

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL RECURSO
HÍDRICO Y ADAPTACIÓN DE LA COMUNIDAD
AYMARA EN LA CUENCA CAMIÑA POR
EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. OLGA STELLA PENAGOS PIÑEROS

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**Escuela de Posgrado****DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES****“EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO
Y ADAPTACIÓN DE LA COMUNIDAD AYMARA EN LA
CUENCA CAMIÑA POR EFECTO DEL
CAMBIO CLIMÁTICO”**

Tesis sustentada y aprobada el 19 de setiembre del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE :



Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO :



Dr. Martín Eloy Casilla García

MIEMBRO :



Ph.D. Edwin Martín Pino Vargas

ASESOR :



Ph.D. Edwin Martín Pino Vargas

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Edwin Martin Pino Vargas, en mi condición de asesor acreditado con Resolución de Escuela de Posgrado N° 13154-2023-ESPG/UNJBG del 27 de octubre del 2023, del trabajo de tesis titulado: "Efectos del cambio climático, visión histórica del recurso hídrico y el proceso adaptativo de la comunidad aymara en la quebrada de camiña", presentado por Olga Stella Penagos Piñeros, para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias de Ambientales.

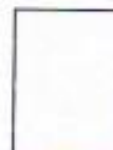
Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 3%. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y está de acuerdo con el nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales. Tacna, 09 enero 2025.

FIRMA ASESOR



Firmado digitalmente por: *
PINO VARGAS EDWIN MARTIN
FIR 00486621 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 09/01/2025 18:55:0500



Nombres y apellidos

Dra. Edwin Martin Pino Vargas
DNI N° 00486621

FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos

Olga Stella Penagos Piñeros
DNI (Código) Pasaporte CC51735406 (RUT 22.827863-7 Chile)



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis tres maravillosos hijos, Nando, Kike y Estrella, quienes son la luz de mi vida y mi mayor fuente de motivación. Su amor incondicional y su apoyo constante me han impulsado a superar cada desafío en este camino hacia el conocimiento.

A mis padres, que desde el cielo me enseñaron a no rendirme ante las adversidades y a luchar con determinación por alcanzar mis metas. Su legado de fortaleza y perseverancia vive en mí, recordándome que nunca es tarde para lograr lo que uno se propone; la edad no es una barrera, sino un testimonio de la experiencia y el crecimiento personal.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por guiarme en cada paso de este camino, por brindarme fortaleza en los momentos de desafío y por iluminar mi vida con su amor y sabiduría. Su presencia ha sido fundamental en mi trayectoria, y sin su apoyo, este logro no habría sido posible.

Agradezco al Dr. Edwin Pino, mi director de tesis, por su guía y apoyo constante, así como al Dr. Nataniel Linares, quien me orientó y me brindó su valiosa ayuda a lo largo de este proceso.

También agradezco al Dr. Jorge Olave del CIDERH por su apoyo en la clasificación del agua, y a la comunidad Aymara de Corza, por permitirme acercarme a sus costumbres y tradiciones.

Finalmente, un reconocimiento especial a todas aquellas personas que, de manera indirecta, aportaron conocimiento y sabiduría a esta investigación.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
RESUMO	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Identificación del problema	3
1.2 Formulación del problema	6
1.3 Justificación en importancia de la investigación	7
1.4 Objetivos	10
1.5 Hipótesis	10
1.6 Variables	11
1.7 Limitaciones de la investigación	13
CAPÍTULO II	14
MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Antecedentes del estudio	14
2.2 Bases teóricas	19
2.3 Definición de términos	29
2.4 Marco legal	29
2.5 Marco Filosófico	30
CAPÍTULO III	31
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.1 Tipo y diseño de la investigación	31
3.2 Población y muestra de estudio	32
3.3 Acciones y actividades para la ejecución del proyecto	33
3.4 Materiales e instrumentos	35
3.5 Tratamiento de datos	35
CAPÍTULO IV	36
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	36
4.1 Determinación de la situación hídrica basada en la información hidrográfica ...	36

4.1.2	Período 1985 a 2010: Información satelital Landsat 5	37
4.1.3	Período 2015 a 2023: Información satelital Landsat 8	41
4.2	Determinación de situación hídrica basado en datos meteorológicos	45
4.2.1	Período 1977 - 2023	45
4.3	Análisis espacio temporal de la variación de temperatura	50
4.4	Análisis estadístico del % de humedad	54
4.5	Análisis fisicoquímico del agua de la Quebrada de Camiña	56
4.6	Propuesta de mejora ambiental	62
4.6.1	Reforestar	62
4.6.2	Recarga de acuíferos	63
4.6.3	Identificar especies en peligro de extinción	63
4.6.4	Hacer conservación EX SITU:.....	64
4.6.5	Diseño y construcción de obras hidráulicas	65
4.6.6	Implementar tecnología de silos de agua	65
4.6.7	Trabajo con la comunidad local	65
	DISCUSIONES.....	67
	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	67
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES.....	76
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de variables con sus indicadores	13
Tabla 2 Subcuencas hidrográficas de Camarones y Pampa el Tamarugal.....	21
Tabla 3 Índice de Lang para varios tipos de ambiente	25
Tabla 4 Índice de Martonne para varios tipos de ambiente	26
Tabla 5 Ubicación de los puntos de muestreo meteorológico	34
Tabla 6 Catastro de la red de monitoreo de la zona de Camiña.....	46
Tabla 7 Índices de aridez IDHA, IDDH	49
Tabla 8 Parámetros estadísticos de % de humedad: Valores de tendencia central	55
Tabla 9 Caracterización del agua de la quebrada de Camiña	58
Tabla 10 Clasificación del agua con respecto a la concentración de minerales de acuerdo con su valor de EC.....	60
Tabla 11 Caracterización de agua de la quebrada de camiña en Altusa	62
Tabla 12 % de humedad de Tarcarive	89
Tabla 13 Precipitaciones Máx. Anuales en 24hrs-IDHA, IDDH.....	89
Tabla 14 Temperatura máxima mensual del 2013 a 2023 con el LANDSAT/LC08/C02	91
Tabla 15 Temperatura mínima mensual del 2013 a 2023 con el LANDSAT/LC08/C02	92
Tabla 16 Datos de temperatura máxima del periodo 2001 a 2023 con el MODIS/061/MOD11A2.....	93
Tabla 17 Datos de temperatura mínima del periodo 2001 a 2023 con el MODIS/061/MOD11A2.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evidencias del cambio climático en la costa sur de Perú	4
Figura 2 Comunidades indígenas en la Región de Tarapacá	6
Figura 3 Ubicación satelital estaciones meteorológicas en la quebrada de Camiña.....	9
Figura 4 Mapa Cuenca de Camiña 1910.....	16
Figura 5 Plano cartográfico Pampa de Tana referenciado 1915- 6945.....	17
Figura 6 Quebrada de camiña desde la imagen satelital de Google Maps	18
Figura 7 Caseríos y poblados aymara a lo largo de la quebrada de Camiña	19
Figura 8 Mapa de cuencas de la Primera Región de Chile	20
Figura 9 Inventario de cuencas hidrográficas de la Primera Región de Chile.....	20
Figura 10 Clasificación climática Köppen-Geiger	24
Figura 11 Signaturas espectrales típicas de distintas cubiertas.....	27
Figura 12 Puntos de registro de datos meteorológicos	34
Figura 13 Grado hidrológico de la cuenca.....	36
Figura 14 Longitud de la Quebrada de Camiña desde la imagen satelital de Google Earth Engine	37
Figura 15 Cuenca de Camiña desde la imagen satelital de Google Earth Engine GEE	38
Figura 16 Imagen satelital de la cantidad de agua superficial para el año 1985 y 2000- Landsat 5	39
Figura 17 Indicador NDVI para el período 1985 a 2010.....	40
Figura 18 Indicador NDVI para al período 2015 a 2023	41
Figura 19 Registro de agua superficial del año 2000 con Sentinel 2.....	42
Figura 20 Registro agua superficial año 2021 Copernicus con GEE	43
Figura 21 Índice de vegetación de diferencia normalizado NDVI año 2022	45

Figura 22	Precipitación en mm a partir del año 1977 al 2022.....	46
Figura 23	Temperatura en °C a partir del año 1977 a 2022.....	48
Figura 24	Índice de aridez de Martonne del año 1977 a 2022.....	49
Figura 25	Temperatura Vs días de la cuenca de camiña entre el año 2001 a 2023	51
Figura 26	Variación de temperatura de 2000 a 2023	52
Figura 27	Mapa de temperatura global	53
Figura 28	Mapa de temperatura de la cuenca de Camiña	54
Figura 29	Histograma de frecuencia de % de humedad	56
Figura 30	Mapa de ubicación de puntos de muestreo.....	57
Figura 31	Fotografía de planta Dalea Pennelli Var chilensis	64
Figura 32	Plantas nativas en la cuenca de camiña	64
Figura 33	Situación de la parcela de cultivo en la quebrada de camiña	65
Figura 34	Quebrada de camiña 2024	66
Figura 35	Mapa de Mensura de tierras de 1910	85
Figura 36	Mapa N° 1900-6000 Cuenca hidrográfica camiña.....	85
Figura 37	Mapa N° 1915-6915 cuenca hidrográfica de camiña.....	86
Figura 38	Mapa N° 1915- 6930 cuenca hidrográfica de camiña	86
Figura 39	Mapa N° 1915-6945 cuenca hidrográfica de camiña	86
Figura 40	Imagen Landast LT05 período año 2000	88
Figura 41	Imagen Copernicus S2 período 2021	88

RESUMEN

La crisis hídrica en la cuenca de Camiña, Atacama: Un estudio interdisciplinario sobre cambio climático, uso del suelo y soluciones basadas en la naturaleza. Esta investigación se centra en la cuenca de Camiña, ubicada en el árido desierto de Atacama, y analiza la evolución de sus recursos hídricos en el contexto del cambio climático y las actividades humanas. A través de un enfoque cualitativo-cuantitativo e interdisciplinario, se combinaron datos históricos, teledetección y análisis de campo para evaluar la variabilidad temporal de las aguas superficiales y subterráneas. Los resultados indican una disminución drástica de los recursos hídricos en las últimas décadas, agravada por el aumento de la temperatura y la intensificación de eventos extremos. El uso del suelo, dominado por la agricultura y la minería, ha exacerbado la situación, reduciendo la capacidad de infiltración del suelo y aumentando la escorrentía. La investigación destaca la importancia de las soluciones basadas en la naturaleza para enfrentar esta crisis. Se proponen estrategias como la restauración de ecosistemas, la implementación de cultivos adaptados a condiciones de sequía y el uso eficiente del agua. Además, se enfatiza la necesidad de involucrar a las comunidades locales en la búsqueda de soluciones sostenibles que respeten sus conocimientos y prácticas tradicionales. Los hallazgos de esta tesis subrayan la urgencia de adoptar medidas urgentes para preservar los recursos hídricos de la cuenca de Camiña y garantizar la sostenibilidad de las actividades humanas en esta región altamente vulnerable al cambio climático. Se recomienda fortalecer la colaboración entre científicos, comunidades locales, autoridades gubernamentales y organizaciones no gubernamentales para desarrollar e implementar planes de manejo integrado de cuencas.

Palabras clave: Cuenca de Camiña, desierto de Atacama, cambio climático, recursos hídricos, soluciones basadas en la naturaleza, comunidades locales.

ABSTRACT

The water crisis in the Camiña basin, Atacama: An interdisciplinary study on climate change, land use and nature-based solutions. This research focuses on the Camiña basin, located in the arid Atacama Desert, and analyses the evolution of its water resources in the context of climate change and human activities. Through a qualitative-quantitative and interdisciplinary approach, historical data, remote sensing and field analysis were combined to assess the temporal variability of surface and groundwater. The results indicate a drastic decrease in water resources over the last decades, aggravated by increasing temperature and intensification of extreme events. Land use, dominated by agriculture and mining, has exacerbated the situation, reduced soil infiltration capacity and increasing runoff. The research highlights the importance of nature-based solutions to address this crisis. Strategies such as ecosystem restoration, implementation of drought-adapted crops and efficient water use are proposed. Furthermore, it emphasizes the need to involve local communities in the search for sustainable solutions that respect their traditional knowledge and practices. The findings of this thesis underline the urgency of adopting urgent measures to preserve the water resources of the Camiña basin and to guarantee the sustainability of human activities in this region highly vulnerable to climate change. It is recommended to strengthen collaboration between scientists, local communities, government authorities and non-governmental organizations to develop and implement integrated watershed management plans.

Keywords: Camiña watershed, Atacama Desert, climate change, water resources, nature-based solutions, local communities.

RESUMO

A crise da água na bacia de Camiña, Atacama: um estudo interdisciplinar sobre mudanças climáticas, uso da terra e soluções baseadas na natureza. Esta pesquisa se concentra na bacia de Camiña, localizada no árido deserto do Atacama, e analisa a evolução de seus recursos hídricos no contexto das mudanças climáticas e das atividades humanas. Por meio de uma abordagem qualitativa-quantitativa e interdisciplinar, dados históricos, sensoriamento remoto e análise de campo foram combinados para avaliar a variabilidade temporal das águas superficiais e subterrâneas. Os resultados indicam uma diminuição drástica dos recursos hídricos nas últimas décadas, agravada pelo aumento da temperatura e pela intensificação de eventos extremos. O uso da terra, dominado pela agricultura e mineração, exacerbou a situação, reduzindo a capacidade de infiltração do solo e aumentando o escoamento. A pesquisa destaca a importância de soluções baseadas na natureza para enfrentar essa crise. São propostas estratégias como a restauração do ecossistema, a implementação de culturas adaptadas à seca e o uso eficiente da água. Além disso, ela enfatiza a necessidade de envolver as comunidades locais na busca de soluções sustentáveis que respeitem seus conhecimentos e práticas tradicionais. As conclusões desta tese destacam a urgência de adotar medidas urgentes para preservar os recursos hídricos da bacia de Camiña e garantir a sustentabilidade das atividades humanas nessa região altamente vulnerável às mudanças climáticas. Recomenda-se o fortalecimento da colaboração entre cientistas, comunidades locais, autoridades governamentais e organizações não governamentais para desenvolver e implementar planos integrados de gestão de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: bacia hidrográfica de Camiña, deserto do Atacama, mudanças climáticas, recursos hídricos, soluções baseadas na natureza, comunidades locais.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfoca en el análisis de la cantidad de agua superficial y la cobertura vegetal en la cuenca de la Quebrada de Tana o Camiña, una cuenca exorreica que desemboca en el océano Pacífico durante el invierno altiplánico. El caudal de esta cuenca es intermitente, influenciado principalmente por las precipitaciones en la alta cordillera, en particular en las laderas del Cerro Pumire. Además, el cambio climático ha afectado notablemente el comportamiento hidrológico de la cuenca, como lo señala Taucare, (2015). Los estudios sobre esta cuenca se remontan a 1977, cuando el profesor Hans Fernández realizó las primeras exploraciones, tal como lo documenta Niemeyer, (1982). La información recabada durante ese período fue registrada en los mapas elaborados por el Instituto Geográfico Militar de Chile, lo que sentó un precedente importante para la comprensión de la dinámica de la cuenca a lo largo del tiempo.

La historia climática de la región también ha estado marcada por eventos significativos. En 1983, fenómenos como el "Fenómeno del Niño" provocaron transformaciones drásticas en diversas partes del mundo. (Valdéz-Holguín y Lara-Lara 1987) documentan un aumento considerable en la productividad de biomasa de fitoplancton en el Golfo de California durante ese año. Mientras tanto, en los departamentos altoandinos del Perú, se reportaron condiciones de sequía (Takahashi y Obando, 2019), (Pino and Chávarri, 2022), fenómeno que también afectó a otras partes del mundo, como la parte noroccidental de China y regiones periféricas de África, según (Maturana et al., 2004). Estos eventos subrayan la diversidad y globalidad de los impactos climáticos, lo que resalta la importancia de comprender los fenómenos climáticos extremos y su influencia en las cuencas hidrográficas.

En el año 2000, la revista **Time** acuñó el término "refugiados ambientales", en referencia al desplazamiento forzado de poblaciones debido al aumento de la temperatura global (Feldmann et al. 2001). Este fenómeno ha catalizado una serie de cumbres y compromisos internacionales que buscan enfrentar los desafíos ambientales emergentes. En este contexto, resulta fundamental realizar un análisis detallado de la cantidad de agua superficial y la cobertura vegetal en la cuenca de la Quebrada de Camiña, abarcando diferentes períodos clave, desde 1977 hasta 2020, y proyectando hacia 2023. La

información recopilada durante estos años no solo proporciona una base sólida para investigaciones futuras, sino que también ofrece conocimientos valiosos que pueden orientar políticas y acciones concretas para mejorar el entorno ambiental.

Este enfoque tiene una relevancia significativa para las comunidades que interactúan con la cuenca (CONADI 2023), ya que la mejora del manejo de los recursos hídricos y vegetales está estrechamente vinculada con la calidad de vida en la región. Además, se alinea con los esfuerzos globales por enfrentar los desafíos medioambientales y construir un futuro más sostenible, contribuyendo al entendimiento y mitigación de los efectos del cambio climático en ecosistemas vulnerables como el de la Quebrada de Camiña.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

De acuerdo con el informe de la UNESCO del 2023 se puede concluir que la crisis del agua a nivel mundial ha revelado una compleja interacción entre conocimientos científicos, eventos históricos y comportamientos antropológicos de los seres humanos. Según Xenos (1989), la escasez de agua se ha asociado tradicionalmente a un contexto social influenciado por el desarrollo de las sociedades occidentales, desde Londres en el siglo XVIII hasta la Nueva York contemporánea. No obstante, Xenos subraya que los bienes naturales, como el agua, están integrados en la estructura del conocimiento humano, lo que implica que la escasez no debe ser analizada como un fenómeno universal de comportamiento. En este sentido, los recursos naturales, incluyendo el agua, el suelo, la flora y la fauna, están profundamente condicionados por las dinámicas individuales y comunitarias, lo que requiere que “las asociaciones sociales e industriales enfoquen sus esfuerzos en el consumidor” (Emile et al., 2022).

América Latina presenta una situación geográfica privilegiada debido a su variabilidad climática, lo que le permite albergar una gran biodiversidad de especies de flora y fauna (Martínez et al., 2018). En este continente, “la sociedad y la naturaleza se relacionan estrechamente con las diferentes culturas” (UNEP-WCMC, 2006), lo que genera una interacción única entre el entorno natural y las prácticas humanas. Fernández, (2009) destaca que este “nuevo continente” posee la mayor cantidad de agua dulce per cápita a nivel mundial, una oportunidad que ha atraído el interés de las transnacionales. Estas empresas, al negociar con los líderes locales, buscan aprovechar el recurso hídrico disponible para promover el desarrollo industrial, lo que ha generado tensiones entre las necesidades económicas y la sostenibilidad del agua.

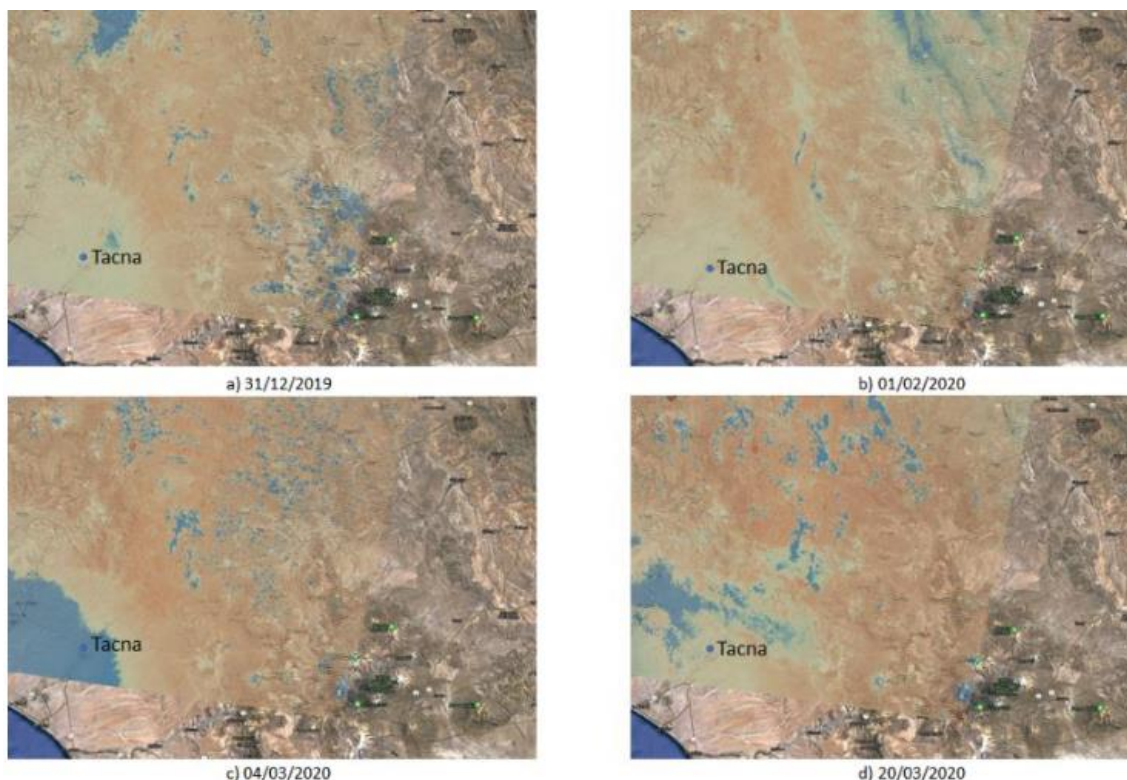
En el contexto chileno, específicamente en el desierto de Atacama, reconocido como el más árido del mundo, se ha evidenciado una profunda crisis hídrica agravada por la sequía persistente (Matus et al., 2020). Esta situación se ve exacerbada por el auge de

las grandes industrias mineras, que dependen de un suministro constante de agua para sus operaciones. Además, los efectos del cambio climático anticipan que agudizarán esta crisis, debido a las variaciones en las precipitaciones y la temperatura, lo que genera eventos extremos como sequías e inundaciones, (Pino y Chávarri, 2022). En este sentido, (Espinoza et al., 2022) afirman que el aumento de 2 °C en la temperatura, junto con cambios en la dinámica de los vientos, ha provocado precipitaciones anómalas en áreas localizadas, resultando en aluviones que constituyen claras evidencias del impacto del cambio climático.

Pino, (2021) señala que los impactos en los sistemas hidrológicos de las cuencas montañosas, junto con los efectos aguas abajo en ríos y quebradas de escorrentía superficial, generan alteraciones significativas en el comportamiento humano como se observa en la **Figura 1** de la investigación realizada en las cuencas de Locumba, Sama y Caplina en el sur de Perú.

Figura 1

Evidencias del cambio climático en la costa sur de Perú



Nota. Imágenes satelitales del Landsat 7 que corresponde a los eventos posteriores de lluvia en el año 2020 en la cabecera del desierto de Atacama, investigación realizada por (Pino et al., 2022), donde se observa la

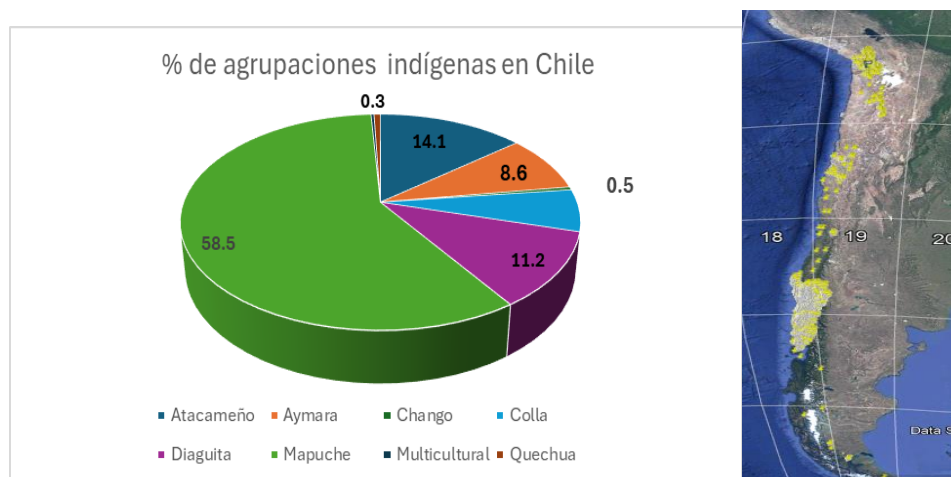
cantidad de lluvia absorbida y la saturación de la cuenca en color azul, fenómeno presentado por el evento del invierno altiplánico en el año 2020.

Estos cambios son particularmente notables en las comunidades que dependen directamente de estos cuerpos de agua, ya que la variabilidad hídrica afecta no solo su subsistencia, sino también su forma de vida. Un ejemplo claro de esta interacción se encuentra en la Región de Tarapacá, donde la cuenca de la Quebrada de Camiña es habitada por 252 familias Aymara (**Figura 2**) que corresponden al 8,6% de la población indígena del país, quienes han mantenido una estrecha relación con los recursos hídricos locales a través de actividades tradicionales como la ganadería y el cultivo en terrazas (CONADI, 2023). Estas prácticas agrícolas, conocidas como terrazas o canchones, dependen en gran medida del agua y de la vegetación nativa, lo que hace que la gestión del recurso hídrico sea fundamental para la supervivencia de estas comunidades.

Asimismo, se ha observado que la creciente participación femenina en la economía familiar ha jugado un papel clave en la resiliencia ante los eventos hídricos adversos. Las mujeres han contribuido significativamente a generar ingresos adicionales para sus hogares, lo que ha permitido que las familias enfrenten con mayor capacidad los desafíos que plantea la escasez de agua (Sotomayor et al., 2014). Esta tendencia resalta la importancia de un enfoque inclusivo y equitativo en las estrategias de adaptación al cambio climático, dado que las dinámicas sociales y económicas locales influyen directamente en cómo las comunidades gestionan los recursos naturales y enfrentan las crisis ambientales.

Figura 2

Comunidades indígenas en la Región de Tarapacá



Nota. Inventario de comunidades al 2023, adaptada de los datos obtenidos en <https://siic.conadi.cl/exp/ficha.php> y registrado en Google Earth de <https://siic.conadi.cl/>.

Con la investigación se propone utilizar diferentes metodologías para evaluar en el período de 1977 a 2023 la variación del recurso hídrico superficial y como ha sido el comportamiento de adaptabilidad de los Aymara, con la información obtenida presentar una propuesta de mejora ambiental para la cuenca, además de definir un índice de aridez que relacione los efectos del clima con el proceso de adaptación de los comuneros locales.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 El problema principal

La crisis hídrica en la Cuenca de la Quebrada de Camiña y el proceso adaptativo de la comunidad Aymara

1.2.2 Problemas secundarios

1. ¿Cuál fue el proceso de adaptabilidad de las comunidades en la cuenca Camiña por el cambio climático?
2. ¿Cuál es el estrés hídrico generado por el cambio climático?
3. ¿Cómo los indicadores meteorológicos obtenidos por imágenes satelitales demuestran una correlación entre crisis hídrica, desertificación y adaptación de la comunidad

4. ¿Qué acciones se pueden plantear para mejorar la situación ambiental adversa de la zona de la cuenca Camiña?

1.3 Justificación en importancia de la investigación

1.3.1 Justificación social

En la cuenca de la Quebrada de Camiña hay asentamientos humanos, en pequeños poblados, que dependen directamente del recurso hídrico superficial para su subsistencia, el conocimiento actualizado de las variables de los parámetros a medir es un aporte a la comunidad para planificar el manejo del agua.

“Hay toda una cultura gastronómica asociada al consumo ancestral del camarón *cryphiops caementarius* presente en los ríos y quebradas del norte de Chile y que ha sido sobreexplotada clandestinamente lo que motivo decretar el regulamiento de la extracción en el año 1986 ” (Meruane et al., 2006, p.280). Aunque no hay registro científico del tipo de especie, ni la cantidad existente específicamente en la quebrada, los pocos animales que son visibles, están condicionados a los procesos de eutroficación, a “la sequía y a los bajos niveles de caudal que aumentan la cantidad de arsénico en el agua” (García & Moya, 2021, p.52). Según Bundschuh et al., (2012) “El arsénico (As) se encuentra de forma natural en suelos, aire, agua. en los ríos que nacen en la cordillera de los andes y lo conducen hacia las zonas bajas mencionado en (V. Herrera et al., 2019, p.610)”. “El nivel de As fuera de norma según la NCh 509/1” (Sancha, 1997, p.12). Según Müller & Bahn (2022, p.18) ”considera el As como un “legado de la sequía” porque afecta los ecosistemas terrestre y acuático como consecuencia del cambio climático a corto y largo plazo”.

1.3.2 Justificación económica

El estrés hídrico genera detrimento en la calidad de vida de las personas, sin agua, sin posibles soluciones como lo expresan los investigadores del Instituto de Recursos Mundiales WRI para el 2050 Chile tendrá más del 80% de aumento del estrés hídrico (Melo, 2024), esto trae como consecuencia que los pobladores de la zona serán dependientes de la autoridad local quien suministra agua en carros aljibe para el consumo humano, al contar con un estudio de las condiciones actuales se proyecta una mejora tanto

en el cultivo de variedad de especies de flora que permitan reducir la evaporación del agua superficial, además de proponer especies que sirvan de apoyo a la economía familiar, otra situación que se presenta por el estrés hídrico es el bajo caudal, lo que fomenta que los lugareños cultiven en la sección hidráulica de la quebrada provocando eutrofización y daño a la única especie que aún persiste en no desaparecer, como es el camarón de río.

1.3.3 Justificación técnica-ambiental

La justificación técnica-ambiental para mitigar los efectos del cambio climático en la cuenca de Camiña, así como en su flora y fauna, se fundamenta en la necesidad de implementar medidas específicas y propuestas de mejora ambiental. Esta investigación busca recopilar información detallada sobre las condiciones climáticas de la zona y su impacto en los recursos hídricos. Con esta información, se podrán sugerir acciones concretas para mitigar los efectos del cambio climático en la cuenca de la Quebrada de Camiña, así como en su biodiversidad (Marquet et al., 2019). Es crucial motivar a las autoridades regionales a participar en un plan de acción que incluya estrategias definidas para la gestión del agua, así como mejorar las prácticas agrícolas sostenibles y fomentar el cultivo de nuevas especies fuera de la sección hidráulica de la quebrada. Estas acciones no solo contribuirán a la resiliencia ambiental, sino que también promoverán el bienestar social y económico de las comunidades locales.

1.3.4 Justificación académica

Con los resultados de la investigación se busca construir una analítica de datos que permita validar la información de desertificación utilizando metodologías como la de “índice de aridez de Martonne que determina que para zonas áridas el valor está entre 0 a 5, zona hiperárida de 5 a 10” (Mercado et al., 2010, p.60), “índice de Lang de 0 a 20 desiertos y 20 a 40 zona árida” (Peña & Vilchis, 2018, p.3), considerando que la zona de estudio es desértica, es el rango de valores esperados del índice de aridez de precipitación y temperatura local, otra metodología propuesta en Mutanga & Kumar, (2019, p.140) “consiste en obtener información satelital a través de Google Earth Engine Copernicus Sentinel 2 de la variabilidad de la capa vegetal y cantidad de agua superficial”.

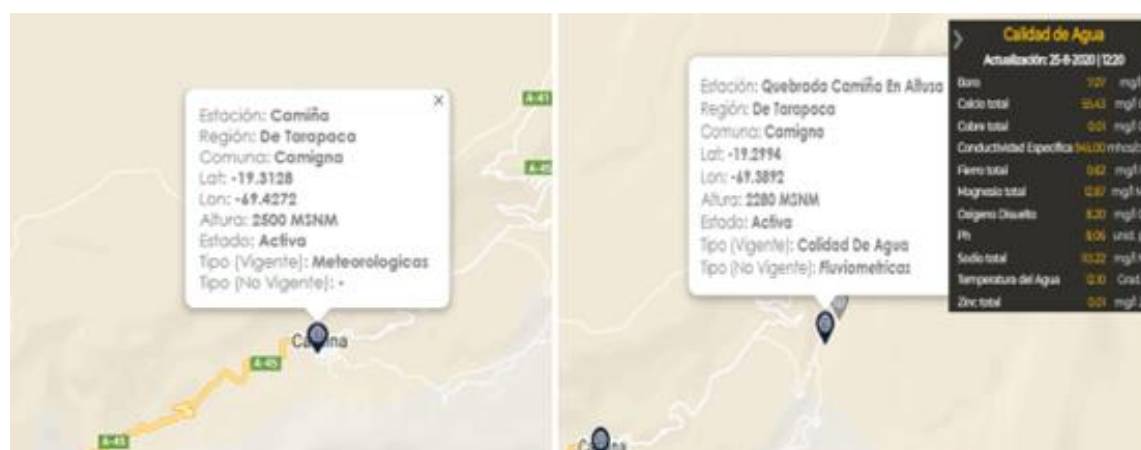
De acuerdo con investigaciones “otro parámetro que incide sobre el cambio climático es la actividad solar que se ha demostrado tener un comportamiento cíclico en los diferentes períodos desde la formación de la tierra hace más de 4500 millones de años”(Sierra et al., 2015, p.215).

1.3.5 Importancia de la investigación

Es importante determinar cómo ha incidido el cambio climático en el recurso hídrico de la cuenca de la Quebrada de Camiña, en la escala de tiempo histórica y cómo ha incidido en el comportamiento de los asentamientos humanos que dependen del agua para la subsistencia. La Dirección General de Aguas (DGA) de Chile gestiona, verifica y difunde la información hídrica del país, cuenta con registros en dos estaciones con información meteorológica (**Figura 3**), sin embargo, no hay investigación con respecto a cuál ha sido la cantidad de pérdida del recurso hídrico superficial ni cómo afecta la fauna y flora y por consiguiente cual es la incidencia en los “asentamientos humanos dependientes” (CONADI, 2023, P.148).

Figura 3

Ubicación satelital estaciones meteorológicas en la quebrada de Camiña



Nota. En las imágenes de Google Earth se incluyen la ubicación geográfica y la lectura de datos meteorológicos para las dos estaciones registradas en la consulta en línea: https://snia.mop.gob.cl/mapa_prod

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la variación del recurso hídrico y adaptación de la comunidad Aymara en la cuenca Camiña por efecto del cambio climático.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar el proceso de adaptabilidad de las comunidades en la cuenca Camiña por el cambio climático.
2. Determinar el estrés hídrico generado por el cambio climático.
3. Analizar los indicadores meteorológicos obtenidos por imágenes satelitales, que demuestran una correlación entre crisis hídrica, desertificación y adaptación de la comunidad.
4. Proponer un plan para la mejora la situación ambiental adversa de la cuenca Camiña.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La variación del recurso hídrico influye en la adaptación de la comunidad Aymara en la cuenca Camiña por efecto del cambio climático.

1.5.2 Hipótesis específicas

1. El proceso de adaptabilidad de las comunidades en la cuenca Camiña es afectado por el cambio climático.
2. El estrés hídrico generado es influido significativamente por el cambio climático.
3. Los indicadores meteorológicos obtenidos por imágenes satelitales demuestran una correlación entre crisis hídrica, desertificación y adaptación de la comunidad.
4. Un plan para la mejora de la situación ambiental disminuye el carácter adverso en la cuenca Camiña.

1.6 Variables

1.6.1 Identificación de las variables

VI: Independiente

VD: Variable dependiente

VI: Variación del recurso hídrico por el cambio climático

VD: Adaptación de la comunidad Aymara en la Cuenca Camiña

1.6.2 Definición conceptual de las variables

Comunidad Aymara de la Cuenca de la Quebrada de Camiña: Comunidad que se relaciona directamente con el recurso hídrico superficial: **Poblados:** Pumiri, Palca, Toculla, Torcarive, Vila Vila, Altuza, Apamilca, La china, El Olivo, Chapiquita, Camiña, Quisama, Laupara, Jajara, Compi, Chillarza, Yalañusco, Guajacia, Francia, Espidja, Yalamanta, Pacagua, Cabrane, Calatambo, Corza, Tunisa, Tana, Pisagua (CONADI, 2023, P.148).

Proceso de adaptabilidad: “Las culturas andinas han sido resilientes” (Molina, 2012, p.18). Dependen de los recursos de fauna y flora que le suministra la naturaleza, la crisis hídrica ha generado cambios para poder subsistir considerando que hay algunos productos que están a punto de desaparecer y que queda registrado por los ancestros convirtiéndose como leyenda de lo que existió, como ejemplo la “leyenda de Cumbemayo del legado preinca” (Deza, 2012, p.58).

Indicadores de aridez: Indica la sensibilidad del clima de un lugar o zona de la tierra a la sequía (Alvares et al., 2013).

Datos meteorológicos: Son los valores registrados del clima que permiten predecir el tiempo, comprender como se relaciona con la atmósfera, pueden ser obtenidos por globos meteorológicos, satélites, radares, estaciones (Brune, 2023, p.15).

Medio ambiente: Se refiere a todos los componentes físicos que interactúan en un lugar determinado, tales como temperatura, aire, relieve, suelo, recurso hídrico, fauna, flora, ser humano, microorganismos (Cervantes et al., 2022, p.2).

1.6.3 Definición operacional de las variables

“Esta directamente asociada con la forma como se toman los datos y a la técnica utilizada” (Espinoza, 2019, p.178).

Las variables están abordadas desde el aspecto social y técnico científico, es así como el trabajo con la comunidad permite establecer de forma cualitativa, cuáles han sido los aspectos culturales, económicos, sociales y demográficos que han marcado un proceso adaptativo en la comunidad, a partir de la información obtenida se establece un criterio que permita cuantificar los indicadores. En la investigación los datos meteorológicos son tomados, de fuentes confiables y especializadas, como la DGA, el CIDERH, esto para datos históricos, además se tomarán datos actualizados mediante dos estaciones meteorológicas en terreno ubicadas a lo largo de la Quebrada de Camiña, los cuales serán registrados, ordenados y procesados con herramienta informáticas como el Excel y Statgraphics versión de prueba gratuita.

Para obtener los índices de aridez se utilizan las relaciones matemáticas de Martonne (Mercado et al., 2010) y la evaluación de imágenes satelitales de tal forma que se pueda monitorear los cambios en la cantidad de recursos naturales y gestionarlos sosteniblemente, situación que está relacionada con la disponibilidad de tierra, agua, energía, entre otros (Quiroga Martínez, 2007, P.228) Hay que reconocer que la biodiversidad es fundamental en el buen funcionamiento de los ecosistemas y el suministro de servicios ecosistémicos, como la producción de alimentos, la regulación del clima y la provisión del agua. Teniendo los indicadores, de resiliencia, meteorológicos, índices de aridez, inventario de fauna y flora, y si es posible de biológico del agua, establecer la correlación y determinar un *índice de estrés hídrico*.

1.6.4 Operacionalización de las variables

En la Tabla 1 se presenta el resumen de las variables dependientes e independientes, con dimensión social, económica, ambiental con sus correspondientes indicadores.

Tabla 1*Resumen de variables con sus indicadores*

Variable	Dimensión	Indicador
VI	Deterioro	Cantidad de agua superficial y
Variación del recurso hídrico	ambiental	vegetación
por el	Desertificación	Datos meteorológicos
cambio climático		Indicadores de aridez
	Salud	Calidad de vida de la comunidad
VD		Aymara
Adaptación de la comunidad	Social	Proceso de adaptabilidad
Aymara en la Cuenca		
Camiña	Economía	Calidad del agua
		Tipo de productos que cultivan

1.7 Limitaciones de la investigación

Una de las principales limitaciones de esta investigación es que no se abordó en profundidad el balance hídrico de la cuenca, específicamente en lo relacionado con los depósitos de aguas del subsuelo. Esta decisión se debe a que el enfoque principal de la tesis se centra en analizar la pérdida de agua superficial en el contexto del cambio climático. Como resultado, aspectos importantes relacionados con la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas, así como el impacto de estas últimas en el balance hídrico general, no serán explorados en detalle. Esta restricción puede limitar la comprensión integral del sistema hídrico de la cuenca y su respuesta a las variaciones climáticas. Sin embargo, se considera que el enfoque elegido permitirá obtener información valiosa sobre la dinámica del agua superficial y su vulnerabilidad ante el cambio climático, contribuyendo así a un análisis focalizado y relevante para la gestión hídrica en la región.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 Antecedentes internacionales

La crisis hídrica en el mundo ha permitido enfrentar los concomitamientos científicos, los eventos históricos y el comportamiento antropológico de los seres humanos (MOP et al., 2022, P.93).

Según Ramírez (2023), las severas sequías provocadas por el fenómeno de El Niño a principios de 2023 han generado alertas en las costas de Perú y Ecuador (pp.2-44). Este fenómeno ha llevado a un aumento de las temperaturas, lo que afecta la dinámica de los vientos y produce efectos adversos, como lluvias intensas en las regiones altoandinas y graves inundaciones. Además, el informe del estado global del clima 2023 de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) señala que este año ha sido el más cálido registrado hasta la fecha, con un incremento de temperatura de 1.45 °C sobre el promedio histórico. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) también ha indicado que 2023 ha sido el año más cálido desde 1961, lo que ha desencadenado una crisis hídrica en Canarias debido a las prolongadas sequías.

Un diagnóstico de las sequías implica evaluar la cantidad de recursos hídricos disponibles y los índices de aridez. La aridez, que se define como la escasez o casi ausencia de agua y humedad en el aire o en el suelo, se considera sinónimo de sequía. La utilización de índices numéricos, fundamentados en experiencias globales, es esencial para planificar y promover un manejo adecuado del recurso hídrico (Mercado et al., 2010).

2.1.2 Antecedentes nacionales

Según (Pino, 2021, p.408). “Es así como en el norte chileno, dueño y señor del desierto más árido del mundo, se evidencia una gran crisis hídrica por la sequía tan frágil dependiente de una economía pujante en torno al desarrollo de las grandes industrias de

la minería”, sin embargo, los hábitos y cambios ante eventos como pandemias, hacen que renazcan poblaciones apenas perdidas y solo habitadas por ancestros pobladores que se resisten a abandonar a su Pachamama, madre y dueña de la cultura ancestral andina que ha evolucionado y se adapta a nuevas situaciones.

Otra situación es la migración hacia la zona rural de las nuevas generaciones, “castigadas por la crisis económica que dejó la pandemia del COVID-19 asociada a los cambios atmosféricos” (Cantos et al., 2020, p.294). Como consecuencia ha aumentado el estrés hídrico en algunas zonas en forma puntual y ha motivado el incremento de cultivos para abastecer al creciente núcleo familiar.

El inventario de las fuentes de agua superficial permite evidenciar los recursos disponibles, es así como la Quebrada de Tana o Camiña es una “cuenca exorreica que desemboca en el océano pacífico en época del invierno altiplánico, su caudal es intermitente debido a que está supeditado a la ocurrencia de precipitaciones en la alta cordillera en los faldeos del Cerro Pumire” (Taucare, 2015, p.40).

Las primeras investigaciones de la geografía de la cuenca de la Quebrada de Camiña son realizadas por el profesor Hans Fernández en 1978, donde expresa que la quebrada de Camiña es un cuerpo de agua que nace en el pie occidental del cerro Llanquipa (5210msnm) en la región donde suele llover en la época estival. Su trayecto se puede describir de la siguiente manera:

- i. Corre en un cauce estrecho directamente hacia el oeste por 10 km.
- ii. Describe luego un arco al norte por otros 14 km.
- iii. A partir de esta curva, donde alcanza su punto más septentrional, dirige su curso en dirección general al sur, con ligeras variantes, hasta su desagüe en el océano pacífico, en la caleta Pisagua viejo

La longitud aproximada de la quebrada resulta de 150 Km. En general, transcurre en forma de un cañón confinado primero por altos cerros y más abajo por los taludes de la pampa. Al llegar al mar, franquea el elevado acantilado costero (Niemeyer, 1982, p.47).

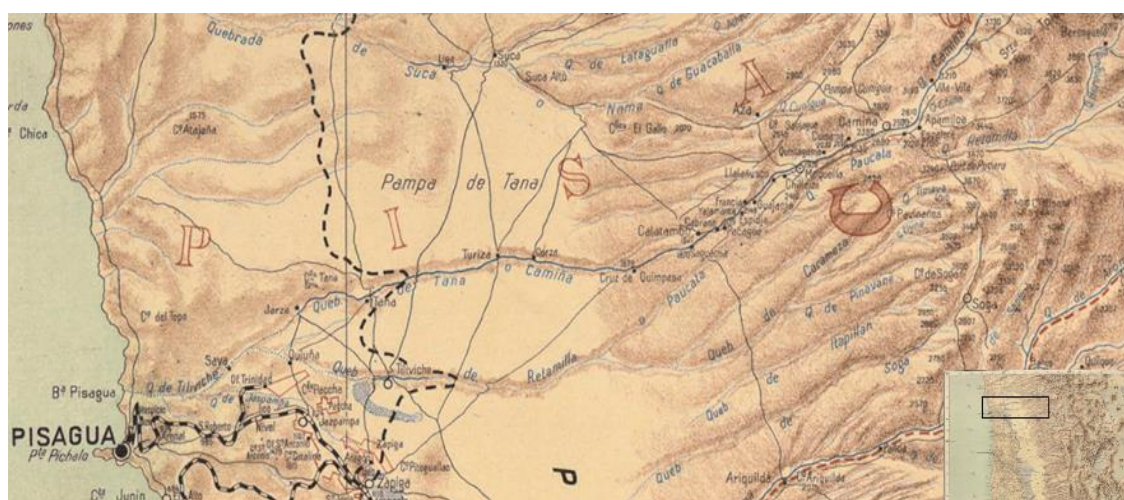
2.1.3 Antecedentes regional o local

En la Biblioteca Nacional Digital de Chile se conserva un mapa de 1910, encargado por el presidente Pedro Montt y elaborado por Boloña y Risopatrón, titulado "Oficina de Mensura de Tierras". Este documento compila información desde 1869 e incluye planchas que abarcan desde el paralelo 17° hasta el 67°. En la [Figura 4](#) se presenta el mapa correspondiente a los paralelos 20° a 21°, que muestra la distribución política del área en estudio, correspondiente al Departamento de Pisagua, así como las quebradas que sirvieron de base para la elaboración de mapas posteriores.

Además, se registra información sobre lugares en el "Diccionario Geográfico de Chile" del Sr. Risopatrón (1924), que menciona la quebrada de Camiña, formada por cuatro vertientes que confluyen en Cascahuano. En diciembre, se registraron caudales de 170 lt/s, y a lo largo de su recorrido, el caudal aumentaba a 205 lt/s en la zona de Calatambo debido a la afluencia de diversas vertientes.

Figura 4

Mapa Cuenca de Camiña 1910

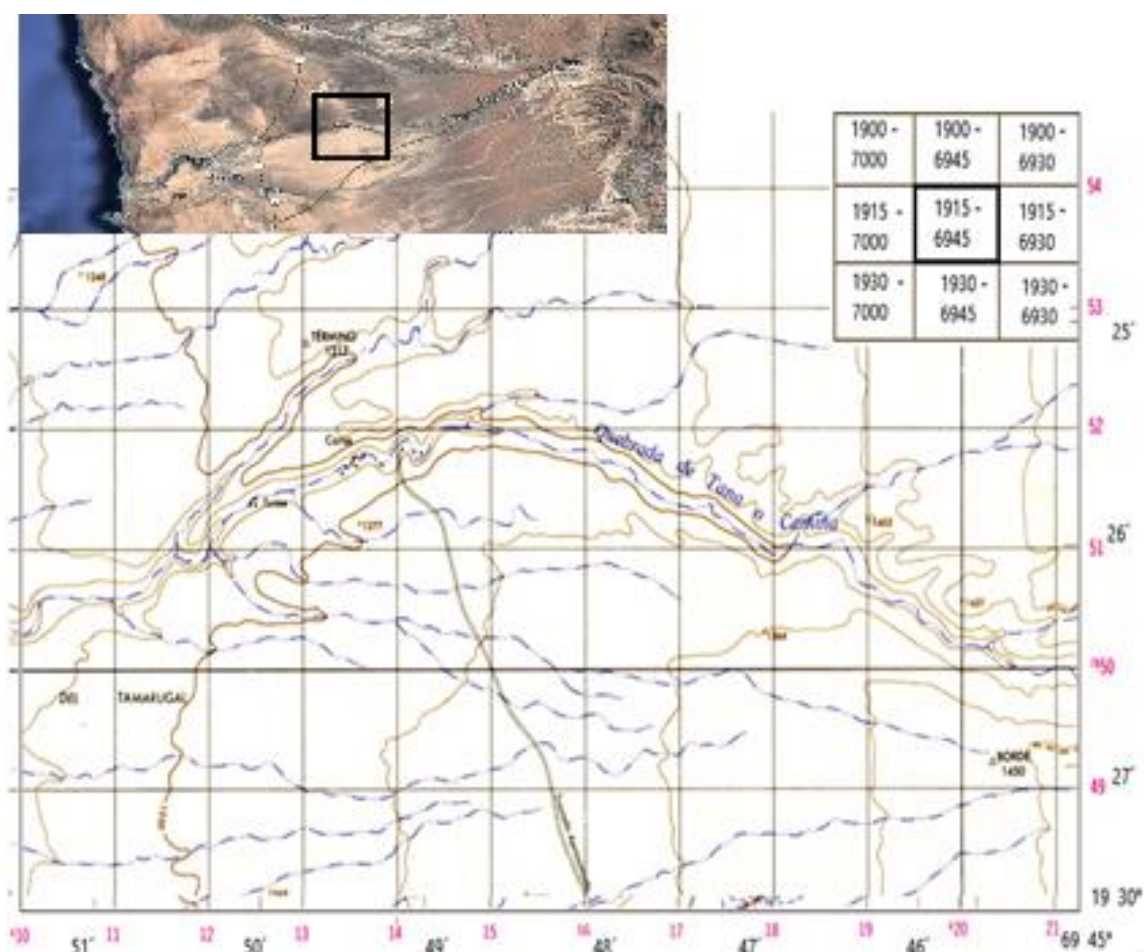


Nota. En la figura, las rutas de ferrocarril están marcadas con una línea de doble trazo, mientras que los caminos troperos se indican con líneas continuas. Las quebradas superficiales están representadas por líneas azules. El puerto de Pisagua, destacado con un punto negro, subraya su importancia política, debido a que era el centro del Departamento de Pisagua y desde allí se dirigía la actividad minera de la época.
<https://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/visor/BND:331550>

“En coordinación con la dirección del Instituto Geográfico Militar el profesor Fernández participó en la construcción de las cartas topográficas de la zona donde se marcan las principales corrientes hidrográficas superficiales existentes y que se editó en el año 1977”. (Figura 5) (Niemeyer, 1982, p.2).

Figura 5

Plano cartográfico Pampa de Tana referenciado 1915- 6945



Nota. Plano cartográfico de la plancha indicada donde se visualizan en azul las líneas de corrientes superficiales que existían según la investigación del profesor Hans y el Instituto Geográfico Militar de Chile, 1977. Obtenida en línea en: <https://www.igm.cl/tiendaonline/>

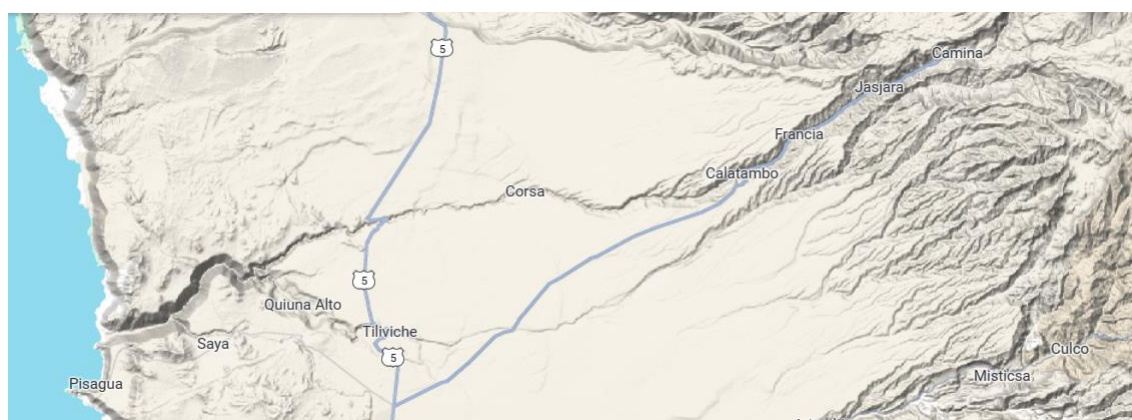
Desde la creación de la DGA en 1969 como organismo del Estado que registra información de la gestión, verificación y difusión hídrica del país, además de la DOH (Dirección de Obras Hidráulicas) que tiene como uno de los objetivos estratégicos la provisión de infraestructura hidráulica para la zona rural, es posible obtener información

para el apoyo de la investigación del recurso hídrico como complemento de las nuevas tecnologías como Google Earth Engine donde la información satelital libre está al servicio de los investigadores.

Imagen satelital de la versión GEE de 2021 registrada en la **Figura 6** evidencia la existencia la Quebrada de Camiña enmarcada en un suelo donde la depresión del relieve guía los cursos de agua hasta su llegada al océano pacífico en la población de Pisagua.

Figura 6

Quebrada de camiña desde la imagen satelital de Google Maps



Nota. En la imagen se observa la línea de la quebrada que sigue la ruta de la carretera A41 la cual se origina paralela en la cabecera de la quebrada de Camiña, y en el punto 458441.34 m E, 7867951.59 m S se encuentra con la carretera A45 que permite el acceso a los pueblos desde Camiña hasta llegar a la población de Pisagua.

2.1.4 Situación demográfica de la Región

“En Chile la ley indígena 19.253 de 1993 reconoce la existencia los pueblos indígenas; Aymara, Quechua, Atacameño, Cola, y Diaguita en el norte del país, según el Censo de 2002 la población Aymara tiene alrededor de 48.454 habitantes ubicados en la Región de Arica y Parinacota, específicamente en las comunas de Camarones, Putre, general Lagos, y en la Región de Tarapacá en Camiña, Colchane, Huara, Pica, Pozo Almonte” (CONADI, 2023, pp.3-4) .

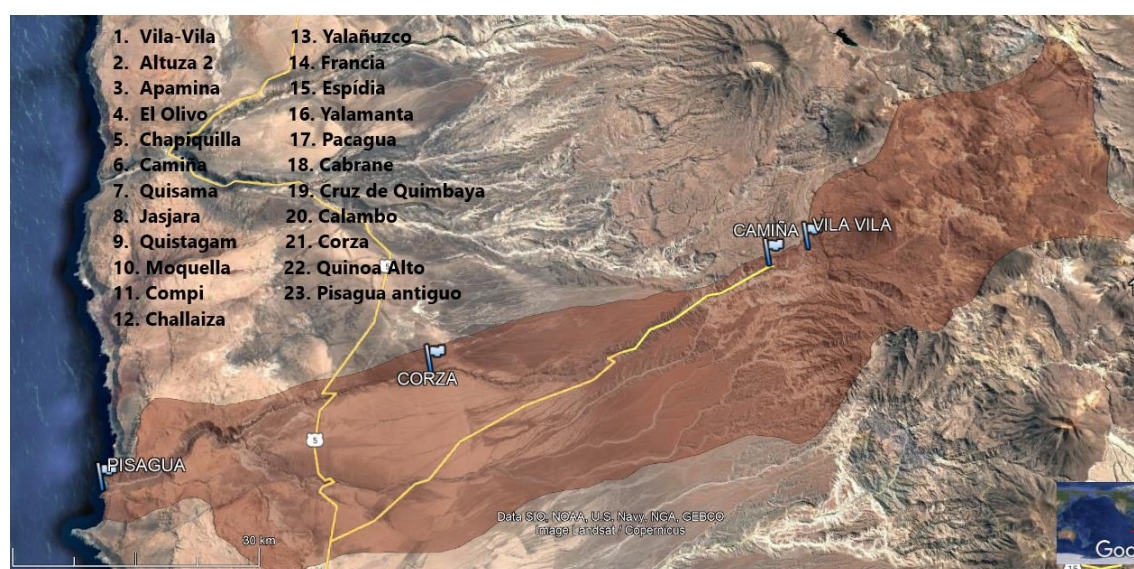
A lo largo de la Quebrada de Camiña se generan pequeños asentamientos humanos Aymara, desde el nacimiento a pies del Cerro Pumire y Llanquipa hasta llegar a Pisagua. Estas poblaciones Andinas, tienen una estrecha relación con la Quebrada, se han organizado social y económicamente en actividades tradicionales, según (Núñez,

2012.p.58) “la ganadería y cultivo en terrazas o canchones, son el sustento principalmente además del uso de la vegetación nativa”.

En la **Figura 7** se presenta la ubicación de los poblados con mayor comunidad que desarrolla su actividad y vida dependiente de la quebrada de Camiña, la zona sombreada corresponde a la Cuenca de Camiña.

Figura 7

Caseríos y poblados aymara a lo largo de la quebrada de Camiña

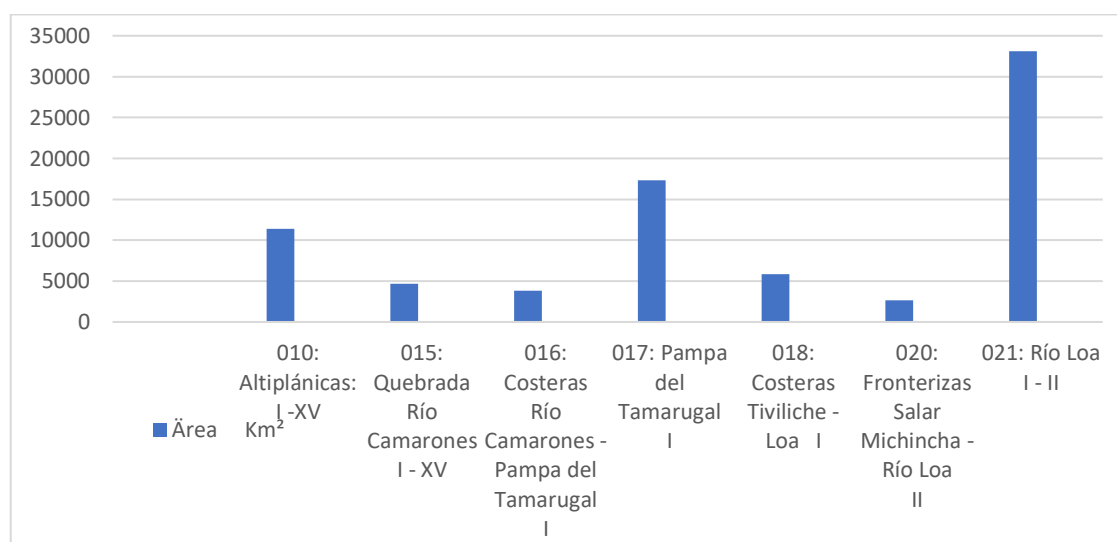


Nota. Imagen satelital obtenida de Google Earth complementada con la ubicación de los asentamientos humanos dependientes de la cuenca exorreica de la Quebrada de Camiña, ubicados en orden de derecha a izquierda del mapa.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Hidrología cuenca de la Quebrada de Camiña

Chile es un país formado por 15 regiones agrupadas en cuatro macrozonas, de acuerdo con los factores hidrográficos, orográficos y climáticos. La macrozona norte está conformada por 39 cuencas hidrográficas, de las cuales corresponden a la Región de Tarapacá o primera región de tres referenciadas como 016, 017 y 018 (**Figura 8**), además, comparten con la región de Arica y Parinacota o XV región las cuencas con código 010, 015. En la **Figura 9** se presenta un resumen de las cuencas hidrográficas que existen en la Primera Región de Chile según las bases de datos de la DGA (Hidrolínea, 2022). Las cuencas Quebradas del Rio Camarones, Costera de Tiviliche y Rio Loa son exorreicas,



Nota. Adaptado de “DGA, D. de H. y unidad S.”, 2021, Inventario de Cuenca y Lagos, los números 010 a 021 corresponden al código de la cuenca, los números en romano I, II y XV a región geográfica. dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/inventario_cuencas_lagos/Paginas/default.aspx

En la Tabla 2 se resume las subcuencas hidrográficas de la primera región de Chile, del código cuenca 016, correspondiente a la Costera Río camarones – Pampa el Tamarugal y Quebrada de Camiña.

Tabla 2

Subcuencas hidrográficas de Camarones y Pampa el Tamarugal

Nombre de la cuenca	Código cuenca	Código subcuenca	Código sub- subcuenca	Área Km²
Costera - Río camarones- Pampa Tamarugal		0160	01600	1006
Quebrada de Camiña	016	0161	01610	546
Q. Camiña baja entre cota 2000 y bajo Q. Tiviliche		0161	01611	2254

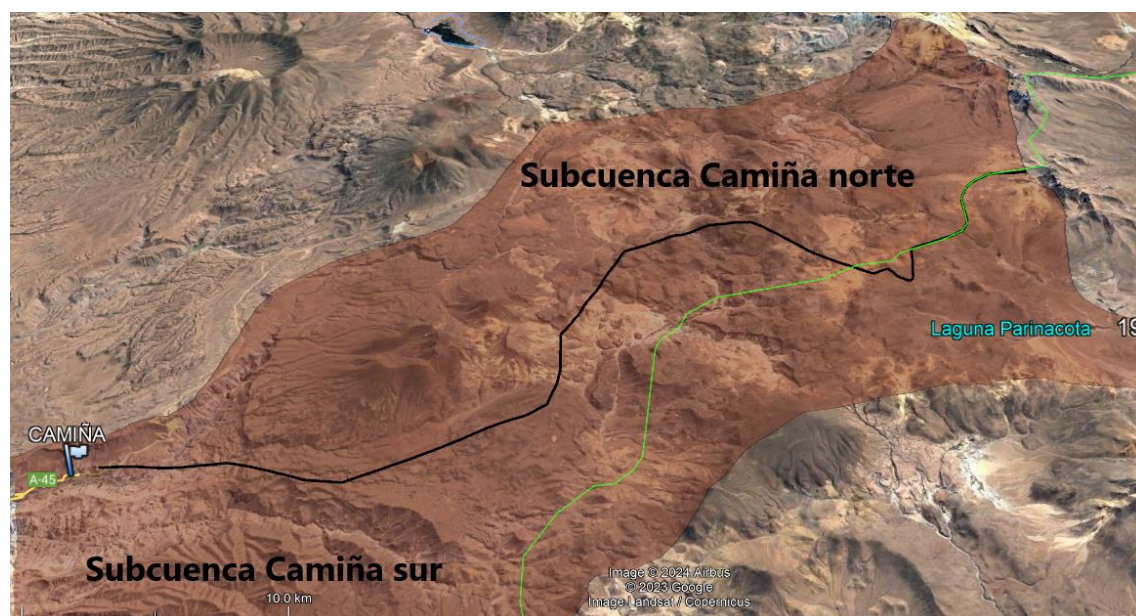
Nota. Adaptado de “DGA, D. de H. y unidad S.”, 2021, Inventario de Cuenca y lagos, dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/inventario_cuencas_lagos/Paginas/default.aspx

La Quebrada de Camiña es exorreica, la descarga se hace al océano pacífico en la zona aledaña a la población de Pisagua, (373478.54 m E, 7837339.63 m S 19 K) (DGA y Dirección estudios y planificación, 2015) “El comportamiento hidrogeológico de la Quebrada de Camiña corresponde al análisis de dos flancos uno norte y otro sur además del sistema propio de la quebrada y sus depósitos, el comportamiento de los tres depende

de factores estructurales y geomorfológicos. El primero es generado por la infiltración de agua del río Camiña en su curso superior, la recarga se produce dependiendo del nivel de este sobre las capas de mayor permeabilidad de la formación Lataguallla, como lo expresa Pinto et al., 2004.p.22), este primer flanco genera infiltración y descarga posterior en los manantiales aguas abajo. El segundo acuífero del flanco sur en Pacagua perteneciente a la formación Lataguallla se presume recargado por infiltración de aguas meteóricas, en épocas de mayor precipitación (Paicho Hidalgo et al., 2015, p.2) (**Figura 9**) y el último es resultados de los sedimentos fluviales en la sección hidráulica superficial de la quebrada” (Taucare, 2015.p.91).

Figura 9

Ubicación de las subcuencas de la Quebrada de Camiña norte y sur



Nota. Lugar de origen de la Quebrada de Camiña en el Cerro Tarcarive, adaptado de (Paicho Hidalgo et al., 2015.p.6).

2.2.2 Caracterización climática

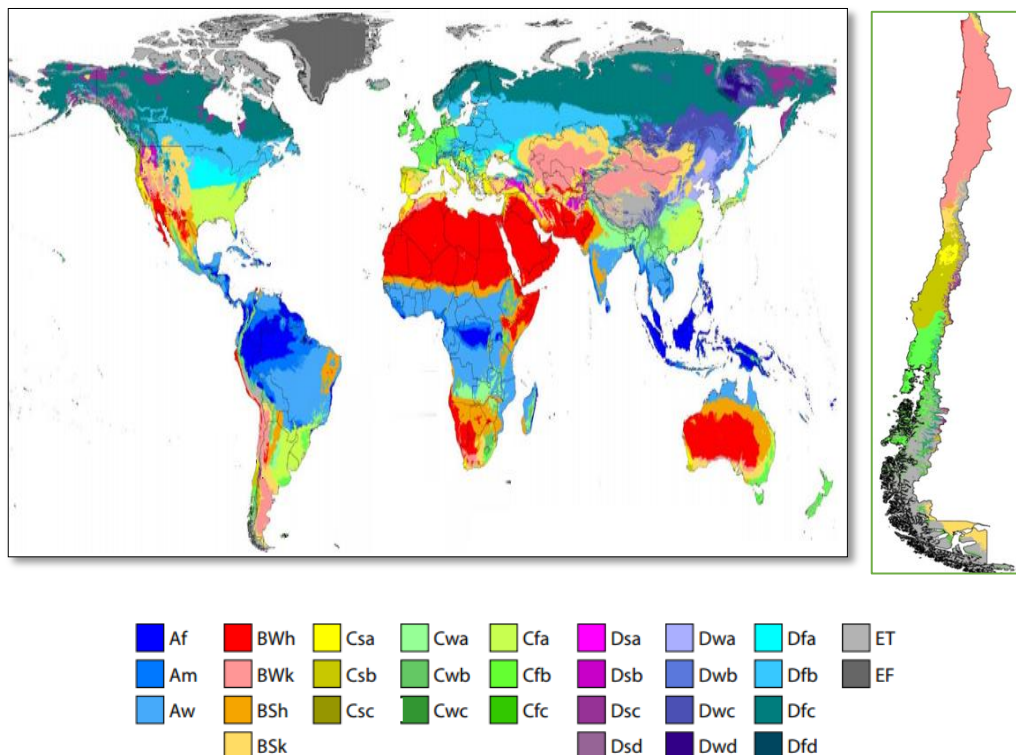
Para determinar valores cuantitativos, se define las zonas climáticas en función de la temperatura, clima, precipitación, entre otros: (Peña & Vilchis, 2018, p.2).

En función de la temperatura

Cuando la temperatura es inferior a 5 °C se considera clima frío, si varía entre 5 °C y 15 °C fresco, para un clima templado la temperatura oscila entre 15 °C y 25 °C, cuando los valores ascienden de los 25 °C se define como zonas cálidas.

Clasificación agroclimática de Köppen

Es una clasificación adoptada a nivel mundial que identifica los tipos de clima, relacionados con la pluviometría y la temperatura y para la cual depende de un índice K, el cual se define de la siguiente manera: Para un régimen pluviométrico uniforme se utiliza la relación $K = 2T + 14$, en época de verano se presenta un máximo y el valor independiente se duplica quedando la expresión $K = 2T + 28$, finalmente si el período se analiza en invierno el factor K se determina como el doble del valor de la temperatura T ($K = 2T$). Es importante considerar que la temperatura para el cálculo del coeficiente de Köppen es la media anual. En la **Figura 10** se presenta el mapa de clasificación de Köppen -Geiger de alta resolución (1 km) para 1991 a 2020 basados en proyecciones CMIP6 restringidas. (Beck et al., 2023).

Figura 10*Clasificación climática Köppen-Geiger*

Nota. El mapa está diseñado para los tipos de clima Tropical, macro térmico ($T > 18^{\circ}\text{C}$), Seco árido y semiárido ($T > 18^{\circ}\text{C}$), templado o mesotérmico (-0.3°C a 18°C), continental o microtérmico (-3°C). La paleta de colores que corresponde a la zona de estudio es la **Bwk** árido-templado-frío (T anual $< 18^{\circ}\text{C}$), precipitaciones entre 0% y 50% de 300mm

Índices de aridez

“Las precipitaciones como fuente hídrica que se registran en un lugar determinado en un período de un año, además de la magnitud de la temperatura como un indicador de la capacidad para evaporarla, son los parámetros que permiten definir el índice de aridez de un lugar” (Peña & Vilchis, 2018, p.2).

a. Índice de Lang P_f

La expresión matemática [1] que define el índice de Lang es el cociente entre la precipitación anual media y la temperatura anual:

$$P_f = \frac{\text{Precipitación media anual (mm)}}{\text{Temperatura media anual (}^{\circ}\text{C)}} = \frac{P}{T_m} \quad [1]$$

En la Tabla 3 se resumen los índices de Lang para seis zonas con ambientes característicos:

Tabla 3

Índice de Lang para varios tipos de ambiente

Valor de Pr	Zona
0 - 20	Desiertos
20 - 40	Árida
40 - 60	Húmedas de estepa y sabana
60 - 100	Húmedas de bosques claros
100 - 160	Húmedas de grandes bosques
➤ 160	Per húmedas con prados y tundras

Nota. Información de índices de Lang obtenida de: (Peña and Vilchis 2018, p.3).
Índice de Lang para varios tipos de ambientes.

b. Índice de Martonne I_a

“El índice de Martonne se define considerando la precipitación media anual, o también la precipitación media mensual” (Peña & Vilchis, 2018, p.3).

Con datos de precipitación y temperatura anual se determina mediante la ecuación [2]:

$$I_a = \frac{\text{Precipitación media anual (mm)}}{\text{Tempertaura media anual (°C)} + 10} = \frac{P}{(T_m + 10)} \quad [2]$$

“El índice de Martonne es más apropiado para climas fríos, para evitar los valores negativos al valor de temperatura media anual se suman 10°C, con el objetivo de evitar los valores negativos. En el caso de zonas húmedas y secas de Köppen” (Alvares et al. 2013, pp.716-720). Se define de acuerdo con las zonas resumidas en la Tabla 4:

Tabla 4*Índice de Martonne para varios tipos de ambiente*

Valor de P_f	Zona
0 - 5	Desiertos
5 - 10	Árida
10 - 20	Húmedas de estepa y sabana
20 - 30	Húmedas de bosques claros
30 - 60	Húmedas de grandes bosques
➤ 60	Per húmedas con prados y tundras

Nota. Información obtenida de índice de Martonne: (Peña and Vilchis 2018, p.3).

c. Índice IDHA y IDDH

El índice de disponibilidad hidro-ambiental IDHA se obtiene a partir del ajuste a la ecuación de Martonne con el valor de Ke , para que sea sensible a valores bajos de precipitación (Ecuación [3]), como es el caso de la cuenca de la quebrada de Camiña. En suelos arenosos con baja capacidad de retención de humedad Ke entre 0.4 y 0.5 es apropiado para resaltar la mayor sensibilidad los periodos de sequía, para suelos arcillosos o limosos con mayor capacidad de almacenamiento de agua entre 0.2 y 0.3, debido a que estos suelos menos propensos a mostrar déficit hídrico extremo, en suelos con alto contenido de materia orgánica, que tienden a mantener mejor a la humedad oscilan entre 0,25 y 0,35 y para suelos especiales y salinos se pueden requerir a ajustes adicionales para reflejar su comportamiento hídrico único. (Mercado et al. 2010, pp.54-62).

$$IDHA = ke \cdot \frac{\text{Precipitación media anual (mm)}}{\text{Tempertura media anual (°C)} + 10} = ke \cdot \frac{P}{(T_m + 10)} \quad [3]$$

2.2.3 Fundamentos de la teledetección espacial

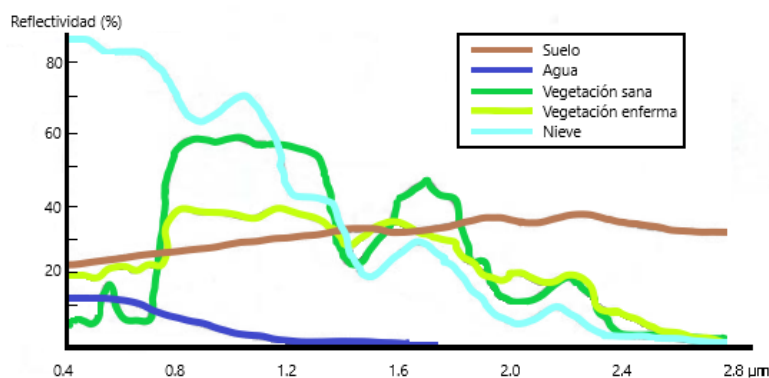
La data recopilada de los satélites se relaciona directamente con el rango de 23 frecuencias (Hz), longitudes de onda (μm) y la energía (J) del espectro electromagnético solar que alcanza la superficie terrestre con una intensidad y dirección específicas. La utilización de los principios de Wien sobre la temperatura solar superficial y la ley de

Stefan-Boltzmann sobre la emisividad espectral de un cuerpo negro (Freedman n.d., pp.1334-1339) son fundamentales para elegir la banda más adecuada para identificar distintos tipos de coberturas terrestres e identificar los procesos de degradación de los suelos entre otros.

En la **Figura 11** “se presenta la curva de reflectividad espectral de las principales cubiertas terrestres, desde la nieve con la reflectividad más alta, debido a que refleja las longitudes de ondas mayores, el agua que en estado en calma es especular, el suelo que, para varios rangos de longitudes de onda, tiende a tener una reflectancia entre 25 y el 40 %. La vegetación sana muestra un máximo visible para longitudes de onda alrededor de $0.55\ \mu\text{m}$, mientras que para el infrarrojo cercano muestra mayor reflectividad. Los valores de longitud de onda entre $1.6\ \mu\text{m}$ a $2.2\ \mu\text{m}$ presentan un pico asociado al estrés hídrico de la hoja con la capacidad de absorción” (Chuvieco, 1996, pp.55-73). Con respecto al contenido de humedad está asociado con la alta absorción del agua, incluye de forma inversa a la reflectividad visible entre las bandas $1.45\ \mu\text{m}$ a $1.92\ \mu\text{m}$. En el caso de los suelos desérticos arenosos presentan mayor reflectividad y por consiguiente menor contenido de humedad. “Para detectar masas de agua en la superficie se utiliza ondas entre el color verde y azul, así mismo se estima que la profundidad de los cuerpos de agua puede determinarse hasta las 6.40m en la banda azul y 3 en la banda verde y 2,1 en la banda roja” (Chuvieco 1996, p.58)

Figura 11

Signaturas espectrales típicas de distintas cubiertas



Nota. Curvas construidas a partir de medidas obtenidas en laboratorio de la reflectividad espectral para diferentes coberturas de suelo. (Chuvieco 1996, p.58).

Los sensores usados en las investigaciones determinan la radiancia final detectada y que está condicionada a la reflectividad de las hojas, estado fenológico, forma contenida de humedad, características generales de la planta, como altura, grado de cobertura del suelo, entre otras, además de las condiciones geográficas como pendiente, orientación, asociación con otras especies, geometría de cultivo, otros.

2.2.4 Actividad solar y su incidencia en el clima:

En un contexto global, según lo que expresa (Torregosa, 2017). “Uno de los parámetros en el aumento de la temperatura en la tierra está dado por el comportamiento del ciclo solar, que puede afectar el campo geomagnético o el clima global, sin embargo, las investigaciones en períodos inferiores a 11 años no pueden evidenciar esta situación” (pp.17-22). Así mismo un estudio del Instituto para la Investigación del Impacto Climático de Potsdam sugiere que incluso un "Gran Mínimo" solar, como el experimentado durante la "Pequeña Edad de Hielo", solo podría reducir las temperaturas globales en aproximadamente 0.3 °C para el año 2100, lo cual es insignificante comparado con el aumento proyectado por gases de efecto invernadero

En Chile, los efectos del cambio climático son palpables, con cambios en patrones de precipitaciones y temperaturas. La actividad solar ha sido considerada como un factor que podría influir en estos cambios climáticos locales. Sin embargo, los estudios indican que el calentamiento observado es principalmente atribuible a emisiones humanas de gases de efecto invernadero y no a variaciones significativas en la actividad solar. Esto se alinea con las proyecciones del IPCC que advierten sobre un aumento continuo de las temperaturas medias en el país y de la conclusión presentada por Instituto de California de tecnología (JPL) de la NASA.

En la Región de Tarapacá, los efectos del cambio climático se manifiestan a través de sequías más prolongadas y eventos climáticos extremos (FAO). La actividad solar, aunque relevante para entender patrones climáticos históricos, no parece ser un factor determinante en las condiciones actuales. Investigaciones sugieren que los cambios recientes en el clima local están más relacionados con la variabilidad climática natural y las influencias antropogénicas (Mendoza, et al., 2006, pp. 32-38).

2.3 Definición de términos

Cambio climático: Con el objetivo de contar con una definición universal las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), en el artículo primero lo asocia a la modificación del clima ya sea por causa antrópica o natural, que altera la atmósfera global (Font, 2019, pp.2-4) y que genera aumento de pobreza, escases alimentaria y que afecta las actividades que desarrolla el ser humano.(Zamora, 2015, pp.1-4).

Cuenca exorreica y endorreica: La primera se define cuando el flujo de agua se da de un caudal mayor o hacia una reserva como un lago, o al mar y al endorreica a diferencia de la anterior no tiene salida hacia el mar o lago alguno (Pastor, 2013, pp.27-41).

Escasez hídrica: reducción de caudal, tanto en calidad como en cantidad de recurso hídrico dulce, que incide de forma negativa o en detrimento del medio ambiente y todos los elementos que interactúan con el mismo. (MOP et al., 2022, p.23).

Suelos aluviales: Asociados a las corrientes superficiales de agua permanentes o intermitentes que fluyen en una dirección, profundos, que se hacen presentes en la zona baja y fértil de un río, se componen de materiales trasegados por la corriente de agua sobre la superficie (Jaramillo et al., 2008, pp.1707-1715).

2.4 Marco legal

Constitución política de Chile (B. del C. N. BCN, 2023).

Decreto 100: De la constitución política de la república de chile (B. N. del C. BCN, 2005).

Ley 21435 (6-04-22) del Ministerio de Obras Publicas: reforma el Código de Aguas, (BCN & Biblioteca del Congreso Nacional, 2022).

Decreto de escasez pública 2022 (MOP 2022)

DGA artículos 314 y 315 del Código de Aguas.(DGA & Circular 1, 2020).

Nuevas reformas climáticas 1991-2020 (División de hidrología), (MOP 2020)

Investigación correspondiente a la gestión de ciclos de sequía y escasez de la DGA (DGA, 2021).

2.5 Marco Filosófico

La crisis actual del agua es el resultado de la crisis de los conceptos filosóficos básicos (Contreras, 2014, p.658) , donde el lenguaje complejo para muchos la dejan fuera de lo problemas cotidianos del ser humano. El problema de gestión del recurso hídrico en pleno siglo XXI está asociado a una crisis cultural,” que ha evolucionado a través de la historia, según su propiedad realidad y contexto socioeconómico”(Quinteros et al., 2019, pp.46-57); hay que considerar que la crisis es mundial lo que ha motivado acuerdos internacionales, como, el de las Naciones Unidas (1977) entre uno de los desafíos globales está el “Agua como epicentro del desarrollo sostenible y fundamental para el desarrollo económico”, además del análisis realizado en la Conferencia Internacional Del Agua y Medio Ambiente y Cumbre de la Tierra en 1992. Es así como se propone enfocar el estudio en integrar a la cultura regional Aymara de ancestros Incaicos orientada por un pensamiento en la ecosofía andina (Estermann, 2013, pp.4). La aplicación de la corriente filosófica existencialista está orientada desde la metafísica donde la realidad de la crisis hídrica (MOP et al. 2022) se fundamenta en el estudio del “entorno desértico el cómo se estructura tendiendo como base la población existente y evolución generada en el espacio-tiempo de los acontecimientos medio ambientales, culturales, económicos y político” (SNU, 2021, p.5),. Utilizando la epistemología como ciencia para obtener el conocimiento, que define un método, que implica conocer la realidad local (Bunge, 2014, pp.5-7), el contexto cultural, social, económico, histórico y científico se busca investigar las condiciones hídricas de la Cuenca de la Quebrada de Camiña para tener la información y ser un aporte a la mejora ambiental del lugar.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y diseño de la investigación

Definida la Cuenca de la Quebrada de Camiña como zona de estudio, se hace un análisis cualitativo de la realidad hídrica de las corrientes superficiales y de la demografía que interactúa directamente con ella, su desarrollo, económico, cultural y social, lo que permite evidenciar que se ha presentado un proceso de pérdida del recurso en el tiempo, y de como algunos productos de fauna y flora base de la gastronomía y de los ritos culturales ancestrales han disminuido, casi al estado de que son leyenda contada por los ancestros de las comunidades Aymara. Según Daza y Figueroa, (2014) “los sistemas adversos sobre los asentamientos humanos por lo que el trabajo directo con la comunidad con talleres y encuestas es la metodología de recopilar esta información” (p.3); un análisis cuantitativo de variables como desertificación, meteorología, cambio climático, adaptabilidad de la comunidad, evidencia de forma científica y predictiva de la situación de la cuenca de la Quebrada de Camiña, a partir de dos metodologías analizadas en los periodos 1977 y 1985 a 2023, primero obtenido de la formación cartográfica y el segundo de la investigación satelital que adicional evidencia la perdida de recurso superficial, y una segunda fase de estudio a partir de la información de datos meteorológicos, adicional a los datos históricos de pluviosidad y temperatura, los cuales permiten determinar el índice de aridez.

Mediante el análisis estadístico multivariable definir correlación entre las variables climatologías, meteorológicas y adaptabilidad de la comunidad y determinar un índice de déficit hidro ambiental, que sirve para identificar las zonas de mayor desertificación, que conlleva pérdida de escorrentía superficial y de biodiversidad.

La identificación de la limnología de la zona, con la flora y fauna a lo largo del tiempo y como se adaptado y diversificado ante los cambios del clima es una actividad que permite predecir las condiciones de variabilidad de recursos.

El resultado esperado permite plantear que medidas se deben tomar para mejorar las condiciones ambientales de la zona desde la cabecera hasta su llegada al mar considerando que es una cuenca exorreica.

3.2 Población y muestra de estudio

La metodología para el análisis de período 1977 se parte de la información obtenida de las planchas del Instituto geográfico militar de Chile que abarcan la zona correspondiente a la cuenca de la Quebrada de Camiña desde el nacimiento hasta la zona que desemboca en el mar en Pisagua, además de la investigación bibliográfica. Es importante mencionar que, aunque los planos se editaron en 1977, el contenido se basó en un proceso fotogramétrico del año 1950.

Las planchas que integran la cuenca de la Quebrada de Camiña desde su nacimiento hasta la desembocadura en Pisagua son respectivamente 1900-6900, 1915-6915, 1915-6930, 1915-6945, 1915-7000 y 1930-7000 (siendo 1900-6900 la ubicación geográfica que abarca desde 19°00' hasta 69°00').

En el período 1985 y 2010, para identificar el cuerpo de agua de la cuenca de la Quebrada de Camiña, además para determinar la biomasa fotosintéticamente activa NDVI se utiliza el Landsat 5-TM con resolución espacial a 30m, con el método de índice normalizado de agua NDWI, el cual permite identificar las características de aguas superficiales o abiertas con la ventaja del registro de las imágenes satélites entregadas. Para ello el NDWI aprovecha la reflexión de la radiación infrarroja cercana a la longitud de onda de luz visible verde, así elimina la presencia de características del suelo y vegetación terrestre. (USGG Science for a Changing world, 2013, Landsat 5). Para el índice NDVI se aprovecha el índice reflejado del espectro visible de color rojo cuya longitud de onda oscila entre 0,63 a 0,69 μm ., que permiten detectar contenido de biomasa (Escandón et al., 1999).

El análisis de los datos para el período 2015 a 2023 permite evidenciar que cuerpos de agua superficiales de la cuenca de la Quebrada de Camiña se encuentran, se trabaja con las imágenes suministradas por el satélite europeo Copernicus Sentinel 2, donde se relacionan los 13 canales espectrales en una franja de 290 km y resolución

espacial de 10 m, la información obtenida de dos satélites en órbita polar de acuerdo a la SSO (órbita sincrónica solar), 180° desfasados entre sí (European Space Agency, Copernicus Sentinel 2), específicamente los espectros de la interacción de la B3 y B11. Y para obtener el índice NDVI se utiliza el Landsat 8 y Copernicus Sentinel 2, el primero con la información obtenida con la interacción de las bandas B5 y B4 y para el Sentinel B8 y B5.

3.3 Acciones y actividades para la ejecución del proyecto

Para definir los aspectos relevantes en el ámbito social, económico y cultural de las comunidades que viven en la cuenca de la Quebrada de Camiña, se plantea trabajar con la comunidad mediante una encuesta analítica, en persona, de respuesta cerrada, transversal, retrospectiva, que permita” evidenciar la situación actual y los cambios que han vivido en el tiempo ante los eventos trascendentales” (Paicho et al., 2015, p.8) como ha sido el estrés hídrico, pandemia COVID, adaptación del sistema socioeconómico, para la elaboración del cuestionario se busca el apoyo del Departamento de ciencias sociales de la Universidad de Tarapacá.

Con respecto a los planes y políticas con respecto al trabajo de la comunidad Aymara que habita la cuenca, es importante tener registro demográfico y de actividades económicas apoyadas por el estado se coordinará con la corporación Nacional de Desarrollo Indígena CONADI, reuniones de consulta con el Departamento de historia de la Universidad de Tarapacá se investigará el contexto antropológico y filosófico de la cultura Aymara. Se establece un mínimo de dos puntos (Tabla 5) (Figura 12) donde se registran datos meteorológicos como % humedad, temperatura de agua y aire, entre otros, para determinar indicadores de aridez del proceso de desertificación ante el cambio climático, se utilizará la metodología de Martonne, Lang y Köppen.

Para identificar la hidrología superficial y vegetación se realizará un estudio basado en la información satelital a través de Google Earth Engine Landsat 5, 8 y Copernicus Sentinel -2

Tabla 5*Ubicación de los puntos de muestreo meteorológico*

Estación	Coordenadas Este	Coordenada Sur
Camiña	455103.00 m E	7864544.00 m S
3 km arriba de Tarcarive	474328.00 m E	7886124.00 m S
Cruz de Quimpasa	435244.06 m E	7853522.34 m S

Nota. Coordenadas de los puntos de muestreo meteorológicos, *obtenidas de Google Earth***Figura 12***Puntos de registro de datos meteorológicos**Nota.* Mapa satelital en Google Earth Engine, donde se registran las estaciones meteorológicas sobre la Quebrada de Camiña.

Un análisis estadístico multivariable, que incluye el porcentaje de humedad, la temperatura del agua y del aire en las zonas de muestreo, permite evaluar la influencia en los procesos de desertificación en la cuenca de la Quebrada de Camiña. Para llevar a cabo este estudio, se utilizó el software Stargraphics versión libre. Este análisis se centrará en identificar y caracterizar los factores claves involucrados en los procesos de desertificación de la cuenca, Evaluar la relación entre estos factores y los cambios en la fauna y la flora, además de establecer predicciones y recomendaciones para la gestión de recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad en el área (SIN, 2022, P.7).

Obtener indicadores a partir del índice de aridez de Martonne, Lang, agroclimático de Köppen, adaptabilidad de la comunidad, información satelital de cantidad de recurso hídrico superficial y de vegetación.

Una vez establecida y registrada la información cualitativa y cuantitativa de las condiciones de la cuenca de la quebrada de Camiña, establecer algunas condiciones del ecosistema (Pinto et al., 2004, p.6) basada en revisión bibliográfica, además de hacer un diagnóstico de las condiciones de fauna y flora (Gatica et al. 2015, pp.5-11), se presenta la propuesta de mejora de las condiciones ambientales de la cuenca.

Para socializar la información obtenida sobre la propuesta de mejora ambiental, se plantea realizar talleres con la comunidad, coordinados con el departamento de sociales de la Universidad de Tarapacá.

3.4 Materiales e instrumentos

La obtención de datos se realizará a través de las siguientes fuentes de información.

Estaciones pluviométrica propietario, DGA

Estación pluviométrica propietario CIDERH, Universidad Arturo Prat

Computador

3.5 Tratamiento de datos

Datos históricos meteorológicos obtenidos de la DGA, Dirección General de Aguas de Chile, la cual cuenta con dos estaciones, la de Tarcarive y la de Camiña, El CIDERH con el observatorio del agua vinculado a la Universidad Arturo Prat, también registra en sus proyectos algunos datos meteorológicos y se plantean posicionar dos estaciones meteorológicas una de la universidad Arturo Prat y otra de la Universidad de Tarapacá.

Así mismo, la información obtenida y registrada de las imágenes satélites, como índice de aridez, índice de vegetación, será registrada gráficamente para el período analizado de tal forma que permitan evidenciar la situación hídrica de la zona de estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

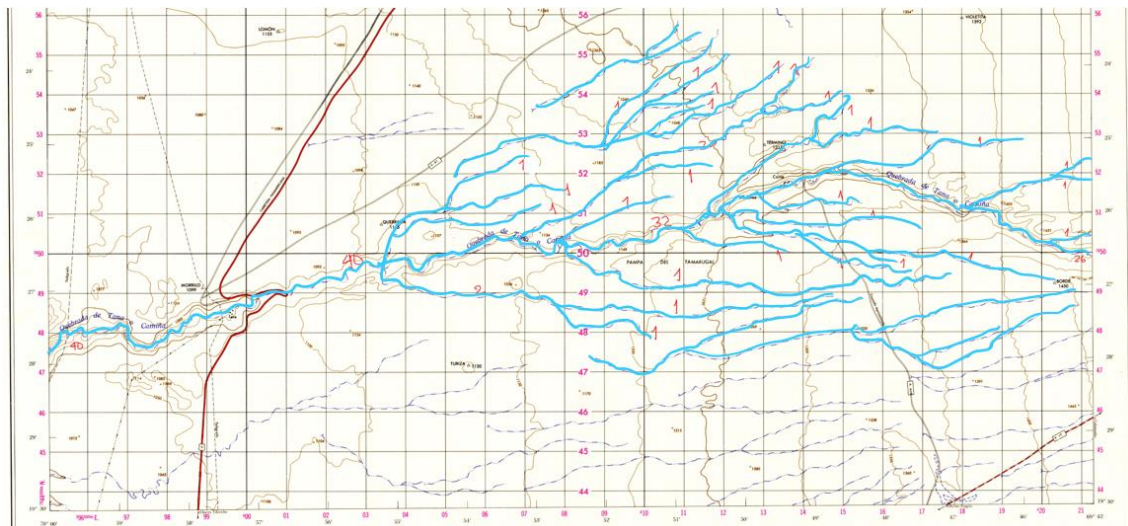
4.1 Determinación de la situación hídrica basada en la información hidrográfica

4.1.1 Año 1977: Información cartográfica

El periodo correspondiente a 1977, se dispone de mapas que abarcan la totalidad de la cuenca de la Quebrada de Camiña, desde su origen hasta su desembocadura en Pisagua. Estos mapas se identifican respectivamente con las coordenadas en los mapas con referencia 1900-6900, 1915-6915, 1915-6930, 1915-6945 (Figura 13), 1915-7000 y 1930-7000 (siendo 1900-6900 la ubicación geográfica que abarca desde 19°00' hasta 69°00').

Figura 13

Grado hidrológico de la cuenca

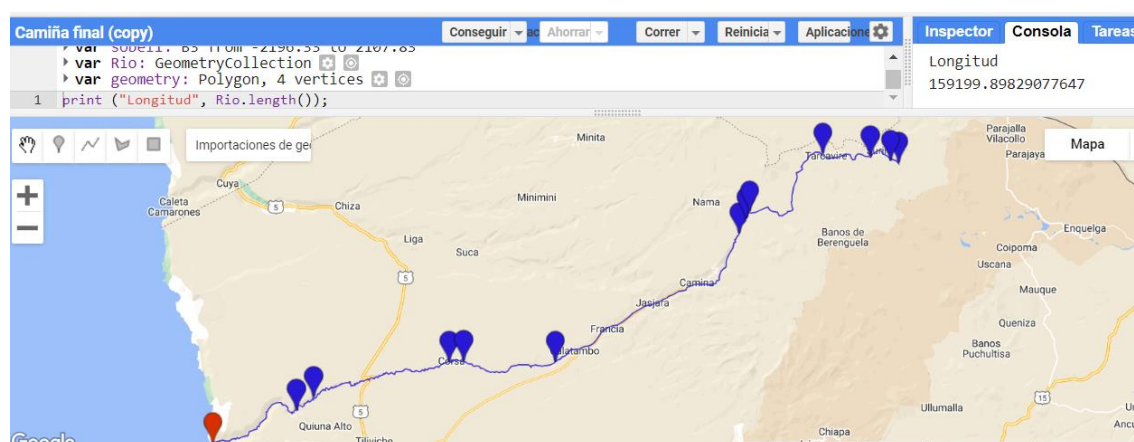


Nota. Mapa cartográfico número 1965-6945 donde se visualiza en azul las líneas de corrientes superficiales y en número de color rojo sobre las líneas el grado de la cuenca (40), construida sobre la información que existía según la investigación del profesor Hans y el Instituto Geográfico Militar de Chile, 1977. Obtenida en línea en: <https://www.igm.cl/tiendaonline/>

Según la información construida sobre el mapa satelital de GEE en la [Figura 14](#). Se obtiene la longitud total de recorrido de la quebrada de 159,20 km. Desde el nacimiento en el cerro Tarcavire, hasta la desembocadura en Pisagua antiguo.

Figura 14

Longitud de la Quebrada de Camiña desde la imagen satelital de Google Earth Engine



Nota. La línea azul representa la Quebrada de Camiña y los globos azules los poblados a lo largo de la misma. Imagen e información obtenida de Google Earth Engine.

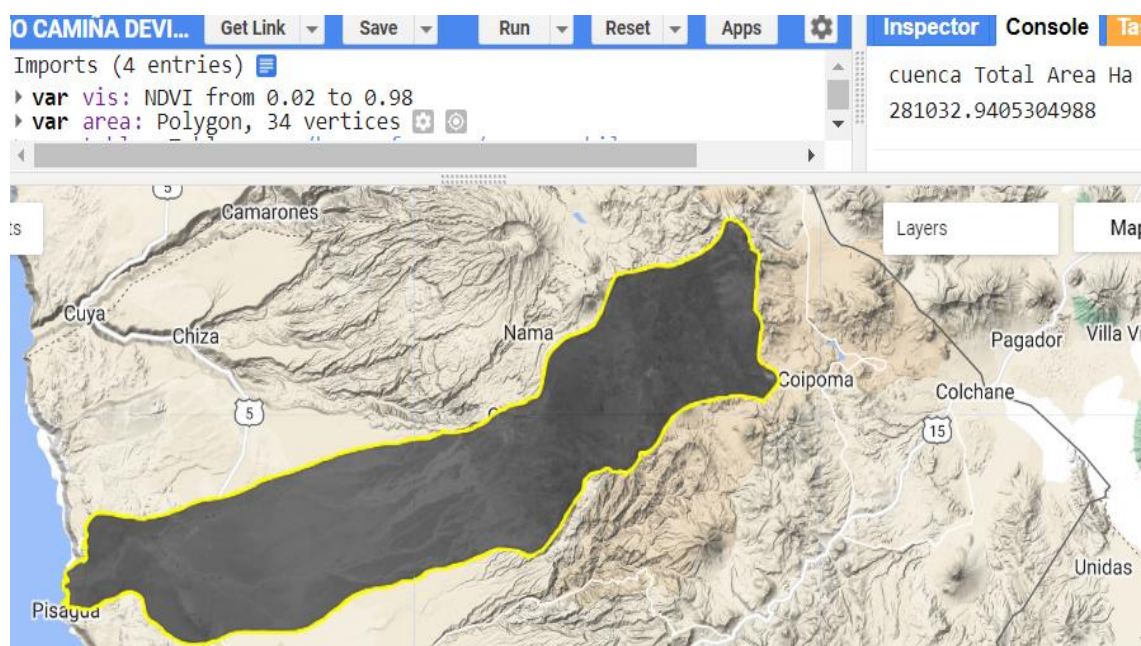
4.1.2 Período 1985 a 2010: Información satelital Landsat 5

Una visualización satelital a través de la herramienta Google Earth Engine (GEE), como se observa en la [Figura 15](#), confirma la existencia de la cuenca de la Quebrada de Camiña con una extensión de 281.032, 94 Ha, según la información anexada del CIDERH.

Se configuró el terreno que abarca la cuenca de acuerdo con la información obtenida en la plataforma del observatorio del agua del CIDERH, el cual se incluyó en el GEE para definir el tamaño, posteriormente con las imágenes del Landsat 5 -T1-L2 para la banda 4 infrarrojo cercano (0,76-0,90) μm a 30m y para la banda 5 infrarrojo cercano 1.55-1.75) μm a 30m se identifica la masa de agua y la zonas de elevada saturación de humedad NDWI y para las para la banda 3 visible (0,63-0,69) μm a 30m y para la banda 5 infrarrojo cercano 1.55-1.75) μm a 30m se obtiene el indicador de biomasa fotosintéticamente activa NDVI que se expresan en términos del área y de porcentaje respecto al área total de la cuenca.

Figura 15

Cuenca de Camiña desde la imagen satelital de Google Earth Engine GEE



Nota. Imagen de la cuenca delineada en color amarillo y resaltada en negro el área total en Ha. Elaboración propia.

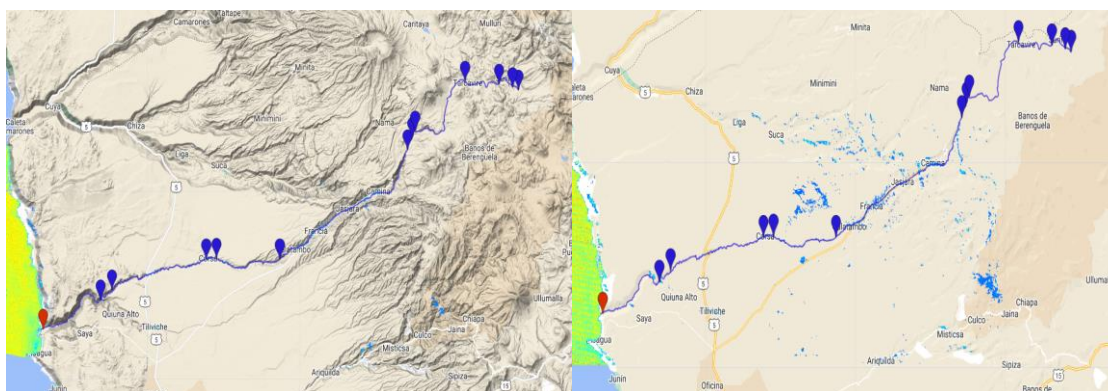
A partir del año 1985 se observa que hay una variación significativa (Figura 16) respecto a la información del año 1977 en cuanto a la cantidad de corrientes superficiales que alimentaban la quebrada de Camiña que se secaron, desaparecieron, lo que significa que en esta época ocurrieron eventos importantes y radicales en la naturaleza, es así como Stephen Schneider, matemático que en 1997 publicó en el libro *The Genesis Strategy: climate and global Survival* la modelación de parámetros, con una proyección muy desalentadora, mencionando por primera vez el cambio climático causado por la actividad humana y cómo predictivamente se evidenciaba el aumento de la temperatura de la tierra y su incidencia en el clima, con detractores y seguidores fue un hito que marcó un llamado al cuidado del medio ambiente, situación que ya era evidente en los 80's con las hambrunas en África, como lo registra la ONG *Feed my Starving Children*.

En el análisis, se emplea el sensor Landsat 5-TM junto con el método del Índice Normalizado de Agua (NDWI) para identificar el cuerpo de agua de la cuenca de la Quebrada de Camiña. Este método utiliza la reflexión de la radiación infrarroja cercana en la longitud de onda de luz visible verde, eliminando así las características del suelo y

la vegetación terrestre para destacar las áreas de aguas abiertas en imágenes digitales de detección remota. Mediante el análisis del Índice de Vegetación NDWI, que detecta masas de agua a través de las bandas B4 (rojo) y B5 (infrarrojo cercano), se generan imágenes satelitales.

Figura 16

Imagen satelital de la cantidad de agua superficial para el año 1985 y 2000-Landsat 5



Nota. En la imagen izquierda se observan en color azul las zonas con agua superficial para el año 1985 y en la derecha para el año 2000, los globos azules marcan los puntos de poblaciones, el globo rojo la llegada al mar. Obtenida de GEE- landsat 5.

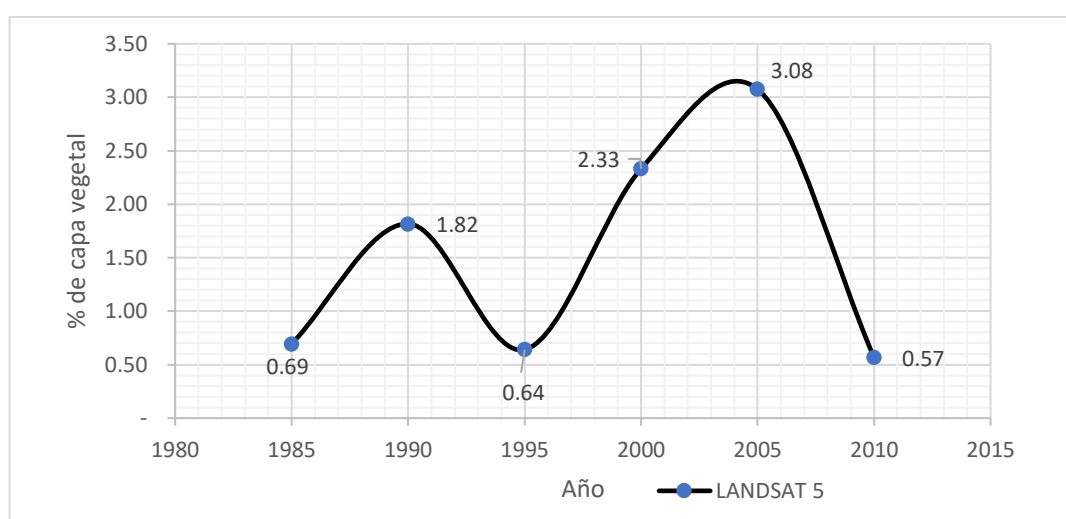
La pérdida del recurso hídrico superficial durante el periodo 1985 a 2000, en comparación con el análisis del periodo 1977 en la cuenca de la Quebrada de Camiña, es significativa. Considerando que la longitud de las vertientes hacia la quebrada era de 272 km, lo cual para el año 1985 no hay presencia de corrientes superficiales de la cuenca que llegaban a la quebrada, mientras que para el año 2000 se observa que la masa de agua aumentó respecto al año 1985 pero que en relación con el año 1977 se redujo 62,20 km. Por lo que se estima una disminución del 77% en la presencia de agua superficial. Esta disminución sustenta las observaciones de la Organización Germanwatch (2018) respecto al Índice de Riesgo Climático Global (IRC). Dicho índice se basa en el análisis de uno de los conjuntos de datos más confiables disponibles sobre los impactos de eventos climáticos extremos y los datos socioeconómicos asociados en el informe del año 2018 para el período 1997-2016.

Aunque se realizó un filtro de nubes en el GEE, la masa de agua observada, en algunas zonas puede ser evidencia de humedad por lo que es preciso determinar el NDVI Indicador de biomasa fotosintéticamente activa, para tener otro indicador que defina la

situación de la cuenca de la quebrada en el tiempo. Es así como en la **Figura 17** construida con datos obtenidos del Landsat 5 se registra el % de suelo vegetal respecto al 100% del área de la cuenca registrados desde 1985 hasta el 2010, con valores que oscilan entre 0,69% y con valor máximo para 2005 de 3,08% sin embargo, termina el período con disminución de biomasa del 0,57%.

Figura 17

Indicador NDVI para el período 1985 a 2010



Nota: Información obtenida de GEE satélite landsat5, los números representan el porcentaje de suelo vegetal respecto al área total de la cuenca. Elaboración propia.

La variación de la cobertura vegetal, está asociada a la presencia de agua, es así como la única agua superficial que existe a partir de 1985 en esta zona es la de la quebrada, así mismo en el decenio de 2001 a 2010 surgieron importantes eventos climáticos extremos, según la investigación realizada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el 2013, que indican como hay eventos cíclicos asociados al movimiento de la tierra en el sistema solar, a los fenómenos solares y la variación de radicación en la tierra, entre otros como también factores de orden antropogénico (OMM 2010).

Sequías en Chile a lo Largo de las Décadas: Una Perspectiva Climática

Chile ha experimentado diversas etapas de sequías a lo largo de su historia, siendo la de 1968 considerada como la más severa, abarcando el periodo de 1967 a 1969.

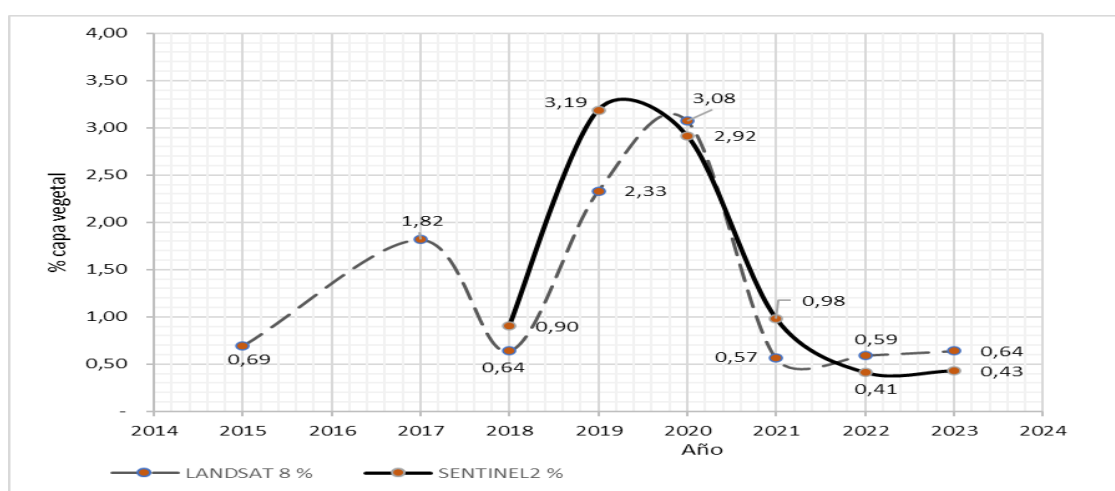
Además, se destaca la sequía del 98, que afectó los años 1994, 1995, 1996 y 1998. La mega sequía del 2010 se distingue por sus impactantes reducciones en la precipitación anual, llegando incluso hasta un 80%. Este fenómeno se atribuye a la coincidencia de la fase cálida de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y el Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). (Nuñez and Verbist, 2010, p.9).

4.1.3 Período 2015 a 2023: Información satelital Landsat 8

El análisis para los últimos 8 años se registra en la [Figura 18](#) construida con la información de las imágenes del Landsat 8 y con una mayor precisión con el satélite europeo Copernicus Sentinel-2, comparando ambos resultados los índices de NDVI tienen la misma tendencia.

Figura 18

Indicador NDVI para el período 2015 a 2023



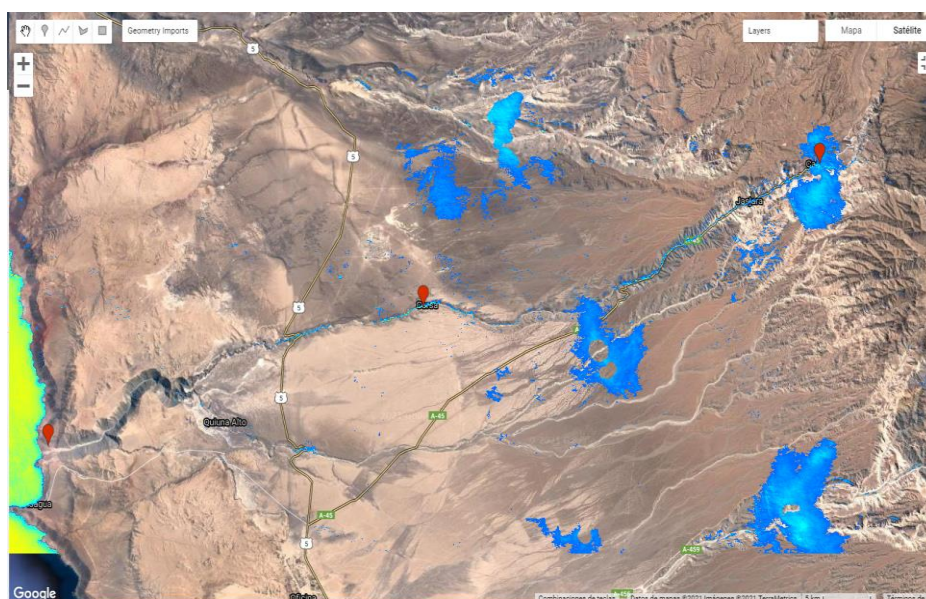
Nota. Información obtenida de GEE satélite Landsat 8 con línea trazo y Sentinel 2 con línea continua, los números representan el porcentaje de suelo vegetal respecto al área total de la cuenca. Elaboración propia.

Según fuentes como el Centro de Información Ambiental (NOAA) en 2020, así como los científicos de Copérnico (Servicio de Cambio Climático Europeo) y la NASA, se ha corroborado que los años 2020 y 2016 se han destacado como los más cálidos a nivel mundial. Estas observaciones refuerzan la preocupación por los patrones climáticos cambiantes y su impacto a nivel global. El aumento de la temperatura ha sido un factor relevante en la dinámica de los vientos, según la DGAC Chile en el boletín de mayo de

2019 la zona de la costa norte chilena la temperatura del mar había ascendido a $+0,82^{\circ}\text{C}$, lo que incrementa la dinámica de los vientos, generando precipitaciones en la alta cordillera, sin embargo, para la misma fecha, pero en el 2020, se presentó una sequía en la alta cordillera asociada al déficit de lluvias y a la probabilidad de condiciones tipo de “la Niña hacia fines del 2020 en el pacífico Ecuatorial” (DGAC, 2020, p.11), esta situación se justifica porque aumentó la vegetación a 3.19% para el 2019, pero que empezó a disminuir hasta el 2023 en un porcentaje de biomasa fotosintéticamente activa de 0.43%. De forma complementaria el análisis de la presencia de cuerpos de agua superficiales en la cuenca de la Quebrada de Camiña durante el periodo 2021, se utilizaron las imágenes proporcionadas por el satélite europeo Copernicus Sentinel-2. Se seleccionaron las bandas B8 y BN 11 para este análisis, ya que su combinación facilita la identificación precisa de los cuerpos de agua. Esto se logró mediante la aplicación del índice NDWI, junto con filtros específicos para nubes y bordes, siguiendo la metodología propuesta por Mutanga & Kumar (2019, pp.12-16). El resultado de este proceso se presenta de manera gráfica en la **Figura 19**.

Figura 19

Registro de agua superficial del año 2000 con Sentinel 2



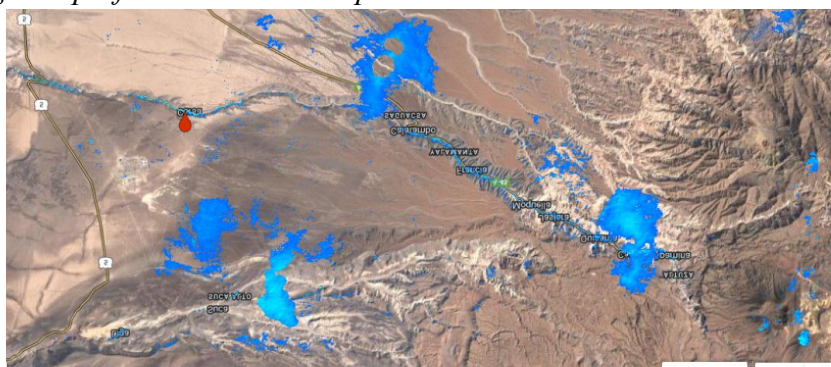
Nota. Adaptada de Google Earth Engine Copernicus Sentinel -2. Elaboración propia

Análisis del Periodo 2021: Cambios en la Humedad Superficial y Fenómeno de La Niña

La **Figura 20** revela un notable aumento en la humedad superficial en comparación con el análisis del año 2000. En particular, se observan lluvias en verano en la zona central del país, un fenómeno inusual que se atribuye a la presencia del fenómeno de La Niña, caracterizado por un enfriamiento anormal de las aguas del Pacífico. En este caso, los vientos alisios, que soplan entre los trópicos, se intensifican y, al concentrarse en la región ecuatorial del Pacífico tropical, desplazan las aguas superficiales más cálidas hacia Australia e Indonesia. Esto resulta en un aumento de temperatura y precipitaciones en esa región, afectando a la zona costera de Chile, donde emergen aguas más frías. Como consecuencia, se experimentan temperaturas más frescas en el sur de Perú y el norte de Chile, acompañadas de escasas precipitaciones y sequías (Pino y Chávarri, 2022, p.35). En resumen, las repercusiones del fenómeno de La Niña se traducen en veranos menos calurosos, lluvias altiplánicas y la pérdida de tierras fértiles por desertificación. Por otro lado, en la zona norte, especialmente en altitudes cercanas a los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), se genera una masa de aire inestable durante el verano. Este fenómeno, propiciado por la altura, induce nubosidad que resulta en precipitaciones casi constantes durante la temporada estival. A mayores altitudes, como los 3500 msnm, las precipitaciones pueden originarse en las tardes de verano debido a procesos convectivos derivados del ascenso de masas de aire cargadas de humedad desde la ladera oriental de los Andes lo que puede dar lugar a tormentas aisladas (Garreaud y Rutllant 1997, pp.19-20).

Figura 20

Registro agua superficial año 2021 Copernicus con GEE



Nota. Adaptada de Google Earth Engine Copernicus Sentinel -2. Elaboración propia

Para determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la cuenca de Camiña, se utilizaron las bandas B4 (roja) y B5 (infrarrojo cercano) del satélite Landsat 8. El NDVI se calcula mediante la ecuación [4]:

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \quad [4]$$

Donde B5 corresponde a la banda del infrarrojo cercano y B4 a la banda roja del espectro visible.

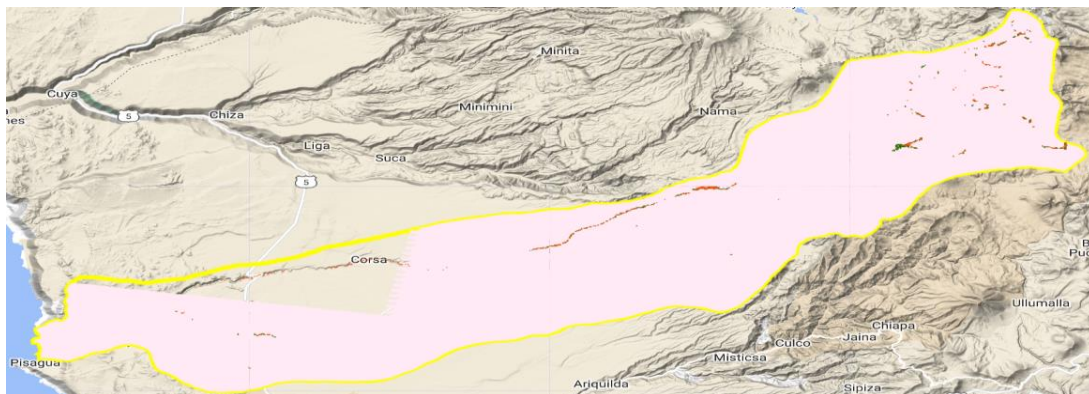
Los valores resultantes del NDVI varían entre -1 y 1, y su interpretación es la siguiente (EAMENA, 2019, p.3).

Valores entre -1 y 0: Indican áreas sin vegetación o presencia de agua. Valores cercanos a 0: Sugieren zonas con baja cobertura vegetal o alto estrés hídrico. Valores entre 0 y 1: Indican áreas con cobertura vegetal e hidratación creciente. Valores más altos reflejan un estado hídrico óptimo en la vegetación

En el caso específico de la cuenca de Camiña, el valor promedio de NDVI obtenido es de 0,06316. Este valor, al ser muy cercano a 0, indica que la zona presenta una muy baja cobertura vegetal. De hecho, la vegetación biosintéticamente activa se encuentra localizada principalmente en la zona de la quebrada, donde se concentra la humedad y los recursos hídricos. Es importante destacar que el NDVI es una herramienta útil para evaluar la salud y densidad de la vegetación a través del análisis de imágenes satelitales. En la **Figura 21**, en color rojo se observa las zonas con vegetación en la cuenca de la quebrada de Camiña.

Figura 21

Índice de vegetación de diferencia normalizado NDVI año 2022



Nota. Adaptada de Google Earth Engine colección Landsat 8 C02/T1 para el año 2022. La cuenca de la quebrada está delimitada por la línea amarilla. Elaboración propia

4.2 Determinación de situación hídrica basado en datos meteorológicos

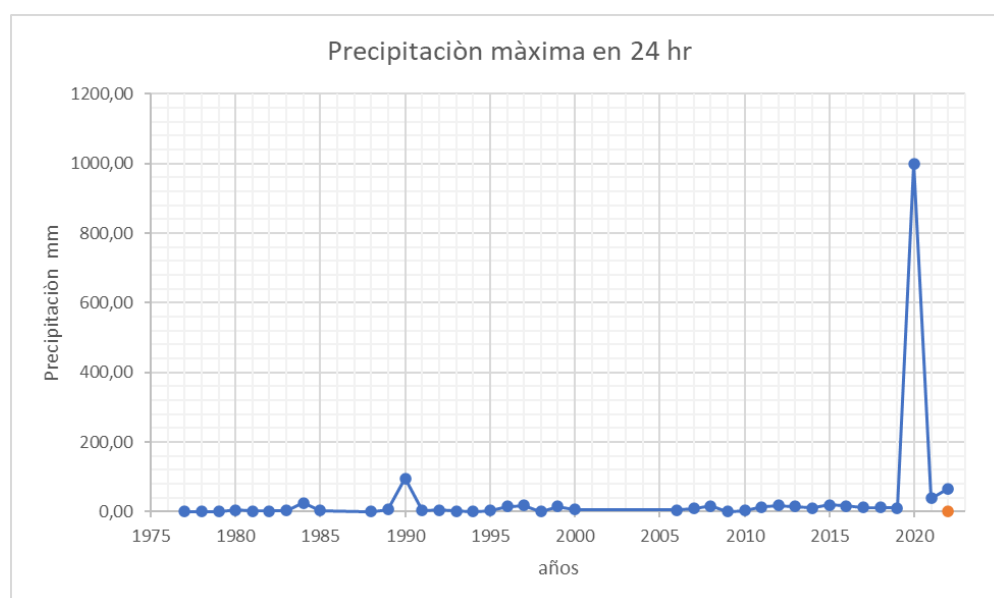
4.2.1 Período 1977 - 2023

Las fuentes de información de temperatura y precipitación se obtienen de la estación meteorológica de la Quebrada de Camiña ubicada a 3 Km aguas arriba de Tarcarive y la estación de Camiña de la DGA (Dirección de aguas) (Tabla 6). Además, registradas en el observatorio del agua (WWW.odea.cl), una plataforma de información desarrollada por el CIDERH como contribución a la gestión y transparencia de la información de recursos hídricos de la región de Tarapacá.

Tabla 6*Catastro de la red de monitoreo de la zona de Camiña*

Estaciones meteorológicas 2023		
Código BNA	01611001-9	018810004-8
Estación	Camiña	Q. Camiña 3 Km arriba de Tarcarive
UTM Este	455103	474328
UTM Norte	7864544	7886124
Altitud	2500	3848
Latitud	19°18'46``	19°07'02``
Longitud	69°25'38``	69°14'34``
Vigencia	25934	38958
Código cuenca	161	161
Código subcuenca	1611	1610
Región	Tarapacá	Tarapacá
Comuna	Camiña	Camiña

Nota. Fuente: Dirección General de Aguas de Chile DGA:
https://snia.mop.gob.cl/dgasat/pages/dgasat_main/dgasat_main.htm

Figura 22*Precipitación en mm a partir del año 1977 al 2022*

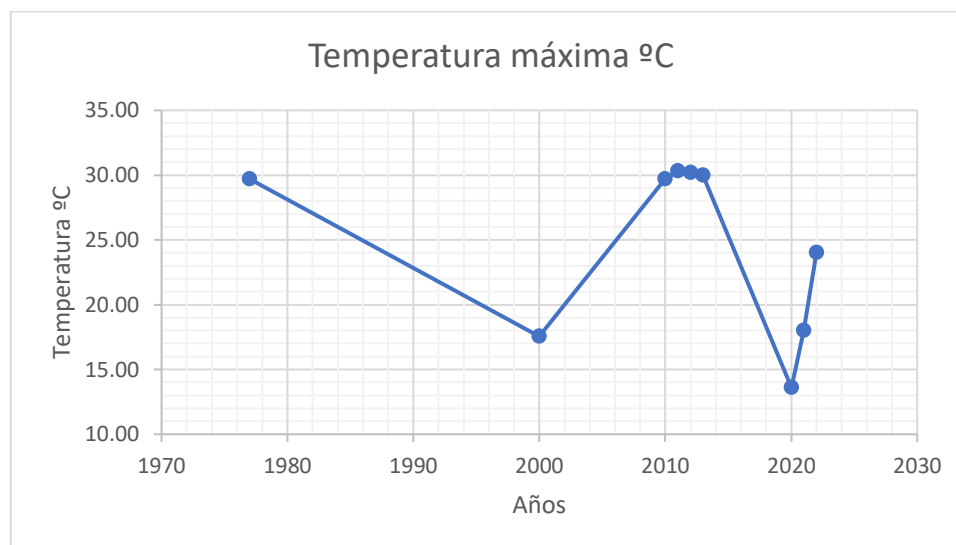
Nota. Datos de precipitaciones relacionados en el anexo C en la Tabla 13.

Según la **Figura 22**, se observa que la precipitación máxima acumulada en 24 horas para los años 1977, 1978 y 1979 fue de 0 mm. En 1980, se registraron 5 mm, mientras que en 2019 las precipitaciones oscilaron entre 4 y 10 mm, a excepción de 2011 y 2012, que promediaron 40 mm. En 2020, de igual forma se registra una pluviosidad de inusual de 999,9 mm. Esto coincide con la explicación del Dr. Pierre François (UPLA, Universidad de Playa Ancha), quien señala que “los responsables de traer las precipitaciones son los vientos del oeste en la región del Pacífico subtropical. Durante la mega sequía, una parte del océano Pacífico forma una 'mancha' cálida al este de Nueva Zelanda, lo que modifica las presiones e impide que los vientos del oeste lleguen a Chile, disminuyendo así las precipitaciones”. Sin embargo, el profesor de Geografía física de la Universidad Victoria de Wellington en 2020 ha indicado que esta dinámica climática que originó esta mancha ha reducido su temperatura, lo que facilitó la llegada de precipitaciones al continente. A pesar de esto, la disminución del aporte de humedad proveniente del océano ha llevado a una reducción significativa de las precipitaciones en el país.

En la COP 28, uno de los temas abordados fue precisamente el aumento de la temperatura del mar y su impacto en la dinámica de los vientos. Finalmente, la [Figura 22](#) también indica que en mayo de 2022 el régimen pluvial ha descendido, con un acumulado de 66.10 mm.

Figura 23

Temperatura en °C a partir del año 1977 a 2022

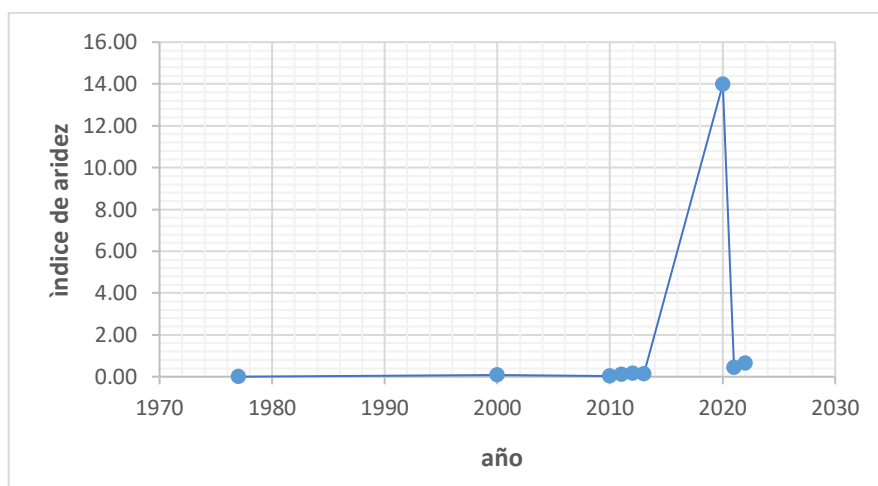


Nota. Datos de temperatura relacionados en el anexo C en la Tabla 13.

La **Figura 23** se registran los datos de temperatura máxima presentada en los periodos 1977 a 2022, lo que indica que el año con más pluviosidad se registran las menores temperaturas. La **Figura 24** se construye a partir de los datos de pluviosidad y temperatura reemplazados en la ecuación [2] de forma de obtener el índice de disponibilidad hidro ambiental. El índice de aridez obtenido en el 2020 se debe a una precipitación inusual que el 21 de enero generó una emergencia al superar la Quebrada de Camiña los 33.000 lt/s, (Seremi MOP, Tarapacá), lo que resulta un índice de aridez de 13.98, no es representativo de la zona de gran aridez.

Figura 24

Índice de aridez de Martonne del año 1977 a 2022



Nota. La variación de la temperatura en el tiempo es construida con los datos tomados En la estación Camiña y registrados en la Tabla 13 en el Anexo C.

Los resultados obtenidos de la Ecuación [1] donde se determina déficit hidroambiental, el factor de ajuste adoptado es de 0.45 se resumen para los períodos analizados en la Tabla 7

Tabla 7

Índices de aridez IDHA, IDDH

Año	IDHA	IDDH
1977	0.00	10.00
2000	0.08	9.92
2010	0.03	9.97
2011	0.11	9.89
2012	0.15	9.85
2013	0.12	9.88
2020	13.98	3.98
2021	0.45	9.55
2022	0.64	9.36

Nota. Valores obtenidos a partir de la ecuación 3 para un IDDH óptimo, lo cual indica la necesidad de evaluar la distribución de agua en esta región árida donde IDDH<0.5, construida con los datos registrados en el Anexo C Tabla 13.

Según Martonne se puede clasificar el tipo de zona asociada al valor de índice de aridez, es así como, se considera una zona desértica hiperárida cuando el IDHA esté entre 0 y 5, el cual corresponde a los períodos analizados exceptuando el año 2020 (Takahashi y Obando, 2019, pp.6-8).

4.3 Análisis espacio temporal de la variación de temperatura

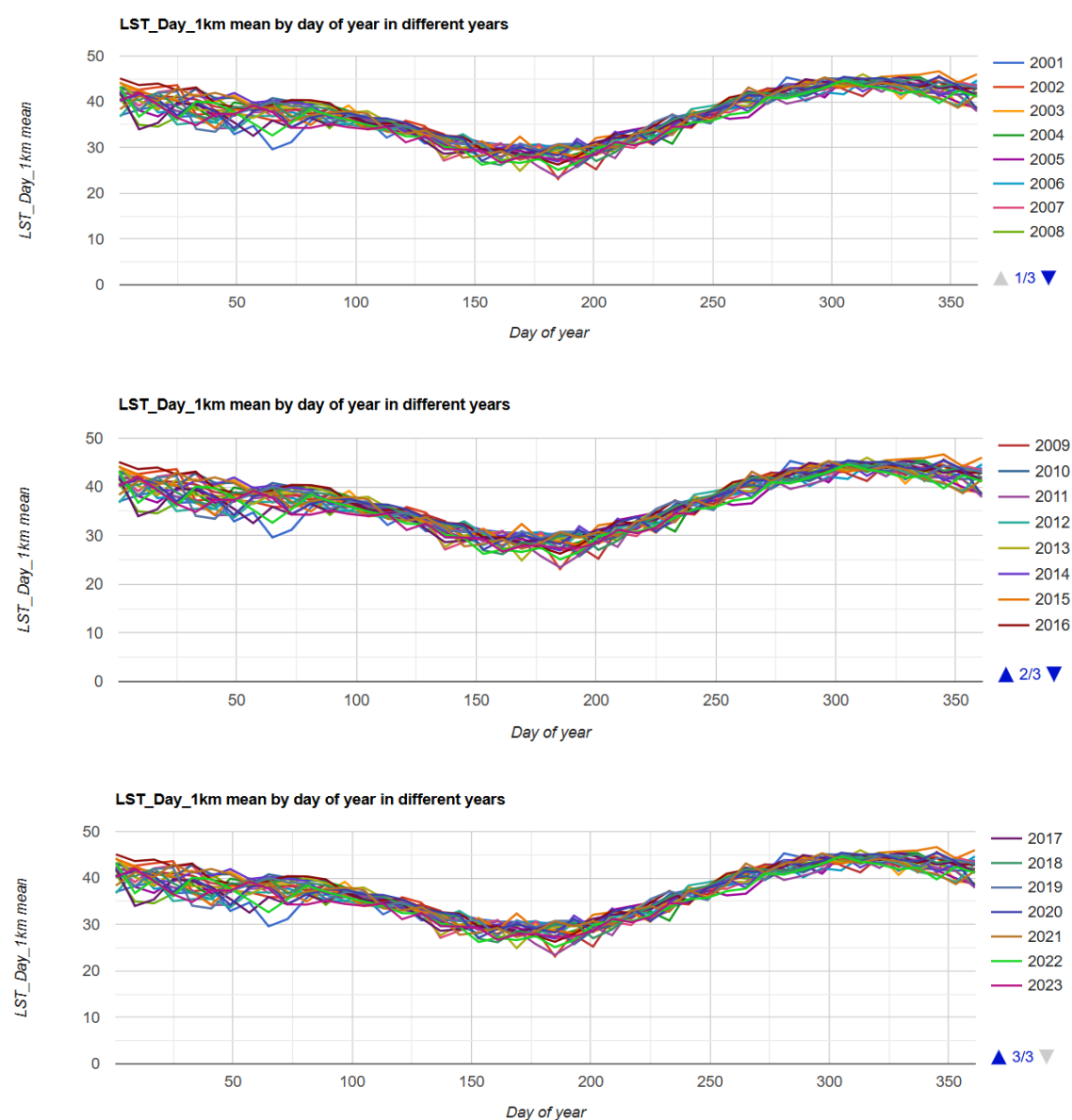
“La temperatura global de la Tierra ha experimentado un aumento significativo en las últimas décadas, alcanzando niveles récord en 2023” (IPCC, 2023, p.3). “Según datos de la NASA y la NOAA, la temperatura media de la superficie terrestre en 2023 fue aproximadamente 1,5°C superior al promedio de 1951-1980. Este calentamiento global sin precedentes está causando cambios drásticos en el sistema climático, con efectos visibles en todas las regiones del mundo” (IPCC, 2022, pp.95-97).

En América del Sur, la región norte de Chile se ha visto especialmente impactada por el aumento de las temperaturas. El instrumento MODIS, que opera en las naves espaciales Terra y Aqua, tiene una capacidad de observación que abarca 2,330 km y permite monitorear la superficie terrestre cada uno o dos días. Este sistema cuenta con detectores que miden 36 bandas espectrales en un rango de 0.405 a 14.385 μm y ofrece datos en tres resoluciones espaciales: 250 m, 500 m y 1,000 m. Los datos recopilados por MODIS, junto con información de otros instrumentos a bordo de Terra y Aqua, son enviados a estaciones terrestres en White Sands, Nuevo México, utilizando el Sistema de Satélite de Seguimiento y Retransmisión de Datos (TDRSS). Posteriormente, estos datos son procesados en el Sistema de Datos y Operaciones EOS (EDOS) en el Centro de Vuelos Espaciales Goddard. El Sistema de Procesamiento Adaptativo MODIS (MODAPS) genera productos de geolocalización y máscara de nubes de niveles 1A y 1B, así como productos de tierra y atmósfera de nivel superior, que son distribuidos a través de tres DAAC. Además, los productos de color del océano son elaborados por el Sistema de Procesamiento de Datos de Color del Océano (OCDPS) y se comparten con la comunidad científica y de aplicaciones como se explica en el catálogo de imágenes CONAE de mayo 11 de 2024.

La **Figura 25** muestra que, la variación de la temperatura anual para los periodos de 2001 a 2023 en donde se registra que la tendencia se repite de forma cíclica en todos los años analizados, incluso en los meses más fríos de mayo y junio, las temperaturas se mantienen entre 28 y 35°C.” Estas tendencias se han observado de manera consistente en los periodos analizados desde 2001 hasta 2023” (Hannart et al., 2012, pp.1-3).

Figura 25

Temperatura Vs días de la cuenca de camaña entre el año 2001 a 2023

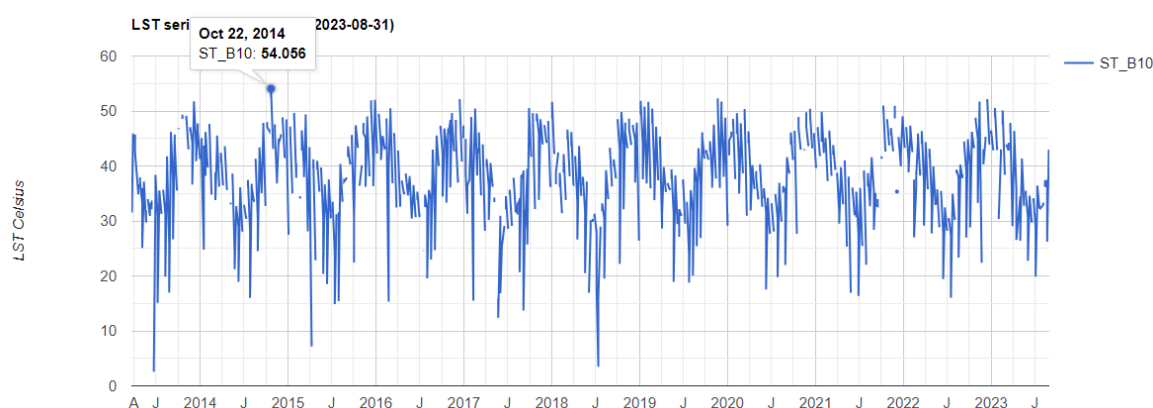


Nota. Información obtenida de GEE de la colección de imágenes MODIS/061/MOD11A2, para la zona de la Cuenca de Camiña, la curva presenta un comportamiento cíclico en el período estudiado. Los valores correspondientes a las curvas se observan en la Tabla 16 y 17 del anexo C.

Se realizó un análisis de temperatura para el período comprendido entre 2000 y 2023 (Figura 26), utilizando una serie de imágenes Landsat 8 que fueron previamente filtradas y procesadas. Este análisis se basa en los datos de la banda de temperatura superficial de la Tierra, cuyas cifras están detalladas en el Anexo C, Tabla 14 para los máximos y Tabla 15 para los mínimos. Los datos indican que, en promedio, la temperatura ha aumentado en 0.25°C en los últimos 10 años. La variación más significativa se observó entre 2013 y 2014, con un incremento de 2.63°C . En cuanto a los valores mínimos, se registraron en 0.03°C en 2014 y en 2023, con una disminución general de 0.21°C en el período analizado. Esto sugiere que la temperatura ha aumentado durante los meses de verano, siendo los valores más bajos registrados en junio. y 2014 de 2.63°C . Así mismo, con respecto a los valores mínimos se registran para el año 2014 y 2023 en 0.03°C y con respecto al periodo analizado ha descendido en 0.21°C lo que indica que la temperatura ha variado aumentado en los meses de verano y ha sido mínimo en el mes de junio.

Figura 26

Variación de temperatura de 2000 a 2023



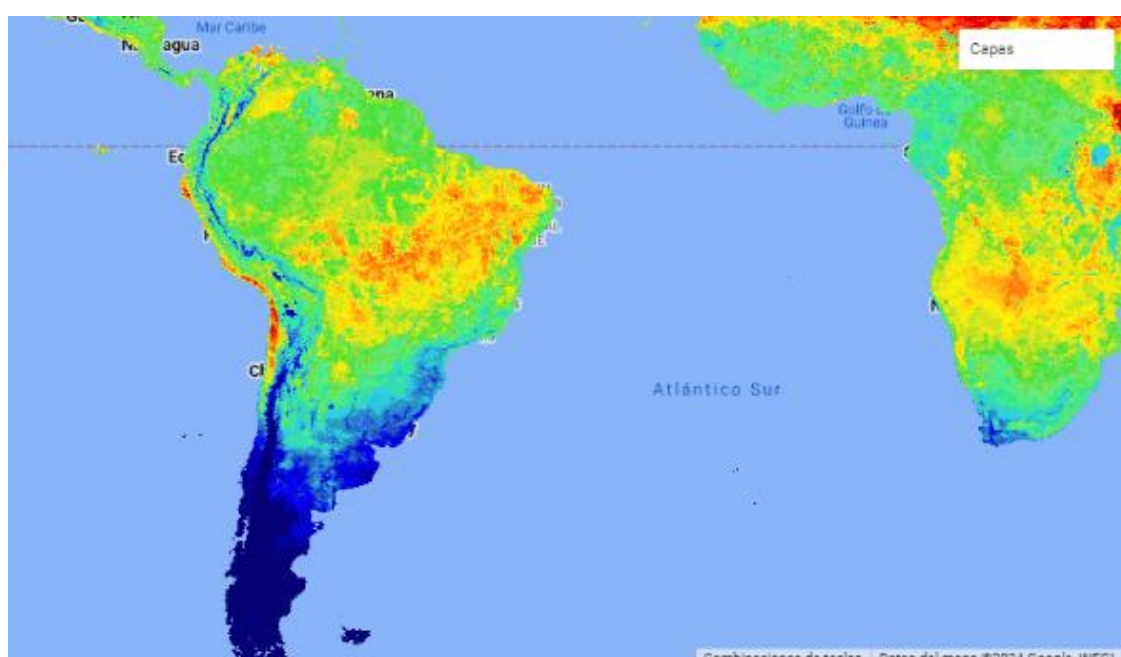
Nota. Obtenida de GEE LANDSAT/LC08/C02

En la **Figura 27** se aprecia el mapa de temperatura en América del sur en colores que varían entre el espectro azul y rojo, donde el azul, registra datos inferiores a 0°C , lo que sugiere la posible existencia de zonas con nieve o hielo. Sin embargo, es importante destacar que el calentamiento global está acelerando la desaparición del hielo marino a nivel global como es el caso de Groenlandia y la Antártida occidental podrían derretirse si la temperatura de la tierra alcanza 2 a 3°C .

Esto causaría un aumento del nivel del mar de varios metros, con devastadoras consecuencias para las zonas costeras de todo el mundo. Estos cambios en el sistema climático serían sustanciales, abruptos e irreversibles. Una vez desatadas, estas reacciones en cadena podrían conducir a transformaciones drásticas y permanentes en el clima global, con impactos catastróficos para la humanidad y el planeta.

Figura 27

Mapa de temperatura global



Nota. Información obtenida de GEE de la colección de imágenes MODIS/061/MOD11A2), para la zona de la Cuenca de Camiña, la paleta de colores se encuentra en un rango de temperaturas entre 15°C y 46°C.

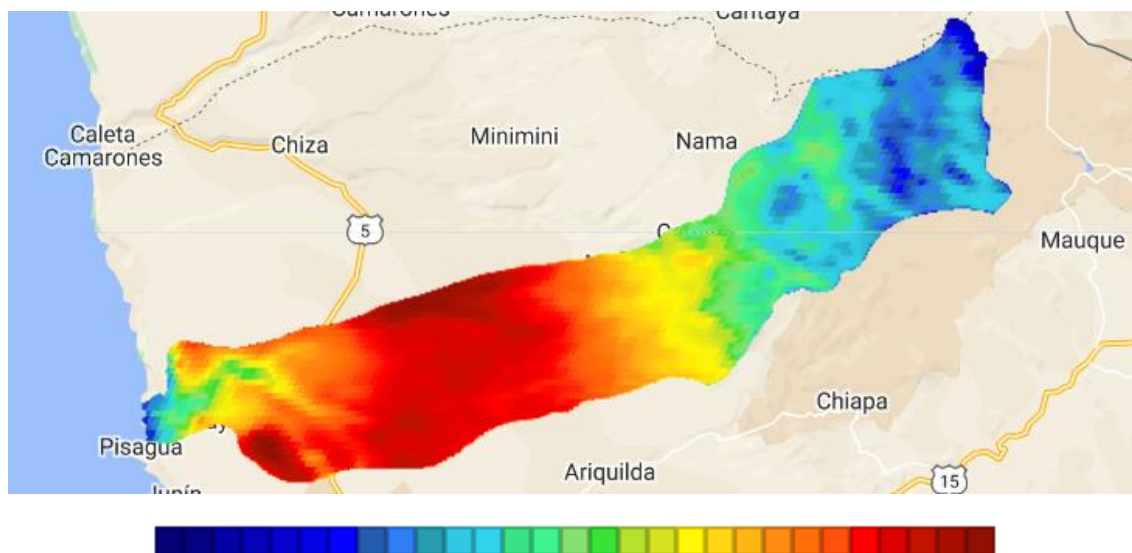
Es crucial comprender que cada 0,5°C de aumento en la temperatura global se traduce en un incremento significativo en la frecuencia y severidad de fenómenos meteorológicos extremos, como olas de calor, lluvias intensas y sequías regionales. Boehm y otros científicos de su tiempo indicaron que la temperatura media de la Tierra había aumentado aproximadamente 1.2 °C desde finales del siglo XIX, lo que era un indicativo claro del impacto humano en el clima. Información registrada en la revista *World Resources Institute* (Boehm, 2023).

Por lo tanto, el análisis de la temperatura en el espacio y el tiempo, como el presentado en la **Figura 28** es fundamental para comprender los impactos del cambio climático a nivel local donde la gamma de los colores demuestra que la zona presenta

temperaturas superiores a los 40°C, en casi el 50% de la cuenca y en la zona de la cordillera aguas arriba temperaturas inicia con temperatura que oscilan en 28°C y en la cabecera de la cuenca 20°C.

Figura 28

Mapa de temperatura de la cuenca de Camiña



Nota. Información obtenida de GEE de la colección de imágenes MODIS/061/MOD11A2, para la zona de la Cuenca de Camiña, la paleta de colores se encuentra en un rango de temperaturas entre 15°C y 46°C..

4.4 Análisis estadístico del % de humedad

El análisis estadístico multivariable, de % de humedad, temperatura del agua y la temperatura del aire en la estación de Tarcavire, busca la influencia en los procesos de desertificación en la cuenca de la Quebrada de Camiña.

La información base del análisis de datos estadísticos está comprendida entre el período de 1 de enero de 1917 a 20 de julio de 2022. Para ello se consideraron 1756 datos obtenidos de DGA: Dirección General de Aguas del Gobierno de Chile

Se obtienen 1756 datos, con un promedio de 9,057% de humedad (Tabla 8), una asimetría sesgada a la izquierda y un valor de curtosis atípico extremo.

Tabla 8*Parámetros estadísticos de % de humedad: Valores de tendencia central*

Datos	1756
Promedio	9,05727
Mediana	8,53
Moda	
Media geométrica	5,77807
Media armónica	1,51282
Varianza	69,8585
Desviación estándar	8,35814
Coefficiente de variación	92,281%
Mínimo	0,01
Máximo	64,03
Rango	64,02
Cuartil inferior	3,47
Cuartil superior	11,53
Std. asimetría	49,7889
Std. Curtosis	103,948

Nota. Adaptada de la estadística de datos de % humedad de la estación Tarcarive con el software Startgraphics versión de prueba libre.

Las medidas de tendencia central permiten identificar que la muestra de valores no proviene de una distribución normal, lo que invalida cualquier prueba estadística con respecto a la desviación estándar.

Para el análisis de frecuencia se trabaja con la relación de Sturges para definir el número de clases o intervalos (k).

$$k = 1 + \log_2 (n)$$

[5]

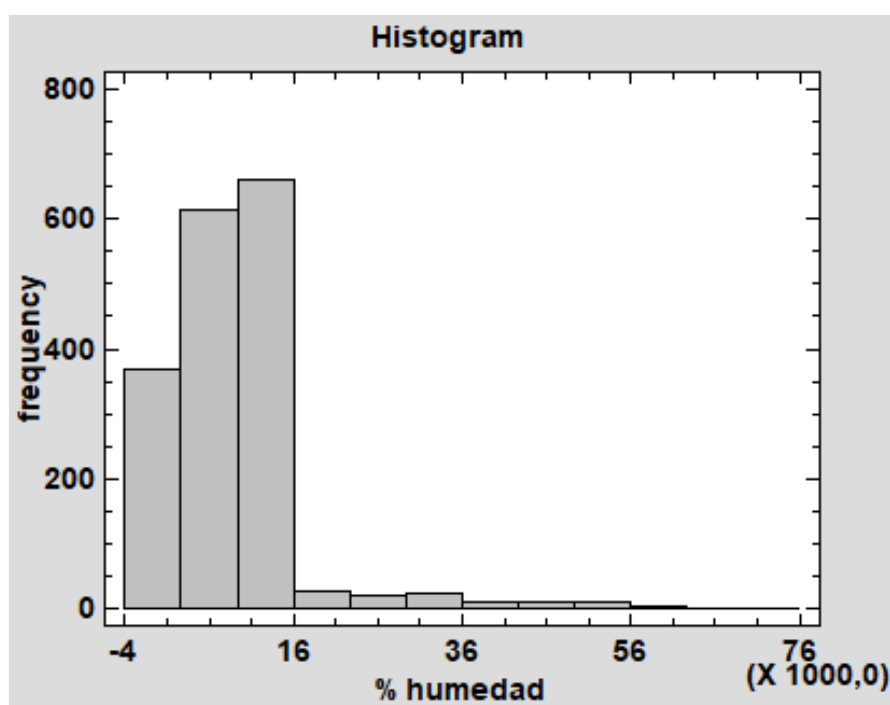
$$k = 1 + \log_2(1756) = 11.78 \cong 12$$

De acuerdo con la ecuación de Sturges ecuación [5] se construye el histograma de frecuencias para 12 clases donde se identifica que la concentración de datos se da para los primeros tres intervalos, es decir para los valores entre -3% y 16% de humedad.

Para valores de humedad superiores al 50% se da para los meses de abril de 2022, en la [Figura 29](#) se observa el histograma de frecuencias para los doce intervalos.

Figura 29

Histograma de frecuencia de % de humedad



Nota. Histograma obtenido de la estadística de datos de % humedad de la estación Tarcarive con el software Startgraphics

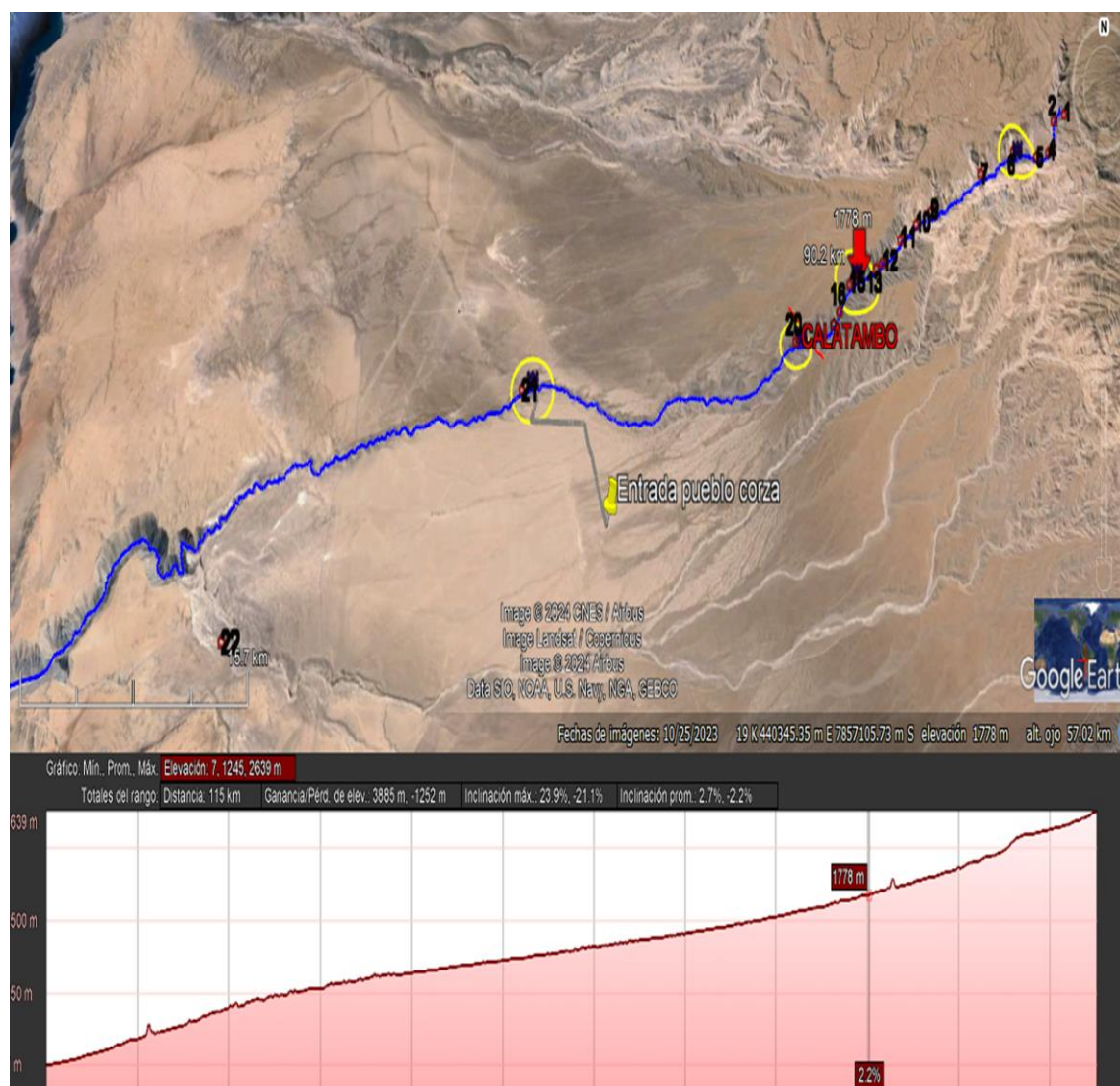
4.5 Análisis fisicoquímico del agua de la Quebrada de Camiña

El análisis del agua potable en cuatro comunidades dentro de la Región de Tarapacá (**Figura 30**), se evaluaron varios parámetros clave que ofrecen una visión integral de la calidad del agua. Estos parámetros incluyen la turbidez, que indica la claridad del agua, así como los compuestos inorgánicos y la dureza, que son indicadores fundamentales para comprender su composición química y su adecuación para diversos usos. Además, se consideraron la demanda química y los nitratos, que son indicadores

específicos de la contaminación orgánica y agrícola, respectivamente, proporcionando información sobre posibles riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Figura 30

Mapa de ubicación de puntos de muestreo



Nota. Planta y perfil de los puntos de muestreo de agua en la quebrada de Camiña, en orden descendiente, Camiña, Francia, Calatambo y Corza.

Así mismo, se evaluaron indicadores críticos de la salud del ecosistema y del agua, como el oxígeno disuelto, el calcio y el magnesio. Estos elementos son esenciales para mantener un equilibrio adecuado en el ecosistema acuático y garantizar la calidad del agua potable. Su presencia y niveles adecuados son indicativos de un ambiente acuático saludable y de agua potable segura para el consumo humano.

Según la normativa chilena, la turbiedad media mensual debe ser menor o igual a 2 UNT (unidades nebulosas turbias). La Tabla 9 muestra los valores de turbidez para diferentes pueblos. Todos los pueblos, excepto Camiña, se encuentran dentro del rango establecido por la normativa chilena. La turbidez del agua puede ser causada por varias razones, no obstante, se puede aterrizar a malas prácticas de agricultura intensiva ocasionando erosión de la tierra, incrementando la carga de sedimentos en el agua.

Tabla 9

Caracterización del agua de la quebrada de Camiña

Análisis	M1 Corza	M2 Calatambo	M3 Francia	M4 Camiña
CO3 2-(mmol-/L)	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3 1- (mmol-/L)	3.70	3.32	2.36	2.18
SO4 2- (mg/L)	0.222	0.156	0.162	0.142
DQO (mg/L 02)	139.00	116.00	114.00	125.00
NO3 (mg/L)	1.60	1.30	0.80	1.60
Turbidez (NTU)	0.57	1.61	2.01	7.90
Cloro Libre (mg/L)	0.01	0.00	0.06	0.19
PH	8.40	7.90	7.50	7.90
CE (uS/cm)	4299.00	5282.00	3312.00	3573.00
ORP (mV)	6.30	16.20	18.50	17.80
OD (%)	125.60	132.60	91.30	85.30
Ca (mg/L)	259.80	364.50	277.90	227.40
Mg (mg/L)	186.70	261.80	199.60	163.30
B ppm	5.302	6.380	5.228	4.547

Nota. Los datos fueron procesados por el CIDERH, tomados sobre la quebrada en épocas de estiaje.

Con respecto a los elementos o sustancias químicas esenciales presentes en el agua potable, como el magnesio, es importante destacar que su concentración no debe superar los valores de 125 mg/L, según las regulaciones. Sin embargo, los valores obtenidos muestran que estos sobrepasan el límite establecido, siendo Calatambo el pueblo con el

valor más alto registrado. Este elevado valor puede deberse a que la muestra de estudio tomada en la zona fue durante épocas de estiaje, lo que podría concentrar este compuesto de manera más significativa. Además, Calatambo y la zona norte en general suelen ser ricas en minerales, lo que también podría contribuir a índices elevados de este elemento en el agua.

En cuanto al pH, de acuerdo con las regulaciones chilenas y las pautas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), debería mantenerse dentro del rango de 6.5 a 8.5. Por lo tanto, los valores obtenidos se encuentran dentro de este intervalo, con valores de pH neutro-predominantes. Sin embargo, se observa que la población de Corza presenta un pH más alcalino en comparación con otras poblaciones sin salir del rango permitido.

Con respecto a los aniones SO_4 , NO_3 y Cl^- los valores máximos permitidos son 500 mg/L, 50 mg/L y 400 mg/L, respectivamente. Los resultados obtenidos en las muestras están por debajo de estos límites establecidos. Es importante destacar que estos niveles inferiores indican una calidad aceptable del agua en términos de la concentración de estos aniones específicos, lo que sugiere que el agua analizada cumple con los estándares de calidad establecidos para su uso y consumo.

En la normativa chilena, no se encuentran límites específicos establecidos para los valores de Conductividad Eléctrica (CE). Sin embargo, según la normativa europea (Directiva 98/83/CE), se establece un límite máximo permitido de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este parámetro está estrechamente relacionado con la cantidad de Sólidos Disueltos Totales (TDS), debido a que la conductividad eléctrica (EC) en una solución electrolítica depende principalmente de la concentración de especies iónicas presentes en ella. La Tabla 10 muestra la clasificación realizada por Van der Aa presentada en Pastén et al. (2019) y en Rizzo Et al, 2011) sobre la concentración de minerales en función del valor de conductividad eléctrica y del mineral fijado.

Tabla 10

Clasificación del agua con respecto a la concentración de minerales de acuerdo con su valor de EC

Clasificación	EC ($\mu S/cm$)	Residuo fijado a 180°C mg/L
Concentración mineral muy baja	<77	<50
Concentración mineral baja	77-769	50 - 500
Concentración mineral media	769-2308	500 - 1500
Concentración mineral alta	>2308	>1500

Nota. Esta clasificación se basa en el principio de que la conductividad eléctrica está estrechamente relacionada con la cantidad de sólidos disueltos totales (TDS) en el agua, debido a que la conducción de corriente depende principalmente de la concentración de especies iónicas presentes, la unidad de medida es el micro siemens por centímetro ($\mu S/cm$).

Del análisis de los datos de la Tabla 9 y Tabla 10, se puede inferir que las aguas de los pueblos del norte exhiben elevadas concentraciones de minerales. Destaca especialmente el caso de Calatambo, que registra el valor más alto de Conductividad Eléctrica (CE). Esta situación podría atribuirse a la muestra recolectada durante periodos de sequía.

Los límites máximos permitidos para la demanda química de oxígeno (DQO) en agua potable, según la normativa chilena 409, son de 160 mg/L. Según las muestras recolectadas, no se han superado estos límites establecidos. Esta baja concentración de DQO indica una situación favorable en términos de calidad de agua. La DQO refleja la cantidad de oxígeno requerida para descontaminar el agua de compuestos orgánicos. Por lo tanto, valores bajos de DQO sugieren una menor presencia de contaminantes orgánicos en el agua, lo que es positivo para su calidad.

El bicarbonato (HCO_3) es un compuesto común en el agua y está estrechamente relacionado con su alcalinidad. Aunque no se han establecido límites máximos específicos para este compuesto en las regulaciones de calidad del agua, su presencia puede influir en varios aspectos, como el sabor y el olor del agua. Además, puede tener implicaciones para la salud humana, ya que grandes cantidades de bicarbonato pueden contribuir a la formación de cálculos renales. Con respecto a la [Tabla 10](#), los valores de

bicarbonato son bajos, lo que sugiere que el agua puede tener un bajo pH, indicando una naturaleza ácida en el agua (Pastén et al. 2019, p.20).

El boro es un elemento químico presente en el agua debido a la lixiviación de rocas o la presencia de suelos boratos. Estos pueden originarse por la acumulación de sedimentos de rocas ígneas, como la turmalina, formada a altas temperaturas, así como por la descarga de aguas residuales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el límite máximo permitido para la concentración de boro en el agua es de 2.4 ppm, mientras que la Directiva 98/83/CE de la Unión Europea establece un límite máximo de 1.0 ppm. Sin embargo, no está normado en la legislación chilena. Los datos obtenidos del análisis de muestras de los cuatro pueblos en estudio indican que superan estos límites establecidos por la normativa para la calidad del agua potable. Esta situación es especialmente relevante en las regiones andinas del norte de Chile, caracterizadas por tener elevados niveles de boro, debido a su condición árida.

Mejorar la calidad del agua contribuye a mejorar la economía familiar, logrando cultivos saludables y productos de mejor calidad, se prevén enfermedades al cumplir los estándares de la NCh 1333 se logra sostenibilidad ambiental.

Es importante destacar que el boro no se elimina mediante los tratamientos convencionales. es por ello por lo que la solución se plantea en la integración de la cultura regional aymara con metodología que esté en consonancia con las prácticas y valores de la cultura tradicional, al unir los saberes tradicionales con enfoques científicos actuales, se pueden plantar soluciones sostenibles y culturalmente apropiadas para mejorar la calidad del agua y en consecuencia impulsar el desarrollo económico y la protección del medio ambiente en la región.

La Dirección General de Aguas de Chile DGA, ha realizado monitoreo en la estación activa Quebrada Camiña en Altusa en la Región de Tarapacá en la comuna de camiña en la altitud -19,2494, -69.3892 ubicada a una altura de 2280 msnm, registrando los valores presentados en la **Tabla 11** el caudal medio mensual determinado para el año 2001 de 1,003 m³/s (1000lt/s) y caudal diario de 0.587 m³/s (587 lt/s), la información es pública y se registra en la <https://mapas2.mop.gob.cl/>. El pH corresponde al promedio de

los datos, el contenido de Boro en la zona alta de la cordillera es mayor que la existente agua abajo.

Tabla 11

Caracterización de agua de la quebrada de camiña en Altusa

Actualización 25-05-2020 hora 12.20			
Boro	B	mg/l	7.07
Calcio total	Ca	mg/l	55.43
Cobre total	Cu	mg/l	0.01
Conductividad específica (mhom/cm)		Mhos/cm	945.00
Fierro total	Fe	mg/l	0.62
Manganeso total	Mg	mg/l	12.67
Oxígeno disuelto	O ₂	mg/l	8.20
PH	PH	Und	8.06
Sólido total	Na	mg/l	113.22
Temperatura del agua		°C	12.10
Zinc total	Zn	mg/l	0.01

Nota. adaptada de <https://mapas2.mop.gob.cl/>.

4.6 Propuesta de mejora ambiental

Proponer un plan ambiental de mejora las condiciones medioambientales de la zona en estudio, es partir del análisis de cómo es la dinámica hídrica de la cuenca de Camiña, para ello se deben realizar las siguientes acciones:

4.6.1 Reforestar

Reforestar la cabecera de la cuenca con especies que permitan retener agua y que se permita mantener caudal, superficial y de infiltración a lo largo de la cuenca (Cutillas et al. 2018). Además de contrarrestar el cambio climático, disminuir los gases efecto invernadero, frenar la desertificación, valorizarlos suelos estériles con el tratamiento primario las aguas servidas rural y urbana.

4.6.2 Recarga de acuíferos

Varios países han destacado por sus prácticas efectivas en la recarga de acuíferos, implementando técnicas innovadoras y sostenibles para gestionar sus recursos hídricos. A continuación, se presentan algunos de estos países: Israel con más de 50 años de experiencia en recarga artificial de acuíferos, Israel ha desarrollado técnicas avanzadas para gestionar su escasez de agua. Utiliza sistemas de infiltración y almacenamiento de agua, lo que ha permitido aumentar significativamente la disponibilidad de agua subterránea en un entorno árido (Errazuriz, F, 2023), Australia país que ha implementado diversas instalaciones de recarga que pueden almacenar hasta 70 millones de metros cúbicos de agua al año. Australia es reconocida por su enfoque en la gestión de recursos hídricos en condiciones de sequía, utilizando la recarga de acuíferos como una herramienta clave para la sostenibilidad del agua, entre otros, países bajos, Estado Unidos y México están llevando a cabo diversas iniciativas para la recarga de acuíferos, con un enfoque en la caracterización de sitios y el uso de tecnologías adecuadas. (Fernández, Tragsatec, and García 2003, pp.2-6), España tiene toda una cultura histórica en la gestión eficiente de aguas con obras de ingeniería hidráulica, presas y regadíos murcianos (Díaz and Marta, 1989, pp.10-17).

4.6.3 Identificar especies en peligro de extinción

Procesos de reforestación de especies nativas en peligro crítico, como la *Dalea pennelli* var chilensis, es un arbusto bajo (**Figura 31**). es una planta que en periodos secos sin precipitaciones dura 6 a 10 meses, puede estar expuesta al sol sin ninguna protección, no resiste nieve, pero si heladas ocasionales no prolongadas hasta aprox. -5°C. (A. Gatica et al., 2015, pp.309-327).

Figura 31

Fotografía de planta Dalea Pennelli Var chilensis



Nota. Dalea pennelli var chilensis

4.6.4 Hacer conservación EX SITU:

Especies que se encuentran en la zona de la quebrada de Camiña son: Nototriche nana, Oreocereus australis, Haageocereus fascicularis. (**Figura 32**)

Figura 32

Plantas nativas en la cuenca de camaña



Nota. Especies nativas en la cuenca de Camiña, entre otras: a) Nototriche nana b) Oreocereus australis. c) Haageocereus fascicularis <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl>

Haageocereus fascicularis: Fanerógama de cactus de la familia de las Cactaceae, se reproduce por semillas que son dispersadas por aves frugívoras que se alimentan del fruto en estado de madurez, habita entre los 2000 y 3000 msnm. Está incluida en proyecto de conservación. Existe conservación ex situ de plantas endémicas, vulnerables y en peligro de extinción en la zona desértica de Chile. (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Chile - Royal Botanic Gardens Kew, Reino Unido).

4.6.5 Diseño y construcción de obras hidráulicas naturales

Desde las microcuencas para retener agua lluvias en cauces donde el agua escurre por gravedad sin detenerse. Se infiltran por esponjamiento de rocas y suelos formando escurrimientos subterráneos que recuperan ríos.

4.6.6 Implementar tecnología de silos de agua

Formados por copolímeros reticulados de ácido acrílico y acrilamida que permiten la retención del agua de riego alrededor de la planta, evitando que escurra por gravedad o se evapore, manteniendo las raíces húmedas por bastante tiempo (Andrada y Di Barbaro, 2018). El beneficio directo de esta tecnología es permite distanciar los riegos y a su vez bajar el estrés de las plantas. (<http://silosdeagua.cl/>).

4.6.7 Trabajo con la comunidad local

En la actualidad, se evidencia el estrés hídrico y el deterioro de la sección hidráulica de la Quebrada de Camiña y calidad de agua ocasionada por la intervención humana en la producción agrícola originada aguas arriba como se registra en la **Figura 33**.

Figura 33

Situación de la parcela de cultivo en la quebrada de camiña



Nota. Fotografías tomadas de la sección hidráulica de la quebrada em época del invierno altiplánico, se aprecia inundada con pérdida de cosecha de Zea mays (maíz choclo, elote, mazorca) y de Dacaus carota (zanahoria) (2023).

Lo que ha provocado eutroficación en el agua (exceso de nutrientes) y como consecuencia niveles de oxígeno bajos lo cual afecta la sobrevivencia de especies existentes además de zonas húmedas inundadas ocasionando la proliferación de insectos como mosquitos. (**Figura 34**).

Figura 34

Quebrada de camiña 2024



Nota. Fotografías tomadas de la sección hidráulica de la quebrada, donde se aprecia el agua en estado de eutroficación, lo que altera la biótica existente (2023).

Se deben hacer talleres con las comunidades para motivar la construcción de invernadero para cultivar especies de flores o plantas medicinales, o productos comerciales fuera de la quebrada. y crear un folleto de buenas prácticas agrícolas que permitan minimizar los efectos por la actividad antrópica en los cultivos.

DISCUSIONES

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La temperatura emerge como un parámetro clave para comprender el estrés hídrico (López et al. 2009) en la cuenca de Camiña. El análisis de los valores máximos y mínimos de temperatura registrados en la última década evidencia condiciones extremas en esta zona desértica, exacerbando tanto la crisis hídrica como la desertificación, situación que está alineada con los desafíos planteados el 17 de junio “Día Mundial de la Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (U Chile, 2021). Durante los meses de invierno, la temperatura ha mostrado un descenso promedio de $0,21^{\circ}\text{C}$, lo cual se enmarca con la preocupación global sobre el cambio climático, como se indica en el informe del IPCC (2022), que advierte sobre los riesgos de un aumento global de la temperatura de más de $1,5^{\circ}\text{C}$. En la zona de estudio, los valores máximos registrados mediante imágenes MODIS fueron de $37,30^{\circ}\text{C}$ en los años 2011 y 2014, superando en $1,64^{\circ}\text{C}$ el promedio de los últimos 12 años. En contraste, los valores mínimos alcanzaron los $0,20^{\circ}\text{C}$. Estas variaciones extremas destacan las condiciones críticas que enfrenta la cuenca, agravadas por el cambio climático y la reducción de los recursos hídricos (Pino y Chávarri, 2022).

Es importante señalar que los resultados obtenidos varían entre las fuentes Landsat 8 y MODIS debido a las diferentes resoluciones espaciales: Landsat 8 ofrece una resolución de 30 metros, mientras que MODIS oscila entre 250 metros y 1 kilómetro (González, 2020). Estas diferencias tecnológicas permiten captar las dinámicas de temperatura con distintos grados de detalle, pero en conjunto subrayan el aumento sostenido de las temperaturas en los últimos años, lo que intensifica la desertificación y la crisis hídrica en la cuenca de Camiña.

Otro factor relevante en la discusión es la radiación solar. Si bien ha habido variaciones en la actividad solar a lo largo de las décadas, la radiación solar total medida desde 1978 no ha mostrado un aumento significativo. Esto respalda la conclusión de que el calentamiento global reciente no es atribuible a cambios en la radiación solar, sino más

bien a las emisiones humanas de gases de efecto invernadero, que han dominado el forzamiento climático en las últimas décadas.

En 2023, la radiación solar sigue siendo medida con precisión mediante satélites, y se ha mantenido estable en comparación con las mediciones anteriores. Los estudios recientes continúan mostrando que, a pesar de las variaciones naturales en la actividad solar, no ha habido un aumento significativo en la radiación solar total desde 1978. Esto refuerza la idea de que otros factores, como se menciona en el estudio de Covarrubias y Mendoza, (2015),. como las actividades humanas y los gases de efecto invernadero, son más influyentes en el calentamiento. Esto implica que las políticas de salud pública y las campañas de concienciación sobre la protección solar deben adaptarse a estos cambios para mitigar los riesgos asociados con la radiación UV en un clima cambiante”.

En cuanto a los suelos de la cuenca de Camiña, el índice de aridez IDHA promedio entre 2000 y 2022 ha sido de 0,25, lo que clasifica a esta región como suelo árido. La cobertura vegetal, un elemento crucial para la salud y fertilidad de estos suelos, ha mostrado una disminución constante a lo largo de los años (CEPAL, 2021). Según el análisis de imágenes satelitales en Google Earth Engine (GEE), el suelo verde disminuyó del 0,6 % en 1985 al 0,57 % en 2010, y en 2023 alcanzó un mínimo de 0,43 %. A pesar de las lluvias extremas ocurridas entre enero y febrero de 2019, provocadas por el fenómeno de La Niña, y las precipitaciones de 2020, la capa vegetal no se ha recuperado. Esto coincide con lo planteado por Boisier (2020), quien sostiene que las precipitaciones no han sido suficientes para mitigar la crisis hídrica en el norte de Chile.

La cobertura vegetal en suelos áridos desempeña un papel fundamental, debido a que lo protege contra la erosión eólica e hídrica, preservando la capa superficial del suelo, que es esencial para la fertilidad y la biomasa fotosintéticamente activa (FAO, 2020). Un estudio publicado en *Ecological Indicators* (2019) destaca que, en regiones áridas y semiáridas, como el norte de África y el Medio Oriente, se ha observado una reducción del 30% en la cobertura vegetal natural debido a prácticas agrícolas insostenibles y cambios en el uso del suelo, además, la cobertura vegetal disminuye la evaporación del suelo, mejorando la retención de humedad, lo cual es crucial en ambientes áridos con escasas precipitaciones (Muñoz, et al., 1999). A medida que la vegetación se

descompone, enriquece el suelo con materia orgánica, mejorando su estructura y capacidad de retención de agua, además de fomentar la actividad microbiana (Céspedes et al. 2020). Esto, a su vez, crea condiciones favorables para la germinación de semillas y el desarrollo de cultivos, favoreciendo la biodiversidad local (Julca-Otiniano et al., 2006).

Sin embargo, la gestión de la cobertura vegetal en suelos áridos presenta desafíos significativos. La competencia por agua y nutrientes es intensa, especialmente en las primeras etapas de crecimiento, y la escasez de recursos hídricos complica aún más el establecimiento de una buena cobertura vegetal (Heras-Heras et al. 2024). Además, la falta de irrigación y el bajo contenido nutricional del suelo son obstáculos constantes, junto con el riesgo de daños por frío, lo que limita la eficacia de las estrategias de conservación vegetal.

Un aspecto crítico en la crisis hídrica de la cuenca de Camiña es la disminución del 77% en los recursos hídricos superficiales en los últimos 45 años, según un análisis de imágenes satelitales Landsat 5 y 8 utilizando GEE, en comparación con la cartografía histórica del Instituto Geográfico Militar de Chile (BCN, 2022). Este declive significativo plantea la necesidad urgente de soluciones innovadoras y sostenibles (Uribe n.d.). Una alternativa propuesta para mitigar este problema es el reciclaje de aguas residuales, una práctica que podría aumentar la cobertura vegetal al proporcionar un suministro adicional de agua para riego (Montes, 2023, pp.6-14). Esta estrategia no solo aborda la escasez de agua, sino que también puede integrarse con las prácticas culturales tradicionales de las comunidades Aymaras de la región, generando un enfoque más holístico y sostenible (Martos y Duran 2022).

Finalmente, los registros históricos de crecidas en la cuenca también destacan la variabilidad extrema del clima. En 1963 y 1964 se registraron crecidas importantes, con un caudal máximo de 15,16 m³/s en la estación de Umiña en marzo de 1964 (Niemeyer, 1982). Sin embargo, el caudal máximo registrado en 2024 alcanzó los 32,9 m³/s, lo que generó una alerta roja por el riesgo de desbordamiento.

(<https://cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-tarapaca/el-aumento-del-rio-camina-que-amenazo-con-desbordarse/2024-02-29/083651.html>). Estos eventos demuestran los cambios extremos que está experimentando la región, impulsados por el aumento de la temperatura y la disminución de la cobertura vegetal, los cuales no han logrado compensar la pérdida de recursos hídricos con el tiempo.

La hipótesis general planteada sobre la influencia de la variación del recurso hídrico en la adaptación de la comunidad Aymara en la cuenca Camiña, a raíz del cambio climático, se considera como cierta por varios factores interrelacionados que afectan tanto la disponibilidad de agua como la capacidad de adaptación de estas comunidades dentro del contexto hídrico, impactos del cambio climático y como ha incidido en la conducta de los aymara en la expansión de cultivos, y metodología en la optimización de agua.

El proceso de adaptabilidad de las comunidades en la cuenca Camiña se ve significativamente afectado por el cambio climático. La ecosofía andina de los aymara está intrínsecamente relacionada con el flujo de energía y el concepto de "vivir bien", que se asocia a la Pachamama, simbolizando una interconexión con todo lo que les rodea (Estermann, 2013). Así mismo Feldman y Biderman (2001) destacan que los desafíos del cambio climático se manifiestan en las dinámicas humanas, generando nuevas formas de comunicación y promoviendo la educación y la democratización en la toma de decisiones. Esto ha permitido que las comunidades se empoderen de manera resiliente frente a la adversidad climática (Zamora, 2015), sosteniendo su cultura y legado ancestral (Deza 2012). Sin embargo, el panorama sigue siendo crítico, ya que enfrentan una realidad donde la escasez se vincula con la modernidad (Xenos, 1989) y las nuevas exigencias del mercado respecto a sus productos agrícolas, abonos y calidad del agua. Las comunidades deben adaptarse a un entorno donde el aumento de las zonas de radiación (Pino y Chávarri, 2022) y la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa, les obligan a cultivar en la sección hidráulica de la quebrada, lo que resulta en una mayor entrada de nutrientes al agua. Este fenómeno provoca desoxigenación y pérdida de biodiversidad (Arancibia, 2021), complicando aún más su capacidad para adaptarse y sostener sus prácticas agrícolas tradicionales.

El estrés hídrico generado es influido significativamente por el cambio climático en la cuenca de Camiña, la que ha experimentado una notable reducción en sus recursos hídricos, refleja una tendencia general observada en Chile (Fernández 2009). Con la investigación se documenta, una pérdida del 77% de los recursos hídricos superficiales disponibles, lo que ha llevado a un estado crítico de escasez. (DGAC, 2020), este fenómeno es el resultado de una combinación de sequías prolongadas y cambios en los patrones de precipitación asociados al cambio climático. Por ejemplo, el año 2023 (IPCC 2023) se caracterizó por un déficit de lluvias significativo, con algunas regiones registrando hasta un -85.9% en comparación con promedios históricos.

Indicadores meteorológicos obtenidos por imágenes satelitales demuestran una correlación entre crisis hídrica, desertificación y adaptación de la comunidad. Los indicadores de crisis hídrica en las comunas de Huara y Camiña son alarmantes. La disponibilidad de agua potable, que es suministrada por la autoridad local (Ilustres Municipalidades de Huara y Camiña) mediante camiones aljibe, se ve comprometida. Estudios realizados en puntos de muestreo revelan que el agua no es apta para el consumo humano, debido a que los parámetros analizados no cumplen con las normativas chilenas.

En la normativa chilena, no se establecen límites específicos para los valores de Conductividad Eléctrica (CE). Sin embargo, la normativa europea (Directiva 98/83/CE) establece un límite máximo permitido de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además, se ha detectado boro en concentraciones que oscilan entre 4,55 y 6,38 ppm (Tabla 9), superando la norma de la OMS de 2,4 ppm y la norma europea de 1 ppm. El boro en el agua de la quebrada proviene de la lixiviación de rocas o la presencia de suelos boratos, acumulados durante el proceso de orogénesis en la cordillera de los Andes debido a la dinámica de las placas tectónicas (Ramos, 2009).

La escasez hídrica se ve agravada por un régimen pluvial extremadamente bajo, con promedios anuales que rondan los 5 mm (Figura 22), lo que ha limitado significativamente la recarga de acuíferos. Este entorno se clasifica como hiperárido según el sistema climático de Köppen (Beck et al., 2023), con una cobertura vegetal limitada a un 0,64% según Landsat 8 y un 0,43% según Sentinel 2 para el año 2023

(Figura 18). Las especies vegetales presentes son aquellas que emergen en la sección hidráulica de la quebrada, como se ha documentado a través de investigaciones con teledetección (Figura 21).

La vulnerabilidad de las comunidades locales es evidente; depende del gobierno local para subsistir y mantener su legado ancestral. A pesar de su resiliencia y capacidad de adaptación al integrar conocimientos ancestrales en la gestión del agua potable, enfrenta desafíos significativos debido a la baja densidad poblacional según el censo del 2017: Camiña tiene una densidad de 0.64 hab/km² y Huara de 0.34 hab/km², con una población aymara que representa el 7,2% del total de comunidades indígenas en Chile.

Este contexto crítico se complica aún más por las políticas estatales que no priorizan un desarrollo local sostenible. La situación se ve exacerbada por el ingreso constante de productos desde Perú y Bolivia, lo que marca un hito en la economía local pero también resalta las desigualdades en el acceso al agua y otros recursos esenciales para estas comunidades en un clima extremo.

Un plan para la mejora de la situación ambiental disminuye el carácter adverso en la cuenca Camiña. permite mitigar los riesgos asociados a la escasez hídrica, los hábitos de los agricultores (Apey et al., 2002) deben centrarse en la diversificación de cultivos, incorporando especies que requieren menos agua o que son más resilientes ante condiciones adversas (Julca-Otiniano et al., 2006). Sin embargo, la desigualdad social representa un desafío significativo, debido a que las comunidades más vulnerables podrían verse desproporcionadamente afectadas por estos cambios debido a su dependencia directa del agua para su subsistencia, por esta razón, la política estatal (Gatica et al., 2015) se orienta hacia la creación de soluciones (Marquet et al., 2019) que busquen mejorar la calidad de vida de los aymara (Heras et al., 2024). Los procesos ecohidrológicos y climáticos en la región andina (Cervantes et al., 2022) son extremadamente sensibles, lo que motiva el estudio de la cuenca de Camiña (Ciren, 2021).

Desde el cerro Tarcarive, que es la fuente de agua tanto superficial como subterránea, se observa que poblaciones como Calatambo experimentan una disminución del caudal superficial durante las épocas de estiaje, situación que se evidencia en la

calidad del agua (Tabla 9) con los valores más altos de los puntos de muestreo de CE 5282 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y de Boro 6.30 ppm. Esto se debe a que el recurso hídrico proveniente aguas arriba, desde el poblado de Camiña y siguiendo por el de Francia, se infiltra y aflora hasta llegar a la población de Corza, aguas abajo. En este sentido, el caudal de la quebrada no es constante; depende a lo largo de su trayectoria de las condiciones geomorfológicas del suelo y de su capacidad para transportar agua bajo el subsuelo.

CONCLUSIONES

1. Las comunidades aymara son fundamentales en el contexto del cambio climático debido a su íntima relación con la naturaleza y su dependencia del agua de la quebrada, recurso vital para su subsistencia. Su proceso de adaptación, actualmente reactivo, debe transformarse en uno proactivo y planificado, en colaboración con las autoridades ambientales. Esto es esencial para mitigar los efectos adversos del cambio climático y asegurar la sostenibilidad de su modo de vida.
2. El análisis de la cuenca de la Quebrada de Camiña ha evidenciado una disminución significativa de las corrientes superficiales desde 1950, con un aumento temporal de la humedad en 2021 que no indica una recuperación sostenible. Esto resalta la necesidad de monitorear y gestionar el recurso hídrico de manera efectiva, considerando las variaciones climáticas y su impacto en la disponibilidad de agua.
3. La cuenca de Camiña se clasifica como desértica hiperárida, con un índice de déficit hidro ambiental de Martonne menor de 5 en el 80% de los períodos analizados. La escasa vegetación, reflejada en un NDVI muy bajo, evidencia la vulnerabilidad del ecosistema y la urgencia de implementar estrategias de conservación y restauración.
4. La variación de temperatura de $+0.25^{\circ}\text{C}$ en la última década ha exacerbado las condiciones climáticas extremas y ha disminuido la biomasa fotosintéticamente activa. Este fenómeno, parte de una tendencia global, afecta la dinámica climática local, generando sequías e inundaciones que requieren atención inmediata.
5. Mejorar las condiciones de la cuenca de Camiña es un desafío que debe inspirarse en ejemplos exitosos internacionales, como la reforestación en Filipinas y la gestión del río Segura en España. En Chile, la creación de consejos de cuenca es un paso positivo hacia una gestión integrada de los recursos hídricos, que debe adaptarse a las particularidades locales y fomentar la participación de los actores comunitarios.
6. La caracterización del agua de la quebrada abre nuevas líneas de investigación, especialmente en la reducción del contenido de boro. Es fundamental que las soluciones para abordar la escasez de agua en la cuenca de Camiña se alineen con los valores y metodologías de la cultura aymara. Esto garantizará la aceptación

comunitaria y la efectividad de las intervenciones, asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

RECOMENDACIONES

1. **Respeto a la identidad cultural:** Cualquier iniciativa destinada a mejorar la situación social y económica de las comunidades aymara debe estar en armonía con sus costumbres y tradiciones. La defensa de su legado social y patrimonial, así como el mantenimiento del espíritu de la Pachamama, son pilares fundamentales de su identidad.

2. **Integración de nuevas tecnologías:** Es esencial abordar los desafíos que enfrentan las comunidades aymara en la adopción de nuevas tecnologías. Las iniciativas deben incluir capacitación adecuada y un enfoque que respete las prácticas culturales y las necesidades específicas de la comunidad, garantizando así la efectividad y aceptación de estas innovaciones.

3. **Innovación en biogenética:** Se recomienda desarrollar variedades de especies nativas que sean adaptables y capaces de retener agua durante las épocas de mayor humedad. Estas nuevas variedades deben ser resistentes a condiciones climáticas adversas, lo que contribuiría a mejorar la salud de la cuenca.

4. **Mejora de la calidad del agua y biodiversidad:** Optimizar las condiciones de la cuenca puede mejorar la calidad del agua en la quebrada y fortalecer especies endémicas como el camarón "*Cryphiops caementarius*". Esto no solo contribuirá a la biodiversidad, sino que también abrirá nuevas oportunidades de cultivo, mejorando la economía familiar.

5. **Fomento de prácticas agrícolas sostenibles:** Para evitar el cultivo en la sección hidráulica de la quebrada, se propone motivar a los comuneros aymara a adoptar el cultivo controlado en invernaderos. Esta práctica optimiza el uso del agua y permite la producción de nuevos productos para la comercialización, beneficiando tanto a la comunidad como al medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, Clayton Alcarde, José Luiz Stape, Paulo Cesar Sentelhas, José Leonardo De Moraes Gonçalves, and Gerd Sparovek. 2013. "Köppen's Climate Classification Map for Brazil." *Meteorologische Zeitschrift* 22(6):711–28. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Andrada, Horacio, and Gabriela Di Barbaro. 2018. "Efecto de La Aplicación de Copolímeros Sobre El Cultivo de Lechuga (*Lactuca Sativa* L.)." *Revista de Ciencias Agrícolas* 35(2):27–35. doi: 10.22267/rcia.183502.89.
- Arancibia, Leonardo. 2021. "Camarón de Río Del Norte *Cryphiops Caementarius*." *BCN, Biblioteca Del Congreso Nacional de Chile*.
- BCN. 2022. *Resolución 256 EXENTA*.
- BCN, and Biblioteca del Congreso Nacional. 2022. "Ley-21435_06-ABR-2022."
- BCN, Biblioteca del Congreso Nacional. 2023. "Constituciones Políticas - Ley Chile - Biblioteca Del Congreso Nacional." Retrieved December 2, 2022 (<https://www.bcn.cl/leychile/constituciones>).
- BCN, Biblioteca Nacional del Congreso. 2005. *Decreto 100 Fija El Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de La Constitución Política de Chile. Ministerio Secretaria General de La Presidencia*. Chile.
- Beck, Hylke E., Tim R. McVicar, Noemi Vergopolan, Alexis Berg, Nicholas J. Lutsko, Ambroise Dufour, Zhenzhong Zeng, Xin Jiang, Albert I. J. M. van Dijk, and Diego G. Miralles. 2023. "High-Resolution (1 Km) Köppen-Geiger Maps for 1901–2099 Based on Constrained CMIP6 Projections." *Scientific Data* 10(1). doi: 10.1038/s41597-023-02549-6.
- Bernstein, Lenny., Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático., Suiza) Organización Meteorológica Mundial (Ginebra, and Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2008. *Cambio Climático 2007 : Informe de Síntesis*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- "Boehm, Sophie", "Schumer, Clea." 2023. "10 Grandes Hallazgos Del Informe Del IPCC de 2023 Sobre El Cambio Climático." *World Resources Institute*.
- Brune, William. 2023. *FUNDAMENTALS OF ATMOSPHERIC SCIENCE*.
- Bunge, Mario. 2014. *La Filosofía de La Investigación Científica En Los Países En Desarrollo*. Vol. 3. 3rd ed. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Cantos, Jorge Olcina, Samuel Biener Camacho, and Javier Martí Talavera. 2020. "Atmospheric and Climatic Aspects in the Expansion of the Pandemic (Covid-19) in the Province of Alicante." *Investigaciones Geograficas* (73):275–97. doi: 10.14198/INGEO2020.OCBCMT.
- Cervantes, Ronal, José Miguel Sánchez, Julio Alegre, Eric Rendón, Jan R. Baiker, Bruno Locatelli, and Vivien Bonnesoeur. 2022. "CONTRIBUCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ALTOANDINOS EN

- LA PROVISIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN HÍDRICA." *Ecología Aplicada* 20(2):137–46. doi: 10.21704/rea.v20i2.1804.
- Céspedes, Cecilia, Ingeniero Paz Agrónomo, Ingeniero Millas, and Cs Agrónomo. 2020. *RELEVANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO*.
- Chuvieco, Emilio. 1996a. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Vol. I. 3rd ed. edited by S. A. RIALP. Madrid.
- Chuvieco, Emilio. 1996b. "Fundamentos de Teledetección Espacial." *Ediciones Rialp.S.A.*
- CONADI. 2023. *Base de Datos de Comunidades Indígenas de Chile*.
- Contreras, German. 2014. *El Primer Principio de La Ley Natural Según Finnis-Grisez Rhonnheimer*. Vol. 10. The Bruce Publishing Company. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-68512014000200018>.
- Covarrubias, Myriam, and Blanca E. Mendoza. 2015. *Posible Relación Entre Los Grupos de Manchas Solares y La Temperatura Global Planetaria a Escala Secular*. México.
- Cutillas, Pedro Pérez, Maria Francesca Cataldo, Demetrio Antonio Zema, Joris de Vente, and Carolina Boix-Fayos. 2018. "Greening-up Effects on Streamflow and Evapotranspiration in Mediterranean Catchments. An Example of Taibilla Catchment (Se Spain)." *Bosque* 39(1):119–29. doi: 10.4067/S0717-92002018000100119.
- Daza, Samir Joaqui, and Apolinar Figueroa. 2014. "Factores Que Determinan La Resiliencia Socio-Ecológica Para La Alta Montaña Andina." *Revista Ingeniería: Universidad de Medellín*, June 27.
- Deza, Jaime Rivasplata. 2012. *Cumbemayo, Cajamarca El Camino Del Agua*. lima.
- DGA, and Circular 1. 2020. *Artículo 314 Código Aguas*.
- DGA, and Dirección estudios y planificación. 2015. *Conceptos Básicos de de Georreferencias y Su Utilización En Las Labores de La Dirección General de Aguas*. Santiago.
- DGAC, Dirección de Metereología de Chile, servicios climáticos. 2020. "Un Invierno Con Lluvias Bajo El Rango Normal Junio-Julio-Agosto : Un Invierno Con."
- Díaz, Manuel, and Pinilla Marta. 1989. "Esquema Historico de La Ingeniería y La Gestión Del Agua En España." *OP* 13:8–23.
- EAMENA. 2019. *GIS TUTORIAL 5: Agriculture and NDVI with GEE*.
- Emile, Renu, John R. Clammer, Palak Jayaswal, and Paribhasha Sharma. 2022. "Addressing Water Scarcity in Developing Country Contexts: A Socio-Cultural Approach." *Humanities and Social Sciences Communications* 9(1). doi: 10.1057/s41599-022-01140-5.
- Escandón, Jorge, Ben DE Jong, Susana Ochoa, Ignacio March, and Miguel Castillo. 1999. "Evaluacion de Dos Métodos Para La Estimación de Biomasa Para Laguna Chiapas-México." *Scielo*.

- Espinoza, Eduardo Freire. 2019. "Las Variables y Su Operacionalización En La Investigación Educativa." Retrieved December 6, 2022 (http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000400171).
- Espinoza, Jorge, Karina Acosta, Esther Chambe, Germán Huayna, Edwin Pino, and Jorge Abad. 2022. "Spatiotemporal Analysis of Urban Heat Islands in Relation to Urban Development, in the Vicinity of the Atacama Desert." *Climate* 10(6). doi: 10.3390/cli10060087.
- Estermann, Josef-Suiza. 2013. "Ecosofía Andina Un Paradigma Alternativo de Convivencia Cósmica y de Vivir Bien." *Suiza FAIA*. Retrieved December 2, 2022 (<https://www.academia.edu/RegisterToDownload/UserTaggingSurvey>).
- Feldmann, Fabio José, Rachel Biderman Furriela, • Traducido, Del Portugués, and Paulina Lobos. 2001. *Cambios Climáticos Globales y El Desafío de La Ciudadanía Planetaria*.
- Fernández, Escalante, Enrique Tragsatec, and Madrid García. 2003. "Recarga Artificial de Acuíferos."
- Fernández, Gustavo. 2009. "Crisis Del Agua En America Latina." *Revista de Estudios Culturales* II.
- Font, Enrique Vivanco. 2019. *Cambio Climático Conceptos e Impactos*.
- Freedman, Young •. n.d. *Física Universitaria CON FÍSICA MODERNA*.
- García, José Molina, and Claudio Moya. 2021. *Anomalías de Arsénico En Aguas y Sedimentos de La Quebrada de Camiña, Región de Tarapacá, Chile; Santiago*.
- Garreaud, René, and José Rutllant. 1997. "Precipitación Estival En Los Andes Central." *Departamento de Geofísica de Universidad de Chile* 191–211.
- Gatica, Alejandro Castro, Alicia Marticorena, Gloria Rojas, Gina Arancio, and Francisco A. Squeo. 2015. "Conservation Status of the Native Flora of the Arica-Parinacota and Tarapacá Regions, Chile." *Gayana. Botánica* 72(2):305–39. doi: 10.4067/S0717-66432015000200013.
- Gatica, Alejandro, Alicia Marticorena, Gloria Rojas, Gina Arancio, and Francisco A. Squeo. 2015. *Estado de Conservación de La Flora Nativa de Las Regiones de Arica-Parinacota y de Tarapacá, Chile*.
- González, Sergio. 2020. "Aplicación de Imágenes Satelites Del Sensor MODIS En La Gestión de Riesgos."
- Hannart, A., M. Ghil, J. L. Dufresne, and P. Naveau. 2012. "The Uncertain Future of Climate Uncertainty." *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*. doi: 10.1029/.
- Heras-Heras, Mayra Carolina, Joana Alexandra Moreno-López, Deisy Valeria Quevedo-Amay, and Santiago Homero Cuichan-Paucar. 2024. "Pérdida de Cobertura Vegetal y Los Cambios de Uso Del Suelo En La Amazonia Ecuatoriana." *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias Del Agro y Mar* 6(10):89–104. doi: 10.35381/a.g.v6i10.3579.

- Herrera, Venecia, Cristian Carrasco, Paola Araneda, Viviana Varas, and Cynthia Rojo. 2019. "Ecological Potential Risk by Arsenic in the Loas's River Mouth, North of Chile." *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 35(3):609–22. doi: 10.20937/RICA.2019.35.03.08.
- Hidrolinea. 2022. "Ministerio de Obras Públicas - Dirección de General de Aguas." Retrieved December 2, 2022 (<https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx>).
- IPCC. 2022. "Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development." Pp. 93–174 in *Global Warming of 1.5°C*. Cambridge University Press.
- IPCC. 2023. "IPCC Informe 2023." *Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático*.
- Jaramillo, Daniel, María Luisa Gómez, Carlos Andrés Moná, Hugo Alberto González, and Fernando Álvarez. 2008. *Variables Físicas Que Explican La Variabilidad de Suelo Aluvial y Su Comportamiento Espacial*. Vol. 46.
- Julca-Otiniano, Alberto, Liliana Meneses-Florián, ; Raúl Blas-Sevillano, and Segundo Bello-Amez. 2006. *La Materia Orgánica, Importancia y Experiencias de Su Uso En La Agricultura Orgánica*. Chile.
- López López, Rutilo, Ramón Arteaga Ramírez, Mario Alberto Vázquez Peña, Irineo López Cruz, and Ignacio Sánchez Cohen. 2009. *ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO COMO UN INDICADOR DEL MOMENTO DE RIEGO EN CULTIVOS AGRÍCOLAS * WATER STRESS INDEX AS AN INDICATOR OF IRRIGATION TIMING IN AGRICULTURAL CROPS*. Vol. 35.
- Marquet, Pablo, Antonio Lara, Adison Altamirano, Coautores Alberto Alaniz, Camila Álvarez, Miguel Castillo, Mauricio Galleguillos, Audrey Grez, Álvaro Gutiérrez, Jorge Hoyos-Santillán, Daniela Manushevich, Rose Marie Garay, Alejandro Miranda, Enrique Ostria, Fernando Peña-Corté, Jorge Pérez-Quezada, Armando Sepúlveda, Javier Simonetti, Cecilia Smith, Francisco Meza, Carlos Zamorano, Ignacio A. Andueza Kovacevic, P Marquet, A Lara, A Altamirano, A. Alaniz, C Álvarez, M Castillo, M Galleguillos, A Grez, Á Gutiérrez, J Hoyos-Santillán, D Manushevich, R M Garay, A Miranda, E Ostria, F. Peña-Cortéz, J Pérez-Quezada, A Sepúlveda, J Simonetti, and C Smith. 2019. *Cambio de Uso Del Suelo En Chile: Oportunidades de Mitigación Ante La Emergencia Climática*.
- Martínez, Eduardo, Yanina Ripoll, Pablo Atencio, and Marcela Ontivero. 2018. "Biodiversidad En América Latina. Un Desafío Dialógico Del Patrimonio Natural Entre Los Recursos y Los Bienes." *Multequina* 27 55–61.
- Martos, Sergio, and Juan Duran. 2022. *SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA EN IBEROAMÉRICA*. España.
- Maturana, Jenny, Mónica Bello, and Michelle Manley. 2004. *Antecedentes Históricos y Descripción Del Fenómeno El Niño, Oscilación Del Sur*.
- Matus, Silvia Saravia, Marina Gil, Elisa Blanco, Alba Llavona, and Lisbeth Naranjo. 2020. "Desafíos Hídricos En Chile y Recomendaciones Para El Cumplimiento Del ODS 6 En América Latina y El Caribe 198 RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO."

- Mendoza, Blanca, Juan Ramírez, and Rosa Díaz. 2006. "EFECTO Actividad SOLAR y Los Seres Vivos." *Ciencia*.
- Mercado, Mancera, Diéguez Troyo, Gómez Aguirre, Amador Murillo, Morales Beltrán, Hernández García, S. C. La Paz, B. C. S. Etroyo04@cibnor Mx, and B. C. S. Gmancera@cibnor Mx. 2010. *Calibration and Application of the De Martonne Aridity Index for the Analysis of Hydric Deficit as an Estimator of Aridity and Desertification in Arid Areas*.
- Meruane, Jaime A., María C. Morales, César A. Galleguillos, Miguel A. Rivera, and Hidetsuyo Hosokawa. 2006. *Experiencias y Resultados de Investigaciones Sobre El Camaron Del Rio Del Norte de Chile CRYPHIOPS CAEMENTARIUS (Molina1782) (Decapoda: Palaemonidae)*. Vol. 70.
- Molina, Raul. 2012. "De Los Pueblos Indigenas de Chile." 39.
- Montes, Prunes Camila. 2023. *Infraestructura Hídrica Compartida*.
- MOP. 2022. "Decreto de Escasez Hídrica Cambios y Nuevos Desafíos." Retrieved December 6, 2022 (<https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalladeNoticias.aspx?item=824>).
- MOP, MINAGRI, MMA, and Minienergía. 2022. *Crisis Hídrica: Un Desafío de Todos*.
- MOP, Ministerio de Obras Publicas. 2020. "Nuevas Normales Climáticas 1991-2020."
- Muñoz, Carpenz Rafael., Rodriguez Axel. Ritter, and Rodriguez Catalina. Tascon. 1999. *La Evaporación Del Agua Del Suelo Bajo Control Atmosférico*. Insitituto Canario de Investigaciones Agrarias.
- Mutanga, Onisimo, and Lalit Kumar. 2019. *Google Earth Engine Applications*. Vol. 11.
- Niemeyer, Hans F. 1982. "Hoyas Hidrográficas de Chile Primera Región." *Hoyas Hidrográficas de Chile* 5–122.
- Núñez, Jorge Cobo, and Koen Verbist. 2010. "'Guía Metodológica Para La Aplicación Del Análisis Regional de Frecuencia de Sequías."
- Núñez, Macarena. 2012. "Cooperativa de Emprendimiento Camiña : Puesta En Valor de La Agricultura de La Quebrada de Camiña." Retrieved December 1, 2022 (<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112651>).
- OMM. 2010. "El Estado Del Clima Mundial 2001 – 2010. Un Decenio de Fenómenos Climáticos Extremos." 20.
- Paicho Hidalgo, Maritza, Mónica Meza Aliaga, Guillermo Espinoza González, and Carolina Vera Burgos. 2015. *Impacto de Eventos Aluvionales, Sobre Humedales de Quebrada: Caso de Altuza e Iquiuca-Parca. Región de Tarapacá (Chile)*. Vol. 6.
- Paicho, Maritza, Mónica Meza, Guillermo Espinoza, and Carolina Vera Burgos. 2015. *Impacto de Eventos Aluvionales Sobre Humedales de Quebrada: El Caso de Altuza de Iquiuca-Parca, Región de Tarapacá-Chile*. Vol. 6.

- Pastén, Pablo, Alejandra Vega, Paula Guerra, Jaime Pizarro, and Katherine Lizama. 2019. "Calidad Del Agua En Chile." *Repositorio Universidad de Chile*.
- Pastor, Alvar. 2013. *REVISTA DE GEOGRAFÍA ESPACIOS*. Vol. 3.
- Peña, Vicente Manjarrez, and Jorge Anibal M. Vilchis. 2018. "Automatización Para El Cálculo Del Índice de Aridez, En Un Ambiente SIG." Retrieved December 1, 2022 (<https://pdfcoffee.com/qdownload/indice-de-aridez-en-ambiente-sig-pdf-free.html>).
- Pino, Edwin, and Eduardo Chávarri. 2022. "Evidence of Climate Change in the Hyper-Arid Region of the Southern Coast of Peru, Head of the Atacama Desert." *Tecnología y Ciencias Del Agua* 13(1). doi: 10.24850/J-TYCA-2022-01-08.
- Pino, Edwin, Eduardo Chávarri, Eusebio Ingol, Fabricio Mejía, Ana Cruz, and Alissa Vera. 2022. "Impacts of Climate Change and Variability on Precipitation and Maximum Flows in Devil's Creek, Tacna, Peru." *Hydrology* 9(1). doi: 10.3390/hydrology9010010.
- Pino, Edwin V. 2021. "Conflictos Por El Uso Del Agua En Una Región Árida: Caso Tacna, Perú." 65(Usos del agua):405–15.
- Pinto, Luisa, Gérard Héral, and Reynaldo Charrier. 2004. "Sedimentación Sintectónica Asociada a Las Estructuras Neógenas En La Precordillera de La Zona de Moquella, Tarapacá (19°15'S, Norte de Chile)." *Revista Geológica de Chile* 31(1):19–44. doi: 10.4067/S0716-02082004000100002.
- Quinteros, Carabalí Joffre Alejandro, García Javier Gómez, Michelle Solano, Gabriela Llumiquinga, Christian Burgos, and David Carrera-Villacrés. 2019. "Evaluación de La Calidad de Agua Para Riego y Aprovechamiento Del Recurso Hídrico de La Quebrada Toglahuayco." *Siembra* 6(2):046–057. doi: 10.29166/siembra.v6i2.1641.
- Quiroga Martínez, Rayén. 2007. *Indicadores Ambientales y de Desarrollo Sostenible : Avances y Perspectivas Para América Latina y El Caribe*. CEPAL. CEPAL.
- Ramírez, Iván. 2023. "El Niño, La Salud y La Vulnerabilidad Ecosindémica En América Latina." *Divulgación Científica* 10(12).
- Sancha, Ana María. 1997. *Estudio de Caso: Contaminación Por Arsénico En El Norte de Chile y Su Impacto En El Ecosistema y La Salud Humana*. Chile.
- Sierra, Pablo, Adolfo Pérez, Odil Durán, Blanca Castellanos, and Juan Zaldivar. 2015. *Aspectos a Valorar Dentro de La Bioeconomía y Su Sendero Eco-Intensificación Del Buen Desempeño de La Actividad Apícola Ante La Variabilidad de La Actividad Solar y Geomagnética y Los Cambios Climáticos*. México.
- SNI. 2022. *Ministerio de Desarrollo Social y Familia*. Chile.
- SNU, Naciones Unidas en Chile. 2021. *Escasez Hídrica En Chile: Desafíos Pendientes*. SNU, FAO, PNUMA, PNUD, PMA, UNESCO.
- Takahashi, Ken, and Oscar Obando. 2019. "Sequía En Lugares Altoandinos de Perú 1983-2000." *SENAMHI*.

- Taucare, Matías Toro. 2015. "Hidrogeología y Aplicación Del Método TEM Para El Reconocimiento de Acuíferos En La Quebrada de Camiña Región de Tarapacá Chile." Universidad Católica del Norte, Antofagasta.
- Torregosa, María. 2017. "El Conflicto Del Agua."
- UNEP-WCMC. 2006. *El Estado de La Biodiversidad En América, Una Evaluación Del Avance Hacia Las Metas de AICHI Para Diversidad Biológica*. edited by E. Maruma and A. Pacheco. Cambridge, Reino Unido: UNEP.
- Unidas, Naciones. 2020. *Temas Estadísticos de La CEPAL No 2. La Pérdida de Los Bosques de América Latina y El Caribe 1990-2020: Evidencia Estadística*.
- Uribe, Hamil. n.d. "Como Evitar Aguas En Canales de Riego." *ONIA Quilamapu*.
- Valdéz-Holguín, J. E., and J. R. Lara-Lara. 1987. "Primary Productivity In The Gulf Of California Effects Of El Niño 1982-1983 Event." *Ciencias Marinas* 13(2):34–50. doi: 10.7773/cm.v13i2.533.
- Wan, Z. , S. ,. Hulley, G. 2004. "Temperature / Emissivity Daily L3 Global 1 Km SIN Grid V061." *EOSDIS de La NASA*.
- Xenos, Nicholas. 1989. *Scarcity and Modernity*. Vol. 1. 1st ed. edited by Routledge. London, new York: Routledge Library Editions.
- Zamora, Marisela. 2015. *Cambio Climático*. México.

<https://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/631/w3-article-331550.html> . Accedido en 22/9/2024

<http://silosdeagua.cl/>

<http://www.climat-en-questions.fr/reponse/evolution-actuelle/temperature-globale-par-alexis-hannart>

<http://www.gisandbeers.com/componer-visualizar-imagenes-en-google-earth-engine/>

<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-del-sol>

<http://www.puttop.top/object.php?u=http://www.odea.cl/&title=CIDERH%20-%20Observatorio%20del%20Agua>

<https://>

https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-05/Day2_P5_Esp.pdf

<https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/1066b1ac-3eb2-47d0-ae91-4f83cfbcaa33>

<https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/9124>

<https://catalogos.conae.gov.ar/TERRA/default3.asp>

<https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/preguntas-frecuentes/el-sol-esta-causando-el-calentamiento-global/>

<https://cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-tarapaca/el-aumento-del-rio-camina-que-amenazo-con-desbordarse/2024-02-29/083651.html>

<https://cordis.europa.eu/article/id/31872-weaker-sun-would-not-slow-global-warming-say-researchers/es>

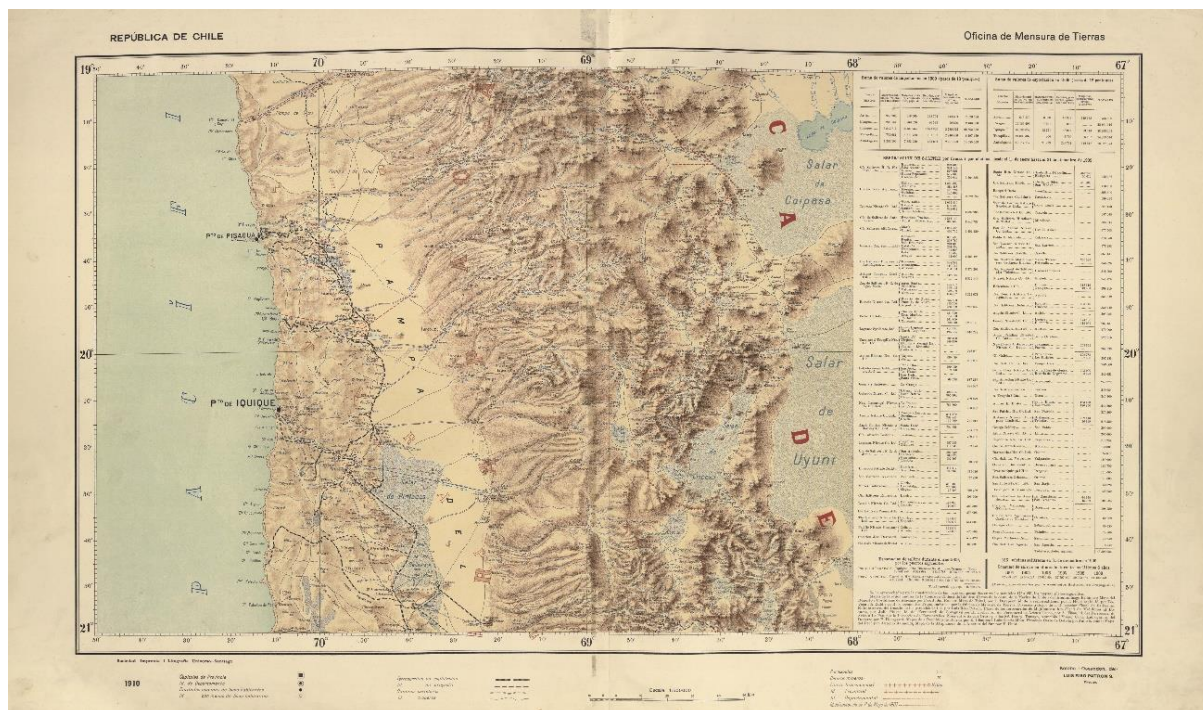
<https://ellibero.cl/tribuna/recarga-de-acuiferos-en-chile-que-estamos-esperando/>

<https://ellibero.cl/tribuna/recarga-de-acuiferos-en-chile-que-estamos-esperando/>
<https://es.statista.com/grafico/31943/relacion-proyectada-entre-la-demanda-y-la-disponibilidad-de-agua--nivel-de-estres-hidrico-/>
<https://es.wri.org/insights/10-grandes-hallazgos-del-informe-del-ipcc-de-2023-sobre-el-cambio-climatico>
<https://lpdaac.usgs.gov/products/myd11a1v061/>
<https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10404/795063.2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
https://snia.mop.gob.cl/dgasat/pages/dgasat_main/dgasat_main.htm
<https://uchile.cl/u177118>
<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/07/29/avances-matanza-riachuelo>
<https://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/visor/BND:331550>
<https://www.ciperchile.cl/2021/07/02/como-mejorar-la-institucionalidad-hidrica-en-chile/>
<https://www.fao.org/news/countries-good-practices/article/es/c/1644560/>
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-28132012000200001&script=sci_arttext
[mapas2.mop.gob.cl/.](https://mapas2.mop.gob.cl/)

ANEXO 1

Figura 35

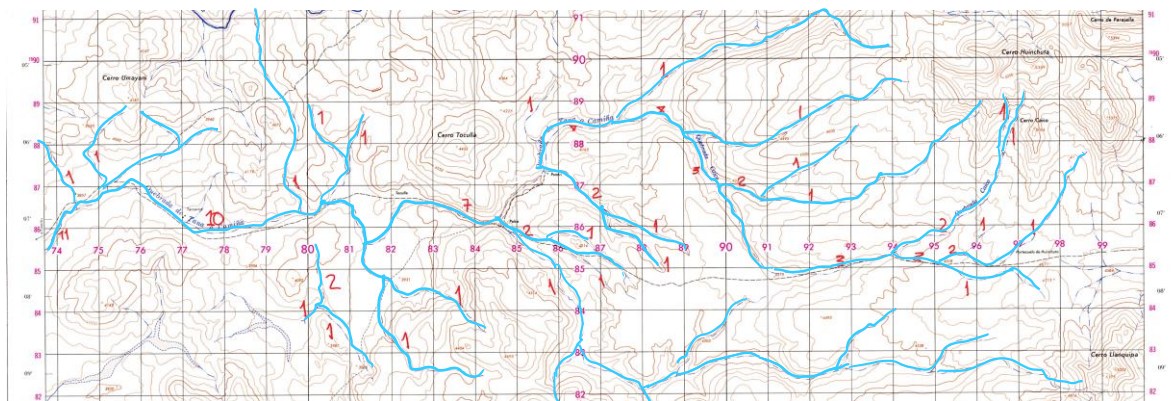
Mapa de Mensura de tierras de 1910



Nota. Información base obtenida del BNC, incluye los primeros registros de las corrientes superficiales de agua de la cuenca de Camiña, entre otras del año 1910.

Figura 36

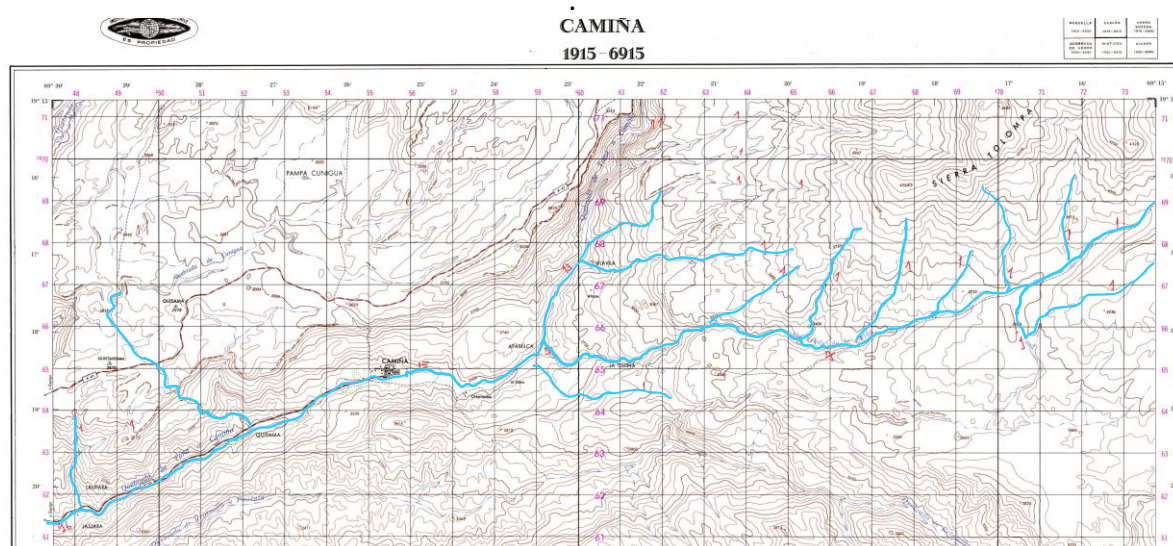
Mapa N° 1900-6000 Cuenca hidrográfica camiña



Nota. Información base obtenida del Instituto Cartográfico Militar, Chile 1970.

Figura 37

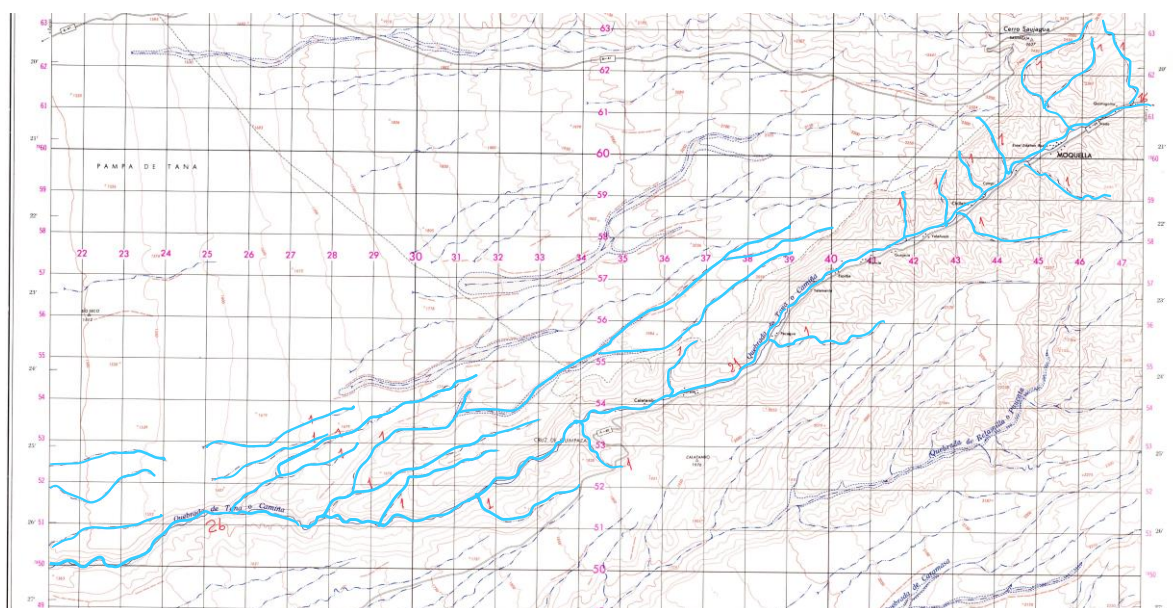
Mapa N° 1915-6915 cuenca hidrográfica de camiña



Nota. Información base obtenida del Instituto Cartográfico Militar, Chile 1970.

Figura 38

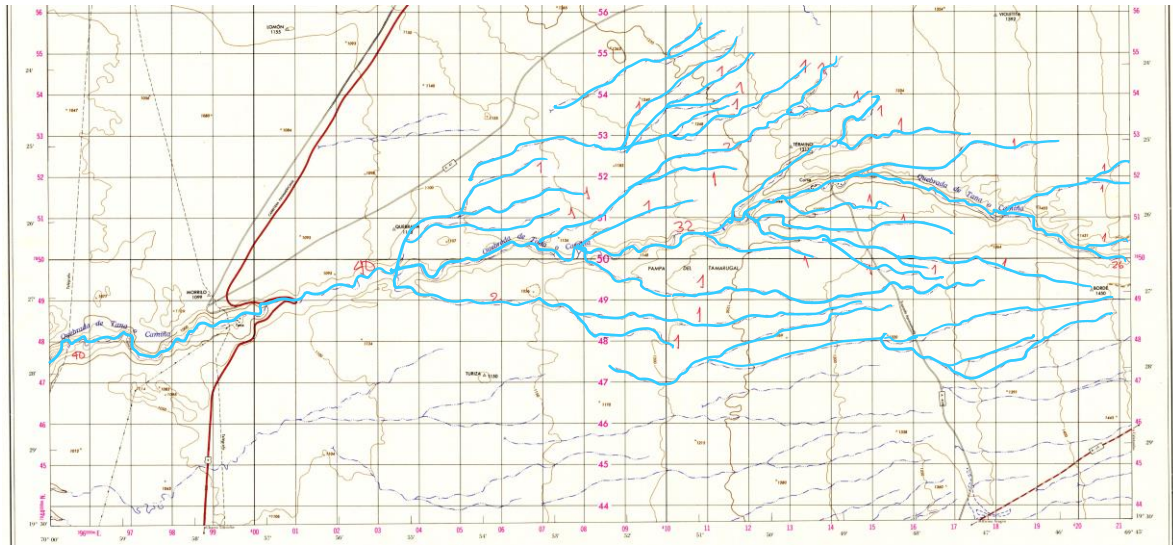
Mapa N° 1915- 6930 cuenca hidrográfica de camiña



Nota. Información base obtenida del Instituto Cartográfico Militar, Chile 1970

Figura 39

Mapa N° 1915-6945 cuenca hidrográfica de camiña

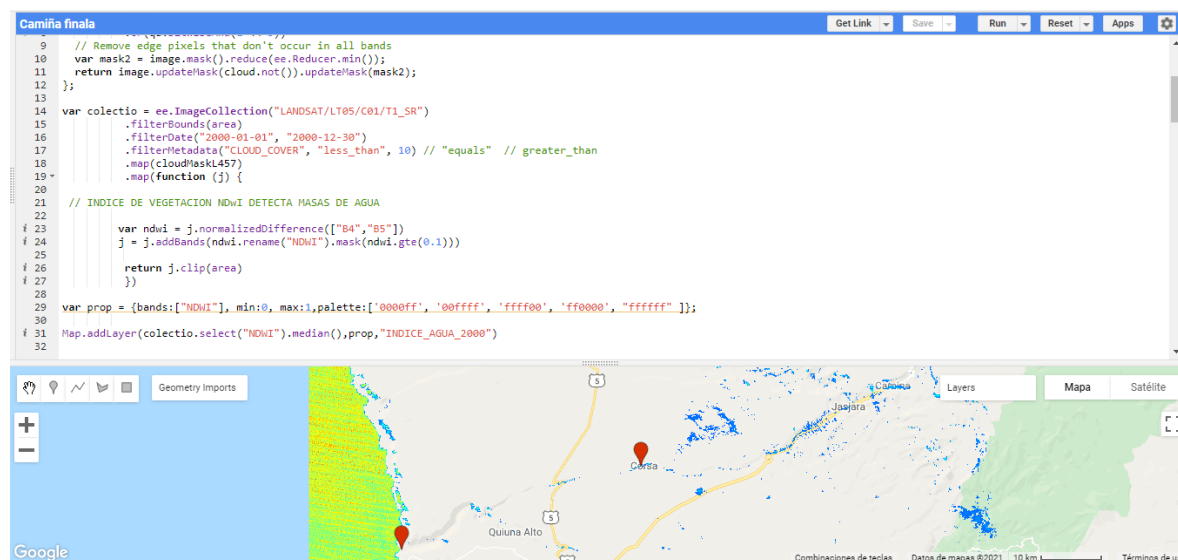


Nota. Información base obtenida del Instituto Cartográfico Militar, Chile 1970

ANEXO 2

Figura 40

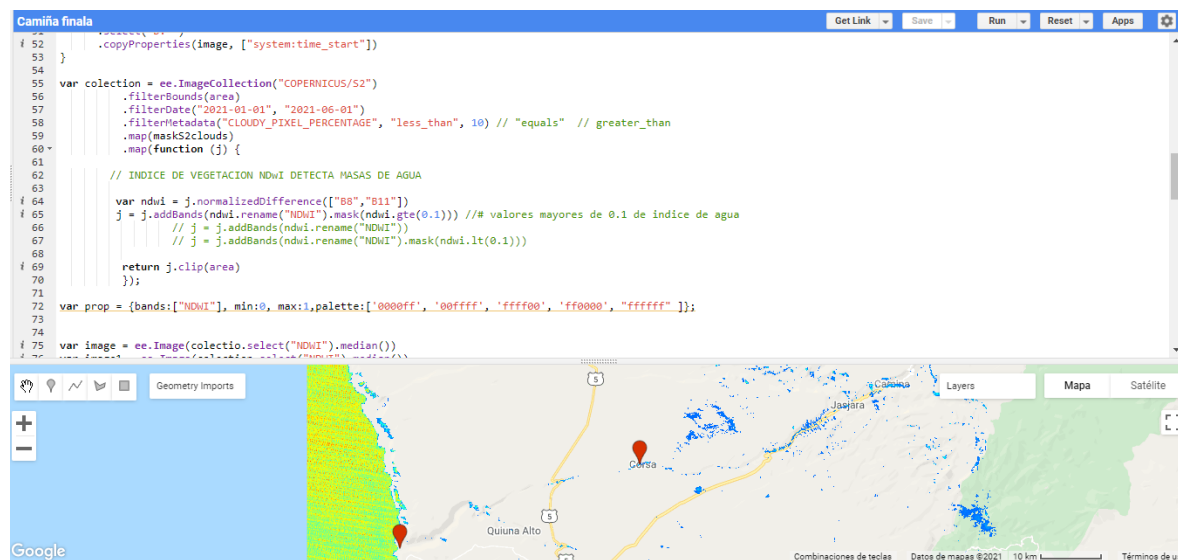
Imagen Landast LT05 periodo año 2000



Nota. Obtenida de Google Earth Engine año 2000 incluye algoritmo

Figura 41

Imagen Copernicus S2 periodo 2021



Nota. Obtenida de Google Earth Engine de Copernicus S2-año 2021

ANEXO 3

Tabla 12

% de humedad de Tarcarive

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frec.Relat acumulada
		-3.000		0.000	0.000	0.000	0.000
1	-3.000	2.667	-0.167	367.000	0.209	367.000	0.209
2	2.667	9.333	6.000	614.000	0.350	981.000	0.559
3	9.333	16.000	12.667	661.000	0.376	1,642.000	0.935
4	16.000	22.667	19.334	28.000	0.016	1,670.000	0.951
5	22.667	29.333	26.000	22.000	0.013	1,692.000	0.964
6	29.333	36.000	32.667	24.000	0.014	1,716.000	0.977
7	36.000	42.667	39.334	11.000	0.006	1,727.000	0.984
8	42.667	49.333	46.000	10.000	0.006	1,737.000	0.989
9	49.333	56.000	52.667	12.000	0.007	1,749.000	0.996
10	56.000	62.667	59.334	6.000	0.003	1,755.000	0.999
11	62.667	69.333	66.000	1.000	0.001	1,756.000	1.000
12	69.333	76.000	72.667	0.000	0.000	1,756.000	1.000
	above	76.000		0.000	0.000	1,756.000	1.000

Nota. Fuente: DGA: https://snia.mop.gob.cl/dgasat/pages/dgasat_main/dgasat_main.htm

Tabla 13

Precipitaciones Máx. Anuales en 24hrs-IDHA, IDDH

AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)	Temperatura máx	Kc	IDHA	IDDH
1977	01/04	0.00	29.70	0.45	0.00	10.00
1978	01/01	0.00		0.45	0.00	10.00
1979	01/04	0.00		0.45	0.00	10.00
1980	15/02	5.00		0.45	0.23	9.78
1981	23/02	2.00		0.45	0.09	9.91
1982	17/06	2.00		0.45	0.09	9.91

1983	10/06	4.00		0.45	0.18	9.82
1984	09/03	26.00		0.45	1.17	8.83
1985	18/12	3.00		0.45	0.14	9.87
1988	01/09	0.00		0.45	0.00	10.00
1989	04/02	6.70		0.45	0.30	9.70
1990	17/02	95.50		0.45	4.30	5.70
1991	09/01	4.00		0.45	0.18	9.82
1992	23/12	5.50		0.45	0.25	9.75
1993	18/01	1.50		0.45	0.07	9.93
1994	18/01	0.50		0.45	0.02	9.98
1995	14/03	4.00		0.45	0.18	9.82
1996	28/08	16.00		0.45	0.72	9.28
1997	18/01	18.50		0.45	0.83	9.17
1998	01/03	0.00		0.45	0.00	10.00
1999	02/02	15.00		0.45	0.68	9.33
2000	20/02	7.00	17.55	0.45	0.11	9.89
2006	16/12	5.20		0.45	0.23	9.77
2007	09/01	9.90		0.45	0.45	9.55
2008	11/01	16.70		0.45	0.75	9.25
2009	01/06	0.00		0.45	0.00	10.00
2010	23/05	3.80	29.70	0.45	0.04	9.96
2011	04/07	14.00	30.30	0.45	0.16	9.84
2012	01/01	17.80	30.20	0.45	0.20	9.80
2013	19/01	15.00	30.00	0.45	0.17	9.83
2014	24/05	11.40		0.45	0.51	9.49
2015	06/05	19.00		0.45	0.86	9.15
2016	23/02	16.80		0.45	0.76	9.24
2017	11/01	12.10		0.45	0.54	9.46
2018	15/02	12.40		0.45	0.56	9.44
2019	01/11	10.50		0.45	0.47	9.53
2020	01/01	999.90	13.60	0.45	19.07	-9.07
2021		38.21	18.00	0.45	0.61	9.39
2022	06/03	66.10	24.00	0.45	0.87	9.13

Nota. Estación Camiña 3 Km aguas arriba de Tarcarive, código BNA 01610004-6 latitud 19° 07' 02", UTM norte 7886124m, UTM este 474328.

Tabla 14*Temperatura máxima mensual del 2013 a 2023 con el LANDSAT/LC08/C02*

Máx. de TEMP. °C	AÑO											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total general
ene		45.11	48.40	49.49	48.92	51.68	50.82	46.27	49.87	47.34	50.52	51.68
feb		47.64	46.48	48.65	49.25	42.15	51.66	49.58	46.45	42.87	47.56	51.66
mar	45.89	43.75	49.37	50.48	46.10	46.63	47.13	50.37	43.80	46.35	47.84	50.48
abr	45.71	43.46	41.19	42.79	41.24	43.64	39.83	40.15	38.90	44.34	46.37	46.37
may	37.14	38.59	40.95	38.62	34.23	38.03	39.39	40.31	40.00	39.92	41.34	41.34
jun	34.94	36.13	37.57	36.54	34.51	31.32	37.58	34.21	36.09	35.45	34.59	37.58
jul	35.53	37.45	33.51	34.76	37.85	33.19	33.45	34.87	39.17	34.33	36.44	39.17
ago	41.74	41.30	40.38	42.98	38.37	43.30	39.62	36.95	41.60	40.22	42.97	43.30
sept	46.19	47.83	45.61	47.32	50.55	41.21	46.14	46.10	35.10	44.86		50.55
oct	49.34	54.06	47.40	46.81	49.66	49.77	44.50	48.90	50.98	48.80		54.06
nov	49.12	47.57	49.00	49.66	48.53	48.60	52.31	49.77	50.93	51.71		52.31
dic	51.43	48.85	51.95	52.15	48.21	47.90	49.40	50.42	49.03	52.16		52.16
Total, general	51.43	54.06	51.95	52.15	50.55	51.68	52.31	50.42	50.98	52.16	50.52	54.06
Variación de temperatura respecto a 2013		2.63	0.52	0.72	-0.87	0.25	0.88	-1.01	-0.45	0.73	-0.90	0.25

Nota. Obtenida de GEE LANDSAT/LC08/C02

Tabla 15*Temperatura mínima mensual del 2013 a 2023 con el LANDSAT/LC08/C02*

Mín. de TEMP. °C	AÑO											Total general
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Ene		4.38	2.75	41.08	3.81	36.68	3.76	4.73	4.18	38.82	42.84	2.75
Feb		34.80	34.05	15.30	5.04	3.20	3.59	4.58	3.72	27.05	0.04	0.04
mar	31.51	4.55	3.80	3.74	2.82	38.14	33.79	30.97	38.20	29.16	3.04	2.82
abr	34.83	4.36	2.28	3.74	0.37	3.33	2.86	31.91	3.98	2.77	3.60	0.37
may	25.08	21.22	3.53	30.42	12.39	2.05	18.91	32.58	4.10	28.86	0.26	0.26
jun	2.59	0.03	18.53	3.13	1.68	16.94	27.11	3.20	2.81	19.42	2.28	0.03
jul	1.51	0.28	0.32	2.46	28.57	1.60	18.78	0.33	22.01	2.80	19.87	0.28
ago	1.70	2.45	3.96	19.54	20.68	3.86	3.70	2.20	3.55	3.07	26.23	1.70
sept	26.65	32.71	4.16	4.04	0.29	36.26	4.16	4.39	3.27	26.99		0.29
oct	4.67	43.10	22.45	4.20	3.22	4.98	36.04	4.33	5.03	2.88		2.88
nov	4.30	36.81	4.56	36.08	4.84	4.38	36.01	42.86	4.27	2.24		2.24
dic	5.18	41.44	5.20	3.70	36.17	2.66	5.17	4.36	4.18	4.41		2.66
Total, general	1.51	0.03	0.32	2.46	0.29	1.60	2.86	0.33	2.81	2.24	0.04	0.03
Variación de temperatura respecto a 2013		-1.48	-1.20	0.95	-1.22	0.09	1.35	-1.18	1.30	0.73	-1.47	-0.21

Nota. Obtenida de GEE LANDSAT/LC08/C02

Tabla 16*Datos de temperatura máxima del periodo 2001 a 2023 con el MODIS/061/MOD11A2*

Nº día del añ	Min. de 2001	Min. de 2002	Min. de 2003	Min. de 2004	Min. de 2005	Min. de 2006	Min. de 2007	Min. de 2008	Min. de 2009	Min. de 2010	Min. de 2011	Min. de 2012	Min. de 2013	Min. de 2014	Min. de 2015	Min. de 2016	Min. de 2017	Min. de 2018	Min. de 2019	Min. de 2020	Min. de 2021	Min. de 2022	Min. de 2023
Del día 1 a 150	3.38	1.69	0.20	2.33	3.18	0.18	2.36	0.27	2.71	1.97	2.80	3.39	19.49	3.35	2.92	0.00	17.95	20.86	2.67	3.37	2.42	3.41	2.52
1	35.51	33.21	31.04	33.05	34.48	34.64	33.81	34.23	34.02	32.16	34.55	34.05	33.78	35.42	31.87	34.52	34.31	31.82	35.85	34.85	34.65	3.41	33.20
9	3.38	34.22	27.26	33.40	33.62	34.80	33.38	0.34	32.78	33.66	37.30	3.39	35.40	31.62	11.31	35.62	34.32	32.94	34.72	34.69	3.28	35.73	31.80
17	34.09	34.91	31.70	34.61	35.16	32.76	35.45	32.93	30.88	29.54	32.87	35.25	31.36	36.41	36.49	35.13	34.45	32.41	34.65	36.60	33.86	33.57	31.25
25	32.50	32.82	34.68	32.00	31.99	31.79	34.08	3.36	30.69	33.24	33.29	33.86	34.97	3.35	29.96	34.94	35.73	31.06	32.89	31.51	32.14	34.17	32.47
33	32.95	29.98	30.06	32.40	31.53	3.31	34.37	34.55	3.15	32.03	32.04	32.67	35.43	34.96	31.73	35.93	34.84	31.99	29.78	33.89	3.47	33.46	31.50
41	31.59	32.54	32.81	32.65	32.14	33.60	30.20	31.17	32.11	32.71	35.33	34.56	34.14	34.81	35.18	34.92	32.85	31.93	33.86	3.37	32.86	32.39	31.75
49	35.02	32.23	29.74	29.05	32.55	33.43	3.27	33.36	30.09	32.46	30.83	32.73	32.73	33.50	33.29	0.00	33.50	32.00	32.06	31.97	32.09	32.78	31.06
57	30.99	31.33	28.89	32.49	31.08	32.68	2.99	3.22	33.16	31.64	34.41	32.11	31.73	30.41	32.69	26.74	34.63	27.20	30.08	28.27	3.00	31.86	30.26
65	31.64	30.51	3.11	30.74	3.18	30.31	29.96	32.02	30.75	30.50	31.40	29.94	29.64	29.44	28.27	28.42	32.11	31.28	31.41	28.47	27.10	29.77	29.30
73	32.44	31.67	29.59	27.29	31.45	30.00	31.06	29.65	29.32	30.42	30.45	31.65	29.67	28.54	30.08	34.13	30.41	29.91	28.12	21.74	29.96	30.37	28.39
81	29.32	23.89	31.59	19.93	29.28	25.78	30.32	28.52	28.80	28.54	28.61	28.29	28.33	24.20	2.92	29.65	29.55	29.23	2.67	30.90	30.28	26.44	27.50
89	30.45	29.54	25.82	28.00	18.05	24.03	28.21	26.99	27.88	28.34	2.80	28.67	28.74	28.11	28.65	28.43	29.06	27.42	27.79	30.02	2.79	23.00	2.52
97	29.00	27.60	10.23	27.86	25.99	2.58	27.37	0.27	27.82	27.25	27.04	26.30	26.21	27.86	29.00	2.76	28.20	28.67	27.67	26.75	26.78	25.33	25.23
105	24.69	26.86	25.13	24.53	24.23	2.54	24.92	25.20	23.23	27.20	26.79	25.49	26.58	25.60	26.91	28.46	28.18	22.05	26.00	27.83	25.16	25.17	24.80
113	23.96	25.03	22.24	2.33	24.40	24.53	24.08	24.02	2.71	23.92	24.40	26.54	24.32	23.78	24.24	24.24	24.22	23.97	25.04	27.17	25.29	23.65	25.05
121	23.37	21.19	22.65	22.65	16.84	23.55	2.36	22.98	21.75	23.14	19.80	21.20	25.25	17.47	23.13	24.09	24.26	23.78	23.67	24.43	2.42	21.49	22.47
129	21.70	1.69	0.20	18.21	19.43	22.08	21.02	21.70	22.32	18.54	24.16	23.46	24.56	23.44	24.89	23.30	22.35	22.21	21.84	21.95	23.27	24.12	20.84
137	22.96	21.58	19.06	20.93	20.29	0.18	20.20	21.73	21.22	1.98	22.52	21.71	20.43	20.46	19.49	20.91	17.95	21.02	20.20	21.73	21.88	21.07	20.95
145	21.75	15.36	8.50	19.50	17.43	19.07	19.51	16.12	21.99	1.97	21.00	21.65	19.49	21.28	19.38	21.95	19.27	20.86	20.39	18.81	20.73	19.98	19.62
Del día 251 al 365	1.74	2.16	2.49	0.03	9.40	22.38	2.62	0.35	23.32	0.90	0.15	0.29	25.19	24.82	2.78	0.00	0.32	2.55	22.71	0.81	3.44	0.24	2.60
257	25.77	24.71	24.08	2.46	24.45	26.90	24.63	27.56	25.98	26.86	21.26	25.21	25.19	24.82	2.78	24.27	25.56	2.62	27.08	2.46	26.87	0.24	2.60
265	24.42	2.16	26.30	25.04	25.65	22.38	2.62	25.16	25.94	27.12	2.58	2.64	27.42	25.79	27.25	0.00	26.41	26.67	29.07	27.28	29.11	25.41	27.10
273	24.91	27.07	24.82	17.08	29.33	28.51	28.62	27.66	27.33	2.68	26.12	26.29	28.46	29.88	24.74	29.97	27.06	28.69	28.77	2.74	28.41	28.99	27.93
281	29.56	28.49	27.70	26.95	26.79	29.35	2.77	25.66	30.29	25.28	27.39	25.79	25.79	28.59	28.32	30.13	29.14	27.63	28.41	30.05	30.52	26.74	28.34
289	25.45	30.04	31.39	0.03	29.97	30.69	31.65	28.77	30.83	29.98	17.70	30.95	29.18	30.34	28.23	3.08	29.72	31.90	31.09	3.00	29.71	0.24	29.43
297	31.71	29.61	29.24	31.32	30.23	32.20	32.51	30.37	28.39	30.57	30.65	0.29	29.97	32.67	31.50	33.54	28.11	30.69	31.42	32.32	32.08	26.78	29.47
305	2.15	29.49	28.43	31.99	30.97	30.66	30.80	27.12	32.67	31.55	3.16	9.72	33.50	33.61	32.26	32.32	30.00	32.56	33.35	31.15	31.70	27.27	3.32
313	31.69	32.29	31.03	32.77	18.15	33.19	32.52	29.82	31.85	33.15	32.33	3.25	32.95	26.51	33.50	32.00	33.25	33.68	31.80	0.81	34.14	30.93	31.80
321	31.81	31.86	26.69	3.20	33.62	32.88	34.02	35.06	34.25	32.77	31.69	33.92	32.09	32.98	31.92	35.04	30.49	34.47	35.79	33.16	27.50	16.67	30.47
329	30.83	27.80	30.58	33.60	32.95	32.52	33.23	3.23	32.52	31.80	31.11	34.22	30.52	32.43	3.51	3.69	33.54	2.55	35.06	33.67	32.61	13.51	32.24
337	32.82	33.27	34.51	34.39	34.44	30.61	33.19	0.35	30.70	32.90	3.22	36.05	35.53	31.77	33.11	3.56	30.47	35.78	22.71	26.86	34.74	3.40	31.72
345	31.59	28.05	3.35	33.75	36.89	32.67	34.30	32.54	23.32	33.83	31.76	34.59	34.27	33.53	33.30	35.52	0.32	35.17	32.18	33.50	34.28	32.28	31.25
353	34.68	33.08	2.49	33.88	9.40	32.92	25.95	33.83	32.97	3.44	33.45	37.27	34.84	34.95	33.50	34.89	30.95	36.47	34.39	3.39	33.92	34.20	34.15
361	1.74	33.39	3.20	26.25	31.34	33.38	34.04	34.38	33.88	0.90	0.15	34.33	36.15	35.53	32.81	37.37	35.11	34.35	30.32	35.59	3.44	30.95	32.14
Tempera tura mínima del año	1.74	1.61	0.20	0.03	0.16	0.18	2.08	0.27	2.71	0.90	0.15	0.29	2.06	1.85	2.14	0.00	0.32	2.35	1.83	0.81	2.03	0.24	2.52

Nota. Información obtenida de GEE de la colección de imágenes del MODIS/061/MOD11A2, para la zona de la Cuenca de Camiña

Tabla 17

Datos de temperatura mínima del periodo 2001 a 2023 con el MODIS/061/MOD11A2

Nº día del año	Máx. de 2001	Máx. de 2002	Máx. de 2003	Máx. de 2004	Máx. de 2005	Máx. de 2006	Máx. de 2007	Máx. de 2008	Máx. de 2009	Máx. de 2010	Máx. de 2011	Máx. de 2012	Máx. de 2013	Máx. de 2014	Máx. de 2015	Máx. de 2016	Máx. de 2017	Máx. de 2018	Máx. de 2019	Máx. de 2020	Máx. de 2021	Máx. de 2022	Máx. de 2023
Del día 1 a 150	35.51	34.91	34.68	34.61	35.16	34.80	35.45	34.55	34.02	33.66	37.30	35.25	35.43	36.41	36.49	35.93	35.73	32.94	35.85	36.60	34.65	35.73	33.20
1	35.51	33.21	31.04	33.05	34.48	34.64	33.81	34.23	34.02	32.16	34.55	34.05	33.78	35.42	31.87	34.52	34.31	31.82	35.85	34.85	34.65	3.41	33.20
9	3.38	34.22	27.26	33.40	33.62	34.80	33.38	0.34	32.78	33.66	37.30	3.39	35.40	31.62	11.31	35.62	34.32	32.94	34.72	34.69	3.28	35.73	31.80
17	34.09	34.91	31.70	34.61	35.16	32.76	35.45	32.93	30.88	29.54	32.87	35.25	31.36	36.41	36.49	35.13	34.45	32.41	34.65	36.60	33.86	33.57	31.25
25	32.50	32.82	34.68	32.00	31.99	31.79	34.08	3.36	30.69	33.24	33.29	33.86	34.97	3.35	29.96	34.94	35.73	31.06	32.89	31.51	32.14	34.17	32.47
33	32.95	29.98	30.06	32.40	31.53	3.31	34.37	34.55	3.15	32.03	32.04	32.67	35.43	34.96	31.73	35.93	34.84	31.99	29.78	33.89	3.47	33.46	31.50
41	31.59	32.54	32.81	32.65	32.14	33.60	30.20	31.17	32.11	32.71	35.33	34.56	34.14	34.81	35.18	34.92	32.85	31.93	33.86	3.37	32.86	32.39	31.75
49	35.02	32.23	29.74	29.05	32.55	33.43	3.27	33.36	30.09	32.46	30.83	32.73	32.73	33.50	33.29	0.00	33.50	32.00	32.06	31.97	32.09	32.78	31.06
57	30.99	31.33	28.89	32.49	31.08	32.68	2.99	3.22	33.16	31.64	34.41	32.11	31.73	30.41	32.69	26.74	34.63	27.20	30.08	28.27	3.00	31.86	30.26
65	31.64	30.51	3.11	30.74	3.18	30.31	29.96	32.02	30.75	30.50	31.40	29.94	29.64	29.44	28.27	28.42	32.11	31.28	31.41	28.47	27.10	29.77	29.30
73	32.44	31.67	29.59	27.29	31.45	30.00	31.06	29.65	29.32	30.42	30.45	31.65	29.67	28.54	30.08	34.13	30.41	29.91	28.12	21.74	29.96	30.37	28.39
81	29.32	23.89	31.59	19.93	29.28	25.78	30.32	28.52	28.80	28.54	28.61	28.29	28.33	24.20	2.92	29.65	29.55	29.23	2.67	30.90	30.28	26.44	27.50
89	30.45	29.54	25.82	28.00	18.05	24.03	28.21	26.99	27.88	28.34	2.80	28.67	28.74	28.11	28.65	28.43	29.06	27.42	27.79	30.02	2.79	23.00	2.52
97	29.00	27.60	10.23	27.86	25.99	2.58	27.37	0.27	27.82	27.25	27.04	26.30	26.21	27.86	29.00	2.76	28.20	28.67	27.67	26.75	26.78	25.33	25.23
105	24.69	26.86	25.13	24.53	24.23	2.54	24.92	25.20	23.23	27.20	26.79	25.49	26.58	25.60	26.91	28.46	28.18	22.05	26.00	27.83	25.16	25.17	24.80
113	23.96	25.03	22.24	2.33	24.40	24.53	24.08	24.02	2.71	23.92	24.40	26.54	24.32	23.78	24.24	24.24	26.22	23.97	25.04	27.17	25.29	23.65	25.05
121	23.37	21.19	22.65	22.65	16.84	23.55	2.36	22.98	21.75	23.14	19.80	21.20	25.25	17.47	23.13	24.09	24.26	23.78	23.67	24.43	2.42	21.49	22.47
129	21.70	1.69	0.20	18.21	19.43	22.08	21.02	21.70	22.32	18.54	24.16	23.46	24.56	23.44	24.89	23.30	22.35	22.21	21.84	21.95	23.27	24.12	20.84
137	22.96	21.58	19.06	20.93	20.29	0.18	20.20	21.73	21.22	1.98	22.52	21.71	20.43	20.46	19.49	20.91	17.95	21.02	20.20	21.73	21.88	21.07	20.95
145	21.75	15.36	8.50	19.50	17.43	19.07	19.51	16.12	21.99	1.97	21.00	21.65	19.49	21.28	19.38	21.95	19.27	20.86	20.39	18.81	20.73	19.98	19.62
Del día 251 al 365	34.68	33.39	34.51	34.39	36.89	33.38	34.30	35.06	34.25	33.83	33.45	37.27	36.15	35.53	33.50	37.37	35.11	36.47	35.79	35.59	34.74	34.20	34.15
257	25.77	24.71	24.08	2.46	24.45	26.90	24.63	27.56	25.98	26.86	21.26	25.21	25.19	24.82	2.78	24.27	25.56	2.62	27.08	2.46	26.87	0.24	2.60
265	24.42	2.16	26.30	25.04	25.65	22.38	2.62	25.16	25.94	27.12	2.58	2.64	27.42	25.79	27.25	0.00	26.41	26.67	29.07	27.28	29.11	25.41	27.10
273	24.91	27.07	24.82	17.08	29.33	28.51	28.62	27.66	27.33	2.68	26.12	26.29	28.46	29.88	24.74	29.97	27.06	28.69	28.77	2.74	28.41	28.99	27.93
281	29.56	28.49	27.70	26.95	26.79	29.35	2.77	25.66	30.29	25.28	27.39	25.79	25.79	28.59	28.32	30.13	29.14	27.63	28.41	30.05	30.52	26.74	28.34
289	25.45	30.04	31.39	0.03	29.97	30.69	31.65	28.77	30.83	29.98	17.70	30.95	29.18	30.34	28.23	3.08	29.72	31.90	31.09	3.00	29.71	0.24	29.43
297	31.71	29.61	29.24	31.32	30.23	32.20	32.51	30.37	28.39	30.57	30.65	0.29	29.97	32.67	31.50	33.54	28.11	30.69	31.42	32.32	32.08	26.78	29.47
305	2.15	29.49	28.43	31.99	30.97	30.66	30.80	27.12	32.67	31.55	3.16	9.72	33.50	33.61	32.26	32.32	30.00	32.56	33.35	31.15	31.70	27.27	3.32
313	31.69	32.29	31.03	32.77	18.15	33.19	32.52	29.82	31.85	33.15	32.33	3.25	32.95	26.51	33.50	32.00	33.25	33.68	31.80	0.81	34.14	30.93	31.80
321	31.81	31.86	26.69	3.20	33.62	32.88	34.02	35.06	34.25	32.77	31.69	33.92	32.09	32.98	31.92	35.04	30.49	34.47	35.79	33.16	27.50	16.67	30.47
329	30.83	27.80	30.58	33.60	32.95	32.52	33.23	3.23	32.52	31.80	31.11	34.22	30.52	32.43	3.51	3.69	33.54	2.55	35.06	33.67	32.61	13.51	32.24
337	32.82	33.27	34.51	34.39	34.44	30.61	33.19	0.35	30.70	32.90	3.22	36.05	35.53	31.77	33.11	3.56	30.47	35.78	22.71	26.86	34.74	3.40	31.72
345	31.59	28.05	3.35	33.75	36.89	32.67	34.30	32.54	23.32	33.83	31.76	34.59	34.27	33.53	33.30	35.52	0.32	35.17	32.18	33.50	34.28	32.28	31.25
353	34.68	33.08	2.49	33.88	9.40	32.92	25.95	33.83	32.97	3.44	33.45	37.27	34.84	34.95	33.50	34.89	30.95	36.47	34.39	3.39	33.92	34.20	34.15
361	1.74	33.39	3.20	26.25	31.34	33.38	34.04	34.38	33.88	0.90	0.15	34.33	36.15	35.53	32.81	37.37	35.11	34.35	30.32	35.59	3.44	30.95	32.14
Temperatura maxima del año	35.51	34.91	34.68	34.61	36.89	34.80	35.45	35.06	34.25	33.83	37.30	37.27	36.15	36.41	36.49	37.37	35.73	36.47	35.85	36.60	34.74	35.73	34.15

Nota. Información obtenida de GEE de la colección de imágenes del MODIS/061/MOD11A2), para la zona de la Cuenca de Camiña.