Una captura de pantalla de una computadora

Descripción generada automáticamente

**INFORME DE DIAGNÓSTICO HIDROGEOGRAFICO**

Insumo para el “Plan Maestro de Gestión hídrica para Macaya”

Julio 2024

[1. Resumen General 3](#_Toc36887176)

[1.1. Objetivos 3](#_Toc657164835)

[1.2. Actividades 3](#_Toc623433538)

[2. Revisión de componentes hidrogeográficos 3](#_Toc1434200352)

[2.1. Caracterización general de la Cuenca del Tamarugal 4](#_Toc1459715208)

[2.2. Componentes Geológicos 5](#_Toc1517051746)

[2.2.1. Rocas estratificadas 5](#_Toc620738975)

[2.2.2. Rocas intrusivas 6](#_Toc1723705890)

[2.2.3. Deposito no consolidados 7](#_Toc1268910775)

[3. Metodología 7](#_Toc1681429317)

[3.1. Enfoque metodológico 7](#_Toc1885385231)

[3.2. Participación Comunitaria 8](#_Toc1644914068)

[3.3. Delimitación de la zona de estudio 8](#_Toc321231241)

[3.4. Descripción de suelos para infiltración 9](#_Toc804678200)

[3.5. Análisis de calidad de agua 10](#_Toc1589022578)

[3.6 Diagnósticos infraestructura hídrica 10](#_Toc884277252)

[3.5.1. Red de sensores y difusión de información 10](#_Toc1932387983)

[3.5.2. Diagnostico oferta y demanda del recurso hídrico. 11](#_Toc2016629057)

[4. Resultados 11](#_Toc945698156)

[4.1. Actores Territoriales 11](#_Toc369129140)

[4.2. Caracterización de la zona de influencia hidrogeográfica 14](#_Toc135685038)

[4.3. Análisis de cuencas hidrográficas 15](#_Toc1809183228)

[4.4. Análisis del terreno: Relieve y pendiente 16](#_Toc353823371)

[4.5. Precipitaciones 19](#_Toc1394828610)

[4.6. Temperatura 20](#_Toc269446044)

[4.7. Cobertura vegetal 20](#_Toc546218152)

[4.8. Almacenamiento Superficial 21](#_Toc1304744810)

[4.9. Infiltración 22](#_Toc558856732)

[4.10. Escorrentía 24](#_Toc1257265584)

[4.11. Infraestructura hídrica 25](#_Toc915424753)

# 1. Resumen General

El presente informe proporciona un diagnóstico exhaustivo de la situación hidrogeográfica del territorio en Macaya considerando antecedentes físicos y humanos influyente de las Quebradas de Juan Morales, Sagasca y El Tambillo. Este diagnóstico se ha elaborado mediante un enfoque participativo, involucrando a las comunidades locales y expertos en la materia para garantizar una visión integral y representativa de las realidades y necesidades del territorio. Ambos grupos trabajaron en conjunto en diferentes actividades realizadas entre el 2021 y 2023 en el marco del proyecto Kuskalla - Macaya.

En primer lugar, se describe la metodología empleada para caracteriza los grupos humanos que habitan el área de estudio y establecer un trabajo de participación. Posteriormente, se exponen la descripción de las características hidrogeográfica que modelan el territorio.

## 1.1. Objetivos

Generar un diagnóstico participativo de la situación hidrogeográfica y sistemas de vida de la localidad de Macaya para el desarrollo de un plan de gestión hídrica basado en el monitoreo de la hidrometría y la formulación de estrategias para aumentar la capacidad adaptativa y resiliencia de la comunidad.

## 1.2. Actividades

* Caracterizar los componentes hidrográficos de la cuenca mediante el análisis de estudios científicos, recopilación de datos meteorológico y climatológicos para identificar patrones climáticos.
* Caracterizar la dinámica del hidro-sociales de la localidad de Macaya

# 2. Revisión de componentes hidrogeográficos

La cuenca del Tamarugal, localizada en la región de Tarapacá, Chile, es una cuenca endorreica que se extiende desde la quebrada Tiliviche en el norte hasta el río Loa en el sur. Esta cuenca alberga varios sistemas hidrogeológicos significativos, siendo de particular interés las subcuencas de la Quebrada de Quipísca y la Quebrada de Juan Morales, Sagasca y El Tambillo en donde se desarrollan las comunidades indígenas de Macaya, Iquiuca, Parca, Mamiña y Quipisca. Ambas quebradas precordilleranas, drenan el agua hacia la Pampa del Tamarugal en dirección noreste-suroeste (NE-SW). Los cursos de agua no llegan al mar, sino que se acumulan, formando flujos intermitentes de agua que se originan en las estribaciones occidentales de la cordillera de Los Andes (Arcadis, 2019).

## 2.1. Caracterización general de la Cuenca del Tamarugal

La cuenca de la Pampa del Tamarugal se caracteriza por su limitada disponibilidad de recursos hídricos superficiales y una significativa presencia de recursos subterráneos. Los principales aportes hídricos a la cuenca provienen de las precipitaciones en las zonas elevadas, así como de los flujos subterráneos a través de fallas y fracturas. Si consideramos un ciclo hidrológico (Figura 1), descriptivo de la zona de estudio, deberíamos considerar los siguientes parámetros (Grandez, 2010):

* Evaporación: La intensa radiación solar provoca la evaporación del agua de ríos y fuentes de aguas en la superficie de la Pampa del Tamarugal. La alta tasa de evaporación en la región limita la cantidad de agua superficial disponible, haciendo que la mayor parte del agua de precipitación se infiltre rápidamente o se evapore.
* Condensación y Precipitación: El vapor de agua se enfría y forma nubes, las cuales liberan agua en forma de lluvia sobre la Pampa del Tamarugal, las cuales ocurren principalmente en la zona cordillerana. De acuerdo con la bibliografía, la zona presenta precipitaciones esporádicas, principalmente en los meses de verano, contribuyendo a la recarga de los acuíferos. Las precipitaciones se distribuyen de manera desigual, siendo más abundantes en las áreas de mayor altitud.
* Escurrimiento: El agua de lluvia fluye hacia los ríos y arroyos dentro de la cuenca. En particular los caudales de las quebradas en la zona de estudio son muy variables, con flujos intermitentes que dependen en gran medida de las precipitaciones.
* Infiltración: Parte del agua se infiltra en el suelo, que puede ser arenoso en la pampa.
* Recarga acuífera: El agua infiltrada recarga los acuíferos subterráneos presentes en la Pampa del Tamarugal. En la Cuenca del Tamarugal ocurre principalmente a través de la infiltración de aguas superficiales provenientes de las precipitaciones y el flujo subterráneo a través de fracturas y fallas.
* Flujo subterráneo: El agua subterránea se desplaza dentro de la cuenca endorreica. Los estudios indican que existe una interconexión entre los sistemas de escurrimiento superficiales y subterráneos, facilitada por la geología fracturada de la región. Esta interconexión es crucial para el mantenimiento del flujo en las quebradas durante los períodos secos.
* Evapotranspiración: La vegetación contribuye a la evaporación a través de la transpiración, y la evaporación continúa desde la superficie del suelo.



Figura 1: Modelo conceptual del ciclo del agua considerando la totalidad de parámetros en un ambiente con presencia de agua.

2.1.2. Quebrada de Juan Morales, Sagasca y El Tambillo

Según datos de la Dirección General de Aguas (DGA) estas quebradas se encuentran en la subcuenca Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo, posicionadas de norte a sur (Figura ). La Quebrada Juan Morales nace de la confluencia de la Quebrada Grande y una quebrada sin nombre que circula por el sur de la localidad de Mamiña. La Quebrada Sagasca nace en la parte este de la subcuenca y confluye hacia la Quebrada Macaya en el centro de la subcuenca. La Quebrada El Tambillo se posiciona cercano al límite sur de la subcuenca, nace en el sector cordillerano al este y concluye a la Quebrada Yarvicolla. A esta última se le une la Quebrada Macaya para concluir con la Quebrada Juan Morales en un área cercana a la salida de la cuenca en su parte oeste.

## 2.2. Componentes Geológicos

En el siguiente apartado se describen las unidades de roca que se encuentran en la cuenca a estudiar. Estas son descritas desde las más antiguas hasta las más recientes divididas en rocas estratificadas, rocas intrusivas y depósitos no consolidados. Estas descripciones de rocas son tomadas de Tomlinson et al. (2015).

### 2.2.1. Rocas estratificadas

La formación más antigua que se encuentra en la zona de estudio corresponde a la Formación Mamiña (Triásico Superior), la cual corresponde a una secuencia clásticas de conglomerados, areniscas, y lutitas y limonitas rojas subordinadas, de origen continental fluvial. Esta se ubica en la parte oeste de la cuenca de estudio cercano Sagasca.

Luego se encuentra la Formación Cerro Empexa (Campaniano – Maastrichtiano) aflorando al este de la cuenca con sus 3 litofacies superiores: (1) lavas andesíticas macizas y brechosas, brechas de igual composición, e intercalaciones subordinadas de tobas ignimbriticas, conglomerados y areniscas; (2) Conglomerados de guijarro muy grueso a grueso, que en sectores gradan a areniscas gravosas, areniscas gruesas y capas centimétricas de areniscas finas limosas; (3) Areniscas medias a finas, en sectores intercaladas con conglomerados, areniscas finas laminadas, limolitas laminadas, lutitas, margas, calizas calcosilicatadas y areniscas con tamaños que varían desde finas a tamaño guijarro.

Más reciente se encuentra la Formación Altos de Pica (Oligoceno Superior alto – Mioceno Inferior) con presencia del Miembro Sagasca con capas de tobas ignimbríticas riolíticas, y capas de conglomerados de guijón fino a bolón medio, bien compactados y medianamente litificados, macizos, que pueden incorporar intercalaciones de las capas de tobas. También de esta formación afloran rocas del Miembro Imagua específicamente conglomerados de guijón fino a bolón medio, bien compactados y medianamente litificados.

Ignimbrita Huasco (~16,2 Ma) e Ignimbrita Tambillo (~19,9 Ma) afloran también dentro de área de estudio. La primera la forman tobas cristalinas, medianamente soldadas, de biotita, hornblenda y sanidina. Mientras que Ignimbritas Tambillo se constituye de tobas de ceniza riolíticas, soldada, de biotita, sanidina y localmente hornblenda.

Formación El Diablo (Mioceno Medio – Mioceno Superior bajo) aflora en el área de estudio en gran proporción, abarcando aproximadamente el 50% de las rocas en superficie con el Miembro Superior. Este miembro está constituido por conglomerados guijarro grueso a bolón, macizos, con intercalaciones de areniscas, areniscas de guijarro, macizas e intercalaciones subordinadas de robas de flujo, tobas caídas y tufitas laminadas.

### 2.2.2. Rocas intrusivas

Dentro las rocas intrusivas encontramos los Intrusivos hipabisales del Cretácico Superior, con una edad de alrededor 72 Millones de años. Estas rocas se pueden encontrar en forma de Stocks, filones mantos y diques andesíticos y microdioríticos; y Stocks riolíticos con textura porfírica y glomeroporfírica. Estas rocas se encontrarían al este de la cuenca intruyendo a las rocas de la Formación Cerro Empexa.

Más recientes se encuentran los Intrusivos hipabisales del Eoceno con una edad aproximada de 49 – 46 Millones de años. Estas rocas son stocks, diques y filones mantos compuestos por dacítas, andesítas, micromonzonitas cuarcíferas, y riolítas afíricas y porfíricas. Estas rocas se encuentran al este de la cuenca e intruyen a las rocas de la Formación Cerro Empexa.

Rocas del Complejo Plutónico Yabricoya, con edad aproximada de 50 – 40 Ma, se pueden encontrar en menor proporción dentro de la cuenca estudiada. Principalmente se encuentran las unidades compuestas: (1) por monzodioritas cuarcíferas de biotita piroxeno y anfíbol en disposición de stocks, que localmente gradan a monzonitas cuarcíferas; (2) Monzodioritas cuarcíferas de piroxeno y biotita en disposición de stocks; (3) Dioritas, dioritas cuarcíferas, y monzodioritas de piroxeno en forma de stocks con variaciones de dioritas a dioritas cuarcíferas.

### 2.2.3. Deposito no consolidados

En los depósitos no consolidados encontramos principalmente los Depósitos aluviales del Pleistoceno – Holoceno, los que están constituidos por bolones, gravas, arenas y limos, conformando sucesiones de abanicos y terrazas aluviales.

También se encuentran depósitos y suelos antrópicos identificados como Suelos de uso agrícola y depósitos artificiales constituidos por materiales estériles de mina, es decir, rocas fragmentadas.

# 3. Metodología

## 3.1. Enfoque metodológico

El proyecto Kuskalla empleo una metodología mixta de investigación participativa en la caracterización de los sistemas socioecológicos, utilizando la herramienta de participación-acción en el co-desiño y uso de tecnología de monitoreo hidrométrico (Koppen et al., 2007). Esta metodología también fue util en los estudios hidrogeográficos. La hidrogeografía fue caracterizada principalmente por medio del levantamiento y análisis exhaustivo de información primaria y secundaria de los componentes físico, químicos, geológicos y sociales de la zona de estudio que posteriormente son procesados utilizando el software Argis.

La principal fuente de datos utilizada fue el banco de datos de la DGA (<https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>). Para la caracterización hidrométrica, se analizaron las series de tiempo entre el 2014 y 2023 de precipitación mensual en relación con las estaciones meteorológicas operativas en el área de estudio. La información de la DGA es complementada por datos del Explorador Climático (<https://explorador.cr2.cl/>) del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, CR2. Para el estudio se analiza la temperatura media, máxima y mínima mensual con la información obtenida por satélite (<https://www.globalclimatemonitor.org/>). También se utilizaron datos de monitoreo de los Estudios de Impactos Ambiental (EIA) presentados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) por BHP en diversos proyectos de la Faena Minera Cerro Colorado, así como también los informes de seguimiento de unidades ambientales disponibles en el sitio web del sistema nacional de información de fiscalización ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente: [www.snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable/Ficha/383](http://www.snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable/Ficha/383)

## 3.2. Participación Comunitaria

Se realizaron visitas a terreno, talleres participativos y entrevistas semi-estructuradas a los miembros de la comunidad de Iquiuca para identificar sus necesidades, prácticas tradicionales y perspectivas sobre la disponibilidad del recurso hídrico.

Las fuentes de agua (vertientes, norias, pozos, cochadas) e infraestructura hídrica (puntos de captación, estanques, red de abastecimiento) fueron inventariadas en un taller de mapeo participativo e inspección en terreno guiada por miembros de la comunidad. En dichas actividades también se realizaron entrevista abierta en donde se recogió el conocimiento local. Los puntos inventariados fueron validados por el resto de la comunidad en talleres mapeo posteriores. Según esa cartografía, la comunidad determino y el equipo determino la ubicación de los sectores monitoreados. En cada caso, los puntos fueron fotografiados y registrados con coordenadas UTM Datum WGS84 de mercator, asignándole un nombre y/o código y una respectiva simbología de acuerdo con su naturaleza, para su posterior sistematización en una cartografía.

## 3.3. Delimitación de la zona de estudio

Para la delimitación del sistema hidrológico y caracterización hidrográfico de la zona de estudio se utiliza como referencia la subdivisión hidrológica de cuencas y subcuencas de la DGA. Adicionalmente, se define una delimitación de cuenca por mediante un modelo de elevación digital (DEM) del proyecto SRTM, con resolución 30 m, utilizando como punto de desembocadura la intersección entre los lineamientos de la Quebrada Macaya y la Quebrada Yarvicolla. La elaboración de la cartografía base considera la delimitación de cuencas, elevación, pendiente, índice de vegetación (NDVI), índice de agua superficial (NDWI), y lineamientos de quebradas en el área de estudio.

Los índices espectrales Índice Diferenciado Normalizado de Vegetación (NDVI) y el Índice Diferenciado Normalizado de Agua Modificado (MNDWI), se procesan en base a imágenes satelitales Sentinel-2 L2A con resolución de 10 m para sus bandas Azul, Verde, Rojo, infrarrojo cercano (NIR), y Infrarrojo de onda corta (SWIR) con fecha 30 de mayo del 2024.

El NDVI se calcula mediante la ecuación 1, y se considera toda la vegetación presente en el área de estudio que tengan un valor de 0.2 o más, mientras que el índice NDWI calcula los cuerpos de aguas superficiales con la ecuación 2, donde los cuerpos apreciables son considerados a partir de valores obtenidos desde 0.2,

## 3.4. Descripción de suelos para infiltración

Para lo que concierne a suelos, se utilizó el Volumen 3 del Manual de Carreteras 2023 del Ministerio de Obras Públicas (MOP). De este, se obtuvo la tabla de clasificación de parámetros para determinar el coeficiente de escorrentía. Los factores se utilizaron con relación al estudio de rango de tiempo de 10 años, incluyendo todos los parámetros mencionados en dicha tabla (Tabla 1).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Factor** | **Extremo** | **Alto** | **Medio** | **Bajo** |
| Relieve | 0,28 – 0,35 Escarpados con pendientes mayores que 30%. | 0,20 - 0,28 Montañoso con pendientes entre 10 y 30%. | 0,14 – 0,20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10%. | 0,08 – 0,14 Relativamente plano con pendientes menores a 5%. |
| Infiltración | 0,12 – 0,16 Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable. | 0,08 - 0,12  Suelo arcilloso o limosos con capacidad de infiltración, mal drenados. | 0,06 - 0,08  Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos. | 0,04 – 0,06 Suelos profundos de arena y otros suelos bien drenados con alto capacidad de infiltración. |
| Cobertura Vegetal | 0,12- 0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura. | 0,08- 0,12 Poca vegetación, terrenos cultivados o naturales menos del 20% del área con buena cobertura vegetal. | 0,06-0,08 Regular a buena, 50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado. | 0,04-0,06 Buena a excelente, 90% de área con pradera, bosque o cobertura equivalente. |
| Almacenamiento Superficial | 0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas | 0,08-0,10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos, sin zonas húmedas | 0,06-0,08 Normal, posibilidad de buen almacenamiento, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos | 0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos. |
| Si T > 10 años Amplificar Resultado por:  T = 25 ; C x 1,10 T = 50 ; C x 1,20 T = 100 ; C x 1,25 | | | | |

**Tabla 1*:*** Clasificación de parámetros para la determinación del coeficiente de escorrentía.

## 3.5. Análisis de calidad de agua

La calidad del agua fue monitoreada periódicamente. Los análisis de calidad de agua en término de nutrientes y metales presentes en agua fueron realizados bajo los estándares metodológicos de la norma EPA, APHA, ISO, DIN. A su vez los valores obtenidos fueron comparados con los los límites máximos permitidos dispuesto por la Norma de riego (NCh 1333) y Norma Chilena 409/1 de agua potable para las siguientes variables químicas; Sulfato, Nitritos, Nitrato, Cloro libre, Cloro total, Arsénico, Cobre, Hierro, Cadmio, Plomo y Mercurio. En el anexo se presentan los resultados obtenidos en cada campaña de muestreo.

## 3.6 Diagnósticos infraestructura hídrica

La infraestructura hídrica se describe en función de 4 componentes en término de cobertura, capacidad y conservación de las obras, para evaluar el estado de la red. Los componentes son: Infraestructura de riego, Infraestructura de defensas fluviales y de protección de riberas, Infraestructura hidrométrica e Infraestructura de agua potable y alcantarillado.

### 3.5.1. Red de sensores y difusión de información

En Macaya, se instalaron sensores de nivel de agua. Los sensores permiten recolectar información sobre el volumen de recursos hídricos disponibles y estimar el balance de agua en periodos de tiempo. Los datos monitorearos son recopilados por un nodo Gateway y luego procesados para su visualización en una aplicación web codiseñada, permitiendo a los residentes conocer el nivel actual y las fluctuaciones del nivel de agua de los estanques desde agosto de 2022.

### 3.5.2. Diagnostico oferta y demanda del recurso hídrico.

La estimación de la oferta y demanda hídrica local se realizó en base a los datos del monitoreo del nivel de agua de los estanques de almacenamiento. Adicionalmente se calculó una demanda teórica del respecto de los usos culturales asociado al riego y consumo humano de subsistencia. La metodología detallada y resultados del análisis de los datos se encuentran disponibles en los reportes periódicos que describen la dinámica hidro social de la comunidad (Anexo x: Reporte Kuskalla Macaya).

# 4. Resultados

## 4.1. Actores Territoriales

A 1,920 metros sobre el nivel del mar y a 71 km al este de Pozo Almonte, en la Provincia del Tamarugal, Región de Tarapacá, el poblado de Macaya está en las laderas de la quebrada del mismo nombre, perteneciente a la cuenca de Juan Morales. Este sistema se caracteriza por la presencia de vertientes naturales y fuentes (cochadas) termales en torno a cuál se mueve su esencia sociocultural e historia local que se remonta a unos 500 años.

Según el Censo de 2017, la población permanente es de 34 personas, principalmente adultos mayores. Las viviendas, registradas en dicho censo fueron de 101. Durante visitas en terreno se constató la construcción de nuevas viviendas. Durante la temporada estival, la población aumenta a aproximadamente 45 personas y puede llegar a 200 personas durante festividades debido a visitas de familiares desde Pozo Almonte e Iquique.

Actualmente, la población está constituida por personas que residen y transita el territorio de forma permanente o esporádica. La organizaciónes territoriales identificada corresponden a:

* Comunidad indígena quechua de macaya.
* Junta de vecino de Macaya.
* Adulto mayor.
* Comunidad Pro-Regadio Agricola Ganadero de Macaya

La economía local se basa en la agricultura de subsistencia y la cría de animales. Las prácticas agrícolas incluyen el riego por inundación y el cultivo en eras sobre terrazas, métodos tradicionales que reflejan una adaptación a las condiciones climáticas y de suelo de la región. La localidad ha mantenido prácticas agrícolas asociada a la herencia de un sistema de turno de cochada. Una cochada corresponde a una cantidad indefinida de agua que es acopiada en una piscina de almacenamiento durante 24 horas. La cantidad acumulada dependerá del flujo de la vertiente. Sin embargo, generalmente el volumen fluctúa entre el 70 a 90% de la capacidad total de la piscina. El sistema rige la asignación del uso del agua para el riego. Los lugareños indican que este mecanismo de “derechos” de remonta a sus antepasados y representa la identidad y valores de respecto comunitario que se han traspasado de generación en generación.

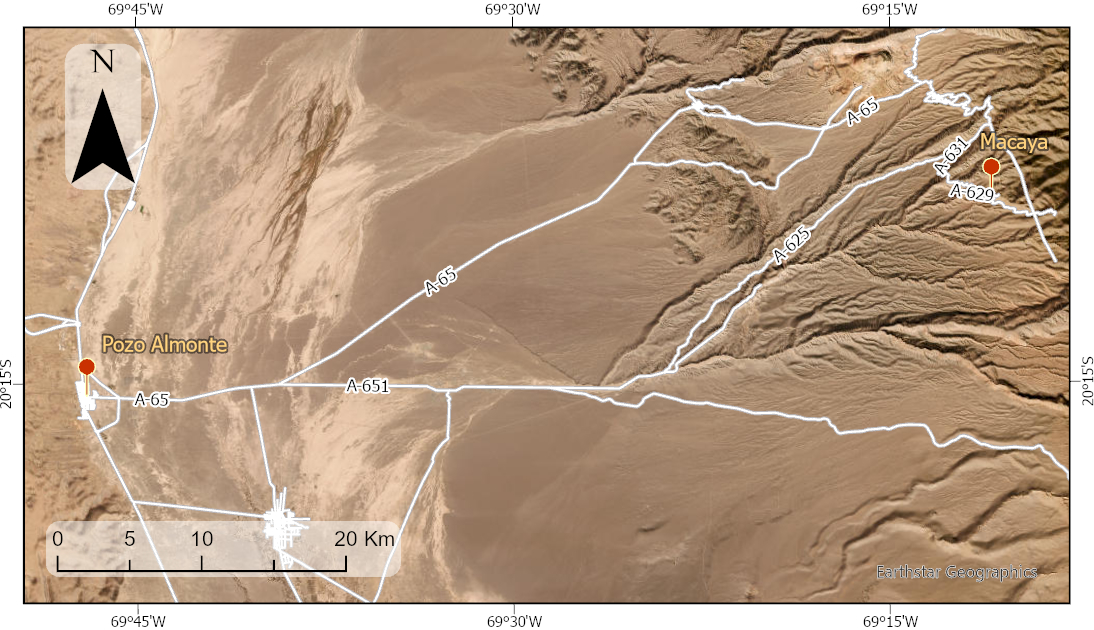
Las festividades locales son momentos clave para la reunión de la comunidad y la revitalización de la cultura local. Durante las festividades, siendo la principal la celebración de San Santiago de Macaya, se observan tradiciones que reflejan la herencia cultural de la región, y se recibe a un gran número de visitantes, fortaleciendo los lazos familiares y comunitarios.

La infraestructura hídrica y de riego aún conserva la esencia original. Los pobladores mayores señalan que de niños ellos acareaban el agua en valdes desde la noria hasta su casa. El mejoramiento y reorganización de la red hídrica podrían incrementar la eficiencia y sostenibilidad del recurso hídrico.

Estas características reflejan una comunidad que, a pesar de ser pequeña y con una población mayormente envejecida, mantiene vivas sus tradiciones culturales y una economía basada en la agricultura de subsistencia. La comunidad de macaya presenta desafíos significativos en términos de vulnerabilidad al cambio climático, con una población que enfrenta pobreza multidimensional y depende fuertemente de recursos hídricos limitados para sus actividades socioeconómicas y culturales.

Finalmente, el mapeo de actores realizado identifico a varios organismos gubernamentales regularmente relacionados en la gobernanza y gestión comunitaria, tales como: la municipalidad de pozo Almonte, Indap, CONADI, Sernapres emergencia, Direccion de obra hidraulicas, Delegacion presidencia.

El acceso a Macaya desde Pozo Almonte es por la Ruta A-65 hasta conectarse con Ruta A-651, A-625, A-631 y finalmente la ruta A-629 que llega a Macaya. Esta es la única ruta oficial aparte de las huellas troperas y senderos existentes. La calidad de esta ruta es relativamente buena, ya que esta pavimentada en todo el trayecto. Sin embargo, es un camino serpenteante en donde los desprendimientos de las laderas se observan de forma frecuente, lo que representa un desafío para el tránsito regular.



La minera tiene una gran relevancia en la zona, siendo la principal actividad económica de la cuenca, genera impacto de forma directa o indirecta sobre los poblados aledaños. De acuerdo a la fuente de información disponibles en la plataforma de visualización georreferenciada de proyectos sometidos a evaluación ambiental por parte de SEIA (disponible en: https://sig.sea.gob.cl/mapadeproyectos/), todos los proyectos de gran inversión se relacionan con la minería. Esto se ubican a una distancia de 10 a 12 kilómetros. Siendo la más cercana el proyecto Sagasca, el cual recientemente presento un proyecto de continuidad en el SEIA y se ha contactado con las comunidades aledañas. A pesar de la magnitud de los proyectos gran parte de estos solo presento una declaración de impactos (DIA) y solo tres de los 12 proyectos aprobados obtuvieron su resolución de calificación ambiental (RCA) por medio de un Estudio impacto Ambiental (EIA).

4.1.1 Vulnerabilidad

De acuerdo a la caracterización de vulnerabilidad territorial social propuesta por el Ministerio de desarrollo social y Familia es posible entender este concepto como la carencia del acceso: i) agua potable; ii) suministro de energía eléctrica; un sistema de eliminación de excretas (alcantarillado) y conectividad.

Actualmente la localidad de macaya se encuentra en estado de vulnerabilidad al no contar con acceso al agua potable, energía eléctrica dependiente de un gerador solo capaz de proporcionar energía por unas cuantas horas al día, eliminación de excreta por medio de fosa y difícil accesibilidad al contar con solo dos vías que atraviesan la quebrada, siendo un camino de alta dificultad y baja o excusa oferta de transporte.

## 4.2. Caracterización de la zona de influencia hidrogeográfica

Macaya es una localidad de la precordillera en la región de Tarapacá, 78 km al este de Pozo Almonte (Figura 1).

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 1**. Mapa de ubicación de la localidad de Macaya y su posición relativa respecto de Iquique y Pozo Almonte en la región de Tarapacá, Chile. |

Esta localidad se ubica dentro de la cuenca hidrográfica Pampa del Tamarugal, en su subdivisión de subcuenca Quebradas Juan Morales, Sagasca y el Tambillo (Figura 2), la cual cuenta con un area de casi 1000 km2.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 2**. Mapa de cuencas y subcuencas relativas al territorio y a la posición relativa de Macaya. |

## 4.3. Análisis de cuencas hidrográficas

Dentro de la Subcuenca BNA se puede delimitar una nueva subdivisión que involucra al poblado de Macaya (Figura 3). Esta subdivisión está conformada de los lineamientos de la Quebrada Macaya y Quebrada Sagasca y alcanza una dimensión de 235 km2. Para efectos prácticos esta delimitación se denomina Cuenca Macaya y Sagasca (CMS).

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 3**. Mapa de la Subcuenca Quebrada Juan Morales, Sagasca y El Tambillo, la CMS en **conjunto** con la red hidrográfica asociada a las mismas. |

## 4.4. Análisis del terreno: Relieve y pendiente

La CMS se encuentra principalmente en la zona de la precordillera y en menor proporción en la Depresión Central en su sección final de desembocadura (Figura 4). La altitud va desde los 4411 m s. n. m. en su parte más alta en la Precordillera y su punto más bajo alcanza los 1441 m s. n. m. al oeste ya en zona de la Depresión Central. La altitud media es de 2751 m s. n. m. y se desarrolla de este a oeste de manera descendiente, lo que se puede evidenciar en la curva hipsométrica de la cuenca (Figura 5).

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 4**. Mapa de elevación para la zona que abarca la CMS y su ubicación respecto a las unidades morfoestructurales. |

A través de la curva hipsométrica (Figura 5) se puede observar la evolución del relieve de este a oeste que evidencia un desequilibrio produciendo un desnivel que propicia el flujo en esta dirección.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 5**. Curva hipsométrica del relieve que comprende la CMS. |

La pendiente del terreno se clasifica según la tabla del Manual de Carreteras. Según esta configuración las pendientes se obtiene los indicadores del área mínima, media y máxima para la determinación de los coeficientes de relieve (Tabla I). Las pendientes de factor extremo están en la zona cordillerana y en los flancos de las quebradas, mientras que las pendientes de factor alto y medio constituyen el lecho de las quebradas, por su parte, el factor bajo constituye planicies que se pueden encontrar en la zona fuera de las quebradas, principalmente hacia el oeste de la cuenca, y constituyendo parte del lecho de las quebradas como las de factor medio y alto.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 6**. Mapa de pendientes de la CMS clasificadas según la tabla de factores del Manual de Carreteras. |

**Tabla I**. Cálculo de los factores de relieve para la CMS

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Factor** | **Área km2** | **Área relativa** | **Rango mínimo** | **Rango máximo** | **Rango medio** | **Factor estimado medio** | **Factor estimado máximo** | **Factor medio cuenca** | **Factor máximo cuenca** |
| Bajo | 4.20 | 1.80% | 0.08 | 0.14 | 0.11 | 0.00198 | 0.00253 | 0.27125 | 0.30791 |
| Medio | 14.69 | 6.31% | 0.14 | 0.2 | 0.17 | 0.01073 | 0.01262 |
| Alto | 95.86 | 41.20% | 0.2 | 0.28 | 0.24 | 0.09887 | 0.11535 |
| Extremo | 117.94 | 50.69% | 0.28 | 0.35 | 0.315 | 0.15967 | 0.17741 |

## 4.5. Precipitaciones

Las estaciones meteorológicas registradas en la DGA para la cuenca Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo es la estación Mamiña (Figura 7).

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 7**. Estación meteorológica dentro de la Subcuenca Quebrada Juan Morales, Sagasca y El Tambillo relativo a la CMS y la localidad de Macaya. |

Los registros para esta estación muestran un acumulado total para los 10 años de 229 mm y una media de precipitaciones para 10 años de 22.9 mm.

**Tabla II**. Precipitaciones acumuladas por año para la estación Mamiña.

|  |  |
| --- | --- |
| **Año** | **Precipitaciones (mm/año)** |
| 2014 | 5 |
| 2015 | 31 |
| 2016 | 0 |
| 2017 | 2.7 |
| 2018 | 46.6 |
| 2019 | 76.9 |
| 2020 | 50.4 |
| 2021 | 1.6 |
| 2022 | 0.6 |
| 2023 | 14.2 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Acumulado 10 años (mm)** | 229 |
| **Promedio 10 años (mm)** | 22.9 |

## 4.6. Temperatura

La estación oficial más cercana que tiene registro completo de temperatura entre el 2014 y el 2023 es la estación Diego Aracena Iquique Ap. (Figura 8), en las cercanías del aeropuerto de Iquique. Los registros muestran que la temperatura media en los meses cálidos ronda los 25° C de media con máximas cercanas a los 30° C, por su parte las mínimas se encuentran siempre por sobre los 20° C. En épocas de meses fríos la temperatura media ronda entre los 15 y 19° C. La temperatura máxima entre 18 y 21° C, mientras que la temperatura mínima oscila entre los 14 y 18° C en el rango de tiempo de 10 años. En esta serie de tiempo la temperatura muestra un incremento tanto en la máxima, media y mínima para el año 2023, siendo este el único año que escapa de la tendencia mostrada de años anteriores.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 8**. Registro de temperatura en la estación Diego Aracena Iquique Ap. entre los años 2014 y 2023 en sus medidas medias, máxima y mínima. |

## 4.7. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal en la CMS está en el área de las quebradas en la zona cordillerana y en Macaya (Figura 10). Esta constituye solo 0.8 km2 del área total de la cuenca, lo que corresponde a un 0.34% del área total de la cuenca (Tabla II).

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 9**. Vegetación identificada en la CMS mediante el índice NDVI. |

**Tabla III**. Tabla de factores para la cobertura vegetal para la CMS

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Factor** | **Área km2** | **Área relativa** | **Rango mínimo** | **Rango máximo** | **Rango medio** | **Factor estimado medio** | **Factor estimado máximo** | **Factor medio de la cuenca** | **Factor máximo de la cuenca** |
| Bajo | 0 | 0.00% | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0 | 0 | 0.139964 | 0.159964 |
| Medio | 0 | 0.00% | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0 | 0 |
| Alto | 0.210 | 0.09% | 0.08 | 0.12 | 0.1 | 0.000089 | 0.000107 |
| Extremo | 234.848 | 99.91% | 0.12 | 0.16 | 0.14 | 0.139875 | 0.159857 |

## 4.8. Almacenamiento Superficial

El agua superficial determinada mediante el índice NDWI (Figura 10) tiene un rango de valores entre -0,54 y 0,11. Estos valores están por debajo de la detección de alguna fuente de agua superficial apreciable (> 0,2) para el contexto del estudio, por lo que, a través de la clasificación de factores, se atribuye a la totalidad del agua de la cuenta a un factor extremo, es decir, almacenamiento de agua superficial despreciable, pocas depresiones superficiales que almacenen agua o sin zonas húmedas.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 10**. Índice NDWI para la CMS. |

**Tabla IV**. Tabla de factores para el almacenamiento superficial para la CMS

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Factor** | **Área km2** | **Área relativa** | **Rango mínimo** | **Rango máximo** | **Rango medio** | **Factor estimado medio** | **Factor estimado máximo** | **Factor medio de la cuenca** | **Factor máximo de la cuenca** |
| Extremo | 235.0932 | 100.00% | 0.1 | 0.12 | 0.11 | 0.110000 | 0.120000 | 0.110000 | 0.120000 |

## 4.9. Infiltración

La geología de la zona se interpreta en función de los factores de infiltración en el manual de carreteras (Figura 11). Las rocas intrusivas constituyen el factor extremo con un 23% del total de área de la cuenca. El factor alto, que está constituido por los miembros volcánicos (con presencia sedimentaria subordinada o no) de las formaciones, alcanzan el 11.76% del área de la cuenca. El factor medio, constituido por los miembros sedimentarios de las formaciones, alcanza el 63.29%, mientras que los depósitos no consolidados cuaternarios, considerados dentro del factor bajo, constituyen el 1.95% de la cuenca.

|  |
| --- |
|  |
| **Figura 11**. Mapa de la geología de la zona clasificada según los factores para la infiltración definidos en el Manual de Carreteras. |

**Tabla V**. Tabla de factores para la infiltración para la CMS

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Factor** | **Área km2** | **Área relativa** | **Rango mínimo** | **Rango máximo** | **Rango medio** | **Factor estimado medio** | **Factor estimado máximo** | **Factor medio de la cuenca** | **Factor máximo de la cuenca** |
| Bajo | 4.5893 | 1.95% | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.000977 | 0.001173 | 0.000977 | 0.001173 |
| Medio | 148.5850 | 63.29% | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.044300 | 0.050628 |
| Alto | 27.6098 | 11.76% | 0.08 | 0.12 | 0.1 | 0.011760 | 0.014111 |
| Extremo | 54.0023 | 23.00% | 0.12 | 0.16 | 0.14 | 0.032201 | 0.036801 |

## 4.10. Escorrentía

A partir de los datos anteriormente expuestos, se determina un coeficiente de escorrentía para la zona, lo que corresponde al porcentaje de agua caída que se desplaza por sobre la superficie. El coeficiente de escorrentía se calcula a través de la suma de los factores determinados en los ítems anterior y de los valores asociados según la Tabla II. El dato de precipitación es el correspondiente a la estación Mamiña dentro de la Subcuenca Quebrada Juan Morales, Sagasca y El Tambillo, y se usa como supuesto los registros de esta estación para realizar el cálculo de escorrentía e infiltración para la cuenca dentro de la misma. Así, los factores determinados a partir del cálculo y la estadística obtenida del análisis del territorio dan un rango de escorrentía entre 0.52 y 0.59 para la CMS (Tabla VI)

**Tabla VI**. Síntesis de factor de para parámetros hidrológicos.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Relieve** | **Cobertura vegetal** | **Almacenamiento superficial** | **Infiltración** | **Coeficiente de escorrentía** |
| **Valor medio del factor** | 0.271252256 | 0.139964321 | 0.11 | 0.000977327 | 0.522 |
| **Valor máximo del factor** | 0.307906236 | 0.159964321 | 0.12 | 0.001172793 | 0.589 |

**Tabla VII**. Resultados de escorrentía superficial e infiltración de acuerdo con la precipitación media y el coeficiente de escorrentía para el rango de tiempo entre el 2014 y 2023. *Nota: La precipitación, escorrentía e infiltración tiene como medida mm.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cuenca** | **Precipitación media** | **Coeficiencia de escorrentía medio** | **Coeficiente de escorrentía máximo** | **Escorrentía media anual** | **Escorrentía máxima anual** | **Infiltración media** | **Infiltración máxima** |
| Cuenca Macaya y Sagasca | 22.9 | 0.552 | 0.589 | 12.6408 | 13.4881 | 10.2592 | 9.4119 |

## 4.11. Infraestructura hídrica



La infraestructura hídrica se describe en función de 4 componentes, para los cuales, se presenta un resumen de la situación actual en término de cobertura, capacidad y conservación de las obras, como indicadores propios de la región, para evaluar el estado de la red. Los componentes son:

* Infraestructura de riego: la gran inversión realizada por INDAP ha permitido que la infraestructura de riego se haya modificado recientemente. Gran parte de la cobertura su extensión está canalizada abasteciendo por gravedad las eras situadas ladera norte de macaya.
* Infraestructura de defensas fluviales y de protección de riberas es precaria y escasa
* Infraestructura hidrométrica: anterior a la instalación de sistema de monitoreo de nivel no se contaba con ninguna herramienta que cumpliera esta función.
* Infraestructura de agua potable y alcantarillado: si bien la mayoría de la vivienda cuenta con conexión a la red hídrica esta se alimenta de agua de vertiente. Agua, reconocida por la comunidad como agua de riego. La cual no es sometida a ningún tratamiento de purificación o filtrado que permita eliminar compuestos potencialmente perjudiciales para la salud. Además, la infraestructura disponible no considera mecanismo de saneamiento como alcantarillado,
* se realiza por medio de fosas sépticas, sin embargo, los relatos en terreno reflejan la poca o nula mantención de estas. El servicio eléctrico solo dura tres horas al día, la **energía es proporcionada por generadores, solo las personas que pueden costear de forma particular ya sea por un panel solar o por un generador cuentan con este servicio básico por más tiempo”**

**Referencias**

Arcadis. (2019). Estudios relacionados a los cursos de agua de las quebradas precordilleranas de la cuenca del Tamarugal

Koppen, B. V., Giordano, M., & Butterworth, J. (2007). Community-based water law and water resource management reform in developing countries.

Ministerio de Obras Públicas - Dirección General Obras Públicas - Dirección de Vialidad. (2023). Manual de Carreteras Volumen N°3, Instrucciones y criterios de diseño. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad. Chile.

S2B\_MSIL2A\_20240530T144729\_N0510\_R139\_T19KDT\_20240530T184549.SAFE. (30 de mayo del 2024). Copernicus Data Space Ecosystem, European Union.

Tomlinson, A., Blanco, N., & Ladino, M. (2015). Carta Mamiña, Región de Tarapacá. *Cartas geológicas de Chile. Serie Geológica básica.* SERNAGEOMIN N°174, Chile.