

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

INFORME TÉCNICO:

**“Revisión y actualización cartográfica de los
acuíferos protegidos que alimentan vegas y
bofedales”**

**REALIZADO POR:
División de Estudios y Planificación
SDT N° 358**

Santiago, Junio de 2014

Cristian López Molina.
Ingeniero Geomensor (E)
Guillermo Tapia Molina
Cartógrafo, Unidad SIG

División de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas, MOP

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	4
2	OBJETIVOS	5
2.1	Objetivo General	5
2.2	Objetivos Específicos	5
3	ANTECEDENTES GENERALES.....	6
3.1	Presentación del Problema	6
3.2	Definición de Vegas y Bofedales.....	7
4	ESTUDIOS REALIZADOS	10
4.1	Identificación y ubicación de áreas de Vegas y Bofedales de las regiones primera y segunda – 1993.....	10
4.1.1	Metodología de Trabajo.....	11
4.1.2	Información Satelital.....	13
4.1.3	Resultados.....	13
4.1.4	Etnografía.....	16
4.1.5	Calidad Sanitaria de aguas en Vegas y Bofedales de la I y II Región	17
4.2	Delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta - 1996.....	18
4.2.1	Metodología de Trabajo.....	18
4.2.2	Criterios de clasificación.	19
4.2.3	Consultas a otras instituciones.....	20
4.2.4	Presentación de Resultados Obtenidos	20
4.3	Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: informe final - 2001.....	22
4.3.1	Recopilación de Antecedentes.....	23
4.3.2	Metodología de Trabajo.....	24
4.3.3	Antecedentes técnicos.....	26
4.3.4	Delimitación de áreas protegidas.	28
4.3.5	Protección de humedales (vegas y bofedales) en el norte de Chile (año 2001)	29
4.4	Cartografía Temática - Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta - 2003.	29
4.5	Actualización delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, cuenca del río Caquena, región de Tarapacá, Informe técnico - 2003.	30

4.5.1	Caracterización de la zona.....	30
4.5.2	Metodología de trabajo	31
4.5.3	Antecedentes Técnicos.....	31
4.5.4	Delimitación Acuífero Alimentador del Bofedal de Caquena.	32
4.5.5	Minuta Técnica N°2	33
4.6	Protección de Vegas de la II Región. Identificación Preliminar - 2004.....	33
4.6.1	Vegas Protegidas	34
4.6.2	Nuevas Vegas Informadas por la CONADI.	34
4.6.3	Otros Humedales propuestos.....	34
4.7	Actualización delimitación de acuíferos alimentadores de vegas y bofedales de la II región - 2004.....	35
4.7.1	Recopilación de Antecedentes.....	36
4.7.2	Metodología de Trabajo.....	36
4.7.3	Trabajo de terreno	38
4.7.4	Delimitación de Áreas Protegidas	38
4.8	Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, cartografía temática – 2006.....	40
4.9	Otros estudios y antecedentes que aportan al tema Vegas y Bofedales	41
4.9.1	Análisis de requerimientos hídricos de vegas y bofedales en el norte de Chile 41	
4.9.2	Minuta técnica N° 6 de 2004	43
5	RESOLUCIONES DGA	44
6	MEJORA DE SINUOSIDADES.....	47
6.1	Conservar el espíritu de la delimitación y su protección.....	48
6.2	Ejemplos y casos encontrados en la Mejora de las sinuosidades.....	49
6.2.1	Densificación de vértices para mejorar sinuosidades sin alterar la forma original 50	
6.2.2	Mejora de Sinuosidades Alterando la Forma del Polígono	51
6.2.3	Mejoras de Sinuosidades Mixtas	52
7	CONCLUSIONES	54
8	BIBLIOGRAFIA	55

1 INTRODUCCIÓN

Las áreas de Prohibición denominadas “**acuíferos que alimentan vegas y bofedales de las regiones I, II, y XV**”, son áreas que fueron generadas en diversos estudios, desde el año 1992, hasta el año 2006. En su conjunto y a medida que se avanzaba con ellos, fueron generando las primeras delimitaciones de los acuíferos, los cuales fueron protegidos mediante diversas resoluciones de la Dirección General de Aguas (DGA). De este modo se comenzó un trabajo relativamente sistemático de actualización y de incorporación de nuevos bofedales a proteger por la DGA.

Tanto estudio y nuevas resoluciones comenzaron a provocar confusión con respecto al origen de cada área. Y si bien hoy en día, se mantienen las áreas protegidas y son difundidas y puestas a disposición a la comunidad general a través de mapas en internet y de la plataforma de “Estudios y Publicaciones de la DGA”, (<http://sad.dga.cl/>). En general existe una queja que se ha repetido en el tiempo por parte de la comunidad, la cual es precisamente que no se tiene claro cuál es la historia, y la evolución de estos estudios, análisis, y resoluciones que dieron origen a la actual delimitación de Acuíferos que alimentan vegas y bofedales.

Atendiendo la necesidad de aclarar y recopilar en un solo documento, la historia, los procesos y los diversos actores que en su momento dieron origen a las diversas actualizaciones y nuevos estudios es que se plantea en este informe, resumir y mostrar cuales fueron estas historias, cuáles fueron los métodos y en definitiva mostrar en un solo documento los factores más importantes de cada uno de los estudios originales, con el objeto de dar luces y fundamentos a la creación de las áreas que representan a los acuíferos. Y así si el lector desea profundizar en los estudios originales, desde este informe obtener los nombres, autores y links para poder profundizar con facilidad.

En el transcurso de este informe se habla de las regiones “Primera de Tarapacá” y “Segunda de Antofagasta” es necesario mencionar que en los tiempos en que se hicieron estos estudios aun no existía la “Región XV de Arica y Parinacota” la cual era parte de la “I de Tarapacá” por lo tanto en aquellos puntos en donde se haga mención a la “I Región de Tarapacá” debe darse por entendido que también se involucra a la Región de Arica y Parinacota.

Finalmente este trabajo no solo recopila el material bibliográfico de este tema, sino que también mejora la sinuosidad de las delimitaciones, esto porque hoy en día con las herramientas de SIG disponibles, las delimitaciones hechas ya hace casi 10 años evidencian algunas inconsistencias que es necesario mejorar, pero sin alterar el espíritu original de la delimitación. Es solo una mejora para su interpretación.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Disponer en un solo documento la Historia y los principales antecedentes de los estudios que dieron origen a los acuíferos protegidos que alimentan vegas y bofedales de las regiones I, II, y XV región.

2.2 Objetivos Específicos

Generar un documento que resuma todos los estudios que dieron origen a las áreas de protección de los acuíferos protegidos de la I, II, XV regiones.

Disponer de las Resoluciones DGA que protegen los acuíferos. En un solo documento.

Mejorar la Sinuosidad de los polígonos que representan los Acuíferos, rescatando su espíritu de protección.

3 ANTECEDENTES GENERALES

3.1 Presentación del Problema

La creciente demanda hídrica en zonas altiplánicas del norte del país, requiere mejorar el conocimiento respecto a los requerimientos hídricos en humedales de altura de modo de lograr un aprovechamiento sustentable del recurso.

Generar las condiciones que permitan cuidar y mantener los humedales en las regiones de Tarapacá y Antofagasta es de suma importancia para las comunidades altiplánicas (Aymará, Quechua y Atacameñas) en su desarrollo sociocultural, ambiental y económico, debido a las condiciones que presenta un ambiente marcadamente árido, proporcionando una fuente nutricional y de agua para las comunidades y su ganado doméstico, las que se han visto perjudicados por la obtención de derechos de explotación de estas agua para usos no agrícolas, poniendo en riesgo la sustentabilidad y la sobrevivencia de estos grupos.

Producto del impacto negativo que generó la explotación de aguas subterráneas, en terrenos públicos y privados de zonas que corresponden a acuíferos alimentadores de humedales (vegas y bofedales) en las regiones de Tarapacá y Antofagasta, en 1992 se modificó el código de aguas existente de 1981, por medio de la ley N° 19.145, incorporando a los artículos N°s. 58 y 63 la protección y conservación de los humedales altiplánicos, con la prohibición de explorar y explotar los recursos hídricos subterráneos, por constituir una fuente importante de alimentación y sustento ecológico, otorgando la responsabilidad de dar cumplimiento a la Dirección General de Aguas (DGA), según lo establecido en los citados artículos:

Art. N° 58. Inciso 3:

"No se podrán efectuar exploraciones en terrenos públicos o privados de zonas que alimenten áreas de vegas y de los llamados bofedales. En las Regiones de Tarapacá y de Antofagasta. Sino con autorización fundada de la Dirección General de Aguas. La que previamente deberá identificar y delimitar dichas zonas".

Art. N° 63. Inciso 2:

"Las zonas que correspondan a acuíferos que alimenten vegas y bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta se entenderán prohibidas para mayores extracciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones, sin necesidad de declaración expresa. La Dirección General de Aguas deberá previamente identificar y delimitar dichas zonas".

Art. N° 64:

"La autoridad deberá dictar una nueva resolución sobre la mantención o alzamiento de la prohibición de explotar, a petición justificada de parte, si así lo aconsejan los resultados de nuevas investigaciones respecto a las características del acuífero o la recarga artificial del mismo".

Es por esto que la DGA ha debido coordinar los trabajos y estudios necesarios para resguardar la permanencia de estas formaciones vegetales y así dar cumplimiento a las modificaciones realizadas al código de aguas. Para ello se generaron los estudios pertinentes que buscan identificar, delimitar, caracterizar y ubicar geográficamente todos los humedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta.

En un primer paso se realizó un convenio con la Universidad de Chile, Facultad de ciencias sociales y la dirección general de aguas. MOP, para realizar el levantamiento en terreno de todos los humedales existentes en la zona considerando todos los aspectos que permitan actualizar su actual condición y los factores que inciden en su desarrollo a través del tiempo y su interacción con el ecosistema de la zona, además de su relación con las comunidades de la zona que ahí habitan. Para así tener los conocimientos necesarios que permitan tomar las mejores decisiones respecto de la entrega de derechos de explotación de aguas subterráneas (acuíferos) priorizando la protección y conservación de las vegas y bofedales.

3.2 Definición de Vegas y Bofedales

La utilización económica y cultural de estos sistemas vegetacionales (diversos y numerosos en la I y II región) está en relación directa con la existencia de actividades ganaderas en el área, cuya funcionalidad depende de factores extrínsecos tales como la accesibilidad, y factores intrínsecos como la productividad forrajera que desarrollan.

Los humedales, se establecen en un ambiente edáfico principalmente orgánico, caracterizado por una condición hídrica de saturación permanente. Las vegas y los bofedales, presentan respecto a los sistemas zonales del entorno una diversidad biológica elevada, con un alto número de especies vegetales, las que son particulares de estos sistemas.

Vegas

Son sistemas ecológico-biológicos azonales, con una vegetación característica, que se desarrolla por la presencia permanente y elevada humedad edáfica. Estos sistemas presentan una fisionomía vegetacional particular, que permite su diferenciación de otros sistemas similares.

Su fisionomía corresponde a una estrata herbácea densa a muy densa (más del 50% del terreno está cubierta con vegetación), de baja a mediana altura (5-100 cm), sobre una superficie generalmente plana o con muy escaso microrelieve. Los cursos de agua quedan restringidos a surcos de escaso tamaño, completamente vegetados, o bien a uno solo central de mayor tamaño.

Las vegas se pueden caracterizar de la siguiente forma:

a. Vegas de altitud media y baja

Son aquellas que se desarrollan bajo los 3500 - 4000 m de altura, asociados generalmente a cursos de agua en depresiones abiertas o afloramientos hídricos en laderas. En la zona de estudio existen dos tipos, definidos por los niveles de salinidad que presentan:

Vegas de altitud media y baja con alta salinidad

Se desarrollan en los cursos inferiores de valles y quebradas en la zona norte, en la zona de estudio están principalmente representadas por aquellas que se encuentran en los márgenes del salar de San Pedro Atacama. Con cobertura herbácea altas en los sectores de mayor hidromorfismo y disminuye en la ausencia de humedad, presentando afloramientos y costras salinas en superficie.

Vegas de altitud media y baja con salinidad media o baja

Sistemas vegetacionales asociados a una mejor calidad de agua, con menor contenido salino, lo que posibilita la existencia en una mayor proporción de elementos herbáceos densos, sin afloramientos o costras salinas dentro de la vega. Algunas de las especies dominantes son:

Nombre científico	Nombre vernacular
• Scirpus californicus	Unco
• Juncus balticus	Unco
• Hypsela	Cuchara
• Deyeuxia velutina	Wailla

b. Vegas alto andinas

Son las vegas que se desarrollan sobre los 3500 - 4000 m de altura, caracterizadas por una marcada heterogeneidad en la distribución de los diferentes elementos herbáceos, que son generalmente propios de estos sistemas vegetacionales.

Vegas alto andinas de salares o depresiones cerradas

En las cuencas endorreicas de la depresión altiplánica, en los afloramientos hídricos o entorno a cuerpos de agua con un marcado tenor salino, evidenciado por depósitos o costras salinas, se encuentra una vegetación dominada por las siguientes especies:

Nombre científico

- Catabrosa werdermanni
- Sarcocornia pulvinata
- Festuca nardifolia
- Deyeuxia velutina

Vegas alto andinas de riberas de cursos de aguas o depresión abierta

Se desarrollan en condiciones de menor salinidad y con una mejor oxigenación del perfil edáfico. Estas se caracterizan por las siguientes especies dominantes:

Nombre científico	Nombre vernacular
• Deyeuxia velutina	Wailla
• Deyeuxia chrysantha	Sora
• Scirpus atacamensis	Pako hembra
• Arenaria rivularis	K'ota de agua

Bofedales

Se encuentran principalmente en altitudes superiores a los 4000m, se caracterizan por turbas pantanosas, con asociaciones pratenses siempre verdes de fisonomía herbácea cespitosa, como praderas naturales de riego que se desarrollan en fondos de quebradas o valles, sobre suelos de turba alcalina generalmente profundas que presentan niveles de aguas subterránea altos y escurrimientos superficiales permanentes.

Dependen de lugares donde exista agua corriente, con mayor concentración de oxígeno y una menor concentración de sales. Se localiza en:

- Fondos de valles abiertos.
- Quebradas estrechas.
- En laderas de montañas o conos volcánicos donde existen vertientes o ríos superficiales.

Las especies dominantes, determinadas en el área, que forman cojines y determinan el microrelieve ondulado del bofedal son:

Nombre científico	Nombre vernacular
Oxychloe andina	Pako
Distichia muscoides	Pako hembra
Scirpus atacamensis	Pako hembra

La principal diferencia entre las vegas y los bofedales, está dada por la altura en la que se encuentran una de la otra y por la diferencia en su nivel salino, siendo las vegas las de mayor salinidad.

4 ESTUDIOS REALIZADOS

Listado de Estudios Realizados

La modificación del código de aguas en el año 1992, incorporo en los artículos N° 58 y 63 la protección y conservación de los humedales altiplánicos, con la prohibición de explorar y explotar los recursos hídricos subterráneos. Generando con ello una serie de estudios que buscan identificar y caracterizar los humedales, además de delimitar sus acuíferos alimentadores presentes en las regiones I y II.

1. 1993- Identificación y ubicación de áreas de Vegas y Bofedales de las regiones primera y segunda. (punto 4.1)
2. 1993- Caracterización de la calidad sanitaria de aguas de bofedales y vegas del área andina chilena. (Punto 4.1.5)
3. 1996- Delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta. (Punto 4.2)
4. 2001- Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: informe final. (punto 4.3)
5. 2001- Protección de humedales (vegas y bofedales) en el norte de Chile. (punto 4.3.5)
6. 2003- Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: Cartografía Temática. (punto 4.4)
7. 2003- Actualización delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, cuenca del río Caquena, región de Tarapacá, Informe técnico. (punto 4.5)
8. 2004- Protección de vegas II región. Identificación preliminar. (punto 4.6)
9. 2004- Actualización delimitación de acuíferos alimentadores de vegas y bofedales, II región (punto 4.7)
10. 2006- Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, año 2006 cartografía temática. (punto 4.8)
11. Otros estudios y antecedentes que aportan al tema Vegas y Bofedales

4.1 Identificación y ubicación de áreas de Vegas y Bofedales de las regiones primera y segunda – 1993.

Por: Castro Lucic, Milka, Dirección General de Aguas. División de estudios y planificación, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Sociales. Departamento de Antropología. Unidad de estudios rurales.

Enlace:

Volumen 1 [Ver documento electrónico](http://documentos.dga.cl/HUM681v1.djvu)

<http://documentos.dga.cl/HUM681v1.djvu>

Volumen 2 [Ver documento electrónico](http://documentos.dga.cl/HUM681v2.djvu)

<http://documentos.dga.cl/HUM681v2.djvu>

El convenio suscrito entre la Universidad de Chile, Facultad de ciencias sociales y la dirección general de aguas. MOP, tuvo como finalidad realizar el levantamiento en terreno de todos los humedales altoandino existentes en las regiones de Tarapacá y Antofagasta, considerando los aspectos que permitan determinar su actual condición y los factores que inciden en su desarrollo a través del tiempo y su interacción con el ecosistema y las comunidades de la zona. Para así tener los conocimientos necesarios que permitan proteger y conservar las vegas y bofedales, ante la creciente demanda de derechos explotación de aguas subterráneas (acuíferos).

Como producto del convenio se entregó un informe con el listado de vegas y bofedales, clasificados por cauces y cuencas hidrográficas además de los planos correspondientes.

4.1.1 Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo se desarrolló con la finalidad de localizar la mayor cantidad de vegas y bofedales en la zona y determinar su importancia en el desarrollo de las comunidades, para ello el trabajo se dividió en dos partes, una de gabinete y otra de campo.

Trabajo de gabinete: se realizó la recopilación de la información cartográfica y satelital de la I y II región disponible:

- a. Carta topográfica I.G.M. I y II regiones.
 - Escala 1: 50.000.
 - Escala 1: 250.000.
 - Escala 1: 500.000.

- b. Imágenes de satélite Multispectral Scanner System (M.S.S) I y II Regiones.
 - Escala 1:250.000.

Imágenes que permitieron la localización y selección de áreas vegetales.

Ampliación a escala 1:50.000 de las áreas seleccionadas mostrando el índice vegetal.

Además se elaboraron y planificaron las técnicas propias del trabajo de campo antropológico, información que fue entregada por los mismos usuarios de los humedales por medio de entrevistas enfocadas en la obtención de información que permitiera ubicar las zonas de pastoreo y el nombre de estos lugares, y de igual manera considerar la importancia de las vegas y bofedales, tanto para la población como para la sobrevivencia de la fauna silvestre, las entrevistas consideraron preguntas como:

- Tamaño aproximado (según su percepción).
- Épocas de uso de las vegas o bofedales (pastoreo permanente, estacional u ocasional).
- Nombres vernaculares (nombres otorgados a vegas y bofedales como de especies vegetales por las comunidades indígenas de la zona).
- Capacidad de sustentación ganadera (capacidad de alimentación que puede soportar una vega o bofedal).
- Animales silvestres observados en las vegas y bofedales.

Trabajo de campo: Este comenzó con la prospección sistemática desde el pueblo más al sur de la II región, Peine. Hasta Visviri, pueblo más al norte de Chile, permitiendo que la propia población fuera delimitando los territorios de término de pastoreo y el comienzo de las de poblado. El trabajo de campo por las condiciones climatológicas tuvo que ser realizado en los meses de diciembre a marzo/abril aproximadamente, siendo importante considerar la dificultad producto de la ausencia de caminos, señalizaciones e inaccesibilidad de vehículos, aumentando el tiempo presupuestado de trabajo y dificultad de acceso a las zonas de interés.

El reconocimiento de campo de vegas y bofedales considero registrar todas las formaciones vegetales sin importar su tamaño, realizando observaciones en el lugar y a distancia de ellas. La localización de las áreas de estudio fue sobre la base del conocimiento de los informantes de la zona y de la lectura de cartas topográficas IGM disponible en diferentes escalas.

La información de las entrevistas realizada a los habitantes de la zona fue registrada en libretas de campo y grabaciones, además de registros fotográficos.

El estudio vegetacional tuvo como objetivo principal contribuir a la elaboración de un concepto técnico de los sistemas hidromórficos azonales, analizando los sitios representativos de variaciones florísticas que resultan de variaciones ambientales, permitiendo establecer una tipología o esquema de clasificación de estos sistemas. La vegetación se describió libremente en base al recorrido a través de los humedales, consignando las variaciones en comunidades florísticas, y el listado completo de especies presentes.

4.1.2 Información Satelital

a. Datos técnicos:

Sistema satelital	: Landsat Multispectral Scanner (MSS).
Ancho de barrido	: 185 km.
Resolución espacial	: 80m.
Bandas espectrales	: 1 - 0.50-0.60 um (verde). 2 - 0.60-0.70 um (rojo). 3 - 0.70-0.80 um (IR cercano). 4 - 0.80-1.10 um (IR cercano).
Resolución radiométrica	: 64 niveles de gris.

b. Metodología del trabajo:

- En el procesamiento de datos se utilizó el software comercial ERDAS, instalado en una plataforma pc compatible.
- La georreferenciación de las imágenes se realizó con datos obtenidos de la cartografía IGM existente, bajo el proceso de interpolación bilineal y resampling.
- La corrección radiométrica se compenso mediante la función "destriping" del software ERDAS.
- En el proceso entre bandas se aplicó el "INDICE NORMALIZADO DE VEGETACION" que consiste en combinar las bandas **2** y **4**, definiendo los resultados:

Resultados < 0 : ausencia de vegetación.

Resultados > 0 : clasificados en 3 categorías de índice de vegetación; bajo, medio y alto.

Se realizaron mosaicos con las distintas imágenes requeridas para cubrir el área de estudio. Para el producto de salida se utilizó una impresora de tinta del sistema ERDAS, con impresos a escala 1:250.000 y 1:50.000.

4.1.3 Resultados

Cartografía:

a. Para la elaboración de la cartografía de localización de las vegas y bofedales, se efectuaron las siguientes actividades:

- Medición de vegas y bofedales (escala 1:50.000), para las localizadas en quebradas o ríos, se determinó su longitud. Para las ubicadas en orillas de salares

o en sitios de topografía plana se determinó su superficie expresada en hectáreas (ha).

b. Construcción de base de datos, con información extraída de cartas topográficas:

- Cuenca o subcuenca hidrográfica.
- Localización: quebradas, ríos, salar.
- Orientación.
- Altitud: cota superior y cota inferior.
- Coordenadas planas U.T.M
- Nombre de carta y escala.

Otras fuentes:

- Rol del banco nacional de aguas (B.N.A.).
- Catastro de aguas de cauces ubicados en la I y II región. DGA.

c. Cartografías de síntesis

Su elaboración tienen como base las siguientes cartas topográficas IGM, escala 1:250.000:

- Carta Visviri.
- Carta Arica.
- Carta Pisiga Chile.
- Carta Collacagua.
- Carta Ollague.
- Carta Calama.
- Carta Toconao.
- Carta Sierra Almeida.

Con la unión de dos de estas cartas se dio origen a cada uno de los cuatro mapas resultantes. Atendiendo al formato de las cartas IGM 1:250.000 y su localización geográfica respecto a la carta al millonésimo (cada 1° de latitud y 1°30' de longitud) se construyó una carta adicional (unión de cartas "Pisagua e Iquique") para complementar el sector correspondiente a las cartas "Pisiga Chile" y "Collacagua".

Además en el desarrollo de la cartografía de síntesis se establecieron 2 categorías de humedales:

- En quebradas y ríos (cauces).
- En salares y planicies.

Se determinaron 4 rangos dimensionales para cada categoría de humedales (en escala de intervalos o de razón):

Humedales de quebradas:

- Menores o igual a 1km.
- Entre 2 - 3 kms.
- Entre 4 - 8 kms.
- Mayores de 10 kms. (Con un máximo aproximado de 30 kms, estando la mayoría entre con valores cercanos a 10 - 15 kms.).

Por la dificultad presentada en la medición de superficie directamente desde las cartas (1:50.000) en los humedales de este tipo se optó por establecer para las provincias de Iquique, Antofagasta y El Loa un ancho aproximado de cubierta vegetal entre los 30 y 50 metros. Y para la provincia de Parinacota un ancho que fluctúa entre los 100 y 150 metros.

Humedales de salares:

- Menores o iguales a 9 ha.
- Entre 10 - 40 ha.
- Entre 50 - 90 ha.
- Más de 100 ha (con un máximo aproximado de 380 ha, estando la mayoría entre los 100 y 150 ha).

Producto de la falta de material cartográfico base (1:50.000) para la provincia de Parinacota, solo se marcó la posición geográfica de los humedales que no fue posible medir.

Las 5 cartas de síntesis cubren la zona andina de las regiones I y II, representando todas las vegas y bofedales levantadas en terreno con los métodos antes descritos.

d. Cartografía de análisis

Fueron seleccionadas 8 cartas escala 1:50.000 y en ellas se incorporó la localización de las vegas y bofedales de ciertas áreas que fueron prospectadas en terreno y que antes no estaban indicadas en estas cartas oficiales. La representación gráfica de los humedales de quebrada en la cartografía no representa superficie, solo la localización geográfica en que se encuentran. Las cartas seleccionadas son:

I Región:

- Carta cerró Larancagua - Provincia de Parincota.
- Carta volcán Guallatire - Provincia de Parincota.
- Carta villa Blanca - Provincia de Iquique.
- Carta Lirima - Provincia de Iquique.

II Región:

- Carta salar Carcote - Provincia El Loa.
- Carta Toconce - Provincia El Loa.
- Carta Rio Grande - Provincia El Loa.
- Carta volcán LLullaillaco - Provincia de Antofagasta.

e. Representación Cartográfica.

La cartografía de síntesis representa los humedales de quebrada y salares con sus cuatro rangos dimensionales mediante una metodología de círculos y cuadrados respectivamente. Su dimensión está en función de la longitud de las unidades vegetales para los círculos de los humedales de quebrada, y en función de su área para los cuadrados que representan los humedales de salares. Estas simbologías (círculos y cuadrados) están localizadas en el punto medio del área que ocupa la respectiva unidad vegetal, en especial para los humedales de quebradas o ríos ya que al tener diferentes longitudes se optó por ubicarlos aproximadamente en el punto centro del trazado longitudinal.

Los dos pares de coordenadas UTM asignadas a las vegas de mayor longitud (sobre 1 km) que indican sus puntos extremos (inicio y término) fueron extraídos de la cartografía escala 1:50.000 y en las áreas que no se encuentran cubierta por dicha escala se obtuvieron de cartas escalas 1:100.000 y 1:250.000.

Entonces, debido al tratamiento en el traspaso de información de una cartografía escala 1:50.000 a la cartografía de síntesis escala 1:250.000, la localización de los humedales en esta última es solo referencial.

4.1.4 Etnografía

Además de dar ubicación geográfica y delimitar las vegas y bofedales, también se obtuvo información por medio de entrevistas y observación in situ que fue sistematizada con el objetivo de identificar, corroborar y modificar la información contenida en las cartas topográfica, como también información referente al conocimiento, manejo y patrones de uso de los humedales por parte de las comunidades altiplánicas, animales domésticos y

silvestres. Para efectos de ser incorporada en las bases de datos de cada una de las vegas y bofedales identificados.

4.1.5 Calidad Sanitaria de aguas en Vegas y Bofedales de la I y II Región

Con la finalidad de completar la información de los humedales seleccionados respecto al uso de aguas (dato muy escaso en la zona), se tomaron muestras para determinar la calidad sanitaria de las aguas en vegas y bofedales, Clasificándose según presencia y ausencia de contaminación de origen fecal. Los resultados Indicaron que:

Caracterización de la calidad sanitaria de aguas de bofedales y vegas del área andina chilena – 1993.

- 38% (25/66) de las aguas eran de buena calidad sanitaria y aptas para todo uso.
- 62% (41/66) objetables para consumo humano.
- 33% (22/66) de calidad Incierta para riego superficial.

Los niveles de organismos indicadores detectados en las aguas confirmaron la necesidad de tratamiento para consumo humano, y definieron su Idoneidad para uso irrestricto en agricultura.

Para mayor detalle sobre el resultado de las muestras tomadas en terreno se puede consultar en el anexo del estudio "Identificación y ubicación de áreas de Vegas y Bofedales de las regiones primera y segunda", o en:

“Caracterización de la calidad sanitaria de aguas de bofedales y vegas del área andina chilena – 1993”.

Por: Gabriela del Carmen Castillo.

Enlace: [Ver documento electrónico](#)

http://mazingher.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_veterinarias_y_pecuarias/simposio1993/02ar_eaclimayrecurso/24.html

4.2 Delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta - 1996

Por: Humberto Peña Torrealba, Dirección General de Aguas. División de Estudios y Planificación.

Enlace:

Volumen 1: [Ver documento electrónico](http://documentos.dga.cl/HUM681v1.djvu)

<http://documentos.dga.cl/HUM681v1.djvu>

Volumen 2: [Ver documento electrónico](http://documentos.dga.cl/HUM681v2.djvu)

<http://documentos.dga.cl/HUM681v2.djvu>

Posterior al trabajo de identificación, caracterización y ubicación geográfica de vegas y bofedales altiplánicas en las regiones I y II, la Dirección General de Aguas se dio a la tarea de realizar el trabajo necesario en terreno y gabinete para delimitar los acuíferos que alimentan los humedales, con la finalidad de protegerlos para su mantención en el tiempo.

El objetivo principal de este informe es la identificación y delimitación de los acuíferos que alimentan las vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, además de la generación de material cartográfico donde sea posible ubicar las áreas delimitadas de los acuíferos. Con la finalidad que esta Información pueda ser de utilidad para consultar y analizar todo lo relativo a las aguas subterráneas por parte de la DGA Y los organismos que lo requieran.

4.2.1 Metodología de Trabajo.

La metodología de trabajo se desarrolló en dos partes una de gabinete y otra de terreno.

Trabajo de gabinete: consistió en la recopilación de toda información que fuese necesaria del área de interés:

- Recolección de fotos, cartas topográficas y geológicas e imágenes satelitales.
- Revisión del estudio "Identificación y Ubicación de áreas de Vegas y Bofedales de las regiones I y II".
- Análisis fotointerpretativo, para delimitar preliminarmente los acuíferos alimentadores de humedales.
- Revisión de estudios hidrológicos de la primera y segunda región.

- Cuantificación de las solicitudes de derechos de aprovechamiento y de explotación pendientes en la zona de interés.
- Elaboración del itinerario y rutas tentativas con la estimación del tiempo necesario para las labores de reconocimiento en terreno de las áreas de interés.

Trabajo de terreno: se realizó en dos campañas, la primera en octubre de 1995 y la segunda en febrero de 1996 cubriendo distintas zona de las regiones I y II. Ambas etapas consistieron en lo siguiente:

- La verificación de los contactos de las áreas delimitadas preliminarmente en la etapa de gabinete.
- Verificación de la ubicación de las vegas y bofedales contenidas en el informe "Identificación y Ubicación de áreas de Vegas y Bofedales de las regiones I y II", esto con mediciones GPS, permitiendo la inclusión de vegas y bofedales que no habían sido incluidas en el catastro anterior.
- Toma de muestras de agua para análisis de macro-elementos e isotopos ambientales. Información no contenida en el informe, pero considerado para estudios posteriores.

4.2.2 Criterios de clasificación.

Los criterios de clasificación utilizados para la delimitación de los acuíferos alimentadores de los humedales de acuerdo a la orientación hidrogeológica, son los que distinguen las vegas y bofedales ubicadas en quebradas y planicies o salares.

a. Vegas y bofedales en Quebradas

En la delimitación de los acuíferos de las áreas de vegas y bofedales localizadas en quebradas, se distinguieron dos tipos:

- Quebradas alimentadas por aguas superficiales provenientes de precipitaciones: en este caso la delimitación en la mayoría de los casos, correspondía al contacto litológico (zona rocosa) entre las unidades de relleno aluvial y las rocas presentes, como también hoya aportante.

- Quebradas alimentadas por acuíferos: en este informe solo se incluyen a este grupo las quebradas originadas por vertientes, cuya delimitación es similar a la del punto anterior hacia aguas debajo de la zona de recarga ubicada en el área de nacientes. La diferencia se origina en la delimitación de la zona de recarga.

b. Vegas en Planicies y Salares

Debido el escaso conocimiento de los acuíferos alimentadores de humedales en salares y planicies, se consideró para la delimitación de las áreas de prohibición todos los antecedentes hidrogeológico y de acuerdo a un criterio que permita la conservación, se definieron los límites en las áreas donde la probabilidad de influencia de una captación sobre los humedales sea mínima. La mayoría de las delimitaciones de acuíferos en salares tiene un carácter de inferido.

4.2.3 Consultas a otras instituciones.

Por la importancia de contar con la opinión de otras instituciones que pudieran aportar con más información y realizar observaciones a la nómina de humedales protegidos, el director General de Aguas solicitó a la CONAF, CONADI y SAG respectivamente, sus observaciones y comentario de dicha nómina. Solicitud que fue respondida solo por la CONAF detectando la siguiente situación:

- Vegas y bofedales no incluidas en la nómina, ubicados al interior y exterior de Unidades del Sistema Nacional de Áreas silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) o en áreas en proceso de creación.

Hechas las observaciones se procedió a verificar la información y se incluyeron en el listado general correspondiente.

4.2.4 Presentación de Resultados Obtenidos

a. Identificación de Acuíferos.

La delimitación de los acuíferos fue realizada en una cartografía base del IGM, a escala 1:50.000 las que posteriormente fueron digitalizadas para disponer de ella en un soporte digital y ser manipulado en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para la región de Tarapacá se delimitaron 89 acuíferos que alimentan a 131 bofedales y 8 vegas, cubriendo una superficie de 334 km². Y en la región de Antofagasta se delimitaron 87 acuíferos que alimentan 164 vegas cubriendo una superficie de 2797 km².

La identificación de los acuíferos se presentó en dos bases cartográficas IGM, láminas de ubicación detalladas escala 1:50.000 y láminas de ubicación general escala 1:250.000.

b. Láminas de ubicación detallada

Consta de 19 láminas de la región de Tarapacá y 32 láminas de la región de Antofagasta y en ellas se presentan:

- Solamente los acuíferos delimitados, no considera las delimitaciones de cuencas hidrográficas.
- Ubicación puntual de las vegas y bofedales con sus nombres y la simbología utilizada para su identificación, que no representa sus límites y extensión.
- Contacto inferido de los acuíferos y salares.
- Límites de las cartas IGM o partes de ella, indicando sus respectivos nombres y coordenadas de referencia.
- Límites internacionales.

Estas se encuentran en el capítulo 8, "Láminas de ubicación de acuíferos delimitados".

c. Láminas de ubicación general

Presentan una visión general y detallada de los acuíferos y también de soporte y referencia para facilitar una mejor identificación de las áreas señaladas anteriormente. En estas láminas se muestran:

- El esquicio de ubicación de los mapas que corresponden a la I y II región.
- Solo la delimitación de los acuíferos, sin considerar el límite de las cuencas hidrográficas.
- Ubicación puntual de las vegas y bofedales con su simbología para identificarlas.
- Identificación de la red de drenaje, con la simbología adecuada para; ríos, esteros, quebradas y salares.

- Los poblados con sus nombres.
- Grilla coordenadas cada 10 kms.

- Limite internacional.

Estas láminas se presentan en el volumen anexo al informe "Delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta" y contiene un total de 13 láminas, 6 correspondiente a la región de Tarapacá y 7 a la región de Antofagasta.

4.3 Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: informe final - 2001.

En base a estudios y análisis realizados por la CONADI II región, comunicó a la DGA la existencia de humedales que son sustento de comunidades indígenas, los que no se encontraban adecuadamente protegidos o no se encontraban incorporados sus acuíferos alimentadores en la resolución DGA N° 909, de 1996.

En consecuencia se firmó un convenio entre la DGA y la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI) según Resolución exenta DGA N°4537 del 28 de diciembre de 2000, cuyo objetivo general fue el efectuar una actualización en la delimitación de acuíferos alimentadores de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, dando énfasis en aquellos de interés para las comunidades indígena.

Este informe desarrolla el estudio que busca actualizar e incorporar los límites de acuíferos que alimentan los humedales ubicados en los límites administrativos de la región de Antofagasta quedando excluidos aquellos alimentados por todo tipo de escurrimiento superficial, con especial énfasis en aquellos localizados en las partes altas de la región y de interés para las comunidades indígenas por su producción del recurso hídrico.

Como información base tendrá los estudios "Identificación y Ubicación de Áreas de vegas y bofedales de las Regiones I y II" y "Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales de las Regiones de I y II" realizados por la DGA, además de la información disponible de carácter local hidrogeológica y de los pobladores en la zona.

En este informe de actualización de la delimitación de acuíferos se realiza una caracterización general de la zona, definida a través de las distintas ciencias de la tierra que explican la dinámica litosférica propia de la región y en particular de la alta cordillera, considerando además las características étnicas de las comunidades ahí presentes.

- Clima e hidrología.
- Geología Regional.
- Hidrogeología.
- Comunidades Indígenas.

4.3.1 Recopilación de Antecedentes.

La recopilación de antecedentes se realizó agrupando la información según la naturaleza de su origen, clasificándose en las siguientes categorías:

- Cartografía IGM 1:50.000 necesaria para cubrir toda el área requerida del estudio, siendo utilizada como base topográfica para la delimitación de acuíferos. La cartografía utilizada es la siguiente:

Código	Nombre	Código	Nombre	Código	Nombre
B-1	Cerros del Rincón	B-66	Putana	B-121	Socaire
B-8	Ollagüe	B-75	Cordillera de La Sal	B-122	Cerro Miscanti
B-7	Volcán Miño	B-76	San Pedro de Atacama	B-123	Lari
B-15	Chela	B-77	Volcán Licancabur	B-124	Portezuelo de Guaitiquina
B-16	Salar de San Martín o Carcote	B-78	Cerros de Guayaques	B-133	Cerro Lila
B-17	Volcán Ollagüe	B-79	Pampa Guayaques	B-134	Salar de Púlar
B-25	Ascotán	B-80	Zapaleri	B-134	Tilomonte
B-26	Cerro Araral	B-91	Toconao	B-135	Cerro Miñiques
B-33	Estación San Pedro	B-92	Cerros de Macón	B-136	Tuyajto
B-34	Volcán San Pedro y San Pablo	B-93	Salar de Pujsa	B-137	Pampa El Laco
B-35	Cerro Inacaliri o del Cajón	B-94	Salar de Tara	B-144	Imilac
B-42	Conchi	B-95	Nevados de Poquis	B-149	Cerros de Incahuasi
B-43	Cupo	B-106	Cerro Mullay	B-151	Calama
B-44	Inacaliri	B-107	Talabre	B-152	Chiuchiu
B-45	Ayquina	B-108	Volcán Lascar	B-159	Quebrada Guanaqueros
B-46	Toconce	B-109	Ojos del río Salado	B-160	Socompa
B-47	Cerros de Tocopuri	B-110	Pampa Mucar	B-170	Salar Punta Negra
B-64	Barros Arana	B-119	Cordón Chinquilchorro	B-171	Volcán Lullaillaco
B-65	Rio Grande	B-120	Peine	B-181	Cerro Aguas Calientes

- Información de carácter geológico, cartas geológicas del Sernageomín escalas 1:250.000 y 1:500.000.
- Expedientes de la DGA, solicitudes de áreas de exploración en trámite, otorgadas y solicitudes de derecho de aprovechamiento de aguas en trámite y constituidos.
- Antecedentes técnicos y geográficos, ubicación de humedales y delimitación de acuíferos.
- Imágenes satelitales Lansat-TM georeferenciadas con puntos de control, para el reconocimiento inicial de los humedales y su superficie.
- Antecedentes proporcionados por la CONADI.
- Antecedentes proporcionados por la CONAF.
- Estudios anteriores realizados en la zona, la mayoría con información o análisis hidrogeológicos.

4.3.2 Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo se enmarco en cuatro etapas de trabajo:

Etapa 1

- Recopilación de antecedentes.
- Entrevistas a instituciones.
- Reconocimiento preliminar de terreno.
- Identificación preliminar de humedales.

Etapa 2

- Plan de trabajo de terreno.
- Campaña de terreno 1
- Procesamiento de la información.

Etapa 3

- Campaña de terreno 2
- Procesamiento de la información.

Etapa 4

- Delimitación de acuíferos que alimentan Humedales.
- Elaboración cartográfica.

a. Desarrollo de la metodología de trabajo

El criterio utilizado para la delimitación de los acuíferos considerados, fue definir para cada vega y bofedal identificado el sector hidrogeológico que lo alimenta, siendo esta el área que frente a una eventual explotación de agua subterránea, afecte significativamente la preservación de los humedales. El desarrollo de esta metodología siguió los siguientes pasos:

- 1) La identificación de vegas y bofedales alimentadas principalmente por aguas subterráneas, utilizando como información base el estudio generado por la DGA N° 909 de 1996, además de nuevos antecedentes de la existencia de humedales proporcionada por la DGA, CONADI, CONAF, análisis de imágenes aéreas y satelitales, y la inspección en terreno. Producto de la información recopilada se catastro una gran cantidad de humedales y considerando la poca factibilidad de visitarlas todas en terreno, se acordó en conjunto con la DGA una regla de priorización que considero en primer lugar los humedales protegidos por la Resolución N°909 DE 1996, luego un listado de prioridades entregado por la CONADI y posteriormente las identificadas por la CONAF. Los humedales identificados anteriormente fueron ubicados en una cartografía base y se delimitaron preliminarmente.
- 2) Estos humedales fueron visitados en las dos campañas de terreno, además de los nuevos humedales encontrados en dichas campañas siendo analizados para su posible incorporación. Los límites definidos preliminarmente fueron verificados mediante mediciones GPS en su entorno obteniendo las coordenadas UTM. Esta delimitación considero los fenómenos estacionales de cobertura vegetal, ya que estas crecen o decrecen según el aporte hidrológico de los acuíferos alimentadores. Sobre la base de toda la información analizada y generada en terreno se realizó una identificación definitiva de los humedales de la zona.

- 3) Con los límites de las vegas y bofedales definidos, se buscó determinar la distancia desde el perímetro de los humedales que defina el área del acuífero. La determinación de la distancia dependerá de la clasificación del tipo de acuífero que alimenta al humedal (salar, llanura, quebrada). Siendo el criterio general para definir el área de protección las características hidrogeológicas particulares de cada humedal, determinando una distancia tal que un bombeo produzca una disminución del nivel freático que no afecte significativamente la condición histórica de la vega. El descenso permitido que se definió en base a antecedentes agrónomos, será de 25 cm., información obtenida del estudio de impacto ambiental del "Proyecto de Lixiviación de Oxido de Cobre y aumento de la Capacidad de Tratamiento del Mineral Sulfurado" de Compañía Minera Escondida de 1996, cap. 10.4.2, el que estima el descenso máximo del nivel freático que soporta la vegetación del sector (zona sur del Salar de Atacama), se asume este como nivel máximo de descenso por falta de otros estudios sobre la materia.

La delimitación del acuífero entorno a la vegas o bofedales no siempre es constante debido a su condición anisotrópicas (varia con la dirección), por eso se evalúa el efecto de un bombeo en diferentes puntos entorno a la vega, por ejemplo, hacia aguas arriba y aguas abajo del sentido del escurrimiento subterráneo. En la delimitación del área a proteger también considera la geología de los acuíferos.

En la determinación de la distancia a que se produce el descenso de los 25 cm, se recurrió a la hidráulica de pozos, para lo cual se deben conocer los parámetros de transmisividad y el coeficiente de almacenamiento del acuífero. Para esto se debe contar con la información de estratigrafía y las pruebas de bombeo de pozos. Además realizando estimaciones a partir de sectores similares para los acuíferos que no dispongan de esta información. Para el cálculo del caudal de bombeo se consideran las condiciones de recarga y escurrimiento subterráneo del acuífero analizado a partir de los estudios existentes y las observaciones en terreno.

Para los humedales alimentadas por aguas superficiales, el criterio será proteger la fuente de recarga de la vega.

4.3.3 Antecedentes técnicos

Para determinar la delimitación de los acuíferos alimentadores de humedales, se utilizaron algunos antecedentes técnicos para apoyar dicho trabajo. Estos se refieren:

- Información recopilada en terreno, detallada con sus respectivas ficha y fotografías.

- Cartografía IGM 1:50.000.
- Fotografía aéreas.
- Estudios hidrogeológicos que permitieron analizar con mayor detalle algunos acuíferos.
- Información sobre el bombeo de pozos de la zona, obtenida de la información existente en el estudio de la DGA 2001, y los nuevos expedientes de derechos de agua y áreas de exploración.
- Estudios previos.

La información obtenida de los pozos es importante para determinar las dimensiones de los acuíferos a partir de la estratigrafía, profundidad de los pozos y de las pruebas de bombeo, que es de donde se obtienen los datos de transmisividad y el coeficiente de almacenamiento necesarios para el cálculo del radio de influencia sobre el acuífero.

Para el cálculo del radio de influencia (distancia al área de cobertura vegetal, tal que un bombeo no produzca un descenso mayor a 25cm.), se utilizó la ecuación modificada de Theiss, en que el descenso (Δ) a una distancia (x), está dado por:

$$\Delta = Q/4\pi T \ln (2.24 T t/x^2 S)$$

Dónde:

- Q : Caudal de bombeo (m³/día).
- T : Transmisividad (m²/día).
- t : Tiempo de bombeo (días).
- X : Distancia al pozo (radio de influencia - (m))
- S : Coeficiente de almacenamiento.
- Δ : Descenso (m).

Con el valor de descenso máximo de 25cm y teniendo los valores de Q,T y S para cada caso, se tiene que la distancia del radio de influencia queda dependiente del tiempo de bombeo.

4.3.4 Delimitación de áreas protegidas.

Con la metodología antes expuesta se realizó la delimitación de los acuíferos y de las zonas de escurrimiento superficial alimentadores de las vegas y bofedales identificados. Los humedales se definieron según clasificación hidrogeológica.

a. Humedales alimentados por aguas subterráneas:

- Fondos de Quebradas.
- Salares
- Llanura aluvial
- Acuíferos Cársticas

Se delimito en función de la hidrogeología, delimitando el acuífero que sustenta la vega acotando el área cuando corresponde, por un radio de influencia en la explotación del agua y la geología para los tipos de vegas en fondos de quebradas.

b. Humedales asociadas a escurrimiento superficiales:

Cabeceras de Quebradas: se delimito el relleno donde se sustenta la vega y la zona superior de recarga.

Lechos de Cauce: La delimitación abarco solo el lecho del cauce, apoyándose en el índice vegetacional detectado por las imágenes satelitales considerando lo extenso en algunos casos.

Vertientes: la delimitación abarco solo la zona de recarga de la vertiente.

Producto del trabajo de delimitación, más de un área delimitada se intersectaron entre sí, por lo cual hay zona donde hay más de un humedal contenida en ellas.

En la siguiente tabla se detalla la cantidad de vegas delimitadas.

Origen Información	Total Vegas
Total Estudiadas (Fichas)	209
Protegidas Res. DGA N°909/96	128
Informadas por CONADI	32
Informadas por CONAF	32
Estudio DGA 1993	3
Nuevas encontradas en terreno	24

En este estudio se analizaron 182 humedales en la región de Antofagasta, con la delimitación de sus respectivos acuíferos, de las cuales 128 se encontraban protegidas por la Resolución N° 909/96. y se incorporaron 54 humedales nuevos para ser considerados por la DGA. Además producto de la metodología propuesta en este trabajo fueron modificadas en su delimitación 128 zonas acuíferas protegidas por la DGA.

Se informa que de la cantidad nueva de vegas y bofedales analizadas respecto de las ya protegidas por la DGA, queda aún un número considerable de vegas susceptibles de ser estudiadas y delimitar sus respectivos acuíferos.

4.3.5 Protección de humedales (vegas y bofedales) en el norte de Chile (año 2001)

El Informe recién citado es un resumen del estudio del punto "4.3 Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: informe final - 2001." Además de citar y complementar como este se relaciona con otras áreas de protección ya establecidas como los SNASPE y los sitios RAMSAR

Enlace : [Ver documento electrónico](#)

<http://www.cartografia.cl/download/mariaalegria.pdf>

4.4 Cartografía Temática - Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta - 2003.

Por: Dirección General de Aguas. Departamento de Estudios y Planificación.

Enlace : [Ver documento electrónico](#)

<http://documentos.dga.cl/HUM3058.djvu>

Sobre la base del trabajo expuesto en el informe "Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta - 2003" y sometido a consulta tanto a CONADI como dentro de la propia DGA, el Departamento de Estudios y Planificación en conjunto con el Departamento de Administración de Recursos Hídricos procedió a la delimitación definitiva de los acuíferos que alimentan vegas y bofedales de la región de Antofagasta

En este informe se presenta la cartografía temática, que consta de 12 cartas temáticas a escala 1:250.000.

4.5 Actualización delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, cuenca del río Caquena, región de Tarapacá, Informe técnico - 2003.

Por Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación.

Enlace : [Ver documento electrónico](http://documentos.dga.cl/HUM4104.djvu)
<http://documentos.dga.cl/HUM4104.djvu>

La CONADI - I Región, en base a los estudios y análisis realizado en la identificación de vegas y bofedales de las Regiones I y II, sustento de las comunidades indígenas, se identificaron algunos humedales que no se encontraban debida mente protegidos. Uno de ellos en bofedal de Caquena, ubicado en el pueblo del mismo nombre, con una extensión aproximada de 21 km².

El presente estudio tiene como objetivo la actualización de la delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, en el sentido de proteger la zona del bofedal de Caquena, ubicado en la Región de Tarapacá. Identificando los límites de la cobertura vegetal, además del área de protección del acuífero alimentador con la metodología adecuada a la información hidrogeológica que se dispone de dicho bofedal y la producción de la cartografía con la ubicación y delimitación de la zona de protección.

4.5.1 Caracterización de la zona.

El bofedal de Caquena es parte de la cuenca del rio Caquena, perteneciente al sistema de cuencas altiplánicas de la I Región. Se ubica en la parte nororiental de la Región de Tarapacá, entre los límites hidrológicos de la cuenca de Caquena hasta el límite fronterizo con la república de Bolivia.

Dentro de los antecedentes hidrológicos y climáticos de la cuenca Caquena, se definen las principales características morfométricas y climatológicas en la siguiente tabla:

Cuenca	Rio Caquena
Altura Promedio	4333 m.s.n.m
Superficie	546 km ²
Precipitaciones	355,4 mm/año
Evaporación Potencial	741 mm/año
Temperatura media anual	2,4°C

Los datos respecto del régimen fluviométrico se consideraron dos estaciones, Caquena en Nacimiento, y Caquena en Vertedero, situada en la cercanía del límite del área de estudio.

La cobertura vegetal del bofedal de Caquena, fue mediada a partir de la interpretación realizada en falso color sobre una imagen satelital de la zona (LANDSAT banda 7, 4, 1, año 1989). Con una superficie total de 2079 ha.

En el desarrollo de este estudio se realizó un análisis hidroquímico e isotópico de las aguas de la cuenca de Caquena. Detallando su resultado en el informe técnico S.D.T N° 162.

4.5.2 Metodología de trabajo

En el proceso de recopilación de información para determinar el área de protección para el acuífero alimentador del bofedal de Caquena, se utilizaron como marco de referencia los estudios publicados por la DGA:

- Delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, S.D.T. N°4, DGA. 1996.
- Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, S.I.T. N° 76, DGA, 2001.

Se utilizaron para la delimitación del bofedal de Caquena los criterios de clasificación que distinguen las vegas localizadas en Quebrada y las ubicadas en Planicie y/o Salares.

Una vez definido los límites del área de vegetación, se determinó la distancia desde este perímetro que definiera al área de protección del acuífero alimentador del bofedal Caquena

4.5.3 Antecedentes Técnicos

Para la definición de los límites de protección para el acuífero alimentador del bofedal de Caquena, se han recopilado antecedentes técnicos para apoyar el trabajo:

- Información recopilada en terreno.
- Cartografía IGM escala 1:50.000.

- Fotografías aéreas.
- Estudios hidrogeológicos que permitieron analizar con mayor detalle algunos sistemas acuíferos.
- Información de bombeo de pozos de la zona, sacada de los expedientes de derecho de agua y de áreas de explotación.
- Estudios previos.

Para dimensionar el tamaño del acuífero, son necesarios los antecedentes de los pozos, profundidad, pruebas de bombeo y la estratigrafía. Permitiendo calcular el radio de influencia (transmisividad y coeficiente de almacenamiento) sobre al acuífero.

En la definición del radio de influencia se considera una distancia tal que un bombeo no produzca un descenso mayor a 25 cm. en el nivel freático del acuífero en estudio.

4.5.4 Delimitación Acuífero Alimentador del Bofedal de Caquena.

Producto de las características inalteradas en la zona de estudio, no se encontró información de pozos en explotación ni información de exploraciones hidrogeológicas disponibles, pero a partir de los datos y análisis obtenidos en el presente informe fue posible crear una metodología mixta en conjunto con la expuesta en el informe "Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta", 2001, definiendo los criterios para la delimitación:

- Delimitación hidrológica: es posible concluir que la recarga principal del acuífero se proyecta sobre la vertiente Este de la subcuenca oriental de Caquena, teniendo como limite la cota 4750 m.s.n.m. entonces es factible asumir que el acuífero se extiende bajo esta cota. La recarga proveniente de la vertiente Oeste, de esta cuenca, no representa un aporte significativo al funcionamiento del bofedal, al menos hasta la descarga del tributario Colpacagua. El límite de la cuenca oriental se encuentra relativamente cercano y representa un buen criterio para la delimitación. hacia el sur el límite hidrológico posee una altura no mayor a los 4600 m.s.n.m. Se asume consecuentemente que este último valor es un buen criterio para definir la delimitación, al igual que sucede en el límite Noreste de la subcuenca.
- Delimitación Hidrogeológica: como no se cuenta con información de pozos para la cuenca de Caquena, es posible definir parámetros elásticos para el acuífero, sobre la

base de datos obtenidos en pozos de iguales características pero ubicados en otras subcuencas de la zona norte del país.

Realizado todos los estudios y análisis de la información de terreno y estudios previos, y definición del criterio de delimitación del acuífero, se generó la cartografía con el trazado del límite del acuífero alimentador del bofedal de Caquena.

Fuente:

- Cartografía IGM 1:250.000.
- Coordenadas referidas al DATUM WGS84.

4.5.5 Minuta Técnica N°2

Esta minuta tiene por objetivo complementar lo expuesto en el "Informe Técnico SDT N° 162, de 2003". En el sentido de la georeferenciación utilizada para la delimitación del Acuífero alimentador del bofedal Caquena, debido a que esta fue realizada en base al Datum Geodésico WGS84, por lo tanto con la finalidad de representar la cartografía con el mismo sistema de referencia utilizada en la Resolución DGA N° 909, de 1996, se entrega en la minuta N°02 la delimitación del acuífero de Caquena georreferenciada en el DATUM PSAD 56.

Las coordenadas UTM referidas al Datum geodésico PSAD 56 del punto representativo del bofedal Caquena son las siguientes: Este 480.117 metros y Norte 8.001.677 metros

4.6 Protección de Vegas de la II Región. Identificación Preliminar - 2004.

Por, Dirección General de Aguas. División de Estudios y Planificación.

Enlace: [Ver documento electrónico](http://documentos.dga.cl/HUM4145.djvu)
<http://documentos.dga.cl/HUM4145.djvu>

La finalidad de este informe es desarrollar un breve análisis preliminar, cuyo objetivo es proponer un listado de los nuevos humedales identificadas por la CONADI (una propuesta de 109 humedales nuevos que debieran ser analizado), en el sentido de verificar si estas ya fueron vistas de alguna forma por el estudio del año 2001 o si ya se encuentran protegidas por la Resolución DGA N° 529, del 2003, para luego ubicarlas geográficamente y ver su factibilidad de acceso y el tiempo requerido para el trabajo en terreno, además de un análisis adicional para identificar otros humedales que sean propuestas por el consultor, y así poder evaluar los alcances de un futuro estudio.

4.6.1 Vegas Protegidas

La Resolución N°529 del 2003 identifica 182 humedales que se encuentran protegidos. También fueron identificados en el estudio realizado por la DGA en el 2001, otras vegas las que no fueron analizadas para ver su factibilidad de ser incorporada, por diferentes motivos (problemas de acceso, campos minados, etc.).

Los humedales que no fueron analizados en el estudio del 2001 y que se encontraban protegidos por la Resolución N°909, del 1996, mantuvieron los límites definidos para sus acuíferos alimentadores, y se propone que estas áreas sean incorporadas en el nuevo informe para ser evaluadas según los criterios expuestos en el estudio del 2001.

4.6.2 Nuevas Vegas Informadas por la CONADI.

CONADI propuso un listado de 109 nuevos humedales con la finalidad de ser protegidos. Estos fueron analizados, en el sentido de proponer cuál de estos se justifica para ser incorporados en el nuevo estudio de delimitación. Dentro del análisis se consideró lo siguiente:

- Lo primero fue verificar si los nuevos humedales propuestos por CONADI ya habían sido analizadas en el estudio del 2001, siendo identificadas por nombre o coordenadas. Además de verificar dentro de las no analizadas en el estudio del 2001, si existe alguna que haya sido identificada. Para las cuales se precisa el motivo de porque no fueron analizadas en dicho estudio.

Producto de este análisis se concluyó que de los 109 humedales requeridos solo 49 no fueron ubicadas en los listados del estudio del 2001. Además se realizó un chequeo de los humedales en imágenes satelitales, descartando aquellos en los que no se detectó presencia vegetal.

4.6.3 Otros Humedales propuestos.

En el listado de los nuevos humedales requeridos para ser protegidos, también fueron propuestos para ser incorporados en el nuevo estudio, aquellos que se encuentran en la resolución DGA N°529 pero que no fueron analizados bajo el criterio del estudio de 2001, y se les mantuvo la delimitación de la resolución N° 909, del 1996. Además de los que a juicio del consultor sería recomendable incorporar a dicho estudio.

El resultado del análisis realizado para determinar el listado de los humedales que deben ser incorporados en el nuevo estudio para que se defina su protección, identifica a 93 humedales, de los cuales:

- 36 humedales requeridos por la CONADI.
- 12 humedales propuestos por el consultor.
- 45 humedales protegidos por la Resolución N°529/03, pero la delimitación de los acuíferos alimentadores de humedales, no fueron analizados bajo el criterio de expuesto en el estudio del 2001.

Además se indica que 49 humedales informados por la CONADI, no fue posible ubicarlos geográficamente y no fueron incluidos en el listado. Esto sin perjuicio de ser incorporados si se entrega la información necesaria para ser ubicados.

Este informe también realiza una propuesta para el programa terreno que se debiera realizar, con el fin de optimizar el tiempo y el equipo requerido para las visitas a los humedales.

4.7 Actualización delimitación de acuíferos alimentadores de vegas y bofedales de la II región - 2004

Por: Dirección General de Aguas. Departamento de Estudios y Planificación, y la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.

Enlace : [Ver documento electrónico](#)

<http://documentos.dga.cl/HUM4451.pdf>

Considerando que aún pueden existir humedales sin protección, se desarrolló un nuevo estudio que busca actualizar e incorporar los límites de acuíferos que alimentan humedales los humedales de la región de Antofagasta, protegidos por la Resolución N°529/2003, con énfasis en aquellos identificados en el listado entregado por la CONADI el 2004, que son de especial interés para las comunidades indígenas por su producción del recurso hídrico.

Un estudio realizado preliminarmente S.I.T. N° 94, enumero un listado de humedales propuestos a ser analizados para su protección.

Como información base tendrá los estudios " Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, de 2001 " realizados por la DGA, además de la información disponible de carácter local hidrogeológica y de los pobladores en la zona.

El objetivo principal de este estudio es actualizar la delimitación de acuíferos alimentadores de vegas y bofedales en la Región de Antofagasta. Para así aumentar el número de humedales protegidos en la Resolución DGA N°529/2003.

El estudio realiza una caracterización general de la zona, definida a través de las distintas ciencias de la tierra que explican la dinámica litosférica propia de la región y en particular de la alta cordillera, considerando además las características étnicas de las comunidades ahí presentes.

- Clima e hidrología.
- Geología Regional.
- Hidrogeología.
- Comunidades Indígenas.

4.7.1 Recopilación de Antecedentes

Debido a que este estudio es una actualización de los acuíferos alimentadores de humedales de la Región de Antofagasta. Los antecedentes a utilizar serán los mismos del estudio "Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta" realizado en el 2001. Además del informe "Protección de vegas II Región, identificación preliminar".

4.7.2 Metodología de Trabajo

El desarrollo metodológico presentado en este estudio se enmarcó en 2 etapas de trabajo:

Etapa 1:

- Recopilación de Antecedentes.
- Identificación Preliminar.
- Planificación trabajo de terreno.

Etapa 2:

- Campaña de Terreno 1.
- Campaña de Terreno 1.
- Procesamiento de la información.
- Delimitación de acuíferos que alimentan humedales.
- Elaboración cartografía.
- Informe final.

El desarrollo de la metodología contempla una labor de recopilación y revisión de antecedentes disponibles, tanto a nivel central como regional. El trabajo de terreno se planificó principalmente en base al informe de identificación preliminar desarrollado por la DGA en septiembre del 2004.

Para determinar la delimitación de los acuíferos alimentadores de humedales considerados en este estudio, se utilizó el criterio desarrollado en el estudio de la DGA "Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta" realizado en el 2001. Que siguió los siguientes pasos:

- a. Identificación de las vegas y bofedales de la región de Antofagasta, definidas como prioritarias de ser protegidas. información contenida en el estudio "Protección de vegas II Región, identificación preliminar" del 2004. que además contiene la ubicación geográfica.
- b. Mediante campañas de terreno se visitaron los humedales identificados previamente. Y a partir de la identificación preliminar se verificaron en terreno los límites del entorno de los humedales, determinando sus coordenadas UTM con mediciones realizadas con GPS. También se realizó un reconocimiento hidrogeológico de los acuíferos alimentadores.
- c. Con los límites de las vegas y bofedales definidos, se buscó determinar la distancia desde el perímetro de los humedales que defina el área del acuífero. La determinación de la distancia dependerá de la clasificación del tipo de acuífero que alimenta al humedal (salar, llanura, quebrada). Siendo el criterio general para definir el área de protección las características hidrogeológicas particulares de cada humedal, determinando una distancia tal que un bombeo produzca una disminución del nivel freático que no afecte significativamente la condición histórica de la vega.

El descenso permitido que se definió en base a antecedentes agrónomos, será de 25 cm., información obtenida del estudio de impacto ambiental del "Proyecto de Lixiviación de Oxido de Cobre y aumento de la Capacidad de Tratamiento del Mineral Sulfurado" de Compañía Minera Escondida de 1996, cap. 10.4.2, el que estima el descenso máximo del nivel freático que soporta la vegetación del sector (zona sur del Salar de Atacama), se asume este como nivel máximo de descenso por falta de otros estudios sobre la materia.

En la determinación de la distancia a que se produce el descenso de los 25 cm, se recurrió a la hidráulica de pozos, para lo cual se deben conocer los parámetros de transmisividad y el coeficiente de almacenamiento del acuífero. Para esto se debe contar con la información de estratigrafía y las pruebas de bombeo de pozos. Además realizando estimaciones a partir de sectores similares para los acuíferos que no dispongan de esta información. Para el cálculo del caudal de bombeo se consideran las condiciones de recarga y escurrimiento subterráneo del acuífero analizado a partir de los estudios existentes y las observaciones en terreno.

Para los humedales alimentadas por aguas superficiales, el criterio será proteger la fuente de recarga de la vega.

En el informe desarrollado preliminarmente "Protección de vegas II Región, identificación preliminar" del 2004 se detalla la información referida a identificar los humedales actualmente protegidos por la Resolución N° 529/2003 y los humedales propuestos para ser analizados.

4.7.3 Trabajo de terreno

Dentro del trabajo de terreno los lugares visitados en las dos campañas fueron 86, representando un 92% de las programadas para visitar de acuerdo a lo planificado preliminarmente. Los lugares que no pudieron ser visitados se debe a que no se encontraron accesos o que las horas requeridas para llegar ya sea en vehículos o a pie eran demasiadas, considerando que se debía optimizar el tiempo.

En relación con las vegas que se encontraban protegidas por la Resolución N°529/2003, y que fueron excluidas del estudio de la DGA del 2001, se comprobó que en general la delimitación del acuífero realizada para estos humedales coincide con un nivel topográfico, sin considerar, desde el punto de vista hidrogeológico, la influencia de una eventual explotación del acuífero que alimenta la vegas.

4.7.4 Delimitación de Áreas Protegidas

a. Identificación Definitiva

En base a la información analizada y generada en terreno, se realizó la identificación definitiva de los humedales y sus respectivos acuíferos. Siendo analizado todos los lugares identificados, se llegó a delimitar un total de 77 nuevas vegas. De un total de 86 lugares visitados, 13 quedaron sin delimitar por no constituir una vega y se agregaron 4 nuevas para delimitar que no se visitaron pero que consta su existencia.

b. Antecedentes Técnicos

Para determinar la delimitación de los acuíferos alimentadores de humedales, se utilizaron algunos antecedentes técnicos para apoyar dicho trabajo. Estos se refieren:

- Información recopilada en terreno, detallada con sus respectivas ficha y fotografías.
- Cartografía IGM 1:50.000.
- Fotografía aéreas.

- Estudios hidrogeológicos que permitieron analizar con mayor detalle algunos acuíferos.
- Información sobre el bombeo de pozos de la zona, obtenida de la información existente en el estudio de la DGA 2001, y los nuevos expedientes de derechos de agua y áreas de exploración.
- Estudios previos.

La información obtenida de los pozos es importante para determinar las dimensiones de los acuíferos a partir de la estratigrafía, profundidad de los pozos y de las pruebas de bombeo, que es de donde se obtienen los datos de transmisividad y el coeficiente de almacenamiento necesarios para el cálculo del radio de influencia sobre el acuífero.

Para el cálculo del radio de influencia (distancia al área de cobertura vegetal, tal que un bombeo no produzca un descenso mayor a 25cm.), se utilizó la ecuación modificada de Theiss, en que el descenso (Δ) a una distancia (x), está dado por:

$$\Delta = Q/4\pi T \ln (2.24 T t/x^2 S)$$

Dónde:

- Q : Caudal de bombeo (m³/día).
T : Transmisividad (m²/día).
t : Tiempo de bombeo (días).
X : Distancia al pozo (radio de influencia - (m))
S : Coeficiente de almacenamiento.
 Δ : Descenso (m).

Con el valor de descenso máximo de 25cm y teniendo los valores de Q, T y S para cada caso, se tiene que la distancia del radio de influencia queda dependiente del tiempo de bombeo.

c. Delimitación de áreas Protegidas

Con la metodología antes expuesta se realizó la delimitación de las zonas de acuíferos o de escurrimiento superficial que alimentan humedales. Definiendo cada humedal de acuerdo a la clasificación hidrogeológica correspondiente.

Para los humedales alimentados por aguas superficiales, se delimito el relleno donde se sustenta y la zona superior de recarga para el caso de las cabeceras de Quebradas.

Para los humedales de lecho de cauce la delimitación solo abarco el lecho del cauce, y para los casos donde era demasiado extenso, su delimitación se apoyó en el índice vegetacional detectado por las imágenes satelitales.

Para los humedales alimentados por vertientes la delimitación abarco la zona de recarga de la vertiente.

Como producto de las delimitaciones realizadas, algunas áreas se interceptaron entre sí, y en consecuencia estas contienen más de un humedal dentro de ella.

En conclusión en este estudio se analizaron 89 humedales situados en el altiplano de la región de Antofagasta, delimitando en 77 humedales sus respectivos acuíferos alimentadores. Con 29 humedales que ya se encontraban protegidos por la DGA y que modificaron su delimitación por la aplicación de la metodología antes expuesta. Además se incorporaron 48 nuevos humedales para ser considerados en la modificación de la resolución DGA 529/2003.

Con el aporte de los nuevos humedales protegidos por el presente estudio y sumado a las actualmente protegidas, el número de humedales susceptible de ser analizadas para delimitar sus acuíferos sería menor. Considerando además que los humedales que no fueron analizados en el estudio, fue debido a la falta de accesos, falta de información técnica o por simplemente priorizar las de mayor importancia.

4.8 Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, cartografía temática – 2006

Por, Dirección General de aguas. División de Estudios y Planificación.

Enlace: [Ver documento electrónico](http://documentos.dga.cl/HUM4452.djvu)
<http://documentos.dga.cl/HUM4452.djvu>

Sobre la base de lo desarrollado en el informe S.I.T. N°98, del 2004, que da cuenta del trabajo realizado para actualizar el listado de áreas protegidas que se incluyen en la resolución DGA N°529/2003. El Departamento de Estudios y Planificación procedió a la delimitación definitiva de los acuíferos que alimentan vegas y bofedales de la región de Antofagasta, presentada en la cartografía temática del área en estudio, y que consta de 12 cartas temáticas a escala 1:250.000.

4.9 Otros estudios y antecedentes que aportan al tema Vegas y Bofedales

4.9.1 Análisis de requerimientos hídricos de vegas y bofedales en el norte de Chile

Por: Carlos Salazar Méndez.

Enlace: [Ver documento electrónico](#)

<http://aprchile.cl/pdfs/Requerimientos-hidricos-Bofedales.pdf>

Por la necesidad de mejorar el conocimiento respecto a los requerimientos hídricos en humedales de altura, y lograr un aprovechamiento sustentable del recurso. La DGA en convenio con la Universidad de Chile y la Comisión Chilena de Energía nuclear desarrollaron investigaciones sobre la materia con el objetivo general de avanzar en la estimación de los requerimientos hídricos de los sistemas de humedales, sobre la base de la estimación de las tasas de evapotranspiración y evaporación en zonas de humedales, caracterizando hidrobiológicamente las formaciones vegetacionales, además del régimen hidrológico de la zona de estudio, una caracterización del régimen hidroquímica e isotópica de las aguas que alimentan los humedales.

La universidad de Chile abordó los aspectos hidrobiológicos tanto de terreno como de laboratorio, la Comisión Chilena de Energía nuclear abordó los análisis de isótopos estables (Deuterio y Oxígeno-18) la DGA se encargó de la realización de los análisis físico-químicos, la interpretación de resultados y la elaboración de los informes correspondientes.

El trabajo se realizó en dos zonas específicas, el bofedal de Isluga y bofedal de Chungará, en los cuales se realizaron 4 campañas de terreno con distribución estacional que incluyeron mediciones de caudal, muestreos de calidad de agua, análisis isotópicos de Deuterio y Oxígeno-18 y caracterización vegetal.

La selección de los sitios se basó en criterios de accesibilidad, morfología e hidrogeología adecuada para el estacionamiento de balances hídricos, escasa intervención antrópica,

composición vegetal suficientemente distribuida y presencia de infraestructura hidrométrica con los registros históricos.

Bofedal de Chungará: aproximadamente 250m de largo por 50m de ancho, ubicado a 4.500 msnm, alimentado por la vertiente denominada Mal Paso. Este sistema representa el típico bofedal de quebrada, de pequeña magnitud, con presencia de una desarrollada red de drenaje. La pronunciada pendiente longitudinal (12%) lo hacen susceptible de estar sometido a los efectos erosivos de las crecidas estacionales.

Bofedal de Isluga: su origen es producto del río Isluga y forma parte de un gran sistema de humedales que sustenta la actividad ganadera de los pueblos de Enquelga, Isluga, Pisiga y Colchane. Con escasa intervención antrópica a excepción del uso con fines de pastoreo. Su cobertura vegetal presenta una gran gama de unidades evapotranspirativas propias de estos ecosistemas.

Análisis de Resultados

Bofedal de Chungará: la escasa acumulación de suelo presente está directamente relacionado con la vulnerabilidad del emplazamiento, en relación a su fuerte pendiente, que impide la depositación de sedimentos y en consecuencia la fijación de las plantas. Otro antecedente que avala esta hipótesis es la edad estimada por medio del análisis de C-14 a una muestra obtenida en el fondo del sector, que es la máxima acumulación, indicando una antigüedad entre los 100 y 1000 años.

Se observó un aumento de salinidad del flujo conforme avanza hacia abajo, debido principalmente al ingreso de CO₂ por la descomposición de la materia orgánica desde la capa anóxica, por lo cual se genera una mayor acidez y se favorece la alteración meteórica de sedimentos, con el consecuente ingreso de sales por esta vía.

Bofedal de Isluga: una planicie semi-inclinada que cubre un área de 5 km², posee una gran diversidad en su cobertura vegetal y presenta condiciones hidrogeológicas adecuadas para la determinación de un balance hídrico instantáneo. Su escasa pendiente a permitido la acumulación de sedimentos y de materia orgánica en una profundidad superior a 5 m, obteniendo una datación entre magnitudes de los 1.000 a 10.000 años.

Determinación de la Evapotranspiración

El cálculo de la Evapotranspiración se realizó en el Bofedal de Isluga donde se presentaron las mejores características hidrogeológicas para establecer un balance hídrico, elección que se complementó con el análisis de aforos y análisis fisicoquímicos e isotópicos.

Para la estimación convencional de la evapotranspiración de referencia mensual se utilizaron los métodos de evaporímetro de bandeja y Penman-Monteith. Se consideró la evaporación mensual histórica de las estaciones meteorológicas DGA Caquena, Collacagua y Chungara-Ajata. Y para el coeficiente de bandeja K_p se adoptó el valor de 0.75 (valores sugeridos por la literatura)

Conclusión

Respecto a la parte físico química, a partir de los análisis del Bofedal Isluga y Chungará, se concluye que los flujos superficiales incrementan su salinidad en el sentido de escurrimiento.

El espesor de la columna de sedimentos bajo un bofedal, la cobertura vegetal y la extensión de una formación de humedales, son establecidos por la condición geomorfológica local (pendiente, permeabilidad de las formaciones adyacentes, litología de la cuencas de aporte, etc.). Se estima la evapotranspiración máxima del sistema en un valor de 0.8 l/s/ha.

4.9.2 Minuta técnica N° 6 de 2004

Por: Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación.

Enlace: [Ver documento electrónico](#)

<http://documentos.dga.cl/HUM4213.djvu>

La minuta N°6 tiene por objetivo analizar y dar respuesta a los fundamentos técnicos insertos en el recurso de reconsideración interpuesto por SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A. y de SQM SALAR S.A. a la resolución DGA N° 529 de 8 de Octubre de 2003, la que modifico la resolución DGA N° 909/1996 en el sentido de Actualizar la Identificación y la Delimitación de los Acuíferos alimentadores de humedales de las Regiones I y II.

El planteamiento general del requerimiento presentado hace referencia principalmente a un "error de las nuevas delimitaciones, por no ajustarse a los criterios generalmente aceptados en las ciencias geológicas e hidrológicas" y se sustenta en el Informe "Geología, hidrología, salar de Carcote", elaborado por el departamento de Desarrollo Minero de la gerencia Técnica de SQM S.A.

En el desarrollo de esta minuta se exponen los argumentos técnicos que dan respuesta al requerimiento presentado. Concluyendo que los antecedentes de orden general aportados por el recurrente en su informe, no son suficientes para modificar los criterios hidrogeológicos utilizados para la delimitación oficial.

5 RESOLUCIONES DGA

Resolución DGA N° 909, del 28 de Noviembre de 1996.

La resolución DGA N° 909, resuelve que se dan por identificadas y delimitadas las zonas que corresponden a los acuíferos que alimentan áreas de vegas y bofedales en las regiones de Tarapacá y Antofagasta con la realización de los estudios denominados "Identificación y Ubicación de Áreas de vegas y bofedales de las Regiones I y II" y "Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales de las Regiones de I y II" que los individualizan en base a su nombre y coordenadas UTM de un punto representativo. Dando cumplimiento a lo dispuesto en los artículos 58 y 63 del código de aguas, que dispone que debe identificar y delimitar las zonas que corresponden a acuíferos que alimenten vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, con el propósito de resolver fundadamente solicitudes de autorización de exploraciones de aguas subterráneas en dichas zonas, así también de entender dichas áreas como zonas de prohibición para realizar mayores extracciones que las autorizadas o para nuevos derechos de aprovechamiento de ellas.

Resolución DGA N° 91, del 13 de Febrero de 1997

Por medio de la resolución DGA N° 91, se rectifica la resolución DGA N° 909 en el sentido de precisar y aclarar que las coordenadas UTM Este y Norte de cada uno de los puntos representativos a que se refiere ella, es en metros (mts) y no en kilómetros (kms), entendiéndose, en todo caso, que la ubicación y deslindes precisos de cada una de las zonas corresponden a aquellos que efectivamente se representan en los mapas indicados en cada caso.

De esta manera, los humedales alto andino quedaron protegidos según la forma que se señala en el artículo 58 y 63 del Código de Aguas, en relación a las exploraciones y explotación de aguas subterráneas alimentadoras de humedales.

Sin perjuicio de lo anterior es necesario realizar actualizaciones periódicas que incorporen nuevas áreas, o bien modifique las existentes, sobre la base de datos fundados determinados en terreno. Esto debido a que los límites de los acuíferos alimentadores de vegas y bofedales son altamente dinámicos y tienen una gran variabilidad a lo largo del tiempo.

Resolución DGA N° 529, de 08 Octubre de 2003

Considerando que en el N° 3 de la Resolución N° 909, de 1996, se estableció que dicha identificación y delimitación era sin perjuicio de que en el futuro pudieran incorporarse

nuevas zonas alimentadoras de vegas y bofedales ubicadas en las regiones de Tarapacá y Antofagasta.

Se resuelve modificar la Resolución N° 909 de 1996, en el sentido de actualizar la identificación y delimitación de las zonas acuíferas alimentadores de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, por medio de la Resolución DGA N° 529, de 08 Octubre de 2003.

Estando contenidas, las ubicaciones y las delimitaciones precisas de los acuíferos alimentadores de las vegas y bofedales en el documento denominado "Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: Cartografía Temática", S.I.T. N° 86 de julio de 2003.

Dejando constancia que la actualización de la identificación y delimitación efectuada, es sin perjuicio de que se puedan incorporar en el futuro algunos sectores de las Regiones I y II.

Resolución DGA N° 464, de 9 de noviembre de 2004

Considerando que en el N°3 de la Resolución N° 909, de 1996, se estableció que dicha identificación y delimitación era sin perjuicio de que en el futuro pudieran incorporarse nuevas zonas alimentadoras de vegas y bofedales ubicadas en las regiones de Tarapacá y Antofagasta.

La Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI) I Región, determino basado en análisis y estudios, que algunos humedales sustentado de las comunidades indígenas, no se encontraba debidamente protegidos por la Resolución N°909, de 1996. Dentro de los cuales se encuentra el bofedal de Caquena en la I Región.

La DGA en base a la información contenida en el SDT N° 162, de diciembre de 2003, el Informe Técnico DARH N° 209, de 8 de julio de 2004 y la minuta N°2 de 20 de septiembre de 2004, definió la limitación del bofedal y su acuífero alimentador, mediante la generación de un mapa en el huso 19 de acuerdo con el Datum PSAD 1956, determinando que las áreas son de 20.8 km² y de 156,2 km².

Por lo anterior resuelve modificar la resolución DGA N°909, de 1996, en el sentido de agregar en la región de Tarapacá el bofedal de Caquena, individualizado en base a su nombre y coordenadas UTM:

Nombre bofedal	Mapa de ubicación y delimitación	Coordenada Este (metros)	Coordenada Norte (metros)
Caquena	Figura N° 1 de la Minuta Técnica N°02, de 2004	480.117	8.001.677

Dejando constancia que la actualización de la identificación y delimitación efectuada, es sin perjuicio que en el futuro puedan incorporarse otros sectores de la I y II Regiones.

Resolución DGA N°87 de 24 de marzo del 2006

Considerando que por medio de la resolución DGA N° 529/2003, se actualizó la identificación y delimitación de las zonas correspondiente a acuíferos que alimentan vegas y bofedales en la región de Antofagasta, y que en el N° 5 de la citada resolución, se estableció que la actualización de la identificación y delimitación efectuada, es sin perjuicio de que en el futuro se puedan incorporar nuevas zonas a proteger en la región I y II.

Entonces por lo antes dicho, y sobre la base del estudio S.I.T N° 98, de Diciembre del 2004, se procedió a actualizar la identificación y delimitación de las zonas que corresponden a acuíferos que alimentan vegas y bofedales de la región de Antofagasta vigente, modificándose la resolución DGA N° 529/2003 en el sentido de actualizar.

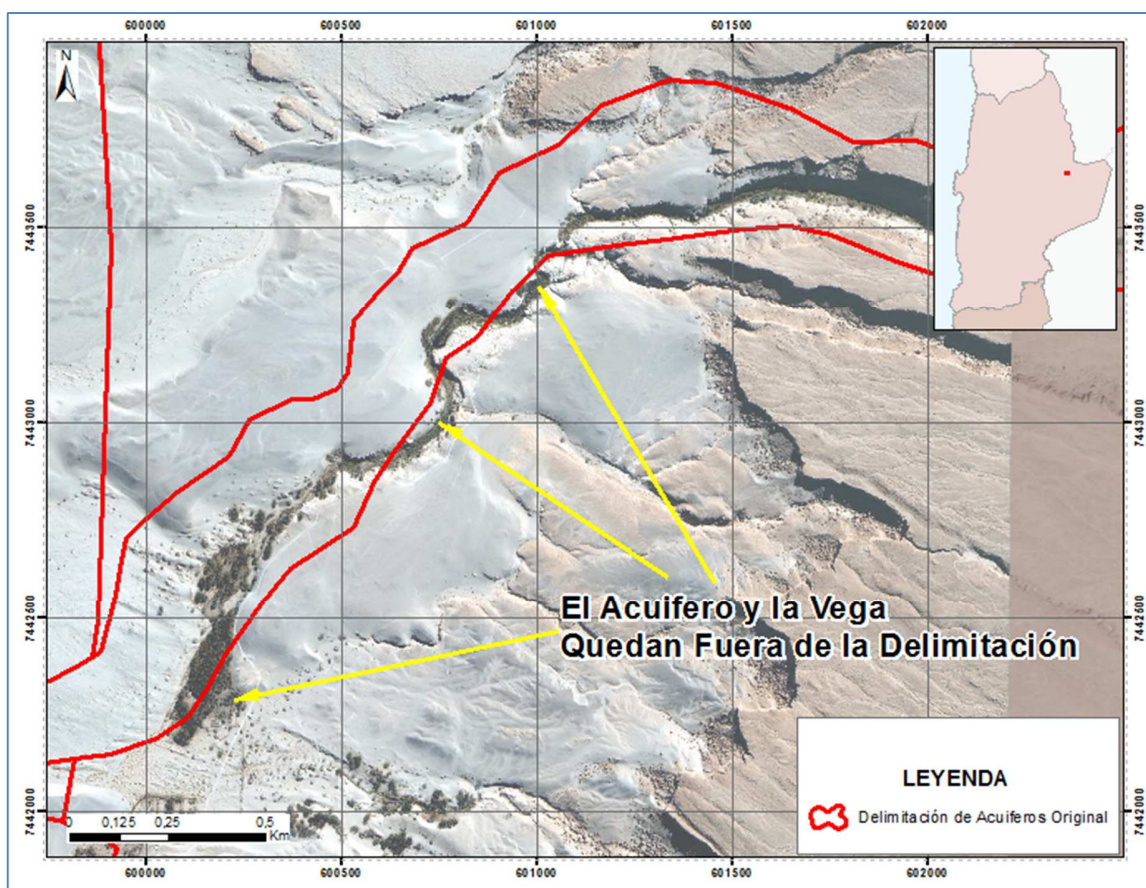
Las ubicaciones y las delimitaciones precisas de los acuíferos alimentadores de las vegas y bofedales, están contenidas en la cartografía temática denominada "Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, cartografía temática", S.I.T N° 111, de enero de 2006.

6 MEJORA DE SINUOSIDADES

En este Informe no solo se hace una recopilación bibliográfica de los estudios que dieron origen a las delimitaciones de los Acuíferos, también se realiza un trabajo de mejora de las sinuosidades de los polígonos, que forman los acuíferos.

Se definen “Sinuosidades”: al nivel de detalle y calidad gráfica de las curvas y vértices del polígono que dibuja y que representan a los acuíferos.

La mejor explicación del porque estas sinuosidades presentan ciertos problemas de calce y porque a la vez necesitan mejorarse se puede apreciar a través del análisis visual de la siguiente imagen.

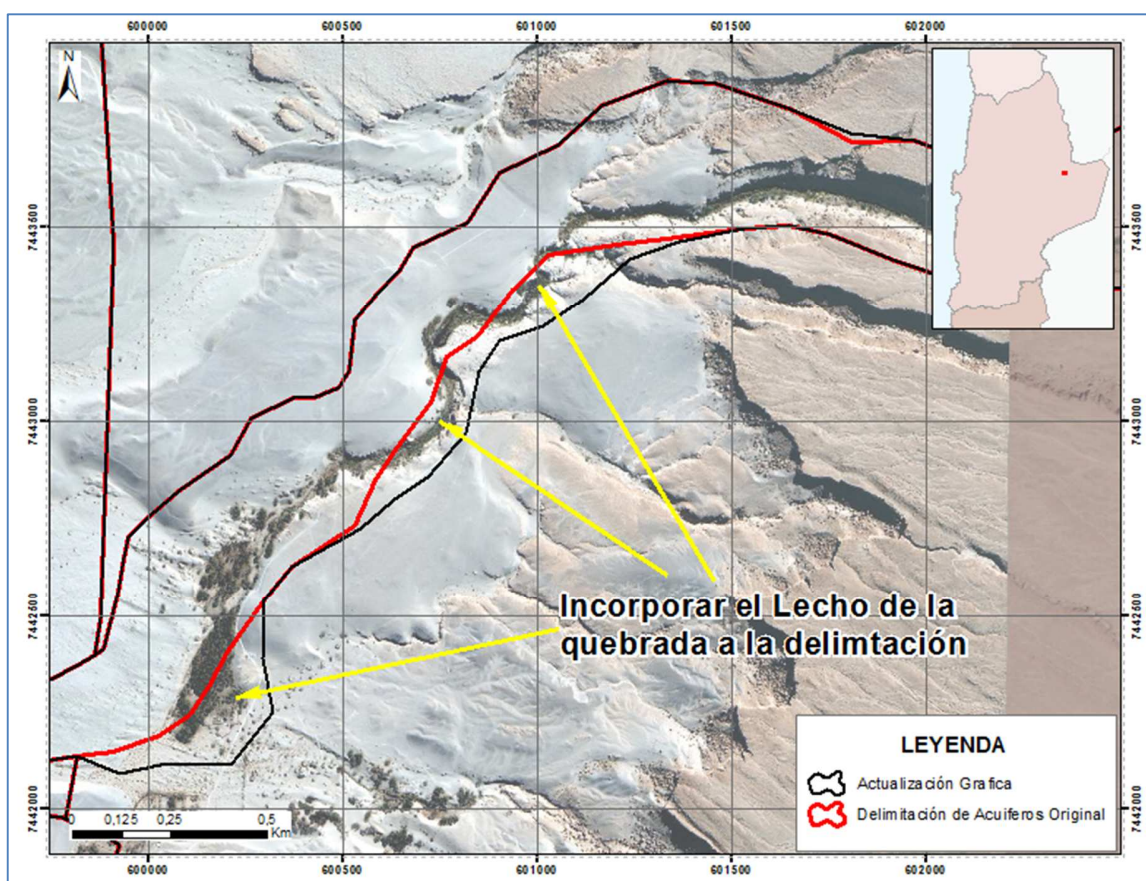


En ella se aprecia claramente como la delimitación del acuífero intenta cubrir el Lecho de la quebrada pero por problemas de sinuosidad este no obedece a la forma real de la quebrada. Estos problemas de sinuosidad se producen por las escalas y material cartográfico ocupado en el momento de la digitalización del acuífero, Y que hoy con las herramientas de SIG modernas quedan en evidencia.

6.1 Conservar el espíritu de la delimitación y su protección.

Este trabajo plantea mejorar estas sinuosidades para que así estas inconsistencias como las que se evidenciaban en la imagen anterior sean corregidas, pero para ello esta actualización debe Mantener el espíritu de la Protección original, sin cambiar o alterar significativamente la forma del acuífero protegido, es decir hay que interpretar que es lo que busca proteger el acuífero, para así mejorar las sinuosidades a través de un proceso de edición de vértices del polígono, mejorando con ello el calce del polígono con el acuífero real, pero cuidando que no se altere la forma original del polígono, ya que esta acción puede alterar demasiado la forma del acuífero perdiendo el sustento técnico que le dieron origen.

En la siguiente imagen se muestra cómo deben ser estas correcciones.



6.2 Ejemplos y casos encontrados en la Mejora de las sinuosidades.

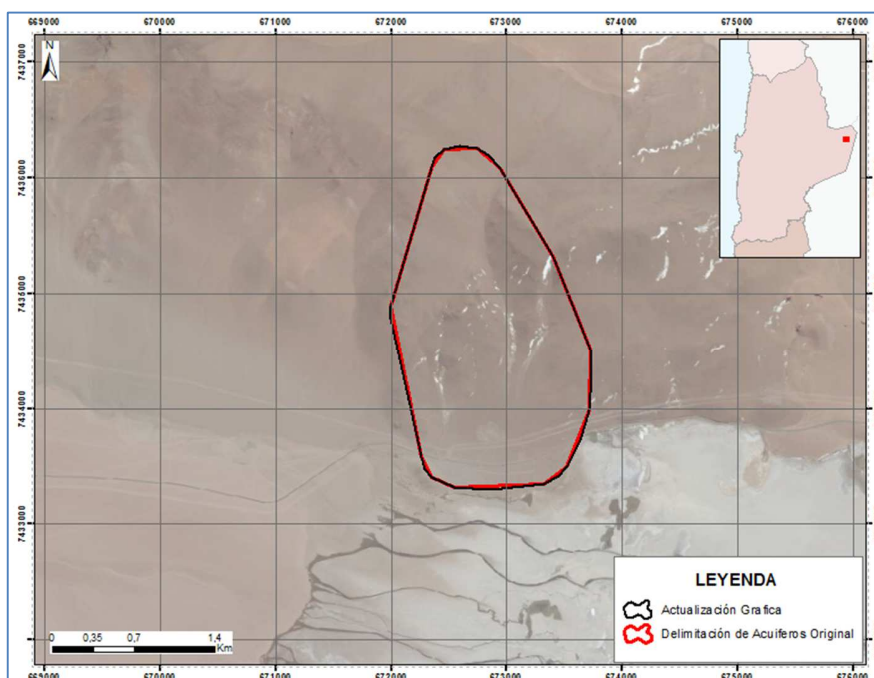
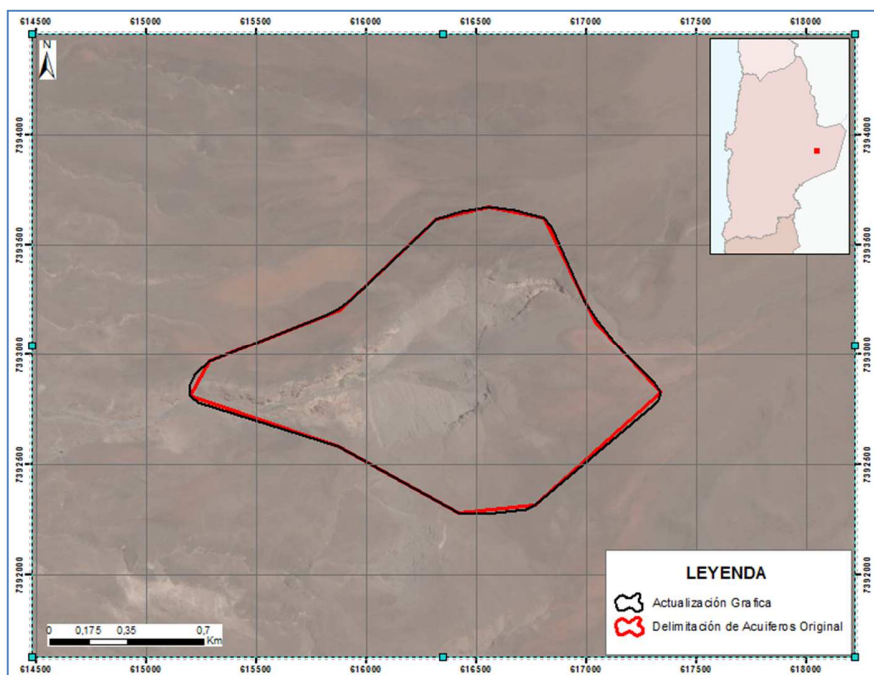
Según lo planteado en el punto 6.1 es que se pretende modificar las sinuosidades del 100% de los acuíferos, el proceso de mejora se realiza con herramientas de SIG y con el uso de Imágenes Satelitales de uso libre, tecnologías e información que en el momento de la realización de los trabajos no se disponían.

Básicamente la mejora consiste en poner de fondo la imagen satelital y evaluar visualmente si el acuífero protege o cubre las vegas, quebradas o bofedales, hay caso que es muy clara la interpretación y otros en que no lo es tanto, por eso se pueden realizar solo tres tipos de mejoras.

- Mejorar las sinuosidades sin alterar la forma original y obteniendo como resultado el mismo polígono pero con contornos más suaves. Esta solución se aplica a aquellos casos en donde no es posible evaluar a ciencia cierta si la delimitación es correcta o no.
- Mejorar las sinuosidades alterando la forma del Polígono original, con el objeto de corregir un evidente desplazamiento o bien para rescatar el espíritu de la protección. Esta solución se aplica a aquellos polígonos que en contraste con la imagen es muy evidente cual es el espíritu de la protección y de la forma que debe de tener el polígono para que esta sea aplicada.
- Mejoras de Sinuosidades mixtas, que contienen las dos mejoras anteriores.

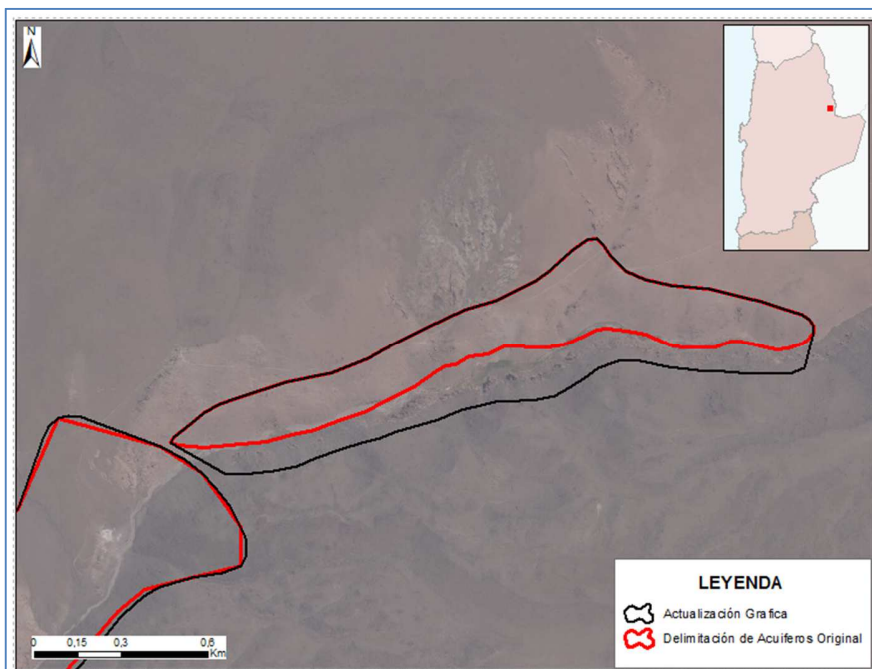
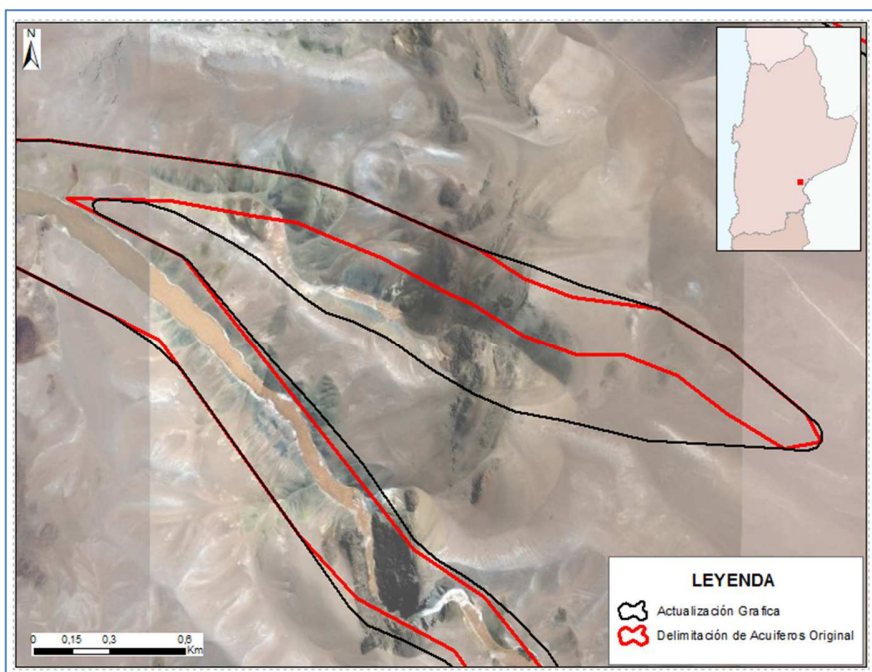
6.2.1 Densificación de vértices para mejorar sinuosidades sin alterar la forma original

Ejemplos de Polígonos en que la mejora es mínima, en estos polígonos solo se insertan más vértices para suavizar las líneas.



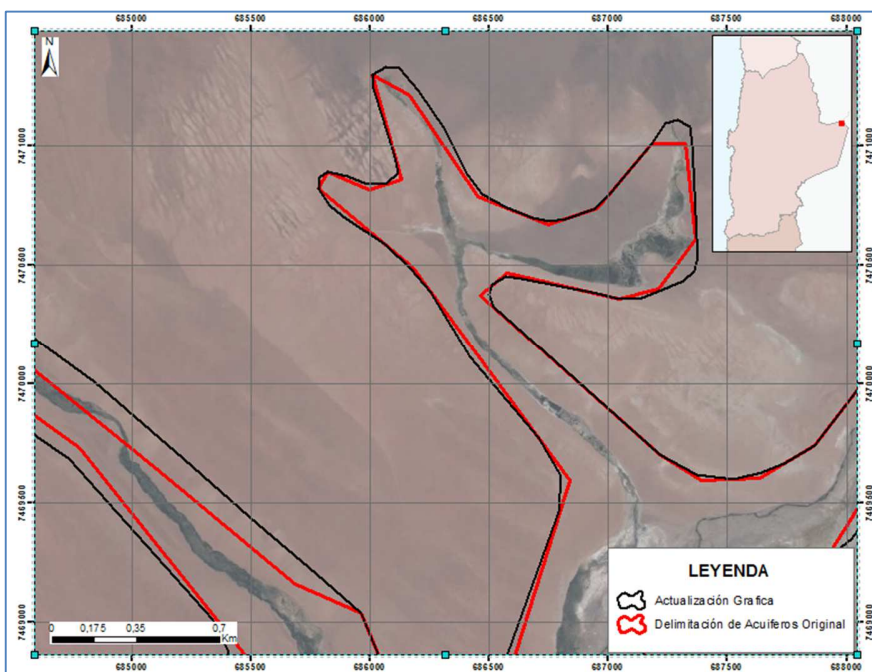
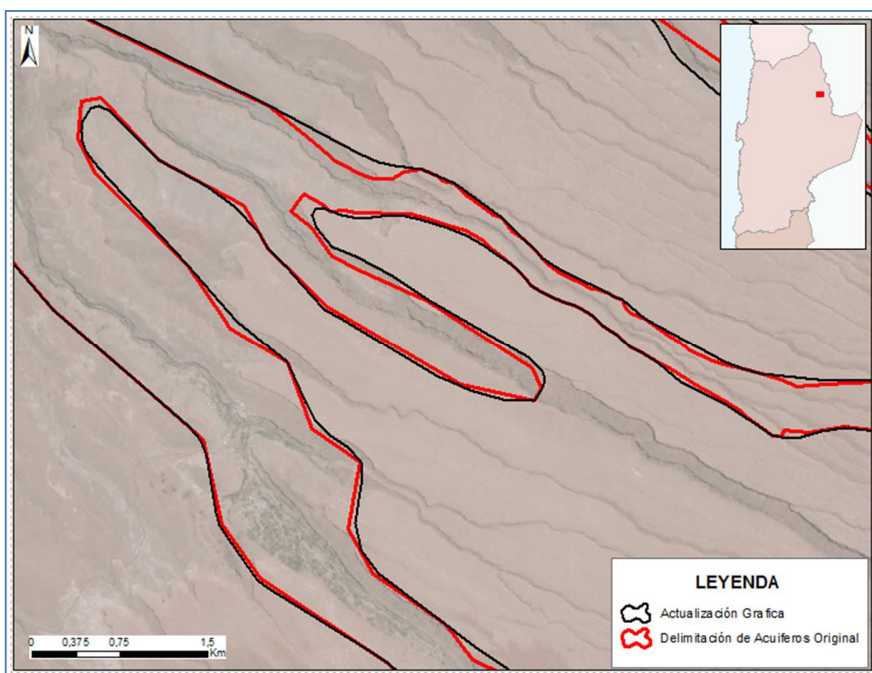
6.2.2 Mejora de Sinuosidades Alterando la Forma del Polígono

En otros casos la mejora debe considerar desplazar los límites del acuífero para que este y la quebrada queden dentro de la protección, de lo contrario quedan fuera.



6.2.3 Mejoras de Sinuosidades Mixtas

Situación de Mejora Mixta, se insertan más vértices para suavizar los límites y también estos deben desplazarse para cubrir y proteger la quebrada y el acuífero.



La disposición y distribución de estos archivos en Formato shape de ArcGis, está disponible a través de la Mapoteca DGA, distribuida de manera Interna por la Unidad SIG de la DGA, y distribuida hacia los usuarios externos a través del Centro de Información del Recurso Hídrico (CIRH).

Además se pueden consultar a través de internet en la página institucional www.dga.cl en la sección de “mapas interactivos”, específicamente en el mapa de Restricciones a la entrega de derechos.

7 CONCLUSIONES

La DGA ha realizado un número importante de estudios y de análisis, muchos de ellos obedecen a situaciones puntuales y contingentes, en este caso el tema de vegas y bofedales de las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, es una temática que nace en un contexto y fue evolucionando y creciendo con el tiempo el número de estudios e instrumentos legales como las resoluciones que los protegían, esta evolución si bien fue positiva trajo una pequeña consecuencia negativa, que es la confusión de resoluciones y de su historia como temática en la DGA.

Con el presente informe se pretende aclarar al usuario la historia y cronología de los estudios realizados, además de resaltar los rasgos más importantes de las metodologías utilizadas en la delimitación de los acuíferos. Permitiendo entregar una visión general del trabajo realizado por la DGA y las instituciones colaboradoras desde el año 1993 hasta la última actualización en el año 2006, y así dar cumplimiento a lo dispuesto en la modificación efectuada al código de aguas en 1992, referente a la protección y conservación de los humedales altiplánicos, con la prohibición de explorar y explotar los recursos hídricos subterráneos, por constituir una fuente importante de alimentación y sustento ecológico para las comunidades altiplánicas y la fauna silvestre de las Regiones de Antofagasta y Tarapacá.

Un dato importante es que todas las protecciones realizadas obedecían a los requerimientos de las comunidades, de esta forma cada una de los acuíferos protegidos tienen su origen en requerimientos específicos, por ser estos ecosistemas de importancia para el desarrollo de sus actividades.

Otro aspecto que se abordó en este trabajo es mejorar las sinuosidades de los acuíferos, esto para darle mayor consistencia gráfica, ya que se habían detectado algunos errores producto de lo antiguo de las digitalizaciones y de la falta de imágenes satelitales de buena calidad para contrastar estos polígonos. En ese sentido esta mejora no debe considerarse una actualización, ya que no se han agregado, ni quitado acuíferos, solo se les mejoro su límite en función de la densidad de sus vértices para hacerlos coherentes con el espíritu de la protección que estos límites deben proteger.

Finalmente se sugiere que la DGA realice una actualización y seguimientos de estos acuíferos, en las imágenes de satélite se observan algunos que aparentemente tienen seca la vega que deben proteger, si eso ha ocurrido entonces la delimitación no cumplió su objetivo y debe analizarse su replanteo.

8 BIBLIOGRAFIA

1. 1993- Identificación y ubicación de áreas de Vegas y Bofedales de las regiones primera y segunda.
2. 1993- Caracterización de la calidad sanitaria de aguas de bofedales y vegas del área andina chilena.
3. 1996- Delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta.
4. 2001- Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: informe final.
5. 2001- Protección de humedales (vegas y bofedales) en el norte de Chile.
6. 2003- Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta: Cartografía Temática.
7. 2003- Actualización delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, cuenca del río Caquena, región de Tarapacá, Informe técnico.
8. 2004- Protección de vegas II región. Identificación preliminar.
9. 2004- Actualización delimitación de acuíferos alimentadores de vegas y bofedales, II región
10. 2006- Actualización delimitación de acuíferos de vegas y bofedales de la región de Antofagasta, año 2006 cartografía temática.
11. Otros estudios y antecedentes que aportan al tema Vegas y Bofedales
12. Análisis de requerimientos hídricos de vegas y bofedales en el norte de Chile.
13. Minuta técnica N° 6 de 2004.
14. Resolución DGA N° 909, del 28 de Noviembre de 1996.
15. Resolución DGA N° 91, del 13 de Febrero de 1997.
16. Resolución DGA N° 529, de 08 Octubre de 2003.
17. Resolución DGA N° 464, de 9 de noviembre de 2004.
18. Resolución DGA N°87 de 24 de marzo del 2006.

