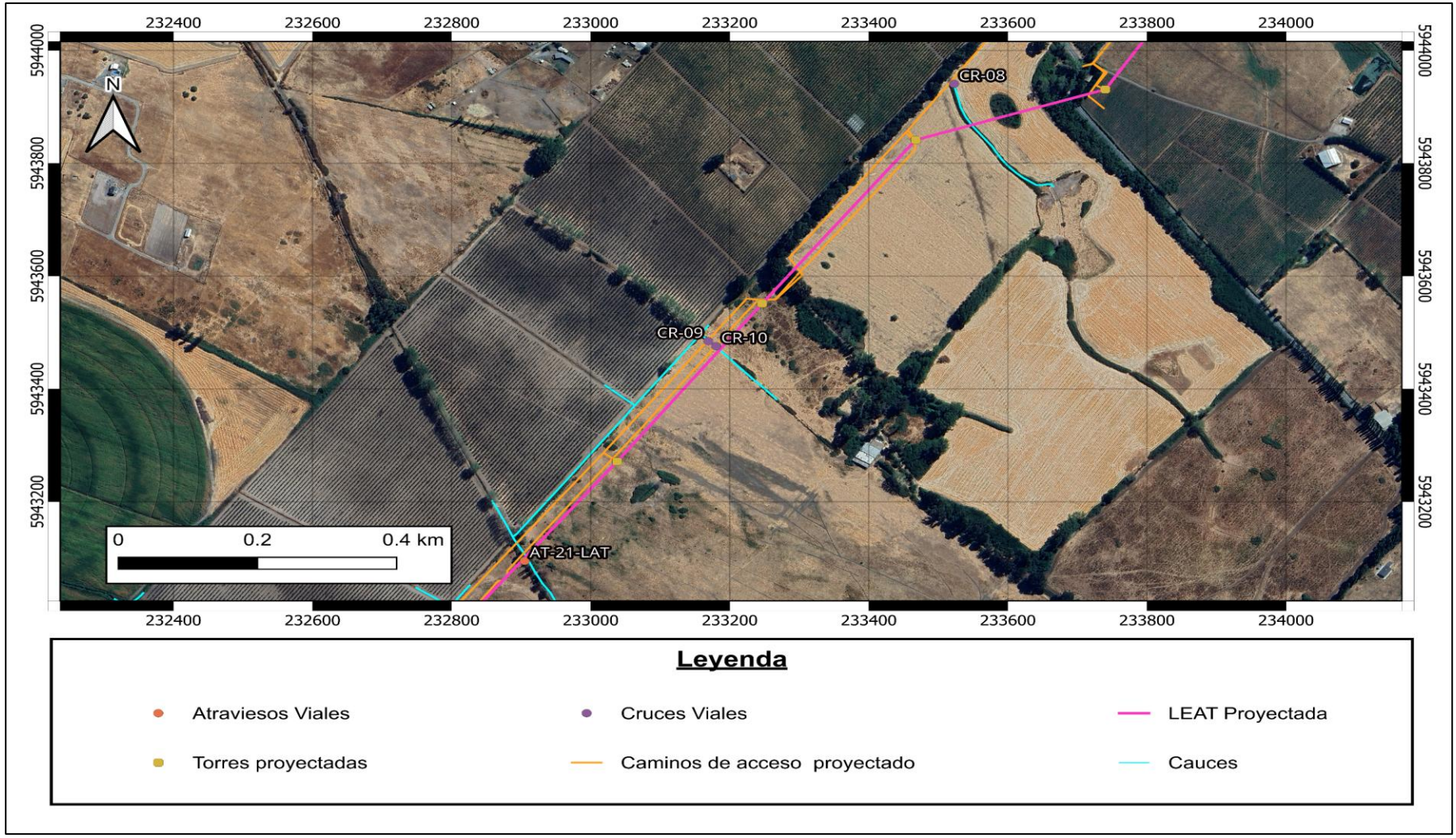


Ilustración 17. Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

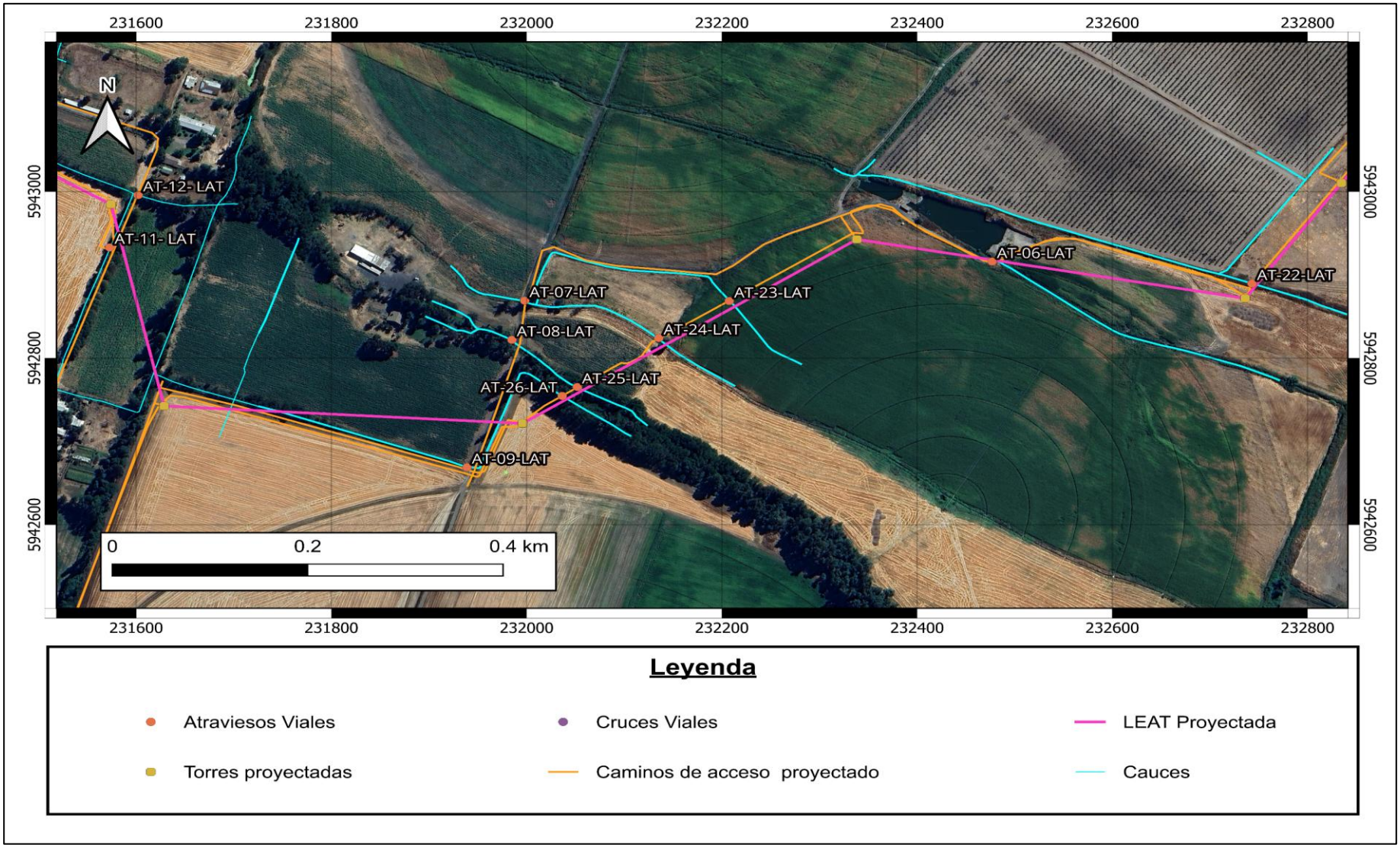


Ilustración 18. Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

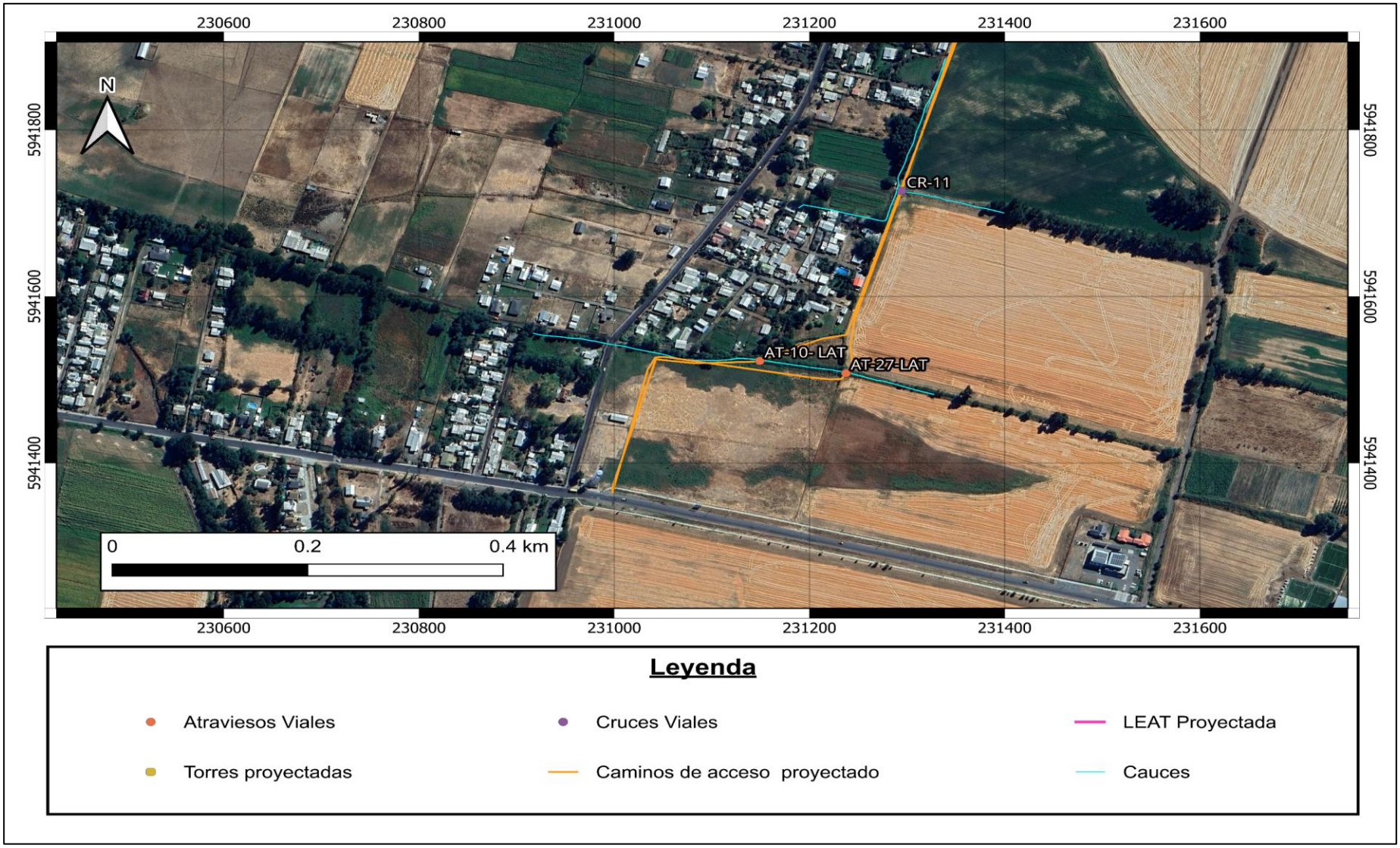


Ilustración 19 Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

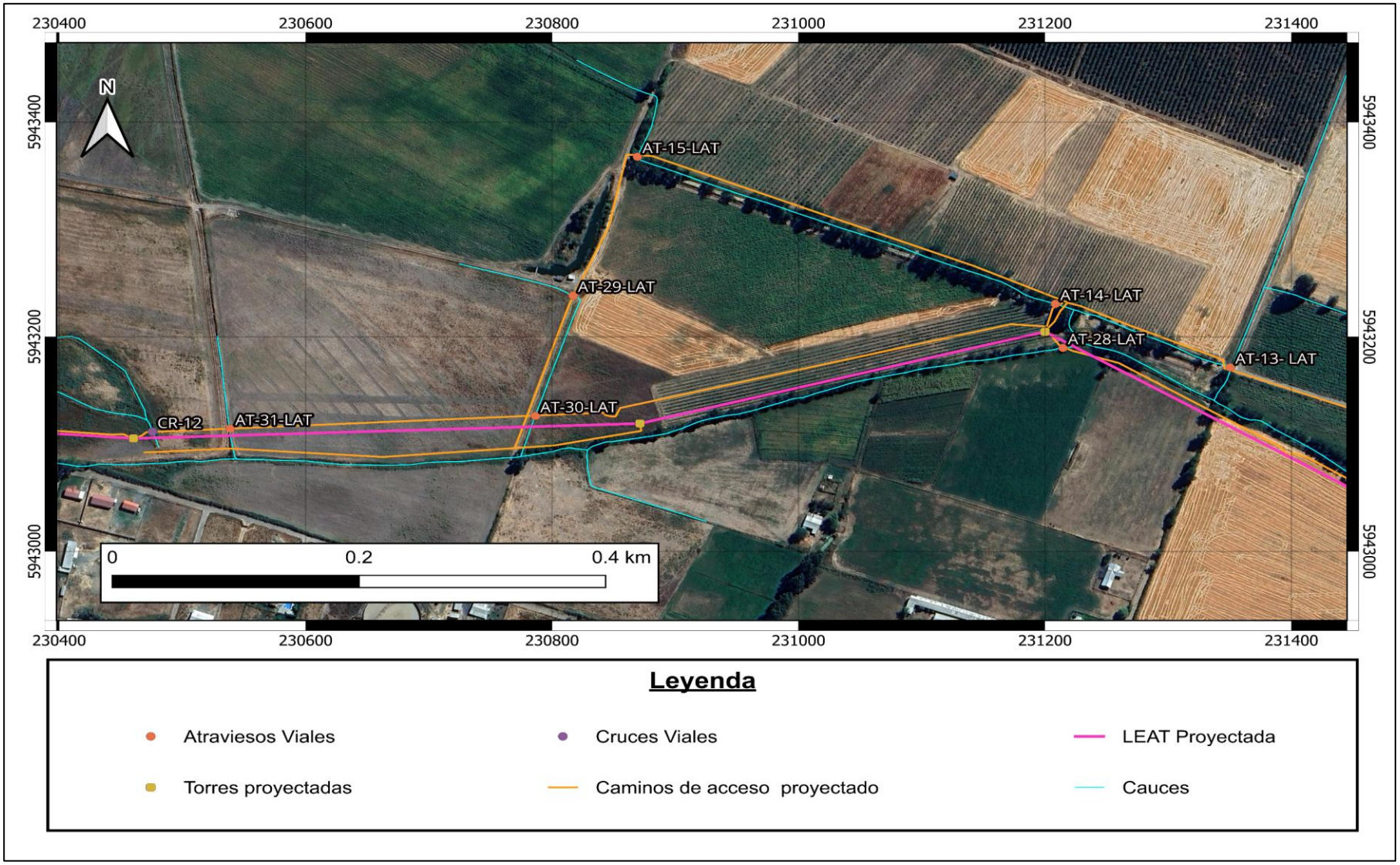


Ilustración 20 Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

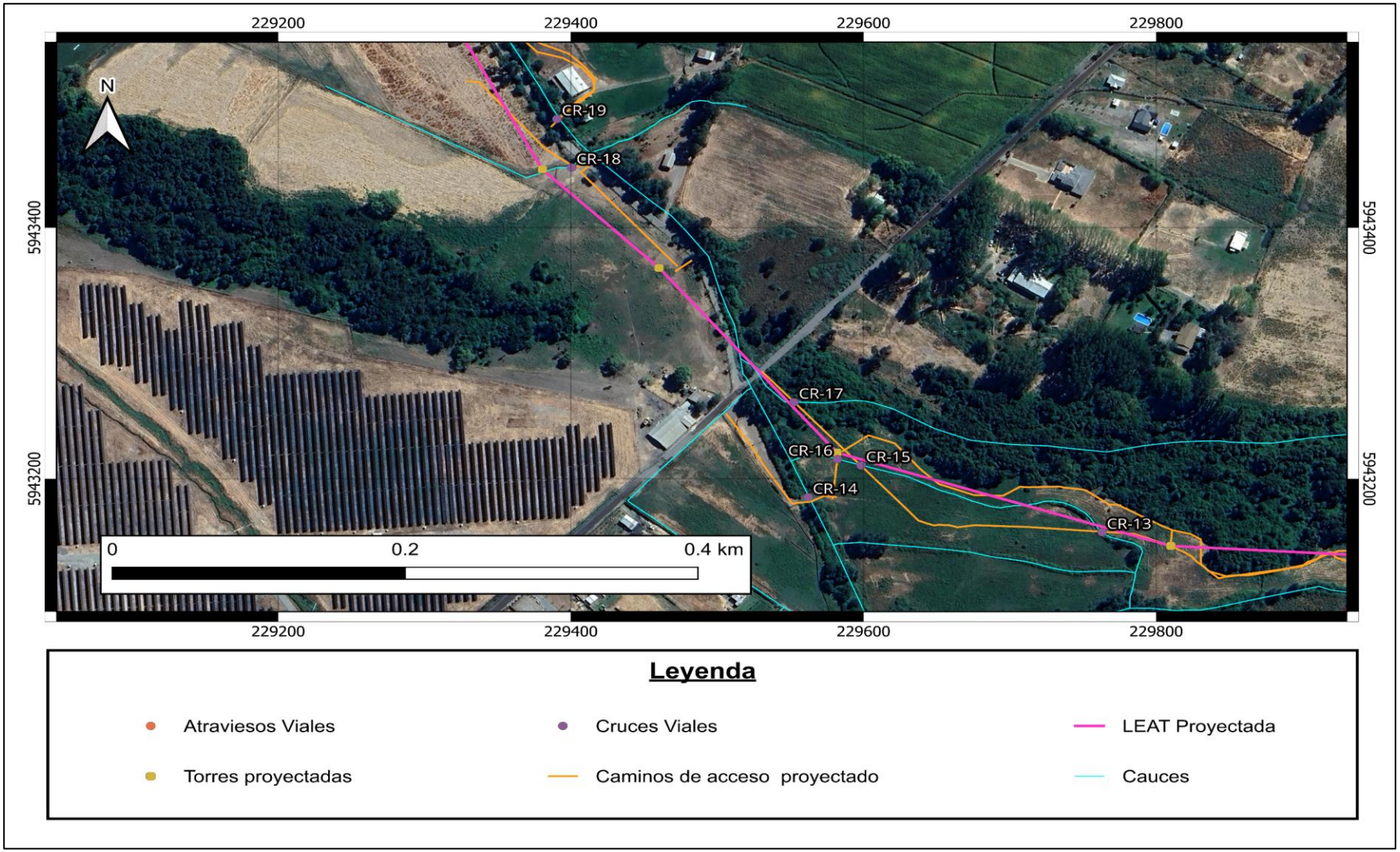


Ilustración 21 Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

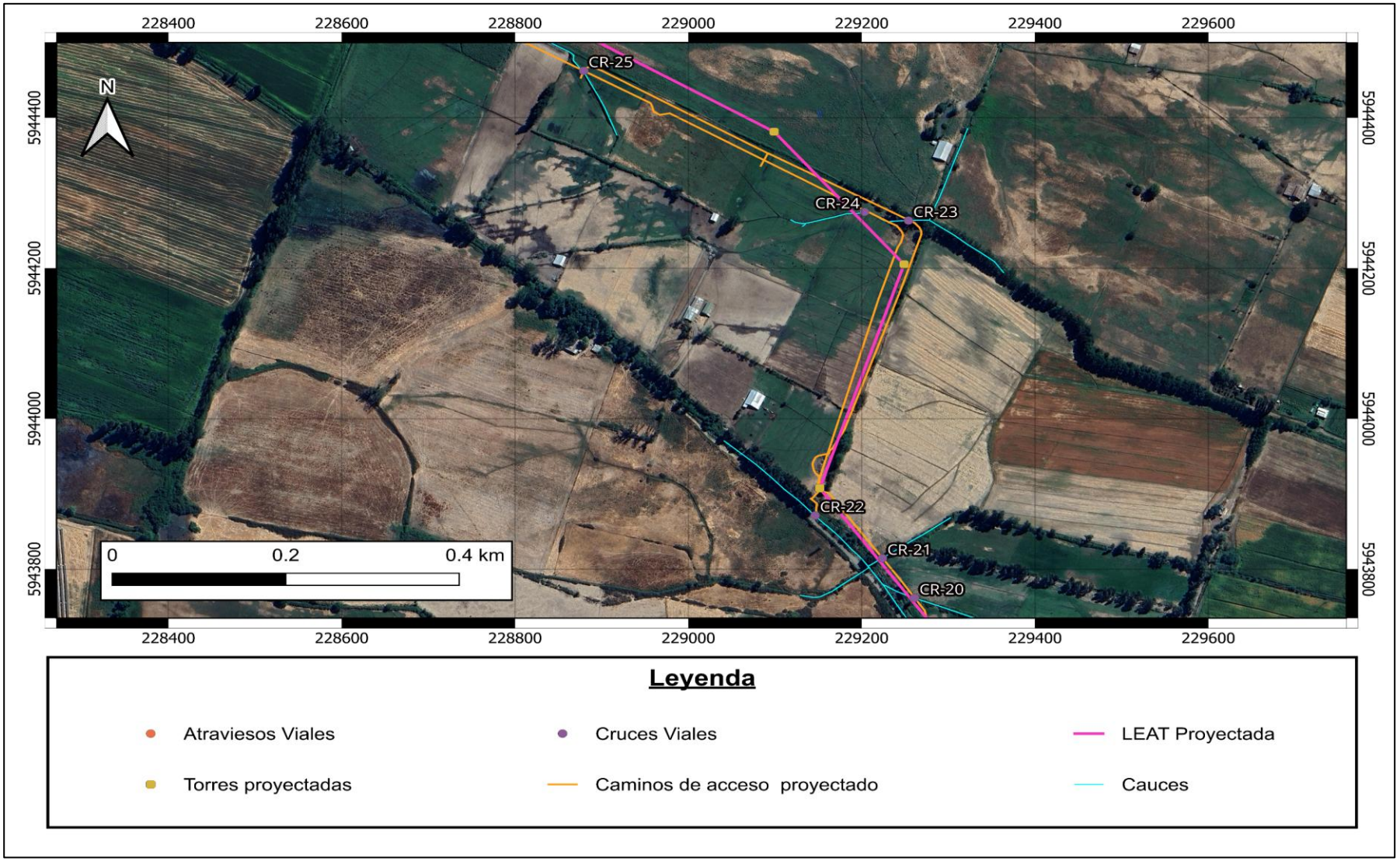


Ilustración 22 Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

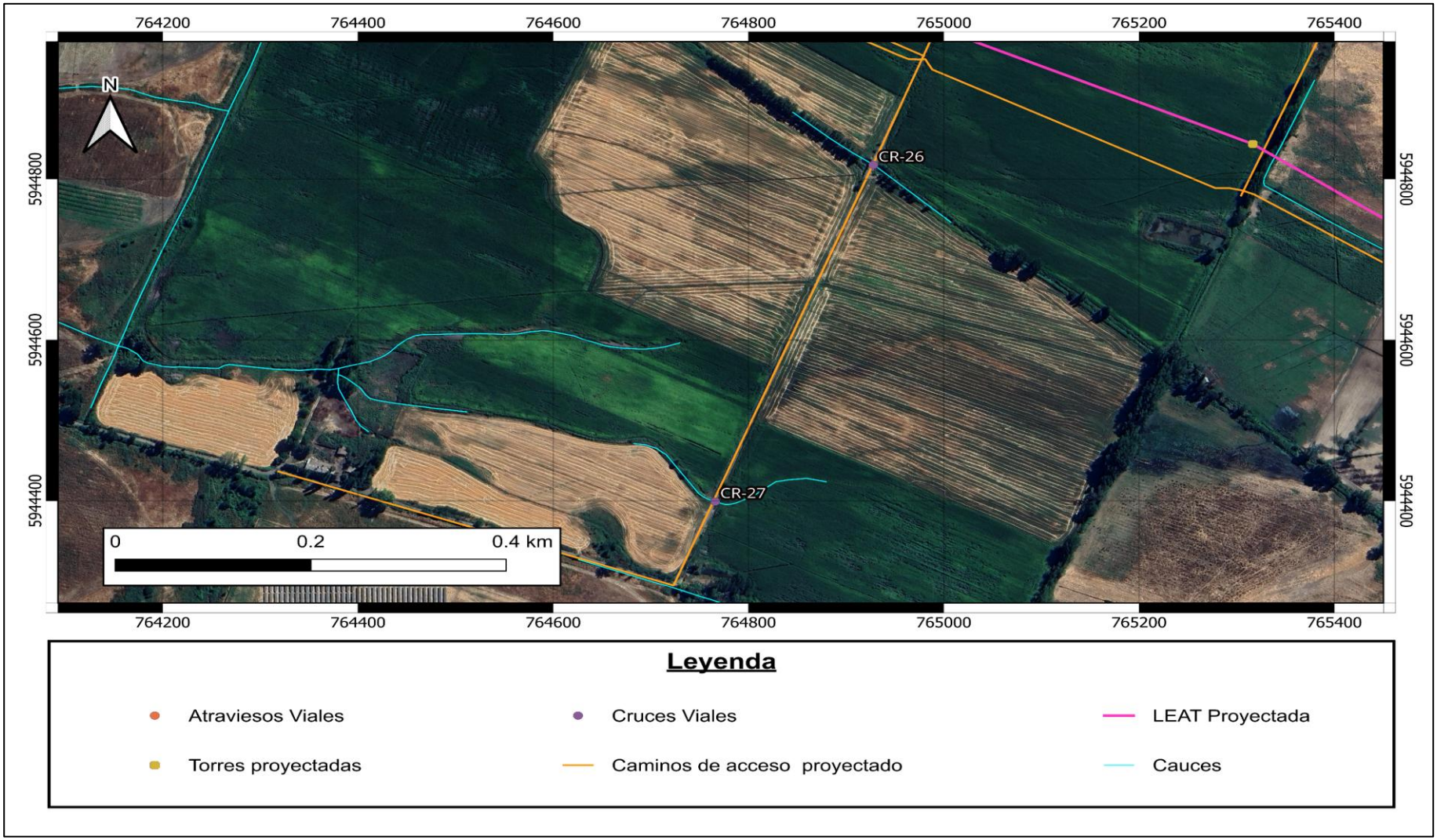


Ilustración 23 Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 24 Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

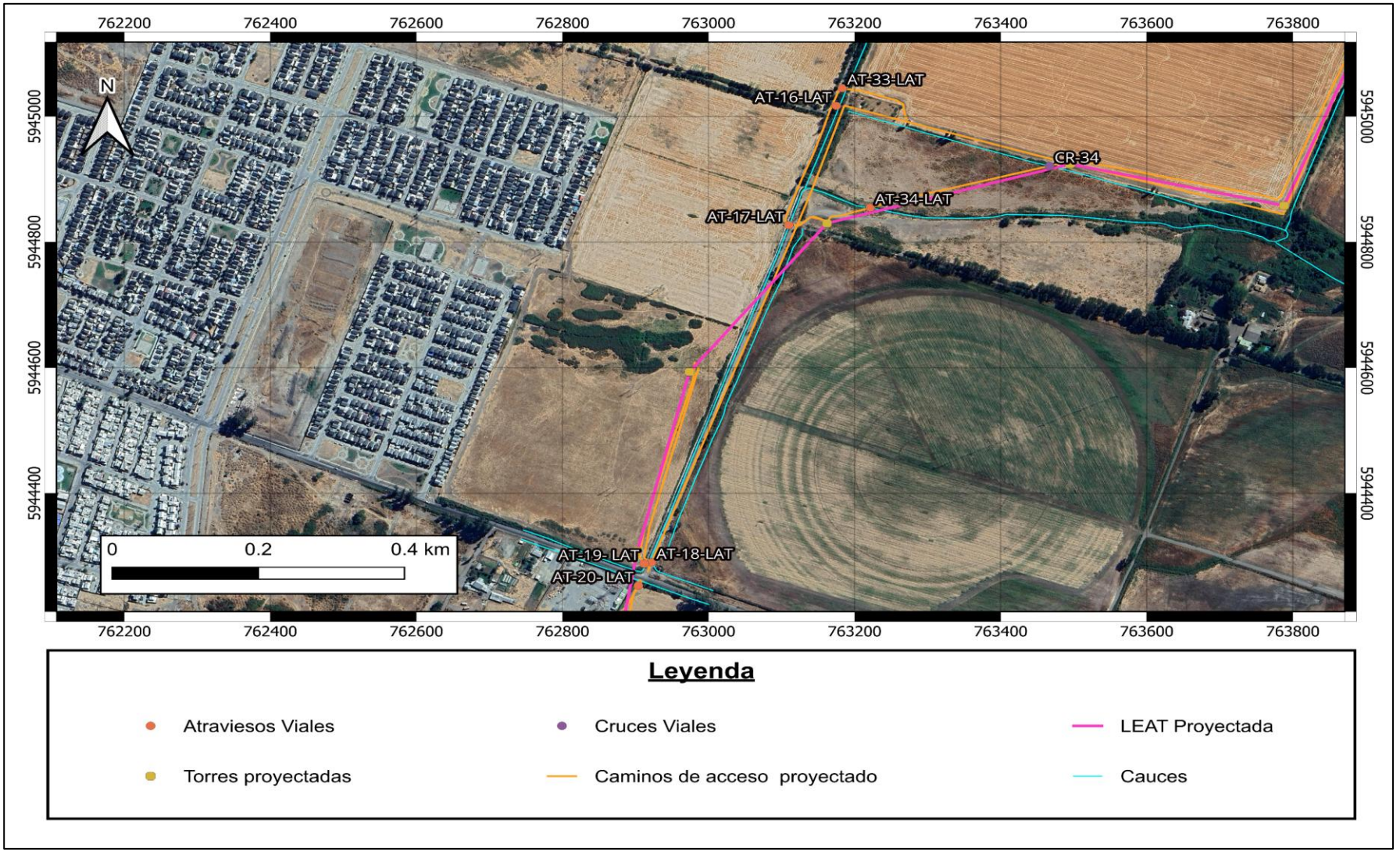


Ilustración 25 Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

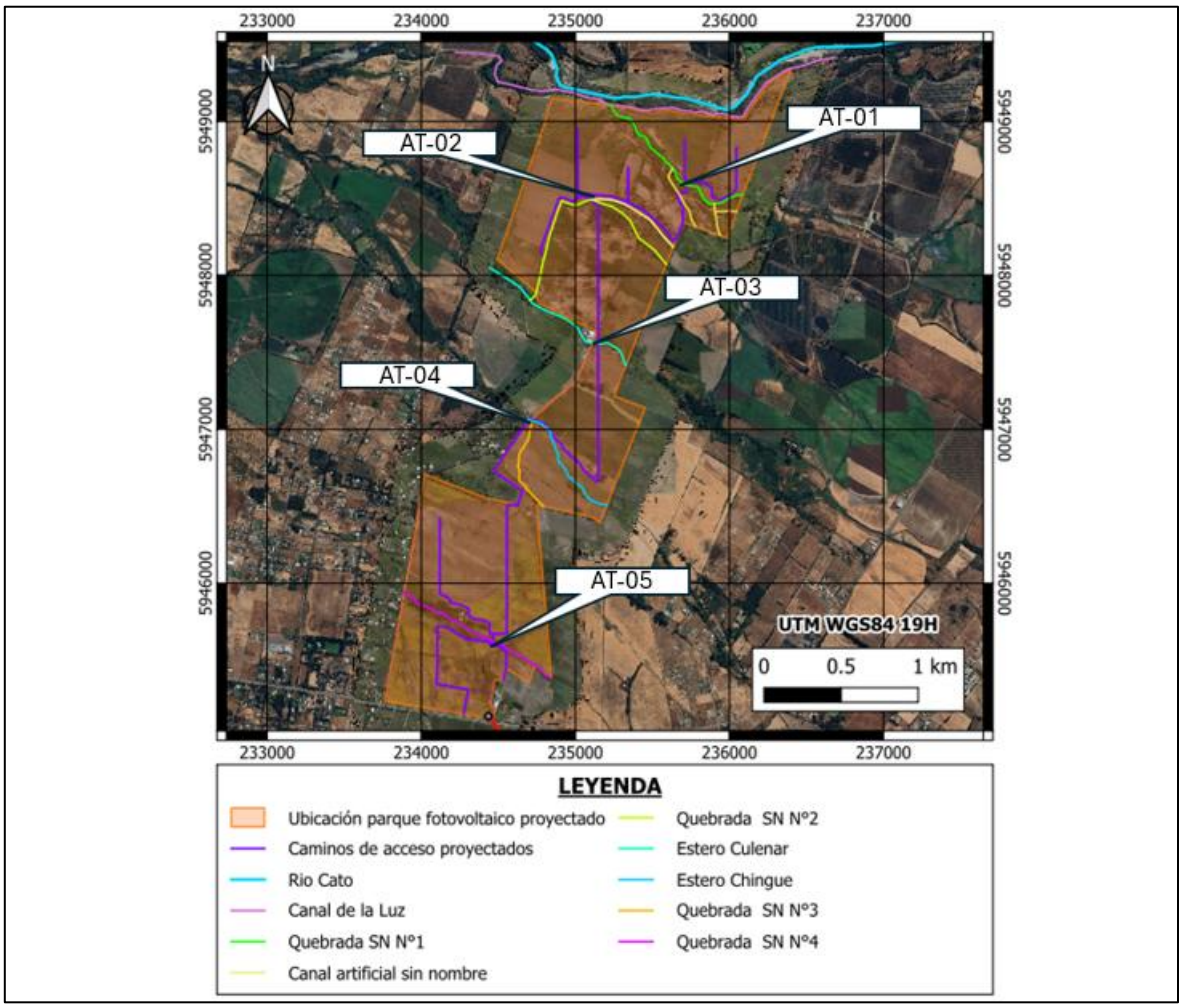


Ilustración 26 Ubicación cruces de camino proyectado con cauces identificados.
Fuente: Elaboración propia

Para caracterizar los cruces identificados, una de las variables clave a analizar es el caudal de cada cauce en los puntos de cruce. En el caso de los canales oficiales, ya se dispone de información de caudales obtenida de bibliografía oficial. Sin embargo, para los canales artificiales sin nombre o no oficiales, de los cuales no se cuenta con datos bibliográficos, se calcularon los caudales máximos de porteo según sus características geométricos, utilizando el software HCanales.

En las siguientes ilustraciones, se muestran los resultados de la modelación hidráulica en el Software Hcanales.

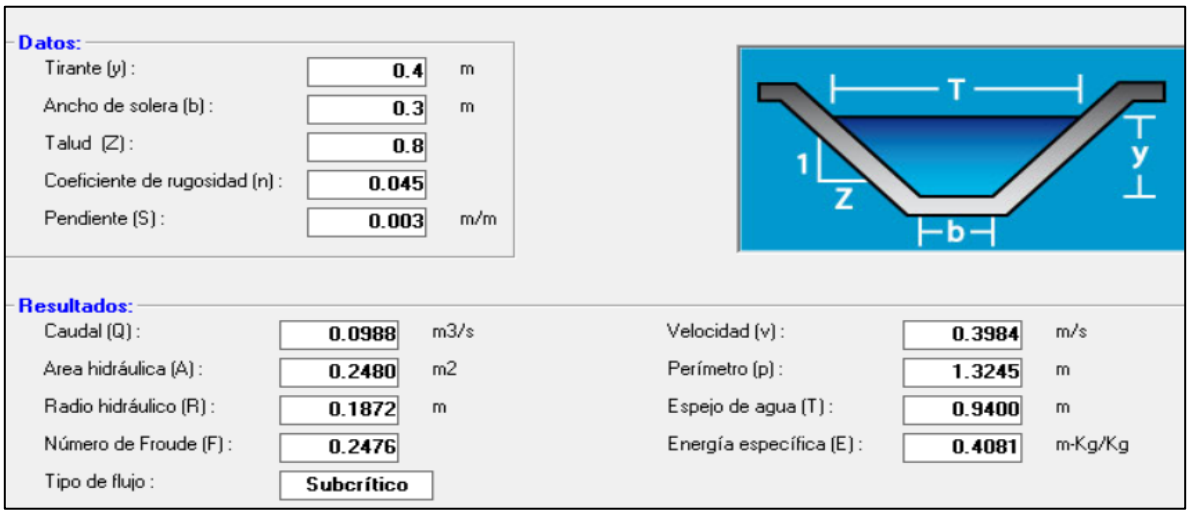


Ilustración 27. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR- 1.
Fuente: Elaboración propia

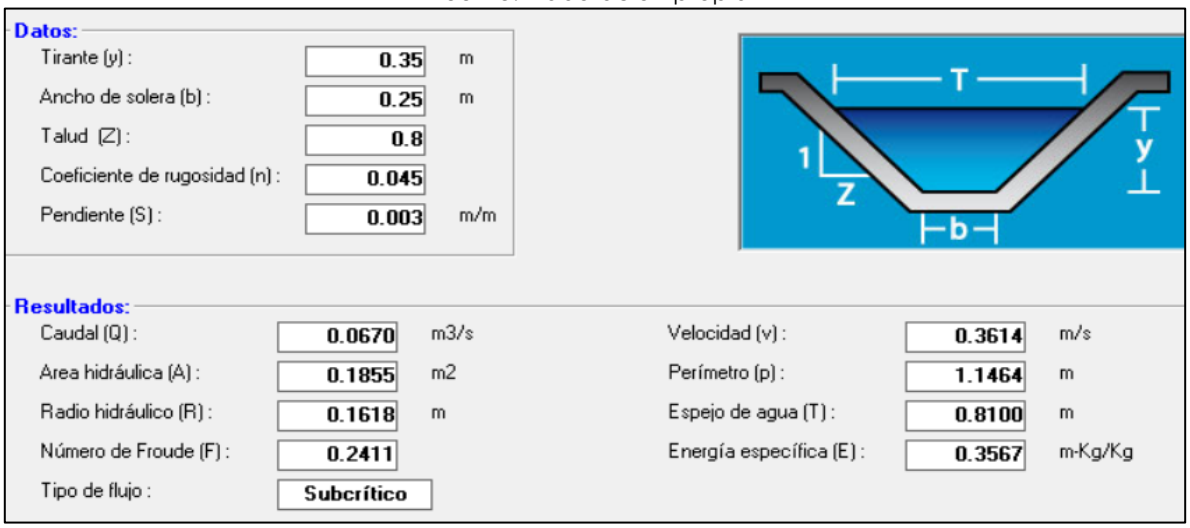


Ilustración 28. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR- 2.
Fuente: Elaboración propia

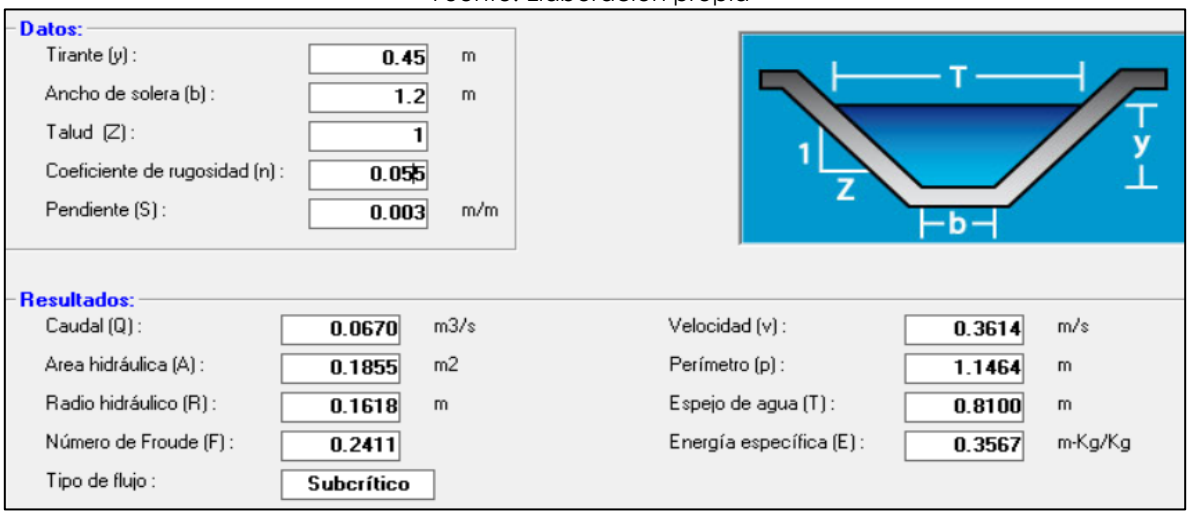


Ilustración 29. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR- 3 y 4.
Fuente: Elaboración propia

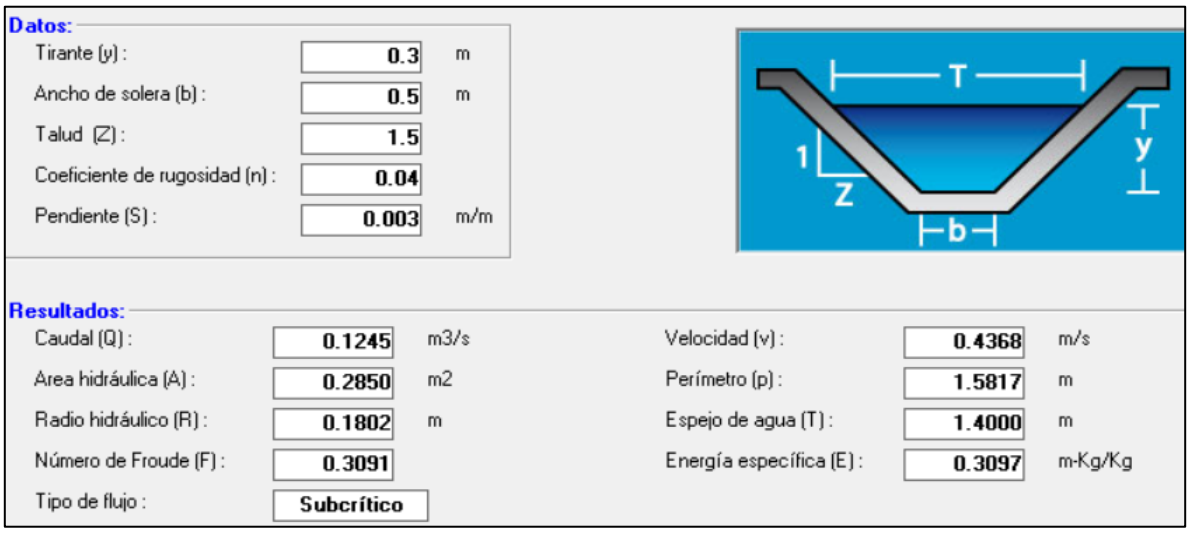


Ilustración 30. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR- 5.
Fuente: Elaboración propia

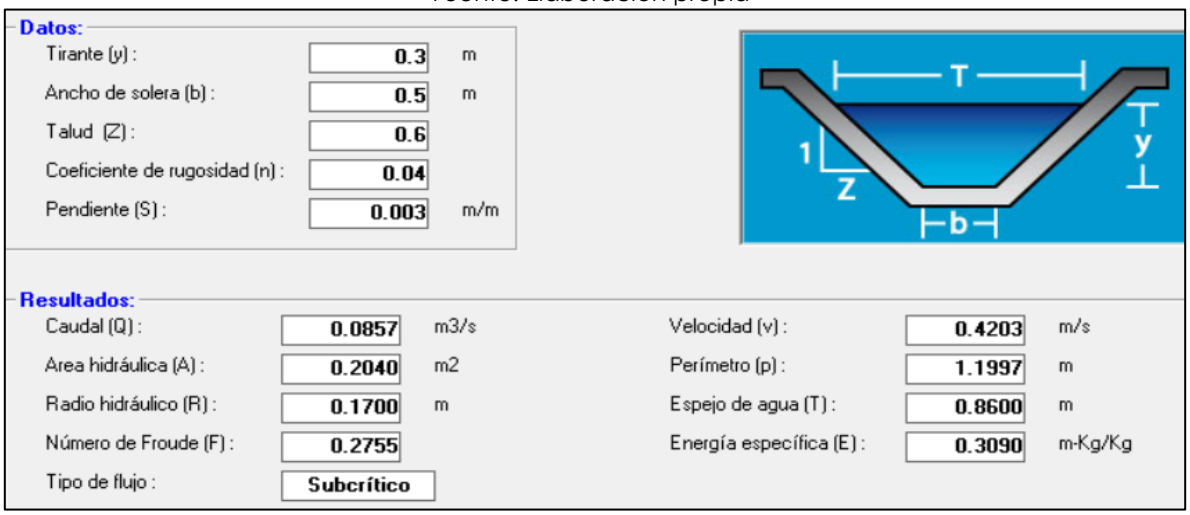


Ilustración 31. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR- 6.
Fuente: Elaboración propia

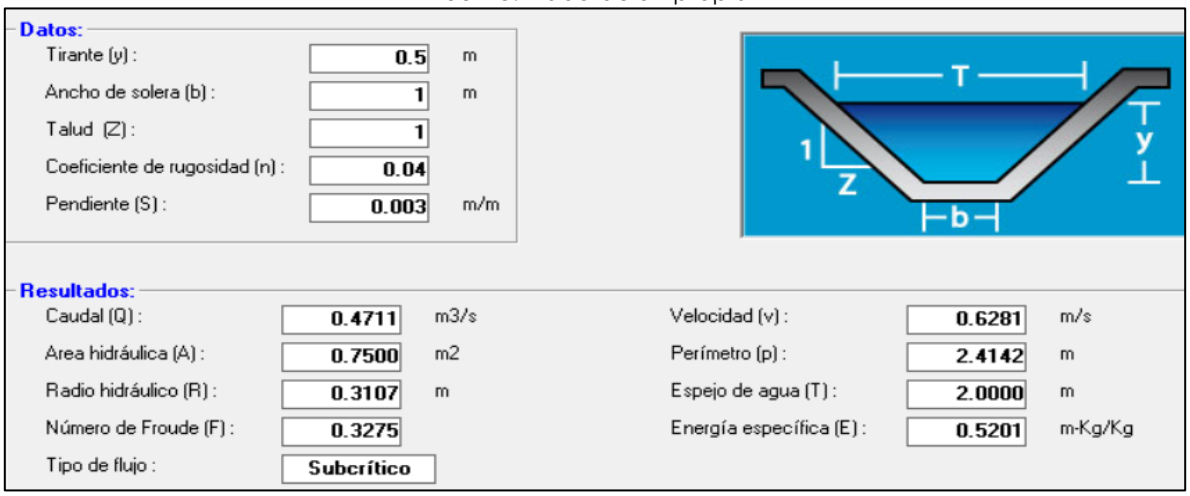


Ilustración 32. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR- 7.
Fuente: Elaboración propia

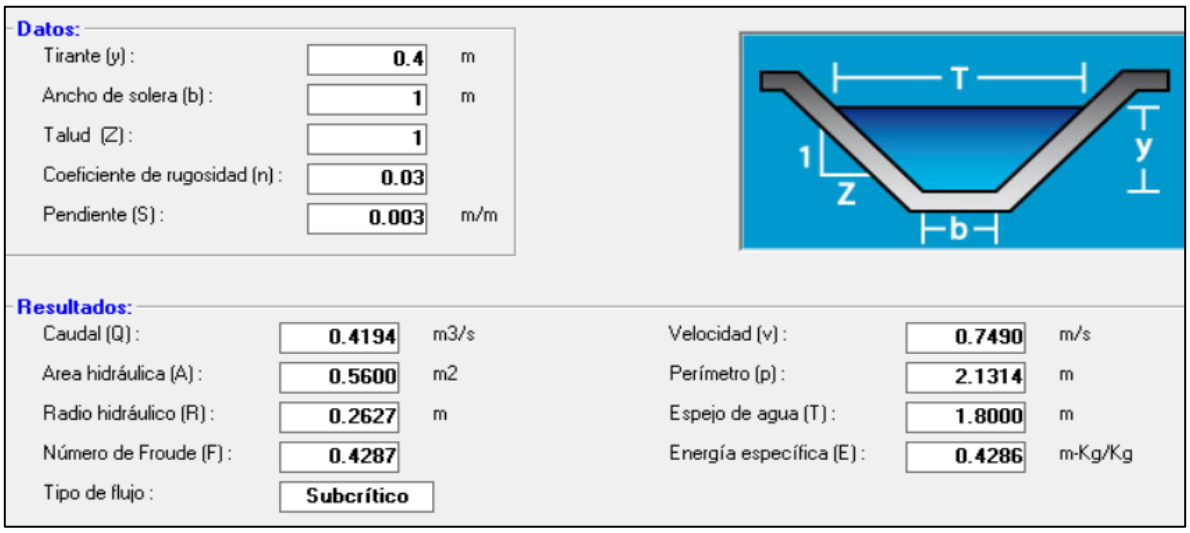


Ilustración 33. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR- 8.
Fuente: Elaboración propia

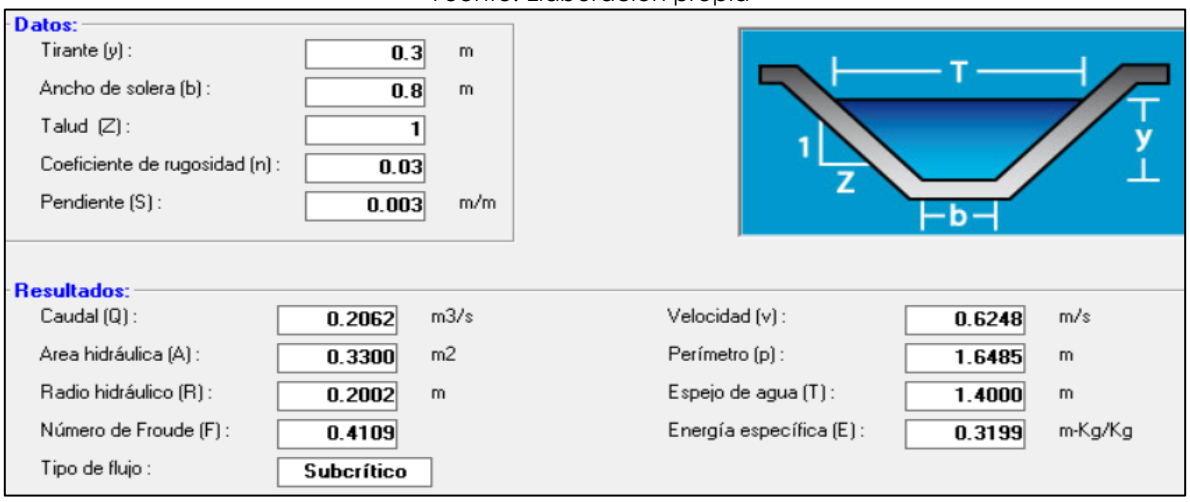


Ilustración 34. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-9 y 10.
Fuente: Elaboración propia

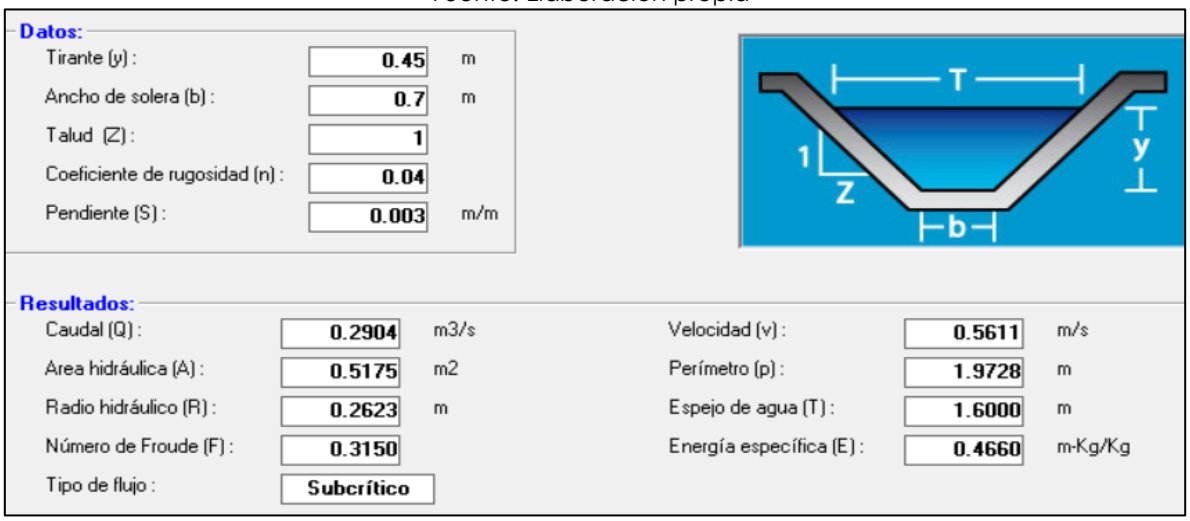


Ilustración 35. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-11.
Fuente: Elaboración propia.

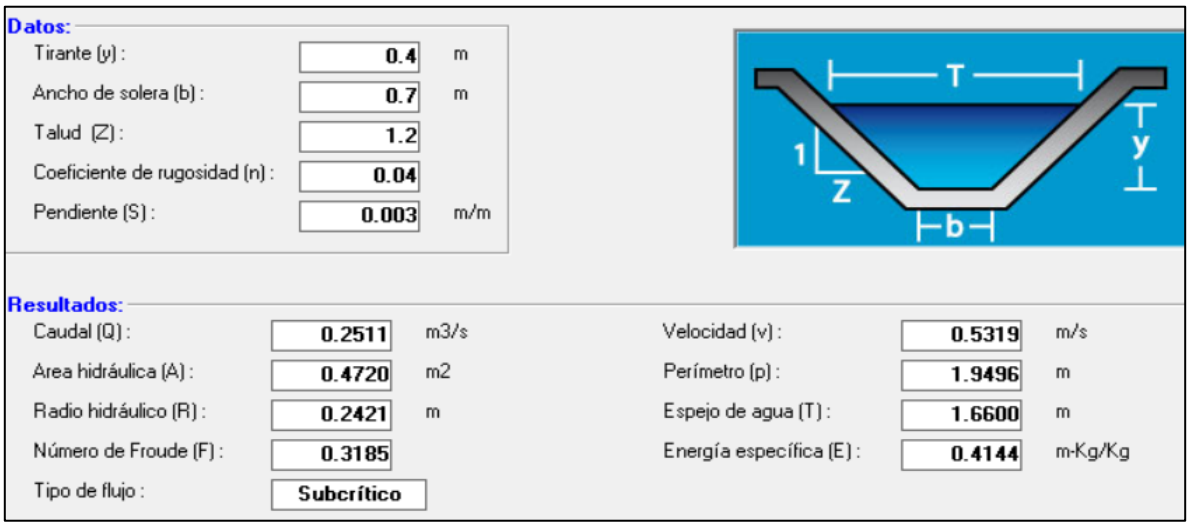


Ilustración 36. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-12 y CR17.
Fuente: Elaboración propia.

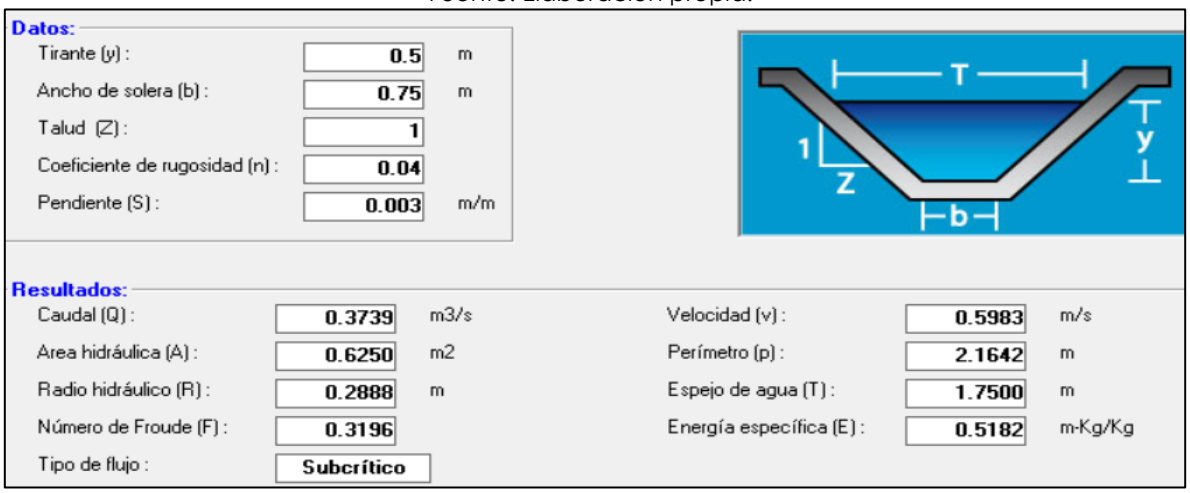


Ilustración 37. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-13, CR-15 y CR-16.

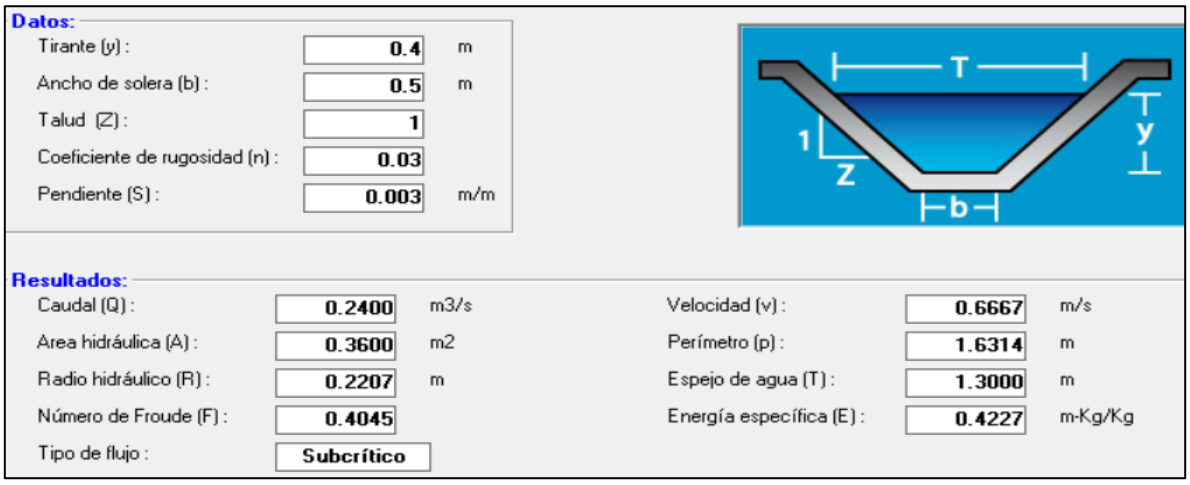


Ilustración 38. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-18.
Fuente: Elaboración propia

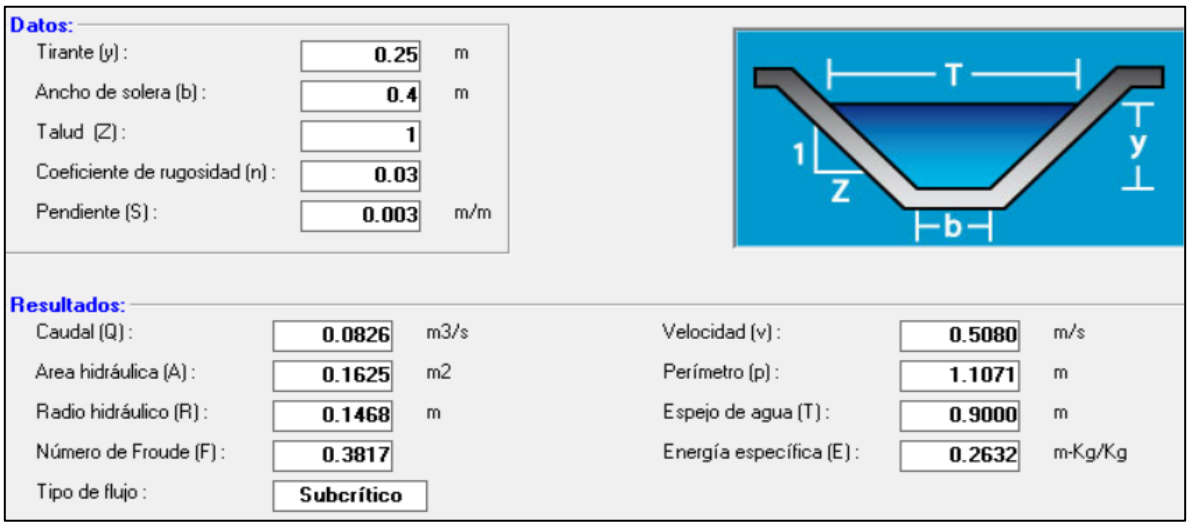


Ilustración 39. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-20 y CR-21.
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 40. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-23, CR-24 y CR-25.
Fuente: Elaboración propia.

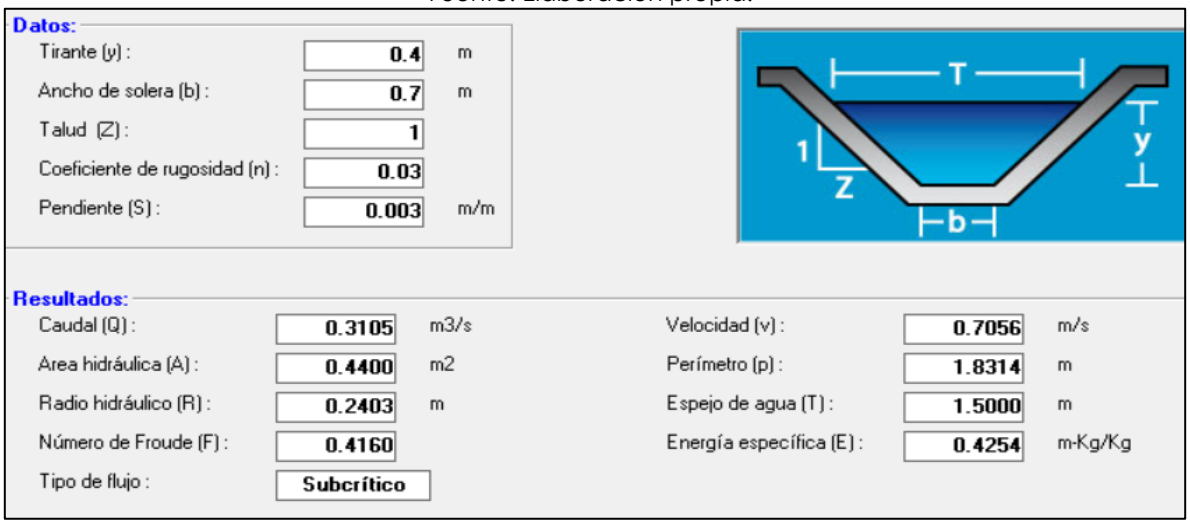


Ilustración 41. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-27.
Fuente: Elaboración propia

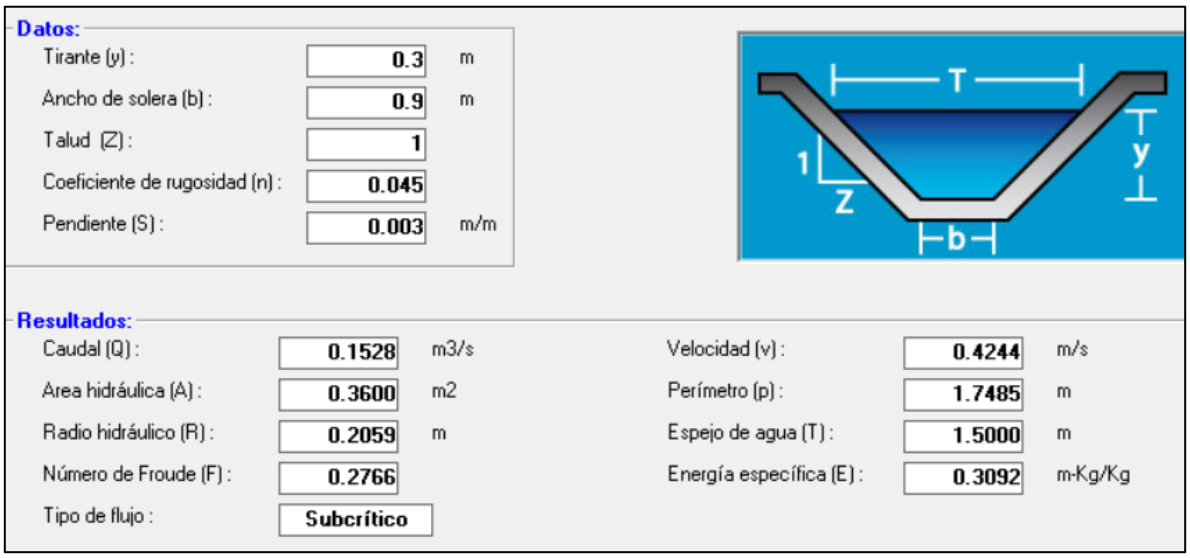


Ilustración 42. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el CR-34.
Fuente: Elaboración propia.

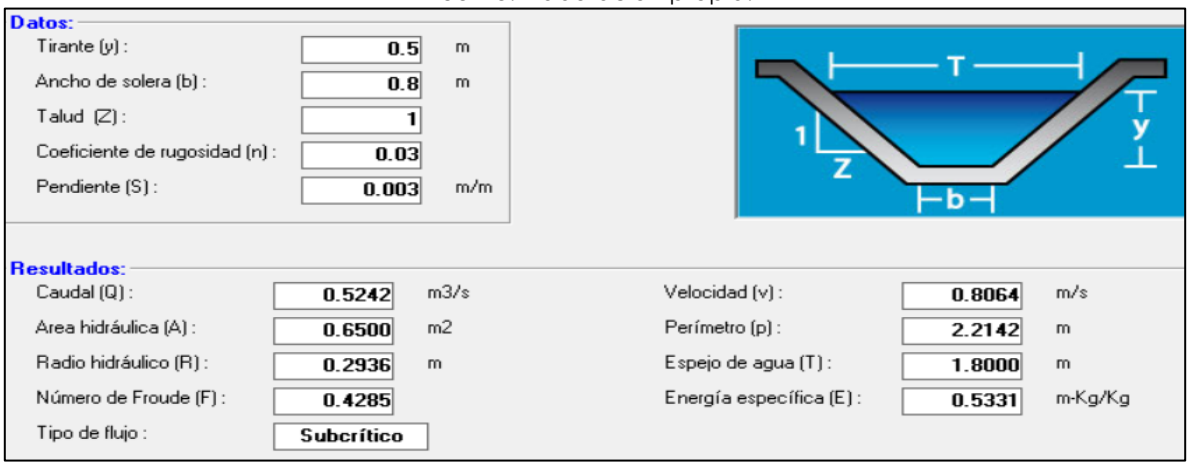


Ilustración 43. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el AT-06.
Fuente: Elaboración propia

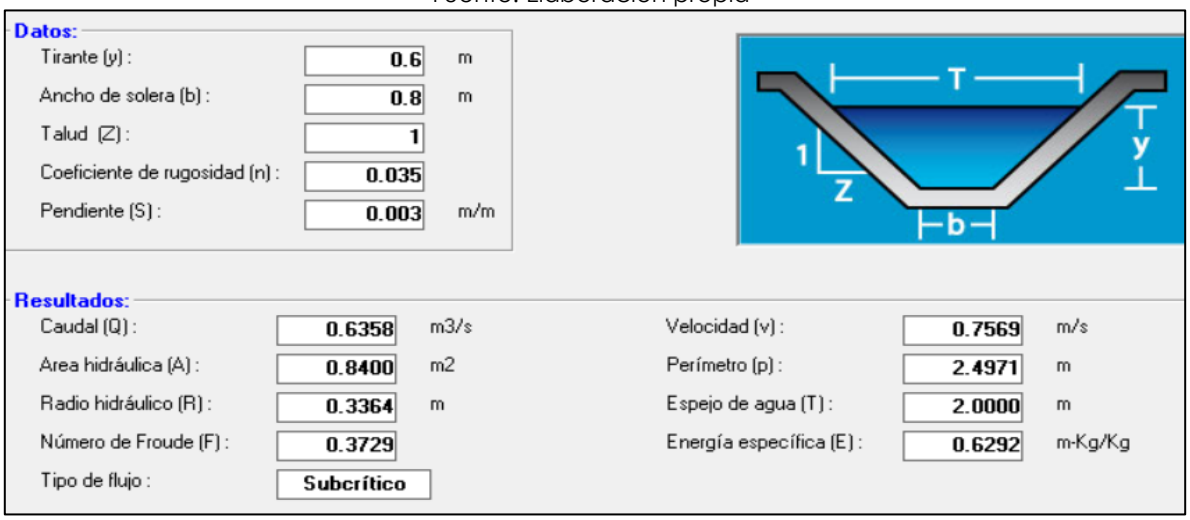


Ilustración 44. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el AT-13.
Fuente: Elaboración propia

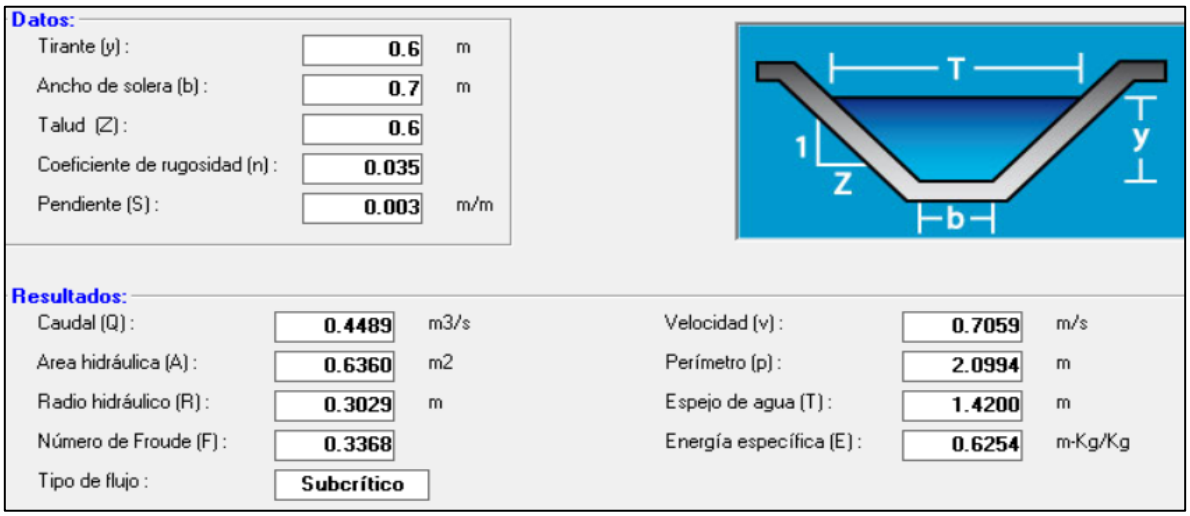


Ilustración 45. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el AT-19.
Fuente: Elaboración propia

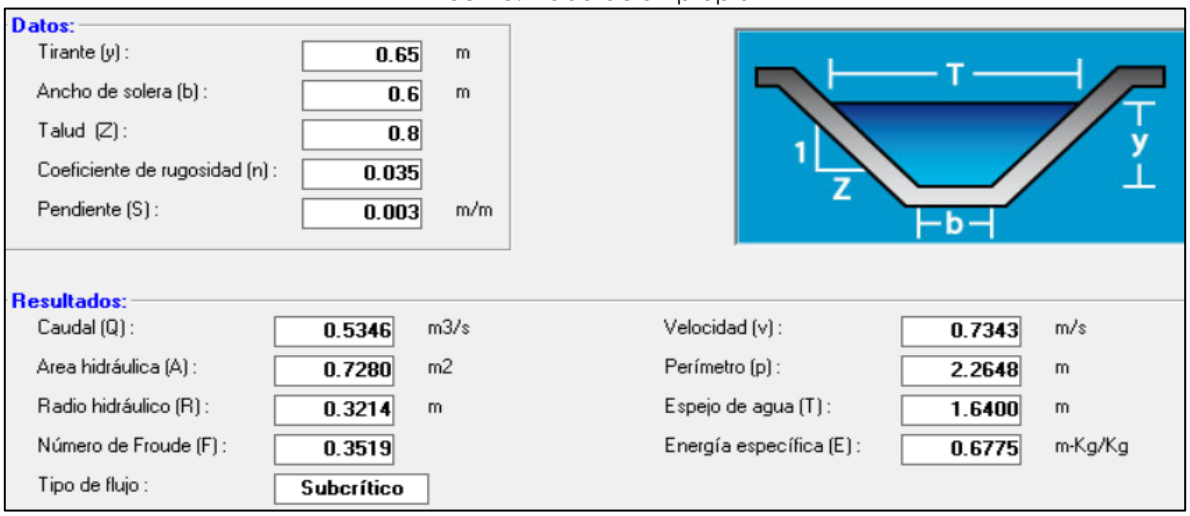


Ilustración 46. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el AT-20.
Fuente: Elaboración propia.

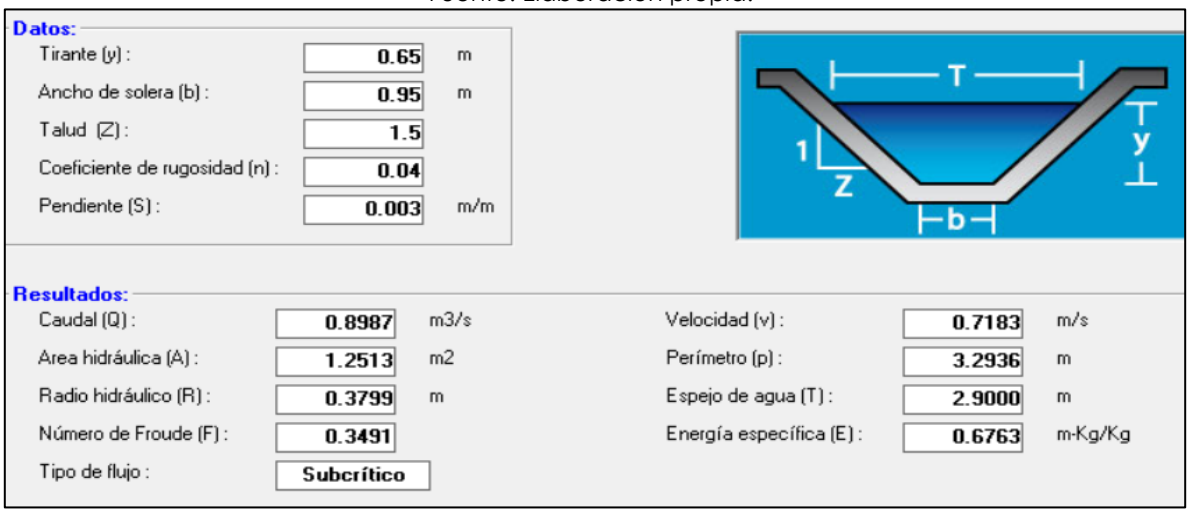


Ilustración 47. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el AT-22
Fuente: Elaboración propia.

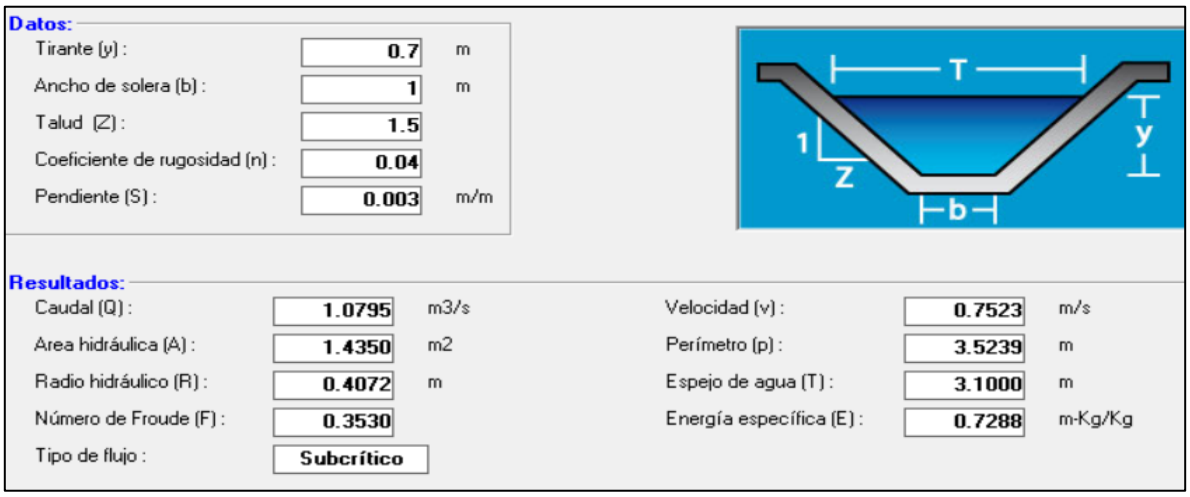


Ilustración 48. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el AT-28.
Fuente: Elaboración propia.

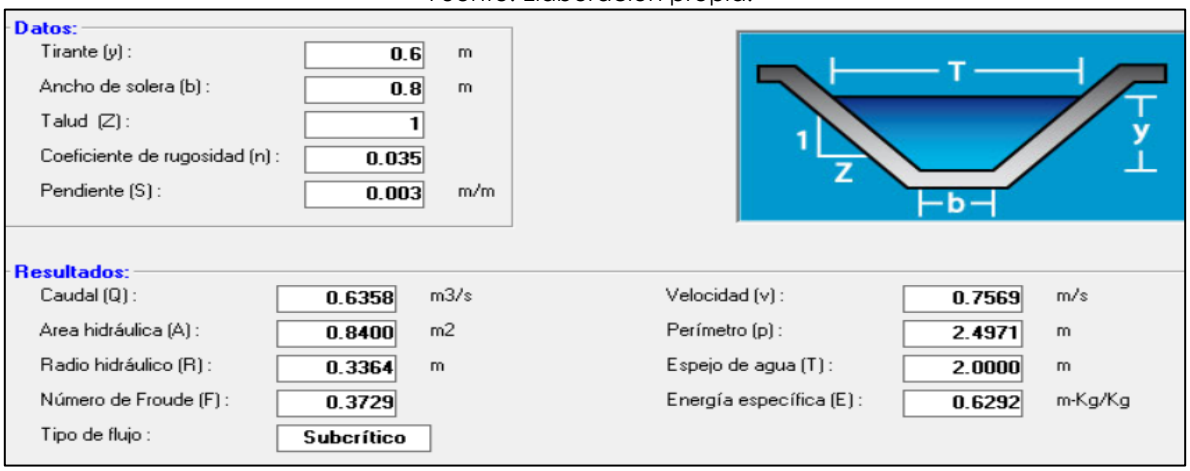


Ilustración 49. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el AT-29 y AT-30.
Fuente: Elaboración propia

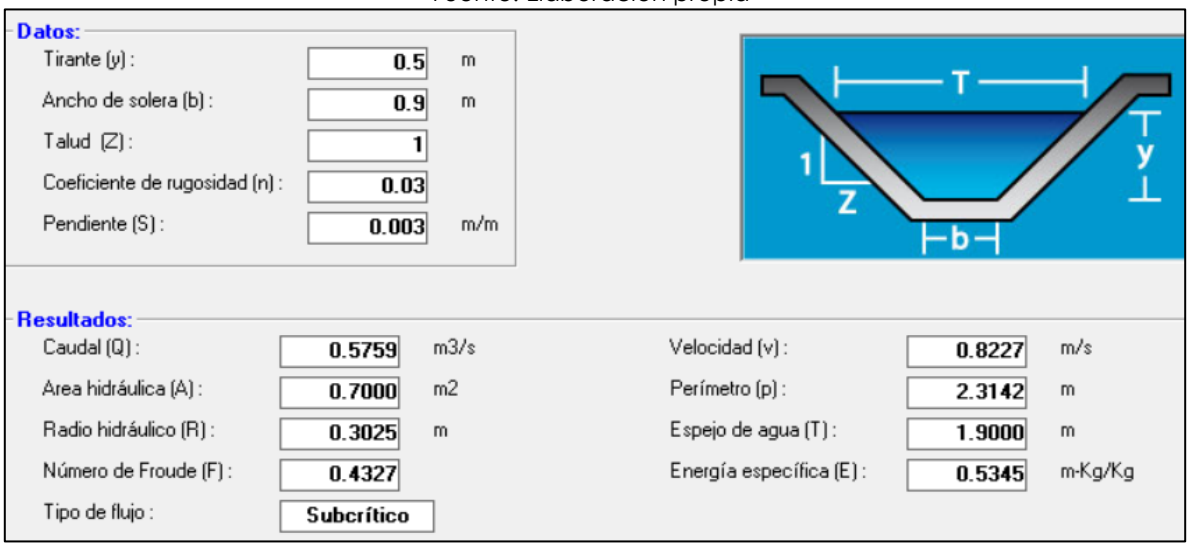


Ilustración 50. Resultados de la modelación hidráulica en Software Hcanales para el AT-31.
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 4 se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos para todos los cauces encontrados.

ID Cruce	Tipo de Cauce	Categoría	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Definición de caudal
AT-01	Natural	Quebrada SN N°1	Rural	24.97	Calculado con análisis hidrológico
AT-02	Natural	Quebrada SN N°2	Rural	4.87	Calculado con análisis hidrológico
AT-03	Natural	Estero Culenar	Rural	97.01	Calculado con análisis hidrológico
AT-04	Natural	Estero Chingue	Rural	48.03	Calculado con análisis hidrológico
AT-05	Natural	Quebrada SN N°4	Rural	11.80	Calculado con análisis hidrológico
AT-06	Artificial	No oficial	Rural	0.5242	Caudal de porteo calculado
AT-07	Artificial	Oficial IGM (Canal Los Guindos	Rural	0.581	Según catastro bocatomas DGA
AT-08	Artificial	Oficial IGM (Canal La Victoria)	Rural	1.36	Según catastro bocatomas DGA
AT-09	Artificial	Oficial IGM (Canal La Victoria)	Rural	1.36	Según catastro bocatomas DGA
AT-10	Artificial	Oficial Observatorio DGA (Canal Wiker)	Urbana	0.153	Según catastro bocatomas DGA
AT-11	Artificial	Oficial IGM (Canal Los Guindos)	Urbana	0.581	Según catastro bocatomas DGA
AT-12	Artificial	Oficial IGM (Canal La Victoria)	Rural	1.36	Según catastro bocatomas DGA
AT-13	Artificial	No oficial	Rural	0.6358	Caudal de porteo calculado
AT-14	Artificial	Oficial IGM (Canal La Victoria)	Rural	1.36	Según catastro bocatomas DGA
AT-15	Artificial	Oficial IGM (Canal La Victoria)	Rural	1.36	Según catastro bocatomas DGA
AT-16	Artificial	Oficial IGM (Canal El Mono)	Urbana	0.390	Según catastro bocatomas DGA
AT-17	Artificial	Oficial IGM (Canal Derivado San Miguel)	Urbana	1.00	Según catastro bocatomas DGA
AT-18	Artificial	Oficial IGM (Canal Derivado San Miguel)	Urbana	1.00	Según catastro bocatomas DGA
AT-19	Artificial	No oficial	Urbana	0.4489	Caudal de porteo calculado
AT-20	Artificial	No oficial	Urbana	0.5346	Caudal de porteo calculado
AT-21	Artificial	Oficial IGM (Canal Reloca)	Rural	0.864	Según catastro bocatomas DGA

ID Cruce	Tipo de Cauce	Categoría	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Definición de caudal
AT-22	Artificial	No oficial	Rural	0.893	Caudal de porteo calculado
AT-23	Artificial	Oficial IGM (Canal Los Guindos)	Rural	0.581	Según catastro bocatomas DGA
AT-24	Artificial	Oficial IGM (Canal Los Guindos)	Rural	0.581	Según catastro bocatomas DGA
AT-25	Artificial	Oficial IGM (Canal La Victoria)	Rural	1.36	Según catastro bocatomas DGA
AT-26	Artificial	Oficial IGM (Canal La Victoria)	Rural	1.36	Según catastro bocatomas DGA
AT-27	Artificial	Oficial Observatorio DGA (Canal Wiker)	Urbana	0.153	Según catastro bocatomas DGA
AT-28	Artificial	No oficial	Rural	1.076	Caudal de porteo calculado
AT-29	Artificial	No oficial	Rural	0.6358	Caudal de porteo calculado
AT-30	Artificial	No oficial	Rural	0.6358	Caudal de porteo calculado
AT-31	Artificial	No oficial	Rural	0.5759	Caudal de porteo calculado
AT-32	Artificial	Oficial IGM (Canal La Victoria)	Rural	1.3600	Según catastro bocatomas DGA
AT-33	Artificial	Oficial IGM (Canal El Mono)	Urbana	0.390	Según catastro bocatomas DGA
AT-34	Artificial	Oficial IGM (Canal Derivado San Miguel)	Urbana	1.00	Según catastro bocatomas DGA

ID Cruce	Tipo de Cauce	Categoría	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Definición de caudal
CR-01	Artificial	No oficial	Rural	0.0988	Caudal de porteo calculado
CR-02	Artificial	No oficial	Rural	0.0670	Caudal de porteo calculado
CR-03	Artificial	No oficial	Rural	0.3316	Caudal de porteo calculado
CR-04	Artificial	No oficial	Rural	0.3316	Caudal de porteo calculado
CR-05	Artificial	No oficial	Rural	0.1245	Caudal de porteo calculado
CR-06	Artificial	No oficial	Rural	0.0857	Caudal de porteo calculado
CR-07	Artificial	No oficial	Rural	0.4711	Caudal de porteo calculado
CR-08	Artificial	No oficial	Rural	0.4194	Caudal de porteo calculado

ID Cruce	Tipo de Cauce	Categoría	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Definición de caudal
CR-09	Artificial	No oficial	Rural	0.2062	Caudal de porteo calculado
CR-10	Artificial	No oficial	Rural	0.2062	Caudal de porteo calculado
CR-11	Artificial	No oficial	Rural	0.2904	Caudal de porteo calculado
CR-12	Artificial	No oficial	Rural	0.2511	Caudal de porteo calculado
CR-13	Artificial	No oficial	Rural	0.3739	Caudal de porteo calculado
CR-14	Artificial	Oficial IGM (Canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-15	Artificial	No oficial	Rural	0.3739	Caudal de porteo calculado
CR-16	Artificial	No oficial	Rural	0.3739	Caudal de porteo calculado
CR-17	Artificial	No oficial	Rural	0.2511	Caudal de porteo calculado
CR-18	Artificial	No oficial	Rural	0.2400	Caudal de porteo calculado
CR-19	Artificial	Oficial IGM (Canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-20	Artificial	No oficial	Rural	0.0826	Caudal de porteo calculado
CR-21	Artificial	No oficial	Rural	0.0826	Caudal de porteo calculado
CR-22	Artificial	Oficial IGM (Canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-23	Artificial	No oficial	Rural	0.4383	Caudal de porteo calculado
CR-24	Artificial	No oficial	Rural	0.4383	Caudal de porteo calculado
CR-25	Artificial	No oficial	Rural	0.4383	Caudal de porteo calculado
CR-26	Artificial	Oficial IGM (Canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-27	Artificial	No oficial	Rural	0.3105	Caudal de porteo calculado
CR-28	Artificial	No oficial (Brazo de canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-29	Artificial	No oficial (Brazo de canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-30	Artificial	No oficial (Brazo de canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-31	Artificial	No oficial	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA

ID Cruce	Tipo de Cauce	Categoría	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Definición de caudal
		(Brazo de canal El Mono)			
CR-32	Artificial	No oficial (Brazo de canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-33	Artificial	No oficial (Brazo de canal El Mono)	Rural	0.3900	Según catastro bocatomas DGA
CR-34	Artificial	No oficial	Rural	0.1528	Caudal de porteo calculado

Tabla 4. Tabla resumen de los cauces que interactúan con los caminos del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

6.2. Identificación de Cuerpos de Agua:

Con base en el levantamiento realizado en terreno y la información disponible en la bibliografía y en las cartografías oficiales del Ministerio de Medio Ambiente y la DGA, se ha identificado un tranque de origen artificial en el área de emplazamiento del proyecto.

Estos tranques, ubicados en zonas de baja pendiente y áreas de acumulación de agua, actúan como reservorios naturales que almacenan y regulan el flujo hídrico, especialmente durante períodos de alta precipitación. Además, desempeñan un papel crucial en la gestión de recursos hídricos, proporcionando almacenamiento temporal y contribuyendo a la regulación de caudales en épocas de sequía o eventos de lluvia intensa.

A continuación, se muestran los principales cuerpos de aguas identificados, los cuales corresponden en su mayoría a piscinas de acumulación de agua para regadíos.

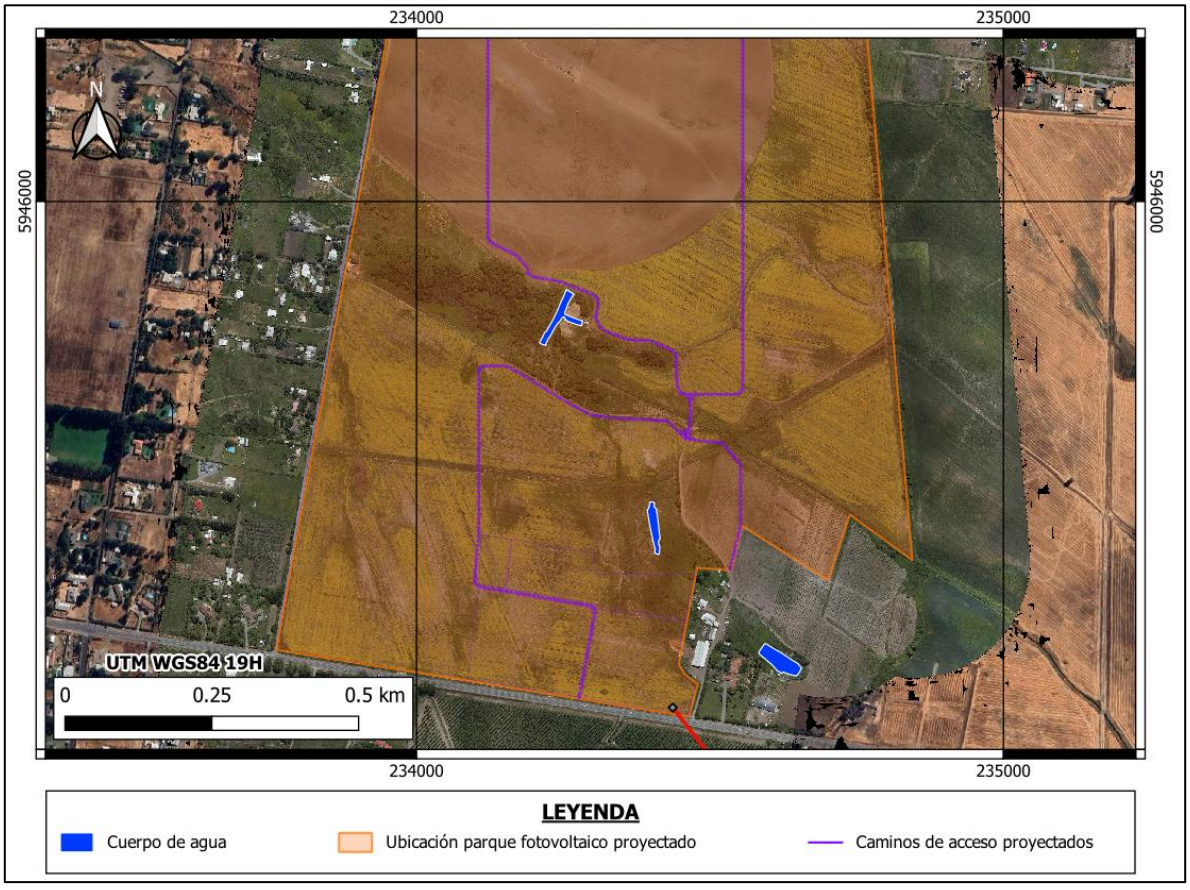


Ilustración 51. Identificación cuerpos de agua en el área de emplazamiento del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

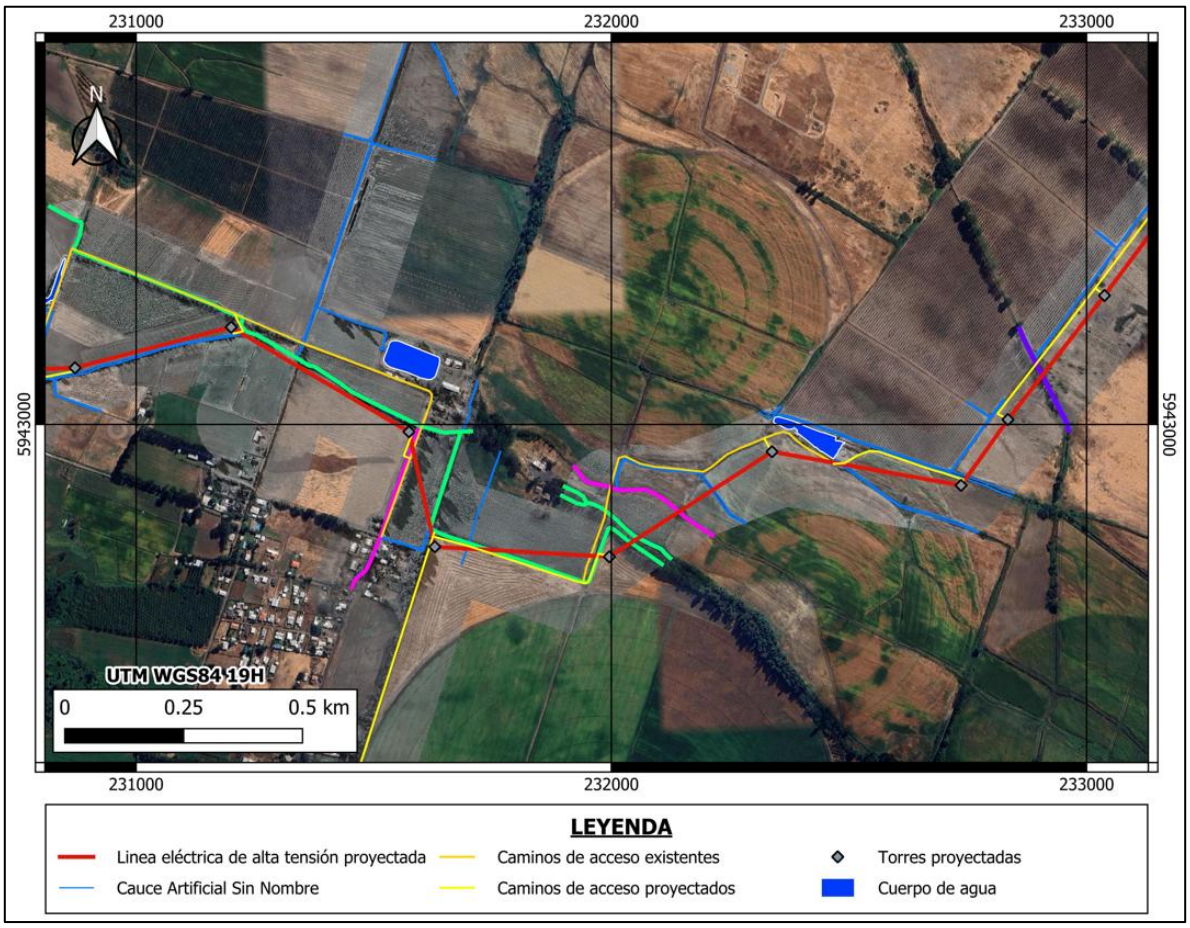


Ilustración 52. Identificación cuerpos de agua en el área de emplazamiento del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

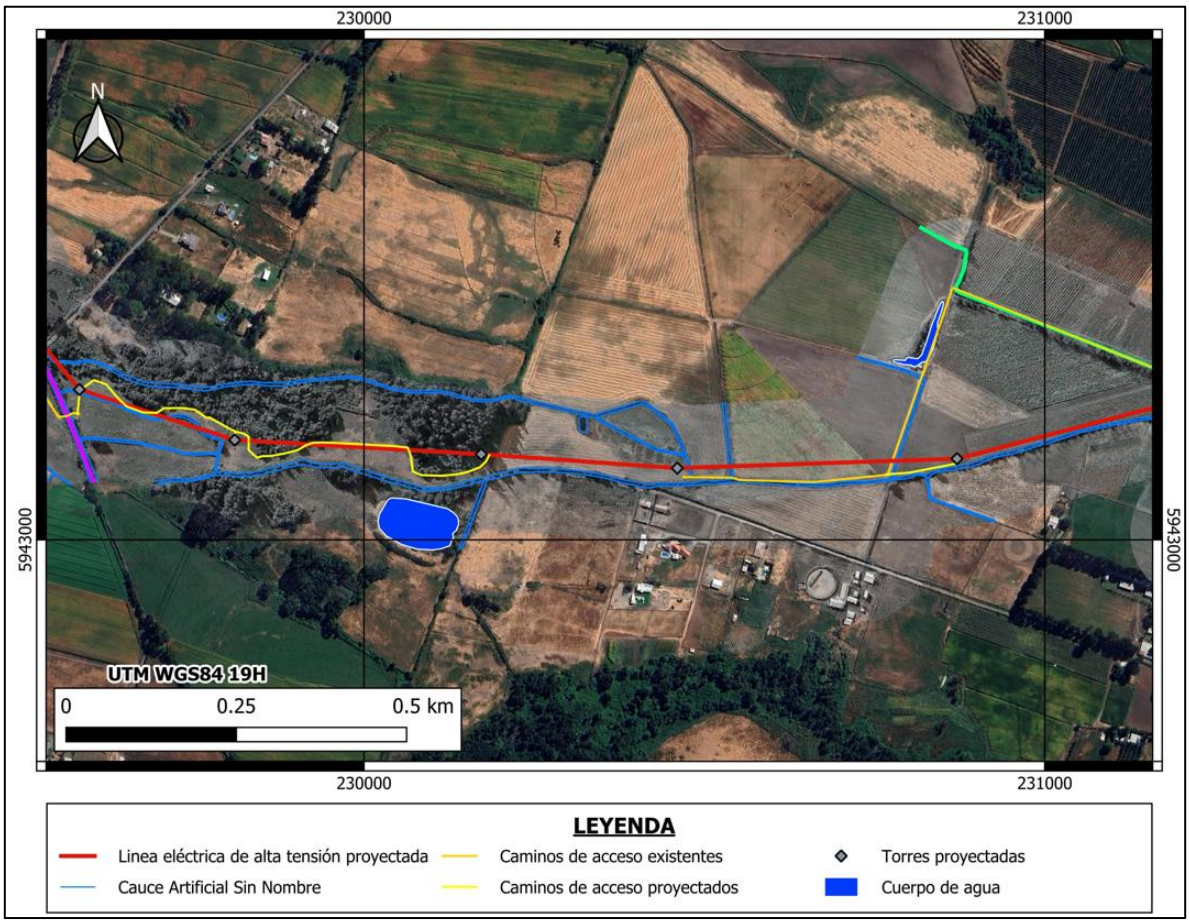


Ilustración 53. Identificación cuerpos de agua en el área de emplazamiento del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

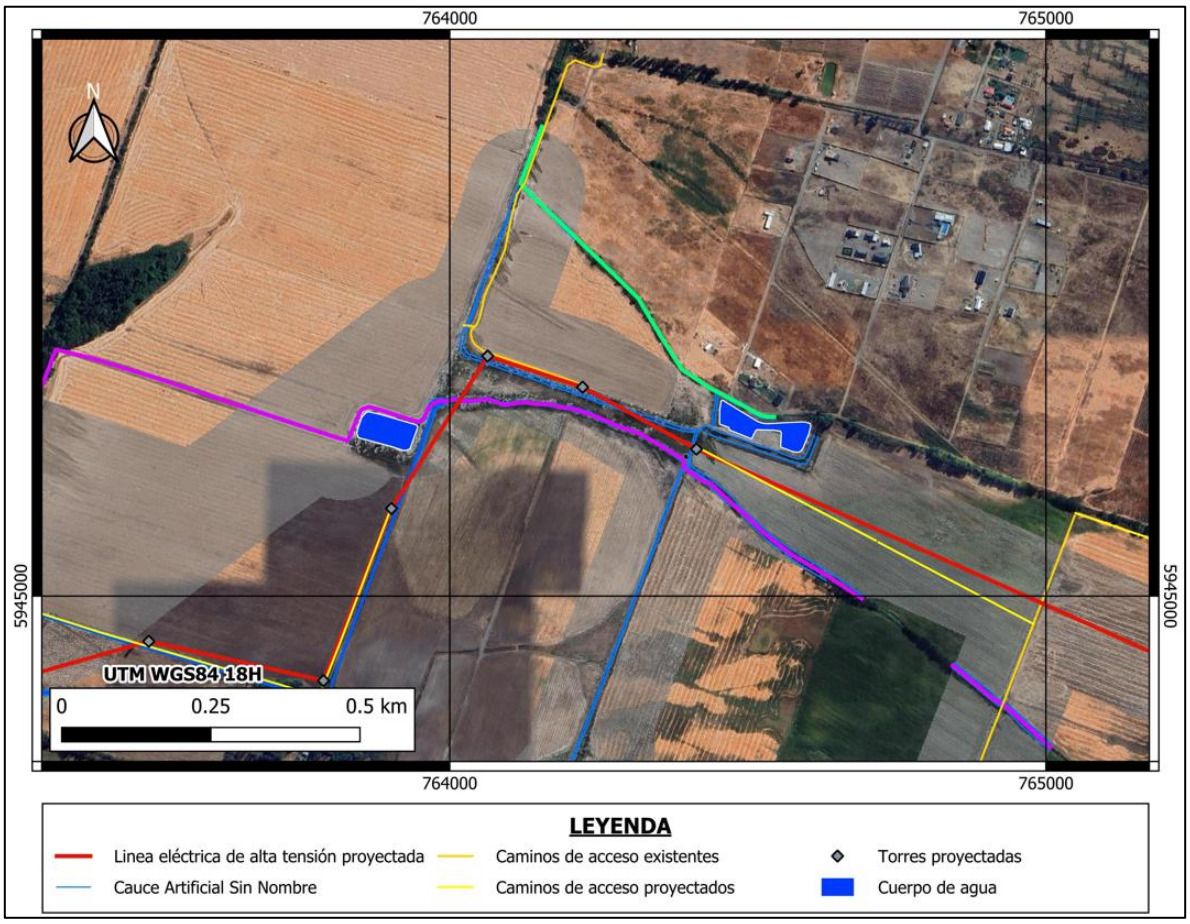


Ilustración 54. Identificación cuerpos de agua en el área de emplazamiento del proyecto.
Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que los seis cuerpos de agua identificados corresponden a piscinas o tranques de almacenamiento de agua, los que se encuentran en su totalidad fuera del área Urbana.

6.3. Análisis Hidrológico-Hidráulico Cauces Naturales

En el presente estudio se identificó el Río Cato, Estero Culenar, Estero Chingue y tres quebradas sin nombre como los únicos cauces naturales emplazados en el área de estudio. Dado su carácter natural y la presencia de caudales considerables durante eventos de crecida, se llevó a cabo la modelación hidrológica de su comportamiento. Esta modelación es esencial para prever su respuesta ante precipitaciones intensas y garantizar una gestión eficiente del riesgo asociado a las crecidas, contribuyendo a la planificación y protección del entorno.

La escorrentía máxima en los distintos cauces naturales en estudio fue estimada considerando métodos que relacionan la precipitación máxima con la escorrentía máxima, y un método estadístico denominado Transposición de caudales que toma la información fluviométrica registrada en estaciones DGA.

En la caracterización hidrográfica se estimó que la superficie de drenaje de las cuencas en estudio varía entre 1 km^2 y 847 km^2, por lo que los métodos precipitación-escorrentía aplicables corresponde al método racional para las cuencas menores a 25 km^2, método DGA-AC, método Verni y King modificado para cuencas entre 20 km^2 y 10,000 km^2, y método hidrograma unitario para las cuencas entre 25 km^2 y 4500 km^2 (MOP, 2023). Se destaca que, para incorporar un criterio conservador en el análisis, se consideró que el área pluvial de la cuenca en estudio es la misma que el área total, es decir, se asume que en la totalidad de la cuenca cae precipitación líquida sin nieve.

6.3.1.Caracterización hidrográfica

El Río Cato es el cauce de mayor envergadura del área de estudio y se encuentra inmediatamente al norte del emplazamiento del Proyecto. El Río Cato en el área de estudio presenta un cauce único con riberas estables bien definidas, y alta presencia de vegetación correspondiente principalmente a árboles. El ancho aproximado del Río Cato es de 30 m y el lecho del río es de material grueso.

La Quebrada Sin Nombre N°1 (QSN N°1) cruza el sector noreste del emplazamiento PFV en un tramo de 1 km aprox. Esta quebrada nace a partir de los excesos de riego del cauce artificial "Canal Sin Nombre", lo cual forma diversos brazos de pequeña sección transversal sin riberas apreciables y en dirección noreste que finalmente confluyen a un cauce único con riberas bien definidas, y éste a su vez descarga sus aguas al Río Cato.

La Quebrada Sin Nombre N°2 (QSN N°2) se encuentra unos 400 m al sur de QSN N°1 y cruza el sector de emplazamiento PFV en un tramo de 600 m aprox. Esta quebrada nace a sólo 1.1 km aguas arriba del Proyecto y desemboca en el cauce artificial de riego "Canal Sin Nombre" dentro del emplazamiento del Proyecto. Cabe mencionar que, este cauce cuenta con riberas bien definidas y perfiladas, y al momento de la visita contaba con escurrimiento superficial.

El Estero Culenar recoge las aguas que escurren en sentido sureste a noroeste al norte del Río Chillán, y luego de recorrer 15 km aprox desde su inicio cruza de este a oeste el emplazamiento PFV en un tramo de 250 m aprox. Luego, 2.4 km aguas abajo confluye sus aguas con el Estero Chingue, para finalmente descargar al Río Cato.

El Estero Chingue se ubica al sur 1.3 km al sur del Estero Culenar, y al igual que este, sus aguas escurren en sentido sureste a noroeste, donde luego de recorrer 7.5 km aprox desde su inicio cruza de sureste a noroeste el emplazamiento PFV en un tramo de 760 m aprox. Luego, aguas abajo confluye sus aguas con el Estero Culenar, para finalmente descargar al Río Cato.

La Quebrada Sin Nombre N°3 (QSN N°3) El largo total de esta quebrada es de sólo 1.0 km según carta IGM 1:50,000, y descarga sus aguas al Estero Chingue dentro del mismo emplazamiento PFV.

La Quebrada Sin Nombre N°4 (QSN N°4) cruza el sector sur del emplazamiento PFV en un tramo de 1 km aproximadamente, cuenta con riberas bien definidas con sentido de escurrimiento de sureste a noroeste. Presenta una sección transversal de forma trapezoidal constante.

Por otro lado, se definieron los límites de las cuencas en estudio utilizando como base la red de cauces generada con la cartografía IGM a escala 1:50,000, la utilización del modelo de elevación digital (DEM) Alos Palsar cuyo tamaño de celda es de 12.5x12.5 metros, y fotointerpretación de imágenes satelitales. Además, se estimaron los parámetros morfológicos de la cuenca (área aportante, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce, pendiente media de la cuenca, elevación mínima, elevación media y elevación máxima) mediante herramientas computacionales de Sistema de Información Geográfica (SIG).

La Ilustración 55 muestra la delimitación de las cuencas aportantes de los cauces identificados dentro del emplazamiento PFV. Además, la Tabla 5 presenta los parámetros geomorfológicos de las cuencas delimitadas para el estudio, donde se destaca que la superficie de las cuencas se encuentra principalmente entre 1 km^2 y 31 km^2, y la cuenca del Río Cato tiene una superficie de 847 km^2.

Cauce	Área (km^2)	Elevación media (msnm)	Elevación mínima (msnm)	Elevación máxima (msnm)	Largo del cauce (km)	Pendiente media del cauce (%)	Régimen del cauce	Régimen de escurrimiento
Rio Cato	847,24	699	184	2345	65,6	3,0	Permanente	Nivo–nival
Quebrada SN N°1	8,31	219	182	251	6,5	0,7	Efímero	Pluvial estacional
Quebrada SN N°2	1,69	208	197	224	3,0	0,9	Efímero	Pluvial estacional
Estero Culenar	30,93	271	194	354	21,2	0,7	Intermitente	Pluvial
Estero Chingue	21,42	264	200	334	15,3	0,8	Intermitente	Pluvial
Quebrada SN N°3	0,97	213	205	228	0,75	0,8	Efímero	Pluvial estacional
Quebrada SN N°4	4.17	232	207	271	4,0	0,8	Efímero	Pluvial estacional

Tabla 5. Características geomorfológicas de las cuencas estudiadas.
Fuente: Elaboración propia

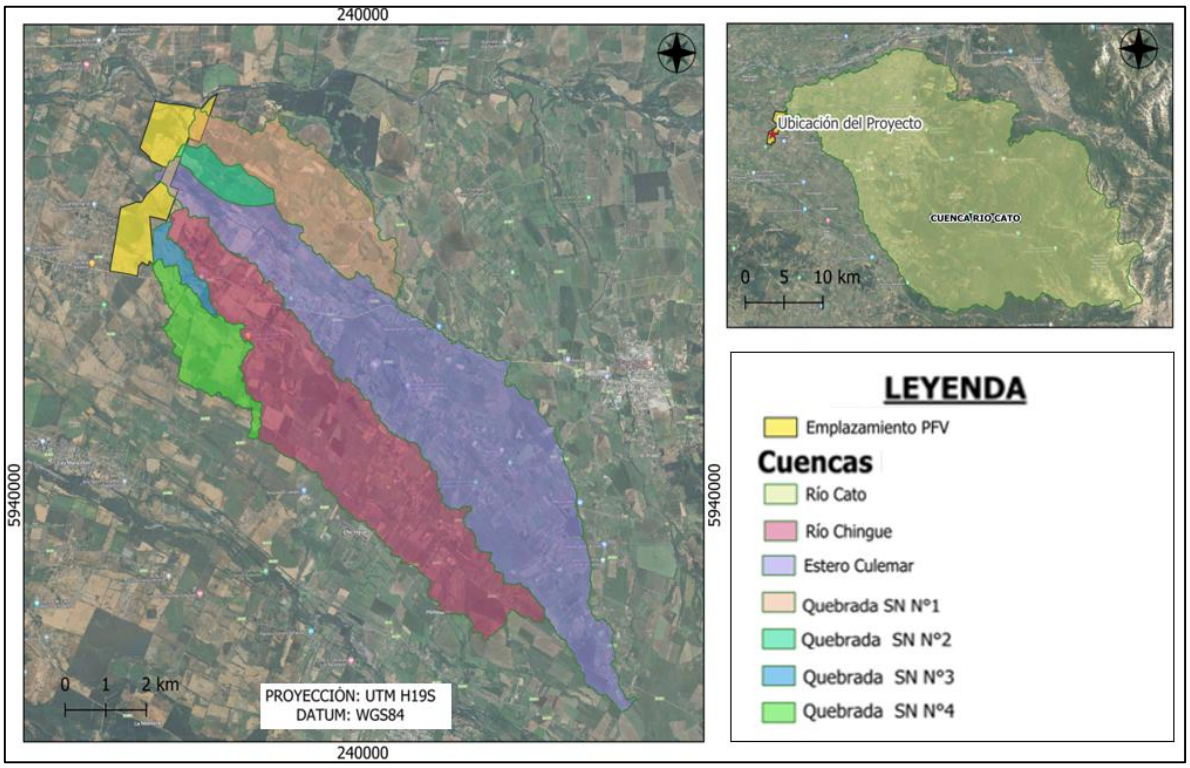


Ilustración 55. Delimitación de cuencas hidrográficas Cauces naturales.
Fuente: Elaboración propia

6.3.2.Precipitaciones máximas

Las precipitaciones máximas en 24 horas se obtuvieron de las estaciones 1) Coihueco embalse, 2) Chillán Viejo, y 3) Chillán Sendos, considerando que se ubican en zonas próximas a los cauces en estudio. Los estadígrafos principales de la serie de precipitación máxima en 24 horas anual (valor mínimo, valor medio, valor máximo, desviación estándar y coeficiente de variación) se presentan en la Tabla 6, donde se destaca que la estación Coihueco Embalse presentó el máximo registro de precipitación máxima en 24 horas de 253 mm. Las estaciones meteorológicas cuentan con un rango de medición entre 19 y 52 años con información, por lo que se consideran representativas de la condición hidrometeorológica del área de estudio. Las series de precipitación máxima en 24 hrs de las estaciones meteorológicas se presentan en el Apéndice B.

ID	Estación	Años con información	Mínimo (mm)	Media (mm)	Máximo (mm)	Desv. Estándar (mm)	Coef. Variación (-)
1	Coihueco embalse	52	35.5	90.4	253	35.4	0.39
2	Chillán Viejo	46	36.4	82.1	205.9	34.9	0.42
3	Chillán Sendos	19	35.1	61.9	119	21.7	0.35

Tabla 6. Principales estadígrafos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas.
Fuente: Elaboración propia

Además, se analizó la frecuencia de la serie anual de precipitaciones máximas en 24 hrs registrados en las estaciones meteorológicas en base a un ajuste de distribución de probabilidad. A través del test Chi Cuadrado (significancia de 5%) se estudió la bondad del ajuste con 6 intervalos de las distribuciones Log Normal, Pearson III, Log Pearson y Gumbel (Valores Extremos tipo I). De los resultados obtenidos presentados en la Tabla 7, se destaca que todas las distribuciones fueron aceptadas excepto la distribución LogNormal en los datos de la estación Coihueco embalse.

Distribución	Estaciones DGA		
	Coihueco embalse	Chillán Viejo	Chillán Sendos
Log-Normal	Rechazado	Aceptado	Aceptado
Pearson III	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Log Pearson	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Gumbel	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Tabla 7. Resultados Test Chi Cuadrado para bondad de ajuste a series de precipitación según estación meteorológica.
Fuente: Elaboración propia

El análisis de frecuencia da como resultado las precipitaciones máximas en 24 hrs para distintos períodos de retorno. Los resultados indicaron que, en la estación Coihueco Embalse la distribución Pearson estimó los valores de precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años más conservadores (más altos). La Tabla 8 presenta los valores de precipitación máxima en 24 horas según periodo de retorno del ajuste de la distribución de probabilidades utilizando la distribución más conservadora según el caso de cada estación. Los resultados del Test Chi cuadrado y ajuste de probabilidades de las estaciones meteorológicas se presentan en el Apéndice C.

T (años)	Coihueco embalse	Chillán Viejo	Chillán Sendos
	Dist Pearson (mm)	Dist LogPearson (mm)	Dist Gumbel (mm)
5	111.7	104.7	83.4
10	134.7	125.6	97.8
25	168.8	157.9	117.4
50	195.5	184.9	132.0
100	223.0	214.5	146.4

Tabla 8. Precipitación máxima en 24 hrs según periodo de retorno y estación meteorológica (mm)
Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos, se observó que el rango de valores para precipitaciones de 100 años en 24 horas varía entre 146.4 mm y 223 mm, donde los máximos valores corresponden a la estación Coihueco Embalse, debido a la influencia de la cordillera de la costa.

Se consideró que la precipitación representativa de las cuencas en estudio corresponde a la estimada por la estación Coihueco Embalse debido a que es la estación que entrega los resultados más conservadores respecto al resto de las estaciones meteorológicas.

Se destaca que, el máximo registro en la estación Coihueco Embalse es de 253 mm, mientras que la precipitación de 100 años estimada es de 223 mm, por lo que, para la definición de cauce, a modo conservador, se consideró la precipitación máxima en 24 horas registrada de 253 mm como representativa. Además, la precipitación de 10 años de periodo de retorno representativa es de 134.7 mm.

6.3.3.Método Racional

El método racional supone que el escurrimiento máximo proveniente de una tormenta es proporcional al área de drenaje, a un coeficiente que depende de las condiciones del terreno, y a la lluvia caída, la cual se estima para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con periodo de retorno de 100 años. El método racional es aplicable a las cuencas de los cauces Quebrada Permanente N°1, Quebrada Permanente N°2, Estero Chingue, Quebrada Permanente N°3, y Quebrada Permanente N°4 debido a que la superficie de drenaje es menor a 25 km^2.

El coeficiente de escorrentía se estimó para un periodo de retorno de 10 años igual para cada cauce dada la similitud de las cuencas, donde el valor estimado es de 0.29 considerando las condiciones o factores de: relieve bajo, infiltración normal, cobertura vegetal regular a buena, y almacenamiento superficial normal.

Para estimar el coeficiente de escorrentía para un periodo de retorno de 100 años, se amplifica el valor de 10 años por un factor igual a 1.25 (MOP, 2023), respectivamente, resultando un coeficiente de escorrentía para 100 años igual a 0.363. La Tabla 9 presenta los resultados obtenidos por cauce estudiado.

Condición o Factor	**Coeficiente de escorrentía (-)**				
	QP N°1	**QP N°2**	**Estero Chingue**	**QP N°3**	**QP N°4**
Relieve	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Infiltración	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Cobertura Vegetal	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Almacenamiento Superficial	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Coef. Escorrentía	**0.29**	**0.29**	**0.29**	**0.29**	**0.29**
Coef. Escorrentía (100 años)	**0.363**	**0.363**	**0.363**	**0363**	**0.363**

Tabla 9. Coeficiente de escorrentía estimados para las cuencas estudiadas.
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el tiempo de concentración fue estimado mediante los métodos de *California Culverts Practice*. Témez o Normas españolas, y Giandotti y los resultados se presentan en la Tabla 10, donde se destaca que promediando los resultados, se estimó que el tiempo de concentración de las cuencas en estudio varía en un rango entre 1.01 hr y 5.27 hrs. Cabe

mencionar que, los valores de los parámetros utilizados para estimar los tiempos de concentración de las cuencas se presentan en la siguiente tabla.

Método	Tiempo de concentración (hr)				
	QP N°1	QP N°2	Estero Chingue	QP N°3	QP N°4
California Culverts Practice	1.62	0.96	3.37	0.2	0.95
Témez o Normas Españolas	3.39	1.79	5.97	0.6	2.19
Giandotti	4.37	3.61	6.48	2.24	3.54
Promedio	**3.1**	**212**	**5.27**	**1.01**	**2.23**

Tabla 10. Tiempo de concentracion calculados.
Fuente: Elaboración propia

Dado que los tiempos de concentración estimados son igual o mayor a 1 hora, se consideró estimar la intensidad de precipitación mediante el uso de los coeficientes de duración de la estación Chillán, la precipitación con periodo de retorno de 100 años estimada en la estación meteorológica Coihueco Embalse (253 mm), y un factor de mayoración de 1.1 recomendado en el Manual de Carreteras (MOP, 2023).

Considerando que la duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración de la cuenca, y que la estimación se realiza para un periodo de retorno de 100 años, las intensidades de la precipitación estimadas mediante el uso de los coeficientes de duración se presentan en la siguiente tabla:

Método	Intensidad de precipitación (mm/hr)				
	QP N°1	QP N°2	Estero Chingue	QP N°3	QP N°4
Coeficiente duración	25.2	28.6	20.63	36.04	28.07

Tabla 11. Intensidades de precipitación estimadas para las cuencas estudiadas
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el caudal máximo instantáneo estimado en la cuenca de estudio utilizando la fórmula racional según periodo de retorno se presentan en la Tabla 12. El caudal que determina la superficie de cauce corresponde a 100 años de periodo de retorno.

T (años)	Caudal máximo (m^3/s) Método racional				
	QP N°1	QP N°2	Estero Chingue	QP N°3	QP N°4
5	8.82	1.72	15.72	1.24	4.17
10	10.63	2.07	18.96	1.50	5.02
25	14.66	2.86	26.13	2.07	6.93
50	18.52	3.61	33.02	2.61	8.75
100	24.97	4.87	44.51	3.52	11.80

Tabla 12. Caudales máximos estimados según cuenca en estudio y periodo de retorno
Fuente: Elaboración propia

6.3.4.Método DGA-AC y Verni y King Modificado

Se realizó la estimación del escurrimiento máximo utilizando los métodos DGA-AC y Verni y King modificado para el Río Cato y el Estero Culenar considerando que el área de drenaje de sus cuencas es de 847 km^2 y 31 km^2. La Tabla 13 y Tabla 14 presentan un resumen de los caudales máximos estimados mediante el método DGA-AC y Verni y King modificado, respectivamente, para diferentes periodos de retorno, donde se destacó que el método Verni y King modificado entrega los valores más conservadores.

T (años)	Río Cato (m^3/s) DGA-AC	Estero Culenar (m^3/s) DGA-AC
5	453.4	18.1
10	648.8	25.9
25	781.7	31.2
50	945.9	37.8
100	1156.9	46.2

Tabla 13. Caudales máximos por periodo de retorno estimados según método DGA-AC.
Fuente: Elaboración propia.

T (años)	Río Cato (m^3/s) Verni y King modificado	Estero Culenar (m^3/s) Verni y King modificado
5	-	-
10	-	-
25	1600.2	86.9
50	1758.5	95.5
100	1776.0	96.5

Tabla 14. Caudales máximos por periodo de retorno estimados según método Verni y King modificado.
Fuente: Elaboración propia.

6.3.5.Método de la Curva Número e Hidrograma Sintético Unitario

Se realizó la estimación del escurrimiento máximo utilizando el método de la curva número para el Río Cato y el Estero Culenar considerando que el área de drenaje de sus cuencas es de 847 km^2 y 31 km^2. Para el método de la curva número o también conocido como el método del SCS, el valor del coeficiente de Curva Número (CN) se estimó de forma agregada en base a una proporción según la cobertura existente para cada cuenca en estudio.

En el caso del Estero Culenar, la superficie de la cuenca a la altura del Proyecto se estimó en 30.9 km^2, donde el 50% de la superficie se podría considerar "Praderas" tipo B infiltración moderada (CN=79) y 50% de la superficie como "Arbustos y pastos naturales" tipo B infiltración moderada (CN=67), resultando en un valor de coeficiente CN(II) ponderado de 73. Para realizar la estimación de forma conservadora, se consideró que los suelos de la cuenca en estudio se pueden encontrar prácticamente saturados producto de potenciales lluvias previas, por lo que el factor CN a considerar corresponde al valor CN(III), el cual se estimó finamente en 86. Para la lluvia de 100 años de periodo de retorno estimada en 253

mm, el potencial máximo de la retención de agua (S) se estimó en 41.3 mm, y la precipitación efectiva (Pef) en 209 mm.

En el caso del Río Cato, la superficie de la cuenca a la altura del Proyecto se estimó en 847 km^2, donde el 80% de la superficie se podría considerar "Bosques y Praderas" tipo B infiltración moderada (CN=65) y 20% de la superficie como "Praderas, arbustos y pastos naturales" tipo B infiltración moderada (CN=73), resultando en un valor de coeficiente CN(II) ponderado de 66,6. Para realizar la estimación de forma conservadora, se consideró que los suelos de la cuenca en estudio se pueden encontrar prácticamente saturados producto de potenciales lluvias previas, por lo que el factor CN a considerar corresponde al valor CN(III) el cual se estimó finamente en 82. Para la lluvia de 100 años de periodo de retorno estimada en 253 mm, el potencial máximo de la retención de agua (S) se estimó en 55.7 mm, y la precipitación efectiva (Pef) en 196.5 mm.

La Tabla 15 y Tabla 16 presentan los resultados de las estimaciones del caudal máximo según periodo de retorno utilizando el método de la curva número considerando duraciones de la tormenta de 12 y 24 horas y con las cuatro formas de hietogramas de Varas (Varas, 1985) para la cuenca del Río Cato y Estero Culenar, respectivamente.

T (años)	12 hrs				24 hrs			
	Hieto 1	Hieto 2	Hieto 3	Hieto 4	Hieto 1	Hieto 2	Hieto 3	Hieto 4
5	425	454	470	464	613	678	736	724
10	567	613	638	628	791	884	956	939
25	783	856	896	880	1.060	1.196	1.288	1.262
50	955	1.051	1.103	1.082	1.271	1.443	1.554	1.517
100	1.326	1.476	1.556	1.521	1.727	1.985	2.131	2.066

Tabla 15. Resultados caudales máximos (m^3/s) estimados según periodo de retorno utilizando método de curva número Río Cato.
Fuente: Elaboración propia.

T (años)	12 hrs				24 hrs			
	Hieto 1	Hieto 2	Hieto 3	Hieto 4	Hieto 1	Hieto 2	Hieto 3	Hieto 4
5	24.1	25.9	27.3	26.9	27.6	32.4	36.3	35.6
10	31.4	34.1	35.8	35.2	34.9	41.2	46.1	44.8
25	42.3	46.5	49.0	47.8	45.6	54.7	60.8	58.6
50	51.0	56.3	59.4	57.7	54.1	65.3	72.3	69.2
100	69.6	77.8	82.1	79.3	72.6	88.2	97.1	92.1

Tabla 16. Resultados caudales máximos (m^3/s) estimados según periodo de retorno utilizando método de curva número Estero Culenar.
Fuente: Elaboración propia.

El valor máximo de caudal de 100 años de periodo de retorno estimado para el Río Cato corresponde a 2131 m^3/s con el hietograma N°3 y duración de tormenta de 24 hrs, y para el Estero Culenar corresponde 97.1 m^3/s también con el hietograma N°3 y duración de tormenta de 24 hrs.

6.3.6.Método Transposición de caudales

El método de transposición de caudales fue utilizado para evaluar la escorrentía según periodo de retorno del Río Cato, para lo cual se consideraron los registros de la estación fluviométrica DGA Río Cato en puente Cato que forma la cuenca índice. Con esta información, se generó la serie de caudales máximos instantáneos para los 68 años de registro en la estación fluviométrica.

El área de la cuenca índice es 981.14 km^2, mientras que el área de la cuenca en estudio es de 847.24 km^2, con lo cual es posible efectuar la relación entre áreas. En el caso de la precipitación representativa de las cuencas, se consideró que para ambas cuencas es la misma, ya que la cuenca índice contiene a la cuenca en estudio.

Con los antecedentes anteriores, se utilizó la fórmula del método de transposición de caudales con lo que se obtuvo la serie de caudales máximos anuales transpuesto representativo de la cuenca en estudio. La Tabla 17 presenta los estadígrafos principales (valor mínimo, valor medio, valor máximo, desviación estándar y coeficiente de variación) de la serie de caudales máximas anuales de la cuenca índice formada por la estación fluviométrica DGA y de la serie de caudales máximos anuales de la cuenca en estudio estimados a partir del método de transposición de caudales.

Cuenca	Años con información	Mínimo (m^3/s)	Media (m^3/s)	Máximo (m^3/s)	Desv. Estándar (m^3/s)	Coef. Variación (-)
Cuenca en estudio* a la altura del Proyecto	68	62.7	555.0	1603.8	309.6	0.6
Cuenca índice a la altura estación fluviométrica	68	727	642.7	1857.3	358.5	0.6

Tabla 17. Principales estadígrafos de series caudales máximos instantáneos anuales según cuenca.
Fuente: Elaboración propia

Además, se analizó la frecuencia de la serie de caudales máximos anuales de la cuenca en estudio en base a un ajuste de distribución de probabilidad. A través del test Chi Cuadrado (significancia de 5%) se estudió la bondad del ajuste con 7 intervalos de las distribuciones Log Normal, Pearson III, Log Pearson y Gumbel (Valores Extremos tipo I). De los resultados obtenidos presentados en la Tabla 18, se destaca que se aprobó el test para todas las distribuciones.

Distribución	Serie caudales máximos instantáneos Cuenca en estudio
Log-Normal	Aceptado
Pearson III	Aceptado
Log Pearson	Aceptado
Gumbel	Aceptado

Tabla 18. Resultados Test Chi Cuadrado para bondad de ajuste a serie de caudales máximos instantáneos.
Fuente: Elaboración propia

El análisis de frecuencia muestra los caudales máximos instantáneos para distintos períodos de retorno de la cuenca de estudio. Los resultados indicaron que, los valores más altos de escurrimientos máximos los entrega la distribución de probabilidades LogNormal. La Tabla 19 presenta los valores de caudal máximo instantáneo según periodo de retorno utilizando la distribución de probabilidades más conservadora. Los resultados del Test Chi cuadrado y ajuste de probabilidades de la estación fluviométrica se presentan en el Apéndice C.

T (años)	Cuenca en estudio
	Dist LogNormal (m^3/s)
5	846
10	1124
25	1565
50	1937
100	2348

Tabla 19. Caudales máximos instantáneos según periodo de retorno Método Transposición de Caudales.
Fuente: Elaboración propia

La Ilustración 56 presenta el ajuste de la distribución LogNormal a la serie de caudales máximos instantáneos anuales estimada para la cuenca en estudio.

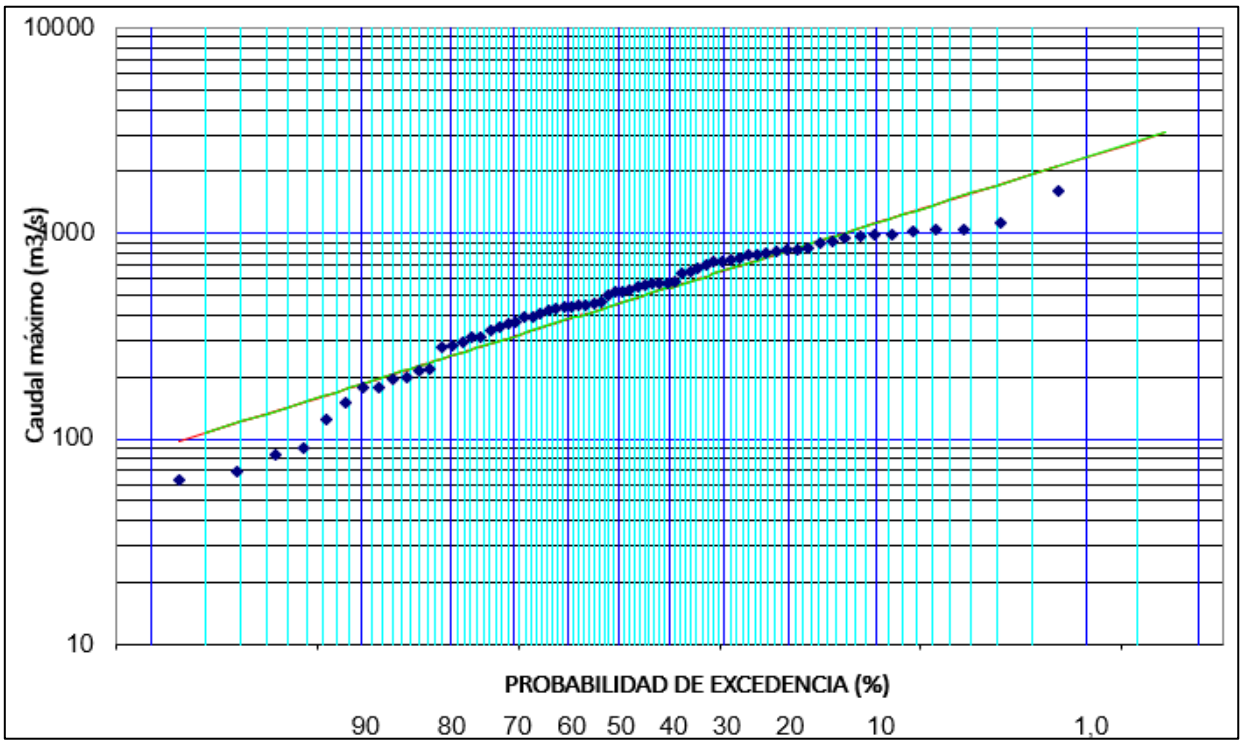


Ilustración 56. Ajuste distribución LogNormal a serie de caudales máximos instantáneos anuales cuenca en estudio.
Fuente: Elaboración propia

6.3.7.Resumen caudal máximos estimados por cuenca

La Tabla 20 presenta los caudales estimados según periodo de retorno para las cuencas de los cauces QP N°1, QP N°2, Estero Chingue, QP N°3 y QP N°4, los cuales fueron estimados con el método racional.

Por otro lado, la Tabla 21 y Tabla 22 presentan un resumen de los caudales máximos estimados según periodo de retorno y según metodología empleada para la cuenca del Río Cato y Estero Culenar, respectivamente.

T (años)	Caudal máximo (m³/s) Método racional				
	QP N°1	Estero Chingue	QP N°2	QP N°3	QP N°4
5	8.82	15.72	1.72	1.24	4.17
10	10.63	18.96	2.07	1.50	5.02
25	14.66	26.13	2.86	2.07	6.93
50	18.52	33.02	3.61	2.61	8.75
100	24.97	44.51	4.87	3.52	11.80

Tabla 20. Caudales máximos estimados en cauces, método racional.
Fuente: Elaboración propia

T	Río Cato (m³/s)				
	DGA-AC	Verni y King Modificado	Curva Número	Transposición de caudales	Valor escogido
5	453	-	736	846	**846**
10	649	-	956	1124	**1124**
25	782	1600	1288	1565	**1600**
50	946	1758	1554	1937	**1937**
100	1157	1776	2131	2348	**2348**

Tabla 21. Caudales máximos estimados según métodos DGA en Río Cato.
Fuente: Elaboración propia

T	Estero Culenar (m³/s)			
	DGA-AC	Verni y King Modificado	Curva Número	Valor escogido
5	18.1	-	36.3	**36.3**
10	25.9	-	46.1	**46.1**
25	31.2	86.9	60.8	**86.9**
50	37.8	95.5	72.3	**95.5**
100	46.2	96.5	97.1	**97.1**

Tabla 22. Resumen caudales máximos estimados según método en Estero Culenar
Fuente: Elaboración propia

6.4. Modelación hidráulica Cauces Naturales

Según los caudales obtenidos en el capítulo anterior en conjunto con la geomorfología se pueden modelar los cauces en estudio y así determinar el área de inundación.

Para modelar dicho cauce, fue necesario utilizar el software Hec Ras (Hydraulic Engineering Center – River Analysis) considerando la morfología que presenta el sector en estudio. Siendo este un programa de libre acceso desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (US Corp. Of Engineers). Una de las principales ventajas de este programa es que da la opción de conocer el comportamiento del flujo, con el fin de evaluar las inundaciones (provenientes de los caudales) y la posible afectación al área en donde se emplacen las obras del proyecto.

A continuación, se muestran las consideraciones y metodologías necesarias para modelar correctamente los cauces

6.4.1. Consideraciones Generales

El software Hec-Ras considera dentro de su forma de modelar las pérdidas de carga. Para esto el cálculo del flujo permanente se realiza a partir de la siguiente ecuación:

***Ecuación 1**: Energía del sistema.*

$$Y_2 + Z_2 + {}^{a_2 V_2^2}/_{2g} = Y_1 + Z_1 + {}^{a_1 V_1^2}/_{2g} + h_e$$

Donde **Y_1, Y_2** es la profundidad del agua en la sección, **Z_1,, Z_2** la elevación de la sección principal del canal, **V_1, V_2** la velocidad media, **a_1, a_2** coeficiente de carga de la velocidad, **g** aceleración de gravedad y **h_e** pérdida principal de energía.

La pérdida de energía (h_e) entre dos secciones transversales se atribuye a las pérdidas por fricción y a las pérdidas debido a contracciones y/o expansiones. La ecuación utilizada para el cálculo de pérdidas es:

***Ecuación 2:** Pérdida de Energía.*

$$h_e = \mathrm{L}\bar{\mathrm{S}}_f + C\left|{}^{a_2 V_2^2}/_{2g} - {}^{a_1 V_1^2}/_{2g}\right|$$

Dónde **L** es la Longitud de alcance de descarga, $\bar{\mathrm{S}}_\mathrm{f}$ la pendiente representativa de la fricción entre dos secciones y **C** el Coeficiente de contracción o expansión.

La pérdida de fricción se calculó para cada sección de la siguiente forma:

***Ecuación 3:** Pérdidas por Fricción.*

$$S_f = {}^{Q}/_{K}{}^{2}$$

Donde **Q** es el transporte para la sección y **K** el transporte para la subdivisión.

La determinación del transporte total y del coeficiente de velocidad para una sección transversal requiere que el flujo esté subdividido en las unidades para las cuales la velocidad se distribuye uniformemente. El software Hec-Ras subdivide el flujo, separando las planicies de inundación del cauce principal a partir de los puntos medidos. El flujo es calculado para cada sub-sección con la siguiente ecuación:

Ecuación 4: *Transporte para la Sección.*

$$Q = KS_f^{1/2}$$

Ecuación 5: *Trasporte para la Subdivisión.*

$$K = {}^{1.486}/_{n}\, AR^{2/3}$$

Dónde **K** es el Transporte para la subdivisión, **n** el coeficiente de rugosidad de Manning para la subdivisión, **A** el área de flujo de la subdivisión y **R** el Radio hidráulico para la subdivisión.

Los principales datos de entrada que requiere el software son los siguientes:

- Topografía del cauce (secciones transversales en el tramo de interés).
- Rugosidad del lecho.
- Características del flujo.

Algunos de los resultados obtenidos con estos antecedentes son los siguientes:

- Profundidad y velocidad media del flujo.
- Sección de escurrimiento.
- Perímetro mojado.
- Número de Froude.
- Radio hidráulico, entre otros.

6.4.2.Resultados Obtenidos

La A continuación se muestran los resultados obtenidos para la modelación de cada uno de los cauces naturales evaluados.

- Rio Cato

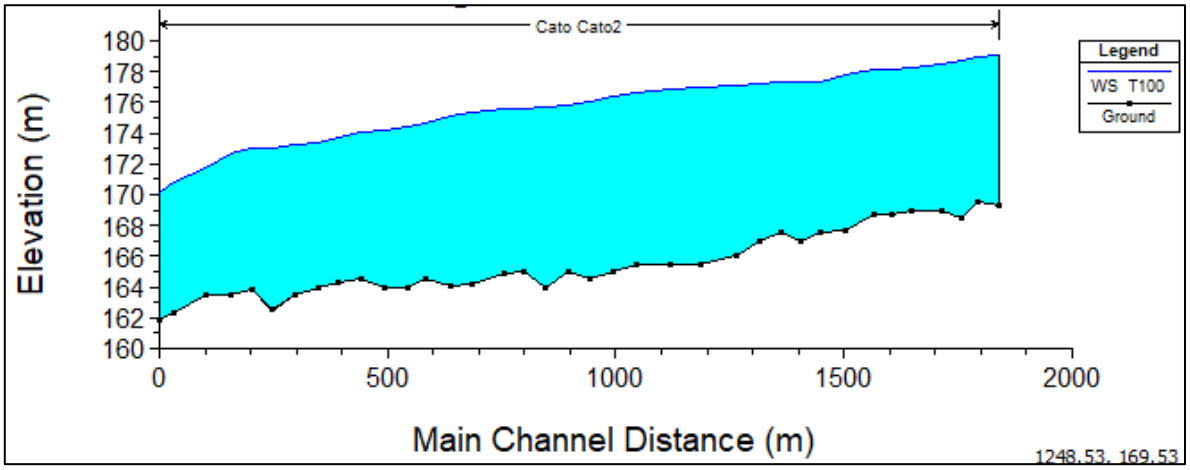


Ilustración 57.Resultados Perfil Longitudinal Rio Cato.
Fuente: Elaboración propia

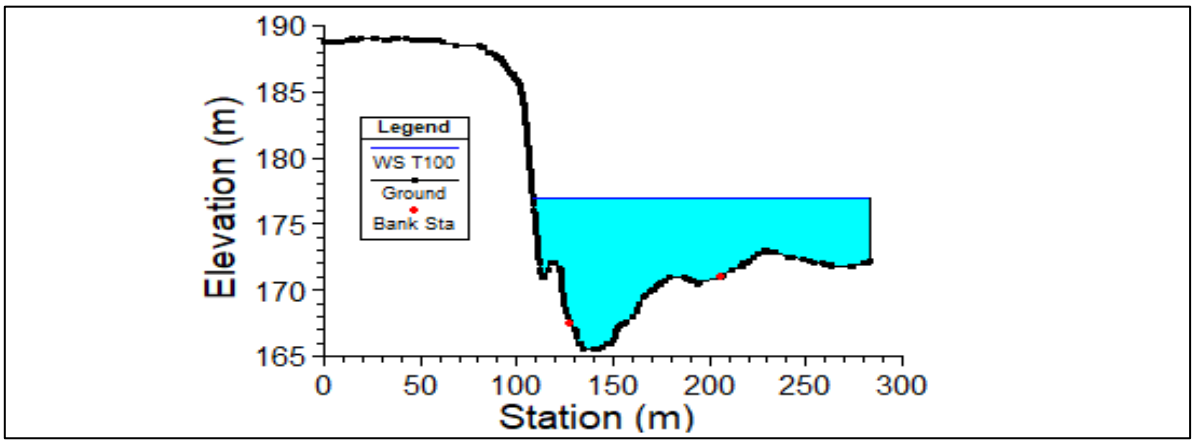


Ilustración 58. Resultados Perfil transversal Rio Cato.
Fuente: Elaboración propia

- Quebrada Sin Nombre N°1

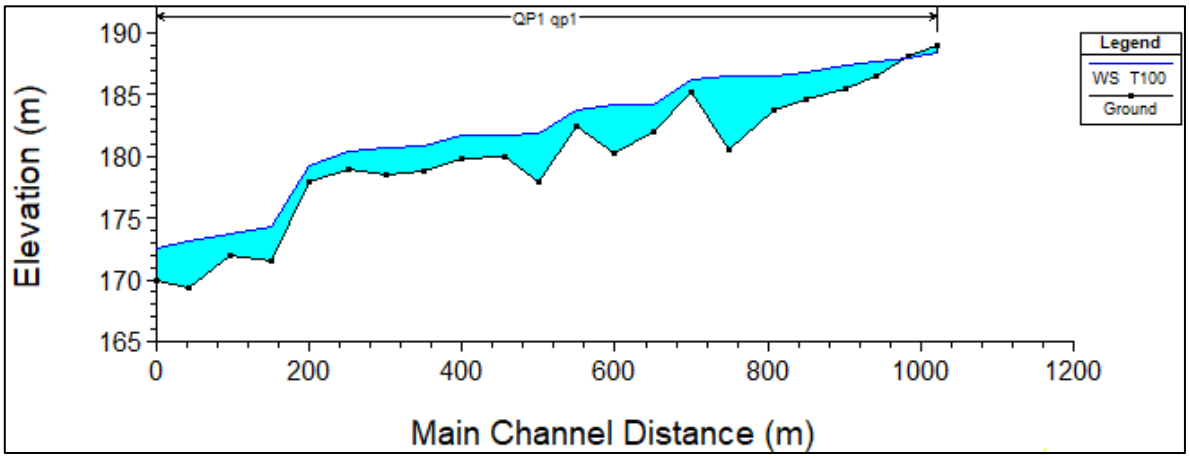


Ilustración 59.Resultados Perfil Longitudinal Quebrada Sin Nombre N°1.
Fuente: Elaboración propia

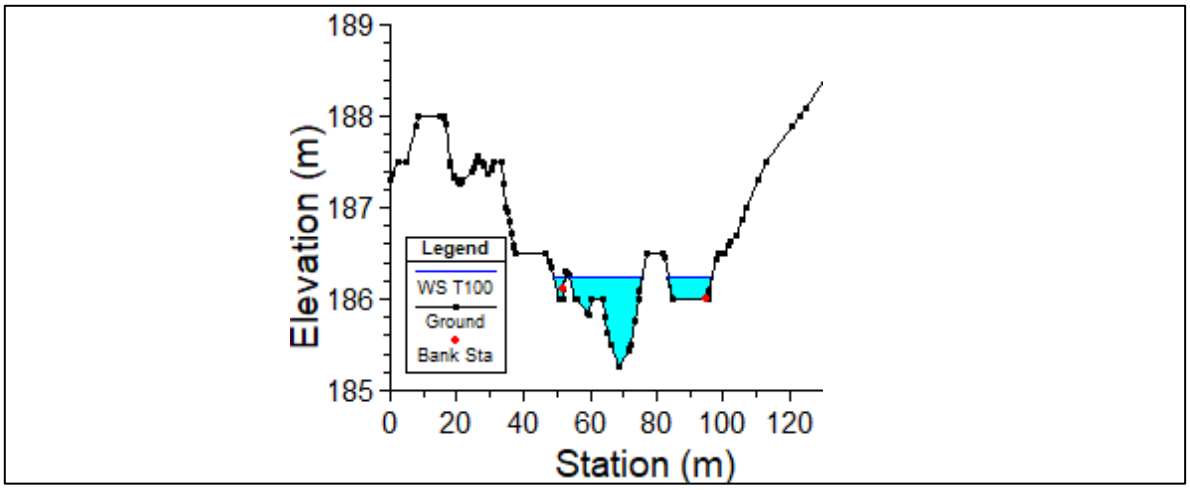


Ilustración 60. Resultados Perfil transversal Quebrada Sin Nombre N°1.
Fuente: Elaboración propia

- Quebrada Sin Nombre N°2

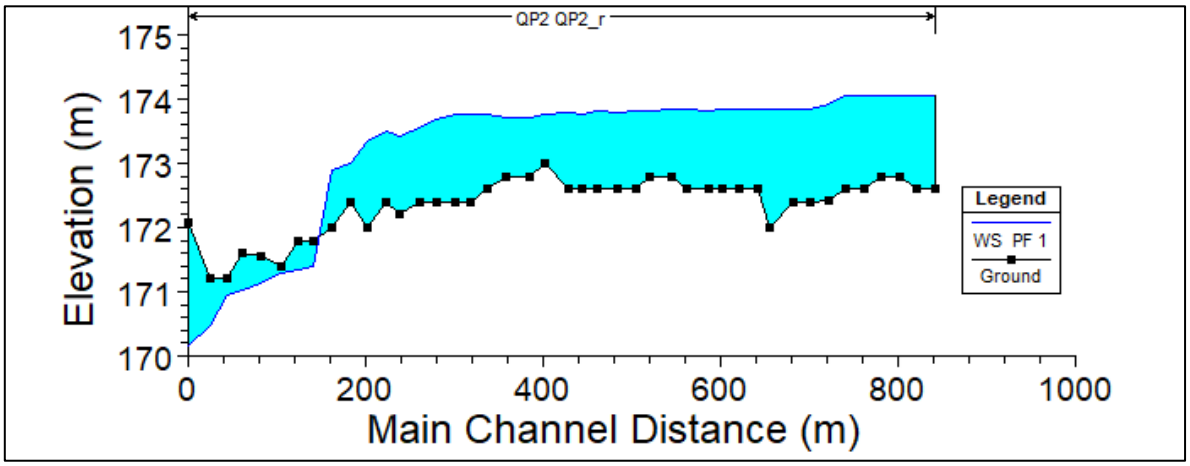


Ilustración 61.Resultados Perfil Longitudinal Quebrada Sin Nombre N°2.
Fuente: Elaboración propia

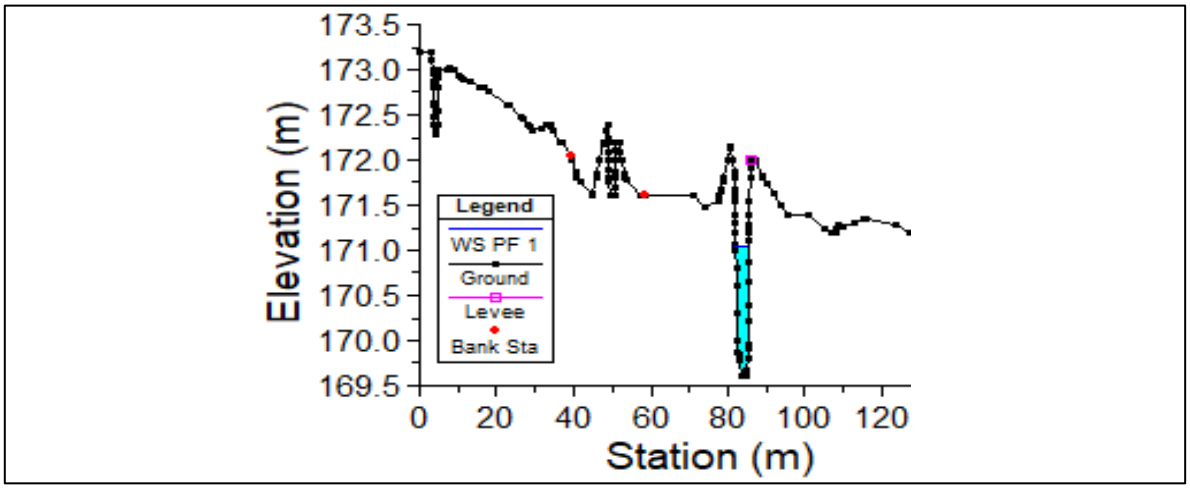


Ilustración 62. Resultados Perfil transversal Quebrada Sin Nombre N°2.
Fuente: Elaboración propia

- Estero Culenar

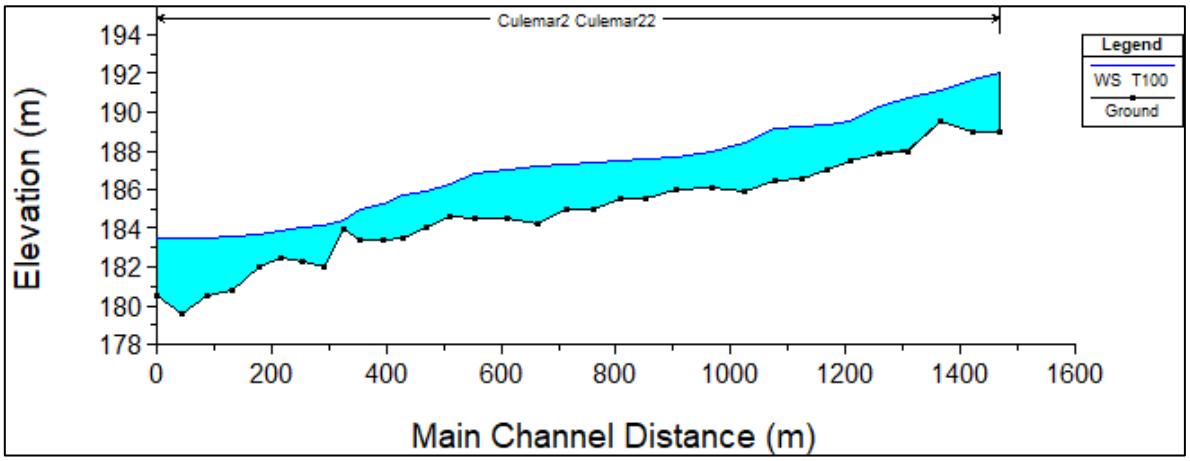


Ilustración 63.Resultados Perfil Longitudinal Estero Culenar.
Fuente: Elaboración propia

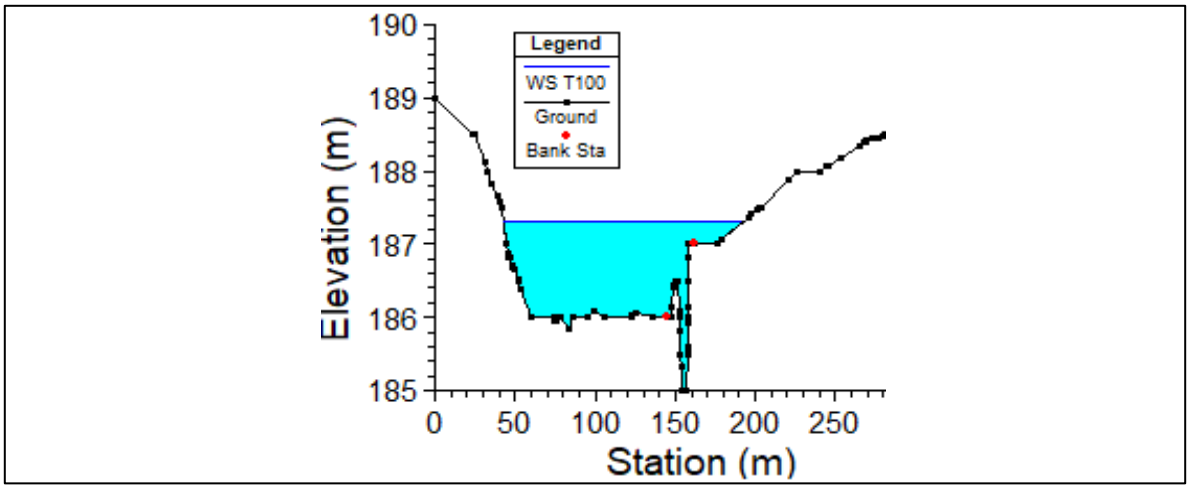


Ilustración 64.Resultados Perfil Transversal Estero Culenar.
Fuente: Elaboración propia

- Estero Chingue

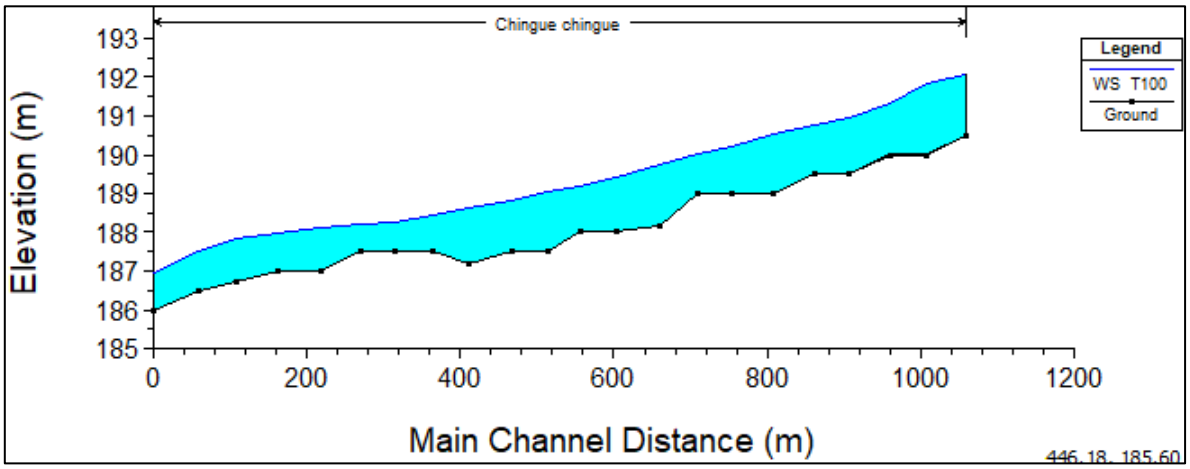


Ilustración 65.Resultados Perfil Longitudinal Estero Chingue.
Fuente: Elaboración propia

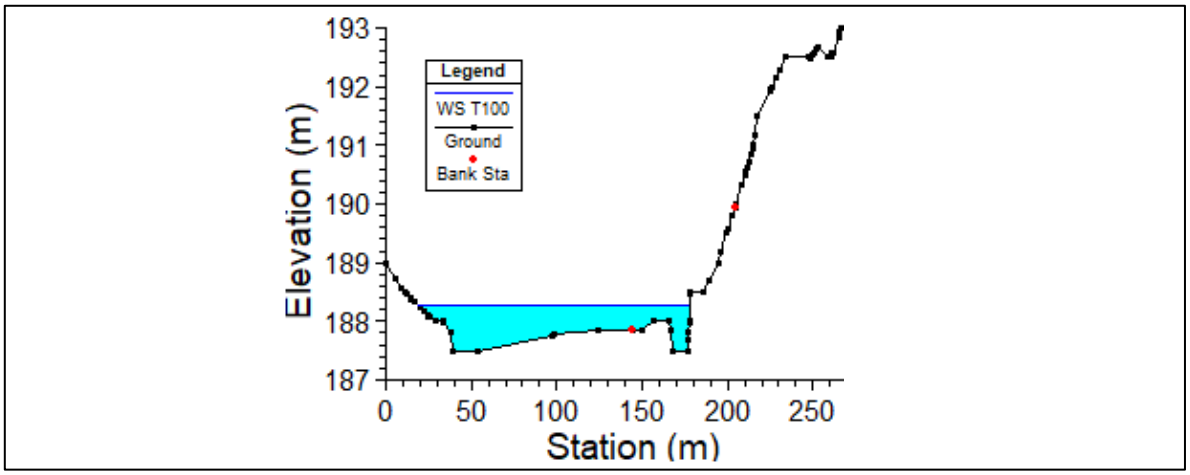


Ilustración 66.Resultados Perfil Transversal Estero Chingue.
Fuente: Elaboración propia

- Quebrada Sin Nombre N°3

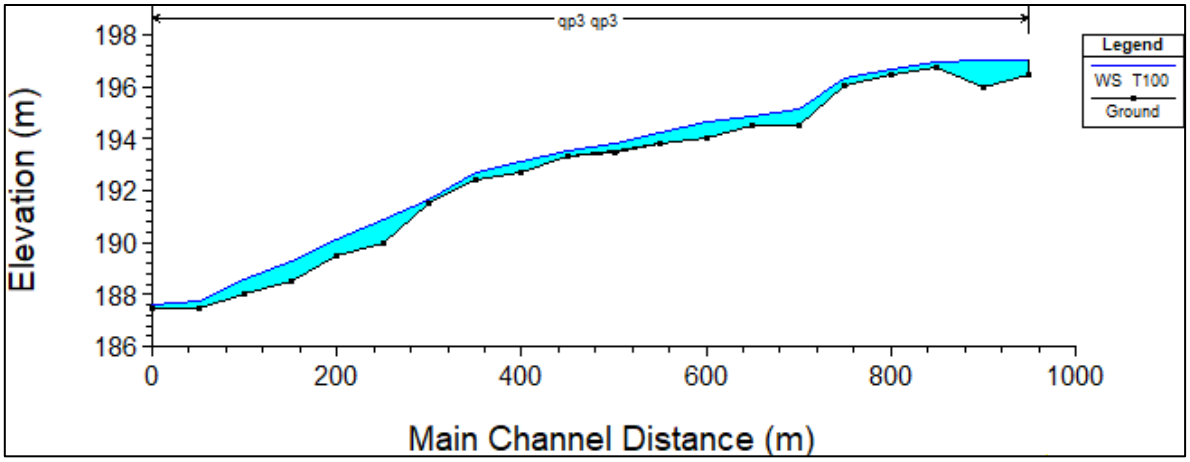


Ilustración 67.Resultados Perfil Longitudinal Quebrada Sin Nombre N°3.
Fuente: Elaboración propia

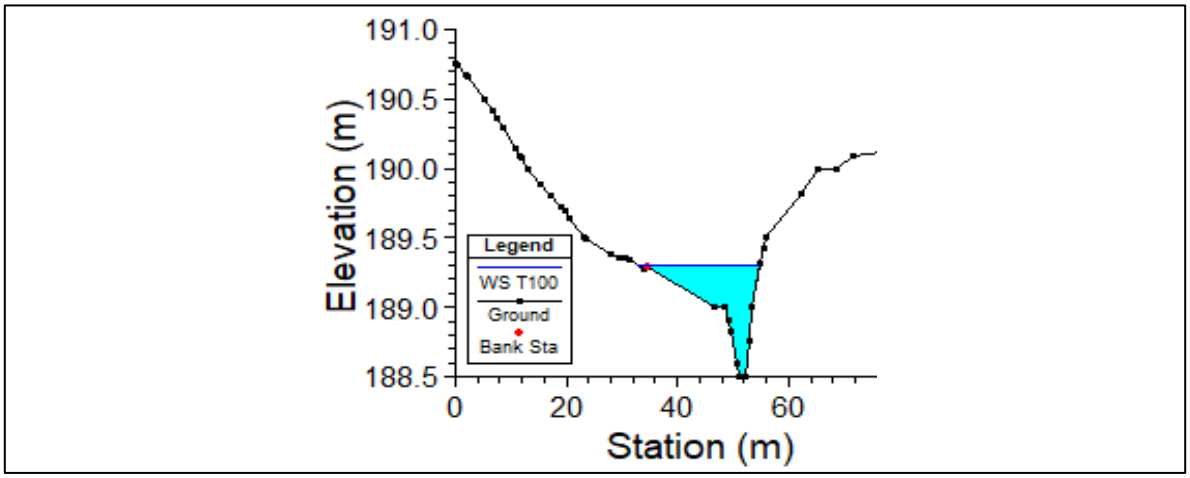


Ilustración 68.Resultados Perfil Transversal Quebrada Sin Nombre N°3.
Fuente: Elaboración propia

- Quebrada Sin Nombre N°4

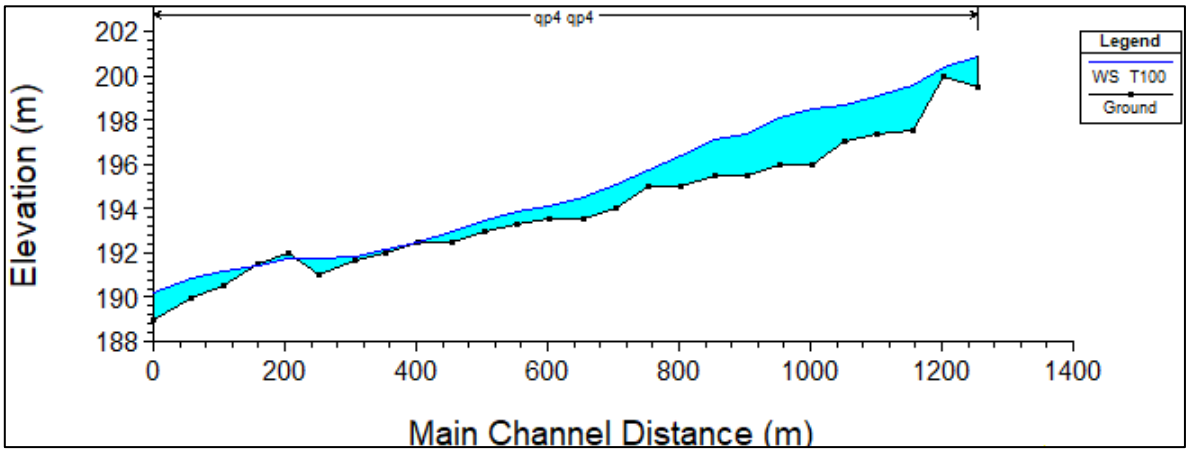


Ilustración 69.Resultados Perfil Longitudinal Quebrada Sin Nombre N°4.
Fuente: Elaboración propia

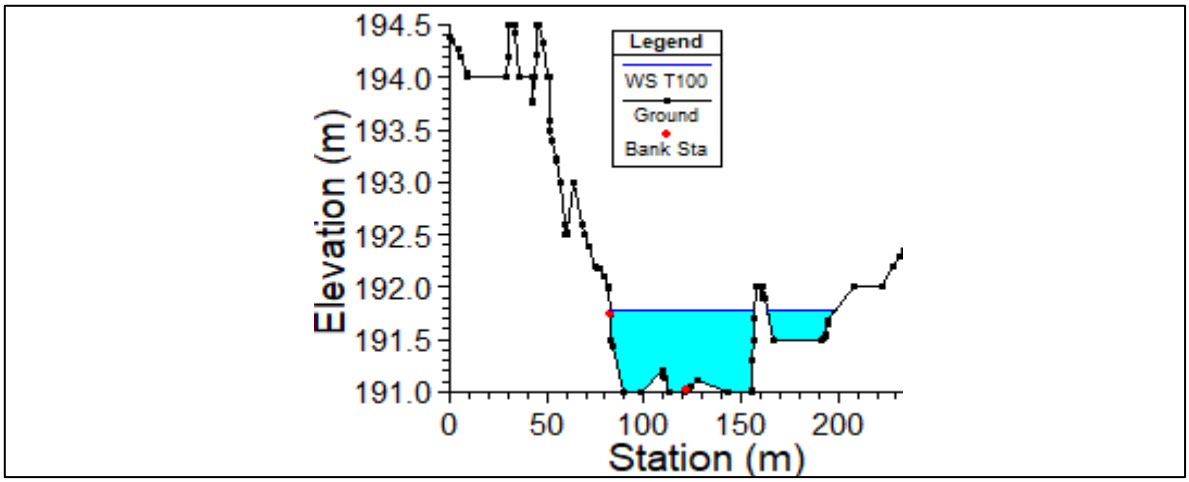


Ilustración 70.Resultados Perfil Transversal Quebrada Sin Nombre N°4.
Fuente: Elaboración propia

6.4.3.Superficie de inundación

De los resultados obtenidos, se destaca que el área de inundación de todos los cauces naturales se encuentra mayoritariamente dentro del encajonamiento natural de las quebradas, esteros y ríos evaluados.

La superficie de inundación asociada a la crecida de 100 años de periodo de retorno de los cauces naturales en estudio se presenta de manera referencial en la Ilustración 71 y se puede encontrar a detalle en los planos asociados a este estudio.

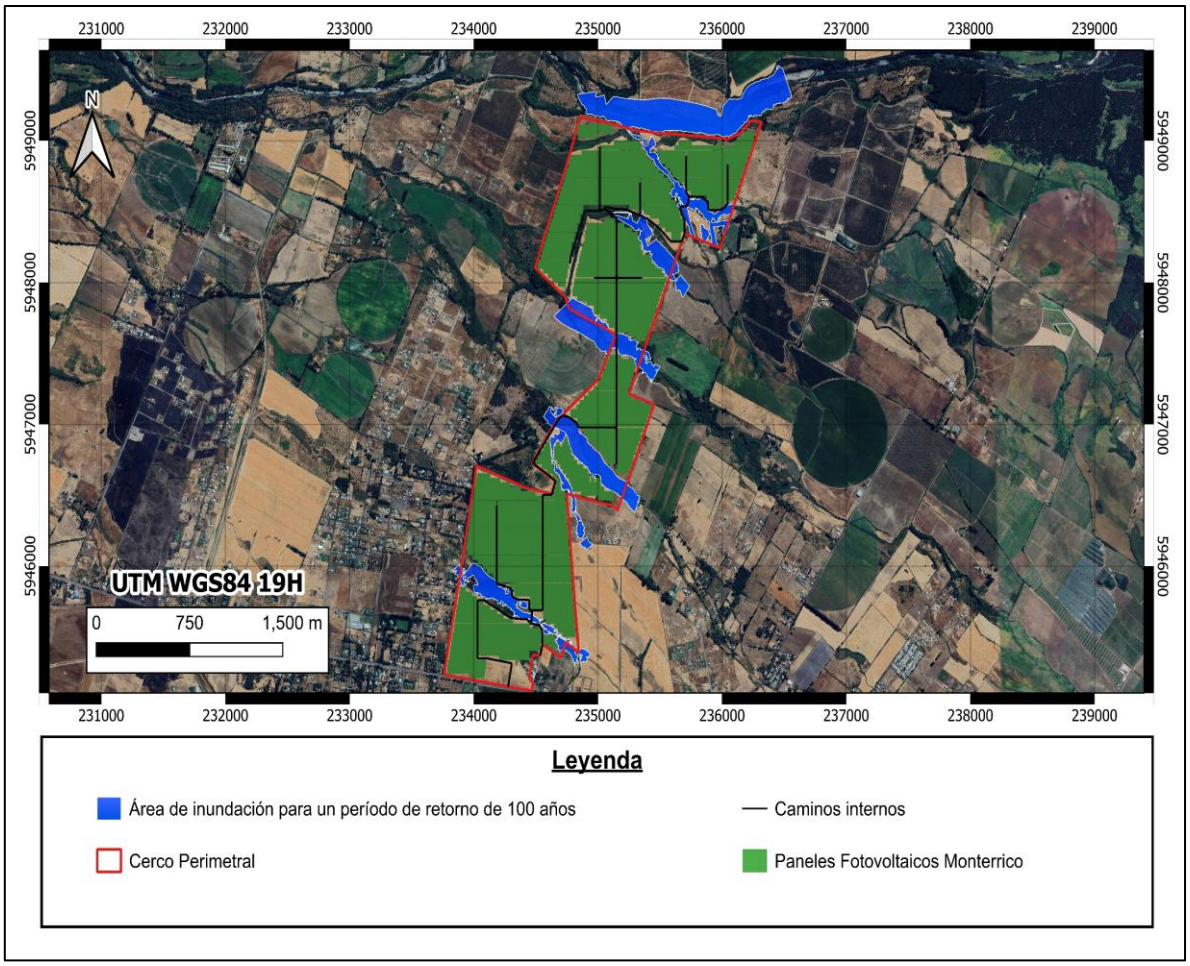


Ilustración 71.Resultados Superficies de inundación cauces evaluados.
Fuente: Elaboración propia

7. ANÁLISIS APLICABILIDAD DE PERMISO DE MODIFICACIÓN DE CAUCE.

Según Resolución exenta DGA 2.116 se pueden exceptuar de someterse al permiso de modificación de cauce, entre otras obras, las modificaciones en **cauces artificiales** que porteen un caudal de hasta **medio metro cúbico por segundo** y que se encuentren en **zonas rurales**.

Con base en este criterio, es posible determinar cuáles cruces requieren la tramitación de dicho permiso ante la Dirección General de Aguas, y, en consecuencia, la tramitación de permisos ambientales sectoriales aplicables, en particular el PAS 156.

La Tabla 23 muestra el resumen de los cruces que requieren tramitación del permiso de modificación de cauce.

ID Cruce	Tipo de Cauce	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Requiere tramitación de permiso de Modificación de Cauce
AT-01	Natural	Rural	24.97	SI
AT-02	Natural	Rural	4.87	SI
AT-03	Natural	Rural	97.01	SI
AT-04	Natural	Rural	48.03	SI
AT-05	Natural	Rural	11.80	SI
AT-06	Artificial	Rural	0.5242	SI
AT-07	Artificial	Rural	0.581	SI
AT-08	Artificial	Rural	1.36	SI
AT-09	Artificial	Rural	1.36	SI
AT-10	Artificial	Urbana	0.153	SI
AT-11	Artificial	Urbana	0.581	SI
AT-12	Artificial	Rural	1.36	SI
AT-13	Artificial	Rural	0.6358	SI
AT-14	Artificial	Rural	1.36	SI
AT-15	Artificial	Rural	1.36	SI
AT-16	Artificial	Urbana	0.390	SI
AT-17	Artificial	Urbana	1.00	SI
AT-18	Artificial	Urbana	1.00	SI
AT-19	Artificial	Urbana	0.4489	SI
AT-20	Artificial	Urbana	0.5346	SI
AT-21	Artificial	Rural	0.864	SI
AT-22	Artificial	Rural	0.893	SI
AT-23	Artificial	Rural	0.581	SI

ID Cruce	Tipo de Cauce	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Requiere tramitación de permiso de Modificación de Cauce
AT-24	Artificial	Rural	0.581	SI
AT-25	Artificial	Rural	1.36	SI
AT-26	Artificial	Rural	1.36	SI
AT-27	Artificial	Urbana	0.153	SI
AT-28	Artificial	Rural	1.076	SI
AT-29	Artificial	Rural	0.6358	SI
AT-30	Artificial	Rural	0.6358	SI
AT-31	Artificial	Rural	0.5759	SI
AT-32	Artificial	Rural	1.3600	SI
AT-33	Artificial	Urbana	0.390	SI
AT-34	Artificial	Urbana	1.00	SI

ID Cruce	Tipo de Cauce	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Requiere tramitación de permiso de Modificación de Cauce
CR-01	Artificial	Rural	0.0988	NO
CR-02	Artificial	Rural	0.0670	NO
CR-03	Artificial	Rural	0.3316	NO
CR-04	Artificial	Rural	0.3316	NO
CR-05	Artificial	Rural	0.1245	NO
CR-06	Artificial	Rural	0.0857	NO
CR-07	Artificial	Rural	0.4711	NO
CR-08	Artificial	Rural	0.4194	NO
CR-09	Artificial	Rural	0.2062	NO
CR-10	Artificial	Rural	0.2062	NO
CR-11	Artificial	Rural	0.2904	NO
CR-12	Artificial	Rural	0.2511	NO
CR-13	Artificial	Rural	0.3739	NO
CR-14	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-15	Artificial	Rural	0.3739	NO
CR-16	Artificial	Rural	0.3739	NO
CR-17	Artificial	Rural	0.2511	NO
CR-18	Artificial	Rural	0.2400	NO
CR-19	Artificial	Rural	0.3900	NO

ID Cruce	Tipo de Cauce	Tipo de zona	Caudal (m3/s)	Requiere tramitación de permiso de Modificación de Cauce
CR-20	Artificial	Rural	0.0826	NO
CR-21	Artificial	Rural	0.0826	NO
CR-22	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-23	Artificial	Rural	0.4383	NO
CR-24	Artificial	Rural	0.4383	NO
CR-25	Artificial	Rural	0.4383	NO
CR-26	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-27	Artificial	Rural	0.3105	NO
CR-28	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-29	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-30	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-31	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-32	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-33	Artificial	Rural	0.3900	NO
CR-34	Artificial	Rural	0.1528	NO

Tabla 23. Tabla resumen de los cruces que requieren tramitación en DGA.
Fuente: Elaboración propia

Se puede evidenciar que de un total de 68 cruces 34 están exentos mientras que 34 requieren tramitación de permiso de modificación de cauce en la Dirección General de Aguas.

8. CONCLUSIONES

Según la información entregada en el presente, se puede concluir lo siguiente:

- La zona de estudio presenta un régimen de precipitaciones medias, lo que limita el caudal de los cauces naturales y artificiales con cuenca de drenaje. Esto es un aspecto favorable en caso de que el proyecto requiera modificaciones o desvíos en los canales, ya que los caudales limitados reducen la complejidad de dichas intervenciones.

- Los principales cauces naturales se encuentran en el sector del parque fotovoltaico, donde se reconocen solo cauces naturales como el Río Cato, Estero Chingue y Estero Culenar, mientras que en la ubicación de la línea de alta tensión se identifican cauces que corresponden en su totalidad a canales artificiales.

- Conforme con la visita realizada en terreno y lo contrastado con la cartografía del Instituto Geográfico Militar y el Observatorio de la Dirección General de Aguas oficial, es posible establecer que la mayor parte de cauces se encuentran vigentes y pertenecen a la red hídrica oficial.

- La totalidad de los cauces identificados en el área de la linea de alta tensión son artificiales, principalmente canales de riego. El caudal de estos cauces está condicionado por los derechos de agua asociados a cada canal, lo que puede influir en el flujo disponible durante diferentes épocas del año, sin embargo, se pudo establecer el caudal máximo de cada canal mediante bibliografía en el caso de los canales oficiales y mediante una estimación hidráulica en el caso de los canales artificiales sin nombre.

- Los cauces identificados en el sector del parque fotovoltaico corresponden en su totalidad a cauces naturales, los cuales se determinó su caudal mediante un análisis hidrológico el cual se ha basado en metodologías validadas por el Manual de Carreteras y el Manual de Normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos, para lo cual se han utilizados los datos registrados por la Dirección General de Aguas (DGA).

- En base a los caudales obtenidos se han modelado las crecidas para los cauces naturales, definiendo así sus niveles y áreas de inundación en el sector del parque fotovoltaico.

- Se han identificado cuerpos de agua correspondientes a piscinas de acumulación o tranques artificiales en el área del proyecto, los cuales actúan como reguladores hídricos al almacenar agua para su uso en época estival, contribuyendo así a la gestión de los recursos hídricos locales.

- Se identificaron las obras que requieren el permiso de modificación de cauce conforme a la Resolución Exenta DGA 2.116. De los 68 cruces analizados, se determinó que 34 no cumplen con los criterios establecidos y, por lo tanto, requieren gestionar dicho permiso ante la autoridad correspondiente. Esta evaluación permite asegurar el cumplimiento normativo y facilita la planificación de los trámites sectoriales necesarios para la ejecución del proyecto.

- Como medida preventiva se estableció un ancho de protección para los cauces artificiales identificados, conforme al artículo 82 del Código de Aguas, equivalente al 50% del ancho del canal y con un mínimo de un metro, para facilitar el mantenimiento de los canales y evitar afectaciones en terrenos aledaños.