



Gobierno
de Chile

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

**DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA EL
ANÁLISIS DE SALARES Y CUENCAS COSTERAS Y
SU APLICACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL PLAN
ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA
CUENCA DEL SALAR DE ATACAMA**

**INFORME FINAL PEGH SALAR DE ATACAMA
ANEXO G - SIG**

REALIZADO POR:

**CENTRO DE CAMBIO GLOBAL UC, PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA DE CHILE**

S.I.T. N° 484

Santiago, diciembre 2021

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 2	ESTRUCTURA DEL SIG	8
2.1	ÁRBOL DE DIRECTORIOS.....	9
2.2	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL ÁRBOL DE DIRECTORIOS	9
2.3	CREACIÓN DE MAPAS, CARTAS Y FIGURAS EN FORMATO ARCGIS 10.2	17
2.4	ALCANCES	17

SUBANEXOS

ANEXO 01_Proyectos MXD
ANEXO 02_Mapas_JPG
ANEXO 03_Archivos_lyr
ANEXO 04_Geodatabases
ANEXO 05_Diccionarios

TABLAS

Tabla 2-1: Descripción de capas presentes en la Geodatabase, presentes en el directorio raíz: Capas_PEGH_SalarAtacama. Entidades se encuentran en Datum WGS84 y Proyección en UTM H19S.	13
--	----

FIGURAS

Figura 2-1: Pasos para la generación de un SIG.....	9
Figura 2-2: Esquema del árbol de directorios del proyecto SIG del PEGH Salar de Atacama.	12

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfico (SIG), juegan en la actualidad un rol clave para la integración y correcta visualización de los datos con algún componente espacial que haya sido elaborado y gestionado en cualquier proyecto de consultoría. Permiten al usuario ubicar espacialmente los distintos atributos de los elementos analizados y detallados en los informes correspondientes, además de dejar las pautas preparadas para posteriores análisis sobre estos datos.

En el contexto de los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH), se analizan en las cuencas que correspondan diversos atributos espaciales relevantes para la correcta implementación de iniciativas, los que son cartografiados mediante un proyecto SIG que permita visualizar y evaluar estas componentes espaciales, su interacción con el entorno, y como estas permiten al usuario planificar por ejemplo tomas de decisiones en las distintas dimensiones que los Planes de Gestión evalúan.

La importancia del proyecto SIG radica entonces en ser una guía tanto para el entendimiento como para la presentación de los distintos elementos de los que dispone, organizando la información de forma tal que no resulte engorroso navegar tanto por los resultados obtenidos en el marco del proyecto como por aquellas capas de base necesarias para dar un contexto a los distintos mapas generados.

En este sentido, el SIG del PEGH de la cuenca del Salar de Atacama cumple con dos propósitos principales:

1. Complementar los resultados obtenidos en el informe a partir de mapas que reflejen el componente espacial y los atributos tanto de las capas necesarias para cada una de las dimensiones estudiadas, así como para los resultados cartográficos que se desprenden.
2. Generar un repositorio estructurado (Geodatabase) de los distintos resultados espaciales obtenidos en el transcurso del proyecto, en un formato de fácil asequibilidad, ordenado y simplificado.

Bajo esta lógica, se construyó un proyecto SIG que contiene 46 cartografías de la caracterización espacial de los distintos resultados obtenidos en la ejecución del proyecto asociado al PEGH de la cuenca del salar de Atacama. Estas son acompañadas con las imágenes (en formato JPEG) derivadas, la geodatabase y los archivos que caracterizan la simbología de las distintas capas.

CAPÍTULO 2 ESTRUCTURA DEL SIG

El proyecto SIG contiene los resultados de la sistematización de cartografías y análisis metodológicos de los distintos procedimientos asociados al PEGH de la cuenca del Salar de Atacama. Como se ha mencionado, el propósito fundamental que busca el proyecto SIG es que la información cartografiada sea de rápida manipulación e interpretación por parte del usuario, de modo que debe estar organizada de una forma que permita conseguirlo.

Para ello, el proyecto considera un árbol de directorios que será detallado en los siguientes párrafos, el cual, en líneas generales, organiza la información de forma que se pueda acceder a todos los contenidos sin que el usuario pierda el hilo conductor del relato del informe, dada las distintas dimensiones analizadas para el presente proyecto.

En este sentido, y a modo de síntesis, la metodología para la confección del proyecto SIG considera los siguientes pasos:

1. Interiorización de las bases técnicas y reuniones de coordinación tanto internas como con la contraparte técnica de la Dirección General de Aguas para definir los alcances e incorporar recomendaciones.
2. Recopilación y sistematización de los resultados del proyecto
3. Creación de árbol de directorios y ordenamiento de los resultados obtenidos desde las diferentes áreas.
4. Estructuración del proyecto SIG para compatibilidad con ArcGIS v10.2 y generación de Geodatabases.
5. Creación de cartas, mapas y figuras en formatos mxd (de almacenaje de información) y jpg (de salida y visualización), más archivos Lyr de caracterización de simbologías y archivos geodatabase.
6. Presentación de resultados en formato digital (en dispositivo de almacenamiento y/o vía nube Web).

La Figura 2-1 ejemplifica los pasos para la construcción de un SIG.

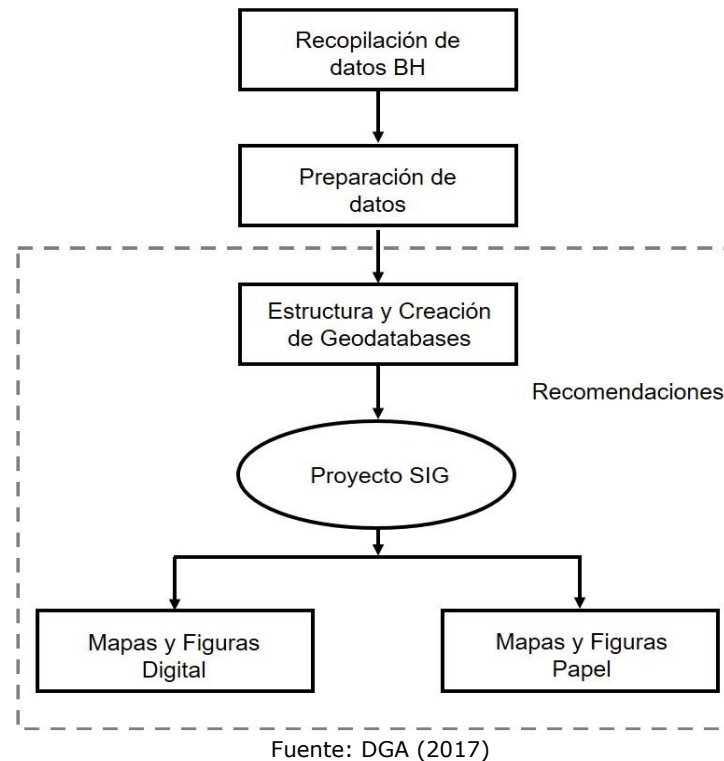


Figura 2-1: Pasos para la generación de un SIG.

2.1 ÁRBOL DE DIRECTORIOS

Para mostrar el SIG de forma ordenada, este se esquematiza en un árbol de directorios que se detalla en la Figura 2-2. Existen 4 directorios fuente que contienen los principales tipos de elementos cartográficos necesarios para armar el proyecto SIG: Los archivos mxd (en versión 10.2), que contienen la cartografía en un formato editable para el software ArcMap de ESRI. Los archivos de imagen en JPEG, que muestran la exportación de los mapas desde los archivos mxd. Los archivos en formato Lyr, que contienen las distintas simbologías que las capas muestran en cada archivo mxd. Y las Geodatabases, que contienen las capas que los archivos mxd cargan y que los archivos Lyr caracterizan.

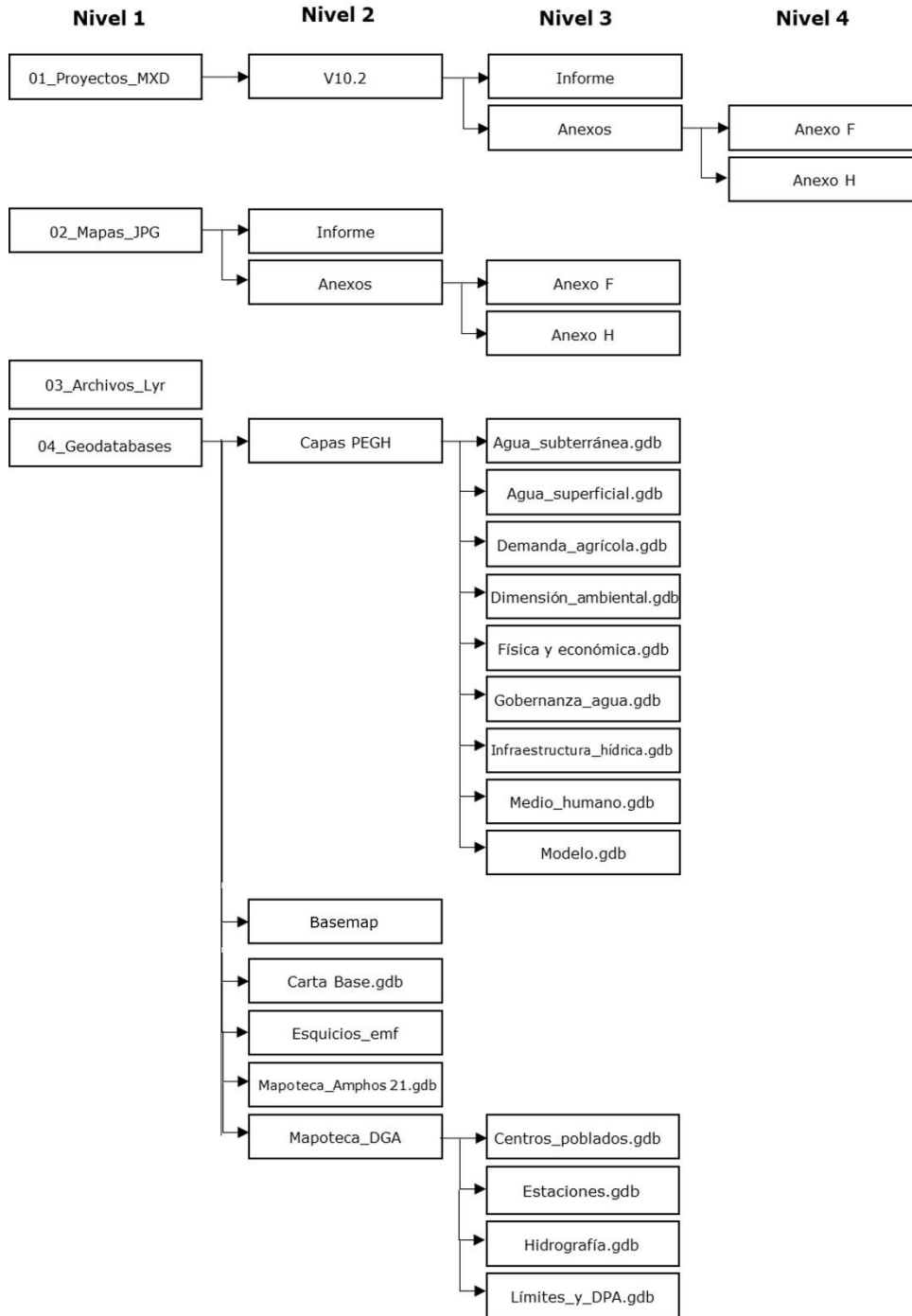
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL ÁRBOL DE DIRECTORIOS

La organización del proyecto SIG asociado al PEGH de la cuenca del Salar de Atacama consta de cuatro directorios principales, 3 de ellos con directorios internos que detallan información específica asociada a las cartografías. A continuación, se describe el contenido de los directorios. En la Figura 2-2 se indica el esquema del árbol de directorias y en la Tabla 2-1 se describen las capas presentes en la Geodatabase **Capas PEGH Salar de Atacama**.

- **01_Archivos_MXD:** Contiene los archivos en extensión MXD compatibles con ArcMap versión 10.2.
 - o **V10.2:** Dentro de este directorio se hallan los archivos en la extensión indicada.

- **Informe:** Corresponde a los archivos MXD, poseen cartas que son insertadas como imagen en el cuerpo del informe principal. En total hay 41.
- **Anexos:** Cartas cuyas figuras van a anexos
 - **Anexo F:** Archivos mxd que contienen las cartografías que van insertas como imagen en el Anexo F del informe final. En total hay 9.
 - **Anexo H:** Archivos mxd que contienen las cartografías que van insertas como imagen en el Anexo H del informe final. En total hay 9.
- **01_Mapas_JPG:** Contiene los archivos en extensión JPG de imagen representado las salidas de los archivos MXD.
 - **Informe:** Corresponde a los archivos JPG exportados desde los MXD. En total hay 41.
 - **Anexos:** Archivos de imagen separados por los distintos anexos que las contienen
 - **Anexo F:** Archivos .jpg que contienen las cartografías que van insertas como imagen en el Anexo F del informe final. En total hay 9.
 - **Anexo H:** Archivos .jpg que contienen las cartografías que van insertas como imagen en el Anexo H del informe final. En total hay 9.
- **03_Archivos_Lyr:** Archivos que contienen la simbología de cada una de las capas utilizadas en las distintas cartas generadas. Existen 83 archivos en total.
- **04_Geodatabases:** Contiene la información vectorial y raster necesaria para la construcción de las cartografías.
 - **Mapoteca_DGA:** Archivos con base SIG facilitados por la DGA para la generación de cartografía particular.
 - **Centros_poblados:** Archivos vectoriales que identifican centros poblados comunales, provinciales y regionales. 3 archivos.
 - **Estaciones:** Archivos vectoriales que identifican tipos de estaciones de medición (meteorológicas, fluviométricas, calidad de aguas y niveles de pozo). 4 archivos.
 - **Hidrografía:** Archivos vectoriales que identifican ríos y salares principales. 2 archivos.
 - **Limites_y_DPA:** Archivos vectoriales que identifican los límites regionales, provinciales, comunales e internacional de Chile. 4 archivos.
 - **Mapoteca Amphos21:** Mapoteca Facilitada por Amphos21 a través de DGA para la generación de cartografías en el presente.
 - **BBDD_Catastro:** Catastro de extracción de pozos. 1 archivo.
 - **Geología:** Morfoestructuras, estructuras y geología de la cuenca del salar de atacama. 7 archivos.
 - **Hidrogeología:** Coberturas de acuíferos de Salar de Atacama, Sitios Hidrogeológicos de Aprovechamiento común (SHACs) y Unidades Hidrogeológicas. 3 archivos.
 - **Hidrología:** Detalle vectorial del catastro de glaciares, cuerpos de agua, derechos de agua superficiales y subterráneos, hidrografía y sistemas lagunares. 6 archivos.

- **Información_base:** Información base de poblados del salar a partir de dos archivos vectoriales. 2 archivos.
- **Información_cuenca:** Información de los límites de la cuenca y subcuencas del Salar de Atacama basado en BNA y DARH. 3 archivos.
- **Infraestructura:** Archivos vectoriales de canales de la Comisión Nacional de Riego (CNR) y pozos de bombeo. 2 archivos.
- **Medio_humano:** Información vectorial asociada al asentamiento y desarrollo de comunidades indígenas. 2 archivos.
- **Reclasificación_Satelital:** Clasificación de aguas superficiales y vegas a partir de imágenes satelitales en la cuenca del Salar de Atacama. 2 archivos.
- **Zonas de protección:** Principales zonas de protección asociadas a la cuenca del Salar de Atacama. 8 archivos.
- **Capas PEGH Salar de Atacama:** Capas generadas como resultado del análisis y aplicación de metodologías en el presente proyecto.
 - **Agua_subterranea.gdb:** acuíferos, derechos de agua subterráneos, SHACs derivados del estudio y concesiones mineras de salmuera. 4 archivos.
 - **Agua_superficial.gdb:** Derechos de agua superficial, declaraciones de agotamiento, cuerpos de agua Zhao y Puntos de oferta en la fuente. 4 archivos.
 - **Demanda_agricola.gdb:** Poblados en la cuenca del Salar de Atacama, sectores y clasificación de uso de suelo de Zhao et al. 5 archivos.
 - **Dimensión_ambiental.gdb:** Capas asociadas a laguna Tebenquiche, glaciares, vegas y bofedales sitios Ramsar e inventario de humedales en la cuenca del Salar de Atacama. 6 archivos.
 - **Dimensión_fisica_y_económica.gdb:** Morfoestructuras, unidades hidrogeológicas, clasificación de suelos y zonas de uso agrícola. 4 archivos.
 - **Gobernanza_del_Agua.gdb:** Áreas de restricción, zonas de prohibición y de interés turístico y propuesta de sitio Ramsar para el sistema hidrológico Soncor. 3 archivos.
 - **Infraestructura_hídrica.gdb:** Canales de la CNR, catastro de pozos y de distintos tipos de estaciones y evaporación desde el suelo de privados. 11 archivos.
 - **Medio humano.gdb:** Distribución de sistemas de Agua Potable Rural (APR), comunidades indígenas y sus áreas de desarrollo, además de los actores PAC que participaron del PEGH. 4 archivos.
 - **Modelo.gdb:** Límites del modelo hidrológico lateral, delimitación del sector del Salar de Atacama, delimitación de ecosistemas de interés y distintos perfiles, y delimitación de zonas de brechas de información. 20 archivos.
- **Basemap:** Mapa base a nivel regional, de cuenca y sectores de glaciares. 37 archivos.
- **Esquicios_emf:** Esquicios de Mapoteca DGA y generados para el presente proyecto SIG. 5 archivos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2–2: Esquema del árbol de directorios del proyecto SIG del PEGH Salar de Atacama.

Tabla 2–1: Descripción de capas presentes en la Geodatabase, presentes en el directorio raíz: Capas_PEGH_SalarAtacama. Entidades se encuentran en Datum WGS84 y Proyección en UTM H19S.

Geodatabase	Nombre de capa	Tipo entidad	Descripción
Agua_subterranea	acuiferos_protegidos_I_II_XV_sep2010	Polígono	Acuíferos protegidos por ley en la zona del Salar de atacama
	DDAA_Subterraneos	Punto	Derechos de agua subterráneos otorgados en distintos tipos de ejercicio
	Salmuera_UsoMinero	Polígono	Los polígonos muestran las concesiones de explotación de salmuera en el salar de Atacama, que incluyen las áreas MOP y SOP de SQM, y las áreas de Albemarle.
	SHAC_	Polígono	Sitios Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC)
Agua_superficial	Cuerpos_Agua_Zhao	Polígono	Cuerpos de agua derivados el mapa de uso de suelo de Zhao, 2014.
	DDAA_Superficiales	Punto	Derechos de agua superficiales otorgados en distintos tipos de ejercicio
	Declaraciones_Agotamiento_Junio_2017	Polígono	Declaraciones de agotamiento DGA en la zona del Salar de Atacama 2017.
	Puntos_Oferta_en_la_fuente	Punto	Sectores de donde se obtuvo el caudal en régimen natural (sin intervenciones) corresponden a 7 sectores dentro de la cuenca del Salar de Atacama.
Demanda_agricola	Poblados_salar	Punto	Sitios poblados que representan sectores de demanda de agua
	Sectores_agricolas	Punto	Sectores en la cuenca del Salar de Atacama en donde se realizan actividades productivas relacionadas a la agricultura.
	Sectores_poblados	Punto	Sectores con poblados
	Zhao_SalarAtacama_Actualizacion_v9	Punto	Usos de suelo en Salar de Atacama basado en Zhao, 2014
	Zhao_SalarAtacama_Clipped	Polígono	Clasificación de uso de suelo derivada de Zhao et. al, 2014.
Dimensión_ambiental	Formaciones_vegetales	Polígono	Las formaciones vegetales zonales corresponden a aquellas que se distribuyen en el paisaje dependiendo en gran medida de la cantidad de precipitación recibida localmente en los distintos sectores de la cuenca
	Glaciares_nacional	Polígono	Catastro de glaciares DGA dentro de la cuenca del Salar de Atacama. No se encontraron antecedentes respecto del aporte que tienen estos glaciares en el balance hídrico

Geodatabase	Nombre de capa	Tipo entidad	Descripción
	Laguna_Tebenquiche	Polígono	Delimitación de la laguna Tebenquiche
	Vegas_y_bofedales	Punto	distribución geoespacial de los sistemas de vegas y bofedales de la cuenca del Salar de Atacama. La superficie total de las vegas presentes dentro de la Cuenca del Salar de Atacama corresponde a 160.496 (ha), de acuerdo con la información disponible de INE (2007).
	vegas	Polígono	distribución geoespacial de los sistemas de vegas de la cuenca del Salar de Atacama. La superficie total de las vegas presentes dentro de la Cuenca del Salar de Atacama corresponde a 160.496 (ha), de acuerdo con la información disponible de INE (2007).
	Vegas_y_bofedales_SalarAtacama	Punto	distribución geoespacial de los sistemas de vegas y bofedales de la cuenca del Salar de Atacama. La superficie total de las vegas presentes dentro de la Cuenca del Salar de Atacama corresponde a 160.496 (ha), de acuerdo con la información disponible de INE (2007).
Dimensión_fisica_y_económica	Morfoestructuras	Polígono	Ubicación de morfoestructuras en la cuenca. Éstas se disponen, de oeste a este, en el siguiente orden: Cordillera Domeyko, Llano de la Paciencia, Cordillera de la Sal, Salar de Atacama, Cordillera Occidental, Cordillera de los Andes (donde se ubica el arco volcánico actual) y el Cordón de Lila al sur.
	Unidades_Hidrogeológicas	Polígono	Ubicación de unidades hidrogeológicas en la cuenca. Se distingue la existencia de un sistema somero y uno profundo, existiendo 6 unidades hidrogeológicas (UH-1 a UH-6), las cuales se diferencian por su litología, potencia, conductividad hidráulica y almacenamiento.
	Suelos_clasificacion	Polígono	Adaptación de SRK (1995) citado en CIREN (2016), en donde se dispone geográficamente los tipos de suelos presentes en la cuenca
	Uso_Agricola	Polígono	Terrenos cultivados en base a IGM 2009.
Gobernanza_del_Agua	Areas_de_Restricción_y_Zonas_de_Prohibición_Enero_2019	Polígono	Áreas de restricción y zonas de prohibición en la zona de la cuenca del Salar de Atacama.
	Propuesta_Soncor	Polígono	Sitios Ramsar del salar de atacama considerados.
	ZOIT_MAYO_2018_WGS1984_19S	Polígono	Zonas de interés turístico sernatur.
Infraestructura_hídrica	Bocatomas	Punto	Red de 70 bocatomas identificadas en la cuenca del Salar de Atacama

Geodatabase	Nombre de capa	Tipo entidad	Descripción
	Canales_CNR_cuenca_SdA	Línea	Extensión aproximada de 190 km de red de canales de regadío, donde una parte importante de la red está concentrada en zonas de asentamientos humanos
	Catastro_puntos	Punto	Red de monitoreo de nivel piezométrico Salar de Atacama
	Estaciones_PP_distintos_Catchment_SdA	Punto	Estaciones índice de precipitación para obtener serie de esta variable en los catchment
	Estaciones_red_DGA	Punto	Estaciones DGA para la caracterización hidroquímica de aguas superficiales
	Estaciones_red_SQM	Punto	Estaciones SQM para la caracterización hidroquímica de aguas superficiales
	Estaciones_Temp_distintos_Catchment_SdA	Punto	Estaciones índice de temperatura para obtener serie de esta variable en los catchment
	EvaporacionSuelo	Punto	Red de estaciones de evaporación del suelo medida desde distintas fuentes.
	Estaciones_tanques_evaporacion	Punto	Ubicación de estaciones privadas y públicas de tanques de evaporación
	PP	Punto	Estaciones que miden precipitación propiedad de SQM
	Punteras	Punto	Existen un total de 95 punteras, las que en su mayoría son propiedad de Minera Escondida, Albemarle y SQM
Medio humano	APR_DOH_Enero_2016	Punto	Distribución espacial de los sistemas de Agua Potable Rural en la cuenca del Salar de Atacama
	Áreas_desarrollo_indígena	Polígono	Áreas de desarrollo indígena Salar Atacama
	Actores_PAC	Punto	Ubicación referencial de los diferentes grupos de actores que participaron en PAC
	comunidades_indígenas	Punto	Un total de 21 comunidades indígenas pertenecientes a la etnia Atacameña habitan en la cuenca del Salar de Atacama
Modelo	Brechas_Caudales_superficiales	Polígono	Delimitación espacial de la brecha de información de caudales superficiales
	Brechas_Ecosistemas	Polígono	Delimitación espacial de la brecha de información de ecosistemas naturales

Geodatabase	Nombre de capa	Tipo entidad	Descripción
	Brechas_Niveles_CE	Polígono	Delimitación espacial de la brecha de información de niveles y conductividad eléctrica (CE)
	Brechas_Niveles_Interfaz	Polígono	Delimitación espacial de la brecha de información de niveles e interfaz
	Brechas_Recarga_acuiferos	Polígono	Delimitación espacial de la brecha de información de la distribución de la recarga de acuíferos
	Catchment_del_Nucleo_Estaciones_de_Temp_PP	Polígono	Catchments identificados en el núcleo del salar de Atacama.
	Catchment_Laterales_Estaciones_Temp_PP	Polígono	Catchments identificados en la zona lateral del salar de Atacama
	Extracciones_SdA_Modelo	Punto	Ubicación geográfica de los 356 pozos en la cuenca de estudio, donde 317 corresponden a pozos de bombeo de salmuera, 38 de agua industrial y 1 de agua potable.
	MF_Celdas_Activas	Línea	Celdas activas en modelo MODFLOW
	Modelo_Lateral	Polígono	Delimitación del Modelo Lateral
	Niveles_Referencia	Punto	Niveles freáticos de referencia
	Perfiles_SEAWAT	Línea	Perfiles de modelo SEAWAT
	Piezo_2018_1	Línea	Isopiezas del sistema subterráneo cada 1 metro
	Piezo_2018_10	Línea	Isopiezas del sistema subterráneo cada 10 metros
	Piezo_2018_100	Línea	Isopiezas del sistema subterráneo cada 100 metros
	Piezo_2018_2	Línea	Isopiezas del sistema subterráneo cada 2 metros
	Puntos_analisis_SEAWAT	Punto	Puntos de análisis del modelo SEAWAT
	Ecosistema_interes	Polígono	Delimitación de ecosistemas de interés para modelación
	Tilopozo	Polígono	Delimitación del humedal Tilopozo
	Sector_del_Salar	Polígono	Delimitación del modelo Salar Monturaqui

Fuente: Elaboración propia

2.3 CREACIÓN DE MAPAS, CARTAS Y FIGURAS EN FORMATO ARCGIS 10.2

Se utiliza ArcGIS v10.2 para la generación de los archivos mxd. Se debe tener presente que los proyectos exportados desde este software no pueden ser abiertos en versiones anteriores. La DGA solicitó la entrega en esta versión ya que posee licencias para abrir correctamente los archivos correspondientes en este formato.

La información de base para generar los mapas corresponde tanto a aquellos generados para el Atlas del Agua (DGA, 2016) como a los proyectos SIG que el Centro UC de Cambio Global ha generado en las consultorías en las que ha sido partícipe.

La configuración del tamaño de salida de mapas y figuras en el archivo mxd fue en tamaño Carta o similar, tanto para los mapas como las figuras exportadas como imagen. Los mapas y figuras de salida tienen una resolución de 300 dpi.

2.4 ALCANCES

Por concepto de pandemia, las entregas del proyecto SIG del presente se han realizado vía carpeta compartida mediante sistema Google drive.

En ese sentido, y dada la magnitud en peso del proyecto SIG, es posible que al momento de descargar la carpeta compartida que lo contiene a un disco duro local este automáticamente se comprima en una o varias partes.

Para poder acceder al proyecto SIG una vez descargados los comprimidos, si resulta ser un solo archivo se debe extraer con algún software que permita la descompresión (Como Winrar), extrayéndolo sin la necesidad de crear un nuevo directorio. Dado que cada proyecto MXD está guardado almacenando rutas relativas, al momento de abrir un archivo de este tipo debería abrirse sin inconvenientes la cartografía, incluidos los esquicios, que, aunque estas salvados como imagen, contienen la ruta (aunque no relativa), al archivo que llama, de modo que puede rescatarse con facilidad en caso de no cargar.

Finalmente, todas las referencias espaciales se encuentran en DATUM WGS84 con proyección UTM Huso 19s. Esto para que la geometría real de las entidades no se vea deformada según la curvatura de la tierra. No obstante, pese a esta proyección de las entidades, la grilla de los mapas se muestra en coordenadas geográficas de latitud/longitud, ya que para el usuario son más fáciles para establecer relaciones y ubicaciones espaciales.