



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

INFORME TÉCNICO

**Análisis Crítico de la Definición de Cuencas
del Banco Nacional de Aguas**

REALIZADO POR:
División de Estudios y Planificación
SDT N° 341

Santiago, Junio de 2013

Profesionales:

Guillermo Tapia Molina

Cartógrafo, Unidad SIG

Juan Salvador Atán Díaz

Ingeniero Civil en Geografía

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

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo General	6
2.2. Objetivos Específicos.....	6
3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	7
4. PRINCIPALES PROBLEMAS IDENTIFICADOS Y DIAGNÓSTICO	13
4.1. Principales Problemas Detectados	13
4.1.1. Diferencias entre Cuencas BNA y Cuencas Reales	13
4.1.2. Ausencia de criterios para estudios internos DGA.	14
4.1.3. Diferencia de Sinuosidades	16
4.1.4. Diferencia de Criterios en la Delimitación de Cuencas.....	17
4.1.5. Diferencias en la sectorización acuífera y su coincidencia con las cuencas	18
4.1.6. Implicancia en el Análisis de la Situación de Derechos.....	19
4.2. Diagnóstico del Uso de las Cuencas	21
5. PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE CUENCAS BNA.....	23
5.1. Nueva Definición de Cuencas sin Considerar Actual Delimitación BNA.....	23
5.2. Mejora en la Definición de Cuencas BNA	24
6. CONCLUSIONES	27
7. BIBLIOGRAFÍA	29
8. GLOSARIO	29
9. ANEXO	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tapa del informe y mapa de estudio original.	8
Figura 2: Ejemplo de base de datos y detalle de mapa original del estudio.....	9
Figura 3: Mapa de la definición actual de las cuencas BNA de la DGA	12
Figura 4: Diferencia en la definición de cuencas entre Cuencas BNA y Cuencas Altiplánicas	14
Figura 5: Diferencia delimitación Cuencas BNA y Cuencas Altiplánicas	15
Figura 6: Diferencia de sinuosidades entre cuencas BNA y la redefinición de la cuenca realizada para estudios hidrogeológicos puntuales.	16
Figura 7: Propuesta de delimitación de subsubcuencas del Lago Villarrica, sin considerar las Cuencas BNA	17
Figura 8: Definición de Cuencas BNA para el Lago Villarrica	18
Figura 9: Definición de sectores acuíferos en la cuenca del Río Copiapó	19
Figura 10: Situación de los derechos en el Salar de Pedernales con Cuencas BNA	20
Figura 11: Situación de los derechos en el Salar de Pedernales con Cuencas Altiplánicas	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estructura de campos para cada capa	10
--	----

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la Dirección General de Aguas (DGA) es la institución que por ley, y de acuerdo lo establecido en el Código de Aguas, debe crear y mantener diversos inventarios de variables hídricas, destacando entre ellas las Cuencas Hidrográficas.

El Inventario de Cuencas Hidrográficas de la DGA tiene su génesis en el año 1978, en una consultoría realizada por el Ingeniero Andrés Benítez Girón, que da origen al actual inventario denominado "Clasificación de Cuencas Hidrográficas de Chile", el cual a más de treinta años de su creación, aún está vigente. A través del tiempo ha tenido diversas modificaciones y mejoras hasta lo que actualmente la DGA denomina "Cuencas BNA" y su difusión ha sido masiva a nivel país.

Sin embargo, con el correr del tiempo, sumado al avance tecnológico y uso masivo que han tenido las herramientas de SIG, que ha traído consigo la mejora en procesos semiautomáticos y automáticos de definición de cuencas hidrológicas, es que desde hace unos años la definición de las Cuencas BNA está siendo cuestionada por diversos usuarios, entre ellos la propia DGA, usuarios externos e instituciones que han manifestado errores o inconsistencias de criterio en su definición.

Por lo anteriormente expuesto, la División de Estudios y Planificación de la DGA ha planteado la necesidad de hacer una revisión de la definición de las Cuencas BNA, identificar los principales problemas y proponer la mejora, actualización o creación de una nueva definición de cuencas.

Así, en este informe se aborda el tema desde una perspectiva histórica, siguiendo la evolución de las capas de cuencas de la DGA, se reconocen los principales problemas, diagnosticando su uso actual y tratando de hacer una propuesta que pueda ser considerada a futuro para llevar a cabo la necesaria actualización de la definición de las cuencas y, porque no, del Banco Nacional de Aguas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar un análisis crítico de la delimitación de cuencas del Banco Nacional de Aguas, identificando sus problemas y consecuencias que ellos tienen sobre las diversas tareas que la Dirección General de Aguas realiza para la gestión del Recurso Hídrico a nivel nacional.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión histórica de la definición de cuencas del Banco Nacional de Aguas para establecer su origen y seguir su evolución.
- Identificar los principales problemas de las cuencas del Banco Nacional de Aguas y analizar sus implicancias y cómo afectan el trabajo de la Dirección General de Aguas.
- Realizar una propuesta de redefinición de las cuencas, analizando y exponiendo las distintas alternativas y criterios en su posible construcción.
- Proponer un trabajo de actualización de las cuencas del Banco Nacional de Aguas que sea aplicable a la realidad de la Dirección General de Aguas.

3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El inventario o definición de cuencas hidrográficas de la DGA, nace de la consultoría realizada en 1978 por el Ingeniero Andrés Benítez Girón, gracias al decreto MOP N° 1951 del 14 de noviembre de 1978. En ese entonces la DGA tenía como director al Sr. Alberto Arretz y los inspectores fiscales de este trabajo fueron los ingenieros Carmen Hochfarber y Humberto Peña, ambos del departamento de Hidrología. Así se da origen al actual inventario de cuencas denominado "Clasificación de Cuencas Hidrográficas de Chile", el cual a más de treinta años de su creación, aún está vigente.

Esta definición está basada en la cartografía del Mapa Físico de Chile, escala 1:1.000.000, del Instituto Geográfico Militar, edición de 1971. En la época en que realizó esta definición, esa era la cartografía chilena más importante y actualizada con la que se contaba. Años después nació la actual cartografía regular de Chile.

En cuanto a los criterios establecidos para la definición de las cuencas o subcuencas en el estudio, su posterior codificación y, en general, la construcción de la base actual de la delimitación de cuencas, se menciona textualmente en el estudio lo siguiente:

1. *Que tuviera en cuenta las características Hidrológicas y la realidad fisiográfica de Chile.*
2. *Que fuera compatible con la organización del Banco Nacional de Aguas (BNA).*
3. *Que se adecuara a la actual división regional del país.*

De acuerdo con estos planteamientos cada sub-cuenca queda representada por 5 dígitos cuyo significado es:

1° y 2° dígitos representan la región a la que pertenece la cuenca.

3° dígito representa una gran cuenca (Maule, Biobío, etc.), Un conjunto de cuencas pequeñas de características análogas o un archipiélago o conjunto de islas.

4° dígito, representa una sub-cuenca o un subconjunto de cuencas o islas que integran una gran cuenca representada por el dígito 3°

5° dígito, representa el elemento básico o cuenca, isla o conjunto de islas que constituyen una cuenca.

La numeración se ha efectuado en líneas generales de la siguiente forma:

1° Numeración de Norte a Sur

2° Numeración de Este a Oeste

4° En el caso de las cuencas desde aguas arriba hacia aguas debajo de forma que, dentro de una misma cuenca o subcuenca el número mayor se encuentra aguas debajo de los números menores.

Por ejemplo:

06033 Significa:

<i>1° y 2° dígito:</i>	<i>06</i>	<i>VI región del Libertador Bernardo O'Higgins.</i>
<i>3° dígito:</i>	<i>0</i>	<i>Cuenca Río Rapel</i>
<i>4° dígito:</i>	<i>3</i>	<i>Cuenca Tinguiririca bajo</i>
<i>5° dígito:</i>	<i>3</i>	<i>Subcuenca del Estero Chimbarongo entre estero Pichihuínco y embalse Convento Viejo.</i>

Cuando una cuenca hidrográfica es subdividida por el límite regional, las subcuencas mantenían los dos primeros dígitos de la Región a la que pertenecía la mayor parte de la cuenca, para mantener la unidad hidrográfica que es la básica para todo estudio de recursos hídricos.

En las Figuras 1 y 2 se presentan, a modo de ejemplo, resultados del estudio.

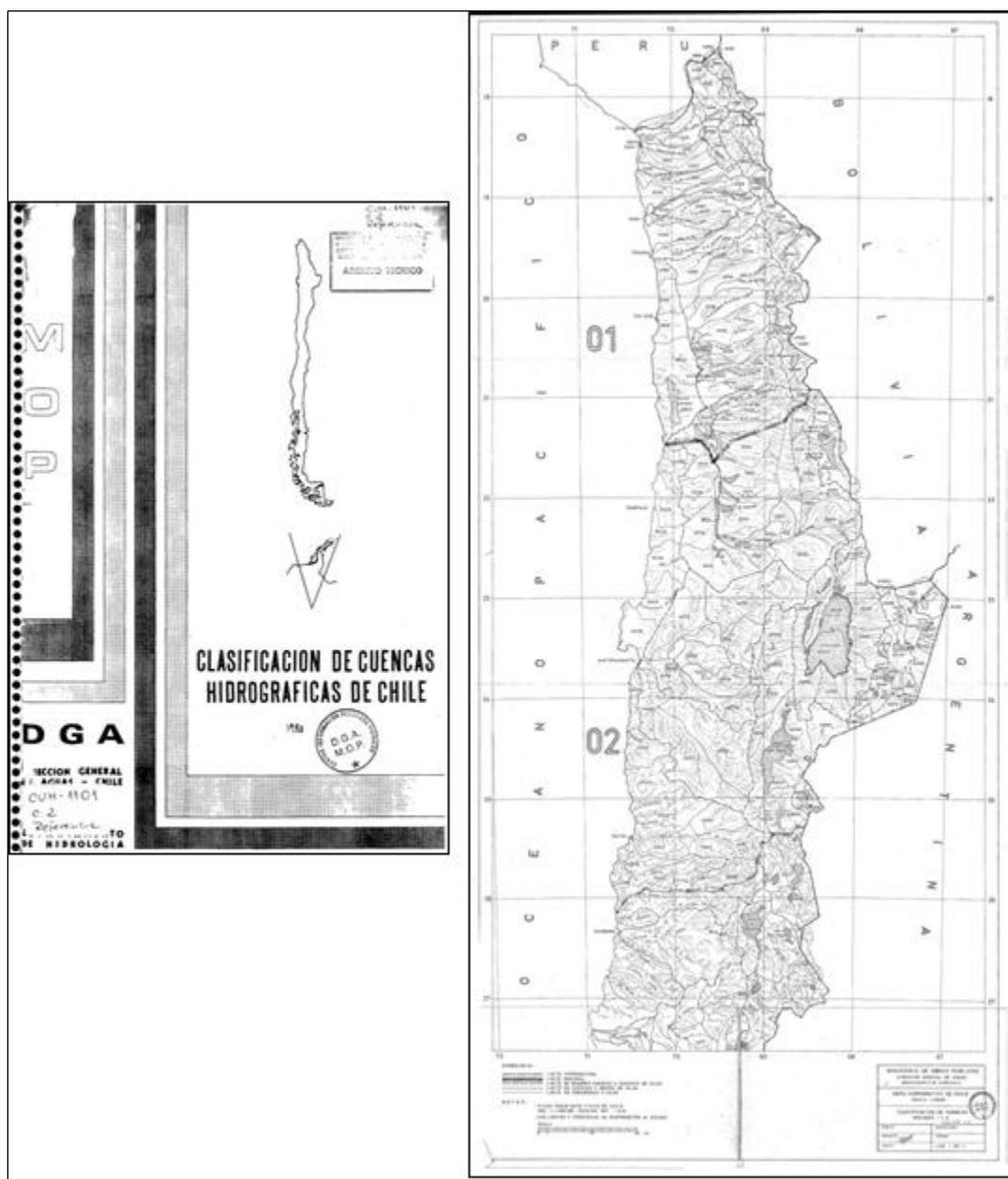


Figura 1: Tapa del informe y mapa de estudio original.

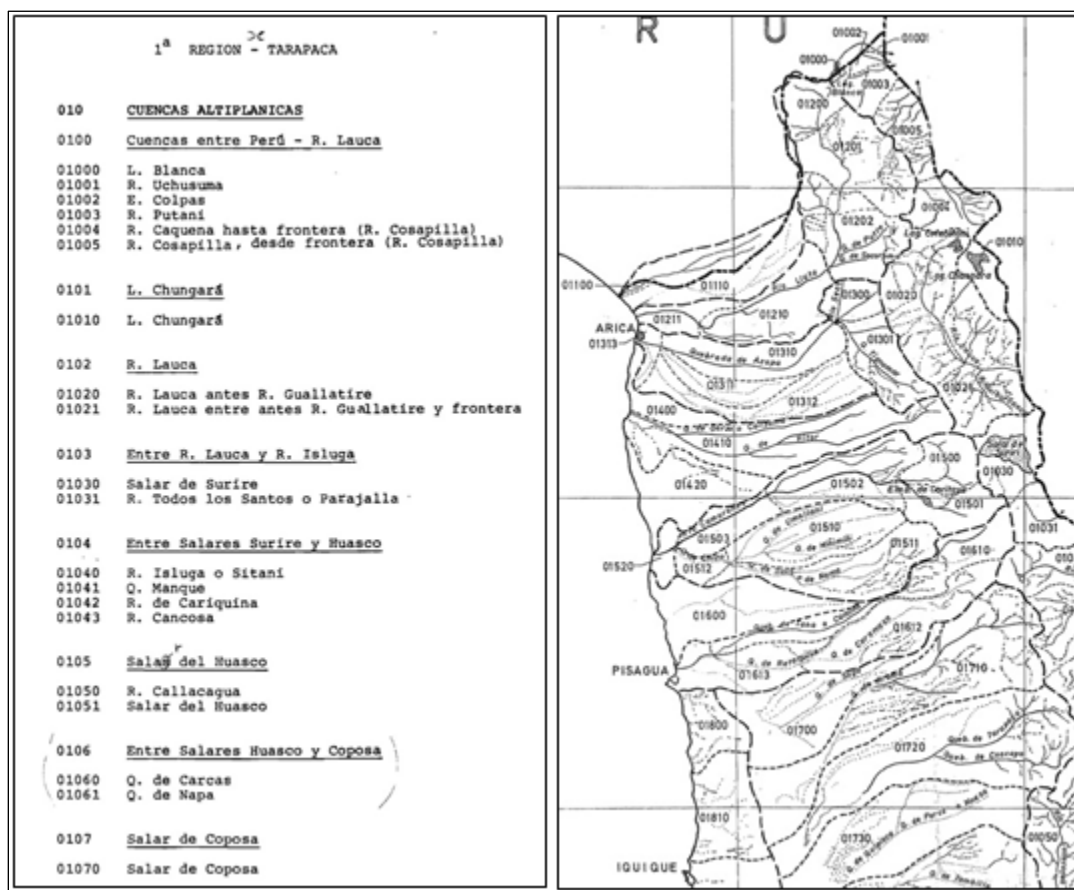


Figura 2: Ejemplo de base de datos y detalle de mapa original del estudio

Como se puede apreciar, el nivel de detalle de los mapas es bastante general debido a que están basados en cartografía muy antigua.

Esta clasificación de cuencas con el transcurso del tiempo fue mejorándose en distintos aspectos, incluso se fue corrigiendo con lápiz escribiendo a mano sobre el mismo informe. Posterior a esto, destaca un paso importante, el cambio de formato papel a formato Digital.

La digitalización de las cuencas se hizo aproximadamente entre los años 1996 y 1997, a través de una consultoría llevada a cabo por el Centro de Percepción Remota y SIG de la Universidad Católica de Chile. La digitalización se hizo sobre una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG) generando coberturas del software ARC/INFO, el cual exigía ciertas lógicas informáticas y de topología que la delimitación de cuencas no cumplía cabalmente, situación bastante entendible debido a que éstas fueron construidas mucho antes que los primeros SIG salieran al mercado. La lógica de los SIG exigía que la digitalización de las cuencas utilizara topología de polígonos, que en términos simples significaba que:

- Que un polígono equivale a un registro de base de datos,
- Un polígono equivale a una Cuenca.

De este modo, y de acuerdo a la estructura de la clasificación de cuencas de la DGA, se identificaron tres coberturas a generar:

- **Cuencas:** grandes cuencas, equivale al 3° dígito de la Clasificación.
- **Subcuencas:** equivale al 4° dígito de la clasificación y en estricto rigor debe ser un subconjunto de las cuencas.
- **Subsubcuencas:** equivale al 5° dígito de la clasificación y debe ser un subconjunto de las subcuencas.

Cada una de estas capas tenía su propia base de datos, con la siguiente estructura de campos:

CAPA	CAMPOS			
CUENCAS	COD_CUEN	NOM_CUEN		
SUBCUENCAS	COD_SUBC	COD_CUEN	NOM_SUBC	
SUBSUBCUENCAS	COD_SSUBC	COD_SUBC	COD_CUEN	NOM_SSUBC

Tabla 1: Estructura de campos para cada capa

Donde

Cod_Cuen: Código BNA de la Cuenca

Cod_Subc: Código BNA de la SubCuenca

Cod_SSUBC: Código BNA de la SubSubCuenca

Nom_Cuen: Nombre BNA de la Cuenca

Nom_Subc: Nombre BNA de la SubCuenca

Nom_SSUBC: Nombre BNA de la SubSubCuenca

De este modo cada elemento gráfico debió tener un código y un nombre para mantener la lógica del SIG con su relación uno es a uno (un polígono es a un registro). Sin embargo, no se pudo mantener esta regla para el total de polígonos quedando polígonos que existían en los mapas originales, y que incluso tenían código, sin nombre asociado. Esta situación no ocurrió en la capa de "Cuencas" pero sí en la de "Subcuencas" y en mayor número en la de "Subsubcuencas".

El problema descrito se fue solucionando paulatinamente, con soluciones que en su minuto (años 1997 a 2000) se encontraron razonables, pero que hoy no se justificarían. Por ejemplo, se decidió eliminar polígonos que no estuvieran presentes en el sistema Banco Nacional de Aguas (BNA). También se detectaron casos en que un polígono de subcuenca tenía un nombre determinado y sólo tenía una subsubcuenca, siendo ésta el mismo polígono, pero con un nombre distinto, y para solucionar esto se copiaron y remplazaron los nombres más coherentes a la otra unidad. Este fue un problema recurrente entre las Subcuencas y Subsubcuencas. De esta forma se homogenizaron las tres capas.

Por otro lado, al comenzar a utilizar estas capas de cuencas, subcuencas y subsubcuencas y hacerlas interactuar con otras como la red de drenajes, curvas de nivel y algunas imágenes de satélite se descubrió otro problema: la sinuosidad de las

delimitación de sus bordes. Este problema en un comienzo se ignoró, pero llegó un momento que se hizo insostenible y fue solucionado de forma parcial nuevamente por el Centro de Percepción Remota y SIG de la Universidad Católica de Chile. Esta vez, durante el año 2003, y a través del uso de imágenes de satélite se corrigieron las delimitaciones de cuencas, subcuencas y subsubcuencas. Este trabajo ha sido el último de actualización realizado a las capas de cuencas, subcuencas y subsubcuencas de la DGA.

De este modo, actualmente la DGA cuenta en su Mapoteca Oficial de:

- 101 Cuencas delimitadas.
- 467 SubCuencas delimitadas.
- 1496 SubSubCuencas delimitadas.

Así, esta delimitación de cuencas corresponde a la delimitación oficial administrativa de la DGA, la cual además tiene una correspondencia con el sistema Banco Nacional de Aguas (BNA), que almacena toda la información de la red hidrométrica nacional, situación por la cual son llamadas en términos informales como "Cuencas BNA". Esta definición de cuencas ha sido ampliamente difundida a otras instituciones, usuarios internos DGA, empresas privadas y público en general.

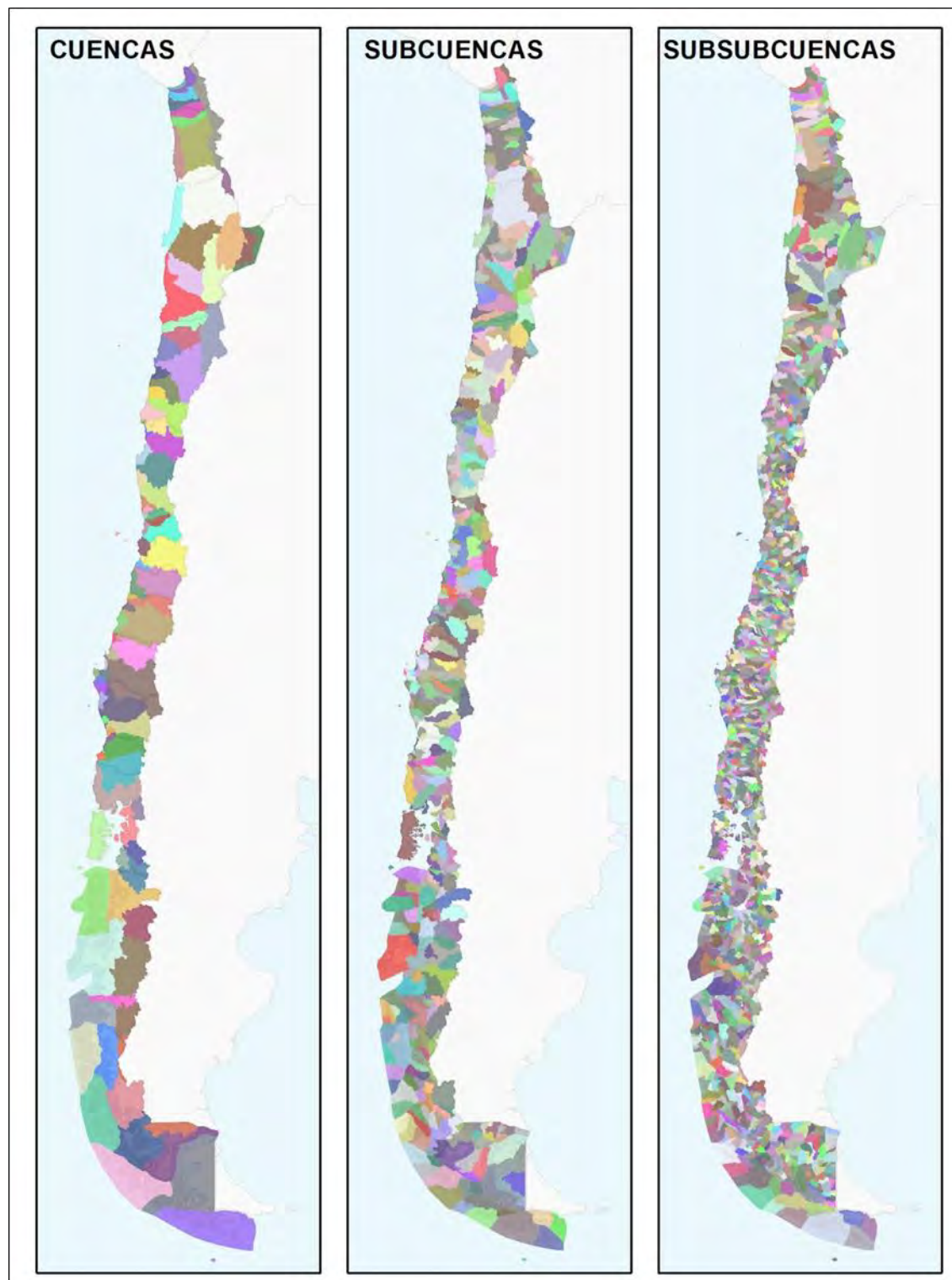


Figura 3: Mapa de la definición actual de las cuencas BNA de la DGA

4. PRINCIPALES PROBLEMAS IDENTIFICADOS Y DIAGNÓSTICO

4.1.Principales Problemas Detectados

Las capas de cuencas, subcuencas y subsubcuencas son de uso habitual por la DGA, organismos públicos y empresas privadas, han servido para la elaboración de diversos estudios y análisis, se han utilizado para el análisis en el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas y su codificación está ligada al sistema BNA.

Sin embargo, con el correr del tiempo, sumado al avance tecnológico y uso masivo que han tenido las herramientas de SIG, que ha traído consigo la mejora en procesos semiautomáticos y automáticos de definición de cuencas hidrológicas, es que desde hace unos años la definición de las Cuencas BNA está siendo cuestionada por diversos usuarios, entre ellos la propia DGA, usuarios externos e instituciones que han manifestado errores o inconsistencias de criterio en su definición.

A continuación se enumeran algunos de una serie de errores y problemas detectados, acompañados de un ejemplo.

4.1.1. Diferencias entre Cuencas BNA y Cuencas Reales

El primer problema que resulta evidente de encontrar, y casi el más importante de todos, son las diferencias entre la definición de las Cuencas BNA y las cuencas reales, ya que con los avances de la tecnología y de las herramientas computacionales, junto con la mejora de la cartografía base o Modelos Digitales de Elevación sobre los cuales se puede trabajar, se ha aumentado el grado de precisión en la definición de cuencas.

En 2009 se llevó a cabo el estudio "Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III, SIT N° 157 (parte I)", realizado por DICTUC, donde se redefinieron las cuencas de la franja altiplánica de Chile, entre la Región de Arica y Parinacota y la Región de Atacama. Para la delineación de las cuencas se utilizó como información de entrada, principalmente, modelos digitales de elevación de la USGS, complementados con diversas fuentes de información (coberturas shape de la DGA y DICTUC, imágenes Landsat, Google Earth, mapas hidrográficos, otros estudios, etc.) y la delineación automática se realizó con el software *Watershed Modeling System (WMS)*.

Si se analiza la definición de cuencas, la diferencia es evidente. La delimitación realizada por DICTUC, o "Cuencas Altiplánicas", corresponde a una representación mucho más precisa que las Cuencas BNA.

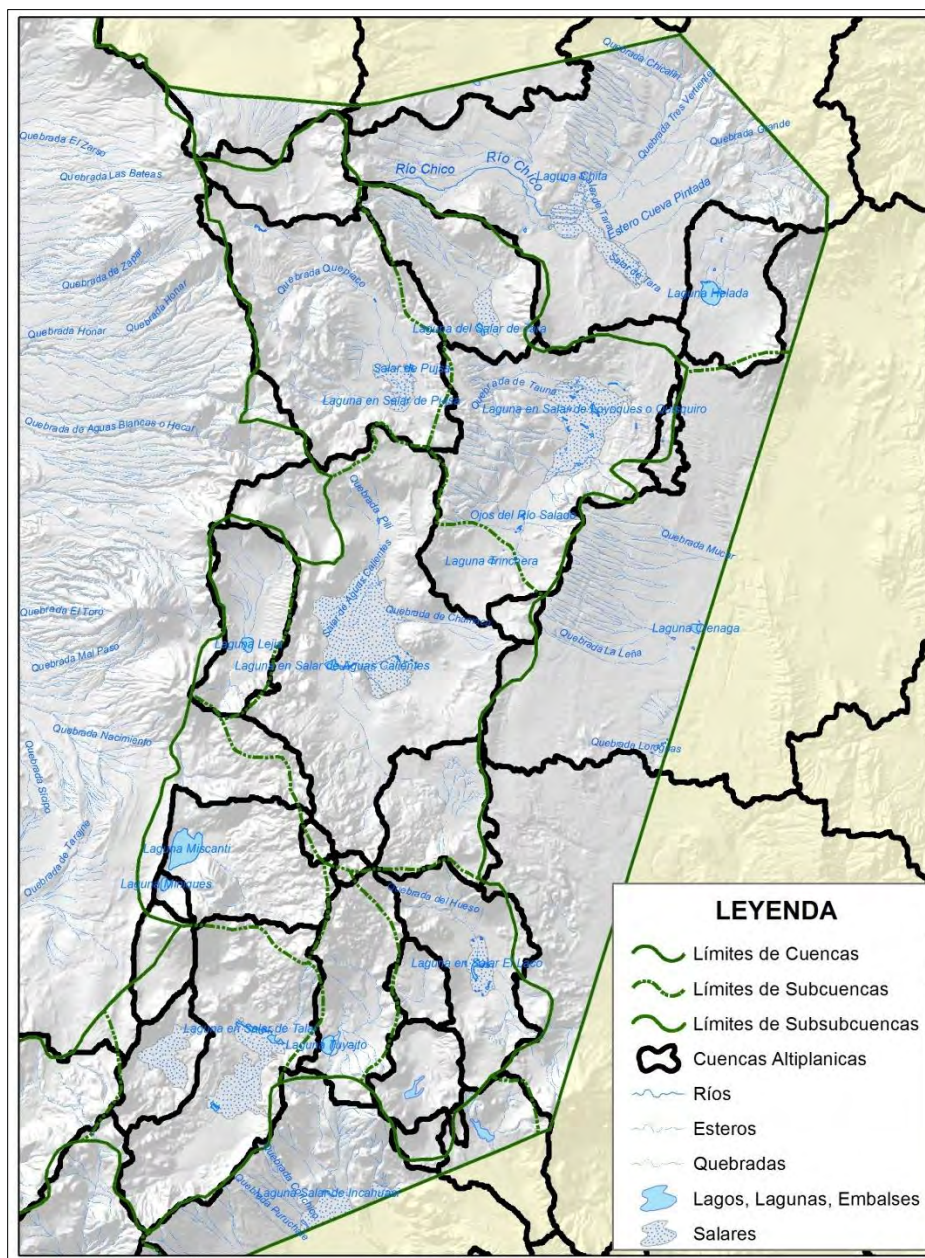


Figura 4: Diferencia en la definición de cuencas entre Cuencas BNA y Cuencas Altiplánicas

4.1.2. Ausencia de criterios para estudios internos DGA.

No hay un criterio establecido para el uso de las cuencas BNA en los estudios internos de la DGA. Esto ocurre ya que algunos estudios utilizan las cuencas BNA y otros las redefinen por sus propios medios, habitualmente con SIG, así obtienen “cuencas reales”.

Por ejemplo, al Departamento de Administración del Recurso Hídrico (DARH) la actual delimitación no satisface sus necesidades de disponer de cuencas hídricas con sinuosidades de calidad, y cerradas en los lugares exactos que ellos necesitan de

acuerdo a sus propios criterios hidrológicos, que son utilizados para el análisis de disponibilidad para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua, situación que obliga al DARH a realizar sus propias delimitaciones. Además, en la mayoría de los casos se requiere hacer análisis a una escala de mayor detalle para definir disponibilidades del recurso y, como se observa en la Figura 5, el detalle de subsubcuenca no es suficiente.

Otro ejemplo es el SDT N° 334 "Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas, Región de Atacama" (DEP-DGA, 2012), cuyo objetivo fue estimar la recarga mínima en las cuencas altiplánicas de la Región de Atacama para apoyar en la evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos. En este caso se optó por utilizar las Cuencas Altiplánicas por sobre las Cuencas BNA ya que la formula a utilizar para estimar la recarga mínima dependía directamente del área de la cuenca, que podía estar sobreestimada en las cuencas BNA, lo cual introducía mayor incertidumbre al cálculo de la recarga.

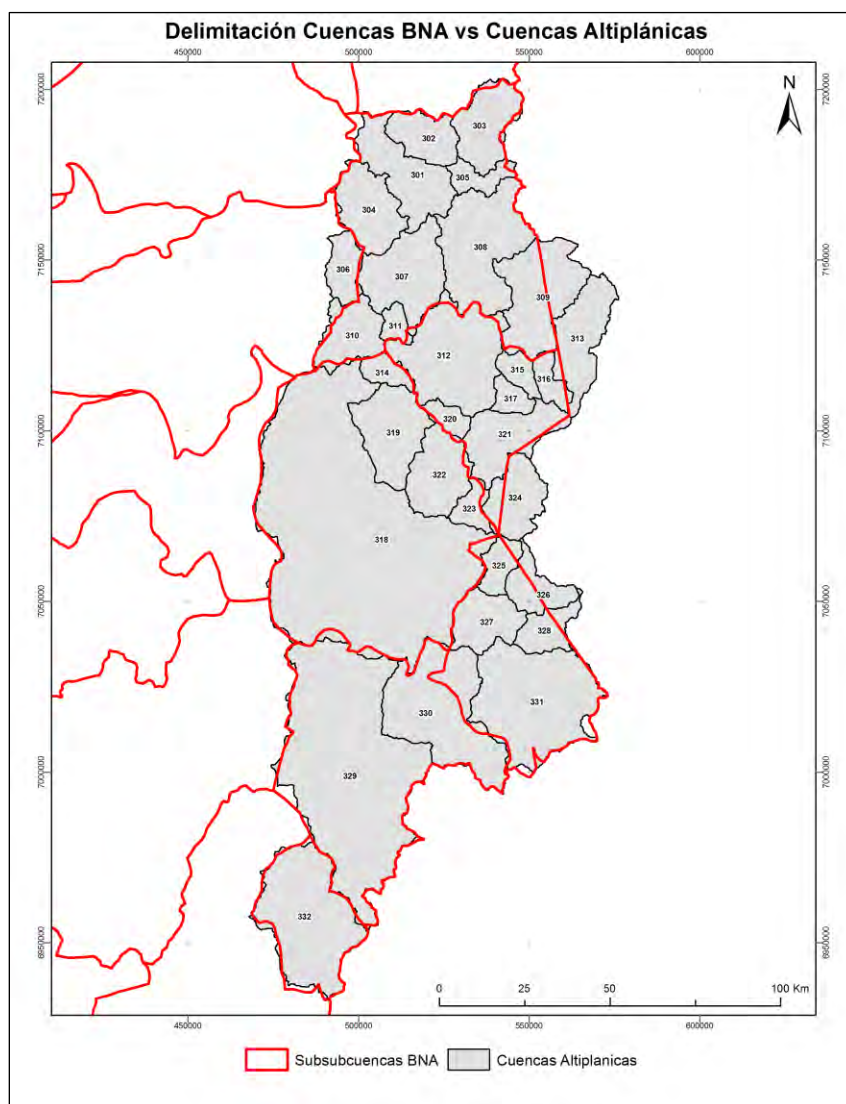


Figura 5: Diferencia delimitación Cuencas BNA y Cuencas Altiplánicas

4.1.3. Diferencia de Sinuosidades

Corresponde al problema más recurrente en la definición de las Cuencas BNA a lo largo de todo Chile. Las diferencias de sinuosidades en algunos casos son groseras y en otros son mínimas, pero siempre hay diferencias. Hay un caso generalizado que es especialmente grave: dichas sinuosidades afectan el calce de las cuencas con la delimitación del límite internacional, siendo que este en la mayoría de su trazado corre por la línea divisoria de aguas y como en teoría las cuencas también lo hacen, ambos en las zonas que les corresponde deberían ser idénticos, y no lo son.

Esta es una situación extensamente conocida y esta tan internalizada por los distintos profesionales DGA que, cuando tienen la necesidad de utilizar alguna delimitación de cuencas para algún estudio en particular, simplemente prefieren realizar sus propias delimitaciones. Es lo que se muestra en la Figura 6, donde se requería definir con la mayor precisión posible la cuenca del estero Reloca, Río Tutuven y Río Purapel para establecer el dominio de estudio y modelación hidrogeológica de ellas.

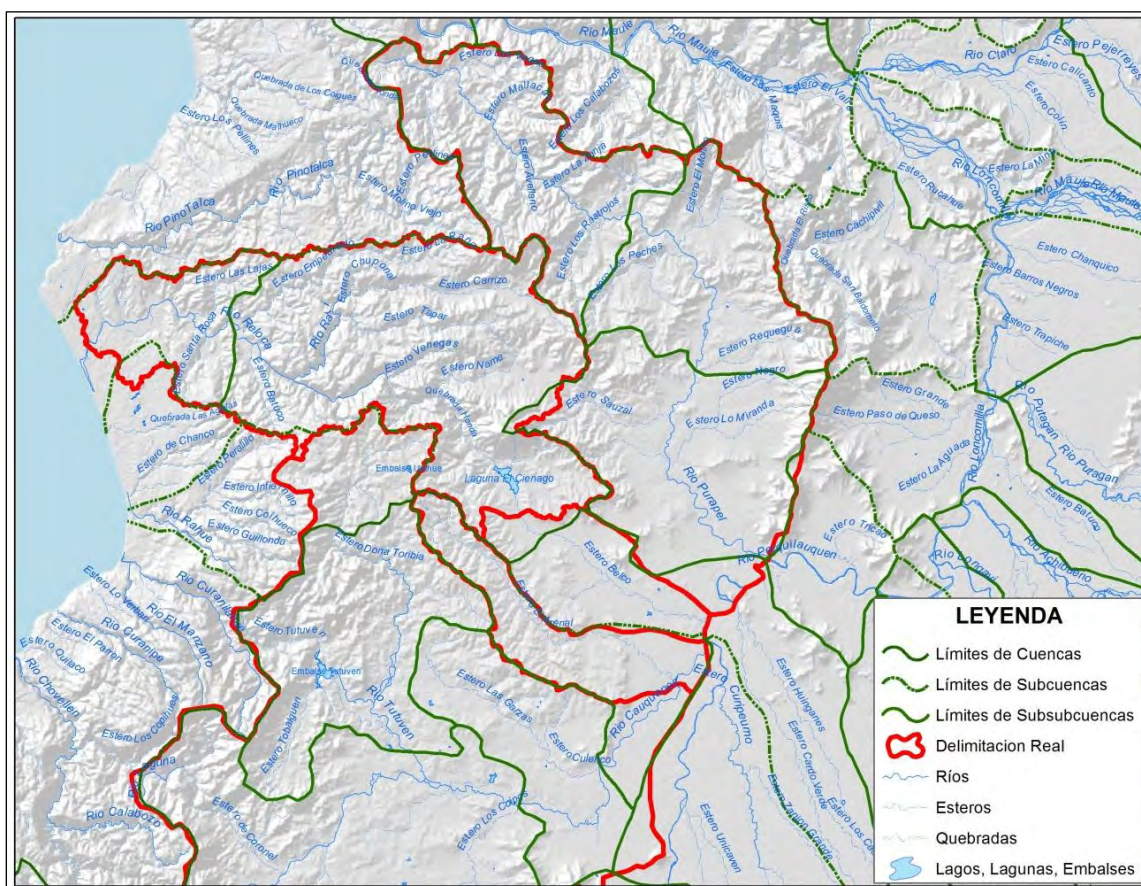


Figura 6: Diferencia de sinuosidades entre cuencas BNA y la redefinición de la cuenca realizada para estudios hidrogeológicos puntuales.

4.1.4. Diferencia de Criterios en la Delimitación de Cuencas

Las diferencias de criterio en las delimitaciones de cuencas se ha convertido en una situación cada vez más recurrente. En el ejemplo se muestran las subsubcuencas que se definieron como propuesta para ser usado en el plan de vigilancia de la Norma de Calidad del Lago Villarrica. Esta delimitación fue hecha sin considerar los criterios de las cuencas BNA y da como resultado un mapa con 17 subsubcuencas del Lago Villarrica, como se muestra en la Figura 7.

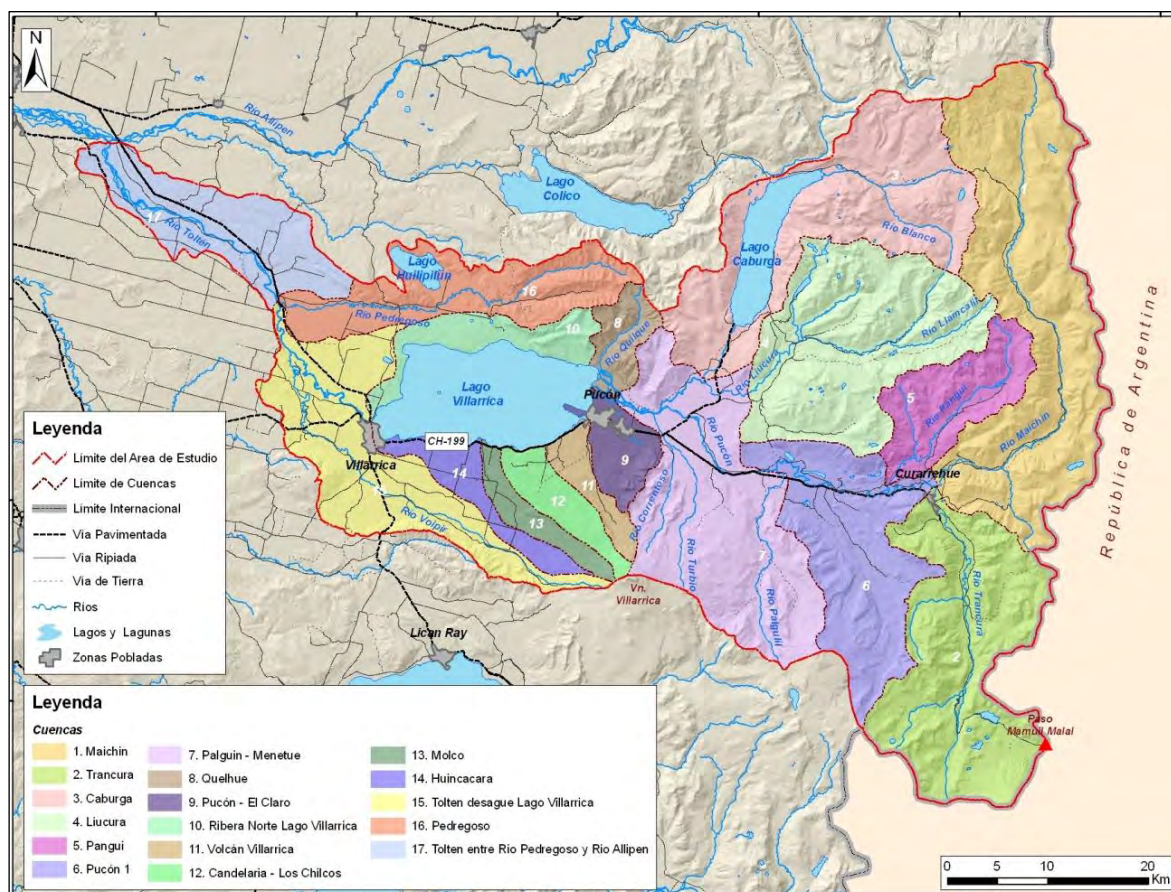


Figura 7: Propuesta de delimitación de subsubcuencas del Lago Villarrica, sin considerar las Cuencas BNA

En la Figura 8 se muestra la comparación entre la delimitación de cuencas BNA y la propuesta realizada para el Lago Villarrica. La primera diferencia es que existen dos subcuencas que conforman la cuenca del Lago Villarrica. La segunda diferencia es que hay 13 subsubcuencas BNA a diferencia de las 17 subsubcuencas propuestas en la definición. Por último, la tercera diferencia, y la más importante, es que en algunos casos no hay concordancia en los lugares donde se cortan las cuencas.

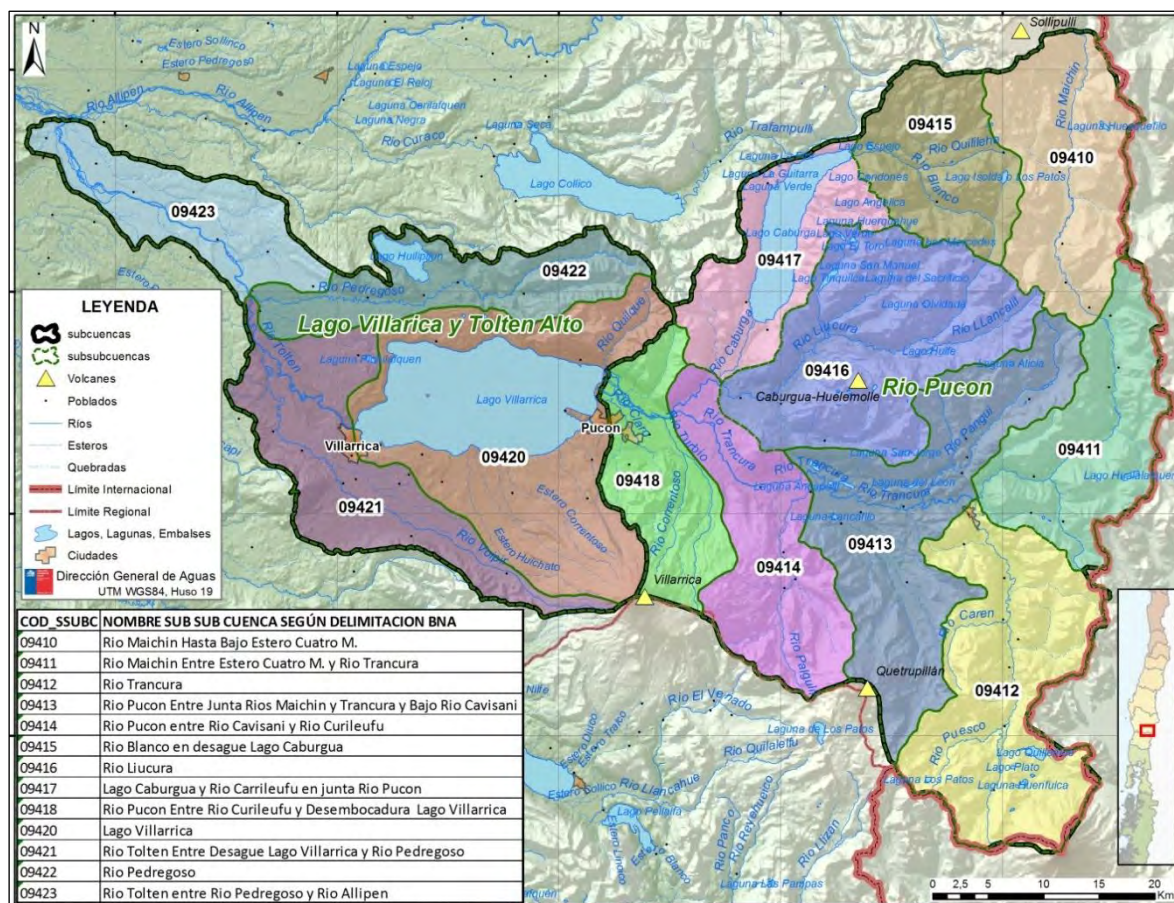


Figura 8: Definición de Cuencas BNA para el Lago Villarrica

Finalmente, como el objetivo es utilizar esta división para un plan de vigilancia, prevalecen las cuencas BNA por sobre la propuesta solo por el carácter oficial que tiene esta definición, sobre todo desde el punto de vista administrativo.

4.1.5. Diferencias en la sectorización acuífera y su coincidencia con las cuencas

En muchas zonas del país es evidente la diferencia que existe entre la definición de las cuencas y los sectores acuíferos que se definen para determinar la disponibilidad de recursos y otorgar derechos subterráneos. Se espera a priori que esta definición de sectores acuíferos coincida con la definición de cuencas ya que lo común en la DGA es utilizar metodologías simplificadas para determinar la recarga de los acuíferos, considerando por ejemplo la precipitación en la cuenca, el aporte de cuencas de cabecera, etc.

Como se puede ver en la Figura 9, para la cuenca del Río Copiapó, la sectorización de acuíferos que utiliza actualmente la DGA para definir nuevas solicitudes de derechos de aguas subterráneas o solicitudes de traslados de puntos de captación para derechos de aguas subterráneas ya constituidos no coincide con la definición de subcuencas del BNA.

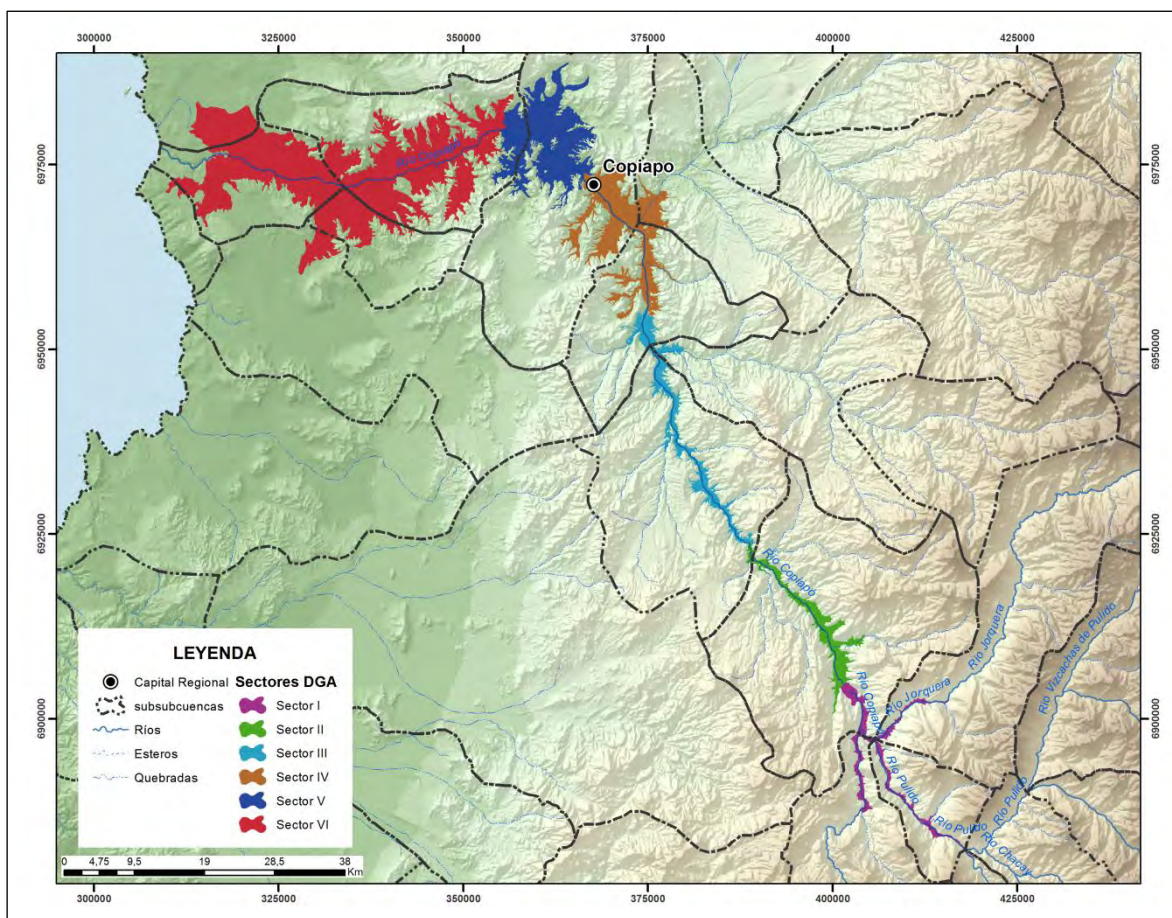


Figura 9: Definición de sectores acuíferos en la cuenca del Río Copiapó

Esto implica que esta definición de cuencas no puede ser utilizada para ningún tipo de análisis y siempre se requiere redefinirlas. Además, en términos administrativos, en el otorgamiento de derechos por lo general hace referencia a la cuenca en la que se encuentra y, como en el caso presentado, esto no es de utilidad ya que es más importante la referencia al sector acuífero, con lo que el uso de la definición actual de cuencas queda fuera de lugar.

4.1.6. Implicancia en el Análisis de la Situación de Derechos

Como se ha comprobado en muchos casos, el detalle en la definición de cuencas puede ser un problema y añadir incertidumbre en los análisis que se pueden realizar en cuanto a la situación de derechos de aguas otorgados y la posible solicitud de más derechos.

Para ilustrar esto, en la Figura 10 se muestra la situación de derechos en el Salar de Pedernales considerando las cuencas BNA y en la Figura 11 la situación con la redefinición de cuencas del estudio de DICTUC (2009).

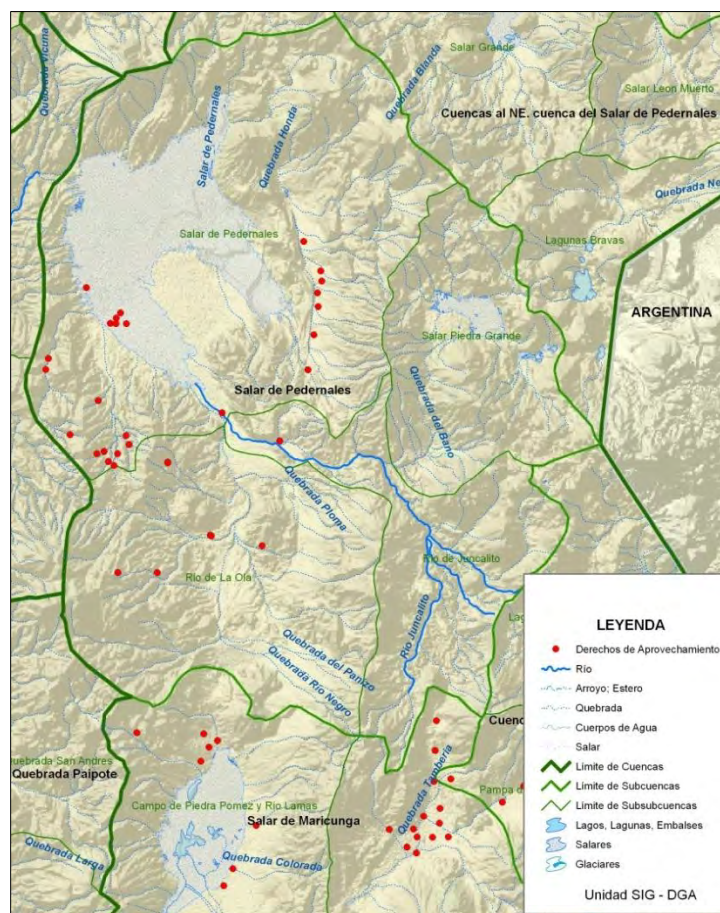


Figura 10: Situación de los derechos en el Salar de Pedernales con Cuencas BNA

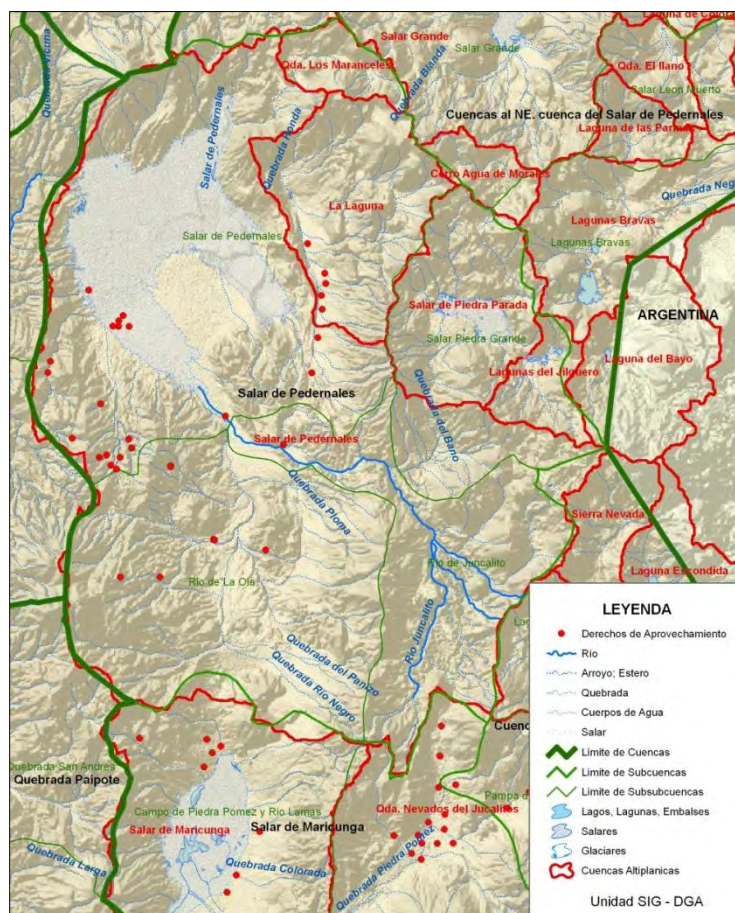


Figura 11: Situación de los derechos en el Salar de Pedernales con Cuencas Altiplánicas

Es evidente que, utilizando la redefinición de cuencas, la cuenca del Salar de Pedernales varió en forma y magnitud y esto afecta una serie de derechos que ya no estarían en la cuenca del Salar de Pedernales sino que estarían en la cuenca "La Laguna", la cual hidrológicamente está separada del Salar de Pedernales, por lo tanto el tratamiento que se debe hacer sobre estos derechos debería ser distinto. Además, al modificarse la cuenca, el análisis de la disponibilidad de recursos debería variar y si a eso se suma que hay derechos que no se deberían considerar en la demanda con la nueva definición de cuencas, se cree que la disponibilidad podría ser mayor.

Esta situación se estima que sería muy recurrente en todo el país y la gravedad de ello radica en que no existiría un análisis adecuado de la situación de derechos de aprovechamiento de agua para el otorgamiento o rechazo de nuevas solicitudes.

4.2. Diagnóstico del Uso de las Cuencas

Como se ha mostrado en los diversos ejemplos enumerados, la definición actual de las Cuencas BNA dista mucho de lo que requieren usuarios internos de la DGA como usuarios externos, principalmente en lo referido a su uso para estudios, modelaciones, etc. y la principal señal de aquello es que cada vez que se requiere utilizar las cuencas, estas se redefinen.

Además, la génesis de la actual delimitación de cuencas BNA trató de recoger diversos criterios cuyos resultados hace que la delimitación sea única y en algunos casos incomprensibles para el usuario externo ya que ellos solo ven la delimitación y no los criterios que le dieron origen.

El uso actual que se le da a las Cuencas BNA es, básicamente, un uso administrativo. Internamente en la DGA, las cuencas BNA se ocupan como si se tratara de una división político-administrativa propia de la DGA. Esto ocurre porque esta definición, en todos sus niveles, tiene nombres propios, pero principalmente porque están codificadas con el código BNA, el cual ha trascendido a todos los elementos que se encuentren dentro de ellas y que son competencia de la DGA como la Red Hidrometeorológica Nacional, los Derechos de Aprovechamiento de Agua, los catastros de variables hidrológicas, etc.

De este modo existe una real dependencia mutua entre estas cuencas y el sistema BNA, razón por la cual diversos intentos de actualización de las cuencas no han prosperado, ya que no han considerado la estructura actual del BNA.

Es importante mencionar que, sin perjuicio de lo anterior, cuando se construyeron las Cuencas BNA, se buscaba satisfacer las necesidades de la DGA, en el sentido de administrar los recursos y las variables hídricas, y la actual codificación ha cumplido a cabalidad con ese objetivo.

5. PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE CUENCAS BNA

En la DGA se ha trabajado por años utilizando la definición actual de las Cuencas BNA, y gracias a ello se han detectado sus principales problemas y deficiencias. Al proponer un trabajo de actualización, inmediatamente se hacen presentes otros temas que son propios de la DGA y que, una primera instancia, se piensa que una redefinición de cuencas debe de considerar. Es decir, una delimitación correcta de cuencas en teoría debería cubrir o satisfacer las necesidades de al menos los siguientes puntos:

- Definición de cuencas para estudios hidrológicos y estudios de disponibilidad.
- Definición de cuencas acorde con la red de estaciones Fluviométricas.
- Definición de cuencas de acuerdo a las secciones administrativas de los ríos.
- Definición de cuencas acorde a estructura del Sistema BNA.

En un trabajo de equipo en la División de Estudios y Planificación se hicieron varios análisis y reuniones técnicas de discusión respecto de cómo una nueva definición de cuencas podría cubrir cada una de estas “condiciones” y se llegó a la conclusión que es casi imposible poder hacerlo ya que ya que son temáticas o requerimientos distintos y cada una es independiente, lo que implica que es muy difícil cumplir con todas ellas sin alterar la calidad del producto final.

Por ejemplo, en términos generales, la redefinición de las “grandes cuencas” del país no resultaría tan compleja de ejecutar, pero si se baja a una escala de mayor detalle dentro de esas grandes cuencas (subcuencas y subsubcuencas), es prácticamente imposible que coincidan las delimitaciones para estudios hidrológicos, junto con los cierres naturales de las cuencas, con la ubicación de las estaciones fluviométricas y más aún si se considera en la redefinición las secciones administrativas de los Ríos. Y si, además, con todo ello se requiere respetar la codificación ya internalizada del Banco Nacional de Aguas, resulta todo mucho más complejo.

Aun así, este estudio se origina con la idea de proponer una propuesta de redefinición de las cuencas, para lo cual se fueron estudiando dos líneas de trabajo que se proponen en este acápite.

5.1. Nueva Definición de Cuencas sin Considerar Actual Delimitación BNA

La idea de comenzar un trabajo de delimitación de cuencas desde cero es precisamente no “contaminarse” o no predisponer sus resultados a algo ya establecido. Para ello, en primer lugar se trató de definir criterios base generales, para comenzar a discutirlos en reuniones técnicas transversales en la DGA. A priori se definieron los siguientes dos criterios generales:

- Definir grandes cuencas hidrográficas, con sus correspondientes subcuencas y subsubcuencas, en donde las subcuencas son los grandes cauces aportantes a la Hoya Hidrográfica Mayor (cuenca) y donde las subsubcuencas sean los cauces menores que aportan a la formación de las subcuencas. Aun así, se

propone llegar a un nivel de microcuenca, más acorde con los análisis locales para determinar la disponibilidad de recursos con miras al otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas.

- No agrupar cuencas menores como, cuencas costeras, o grupos de Islas.

Sin embargo, al comenzar a entrevista a diversos profesionales de la DGA que trabajan y conocen en profundidad el tema de las cuencas, para tener una primera aproximación, se llegó a la conclusión que una nueva delimitación de cuencas podría ser un aporte para algunos casos, especialmente para los análisis hidrológicos y de disponibilidad, ya que tendrían una mejor definición, pero al ser una delimitación nueva lo más probable es que sea distinta en número y en base de datos al actual Sistema BNA, situación que en la práctica significaría que esta nueva división de cuencas este separada de la codificación BNA.

Esta desconexión sin duda tendría como consecuencia que la nueva delimitación no sea usada. En este punto hay consenso general que las Cuencas BNA, si bien tienen varios problemas, estos son menores en comparación a la cantidad de beneficios que entregan sobre todo a la División de Hidrología, ya que el Sistema BNA funciona de manera aceptable y en total compatibilidad con la actual definición de cuencas.

Por estas razones se descartó sugerir una actualización que comience de cero.

5.2.Mejora en la Definición de Cuencas BNA

Basado en las entrevistas sostenidas con funcionarios DGA y en reuniones de trabajo internas de la División de Estudios y Planificación, se llegó a plantear que una solución intermedia adecuada es mejorar la definición de Cuencas BNA en todos aquellos aspectos que no involucren cambio de codificación y de estructura de base de datos, debido al importante aspecto administrativo que tienen las Cuencas BNA

Se plantea entonces, y existe casi un consenso general, que reconstruir la delimitación de cuencas (a una escala cercana a 1:30.000), mejorando las sinuosidades en el 100% de la delimitación, sería un importante aporte y avance para su uso en varios de los ámbitos en que hoy no se utilizan. Además, al mantener la actual estructura compatible al sistema BNA se asegura su uso en el marco del sistema, que es de vital importancia para la DGA.

Sin embargo construir de nuevo la delimitación de cuencas, aunque se haga utilizando como guía y referencia la actual división, no es una tarea menor. Y en ella ya se vislumbran ciertas condiciones o consideraciones que, si bien respetan la actual división en el sentido de su estructura y codificación, sin duda pueden significar mejoras importantes para su uso futuro. A continuación se presentan algunas consideraciones.

- Construir la nueva delimitación de cuencas usando como guía y referencia la actual delimitación de Cuencas BNA.

- Mejorar en un 100% la sinuosidad de las cuencas. Para lograrlo se deben utilizar herramientas SIG, como ArcGIS, utilizar modelos digitales de elevación SRTM de la Nasa u otros gratuitos con mayor resolución espacial junto con cartografía IGM de apoyo a escala 1:50.000 con drenajes, curvas de nivel, cotas. Eventualmente podrían usarse otras capas que se estimen necesarias para ayudar a la comprensión de la división de cuencas, así como también imágenes satelitales gratuitas (Landsat ETM+ por ejemplo) o las imágenes satelitales que ArcGIS ofrece gratuitamente de carta base. Es importante mencionar que mucha de esta información la DGA ya las posee y, si bien la mejor escala disponible es la Cartografía IGM 1:50.000, al ser digital el uso de esta se puede forzar sin problemas hasta escalas 1:30.000 a 1:25.000.
- Se sugiere que la delimitación se haga por procesos automáticos de SIG, cuidando todos los parámetros y condiciones que se involucren. Sin embargo sus resultados deben ser analizados por un profesional competente, que distinga perfectamente las correspondientes divisorias de aguas de las nuevas delimitaciones, y que en aquellos casos que corresponda deberá mejorar o intervenir los procesos automáticos del SIG, ya que es sabido que estos métodos ayudan pero que requieren supervisión permanente para obtener buenos resultados. En este informe se anexa un procedimiento standard de generación de cuencas con ArcGIS.
- La nueva delimitación deberá agregar todas aquellas cuencas compartidas con los países vecinos. Esto no debe afectar la codificación BNA, ya que solo se agregaran las cuencas compartidas en el territorio extranjero, es decir, para aquellas cuencas que son compartidas se debe considerar además el territorio que contengan en el país vecino y agregarlas como polígonos independientes no afectaría la codificación ya que estaría fuera de ellas. En este sentido la DGA ya ha avanzado bastante y todas las cuencas compartidas ya han sido identificadas y pueden ser aportadas en esta nueva delimitación. Estas cuencas compartidas deberán ser cortadas por el límite internacional y la porción chilena, la cual ya existe en la actual codificación BNA, deberá mantener su código y estructura BNA.
- Para el sector del altiplano chileno se debe evaluar en conjunto con la División de Hidrología si es posible incorporar u homologar el trabajo de delimitación de Cuencas Altiplánicas hechas por DICTUC (2009). La idea no es remplazar las actuales cuencas por el trabajo de DICTUC, sino que recoger el aporte de esta delimitación e incorporarlo en aquellos casos que haya correspondencia con la actual división de cuencas.
- Se plantea que sería muy recomendable hacer consultas a las Direcciones Regionales, para que ellas puedan ser consideradas en la nueva delimitación, siempre y cuando no involucren cambios en las codificaciones o alteraciones mayores en el sistema BNA.

- Para el buen desarrollo del trabajo se recomienda realizar primero la división de mayor detalle, es decir, las subsubcuencas, codificar como corresponde sus bases de datos y desde ellas generar con procesos de SIG como es el "disolve" el siguiente nivel de detalle (las subcuencas) y a su vez desde este nivel con la misma herramienta de SIG construir el nivel superior (las Cuencas). Esto asegura la correspondencia de niveles jerárquicos de conjuntos, subconjuntos y subsubconjuntos, (Cuencas, Subcuencas y Subsubcuencas) tanto en su componente grafica como en base de datos.
- Se deben mejorar ciertos aspectos de las Bases de Datos, que no cambian la esencia de ellas, pero si la mejoran: homogenizar nombres, no hacer abreviaciones de ellos e incorporar nuevos campos que puedan ayudar a los usuarios (p.e.: desembocadura principal, es decir si es sobre un río, océano o lago; si son de vertiente pacifica, atlántica o endorreica; si son compartidas con el país vecino; región principal; población que contienen, etc.).

Es importante señalar que esta propuesta de mejoramiento no de soluciones a varios problemas que se presentan con el uso de las Cuencas BNA y en muchos casos se seguirá redefiniendo cuencas, principalmente cuando el análisis que se efectúa requiere un detalle espacial mayor. Así se establece que para estudios en una escala intermedia (escala provincial en la mayoría de los casos), esta mejora será suficiente y cuando se requiera mayor detalle y especificidad (como en estudios hidrológicos) se deberán definir microcuencas, pero siempre enmarcada en los límites de las subsubcuencas.

6. CONCLUSIONES

En un principio, se planteó este informe para buscar aquellos sectores del país que tuvieran mayores problemas con la definición actual de las Cuencas BNA y distinguir cómo ellos afectan a la DGA. Pero al avanzar en su desarrollo e identificar los principales problemas de la definición de cuencas, se puede establecer que no hay sectores puntuales, sino más bien los problemas son generales y se aplican a todo el territorio nacional. Estos problemas se acentúan en los extremos norte y sur de Chile, principalmente porque la cartografía ocupada para la construcción de las cuencas y las someras actualizaciones que han tenido, revelan que la delimitación de cuencas en su minuto fue un trabajo de gran envergadura, hecho literalmente a mano, con herramientas e información que hoy, bajo el prisma de la modernidad, se ven obsoletas. Sin perjuicio de lo anterior, hay que rescatar que su calidad fue notable para la época y, de hecho, su codificación actualmente es utilizada con fuerza en el Sistema BNA.

Los problemas detectados se pueden agrupar en dos grandes grupos:

- Aquellos inherentes a la cartografía e información disponible en la época, los cuales generan los problemas de sinuosidad y forma de la cuenca.
- Problemas de criterio en la generación de las cuencas.

Al analizar estos problemas se descubre que el de mayor gravedad, y principal causante que la delimitación actual sea poco utilizada tal cual como está, es el primer grupo, es decir, todos aquellos problemas que generan diferencias de sinuosidad entre las Cuenca BNA y la cuenca real. Los diferentes usuarios internos y externos de la DGA coinciden en que las Cuencas BNA ya no satisfacen los niveles de detalle requeridos en la actualidad. A partir de ello se establece que el solo hecho de mejorar este aspecto revitalizaría la utilización de las cuencas en la mayor parte de las aplicaciones que se les puede dar.

Los problemas de criterio en la generación o definición de las Cuencas BNA, en lo que respecta a cortes o cierres de las cuencas, por ejemplo, ahora se pueden comprender y establecer que no son un problema en sí. Lo que sucede es que los criterios para la construcción de las Cuencas BNA, para la gran mayoría de los usuarios, incluso para profesionales DGA, son desconocidos, entonces al no comprenderlos se cuestionan los actuales cortes o cierres de las cuencas sin entender que el criterio que les dio origen buscaba satisfacer necesidades puntuales de la DGA en ese minuto, más allá de la definición hidrológica propiamente tal, sino que también consideraba aspectos administrativos relacionados con la construcción del Banco Nacional de Aguas, que por esos años estaba en desarrollo.

Las diferencias de criterio en la definición de las cuencas por sí solo es un tema aparte ya que diversos usuarios critican la divisoria de cuencas porque no satisface sus necesidades, pero cabe hacer la pregunta ¿la DGA debe satisfacer todas las

necesidades de delimitaciones que puedan tener los usuarios? la respuesta no es tan simple. En primer lugar, los criterios de definición de cuencas deben estar de acuerdo a los propios requerimientos de la DGA en cuanto a sus funciones establecidas en el Código de Aguas. Luego de eso, existe un gran número de usuarios internos y externos, los cuales tienen diferentes necesidades de delimitaciones, las que a su vez se pueden dividir en varios aspectos, como son escala, importancia, criterios de cierre o corte, objetivos de trabajo, etc., cada cual acorde a sus requerimientos puntuales. En ese caso, la delimitación de cuencas establecidas por la DGA es normativa y a partir de ella deben ajustarse sus requerimientos, entendiendo que en el caso de cualquier diferencia, es la definición de cuencas de la DGA la que prevalece.

De este modo, el trabajo de satisfacer tantos criterios no sería una tarea atribuible a la DGA, pero lo que sí debiera ofrecer sería una delimitación de cuencas que sirva de base general para que cada usuario pueda utilizarla y modificarla de acuerdo a sus requerimientos específicos.

Hoy en día con herramientas de SIG es muy simple, sobre una base ya construida, extraer polígonos (cuencas) y modificarlos en sus cierres o cortes. O bien al contrario es muy fácil desde la base general de cuencas copiar y pegar nuevos polígonos sobre los ya existentes ya sean estos vecinos o no. Es un tema netamente técnico de manejo de las herramientas de SIG, y un número importante de usuarios desconoce estas técnicas y exige sus delimitaciones prácticamente hechas a su medida, como si ésta fuese una función más de la DGA.

De este modo la DGA puede mejorar sustancialmente su definición de cuencas y hacerlas extensivas a otros usuarios, pero siempre sentando como precedente que es una base de cuencas construida por la DGA y para la DGA, y si esta base es construida con los alcances y consideraciones plasmadas en este informe, es un hecho que sería utilizada para diversos objetivos de estudios, trabajos hidrológicos, análisis de disponibilidades, etc.

Realizar una actualización de las cuencas que tome como base lo ya construido simplifica bastante el trabajo, no obstante es un emprendimiento mayor que la DGA actualmente no podría llevar a cabo por medios propios por lo que se sugiere realizar una consultoría que recoja todos los alcances presentados en este informe.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Clasificación de Cuencas Hidrográficas de Chile; Andrés Benítez Girón, DGA; 1978.
- Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III, SIT N° 157 (parte I); DICTUC, DGA; 2009.
- Informe Técnico SDT N° 330 Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas, Región de Atacama; DEP-DGA; 2012.

8. GLOSARIO

- **Cuenca Hidrográfica:** Una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de altas cumbres, también llamada divisoria de aguas. También recibe los nombres de hoya hidrográfica, cuenca de drenaje y cuenca imbrífera. Una cuenca y una cuenca hidrológica se diferencian en que la cuenca se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas.
- **Cuencas BNA:** Cuencas hidrográficas, incorporadas al Sistema BNA de la DGA. Corresponden a grandes cuencas o grupos de cuencas menores o agrupaciones de islas.
- **Subcuencas BNA:** Es un subconjunto de las cuencas BNA, y corresponden a Cuencas aportantes, o grupos de cuencas aportantes o grupos de islas. Que están presentes en el sistema BNA. En su definición se incorporan criterios Hidrológicos.
- **Subsubcuencas BNA:** es un subconjunto de las Subcuencas BNA, y corresponde a la división menor, en ocasiones son las cuencas de esteros o ríos menores, y en otras son las secciones menores de ríos. Pueden ser también islas individuales. Y que también están presentes en el sistema BNA.
- **Banco Nacional de Aguas (BNA):** Sistema computacional desarrollado por la DGA, en 1980 el cual ha tenido varias actualizaciones o modernizaciones, es un manejador de base de datos que sirve para gestionar el territorio bajo el punto de vista hídrico, en él se almacenan y consultan los datos que recoge la red hidrometeorológica de la DGA.
- **Sinuosidades:** Corresponde a los límites que existen entre las cuencas, es decir son las divisorias de aguas que se utilizan para delimitar las cuencas, subcuencas y subsubcuencas, la calidad de estas sinuosidades depende exclusivamente de la cartografía, y métodos con las que fueron creadas.

- **Cuencas reales:** Para este informe se bautizaron a las cuencas reales a aquellas cuencas creadas con métodos de SIG cuyo resultado daban una cuenca cuyo criterio de creación y calidad de sinuosidades son de alta calidad. Y son científicamente coherentes. Es decir definiciones de cuencas de muy alta calidad.

9. ANEXO

Generación de cuencas utilizando imágenes SRT y ArcGIS.

Antecedentes

Este método calcula las cuencas aportantes de una serie de puntos.

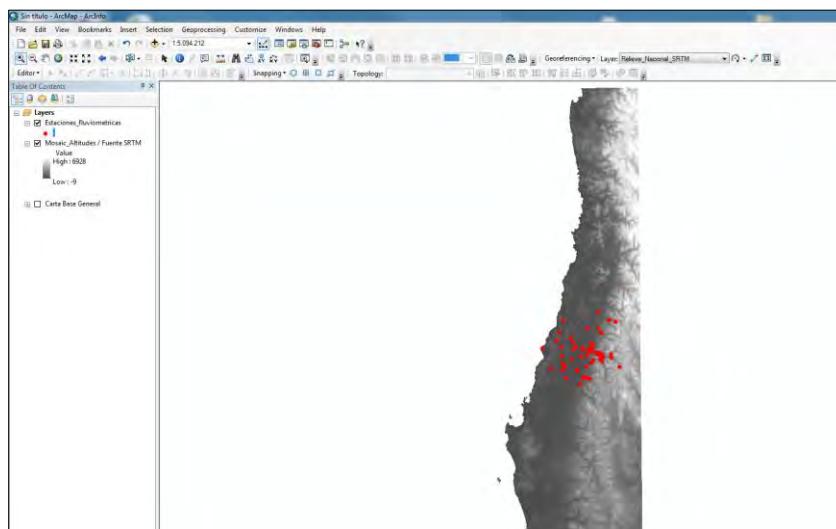
- Se necesita de un DEM que cubra toda el área de interés de los puntos a calcular, si el DEM no cubre toda el área es necesario hacer mosaicos para completarlas.
- Los puntos a calcular en lo posible deben ser coherentes, es decir deben estar ubicados sobre un cauce.
- Este método genera archivos que son de carácter temporal pero que son necesarios para finalizar el ejercicio, se sugiere ser ordenado con las rutas de almacenamiento.

Metodología:

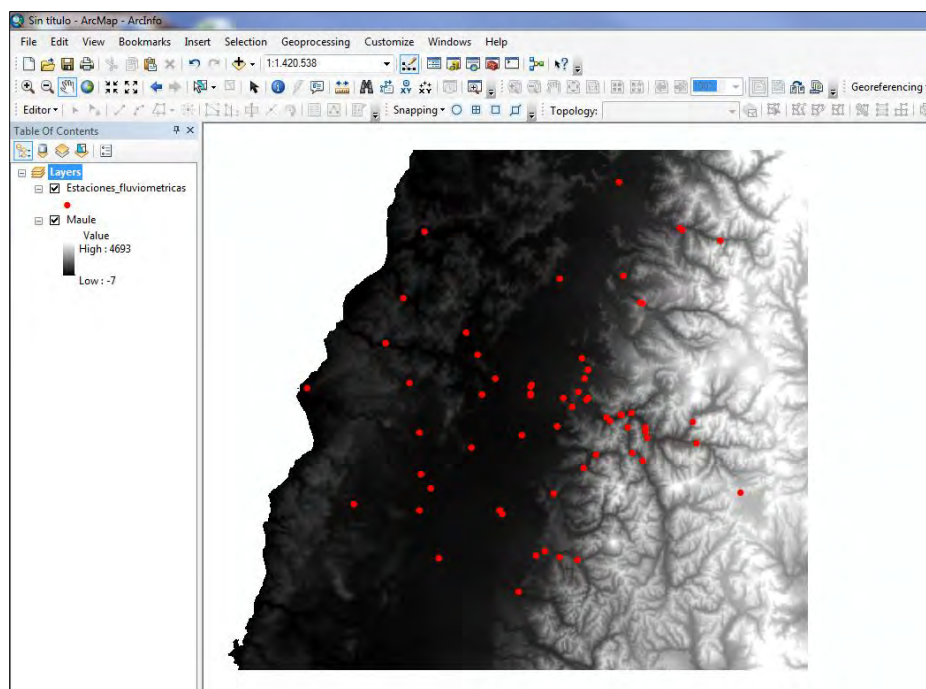
Para este ejemplo se construirán las cuencas aportantes de las estaciones Fluviométricas de la VII región.

1. Preparación del Modelo

Sobre ArcGIS se carga el modelo previamente preparado (mosaico de dos imágenes SRTM) y además se cargan las estaciones fluviométricas de la VII región, en este ejemplo se consideran solo las vigentes.

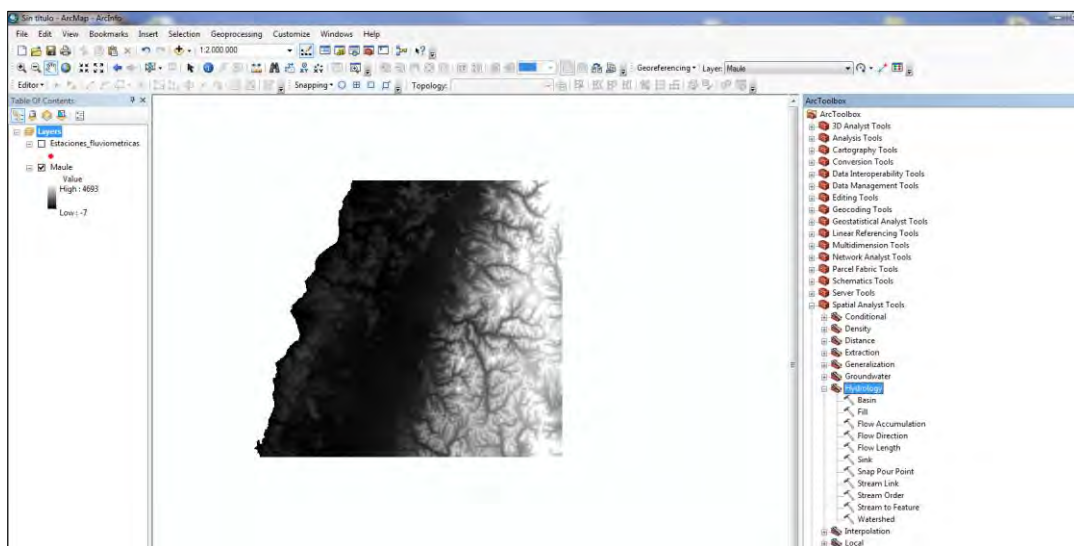


El siguiente paso es disminuir o cortar el modelo adecuándolo solo al área de interés, esto es importante porque aliviana los procesos posteriores. Se recomienda que este raster sea guardado en una geodatabase especialmente creada para estos fines.

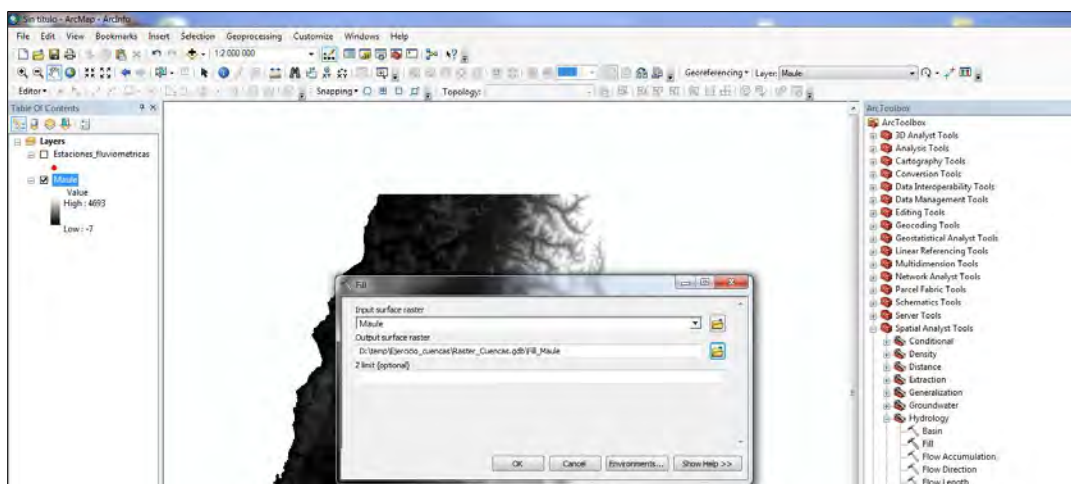


2. Trabajo con Spatial Analyst:

A continuación viene una serie de pasos que son necesarios para la construcción de las cuencas, todos estos pasos se hacen en el módulo de Hidrología, del spatial analyst.

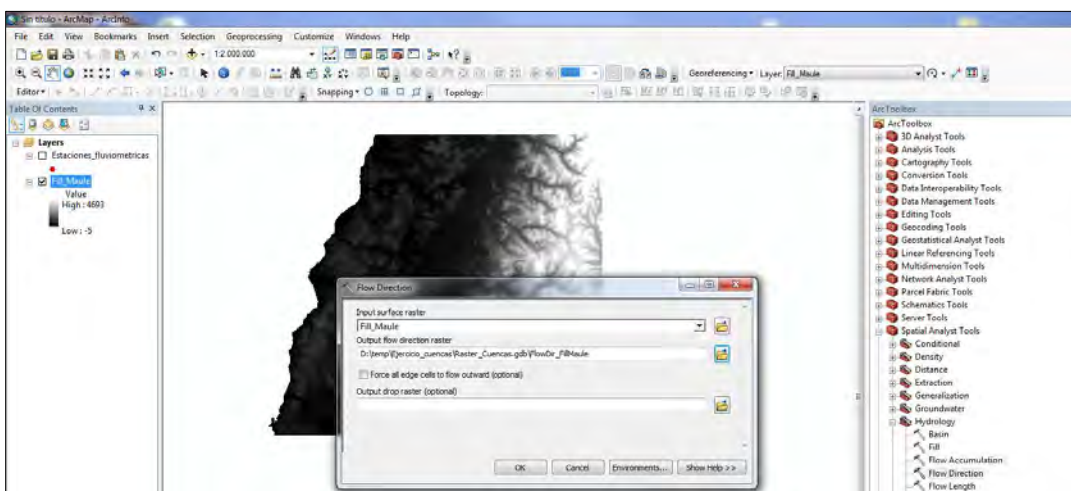


El primer paso es darle una corrección el modelo en el sentido de eliminar posibles depresiones internas que pudiera tener, es decir hay que homogenizar el modelo, estas depresiones pueden estar dadas por ausencia de pixeles con datos. El comando que hace esto es FILL, este solicita el modelo original y genera un modelo corregido.

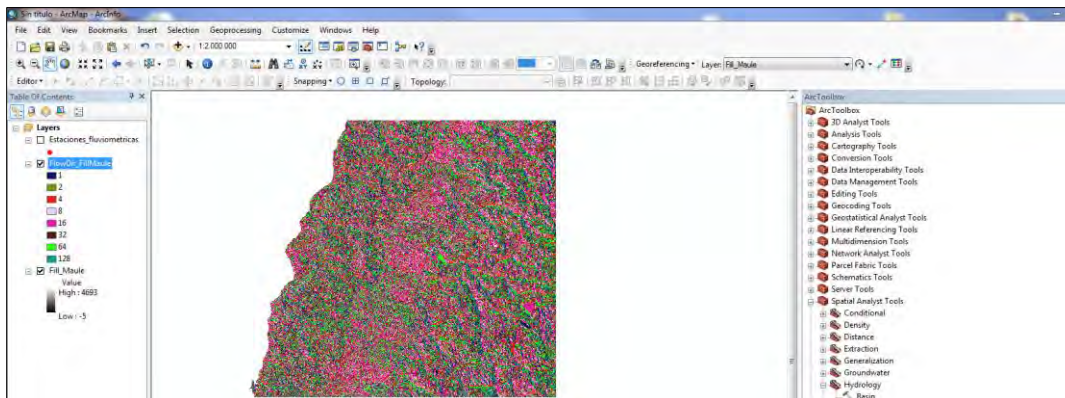


Una vez completado se puede remover el modelo original, conviene hacerlo para evitar confusiones.

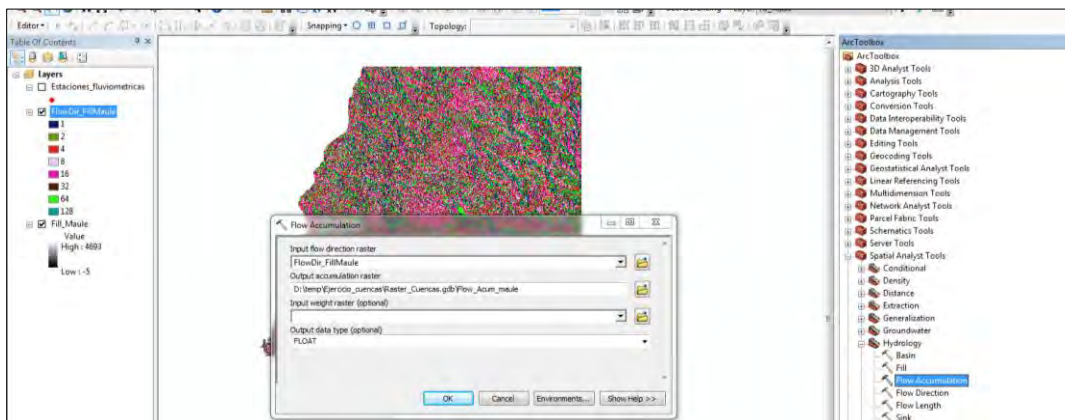
Ahora se utiliza la Herramienta FLOW DIRECTION, esta Utiliza como entrada el raster recién creado con el comando Fill.



El resultado es la creación de un nuevo raster. El cual servirá de entrada para el siguiente proceso.



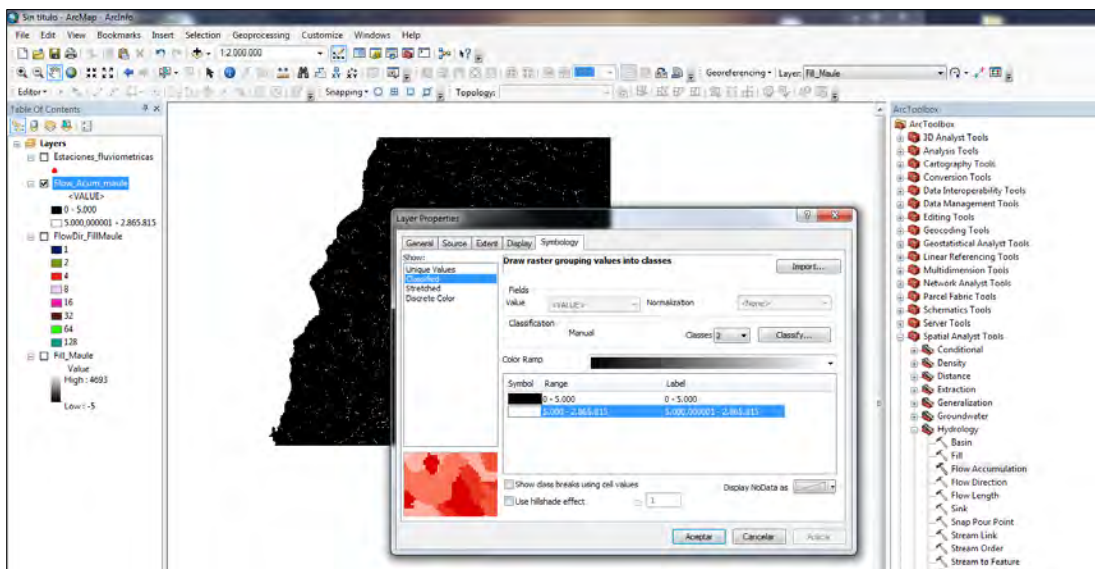
Ahora se debe utilizar la herramienta Flow Accumulation, en ella se coloca como raster de entrada la creada con Flow Direction, también se puede colocar de manera opcional el raster original corregido (FILL). Pero esto último es opcional y no es necesario para los fines del ejercicio.



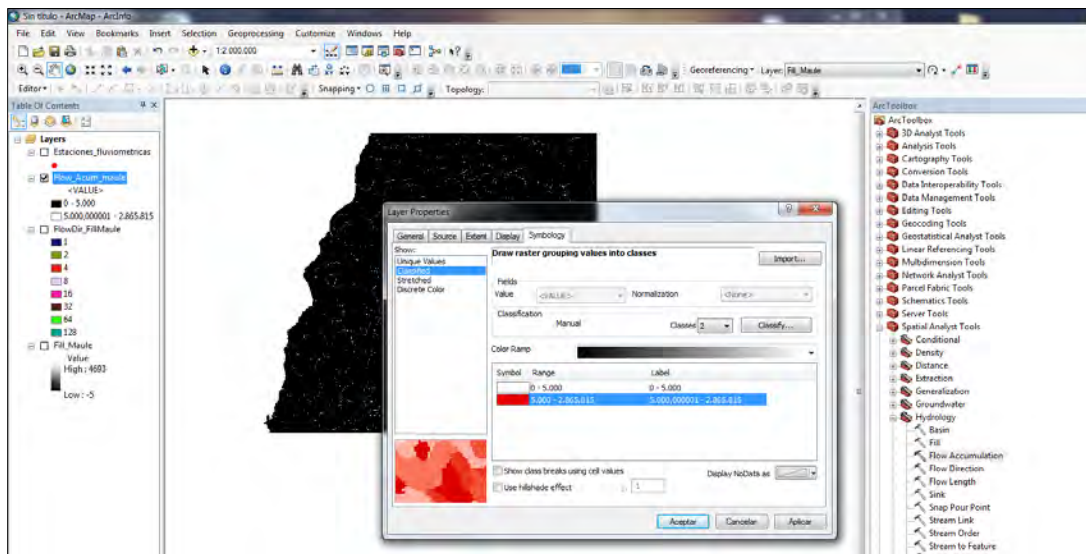
El resultado es una imagen “negra” y no se puede interpretar.

La interpretación es importante porque esta nos muestra las acumulaciones de flujo que son los cauces, y sobre estos cauces deben estar los puntos que queremos calcular sus cuencas aportantes.

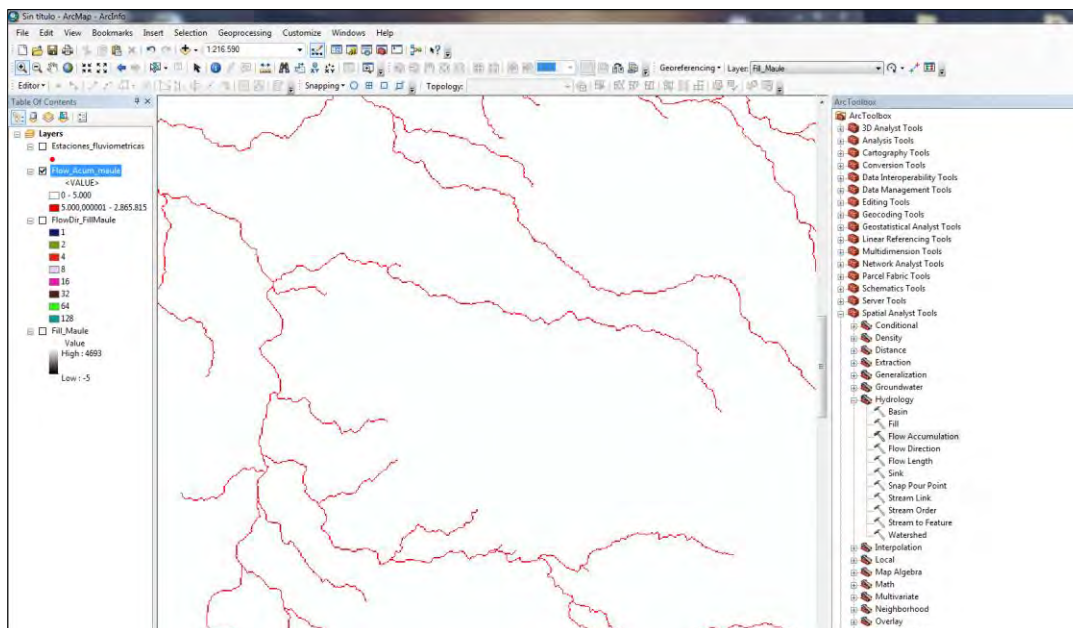
Para interpretarla hay que editar su leyenda, vamos a Layer Properties, pestaña “Symbology” bajo el tipo de leyenda “Classified” y establecemos que contenga solo dos clases. Y a la primera clase le damos un valor alto por ejemplo 5000.



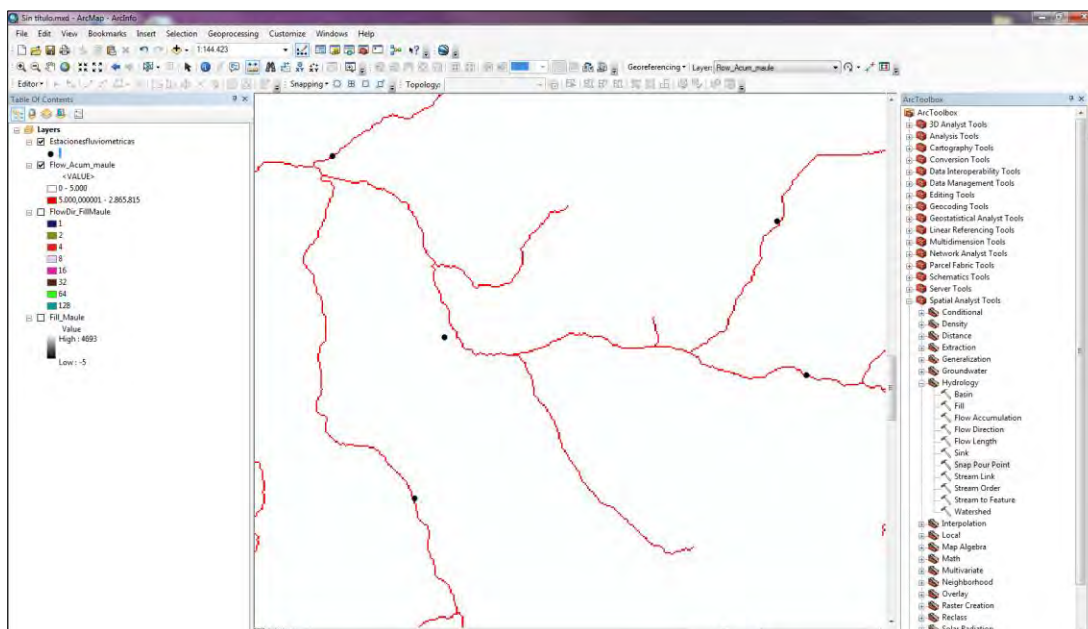
Luego invertimos los colores. Destacando a los valores altos con un color fuerte. En el ejemplo de color rojo

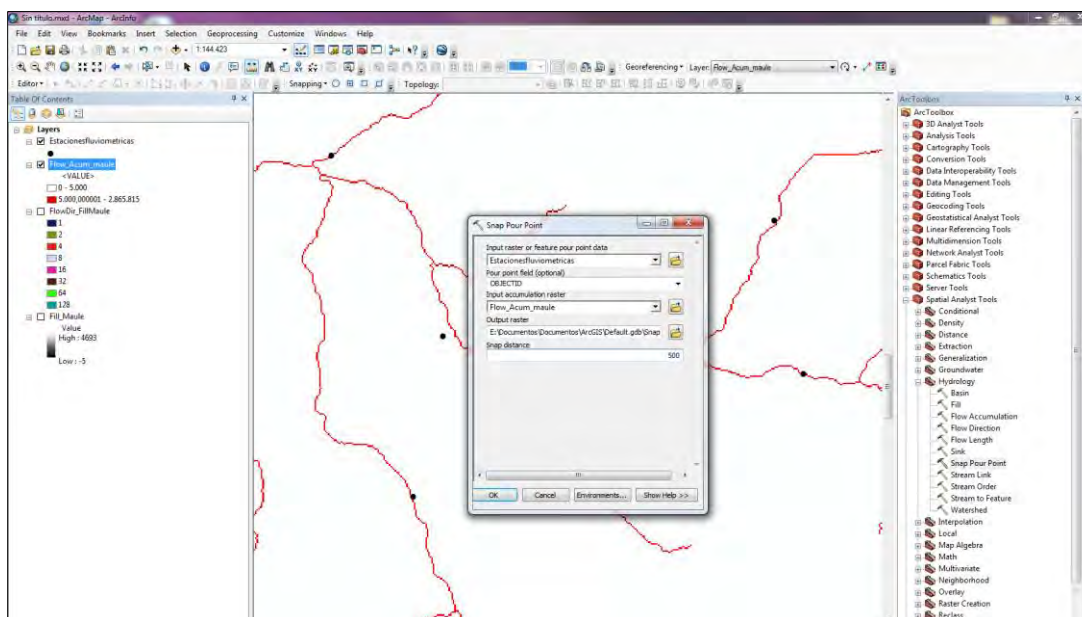


Esto da como resultado que ahora podamos ver de mejor manera el raster de "Flow Accumulation"

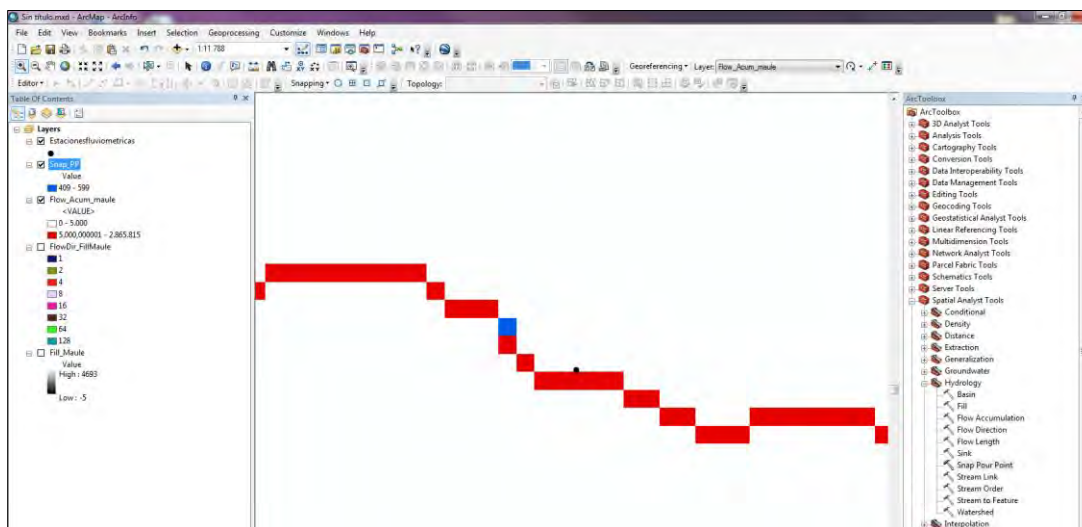


Ahora hay que volver con el shape de puntos que serán los puntos de cierre de las cuencas, en esta etapa hay que llevar este Shape Puntual a Raster, para ello se ocupa el comando SNAP POUR POINT. Este comando además ofrece la posibilidad de acercar los puntos hacia el raster de "Flow Acumulation" gracias a un "Snap Distance", esto último consiste en acercar los puntos de las estaciones hacia el cauce que el "Flow Acumulation" generó, esto es importante ya que si un punto no está sobre el cauce mismo, no se construirá su cuenca. Por eso con el "snap distance" se pueden acercar.

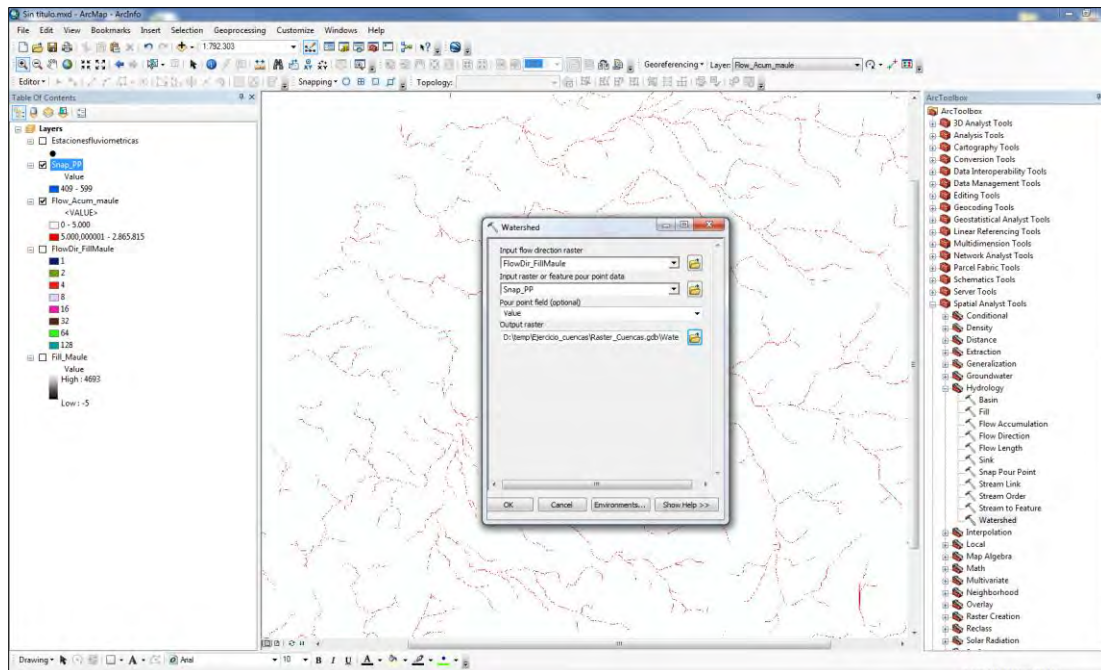




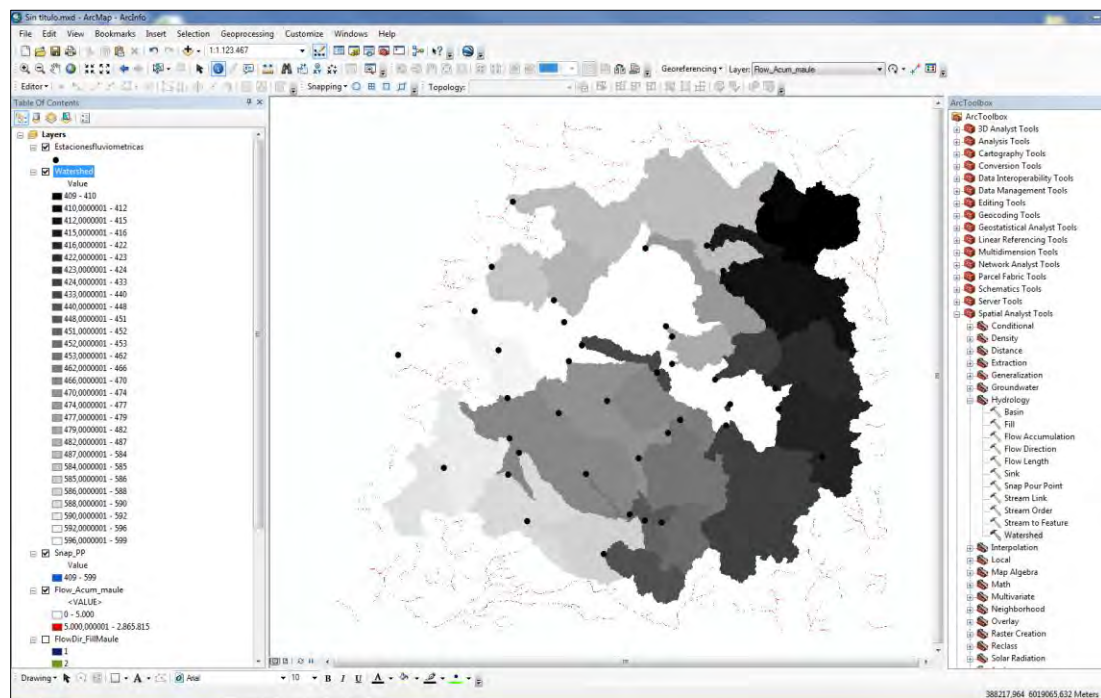
El punto es llevado a un Pixel sobre la línea de "Flow Accumulation", esto es gracias al snap.



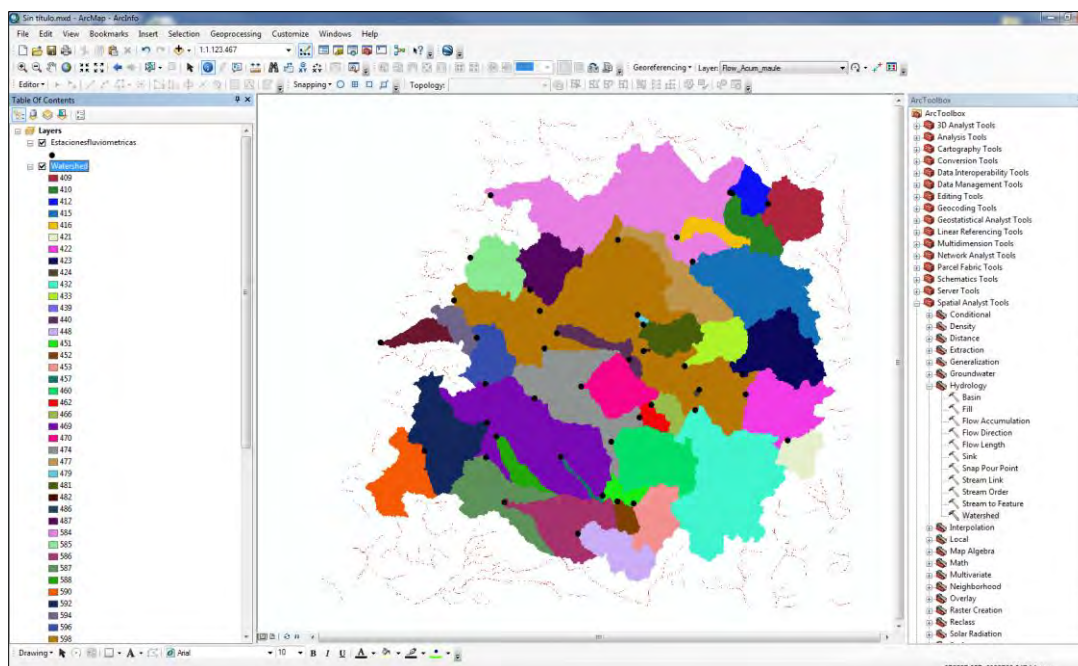
2.5 Finalmente se está en condiciones de construir la cuenca, esto se hace con el comando "WATERSHED" y él solicita, el Raster de "Flow Direction" creado en el paso 2.2. y el raster de Pour Point creado en el punto 2.4.



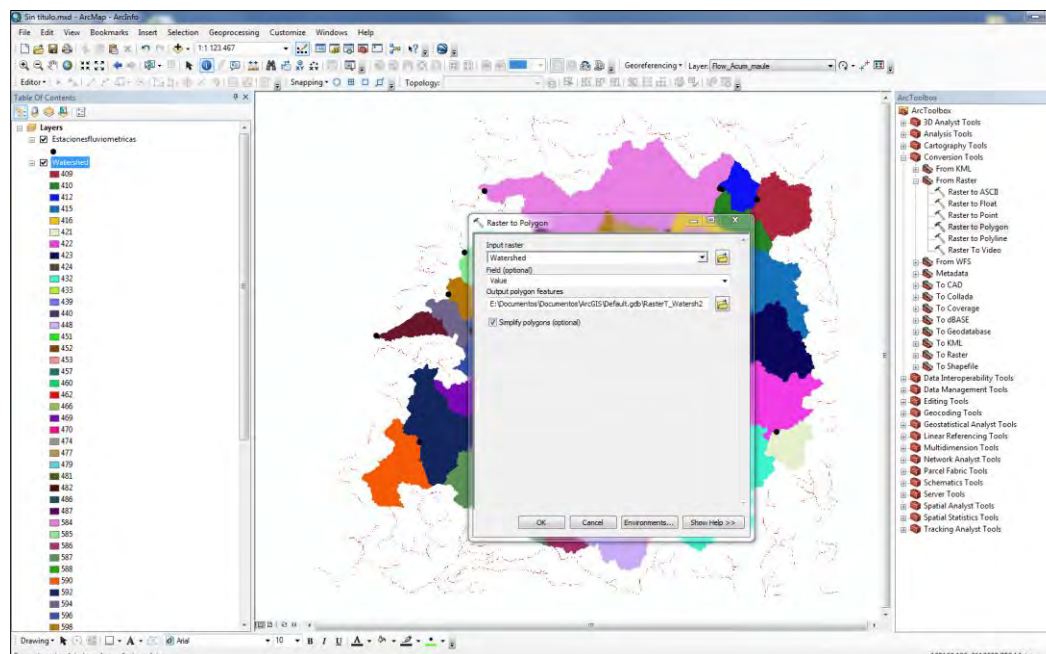
Después de algunos minutos de proceso computacional, El resultado es el siguiente:



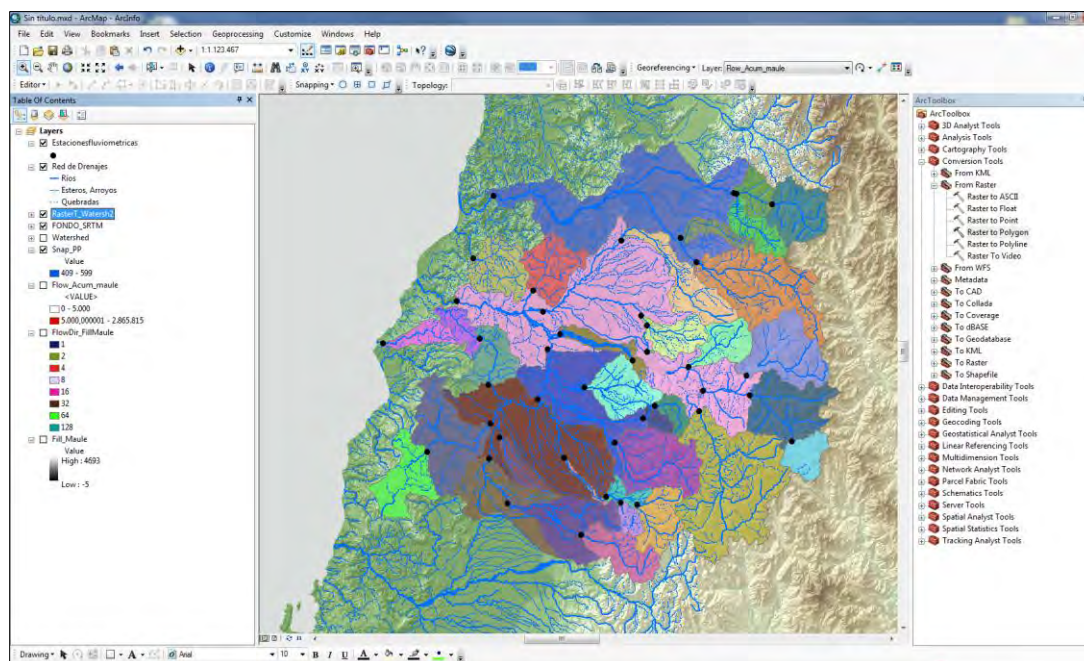
Conviene cambiar su leyenda para interpretarla mejor.



Posiblemente el resultado se necesite como polígono ya que las cuencas recién creadas son raster. Esto se hace Con la herramienta "Raster to Polygon" dentro de "from Raster" en "Conversion Tools"



El resultado son las cuencas como entidad de polígono, lo cual permite hacer cualquier tipo de edición en su geometría o bases de datos. Conviene de sobremano hacer un análisis exhaustivo de la calidad de los resultados con ayuda de la red de drenaje y el relieve, ya que es posible que existan errores que haya que corregir.



En este ejemplo se generó un error en la zona del lago colbun, esto posiblemente debido a que el embalse genera una situación compleja para el proceso de la creación de cuencas.

