



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Pregrado

Carrera de Geografía

INFLUENCIA DEL CLIMA Y LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE LOS  
CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DEL SALAR DE HUASCO ENTRE 1985 Y 2020.

Memoria para optar al título de Geógrafa

CONSTANZA MAUREIRA CHANDÍA

Profesor Guía: Pablo Sarricolea

Profesora Co-Guía: Magdalena Fuentealba

SANTIAGO-CHILE, 2021.

## Agradecimientos

A todo aquel que pasó por mi camino. A quienes siempre tuvieron fe en mis capacidades, muchas veces por sobre la mía. Profe Pablo, que tuvo la disposición de enseñar desde el inicio de la carrera. Magdalena, por tener el tiempo de poder guiarme en los últimos momentos y siempre tener una palabra de aliento. A quienes hicieron que mi avance universitario no fuese tan agobiante, mis amigxs quienes después de cada día bueno o malo estuvieron para mí y lograron que siempre tuviera un momento de ocio y risa en el día. Mi familia, mis 4 pilares fundamentales, y quienes me acompañaron día y noche. A mi paño de lágrimas, a ti compañero de 4 patas que me acompañaste siempre durmiendo al lado mío, mi sombra incluso en oscuridades. A mimano derecha, que cada día me ayuda a crecer más, a no ver todo en b&w y logra hacerme entender que pesa escribir todo con mi mano zurda, tengo otra mano con la cual puedo dibujar una vida plena y feliz, a ti mi nave de sueños, por tu apoyo incondicional. Y por, sobre todo, gracias a mí, que tuve la capacidad de poder con mi mochila escolar y de vida por estos 25 años.

*A quienes estuvieron no solo después de cada 23:59... ¡Gracias infinitas!*

## Resumen

A lo largo del mundo se puede ver como el cambio climático forma parte de un importante ciclo de modificaciones ecosistémicas a distintas escalas. Por otro lado, las actividades humanas presentes a nivel nacional y regional, específicamente en zonas norte del país de carácter desértico por naturaleza geográfica, son sistemas productivos que requieren de grandes almacenamientos de agua para su funcionamiento efectivo. Lo que se puede ver dentro de las disponibilidades de agua dulce, al presentarse disminuciones significativas en cuanto a capacidades de uso de este recurso.

Es por lo anterior, que se presenta un estudio de las variaciones superficiales del Salar de Huasco ( $20^{\circ}\text{S}$ - $68^{\circ}\text{O}$ , 3.700 m.s.n.m), sus componentes y características, importancia y posibles influencias antrópicas durante los últimos 35 años. Por medio de un análisis climatológico de temperaturas, precipitaciones y evapotranspiraciones presentes entre los periodos hidrológicos de 1985 a 2020 se logra determinar la influencia climática dentro de comportamientos de aumentos y descensos superficiales con ciertas excepciones, en las que se determina una influencia externa a esta variable. Esta última puede estar siendo afectada debido a la presencia de actividades antrópicas presentes dentro de la cuenca Salar de Huasco y las cercanías a este salar.

Por lo tanto, el conocimiento y análisis de esta investigación puede ser útil para generar políticas públicas de uso de agua, y pone en alerta la situación de este recurso por su gran importancia tanto para el desarrollo humano, como por su importancia ecosistémica.

Conceptos clave: Cambio climático, Índice diferencial normalizado de Agua, Indicadores de Variación Superficial, Influencia Antrópica, Variable climática.

## Abstract

It can be appreciated how the environmental change is part of an important ecosystem modifications cycle at different scale throughout the world. In another way, the current human activities at both national as regional, inside of the north zone of the country, which is a desert zone by Geographic nature, are productive systems which require large water storage for their correctly work. What can be seen within of the availability of fresh water when there are important trends of decreases relate to the usability of this resource.

For this reason, it is presented a Salar del Huasco's surface variation study ( $20^{\circ}\text{S}$ - $68^{\circ}\text{W}$ , 3,700 m.a.s.l.) about its composition, characteristics, and possible anthropic influences of the last 35 years. By Climatological analysis of temperature, precipitation, and evapotranspiration present in the hydrological periods from 1985 to 2020 is determined that the climatological influence is correlate with increase and decrease superficial environmental changes; but there are some exceptions due to external factors. These can be affected due to the anthropic activities present within the Salar de Huasco basin and the vicinity of this salt flat.

Therefore, the information and analysis of this study can be useful to generate public policies for the use of water and set this resource on alert due to its great importance for both human development and its ecosystem importance.

**Key concepts:** Environmental change, Normalized Difference Water Index, Superficial Variation Indicators, Human Influence, Climatic Variable.

## Índice de Contenido

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN.....	7
1.1.    Introducción: .....	7
1.2.    Planteamiento del problema:.....	9
1.3.    Estado del Asunto:.....	11
1.3.1.    Caso del cambio climático y su afectación:.....	11
1.3.2.    Índice diferencial normalizado de Agua .....	11
1.3.3.    Indicadores de Variación.....	12
1.3.4.    Evapotranspiración de referencia.....	12
1.4.    Área de estudio:.....	13
1.5.    Objetivos:.....	15
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA.....	16
2.1.    Búsqueda bibliográfica e información satelital: .....	16
2.2.    Identificación y delimitación del Salar de Huasco y posicionamientos cercanos: .....	16
3.    Análisis de imágenes satelitales: .....	17
3.1.    Trabajo con software online Google Earth Engine (Code Editor):.....	17
3.2.    Software ArcGIS (ArcMap versión 10.7.1): .....	21
4.    Trabajo cartográfico: .....	21
5.    Análisis de datos: .....	21
5.1.    Análisis estadístico de información superficial: .....	21
6.    Descarga de datos climatológicos: .....	22
CAPÍTULO 3: RESULTADOS .....	24
3.1.    Caracterización Salar de Huasco.....	24
3.2.    Análisis de cambios superficiales, Salar de Huasco (1985-2020).....	27
3.2.1.    Análisis temporal lineal 1985-2020.....	27
3.2.2.    Análisis superficial periodos temporales consecutivos.....	29
3.3.    Análisis de información climática.....	29
3.4.    Análisis de variación de superficie y datos climáticos .....	32
CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN .....	38
4.1.    Discusión: .....	38
4.2.    Conclusiones:.....	39
BIBLIOGRAFÍA .....	41
ANEXOS .....	46

## Índice de figuras

Figura N°1: Área de estudio, Salar de Huasco (20°32'S-68°83'O) correspondiente a la Región de Tarapacá.....	13
Figura N°2: Código utilizado para máscara de nubes en satélites Landsat 5 y 7. ....	18
Figura N°3: Código para filtro de imágenes.....	19
Figura N°4: Fórmula de cálculo NDWI.....	19
Figura N°5: Código de cálculo NDWI.....	19
Figura N°6: Códigos de recorte, extracción de capas de suelo y exportación de imágenes.....	20
Figura N°7: Código o script de descarga de datos climatológicos (TerraClimate).....	23
Figura N°8: Cartografía de ubicación Salar de Huasco y principales actividades humanas. ....	26
Figura N°9: Superficies interanuales, Salar de Huasco.....	27
Figura N°10: Tasas de variaciones superficiales anuales respecto al año de inicio de estudio (1985). ....	28
Figura N°11: Tasa de variaciones superficiales periódicas anuales.....	29
Figura N°12: Información de temperaturas medias para cada año hidrológico estudiado... ..	30
Figura N°13: Información de precipitaciones para cada año hidrológico estudiado.. ....	32
Figura N°14: Comparación de cambios superficiales e índice de temperaturas medias por año hidrológico, periodo estudiado... ..	33
Figura N°16: Comparación de cambios superficiales e índice de evapotranspiración por año hidrológico, periodo estudiado .....	37

## Índice de tablas

Tabla N°1: Tipo de descripción general según datos arrojados en el catastro DGA, 2019.....	16
Tabla N°2: Tipo de descripción específica: Usada para describir a mayor escala de información. .	17
Tabla N°3: Disponibilidad de satélites, y sus respectivas características para la obtención de imágenes.....	17
Tabla N°4: Tipo de reclasificación usada para NDWI.....	21
Tabla N°5: Formulas de cálculo estadístico para variaciones superficiales. ....	21
Tabla N°6: Grado de homogeneidad y heterogeneidad de coeficiente de variación. ....	22
Tabla N°7: Características de datos climáticos descargados.....	23
Tabla N°8: Tabla de datos climatológicos final .....	23

## CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

### 1.1. Introducción:

En distintas partes del mundo es posible evidenciar como el cambio climático ha desencadenado importantes ciclos de modificaciones en el ecosistema a diferentes escalas, un ejemplo son las temperaturas ocurridas en periodos cercanos entre el año 2006 y 2017 con un aumento de 0,37°C por sobre años entre 1850 y 1900 (Arroyo et al., 2019) lo que altera directamente el funcionamiento óptimo de ecosistemas y especies. Sin embargo, el actual escenario de cambios que ha sufrido gran parte del territorio nacional chileno es notorio el observar la disponibilidad y los cambios asociados al recurso hídrico a lo largo del país, lo que lleva a interpretar una influencia externa a ella, ya sea natural o no.

Alguien que miraba un mapa de Chile hace años atrás podía caracterizar al país por sus grandes y sinuosos ríos, sus lagos, verdes y grandes valles que dividían pueblos, ciudades y muchas veces lograban entregar una ubicación a personas que conocían estas fuentes de agua. Actualmente la realidad es muy distinta, por un lado, las grandes áreas naturales se han urbanizado, por otra el país ha sido afectado por distintos tipos de factores y sucesos que han llevado a que de norte a sur se esté imposibilitando acceder a agua dulce de fuente natural. Por una parte, las condiciones medio ambientales han cambiado drásticamente, aumentando las temperaturas medias tendencialmente un 0,14°C cada 10 años y disminuyendo las precipitaciones por un cerca de 30% del nivel normal, alrededor de 22 mm los últimos 10 años (DGA, 2021).

El cambio climático actual entendido como un incremento importante en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos (IPCC, 2013), está alterando el ciclo hidrológico con efectos negativos para la sociedad y la mantención de los ecosistemas. Los cambios en los procesos que afectan al balance hídrico, por ejemplo, aumento de la evaporación y disminución de la precipitación condicionan déficit de agua. Mientras que el incremento de eventos pluviométricos intensos (aunque esporádicos) trae como consecuencia aumento de las inundaciones. Más específicamente dentro del territorio chileno, las mega sequías de las últimas décadas que afectan hoy a gran parte de la zona norte y centro de Chile, producto de la disminución de las precipitaciones está afectando la disponibilidad de agua dulce (Garreaud et al., 2007; Garreaud et al., 2019). Lo que deja pérdidas importantes dentro de los reservorios de agua dulce, tales como lagos y glaciares. Shaw et al., (2021) ha constatado la pérdida de masas de hielo glacial como consecuencia de una disminución del albedo (32°S-35°S) y el incremento de las temperaturas. Así mismo, las Lagunas Aculeo dentro de los 33°S y Matanzas (32°S) se han secado en los últimos 10 años (Fuentealba et al., 2020; Venegas-Quiñones et al., 2020).

El cambio climático, parece no ser el único responsable de las pérdidas de los principales reservorios de agua dulce del país, la Laguna Matanzas y Laguna Aculeo han resistido importantes periodos secos en el pasado (e.g., la Anomalía cálida Medieval entre los periodos 950 C.E, a 1250 C.E). En ellos, ha operado también la extracción del agua y los

cambios de uso de suelo de sus cuencas. Considerando que cada vez es más difícil la disponibilidad de agua tanto para uso doméstico como para el mantenimiento de actividades productivas, el mantenimiento de reservas naturales de agua dulce como glaciares y lagos es clave.



## 1.2. Planteamiento del problema:

El Cambio Global comprende una serie de alteraciones a los procesos terrestres que han sido motivadas por las actividades humanas (Green et al., 2011). Estas alteraciones están interconectadas y son observadas a diferentes escalas globales, regionales y locales (Feldmann et al., 2001). Así, por ejemplo, podemos mencionar que el incremento de alrededor de 1,0°C respecto de los valores preindustriales ha provocado no solo el incremento del nivel medio del mar, principal reservorio de agua del planeta, sino también ha afectado el ciclo hidrológico completo, lo que influye en la disponibilidad de agua, y las pérdidas de biodiversidad global, entre otras cosas (Cabrera, 2019). En este sentido, el incremento de las temperaturas genera un aumento en la evaporación y el desplazamiento de la isoterma cero, lo que condicionaría una disminución de las reservas de agua, tanto solidas como liquidas, en ambientes de montaña. Dentro de los próximos 20 años se espera que la temperatura global se incremente en alrededor de 2,7°C con respecto al periodo preindustrial, lo que afectaría a la gran parte de las ciudades del mundo, es por esto que los países se han comprometido a que las temperaturas no excedan por sobre los 2°C dentro de sus territorios (IPCC, 2021). Incremento que se ve cada vez más claro y lo que está provocando un aumento de los eventos de sequías, inundaciones y olas de calor que afecta el bienestar humano y su cotidianidad.

En el caso de Chile, el déficit de precipitaciones registrado durante los últimos 10 años de cerca de un 30% sumado al aumento de la temperatura media de cerca de 0,14°C (DGAC, 2021), también genera una importante afectación sobre el ciclo hidrológico. Este estaría vinculado con una disminución del agua que se acumula en los diversos reservorios (e.g., ríos, lagos, aguas subterráneas) dado por la acción sinérgica entre la disminución de la precipitación y el aumento de la evapotranspiración (relacionado al incremento de las temperaturas). Por lo que es de esperar un fuerte impacto en la disponibilidad de agua a la vez de otros problemas socioambientales relacionados con la escasez hídrica, ya sea para el consumo o utilización de este.

En la zona norte del país es donde más se ha podido ver el déficit de este recurso, en Atacama, por ejemplo, es posible encontrar aproximadamente entre 50 m<sup>3</sup> y 200 m<sup>3</sup> de agua dulce por cada habitante al año, un valor muy por debajo en comparación con zonas del sur de Chile en donde los valores indican una disponibilidad por sobre los 6.000 m<sup>3</sup> por persona al año (Santibáñez, 2016). Así mismo, es en esta zona en donde se presentan aumentos claros en las temperaturas máximas los últimos 10 años con valores entre 0,5°C y 1,5°C aproximadamente por sobre la temperatura “normal” registradas previas al año 2000 (CR2, 2015). Por otro lado, las condiciones pluviométricas se caracterizan por ser escasas, e incluso pueden ausentarse durante un año y los eventos de precipitación no superan los 3 mm de agua durante un año lluvioso (Romero & Kampf, 2003).

El Altiplano chileno (15°-27°S; 3.000 msnm), ha tenido cambios en las temperaturas medias anuales que van desde los 6,8°C al año 1990 a los 12,3°C al año 2019

en estaciones climatológicas como Parinacota. Por otro lado, las precipitaciones han variado de 209,6 mm/año al año 1990 y 351,6 mm/año al 2019 (CR2, 2021). Cuenta con 18 lagos mayores (superficie > 0,5 km<sup>2</sup>) de los 149 lagos que cubren la zona (DGA, 2019) y se ha constatado una disminución de sus superficies a partir de 1975 (Maureira 2021, datos no publicados). Sin embargo, se desconoce si existe una relación entre esta disminución de superficie y el clima o bien, esta disminución obedece a la extracción de este recurso como parte de las actividades humanas que se desarrollan en el Altiplano.

Por otro lado, el sistema económico productivo instaurado a lo largo del país ha sido un factor desencadenante de disminución de abastecimiento de agua dulce. Como es el caso de las hidroeléctricas localizadas al sur de Chile, y el sistema minero que se localiza al norte de este (Jiménez & Wainer, 2017). Siendo muchas de estas instalaciones mineras rechazadas por comunidades y organizaciones que velan por el cuidado y preservación de cuerpos de agua, que se ven afectados por la extracción de este suministro. Como es lo que sucede con las mineras Cosayach, Cerro Colorado, Collahuasi, La Escondida que con la extracción de agua dulce ha influido directamente en el mantenimiento de lagos altiplánicos, según Atacama Sustentable y CONAF al año 2011. Por lo tanto, conocer el estado actual de los lagos y el rol del clima (precipitación y temperatura) versus actividades humanas en los cambios del volumen de agua en las últimas décadas es de vital importancia para hacer frente a los desafíos que presenta el Cambio Global.

### 1.3. Estado del Asunto:

#### 1.3.1. Caso del cambio climático y su afectación:

El Cambio Climático (CC) es definido como un aumento importante en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de sequías e inundaciones y el incremento de olas de calor (IPCC, 2013). El estrés hídrico asociado al CC afecta no solo a la población sino también a la preservación de ecosistemas. Estos cambios en el clima son condicionados por las temperaturas, precipitaciones y la humedad (Martinez & Patiño, 2012). En Latinoamérica la temperatura media anual ha aumentado en 0,35°C y su precipitación media anual en 17,36 mm entre 1950 y 2015. Es este suceso el que ha desencadenado distintas consecuencias, tales como el derretimiento de picos montañosos, derretimiento de glaciares y sequías de lagunas andinas (Castells, 2020).

Los lagos son fuentes de agua dulce de gran importancia en el ciclo hidrológico, y en dinámicas ecológicas (Mitsch & Gosselink, 2003, en Borja et al., 2012). Son de gran relevancia para las composiciones de biodiversidad ecosistémica, y además prestan una serie de servicios ecosistémicos para el desarrollo de las sociedades a abastecimiento (e.g., agua para consumo, agricultura y minería) (EM, 2005). Por un lado, es ya importante el mencionar que dentro de la zona norte del país, característica por ser desértica, posee una disponibilidad de agua menor al 500 m<sup>3</sup> por habitante/año, por otro lado la instalación de industrias mineras limita aún más el acceso directo de este servicio para consumo humano (Bravo, 2018). El cambio climático está afectando fuertemente a este reservorio. Así, por ejemplo, Shugar et al., 2020 constató un incremento de lagos glaciares como consecuencia del derretimiento de las nieves. Por el contrario, en zonas de valle y costa, el aumento de las temperaturas ha condicionado su extinción. Como es el caso de la Laguna Aculeo que, por la reducción de su acuífero producto de las megasequías en la zona central de Chile, esta llegó a secarse completamente (Alvarado, 2019). El Mar Caspio, el lago considerado más grande del mundo en el continente europeo, el cual por sequías uno de sus afluentes principales, el Río Kura ha disminuido drásticamente haciendo que este lago disminuya notoriamente los últimos años (Labardini, 2021).

#### 1.3.2. Índice diferencial normalizado de Agua

El análisis de los cambios de la superficie de los lagos es posible a través de trabajos de teledetección. El cual hace posible el recabar información por medio de sensores espaciales o más conocidos como satélites (Chuvienco, 1996). Este tiene su inicio en el “Índice diferencial normalizado de Agua” o más conocido por sus siglas en inglés *NDWI*, el cual por medio de una fórmula que utiliza bandas de colores permite calcular y diferenciar las zonas húmedas de las zonas secas, pudiendo identificar así masas lacustres dentro de un área determinada con una gran resolución y una extensa temporalidad (McFeeters, 1996). Este índice se utiliza con la incorporación de imágenes satelitales, las cuales permiten el

evidenciar las variaciones en las distintas superficies con el transcurso del tiempo (CIESIN, 1999) otorgando información de distintas extensiones, y lugares de difícil ingreso.

### 1.3.3. Indicadores de Variación

La importancia del comportamiento de datos, por medio de una unidad temporal se puede analizar a través de indicadores de dispersión. En donde es posible determinar grados de homogeneidad y heterogeneidad de datos por medio de varianzas, por un lado, siendo representado por el “Coeficiente de Variación” o sus siglas “*CV*” el cual genera un análisis objetivo de variaciones (Rustom, 2012). Por otro lado, la forma de determinar variaciones de superficies, por distintas condiciones temporales de forma más específica se logra gracias a la implementación de una “Tasa de Variación” o mejor entendido por sus siglas “*TV*”, con el cual es posible determinar el porcentaje de variación comprendido entre dos puntos temporales (Villa, Gonzales, et.al, 2018). En donde ambas mencionadas variables han tenido implicancia directa en estudios de cambios y variaciones dentro del sistema glaciar chileno (Rivera, 2000).

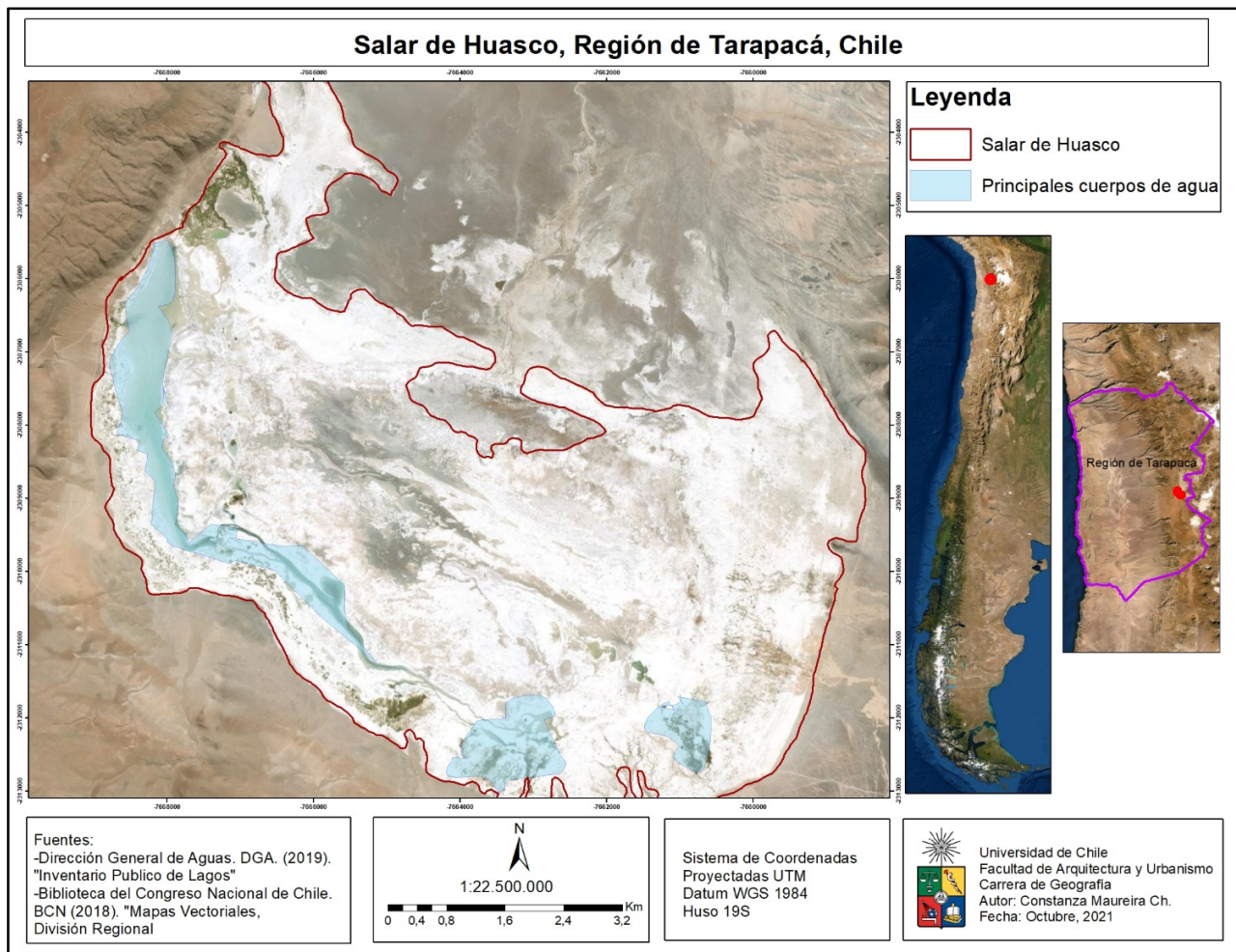
### 1.3.4. Evapotranspiración de referencia

Por otro lado, las condiciones de cambios y variaciones dentro de sistemas ya sea terrestres o lacustres, están vinculados fehacientemente a condiciones climáticas, ya sea por temas de temperatura y precipitación presente dentro de estos periodos estudiados. Como es el caso de distintos cambios que se han evidenciado dentro de cuencas de lagos en México ocurridas en el último periodo máximo glacial por circunstancias climáticas (Caballero, et.al, 2010). Sin embargo, un condicionante importante para la injerencia climática dentro de estas variables es el cálculo del indicador de “Evapotranspiración de referencia” mejor conocida con sus siglas “*P<sub>et</sub>*”, con el cual es posible analizar la variable hídrica de una zona, por medio de un modelo o fórmula de Penman-Monteith, el cual integra tanto la temperatura, la presión de vapor, la radiación y la velocidad del viento (Jaramillo, 2007). Indicador con el cual es posible determinar la cantidad de evaporación y transpiración ocurrida y la posible cantidad de evaporación ocurrida con la suficiente cantidad necesaria.

#### 1.4. Área de estudio:

El área de estudio comprende a la Laguna Huasco (20°32'S-68°83'O), dentro del norte de Chile (Figura N°1) específicamente dentro de la I Región de Tarapacá, Provincia de Tamarugal, en la comuna de Pica. Ubicada a 3.700 m.s.n.m, dentro de una cuenca tectónica orientada NS. Esta laguna también clasificada como Salar Andino por su tipo de aguas compuestas de costras salinas de sulfatos (SERNAGEOMIN, 2007), es de tipología laguna menor, posee una superficie de 2,18 km<sup>2</sup> (DGA, 2019); y cuenta con una profundidad media de 0,117 metros, alimentada principalmente por el Río Collacagua (ArcGis, 2021).

*Figura N°1: Área de estudio, Salar de Huasco (20°32'S-68°83'O) correspondiente a la Región de Tarapacá. En la Figura se observa la delimitación de aguas pertenecientes al Salar.*



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En cuanto a su geología esta se caracteriza por sus depósitos evaporíticos del Mioceno-Cuaternario (SERNAGEOMIN, 2003). Este lugar es de importancia tanto para el desarrollo del hábitat de fauna como por su valor paisajístico (Acosta & Custodio, 2008).

Salar de Huasco fue incluido como sitio RAMSAR en el año 1996. Posteriormente al año 2005, se declaró Santuario de la Naturaleza, y Parque Nacional en el año 2010 (Véliz, 2018). Posee una vegetación principalmente compuesta de bofedales, la cual tiene gran relevancia en ser un área de hábitat y nido reproductivo de flamencos (SERNAGEOMIN, 2005).

El clima presente dentro de este suele presentar dos tipos, clima de Tundra de altura con presencia de precipitaciones estivales al nororiente de la cuenca. Y un clima Estepario de Altura, con características secas ambientales y fuertes vientos (Fuenzalida, 1965). Las temperaturas presentestemporalmente han variado, aumentando alrededor de 4°C entre los años 1980 al 2020. Y las precipitaciones han variado de 140 mm de precipitaciones medias mensuales el año 1980 a 50 mm de precipitaciones medias mensuales al año 2020. Indicando así cambios importantes en las condiciones climáticas los últimos 40 años (Blin, 2018).

1.5. Objetivos:

Objetivo General:

- Evaluar el rol del clima y las actividades humanas en los cambios de volumen del Salar de Huasco (18°S-69°O).

Objetivos Específicos:

- Identificar las características y los componentes humanos que afectan y presionan el Salar de Huasco y su cuenca.
- Reconstruir los cambios interanuales de la superficie de agua del Salar de Huasco entre 1985-2020.
- Comparar los cambios de volumen observados con datos climáticos disponibles (precipitación, temperatura y evapotranspiración).

## CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

Para poder llevar a cabo los objetivos antes mencionados se realizó un trabajo específico siguiendo las etapas descritas a continuación.

### 2.1. Búsqueda bibliográfica e información satelital:

Para poder conocer el tema a analizar y tener algunos antecedentes de ello, se comenzó por recopilar y previsualizar distintas fuentes de información, en el cual se obtuvo la delimitación del “Salar de Huasco”, su composición, características y lo que puede diferenciar esta área del resto del país.

### 2.2. Identificación y delimitación del Salar de Huasco y posicionamientos cercanos:

Por medio de la obtención del “Inventario Publico de Lagos”, y el “Inventario Publico de Cuencas Hidrográficas” publicadas por la (DGA, 2019), se pudo recopilar información del Salar, su cuenca perteneciente y características generales de este.

Por otro lado, se logra recabar información acerca de la presencia de posicionamientos industriales mineros, así también la ubicación de estos.

#### 2.1.1 Descripción y caracterización del “Salar de Huasco”:

Para poder caracterizar el lago que comprende el área de estudio se tomó como referencia dos tipos de descripciones. Primero se usa la descripción utilizada por el catastro de la (DGA, 2019) (Tabla N°1) con la que se pudo describir de forma general el Salar, y para una descripción más detallada se añade la caracterización elaborada por (CEDEX, 2004) (Tabla N°2).

*Tabla N°1: Tipo de descripción general según datos arrojados en el catastro DGA, 2019.*

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Nombre	Nombre del cuerpo de agua.
Tipo	Diferencia entre tipo de lago, salar, laguna principal o menor.
Ubicación	Latitud y Longitud en coordenadas geográficas, y localización regional, comunal y provincial.
Superficie	Tamaño de la lámina de agua en km <sup>2</sup>
Altitud	Altitud en m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia, 2021 en base a catastro DGA, 2019.



*Tabla N°2: Tipo de descripción específica: Usada para describir a mayor escala de información.*

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Volumen	Almacenamiento en m3 del cuerpo de agua.
Profundidad	Se entenderá como la profundidad máxima de cada lago, considerando 3 rangos, "muy profundo" a lagos de sobre los 15m de profundidad, "profundo" lagos entre los 3m y 15m y "somero" lagos de igual o menor a 3m de profundidad.
Geología	Unidad litológica en la que se encuentra presente el cuerpo de agua, se toma como base "Carta geológica de Chile escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003)

Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a datos extraídos de la caracterización de tipos de lagos de CEDEX, 2004.

### 3. Análisis de imágenes satelitales:

Se revisaron distintas fuentes de información satelital para poder llevar a cabo un análisis temporal del cuerpo de agua, entre los años 1985 y la actualidad, fuentes como mapas en línea, software Google Earth, Google Engine y Arcgis.

#### 3.1. Trabajo con software online Google Earth Engine (Code Editor):

##### 3.1.1. Búsqueda de satélites disponibles:

Para poder recopilar información e imágenes satelitales fue necesario el investigar y buscar dentro de la misma plataforma sobre la disponibilidad de estas imágenes, las cuales se encontraron disponibles en distintos satélites, en distintos sensores y combinaciones de bandas para composición "Color Verdadero (CV) y NDWI, señalados a continuación en la (Tabla N°3):

*Tabla N°3: Disponibilidad de satélites, y sus respectivas características para la obtención de*

<b>Satélite</b>	<b>Sensor</b>	<b>Bandas CV</b>	<b>Bandas NDWI</b>	<b>Años</b>	<b>Escala</b>
Landsat 5	ETM	B4, B5, B3	B2, B4	1984-2011	30 metros
Landsat 7	ETM	B4, B5, B3	B2, B4	2012-2021	

*imágenes.*

Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a datos utilizados en la plataforma Google Earth Engine.

### 3.1.2. Creación de scripts (códigos) y filtros de imágenes:

Por medio de distintos códigos y herramientas se pudo elaborar colecciones de imágenes las cuales se filtran por fecha (año y rango de meses) y cobertura nubosa. Filtrando los años desde 1985 a la fecha; y ocupando los meses de marzo a junio por ser el periodo después del verano, estación más lluviosa dentro de la zona altiplánica, y este pueda aportar en una mejor obtención de cuerpos de agua con mayor humedad e inundación, y en donde la cobertura nubosa sea la menor posible, obteniendo imágenes de hasta un 20% de cloudmask o cobertura nubosa.

Primeramente, se crea un script o código de mascara de nubes (Figura N°2) para los satélites Landsat 5 y 7. Ello extrae las nubes que se puedan presentar dentro de la imagen y de este modo reflejar mejor la superficie del Salar.

*Figura N°2: Código utilizado para mascara de nubes en satélites Landsat 5 y 7.*

```
var cloudMaskL457 = function(image) {  
  var qa = image.select('pixel_qa');  
  // If the cloud bit (5) is set and the cloud confidence (7) is high  
  // or the cloud shadow bit is set (3), then it's a bad pixel.  
  var cloud = qa.bitwiseAnd(1 << 5)  
    .and(qa.bitwiseAnd(1 << 7))  
    .or(qa.bitwiseAnd(1 << 3))  
  // Remove edge pixels that don't occur in all bands  
  var mask2 = image.mask().reduce(ee.Reducer.min());  
  return image.updateMask(cloud.not()).updateMask(mask2);  
}
```

Fuente: Elaboración propia en Google Earth Engine, 2021.

Consecutivamente se realiza un script para filtrar las imágenes que se obtendrán por fecha en cada satélite disponible y del cual se realizan combinaciones de distintas bandas para obtener la composición “Color Verdadero”, utilizando las bandas color verde, rojo y azul de cada satélite. Mejor señalado a continuación (Figura N°3).

```

var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LE07/C01/T1_SR') //
    .filterDate('2000-03-01', '2000-06-30') //

var composite = collection
    .map(cloudMaskL457)
    .median();

Map.addLayer(composite, {bands: ['B4', 'B5', 'B3'], min: 0, max: 3000})

```

Figura N°3: Código para filtro de imágenes.

Fuente: Elaboración propia en Google Earth Engine 2021

Satélite Landsat (5 y 7)

Para identificar los cuerpos de agua en la plataforma de Google Earth Engine (GEE), se realizó un código para calcular el “Índice de Agua Normalizado” por sus siglas en inglés NDWI. Este índice permite diferenciar entre áreas húmedas y secas, identificando las masas de agua, en este caso la superficie del Salar. Para esto se utilizan las bandas verdes las cuales da una mayor visibilidad a las zonas húmedas, e infrarrojo cercano la cual se encarga de opacar o disminuir la visibilidad de las demás coberturas (McFeeters, 1996), con la siguiente fórmula (Figura N°4) y cálculo en GEE (Figura N°5).

Meses de marzo a junio, por año de 1985 a 2021

Bandas a combinar por cada satélite

Figura N°4: NDWI.

Fórmula de cálculo

$$NDWI = \frac{VERDE - INFRARROJO CERCANO}{VERDE + INFRARROJO CERCANO}$$

Fuente: Elaboración propia en base a Mcfeeters, 1996.

Figura

Figura

N°5:

Código

de

cálculo

de NDWI

```

//Cálculo índice NDWI
var ndwi = composite.normalizedDifference(['B2', 'B4']);
var ndwiViz = {min: 0.5, max: 1, palette: ['44c9f1', '1637f1']};

```

Bandas a combinar por cada satélite

Fuente: Elaboración propia en Google Earth Engine, 2021.

Luego se realiza un código para obtener un clip o recorte de las imágenes por lago seleccionado (determinado por polígonos previamente delimitados), posteriormente se extraen las capas de suelo para dejar solo las de agua, lo que finalmente lleva a exportar estas a una carpeta específica con nombre e información a Google Drive, en una escala de resolución de 30 metros por píxel. Códigos que se pueden mostrar en la siguiente (Figura N°6).

*Figura N°6: Códigos de recorte, extracción de capas de suelo y exportación de imágenes.*

```
//Clip to Specified Region
var clipped_ndwi = ndwi.clip(Lagos)
Map.addLayer(clipped_ndwi, ndwiViz, 'NDWI', false);

//sacar los cuerpos que no son de agua, NDWI < 0.10 (mask)
var ndwiMasked = ndwi.updateMask(ndwi.gte(0.10));
Map.addLayer(ndwiMasked.clip(Lagos), ndwiViz, 'NDWI MASKED', false);

// Export the image NDWI, specifying scale and region.
Export.image.toDrive
({
  image: clipped_ndwi,
  description: 'NDWI20',
  region: Lagos,
  folder: 'NDWI 90',
  scale: 30,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1204300006194});
```

Fuente: Elaboración propia en Google Earth Engine, 2021.

### 3.2. Software ArcGIS (ArcMap versión 10.7.1):

Al tener las imágenes exportadas en Google Drive, estas se descargan en carpetas ordenadas por año, y son trabajadas mediante el software ArcGIS Desktop 10.7.1, con el programa ArcMap.

Primeramente, se realiza una reclasificación de los valores del índice NDWI, por medio de la herramienta “Reclassify”, en dos clases dándole valores negativos a las zonas con déficit de humedad, y valores positivos a las zonas húmedas (Mcfeeters, 1996), detalladas en la figura siguiente (Tabla N°4)

*Tabla N°4: Tipo de reclasificación usada para NDWI.*

<b>Valor</b>	<b>Representación (Tipo de cobertura)</b>
-1 a 0	Zonas secas (Suelo)
0-1	Zonas húmedas (Cuerpos de Agua)

Fuente: Elaboración propia, en base a Mcfeeters, 1996.

Y por último los archivos ráster fueron convertidos a polígono mediante la herramienta “Raster to Polygon”, con los cuales se pudieron seguir trabajando dentro de la tabla de atributos para calcular la superficie de las láminas de agua de cada año a estudiar en km<sup>2</sup>.

### 4. Trabajo cartográfico:

El trabajo previo permite realizar un trabajo cartográfico de superficies del Salar para cada año, para poder analizar visualmente los cambios de estas láminas de agua.

### 5. Análisis de datos:

Los datos de superficies obtenidos mediante ArcMap, fueron exportados a Excel, para así poder comparar superficies anuales con tablas y gráficos.

Mediante este proceso los datos fueron ordenados en tablas por año y tamaño superficial calculado en km<sup>2</sup> (Anexo N°1).

### 5.1. Análisis estadístico de información superficial:

Consecutivamente se llevó a cabo cálculos estadísticos para poder encontrar un coeficiente de variación de todas las superficies anuales; una tasa de variación de agua del Salar Huasco de forma periódica año a año y una variación anual con respecto al año inicial de estudio (Anexo N°2) y luego se realiza una normalización de datos por medio de una variable tipificada Z. De la siguiente manera (Tabla N°5).

*Tabla N°5: Formulas de cálculo estadístico para variaciones superficiales.*

Coefficiente de Variación (CV)	$CV = \left[ \frac{\sigma}{\mu} * 100 \right] \%$	$\sigma$ = Desviación estándar $\mu$ = Media
Tasa de Variación (TV)	$TV = \left( \left[ \frac{X_f}{X_i} - 1 \right] * 100 \right) \%$	$X_f$ = Valor final (Año estudiado) $X_i$ = Valor inicial (Año inicial)
Variable tipificada (Z)	$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$	$X$ = Datos $\mu$ = Media $\sigma$ = Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia, en base a (Rustom, 2012).

- Coefficiente de Variación: Este dato entrega información más precisa y objetiva en cuanto a la variabilidad, con rangos de homogeneidad y heterogeneidad (Rustom, 2012) con la siguiente clasificación (Tabla N°6).

*Tabla N°6: Grado de homogeneidad y heterogeneidad de coeficiente de variación.*

Valor CV	Clasificación
$\leq 10\%$	Muy homogénea
$11\% \leq 30\%$	Homogénea
$31\% < 50\%$	Heterogénea
$\geq 50\%$	Muy heterogénea

Fuente: Elaboración propia en base a (Rustom, 2012).

- Tasa de Variación: Indicará el porcentaje de variación respecto a un año estudiado. Realizándose un análisis general de cambio entre el año 1985 y 2020 de forma lineal, y un análisis periódico año a año para poder correlacionar posteriormente con información climática anual.
  - Variable tipificada: Por medio de este dato se podrá encontrar anomalías dentro de los datos.
6. Descarga de datos climatológicos:  
Para un análisis comparativo de los cambios superficiales de la lámina de agua cada año con datos climáticos se utiliza información de temperatura, precipitación y evapotranspiración. Toda información pertinente a este punto es descargada de la plataforma Google Earth Engine (Code Editor) con un conjunto de datos climáticos de "TerraClimate". En el cual se utiliza un filtro de fechas de 1980 a 2020 y un punto localizado dentro del salar, en donde se podrá determinar la localización por medio de un dataset. Con el siguiente código indicado dentro de la Figura N°7.

*Figura N°7: Código o script de descarga de datos climatológicos (TerraClimate)*

```
var dataset = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
    .filter(ee.Filter.date('1980-07-01', '2020-10-31'));

Map.setCenter(71.72, 52.48, 3);
Map.addLayer(dataset);
```

Fuente: Elaboración propia en Google Earth Engine, 2021.

El dataset utilizado “TerraClimate” arroja datos climáticos mensuales y balances de agua en superficies terrestres globales, con distintas escalas y unidades de medición. En el caso de las variables a estudiar dentro del área de estudio se pudo encontrar con las siguientes características (Tabla N°7).

*Tabla N°7: Características de datos climáticos descargados*

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Escala</b>
Pet	Evapotranspiración Potencial	Milímetros (mm)	0.1
Pr	Acumulación de precipitaciones	Milímetros (mm)	0
Tmmn	Temperatura Mínima	°C	0.1
Tmmx	Temperatura Máxima	°C	0.1

Fuente: Elaboración propia, en base a datos descargados de plataforma Google Earth Engine.

Esta información es descargada en formato CSV y trabajada luego en Excel para su posterior análisis y comparación con información de cambios superficiales dentro del Salar (Anexo N°3, 4, 5 y 6).

Dentro de los datos descargados en la anterior tabla, se añadieron 4 columnas más para poder calcular las temperaturas mínimas y máximas con su respectiva escala, una multiplicación simple por 0,1. Así mismo el caso de la evapotranspiración, el cual también fue calculado a una menor escala. Y una cuarta columna para calcular promedios de temperaturas medias mensuales para cada año.

Posteriormente se llevó a cabo un cálculo para obtener los datos por año hidrológico, considerando así el año hidrológico chileno, periodo de meses de abril-marzo, de temperaturas medias para cada año, por medio de un cálculo de promedio simple; un cálculo de precipitaciones por año, a través de una suma de precipitaciones mensuales; y por último un cálculo de evapotranspiración anual con una sumatoria de estos datos mensuales. Obteniendo los datos ordenados de la siguiente forma, Tabla N°8. Detallados en el (Anexo N°7).

*Tabla N°8: Tabla de datos climatológicos final*

<b>Fecha</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Evapotranspiración (mm)</b>
Año hidrológico	Promedio Anual	Sumatoria Anual	Sumatoria Anual

Fuente: Elaboración propia en base a datos descargados de Google Earth Engine, 2021.

Al obtener estos datos climatológicos, estos se analizan de forma individual para luego correlacionar con los datos superficiales obtenidos previamente de la laguna de Huasco, considerando el mismo año hidrológico de coincidencia entre ambas estimaciones (Variación superficial año a año V/S información climática por año hidrológico).

También es importante mencionar, que se entenderá como “peak” a las variaciones climáticas más importantes dentro del marco temporal del análisis. A lo que se referirá principalmente a los puntos de mayor valor.

## **CAPÍTULO 3: RESULTADOS**

### 3.1. Caracterización Salar de Huasco

El Salar de Huasco, ubicado dentro de los 20°S-68°O al norte de Chile, está posicionado dentro de una cuenca tectónica endorreica del mismo nombre, orientada de norte a sur, con una superficie de 1.470 km<sup>2</sup>.

En cuanto a la morfología de este cuerpo de agua es posible mencionar su forma circular, ovalada la cual se encuentra en una orientación Este-Oeste. Tiene una superficie cercana a los 55 km<sup>2</sup> y dentro del sistema hídrico principal que lo sustenta, se encuentra el Río Collacagua al norte, y la Quebrada de Huasco al sur. Así mismo, cuenta con la presencia de 3 lagunas permanentes a lo largo del tiempo estudiado (Figura N°8).

#### Localización de actividades humanas:

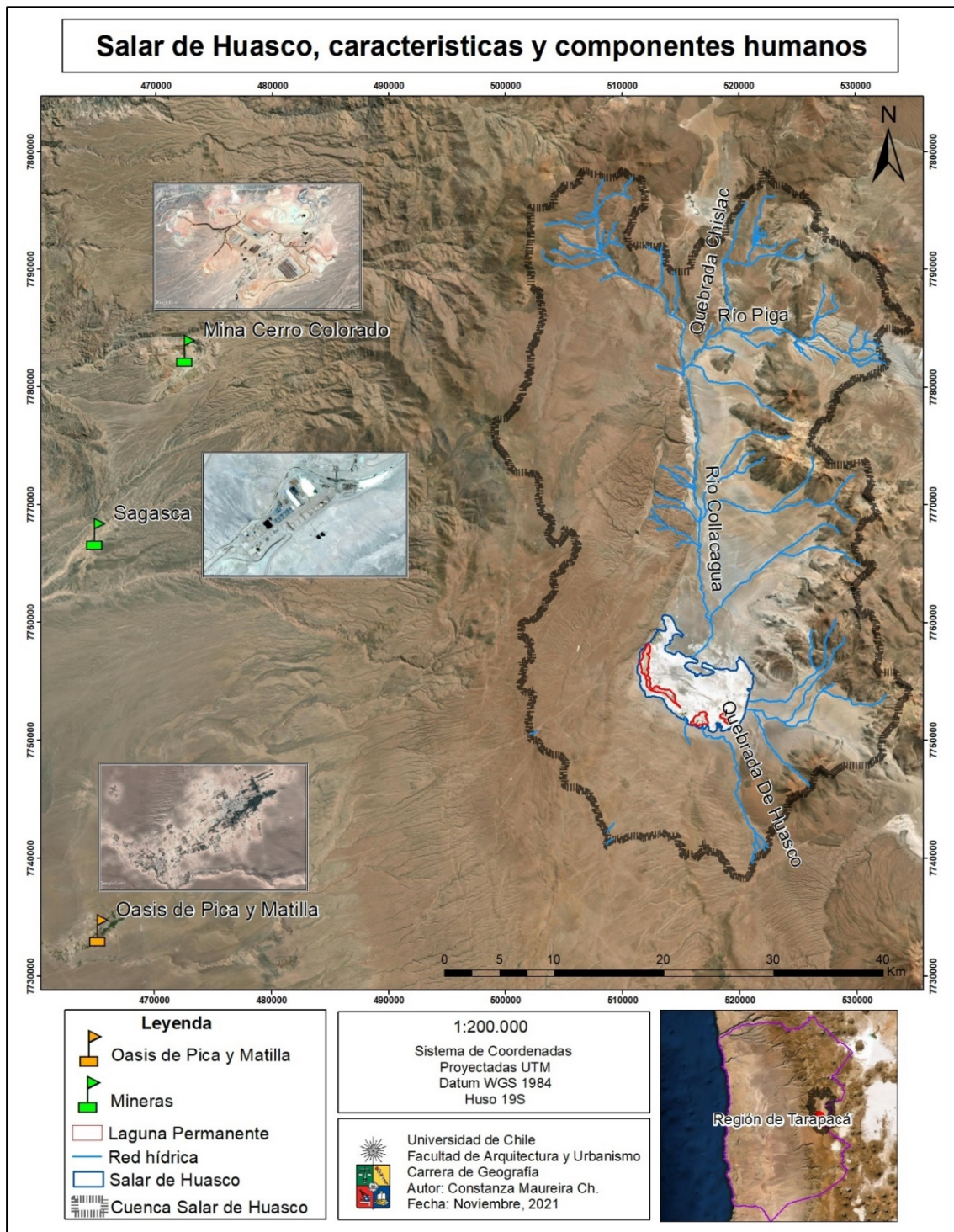
Dentro de la cuenca del Salar de Huasco es posible encontrar el posicionamiento de dos grandes industrias mineras, por un lado, la mina Cerro Colorado (20°02’S-69°15’O), de la compañía Broken Hill Proprietary de siglas BHP Billiton dentro de la comuna de Pozo Almonte, dedicada a la extracción de cobre. La cual se encuentra a 50,6 km, en dirección NO del Salar de Huasco. Por otro lado, se encuentra la mina SAGASCA (20°11’S-69°20’O)



de la empresa Haldeman Mining Company S.A., dentro de la comuna de Pozo Almonte, con una extracción principal de cobre. Ubicada a 49,4 km, en dirección NO del Salar de Huasco y al sur de la mina Cerro Colorado (Figura N°8).

La presencia de los Oasis de Pica y Matilla ( $20^{\circ}30'S-69^{\circ}19'O$ ), en la comuna de Pica, con una superficie de alrededor de 8.900 km<sup>2</sup> y cuenta con una población cercana a los 6.900 habitantes. Se ubica a 51,5 km, en dirección SO del Salar de Huasco, y al sur de ambas minas anteriormente mencionadas (Figura N°8).

Figura N°8: Cartografía de ubicación Salar de Huasco y principales actividades humanas.

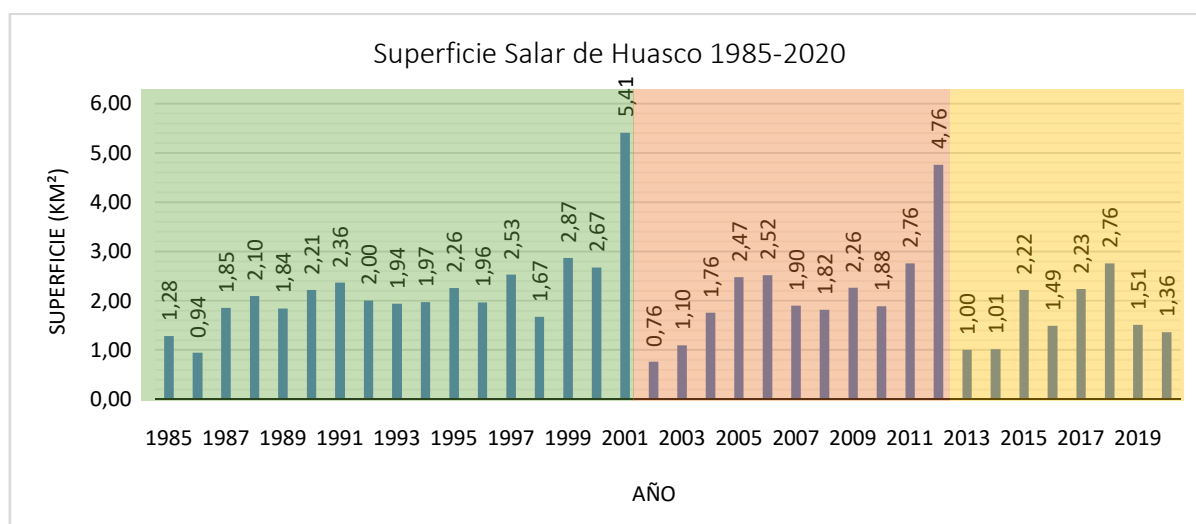


Fuente: Elaboración propia, en base a datos descargados (DGA, 2019 y Google Earth, 2021).

### 3.2. Análisis de cambios superficiales, Salar de Huasco (1985-2020).

#### 3.2.1. Análisis temporal lineal 1985-2020

*Figura N°9: Superficies interanuales, Salar de Huasco.*



Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de Google Earth Engine, 2021.

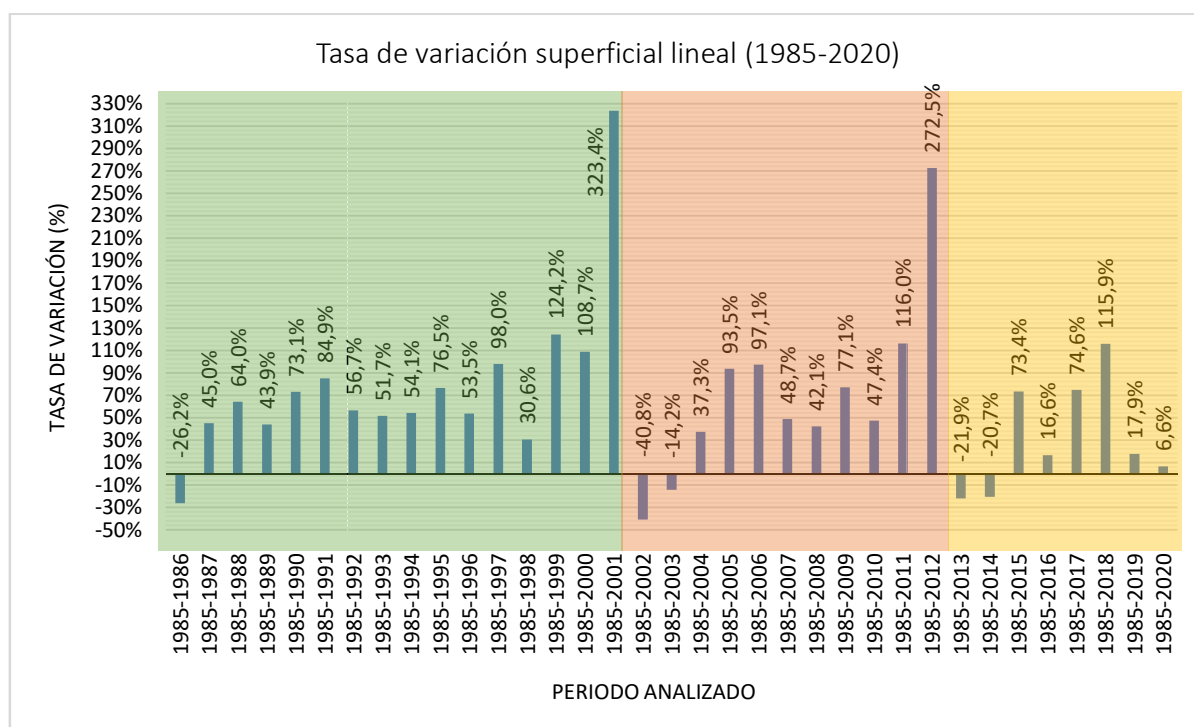
El Salar de Huasco desde los años 1985 a 2020 presenta un coeficiente de variación cercano al 43,4%, lo cual adquiere una clasificación heterogénea, al encontrarse comportamientos de descenso y aumento superficial dentro del periodo estudiado, el cual se puede dividir en 3 periodos de comportamientos. En el primer tramo de color verde (fase 1) dentro de la figura N°9 de cambios superficiales en km<sup>2</sup> y la figura N°10 de tasas de variaciones lineales, es posible ver cambios desde el año 1985 el cual contaba con aproximadamente 1,3 km<sup>2</sup> de superficie, cayendo por debajo de los 1 km<sup>2</sup> al año siguiente, el cual representa una tasa de variación cercana al -26% entre estos dos años. Luego desde el año 1987 al 1996 se puede observar primeramente una variación cercana al 53,5% desde el año 1985, en donde las diferencias superficiales oscilan entre los 1,85 km<sup>2</sup> y los 2,36 km<sup>2</sup>, con una máxima tasa de variación al año 1991 de un 84,94% desde el año 1985. Al año 1997 la superficie vuelve a ascender por sobre los 2,5 km<sup>2</sup>, con una variación de un 98% desde el año 1985. Para luego mantener un comportamiento similar por cerca de los 2,7 km<sup>2</sup>. Luego presentando un aumento de superficie notorio dentro del año 2001, en el cual la superficie obtenida supera los 5,4 km<sup>2</sup>, el cual indica la mayor superficie obtenida dentro del periodo de años estudiado, representando cerca de un 300% de tasa de variación desde el año 1985 al 2001.

Para la segunda fase de comportamiento superficial es posible notar un tamaño por debajo de los 0,8 km<sup>2</sup> el año 2002, notando un ascenso de este tamaño los años posteriores por

sobre los 1,7 km<sup>2</sup> al año 2004, el cual representa un 37,4% de variación respecto del año 1985. Los años 2004 y 2005 presentan un comportamiento similar, de aumento rondando los 2,5 km<sup>2</sup>, con una tasa de variación de un 97% desde 1985. Los años posteriores de 2007 al año 2010 los valores superficiales rondan entre los 1,8km<sup>2</sup> y 2,3 km<sup>2</sup>, para luego tener un ascenso superficial por sobre los 2,7 km<sup>2</sup> al año 2011, representando una variabilidad de un 116% desde el año de inicio del estudio. Superficie con un comportamiento de ascenso significativo al año 2012 en el que su tamaño superó los 4,7 km<sup>2</sup>, el cual indica una tasa de variación cercana al 270% respecto al año 1985.

Por otro lado, en un tercer agrupamiento de comportamientos superficiales anuales, se puede encontrar que la superficie de las lagunas dentro del salar no supera el 1 km<sup>2</sup> durante los años 2013 y 2014, en el que la tasa de variabilidad oscila entre los -20,6% y -22% desde el año 1985. Para luego ascender el nivel superficial del salar por valores sobre los 2 km<sup>2</sup>, llegando a un valor de 2,8 km<sup>2</sup> al año 2018, el cual representa una tasa de 116% desde el inicio del estudio. Los años que siguen, el pasado año 2019 y el presente 2020, han indicado descensos superficiales, llegando a valores cercanos a los 1,4 km<sup>2</sup>.

*Figura N°10: Tasas de variaciones superficiales anuales respecto al año de inicio de estudio (1985).*

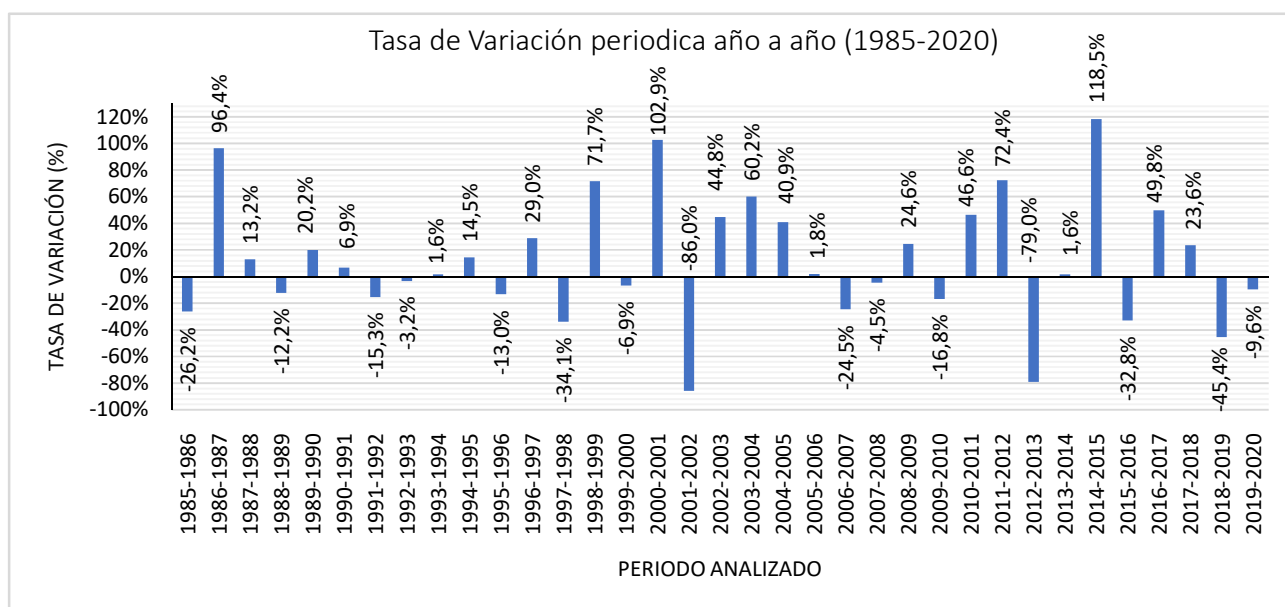


Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 3.2.2. Análisis superficial periodos temporales consecutivos

Por medio de este análisis (Figura N°11) se puede visualizar de una forma más detallada los cambios año a año dentro del salar. En línea temporal, el primer periodo con grandes cambios superficiales fue el periodo 1986-87 el cual tuvo una tasa de variación cercana a 96,4% indicando un aumento significativo, luego se encuentra el año 1997-98 el cual la superficie obtuvo una tasa de variación de -34,1% descendiendo superficialmente, lo sigue el año 1998-99 con un aumento de 71,7% de tasa de variación, luego se presenta un gran cambio al año 2000-01 con una variación de 102,9% de tv, para luego al siguiente periodo de 2001-02 presentar un -86% descendiendo nuevamente. Al año 2003-04 se presenta una tasa de variación de un 60,2%. Por otra parte, al año 2011-2012 el cual varío un 72,4%, y al periodo siguiente (2012-2013) obtiene un -79%, para llegar al periodo de 2014-2015 en el cual se obtuvo la mayor tasa de variación con un 118,5% representando la mayor tasa de variabilidad de aumento de superficie.

*Figura N°11: Tasa de variaciones superficiales periódicas anuales.*



Fuente: Elaboración propia, 2021.

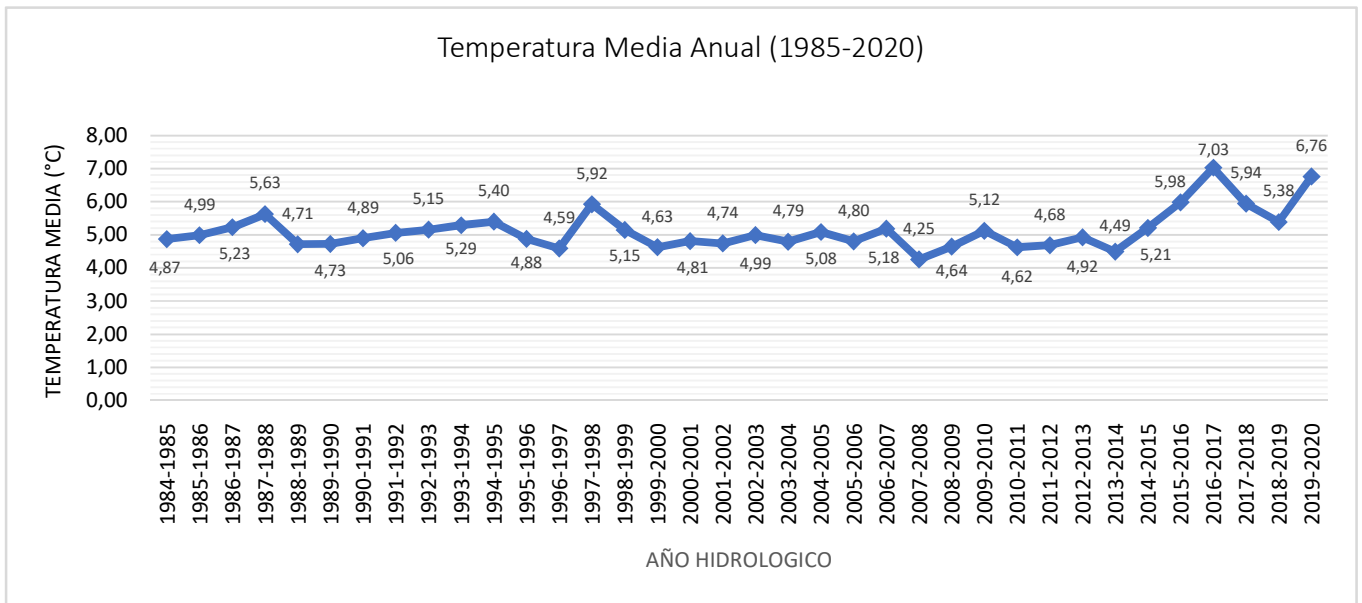
### 3.3. Análisis de información climática.

De acuerdo con la información climática descargada desde Google Earth Engine 2021, se puede llevar un análisis por medio de tablas y gráficas para cada año hidrológico estudiado.

En cuanto a la temperatura media obtenida mediante un promedio simple de temperaturas mínimas y máximas durante cada año (Figura N°12), se obtuvo valores muy similares cada

año bordeando los 5°C, y es los últimos años desde el periodo 2013-2014, en donde se ven aumentos de 4,5° a valores de temperaturas que sobrepasan los 7°C al periodo 2016-2017. Los años siguientes de 2017 a 2019, este sufre un descenso, sin embargo, estos no bajan de los 5,4°C, para al periodo 2019-2020 volver a ascender por sobre los 6,8°C.

*Figura N°12: Información de temperaturas medias para cada año hidrológico estudiado. Datos especificados dentro del anexo N°8.*



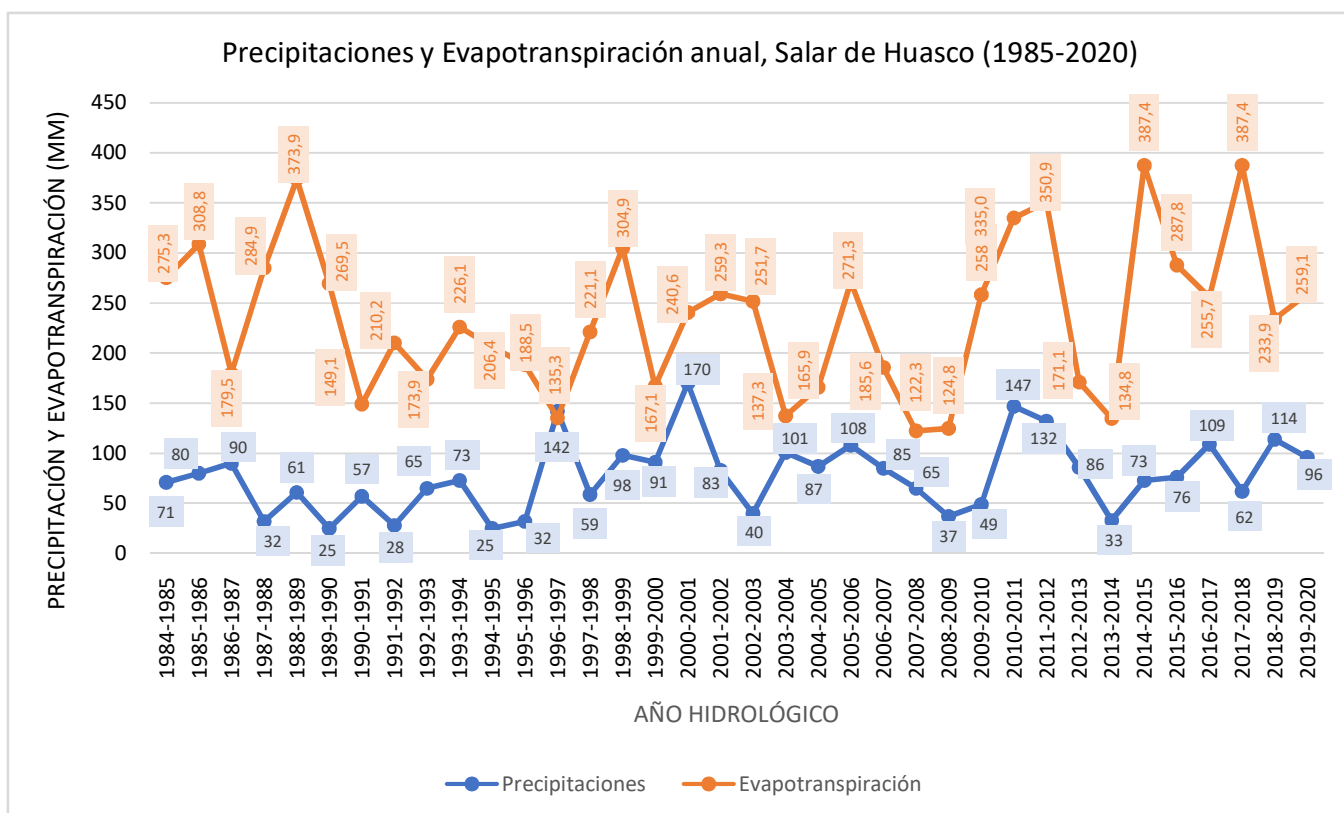
Fuente: Elaboración propia en base a datos descargados desde Google Earth Engine, 2021.

Para datos arrojados de precipitaciones dentro del área de estudio, es posible visualizar dentro de la figura N°16, las precipitaciones por medio de una línea de color azul, en la que esta tiene un comportamiento diverso con el paso de los años. Se pudo obtener alrededor de 70 milímetros entre el año hidrológico 1984-1985, el cual tiene un comportamiento constante de aumentos y descensos de alrededor de los 70 y 90 milímetros hasta el año 1987, la que sufre una baja al año hidrológico 1987 y 1988 cercano a los 30 milímetros, para mantenerse en un sube y baja de precipitaciones entre los 25 y 70 milímetros hasta el año 1996-1997 en donde es posible notar un primer peak de precipitaciones con alrededor de 142 milímetros, un mantenimiento por debajo de los 100 milímetros los años siguientes, hasta un segundo peak al año 2000-2001 con 170 milímetros, contando con precipitaciones por debajo de los 110 milímetros, llegando a valores por debajo de los 40 milímetros al año 2008-2009, para encontrar un tercer peak de precipitación al año 2010-2011, en el que se obtuvo datos de alrededor de 147 milímetros. Los siguientes periodos de años 2014-2015 se obtuvo valores de alrededor de 75 milímetros, al año 2016-2017 se obtiene un leve aumento por sobre los 100 milímetros, para al año 2017-2018 volver a bajar a los 60 milímetros, obteniendo un último aumento por sobre los 110 milímetros al año 2018-2019, y un leve

descenso al siguiente año 2019-2020 en el cual se pudo obtener un último dato de precipitaciones de 96 milímetros.

La evapotranspiración asociada al periodo de años estudiados arrojaron datos de las mismas características variadas que el caso de las precipitaciones, es posible analizar por medio de la figura N°13, la evapotranspiración por medio de una línea de color naranja, como esta al comenzar el periodo de estudio hidrológico 1984-1985 presenta una evapotranspiración de 275 milímetros, lo que al año hidrológico siguiente 1985-1986 asciende por sobre los 300 milímetros presentando un primer peak, sufriendo un fuerte descenso por debajo de los 180 milímetros al año 1986-1987. Luego al año 1988-1989 presenta un segundo peak por sobre los 370 milímetros, para luego los siguientes dos periodos hidrológicos de 1989 a 1990 presentar un descenso por debajo de los 150 milímetros. Los siguientes años presentan un comportamiento de menos variaciones, en los cuales los valores varían entre los 170 y 220 milímetros entre los años 1991 y 1995. El año 1996-1997 presenta un comportamiento similar al anterior con un valor aproximado de 135 milímetros, lo que al siguiente año asciende sobre los 220 milímetros, para el año 1998-1999 presentar un tercer peak por sobre los 300 milímetros. Este valor desciende al año 1999-2000 a un valor de 167 milímetros, lo que al siguiente año 2000-2001 aumenta a los 240 milímetros y se mantiene estable los siguientes dos periodos de año que van desde 2001 y 2002. Al año 2003-2004 se presenta un valor por debajo de los 140 milímetros, condición sin mucha variación al año siguiente presentando una evapotranspiración de 165 milímetros, lo que al año 2005-2006 este asciende por sobre los 270 milímetros presentando un cuarto peak, disminuyendo al año siguiente 2006-2007 a los 185 milímetros, y a los 122 milímetros al año 2007-2008, dato que se mantiene estable al año siguiente con 125 milímetros aproximadamente. El año 2009-2010 este sufre un aumento por cercano a los 260 milímetros, para al siguiente año 2010-2011 seguir aumentando hasta los 334 milímetros, y aumentando hasta los 350 milímetros al año 2011-2012. Los años que siguen entre 2012-2013 este indicador baja a los 171 milímetros y hasta los 134 milímetros al año 2013-2014. Para el año 2014-2015 presentar un quinto peak de 387 milímetros de evapotranspiración presente, un decaimiento por debajo de los 290 milímetros al año 2015-2016, disminuyendo también al año 2016-2017 a unos 255 milímetros, presentando un sexto y último peak al año 2017-2018 de 387 milímetros, último descenso al año 2018-2019 por debajo de los 240 milímetros y un pequeño aumento de este indicador al año 2019-2020 a un valor cercano a los 260 milímetros.

*Figura N°13: Información de precipitaciones para cada año hidrológico estudiado. Datos*



especificados dentro de la tabla N°8

Fuente: Elaboración propia en base a datos descargados desde Google Earth Engine, 2021.

### 3.4. Análisis de variación de superficie y datos climáticos

Para un análisis comparativo de superficialidad y datos climatológicos, se pueden observar las figuras a continuación presentadas con separaciones de fases superficiales por tasa de variación periódica año a año y cada indicador climático.

#### 3.4.1. Variación Superficial y Temperatura

En donde en un primer caso (Figura N°14) se ve como al comenzar la primera fase de análisis, los 5°C que se presentan dentro del año hidrológico 1985-86, coinciden con un comportamiento de disminución dentro de la tasa de variación superficial con cerca de un -26% al año 1986 con respecto al 1985; al siguiente año hidrológico 1986-87 la temperatura sube cerca de 0,2°C, y se produce un aumento dentro de esta tasa cercano a un 96%, y las condiciones de temperatura suben 0,6°C en el periodo de 1987-88, en donde las características superficiales aumentan, presentando una tasa cercana a un 13% de cambio entre un año y otro. Los años siguientes de 1988-89 a 1994-95 las temperaturas van incrementando alrededor de 0,2°C cada año, y en donde las variaciones superficiales presentan disminuciones y aumentos año tras año. Los periodos 1995-96 y 1996-97 las

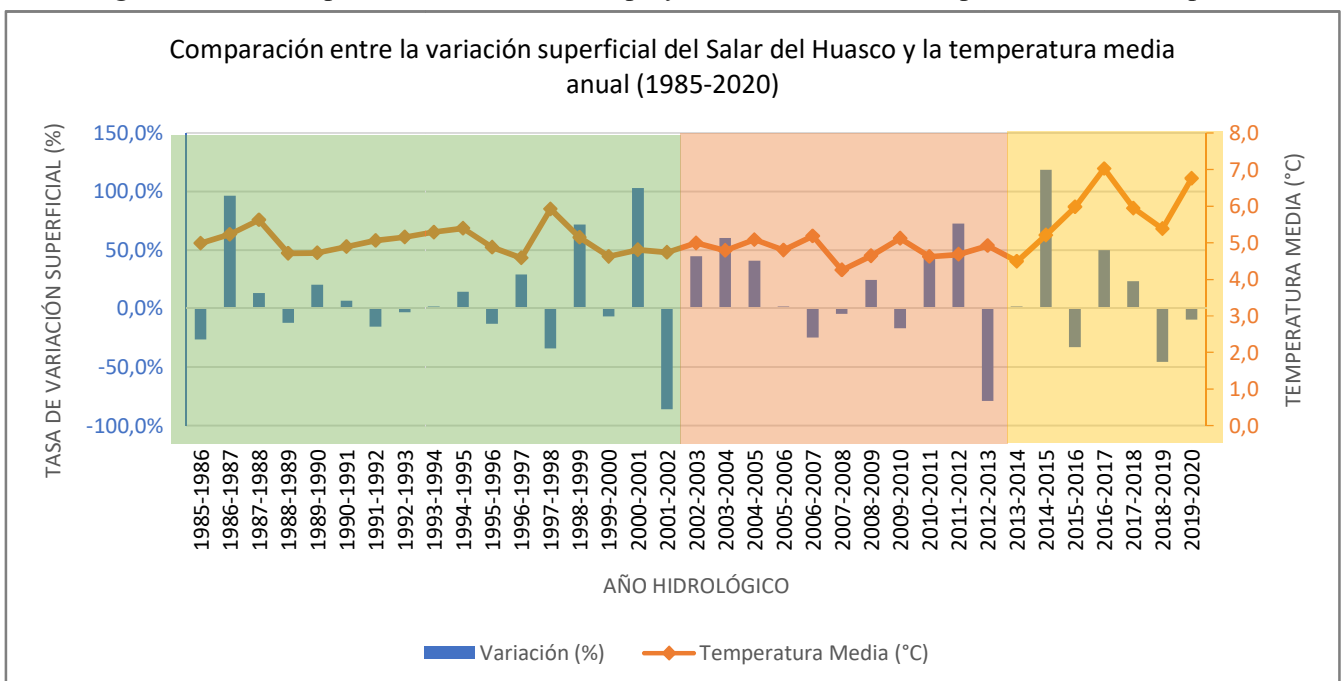


temperaturas descienden nuevamente alrededor de 3 grados cada año, y las superficies tienen un comportamiento distinto, en donde al periodo 1995-96 la tasa de variación disminuye dentro de un -13% y al año siguiente esta presenta un aumento de un 29%. El año hidrológico 1997-98, segundo peak de temperaturas, presenta una condición en la que las temperaturas ascienden a valores cercanos 6°C y la variación de superficie dentro de este periodo disminuye un valor significativo cercano a un -34%. Para el año siguiente estas temperaturas medias vuelven a caer a valores cercanos a 5°C y la superficie de este aumenta a un valor cercano al 72% de tasa de variación. Los tres periodos de años consecutivos de 1999 a 2002 las condiciones de temperatura aumentan y decaen de manera poco notoria cerca de 1°C, en donde lo más importante es notar un cambio superficial de aumento drástico al año 2001 con una tasa cercana al 103% de variación respecto al año 2000 y un decaimiento superficial de un -86% dentro del año 2001-02.

Dentro de una segunda fase es posible ver comportamientos de temperaturas más estables, bordeando los 5°C, con un comportamiento de variaciones estables, destacando una disminución de un -24% dentro de la tasa de variación al año con mayor temperatura presente (5,2°C) al año 2006-07, un aumento superficial de un 72,4% de TV al año 2011-12 con un aumento de 0,1°C el año 2012 respecto al anterior. Para al año siguiente 2012-13, presentar un aumento de temperatura cercano a 0,2°C y un decaimiento superficial de casi un 80% de TV.

La última fase, presenta un importante aumento de temperaturas desde los 4,5°C presentes al año 2013-14, en donde la variación superficial no fue importante al llegar escasamente a una tasa de 1,6%, bordeando los 5,2°C al año 2014-15 en donde el cambio superficial respecto al año 2014 fue drástica bordeando el 120% de TV, y un máximo de temperaturas al año 2016-17, en la cual la tasa de variación no supera el 50%. Por otro lado, también es importante el mencionar como las temperaturas presentan una última disminución al año 2018-19 a valores por sobre los iniciales en las primeras fases, y como este año tuvo una baja significativa también para la última fase estudiada, con cerca de un 45% de tasa de variación.

*Figura N°14: Comparación de cambios superficiales e índice de temperaturas medias por*



*año hidrológico, periodo estudiado.* Datos representados dentro del anexo 9.

Fuente: Elaboración propia en base a datos descargados desde Google Earth Engine, 2021.

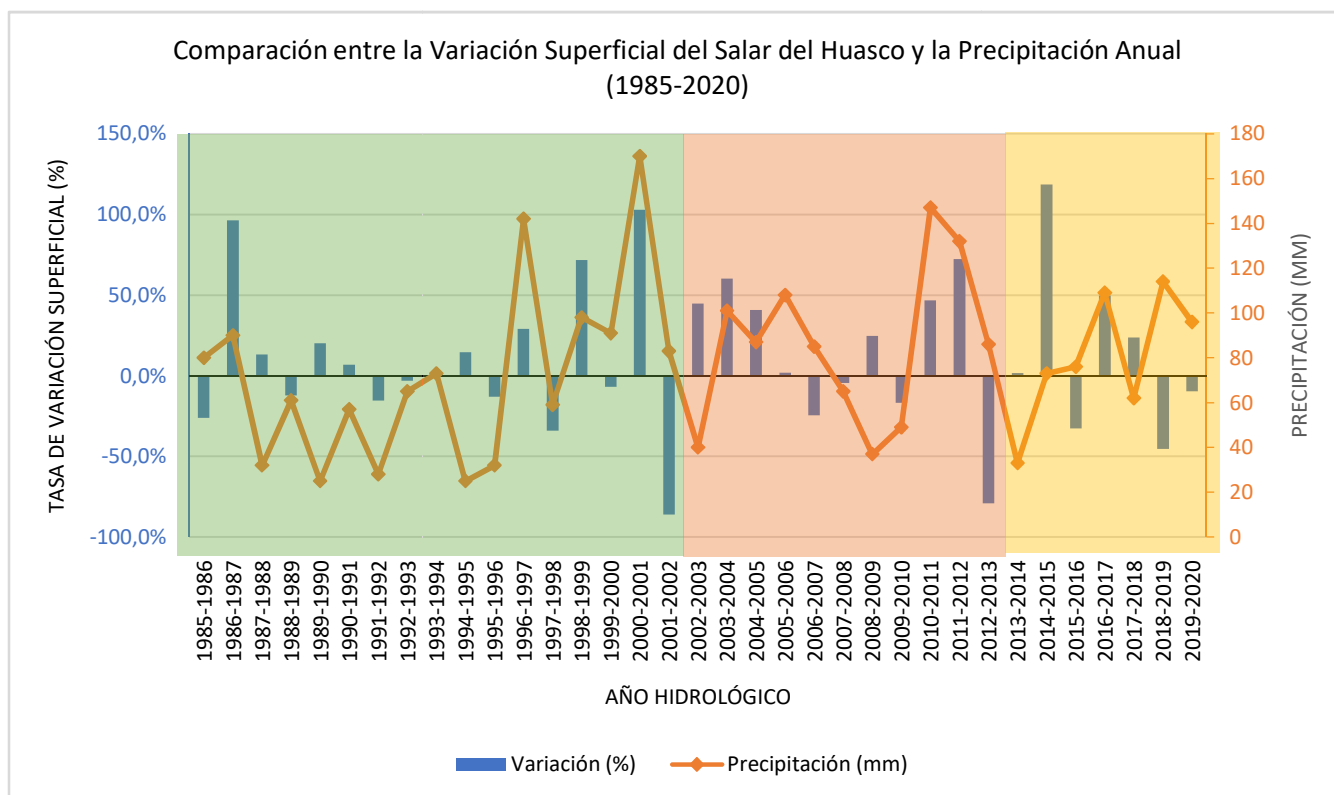
### 3.4.2. Variación Superficial y Precipitación

En cuanto a un análisis superficie-precipitación (figura N°15), es posible ver como al inicio de una primera fase, la presencia de lluvia es basta, sin embargo presenta cierta coincidencia con el tamaño superficial como el caso del año 1986-87 en el cual se obtiene alrededor de 90 milímetros de precipitaciones, y un aumento en su variación superficial cercano a un 96%, los siguientes años de 1987-88 a 1995-96 no se presentan mayores presencias de lluvias, con valores máximos de 73 milímetros, ni mayores cambios superficiales con disminuciones entre el 13% al año 1995-96 y aumentos de hasta 20% al año 1989-90. Por otro lado, desde el año 1996-97 las variaciones de precipitación y superficie coinciden, como el caso de este año mencionado anteriormente, en donde las precipitaciones tienen un fuerte aumento por sobre los 140 milímetros, aumentando también la variación superficial al año 1997 respecto al 1996 de un 29%; un descenso de precipitaciones al año siguiente 1997-98 cercano a los 60 milímetros, en donde también la variación disminuye a un valor cercano a un -34%. Un aumento de lluvias al siguiente año 1998-99 cercano a 98 milímetros, con una variación que aumenta un 72%; una disminución de precipitaciones a 91 milímetros al año 1999-00, con un descenso de -7% de variación superficial. Para al año 2000-01 presentar un fuerte aumento de lluvias presentes cercanas a 170 milímetros, con un fuerte aumento superficial cercano a 103% de tasa de variación. Lo que al finalizar la fase el año 2001-02 estos índices decaen a 83 milímetros las precipitaciones y presenta una disminución de -86% de tasa de variación.

En una segunda fase se puede ver comportamientos diversos en los que destaca una basta presencia de precipitaciones el año 2002-03 con 40 milímetros, y 37 milímetros al año 2008-09, en los cuales ambos años presentan aumentos en las tasas de variación superficial de casi un 45% y un 25% respectivamente. Con valores destacables de precipitación también es posible ver el caso del año 2010-2011, el que presenta 147 milímetros de precipitaciones, con un aumento dentro de sus superficies cercano a un 47% de TV. Para poder terminar con esta fase con una caída de la precipitación y la superficie de la lámina de agua, con 86 milímetros de precipitaciones y una disminución de un 79% de TV.

Para terminar con una tercera fase, es posible notar un incremento de precipitaciones al año 2014-15 con cerca de 73 milímetros, y un aumento superficial importante que bordea el 120%; un aumento de cerca de 3 milímetros al año siguiente 2015-16, pero con un descenso de superficies cercano al -33% de TV; presentando un penúltimo dato de coincidencia precipitacional-superficial con cerca de 109 milímetros y un casi 50% de aumento dentro de una variación superficial; para llegar a un último descenso de ambas variables al año 2019-20, con una caída precipitacional de 96 milímetros y una disminución cercana a un -10% de TV.

Figura N°15: Comparación de cambios superficiales e índice de precipitaciones por año



hidrológico, periodo estudiado. Datos representados dentro del anexo 9.

Fuente: Elaboración propia en base a datos descargados desde Google Earth Engine, 2021.

### 3.4.3. Variación Superficial y Evapotranspiración

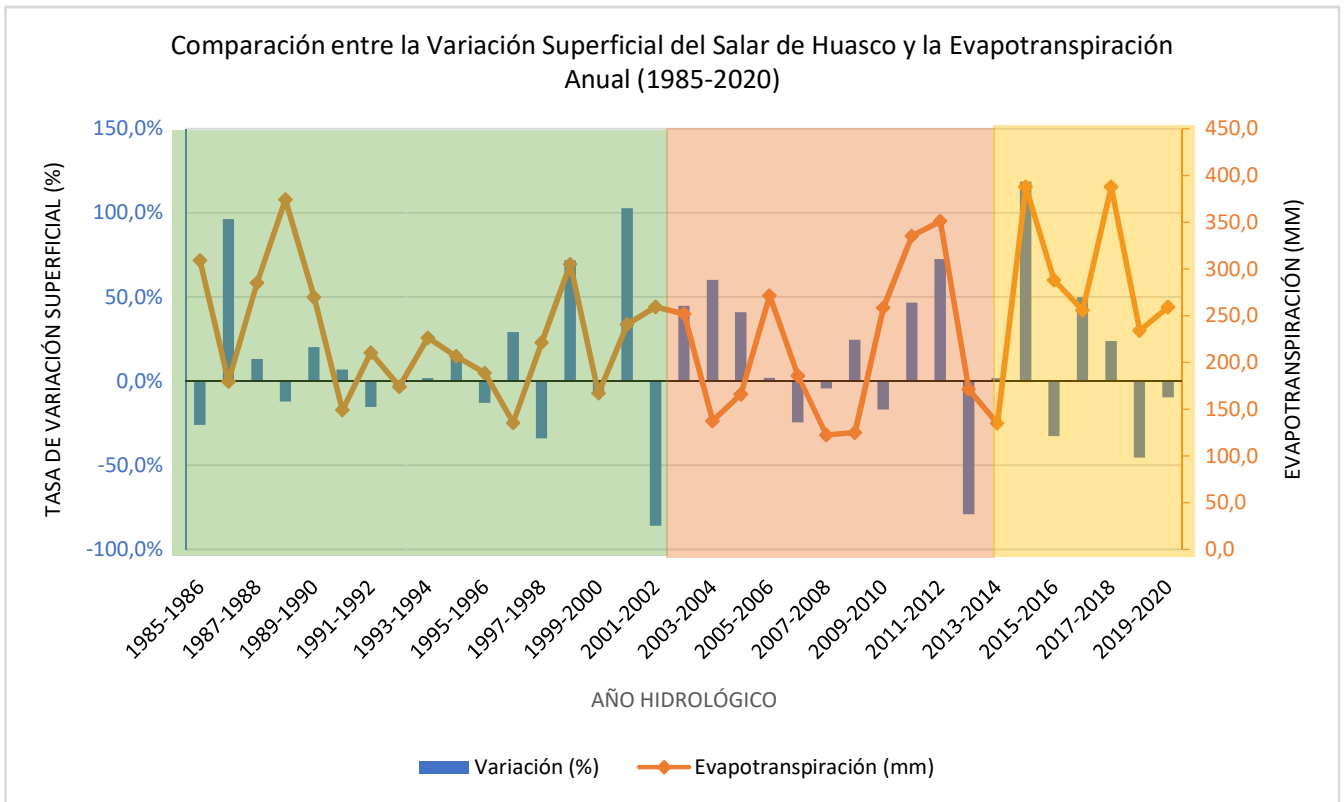
Dentro de los datos de evapotranspiración (PET) (Figura N°18) es posible ver en una primera fase como se presenta un alto índice con alrededor de 309 milímetros al año 1985-86, y una disminución superficial de -26%, para el siguiente año 1986-87 estos datos de evaporación decaen a los 180 milímetros aproximadamente, y las superficies nuevamente aumentan por sobre un 96% de tasa de variación. Los siguientes dos años el índice de evapotranspiración sube a un peak de 374 milímetros al año 1988-89, lo que también coincide con un descenso superficial de aproximadamente un -12%. El periodo de años de 1989-90 a 1990-91 la evapotranspiración desciende y las condiciones superficiales aumentan en ambos periodos. Para luego entrar a un dinamismo de este índice de evapotranspiración y superficie en el cual ambas variables suben y bajan de forma moderada hasta el año 1998-99 el cual se produce un peak de evapotranspiración y las superficies aumentan entre 305 milímetros, y un 72% respectivamente. Finalizando la primera fase es posible ver un aumento superficial importante el año 2000-01, el cual no tiene coincidencia con datos de evapotranspiración, ya que esta aumenta a un valor cercano

al 103% de variación; por otro lado, al año 2001-02 se produce un aumento del índice de evapotranspiración cercano a los 260 milímetros, y una disminución de la tasa de variación de un -86%.

En una segunda fase es posible ver como se produce una disminución de cerca de 138 milímetros de evapotranspiración al año 2003-04, y la superficie asociada a este periodo aumenta en un 60% su tasa de variación. Los dos años siguientes el índice de evaporación asciende, notándose un peak de este al año 2005-06, en el cual también es posible ver un aumento superficial, casi nulo cercano a un 2% al año 2006 respecto del año anterior estudiado. Los años que siguen ambas variables disminuyen hasta el año 2008-09 en que los valores de evapotranspiración aumentan 2 milímetros respecto al periodo anterior, y las superficies presentes dentro de este año aumentan a un valor cercano al 25%. Al año siguiente 2009-10 se produce un aumento del índice de evapotranspiración cercano a los 260 milímetros, coincidiendo con una disminución superficial de casi un 17% en su tasa de variación. Los años que siguen ambos comportamientos de los indicadores aumentan hasta finalizar esta fase, en donde al año 2012-13 la evapotranspiración disminuye a los 171 milímetros, disminuyendo también la superficie un -79% de tasa de variación.

Dentro de una fase final se puede ver como el comportamiento general de este es más variable, comenzando por el año 2013-14 en donde la evapotranspiración disminuye a valores cercanos a los 135 milímetros, y la superficie aumenta de forma poco definida casi un 2%. Al año siguiente 2014-15 el aumento es abrupto llegando a una evapotranspiración de 387 milímetros, y una superficie que igualmente aumenta en un casi 119%. Al año 2014-15 ambos indicadores descienden moderadamente, y al año siguiente 2015-16 la evapotranspiración desciende 288 milímetros, en donde la superficie coincide en una disminución cercana a un 33%. Al igual que al año 2016-17 en el que por un lado la evapotranspiración disminuye a los 256 milímetros, con un aumento superficial cercano a un 50% de tasa superficial. El siguiente año 2017-18 la evapotranspiración presente aumenta nuevamente a valores cercanos a los 383 milímetros, pero la superficie aumenta de forma suave un al presentar un 24% de tasa de variación. Por otro lado, al año 2018-19 las condiciones de evapotranspiración disminuyen a los 234 milímetros, al igual que las superficies con una disminución de un -45%. Y por último al año 2019-20 las condiciones vuelven a coincidir, en donde se produce un aumento dentro de la evapotranspiración cercana a los 259 milímetros, y una disminución que se puede asociar a ello de un -10% aproximadamente de tasa de variación.

*Figura N°16: Comparación de cambios superficiales e índice de evapotranspiración por*



*año hidrológico, periodo estudiado.*Datos representados dentro del anexo 9.

Fuente: Elaboración propia en base a datos descargados desde Google Earth Engine, 2021.

## CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

### 4.1. Discusión:

Los cuerpos de agua presentes a lo largo del país tienen una importancia relevante dentro del comportamiento humano, ya sea por su uso, su mantenimiento y su valor natural intrínseco y es por esto que se están llevando a cabo distintos análisis de mejoramiento en cuanto a la gestión del agua (Saravia et al., 2020). En donde es importante el mencionar, la existencia de variados estudios ambientales y superficiales de este tipo dentro de lo que concierne al hemisferio norte, en comparación a la disponibilidad de información de zonas dentro del hemisferio sur. En el norte del país, es posible ver como estos cuerpos de agua han ido cambiando, en sí mismos y también lo que los rodea. Que primeramente por medio de un análisis de fotointerpretación, fue posible demostrar una presencia de actividad humana, tanto minera como de las comunidades humanas cercanas al Salar. Esta al estar posicionado a una distancia relativamente cercana de este cuerpo de agua, podría pasar a ser uno de los principales actores dentro del comportamiento de variabilidad que tiene el Salar durante los años estudiados, lo que, según Bravo, 2018 entraría a formar parte de una influencia mucho más importante en condiciones de escasez hídrica adicional al cambio climático dentro del norte de Chile.

Consecutivamente, por medio del uso de imágenes, se pudo evidenciar un comportamiento de aumentos y disminuciones superficiales dentro del Salar, dentro de los cuales se pudieron notar sucesos importantes, como las menores superficies presentes en el año 1986, y de mayor proporción superficial al año 2001. Donde al primer año mencionado se encontraron temperaturas altas, precipitaciones altas, y una evapotranspiración que no ha variado; y, por otro lado, al año 2001 se encontraron temperaturas bajas, precipitaciones que han ido en aumento y una evapotranspiración que se ha mantenido en valores similares durante el tiempo. Hecho que coincide con los estudios de Alvarado, 2019, en donde los acuíferos han ido cambiando producto de las condiciones climáticas. En un caso muy evidente también se puede analizar las condiciones superficiales del Salar en el año 2012 en el que se representa la segunda mayor superficie, los cuales coincide con condiciones de temperaturas bajas, un alto nivel de precipitaciones presentes comenzando dentro del periodo anterior 2010-11 y un nivel de evapotranspiración no importante a la fecha.

Del mismo modo, considerando el estudio climatológico comprendido anteriormente es que también es posible evidenciar la no coincidencia de datos climatológicos con comportamientos superficiales, ya que siendo estandarizados y quitando anomalías presentes siguen presentándose casos en donde la variable precipitación o temperatura no concuerda con el descenso de la lámina de agua. Lo que se podría entrar a entender como una influencia externa a esta, en donde las actividades mineras y extracciones para el abastecimiento de territorios entraría como principal foco de estudio. Como es posible observar en casos de cuerpos de agua presentes dentro de la zona central del país en donde parte de ellos han llegado a la sequía y desaparición por condicionantes e influencias humanas (Fuentealba et al., 2020; Venegas-Quiñones et al., 2020).

Para un mejor desarrollo de resultados, primeramente, es que se debería obtener información por parte de las organizaciones mineras, para poder así comprender y analizar la influencia que tiene dentro del Salar de Huasco y los niveles de extracción de aguas subterráneas que es necesario para su funcionamiento. Por otro lado, tener información pertinente al origen de todas las aguas que alimentan al Oasis de Pica, y poder así comprobar la extracción desde el Salar. Este tipo de información podría llevarse a cabo de forma presencial con salidas a terreno, entrevistas a actores asociados y levantamiento de información mediante fotointerpretación y de tipo analítica, en donde se podría encontrar variables que influyen externamente y que no han sido consideradas dentro de este análisis.

En cuanto a factores que limitaron la elaboración de este trabajo investigativo, fue en primer lugar la obtención de información satelital de tipo imágenes, de las cuales se pudieron obtener solo de satélites con disponibilidad de imágenes desde 1985 en adelante, disminuyendo así el rango temporal de investigación. Por otro lado, la ausencia de estaciones meteorológicas cercanas al Salar y en el Altiplano en general, atascaron el proceso de análisis climatológico directo para el área y periodo de estudio. De igual manera, fue posible recabar información de imágenes y variables climáticas para su desarrollo y comparación anual de informaciones satelitales.

#### 4.2. Conclusiones:

Por medio del desarrollo de resultados expuestos anteriormente es posible prever que la condicionante climatológica (temperatura, precipitación, evapotranspiración) tiene un efecto directo, aunque no total dentro del comportamiento superficial del Salar de Huasco en el periodo estudiado, en el que se entendió que las variaciones negativas que coincidían con aumentos de temperatura, valores bajos de precipitación y valores de evapotranspiración altos solían indicar un comportamiento de disminución de la lámina de agua. Por otro lado, la no coincidencia de estas variables podría ser incidido por una variable antrópica, el cual fue demostrado por la presencia de dos industrias mineras y un oasis en las cercanías del salar, dentro de la cuenca de su mismo nombre. Las cuales también pueden estar afectando de manera sinérgica dentro de una disminución superficial del Salar de Huasco.

Las anomalías presentes dentro de los años 2001 y 2012 son dos periodos en que las condiciones climáticas coinciden con presencia de precipitaciones en periodos anteriores a estos, por lo que es de total interés el poder comprender la influencia y la causa de estos aumentos superficiales.

De forma individual, se obtuvieron valores de cada variable climática. Por un lado, la temperatura presente indica aumentos constantes sobre los 5,3°C durante los últimos 6 periodos de años desde el año 2015 al 2020, por lo que se puede estimar un comportamiento similar durante los próximos años dentro del salar. En cuanto a las

precipitaciones y evapotranspiración esta se puede ver de forma variada durante el transcurso de los años, llegando a valores poco mayores los últimos periodos por sobre los valores iniciales.

Los trabajos de teledetección fueron importantes al momento de desarrollar este trabajo de investigación, ya que gracias a la disponibilidad de imágenes satelitales e información de distintos conjuntos de datos (dataset) es que se obtuvo tanto delimitaciones de área de estudio, imágenes de alta calidad resolutiva con índices asociados, e información climática la cual no presentaba disponibilidad en otros sitios por límites de estaciones meteorológicas.

Es importante el comprender por medio de la geografía como estas dinámicas estructurales de cuerpos de agua, sus interacciones directas con territorios humanos y sociales tienen un dinamismo distinto al de todos los demás escenarios presentes dentro del altiplano y norte de Chile. Y de la misma forma el conocer y poder entender como estos lugares se pueden mantener y prevenir su desaparición a nivel no solo regional, sino lo que respecta a su importancia nacional como fuentes de agua dulce, y hábitat de distintas especies ecosistémicas.



## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, O. y Custodio, E. et al., (2008). Impactos ambientales de las extracciones de agua subterránea en el Salar del Huasco (norte de Chile). *Boletín Geológico y Minero*, 119 (1): 33-50 ISSN: 0366-0176. Disponible en <http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/6525/HUM20035.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alvarado. (2019). Laguna de Aculeo es una de las primeras víctimas del cambio climático y megasequía según estudio de la U. de Chile. Disponible en <https://www.uchile.cl/noticias/154875/laguna-de-aculeo-es-una-de-las-primeras-victimas-del-cambio-climatico>
- Arroyo, M. T. K., A. Pauchard, D. Alarcón, J. Armesto, F. Bozinovic, R. Bustamante, C. Echeverría, S. A. Estay, R. A. García, A. Gaxiola, M. Miranda, P. Plissock, D. Rozas, C. Salas-Eljatib y R. Rozzi (2019). Impactos del cambio climático en la biodiversidad y las funciones ecosistémicas en Chile. *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones*. Santiago: Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Disponible en <https://www.minciencia.gob.cl/comitecientifico/documentos/mesa-biodiversidad/7.Biodiversidad-Funciones-ecosistemicas-Arroyo.pdf>
- Blin Lizasoain, N. (2018). Efectos del cambio climático en el acuífero del Salar del Huasco. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Borja, C., Florin Beltran, M., & Camacho, A. (2012). Lagos y humedales en la evaluación de los ecosistemas del milenio en España. [https://www.researchgate.net/publication/261247205\\_Lagos\\_y\\_humedales\\_en\\_la\\_evaluacion\\_de\\_los\\_ecosistemas\\_del\\_milenio\\_en\\_Espana\\_Ambienta\\_98\\_82-98](https://www.researchgate.net/publication/261247205_Lagos_y_humedales_en_la_evaluacion_de_los_ecosistemas_del_milenio_en_Espana_Ambienta_98_82-98)
- Bravo Castillo, L. (2018). Impactos de la escasez hídrica sobre las prácticas cotidianas de uso de agua de las mujeres Mapuches en la comuna de San Juan de la Costa. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152662>
- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L., & Ortega, B. (2010). Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(3), 359-377. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v62n3/v62n3a5.pdf>
- Cabrera Silva, Sergio. (2019). Cambio global: una mirada desde la biología. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 35(1), 9-14. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482019000100009>

Castells-Quintana, D. (2020). Desarrollo económico y cambio climático, una perspectiva espacial para Latinoamérica. *Revista Economía y Política*, 1-10. Disponible en <https://doi.org/1025097/rep.n32.2020.0>

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). (2004). Caracterización de los tipos de ríos y lagos. Recuperado el 20 de abril el 2020 en [https://www.chj.es/eses/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-20212027/Documentosiniciales/Referencia%20bibliografica/CEH,%202005\\_DMA\\_Caracterizacion\\_Rios\\_Lagos.pdf](https://www.chj.es/eses/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-20212027/Documentosiniciales/Referencia%20bibliografica/CEH,%202005_DMA_Caracterizacion_Rios_Lagos.pdf)

Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ediciones RIALP Madrid. Disponible en <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTO S-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>

CIESIN. (2002). A CIESIN thematic guide to land-use and land-cover change (LUCC). Editor De Sherbinin, A. Center for International Earth Science Information Network, Columbia University. Disponible en [https://sedac.ciesin.columbia.edu/binaries/web/sedac/thematicguides/ciesin\\_lucc\\_tg.pdf](https://sedac.ciesin.columbia.edu/binaries/web/sedac/thematicguides/ciesin_lucc_tg.pdf)

CR2. (2021). Explorador climático Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia. Datos de precipitaciones medias anuales, Estación Meteorologica Parinacota. Disponible en <https://explorador.cr2.cl/>

DGA. (2019). Inventario Publico de Cuencas Hidrográficas y lagos. [https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/inventario\\_cuencas\\_lagos/Paginas/default.aspx](https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/inventario_cuencas_lagos/Paginas/default.aspx)

DGA. Dirección meteorológica de Chile (2021). Cambio climático en Chile. Disponible en <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoCambioClimatico>

EM, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2005). *Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua*. Informe de síntesis. World Resources Institute, Washington, DC. Disponible en [https://www.millenniumassessment.org/documents/MA\\_WetlandsandWater\\_Spanish.pdf](https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Spanish.pdf)

Falvey, M., & Garreaud, R. (2007). Wintertime Precipitation Episodes in Central Chile: Associated Meteorological Conditions and Orographic Influences, *Journal of Hydrometeorology*, 8(2), 171-193. Disponible en [https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/8/2/jhm562\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/8/2/jhm562_1.xml)

Feldmann, Fabio José, & Biderman Furriela, Rachel. (2001). Los cambios climáticos globales y el desafío de la ciudadanía planetaria. *Acta bioethica*, 7(2), 287-292. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S1726-569X2001000200010>

Fuenzalida, H. (1965): "Clima". In: Geografía Económica de Chile. Corp. Fomento de la Producción (CORFO), vol. 1, p. 188-325.

Green, T. R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J. J., Allen, D. M., Hiscock, K. M., ... & Aureli, A. (2011). Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405(3-4), 532-560.

IPCC. (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Disponible en [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)

IPCC. (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Disponible en [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)

IPCC. (2021). Comunicado de prensa del IPCC. El cambio climático es generalizado, rápido y se está intensificando. Disponible en [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC\\_WGI-AR6Press-Release-Final\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6Press-Release-Final_es.pdf)

Jaramillo, A. (2007). Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe, Chinchiná, Colombia. Disponible en <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/232/1/arc057%2804%29288-298.pdf>

Jiménez, S., & Wainer, J. T. (2017). Realidad del agua en Chile: ¿Escasez o falta de infraestructura?. Disponible en <https://lyd.org/wp-content/uploads/2017/06/SIE-263-Realidad-del-agua-en-Chile-Escasez-o-falta-de-infraestructura-Marzo2017.pdf>

Labardini, R. (2021). La Convención sobre el Estatuto Jurídico del Mar Caspio. <http://ri.iberomex.mx/handle/iberomex/5157>

Martínez-Austria, P. F., & Patiño-Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 5-20. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n1/v3n1a1.pdf>

Mcfeters, S, K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432. Disponible en <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>

Rivera, A., Casassa, G., Acuña, C., & Lange, H. (2000). Variaciones recientes de glaciares en Chile. *Investigaciones Geográficas*, (34), Pág. 29-60. doi:10.5354/0719-5370.2013.27709

Romero, H., & Kampf, S. (2003). Impacts of Climate Fluctuations and Climate Changes on the Sustainable Development of the Arid Norte Grande in Chile. In *Climate and Water*, 83-115. Springer Netherlands. Disponible en [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-1250-3\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-1250-3_5)

Rustom Jabbaz, A. (2012). Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia. Una visión conceptual y aplicada. Departamento de Economía Agraria, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120284>

Santibáñez, F., Santibáñez, P., & González, P. (2016). El cambio climático y los recursos hídricos en Chile. Santiago, ODEPA. Disponible en <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/cambioClim12parte.pdf>

Saravia Matus, S., Gil, M., Blanco, E., Llavona, A., & Naranjo, L. (2020). Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46503>

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2003). Mapa Geológico de Chile: Versión Digital. (N.o 04). Publicación Geológica Digital. Disponible en <http://www.ipgp.fr/~dechabal/Geol-millon.pdf>

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2007). Antecedentes Generales del Sistema Salino, Salar de Huasco. Disponible en [https://portalgeo.sernageomin.cl/Salares/SALAR\\_DE\\_HUASCO/FICHA\\_TECNICA\\_CO MPILADA\\_SALAR\\_DE\\_HUASCO.pdf](https://portalgeo.sernageomin.cl/Salares/SALAR_DE_HUASCO/FICHA_TECNICA_CO MPILADA_SALAR_DE_HUASCO.pdf)

Shaw, T., Ulloa, G., Farías-Barahona, D., Fernandez, R., Lattus, J., & McPhee, J. (2021). Glacier albedo reduction and drought effects in the extratropical Andes, 1986–2020. *Journal of Glaciology*, 67(261), 158-169. doi:10.1017/jog.2020.102

Valenzuela, R. A., & Garreaud, R. D. (2019). Extreme Daily Rainfall in Central-Southern Chile and Its Relationship with Low-Level Horizontal Water Vapor Fluxes, *Journal of Hydrometeorology*, 20(9), 1829-1850. Disponible en [https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/20/9/jhm-d-19-0036\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/20/9/jhm-d-19-0036_1.xml)

Véliz González, D. E. (2018). Distribución de asociaciones evaporíticas en el Salar del Huasco, región de Tarapacá, Chile: análisis espacio temporal a través de sensores remotos.

Venegas-Quñones, H. L., Thomasson, M., & Garcia-Chevesich, P. A. (2020). Water scarcity or drought? The cause and solution for the lack of water in Laguna De Aculeo. *Water Conservation & Management (WCM)*, 4(1), 42-50Volume.

Villa-Ochoa, J. A., González-Gómez, D., & Carmona-Mesa, J. A. (2018). Modelación y Tecnología en el Estudio de la Tasa de Variación Instantánea en Matemáticas. *Formación universitaria*, 11(2), 25-34. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062018000200025>

## ANEXOS

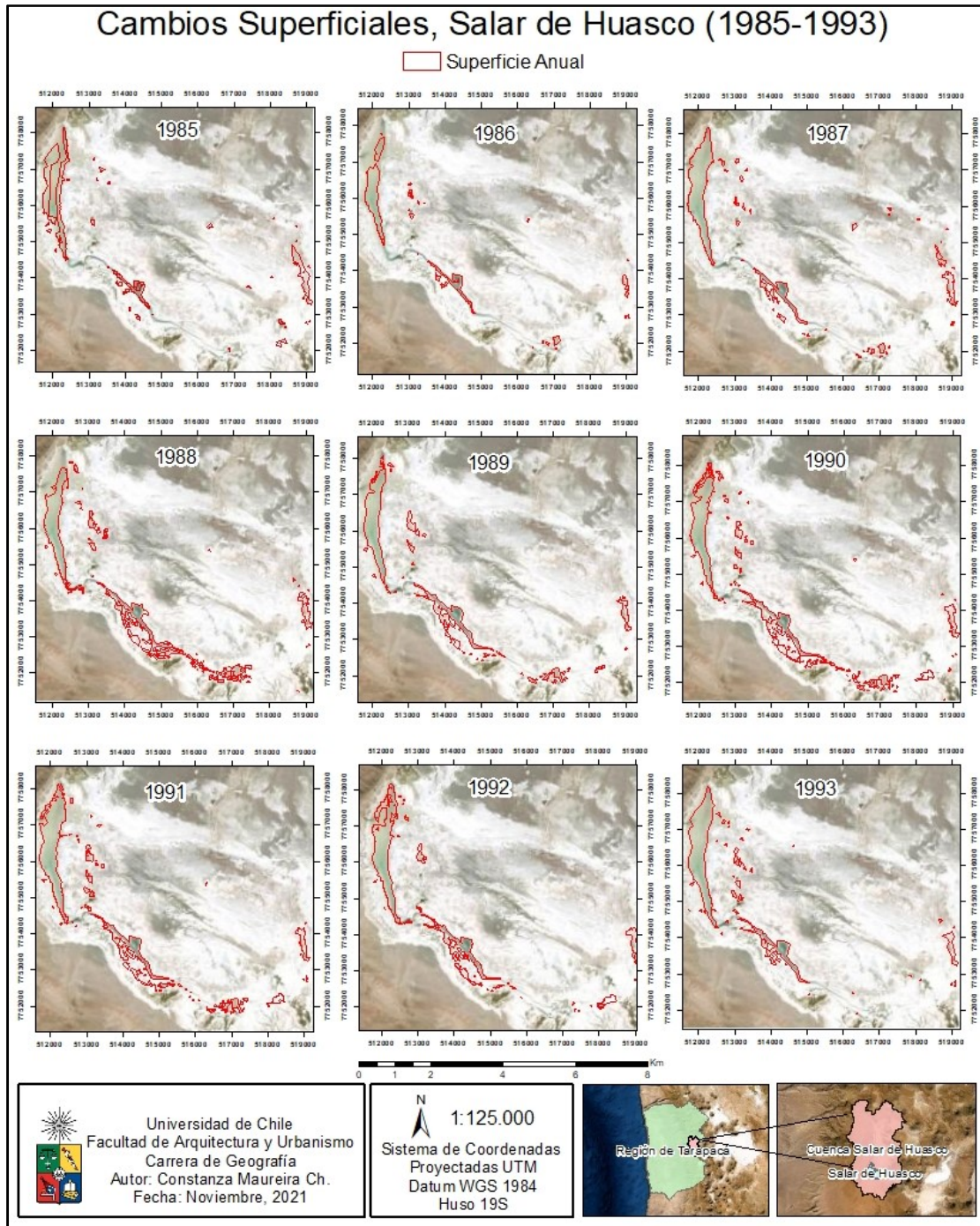
*Anexo N°1: Superficie obtenida por año, Salar de Huasco.*

<b>Año</b>	<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
1985	1,278602
1986	0,943804
1987	1,853401
1988	2,097352
1989	1,840524
1990	2,212838
1991	2,364631
1992	2,003155
1993	1,939277
1994	1,970012
1995	2,256499
1996	1,962409
1997	2,531648
1998	1,669464
1999	2,866638
2000	2,668777
2001	6,013903
2002	0,757328
2003	1,096491
2004	1,756106
2005	2,47431
2006	2,519541
2007	1,901723
2008	1,816492
2009	2,263823
2010	1,884081
2011	2,761944
2012	4,762325
2013	0,99823
2014	1,014562
2015	2,21723
2016	1,490291
2017	2,232679
2018	2,760697
2019	1,507016
2020	1,362648

*Anexo N°2: Análisis estadístico de información superficial.*

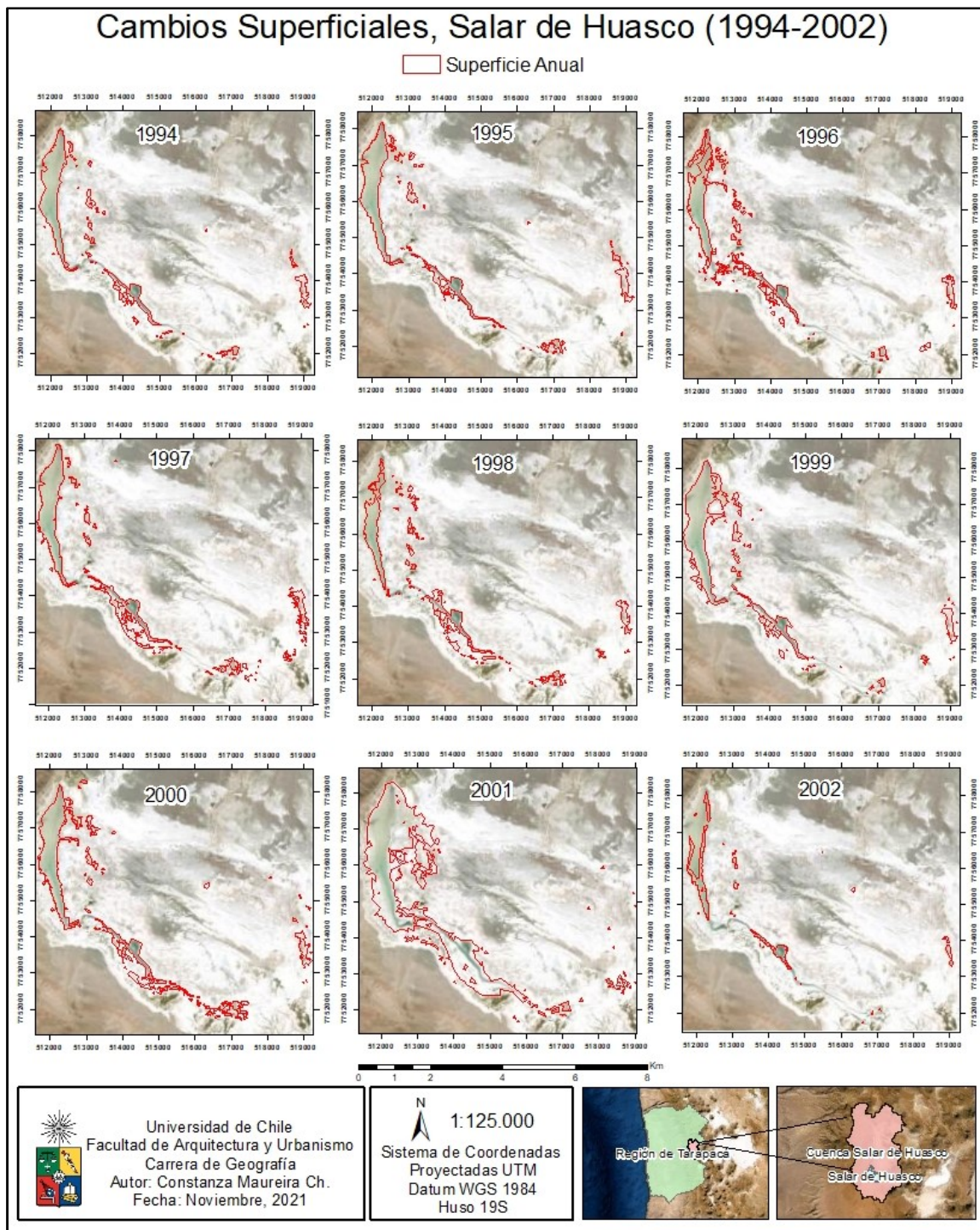
Superficies por Año		Tasa de Variación (1985-Año)		Tasa de Variación (entre c/año)		Superficies Normalizadas
Año	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Año	Variación (%)	Año	Variación (%)	Año
1985	1,278602	1985-1986	-26,18%	1985-1986	-26,18%	-0,897331734
1986	0,943804	1985-1987	44,96%	1986-1987	96,38%	-1,266051668
1987	1,853401	1985-1988	64,03%	1987-1988	13,16%	-0,264293756
1988	2,097352	1985-1989	43,95%	1988-1989	-12,25%	0,004374505
1989	1,840524	1985-1990	73,07%	1989-1990	20,23%	-0,278475461
1990	2,212838	1985-1991	84,94%	1990-1991	6,86%	0,131561615
1991	2,364631	1985-1992	56,67%	1991-1992	-15,29%	0,298734373
1992	2,003155	1985-1993	51,67%	1992-1993	-3,19%	-0,099366591
1993	1,939277	1985-1994	54,08%	1993-1994	1,58%	-0,169716748
1994	1,970012	1985-1995	76,48%	1994-1995	14,54%	-0,13586766
1995	2,256499	1985-1996	53,48%	1995-1996	-13,03%	0,179646374
1996	1,962409	1985-1997	98,00%	1996-1997	29,01%	-0,144241
1997	2,531648	1985-1998	30,57%	1997-1998	-34,06%	0,482673635
1998	1,669464	1985-1999	124,20%	1998-1999	71,71%	-0,466867363
1999	2,866638	1985-2000	108,73%	1999-2000	-6,90%	0,851605022
2000	2,668777	1985-2001	323,42%	2000-2001	102,86%	0,633696627
2001	5,413903	1985-2002	-40,77%	2001-2002	-86,01%	3,656960434
2002	0,757328	1985-2003	-14,24%	2002-2003	44,78%	-1,471421527
2003	1,096491	1985-2004	37,35%	2003-2004	60,16%	-1,09789433
2004	1,756106	1985-2005	93,52%	2004-2005	40,90%	-0,371446744
2005	2,47431	1985-2006	97,05%	2005-2006	1,83%	0,419526115
2006	2,519541	1985-2007	48,73%	2006-2007	-24,52%	0,469339947
2007	1,901723	1985-2008	42,07%	2007-2008	-4,48%	-0,211075742
2008	1,816492	1985-2009	77,05%	2008-2009	24,63%	-0,304942398
2009	2,263823	1985-2010	47,35%	2009-2010	-16,77%	0,187712446
2010	1,884081	1985-2011	116,01%	2010-2011	46,59%	-0,23050524
2011	2,761944	1985-2012	272,46%	2011-2012	72,43%	0,736303363
2012	4,762325	1985-2013	-21,93%	2012-2013	-79,04%	2,939364161
2013	0,99823	1985-2014	-20,65%	2013-2014	1,64%	-1,206111193
2014	1,014562	1985-2015	73,41%	2014-2015	118,54%	-1,188124425
2015	2,21723	1985-2016	16,56%	2015-2016	-32,79%	0,136398616
2016	1,490291	1985-2017	74,62%	2016-2017	49,81%	-0,664194278
2017	2,232679	1985-2018	115,92%	2017-2018	23,65%	0,153412917
2018	2,760697	1985-2019	17,86%	2018-2019	-45,41%	0,734930017
2019	1,507016	1985-2020	6,57%	2019-2020	-9,58%	-0,645774691
2020	1,362648					
2021	2,004607					

*Anexo N°3: Cambios superficiales Salar de Huasco, Cartografías temporales (1985-1993).*

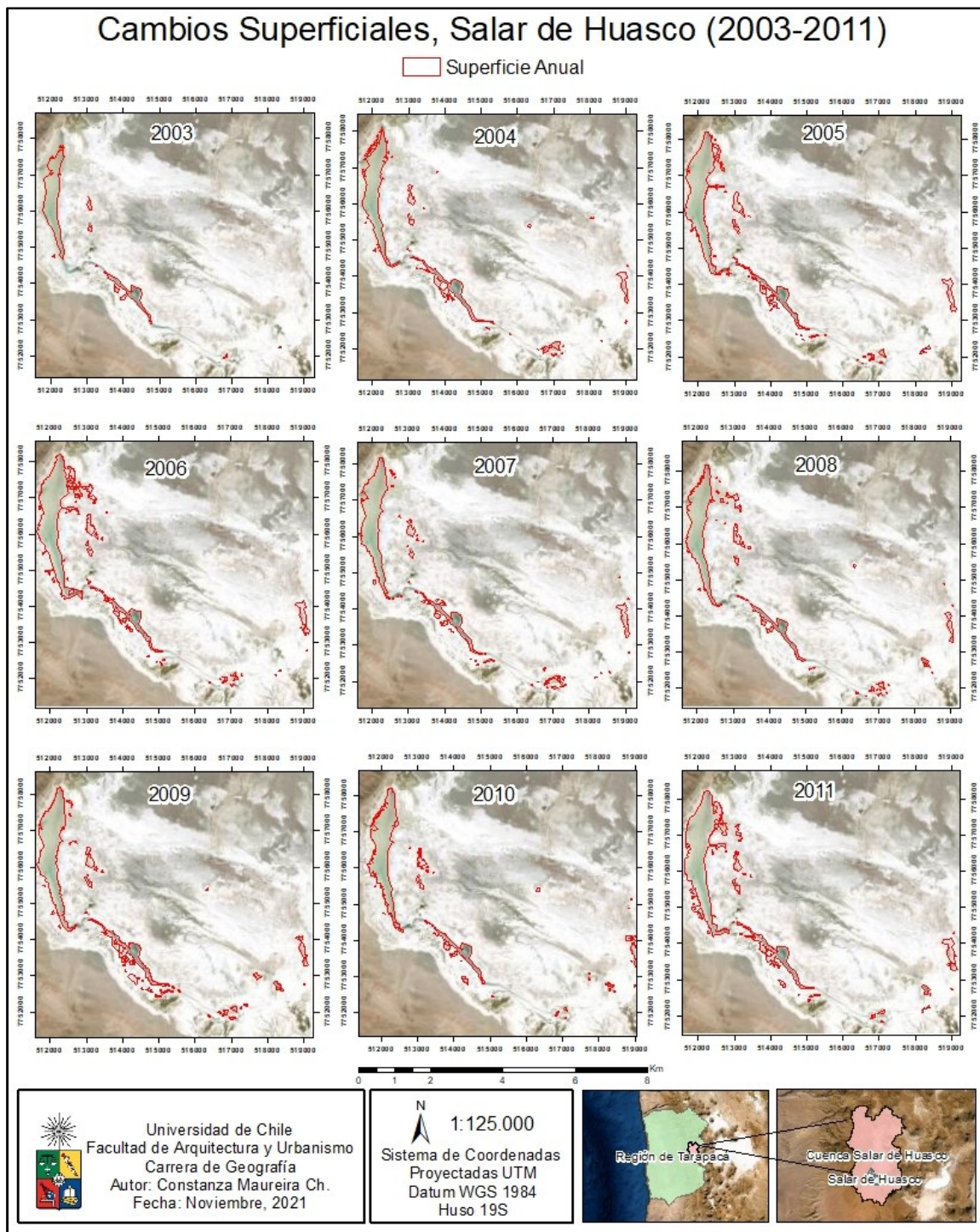




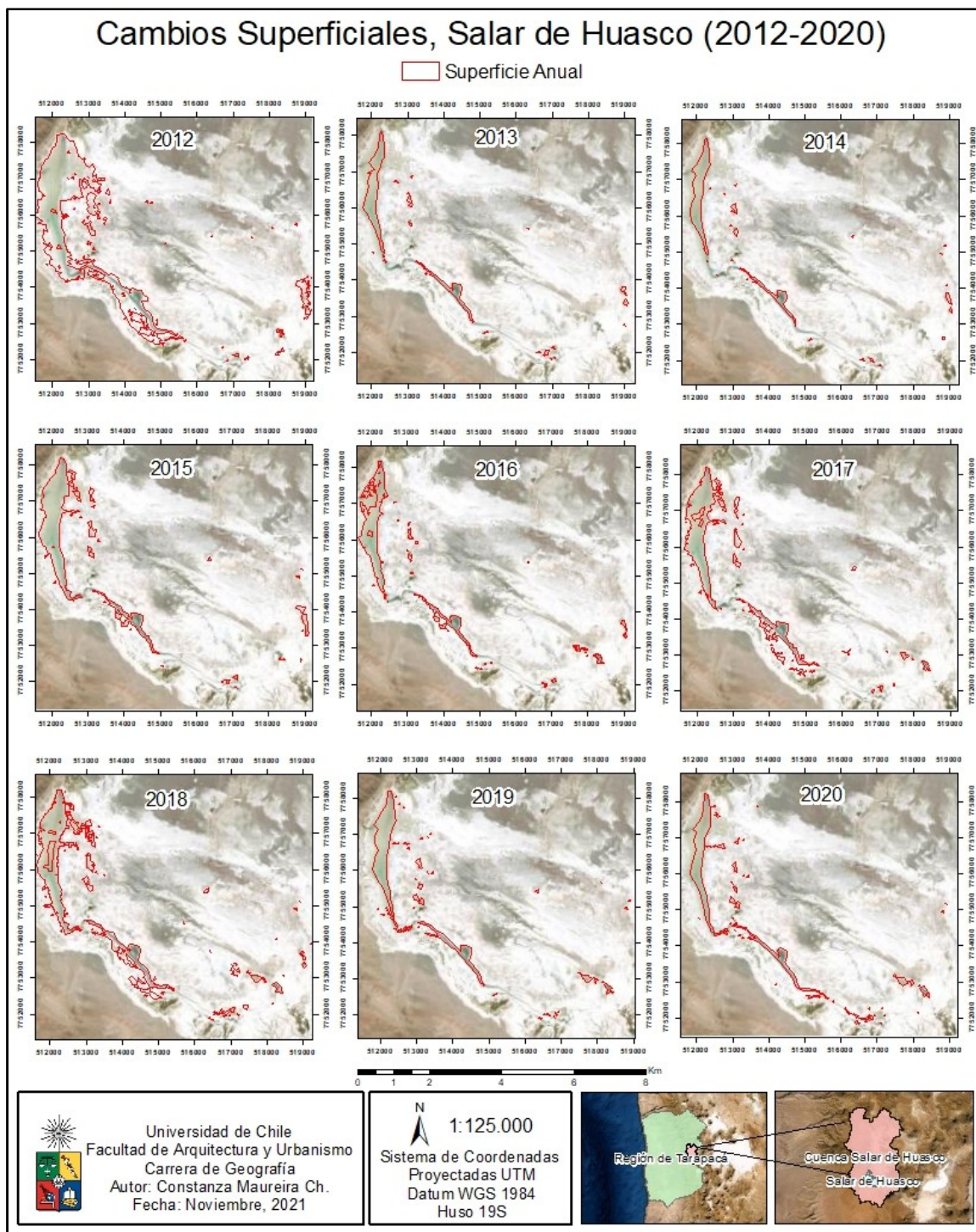
*Anexo N°4: Cambios superficiales Salar de Huasco, Cartografías temporales (1994-2002).*



*Anexo N°5: Cambios superficiales Salar de Huasco, Cartografías temporales (2003-2011).*



*Anexo N°6: Cambios superficiales Salar de Huasco, Cartografías temporales (2012-2020).*



*Anexo N°7: Tabla de datos climatológicos descargados desde plataforma Google Earth Engine-TerraClimate.*

Time	aet	pet	pr	tmmn	tmmx
01-01-1984	756	1,074	80	6	149
01-02-1984	752	940	79	9	146
01-03-1984	104	1,111	11	6	144
01-04-1984	0	1,009	0	-25	140
01-05-1984	0	925	0	-50	128
01-06-1984	0	202	0	-82	90
01-07-1984	0	241	0	-84	93
01-08-1984	0	403	0	-81	101
01-09-1984	0	1,111	0	-61	130
01-10-1984	0	1,265	0	-30	148
01-11-1984	0	1,253	0	-19	146
01-12-1984	2	1,481	0	-3	160
01-01-1985	90	1,274	9	1	160
01-02-1985	509	973	54	6	150
01-03-1985	76	1,269	8	4	162
01-04-1985	0	995	0	-20	139
01-05-1985	0	930	0	-49	123
01-06-1985	0	379	0	-74	97
01-07-1985	0	205	0	-89	94
01-08-1985	0	571	0	-81	109
01-09-1985	1	1,078	0	-50	124
01-10-1985	0	1,317	0	-41	151
01-11-1985	1	1,266	0	-24	145
01-12-1985	61	1,38	6	-2	156
01-01-1986	260	1,263	27	8	168
01-02-1986	370	1,018	39	6	155
01-03-1986	75	1,157	8	2	150
01-04-1986	0	1,038	0	-25	148
01-05-1986	0	866	0	-58	124
01-06-1986	0	245	0	-92	103
01-07-1986	0	96	0	-95	86
01-08-1986	0	578	0	-74	104
01-09-1986	0	1,107	0	-51	129
01-10-1986	0	1,338	0	-46	148
01-11-1986	1	1,435	0	-19	164
01-12-1986	128	1,291	13	4	163
01-01-1987	600	1,159	63	16	161
01-02-1987	85	1,188	9	11	175
01-03-1987	43	1,267	5	10	169
01-04-1987	0	1,051	0	-20	155

01-05-1987	0	929	0	-47	129
01-06-1987	0	516	0	-72	106
01-07-1987	0	550	0	-68	101
01-08-1987	0	844	0	-67	119
01-09-1987	12	1,137	1	-51	138
01-10-1987	0	1,277	0	-35	145
01-11-1987	0	1,331	0	-10	156
01-12-1987	0	1,558	0	3	174
01-01-1988	175	1,301	18	17	168
01-02-1988	24	1,156	3	1	152
01-03-1988	92	1,164	10	10	146
01-04-1988	0	973	0	-20	138
01-05-1988	0	857	0	-47	118
01-06-1988	0	66	0	-101	87
01-07-1988	0	182	0	-92	96
01-08-1988	0	666	0	-80	114
01-09-1988	8	1,073	1	-55	125
01-10-1988	0	1,318	0	-48	141
01-11-1988	0	1,408	0	-29	154
01-12-1988	8	1,451	1	-8	155
01-01-1989	110	1,267	12	3	159
01-02-1989	358	987	38	10	159
01-03-1989	86	1,179	9	-1	153
01-04-1989	0	943	0	-19	135
01-05-1989	0	766	0	-65	111
01-06-1989	0	245	0	-81	94
01-07-1989	0	243	0	-81	92
01-08-1989	0	489	0	-79	103
01-09-1989	0	1,051	0	-64	123
01-10-1989	0	1,3	0	-44	146
01-11-1989	0	1,411	0	-25	156
01-12-1989	0	1,483	0	-4	163
01-01-1990	117	1,234	12	5	163
01-02-1990	89	1,072	9	-2	153
01-03-1990	37	1,275	4	-3	157
01-04-1990	0	1,04	0	-20	143
01-05-1990	0	850	0	-58	118
01-06-1990	0	120	0	-82	80
01-07-1990	0	95	0	-93	85
01-08-1990	0	416	0	-81	101
01-09-1990	0	1,103	0	-60	133

01-10-1990	0	1,269	0	-36	140
01-11-1990	0	1,336	0	-17	153
01-12-1990	86	1,373	9	2	166
01-01-1991	303	1,244	32	13	164
01-02-1991	74	1,14	8	8	158
01-03-1991	77	1,214	8	6	151
01-04-1991	0	1,027	0	-28	146
01-05-1991	0	920	0	-55	127
01-06-1991	0	371	0	-82	105
01-07-1991	0	351	0	-83	101
01-08-1991	0	450	0	-85	107
01-09-1991	0	1,103	0	-50	133
01-10-1991	0	1,292	0	-52	148
01-11-1991	0	1,361	0	-20	156
01-12-1991	6	1,498	1	-9	169
01-01-1992	235	1,252	25	11	156
01-02-1992	22	1,097	2	2	150
01-03-1992	0	1,266	0	8	159
01-04-1992	0	1,081	0	-23	160
01-05-1992	0	873	0	-41	138
01-06-1992	0	331	0	-76	96
01-07-1992	0	201	0	-85	92
01-08-1992	0	324	0	-83	97
01-09-1992	0	1,093	0	-61	130
01-10-1992	0	1,3	0	-40	150
01-11-1992	0	1,39	0	-25	156
01-12-1992	62	1,443	7	2	160
01-01-1993	390	1,121	41	15	160
01-02-1993	67	1,14	7	0	160
01-03-1993	90	1,216	10	1	154
01-04-1993	0	1,066	0	-19	158
01-05-1993	0	895	0	-48	129
01-06-1993	0	475	0	-82	111
01-07-1993	0	297	0	-82	98
01-08-1993	0	584	0	-74	106
01-09-1993	0	1,089	0	-56	130
01-10-1993	0	1,252	0	-36	143
01-11-1993	0	1,391	0	-19	152
01-12-1993	28	1,4	3	-3	164
01-01-1994	269	1,32	28	11	162
01-02-1994	346	1,085	36	14	154
01-03-1994	52	1,237	6	2	154
01-04-1994	0	1,038	0	-20	152

01-05-1994	0	887	0	-43	125
01-06-1994	0	280	0	-81	96
01-07-1994	0	277	0	-79	92
01-08-1994	0	610	0	-74	106
01-09-1994	1	1,119	0	-42	138
01-10-1994	0	1,322	0	-34	150
01-11-1994	0	1,415	0	-16	157
01-12-1994	26	1,355	3	2	165
01-01-1995	101	1,323	11	15	164
01-02-1995	31	1,222	3	13	155
01-03-1995	75	1,237	8	6	148
01-04-1995	0	1,067	0	-23	147
01-05-1995	0	866	0	-51	121
01-06-1995	0	233	0	-87	97
01-07-1995	0	221	0	-84	92
01-08-1995	0	555	0	-72	100
01-09-1995	0	1,079	0	-46	126
01-10-1995	0	1,316	0	-38	143
01-11-1995	0	1,402	0	-21	152
01-12-1995	5	1,442	1	-5	157
01-01-1996	108	1,354	11	1	155
01-02-1996	160	1,1	17	7	150
01-03-1996	29	1,26	3	1	148
01-04-1996	0	1,029	0	-26	144
01-05-1996	0	802	0	-53	109
01-06-1996	0	97	0	-86	80
01-07-1996	0	127	0	-88	85
01-08-1996	0	317	0	-81	95
01-09-1996	0	1,084	0	-55	118
01-10-1996	0	1,324	0	-40	144
01-11-1996	0	1,358	0	-23	147
01-12-1996	15	1,508	2	-9	150
01-01-1997	756	1,152	80	11	158
01-02-1997	508	1,041	54	11	150
01-03-1997	58	1,24	6	7	153
01-04-1997	0	1,012	0	-33	148
01-05-1997	0	869	0	-41	134
01-06-1997	0	467	0	-77	109
01-07-1997	0	658	0	-58	109
01-08-1997	0	207	0	-85	90
01-09-1997	11	1,046	1	-40	132
01-10-1997	0	1,311	0	-32	153
01-11-1997	0	1,366	0	-11	153

01-12-1997	11	1,534	1	16	175
01-01-1998	499	1,308	52	28	172
01-02-1998	50	1,102	5	36	165
01-03-1998	1	1,258	0	19	159
01-04-1998	0	1,047	0	-14	156
01-05-1998	0	861	0	-42	130
01-06-1998	0	348	0	-79	101
01-07-1998	0	402	0	-70	95
01-08-1998	0	535	0	-73	100
01-09-1998	0	1,081	0	-59	121
01-10-1998	0	1,291	0	-44	137
01-11-1998	0	1,337	0	-20	147
01-12-1998	8	1,416	1	3	161
01-01-1999	107	1,332	11	2	153
01-02-1999	580	894	61	17	151
01-03-1999	236	1,096	25	13	149
01-04-1999	0	1,04	0	-30	142
01-05-1999	0	862	0	-54	112
01-06-1999	0	92	0	-95	87
01-07-1999	0	233	0	-78	88
01-08-1999	0	474	0	-77	101
01-09-1999	1	1,062	0	-54	123
01-10-1999	0	1,282	0	-47	135
01-11-1999	0	1,425	0	-27	144
01-12-1999	19	1,453	2	-1	158
01-01-2000	485	1,153	51	15	156
01-02-2000	275	1,038	29	9	149
01-03-2000	88	1,24	9	6	148
01-04-2000	0	1,008	0	-16	152
01-05-2000	0	842	0	-54	116
01-06-2000	0	90	0	-91	83
01-07-2000	0	115	0	-87	82
01-08-2000	0	465	0	-74	97
01-09-2000	0	1,11	0	-48	126
01-10-2000	0	1,265	0	-40	135
01-11-2000	0	1,357	0	-22	145
01-12-2000	8	1,407	1	5	159
01-01-2001	482	1,153	51	12	156
01-02-2001	886	886	103	10	154
01-03-2001	180	1,167	15	3	151
01-04-2001	15	990	0	-29	146
01-05-2001	9	857	0	-54	114
01-06-2001	6	169	0	-88	92

01-07-2001	4	196	0	-89	95
01-08-2001	3	372	0	-82	99
01-09-2001	3	1,071	0	-58	126
01-10-2001	2	1,276	0	-49	142
01-11-2001	2	1,338	0	-16	147
01-12-2001	32	1,4	3	5	156
01-01-2002	56	1,373	6	4	156
01-02-2002	524	1,026	55	11	147
01-03-2002	183	1,177	19	13	149
01-04-2002	1	970	0	-23	140
01-05-2002	1	825	0	-43	123
01-06-2002	1	132	0	-84	84
01-07-2002	1	156	0	-80	83
01-08-2002	1	425	0	-77	98
01-09-2002	0	1,088	0	-51	126
01-10-2002	0	1,273	0	-42	147
01-11-2002	0	1,395	0	-21	151
01-12-2002	4	1,553	0	-1	170
01-01-2003	192	1,298	20	9	155
01-02-2003	87	1,102	9	16	162
01-03-2003	101	1,212	11	4	152
01-04-2003	0	1,051	0	-34	146
01-05-2003	0	838	0	-55	121
01-06-2003	0	94	0	-97	89
01-07-2003	0	236	0	-86	96
01-08-2003	0	195	0	-86	90
01-09-2003	0	1,074	0	-59	122
01-10-2003	0	1,308	0	-41	148
01-11-2003	0	1,452	0	-21	160
01-12-2003	8	1,503	1	3	162
01-01-2004	367	1,237	39	14	160
01-02-2004	550	1,076	58	6	150
01-03-2004	33	1,263	3	5	156
01-04-2004	0	1,056	0	-19	149
01-05-2004	0	790	0	-62	109
01-06-2004	0	126	0	-91	89
01-07-2004	0	221	0	-77	87
01-08-2004	0	512	0	-73	102
01-09-2004	0	1,095	0	-48	131
01-10-2004	0	1,28	0	-33	143
01-11-2004	0	1,398	0	-13	152
01-12-2004	14	1,531	1	7	170
01-01-2005	167	1,293	18	13	163

01-02-2005	609	1,035	64	15	149
01-03-2005	35	1,3	4	2	155
01-04-2005	0	1,021	0	-20	143
01-05-2005	0	834	0	-45	115
01-06-2005	0	148	0	-90	92
01-07-2005	0	220	0	-81	90
01-08-2005	0	540	0	-76	104
01-09-2005	14	962	1	-62	113
01-10-2005	0	1,296	0	-49	130
01-11-2005	0	1,388	0	-23	149
01-12-2005	28	1,436	3	-6	145
01-01-2006	541	1,18	57	19	161
01-02-2006	292	1,09	31	20	155
01-03-2006	149	1,198	16	11	157
01-04-2006	0	1,024	0	-25	145
01-05-2006	0	838	0	-41	119
01-06-2006	0	149	0	-87	91
01-07-2006	0	446	0	-78	105
01-08-2006	0	413	0	-76	96
01-09-2006	0	1,074	0	-56	131
01-10-2006	0	1,365	0	-40	142
01-11-2006	0	1,422	0	-15	151
01-12-2006	8	1,555	1	5	167
01-01-2007	446	1,355	47	15	166
01-02-2007	215	1,163	23	13	158
01-03-2007	131	1,222	14	12	146
01-04-2007	0	1,05	0	-27	145
01-05-2007	0	747	0	-64	104
01-06-2007	0	117	0	-91	87
01-07-2007	0	86	0	-89	78
01-08-2007	0	263	0	-88	96
01-09-2007	0	1,03	0	-65	121
01-10-2007	0	1,305	0	-51	136
01-11-2007	0	1,375	0	-23	144
01-12-2007	2	1,547	0	-10	150
01-01-2008	513	1,26	54	13	154
01-02-2008	87	1,164	9	3	151
01-03-2008	17	1,247	2	-2	149
01-04-2008	0	1,054	0	-41	141
01-05-2008	0	561	0	-78	107
01-06-2008	0	108	0	-92	89
01-07-2008	0	217	0	-84	92
01-08-2008	0	352	0	-85	102

01-09-2008	0	1,087	0	-61	131
01-10-2008	0	1,294	0	-35	139
01-11-2008	0	1,453	0	-18	158
01-12-2008	13	1,483	1	0	155
01-01-2009	15	1,369	2	3	155
01-02-2009	268	1,074	28	18	154
01-03-2009	56	1,236	6	9	155
01-04-2009	0	978	0	-20	150
01-05-2009	0	860	0	-51	121
01-06-2009	0	142	0	-86	90
01-07-2009	0	232	0	-81	91
01-08-2009	0	362	0	-87	104
01-09-2009	0	1,09	0	-63	132
01-10-2009	0	1,295	0	-47	146
01-11-2009	0	1,367	0	-15	157
01-12-2009	6	1,496	1	9	160
01-01-2010	131	1,335	14	13	159
01-02-2010	305	1,096	32	22	164
01-03-2010	14	1,269	2	5	156
01-04-2010	0	967	0	-18	151
01-05-2010	0	829	0	-47	119
01-06-2010	0	198	0	-83	92
01-07-2010	0	122	0	-94	89
01-08-2010	0	309	0	-87	100
01-09-2010	0	1,075	0	-57	124
01-10-2010	0	1,279	0	-51	137
01-11-2010	0	1,427	0	-38	151
01-12-2010	18	1,548	2	-7	160
01-01-2011	258	1,356	27	8	155
01-02-2011	917	917	118	15	146
01-03-2011	130	1,231	0	0	144
01-04-2011	24	1,003	0	-23	147
01-05-2011	12	775	0	-54	114
01-06-2011	8	329	0	-71	93
01-07-2011	5	208	0	-76	85
01-08-2011	4	325	0	-79	95
01-09-2011	3	985	0	-53	118
01-10-2011	2	1,33	0	-55	138
01-11-2011	2	1,318	0	-20	147
01-12-2011	80	1,381	8	-1	155
01-01-2012	472	1,207	50	5	149
01-02-2012	579	880	61	12	146
01-03-2012	129	1,122	13	6	146

01-04-2012	1	1,009	0	-17	147
01-05-2012	1	753	0	-54	116
01-06-2012	1	255	0	-82	95
01-07-2012	1	260	0	-82	94
01-08-2012	1	433	0	-81	103
01-09-2012	1	1,097	0	-55	135
01-10-2012	0	1,29	0	-44	146
01-11-2012	0	1,334	0	-19	147
01-12-2012	30	1,369	3	4	158
01-01-2013	259	1,258	27	7	149
01-02-2013	449	1,013	47	13	149
01-03-2013	89	1,277	9	1	151
01-04-2013	0	1,077	0	-49	145
01-05-2013	0	795	0	-52	114
01-06-2013	0	81	0	-90	81
01-07-2013	0	181	0	-83	88
01-08-2013	0	281	0	-83	95
01-09-2013	0	1,068	0	-56	125
01-10-2013	0	1,236	0	-42	131
01-11-2013	0	1,371	0	-23	148
01-12-2013	34	1,38	4	3	155
01-01-2014	263	1,247	28	12	157
01-02-2014	10	1,177	1	4	148
01-03-2014	5	1,316	0	-3	153
01-04-2014	0	976	0	-19	144
01-05-2014	0	797	0	-54	116
01-06-2014	0	287	0	-71	89
01-07-2014	0	208	0	-83	90
01-08-2014	0	625	0	-68	105
01-09-2014	0	1,097	0	-41	130
01-10-2014	0	1,212	0	-37	140
01-11-2014	0	1,393	0	-14	154
01-12-2014	5	1,451	1	4	153
01-01-2015	194	1,237	20	12	150
01-02-2015	351	974	37	15	155
01-03-2015	144	1,079	15	23	157
01-04-2015	0	942	0	-4	155
01-05-2015	0	714	0	-45	117
01-06-2015	0	336	0	-77	102
01-07-2015	0	406	0	-70	95
01-08-2015	0	471	0	-72	100
01-09-2015	0	1,073	0	-33	135
01-10-2015	0	1,229	0	-38	146

01-11-2015	0	1,355	0	-25	154
01-12-2015	1	1,507	0	-1	170
01-01-2016	83	1,71	9	32	185
01-02-2016	629	1,072	66	32	180
01-03-2016	9	1,51	1	24	173
01-04-2016	0	1,136	0	0	170
01-05-2016	0	1,055	0	-22	153
01-06-2016	0	778	0	-62	119
01-07-2016	0	831	0	-57	118
01-08-2016	0	936	0	-61	120
01-09-2016	20	1,287	2	-17	163
01-10-2016	0	1,422	0	-29	158
01-11-2016	4	1,53	0	-9	167
01-12-2016	13	1,62	1	9	174
01-01-2017	433	1,251	46	30	182
01-02-2017	399	1,204	42	26	173
01-03-2017	170	1,188	18	16	165
01-04-2017	0	1,1	0	-16	154
01-05-2017	0	925	0	-45	130
01-06-2017	0	318	0	-82	99
01-07-2017	0	810	0	-62	114
01-08-2017	0	832	0	-69	111
01-09-2017	8	1,223	1	-28	153
01-10-2017	0	1,495	0	-24	163
01-11-2017	5	1,523	0	-7	169
01-12-2017	40	1,518	4	7	172
01-01-2018	225	1,259	24	7	156
01-02-2018	241	980	25	13	153
01-03-2018	77	1,268	8	4	154
01-04-2018	0	1,047	0	-16	162
01-05-2018	0	830	0	-53	116
01-06-2018	0	104	0	-88	85
01-07-2018	0	164	0	-89	94
01-08-2018	0	268	0	-83	95
01-09-2018	2	1,049	0	-60	133
01-10-2018	0	1,22	0	-31	143
01-11-2018	12	1,369	1	-16	157
01-12-2018	42	1,363	4	2	154
01-01-2019	458	1,301	48	28	180
01-02-2019	554	964	58	20	168
01-03-2019	24	1,513	3	21	170
01-04-2019	0	1,214	0	-8	163
01-05-2019	0	1,041	0	-41	134



01-06-2019	0	846	0	-57	124
01-07-2019	0	754	0	-65	111

01-04-2020	0	1,109	0	-11	159
01-05-2020	0	976	0	-39	134

Componentes Climáticas y Tasa de Variación Superficial año a año											
01-08-2019	0	979	0	-56	125	01-06-2020	0	555	0	-73	106
01-09-2019	33	1,181	4	-30	150	01-07-2020	0	618	0	-70	106
01-10-2019	0	1,404	0	-29	158	01-08-2020	0	653	0	-74	107
01-11-2019	12	1,469	1	0	177	01-09-2020	3	1,143	0	-42	140
01-12-2019	12	1,706	1	16	181	01-10-2020	0	1,351	0	-24	162
01-01-2020	372	1,314	39	22	171	01-11-2020	0	1,485	0	-12	162
01-02-2020	367	1,123	39	26	170	01-12-2020	33	1,481	4	7	169
01-03-2020	118	1,236	12	16	164						

*Anexo N°8: Tabla de variables climáticas por año hidrológico.*

Clima por año hidrológico (abril-marzo)			
Año	Pr(mm)	Tm(°C)	Pet(mm)
1984-1985	71	4,86666667	275,2662
1985-1986	80	4,9875	308,8479
1986-1987	90	5,22916667	179,4823
1987-1988	32	5,625	284,8975
1988-1989	61	4,7125	373,8696
1989-1990	25	4,725	269,4826
1990-1991	57	4,89166667	149,0719
1991-1992	28	5,05833333	210,1896
1992-1993	65	5,15416667	173,8784
1993-1994	73	5,2875	226,084
1994-1995	25	5,39583333	206,4031
1995-1996	32	4,875	188,502
1996-1997	142	4,5875	135,2736
1997-1998	59	5,92083333	221,0937
1998-1999	98	5,14583333	304,86
1999-2000	91	4,625	167,0693
2000-2001	170	4,80833333	240,6467

2001-2002	83	4,7375	259,2661
2002-2003	40	4,99166667	251,6921
2003-2004	101	4,7875	137,2964
2004-2005	87	5,08333333	165,8988
2005-2006	108	4,8	271,2609
2006-2007	85	5,18333333	185,618
2007-2008	65	4,25416667	122,2978
2008-2009	37	4,64166667	124,805
2009-2010	49	5,12083333	258,2948
2010-2011	147	4,62083333	334,9916
2011-2012	132	4,68333333	350,9361
2012-2013	86	4,92083333	171,0647
2013-2014	33	4,49166667	134,7872
2014-2015	73	5,20833333	387,4469
2015-2016	76	5,97916667	287,8456
2016-2017	109	7,025	255,6693
2017-2018	62	5,94166667	387,4386
2018-2019	114	5,38333333	233,8862
2019-2020	96	6,75833333	259,0688

*Anexo N°9: Tabla de comparaciones de datos climáticos y variaciones de superficies.*

Año	Pr (mm)	Tm (°C)	Pet (mm)	Variación (%)
1985-1986	80	4,99	308,8	-26,2%
1986-1987	90	5,23	179,5	96,4%
1987-1988	32	5,63	284,9	13,2%
1988-1989	61	4,71	373,9	-12,2%
1989-1990	25	4,73	269,5	20,2%
1990-1991	57	4,89	149,1	6,9%
1991-1992	28	5,06	210,2	-15,3%
1992-1993	65	5,15	173,9	-3,2%
1993-1994	73	5,29	226,1	1,6%
1994-1995	25	5,40	206,4	14,5%
1995-1996	32	4,88	188,5	-13,0%
1996-1997	142	4,59	135,3	29,0%
1997-1998	59	5,92	221,1	-34,1%
1998-1999	98	5,15	304,9	71,7%
1999-2000	91	4,63	167,1	-6,9%
2000-2001	170	4,81	240,6	102,9%
2001-2002	83	4,74	259,3	-86,0%
2002-2003	40	4,99	251,7	44,8%
2003-2004	101	4,79	137,3	60,2%
2004-2005	87	5,08	165,9	40,9%
2005-2006	108	4,80	271,3	1,8%
2006-2007	85	5,18	185,6	-24,5%
2007-2008	65	4,25	122,3	-4,5%
2008-2009	37	4,64	124,8	24,6%
2009-2010	49	5,12	258,3	-16,8%
2010-2011	147	4,62	335,0	46,6%
2011-2012	132	4,68	350,9	72,4%
2012-2013	86	4,92	171,1	-79,0%
2013-2014	33	4,49	134,8	1,6%
2014-2015	73	5,21	387,4	118,5%
2015-2016	76	5,98	287,8	-32,8%
2016-2017	109	7,03	255,7	49,8%
2017-2018	62	5,94	387,4	23,6%
2018-2019	114	5,38	233,9	-45,4%
2019-2020	96	6,76	259,1	-9,6%

