



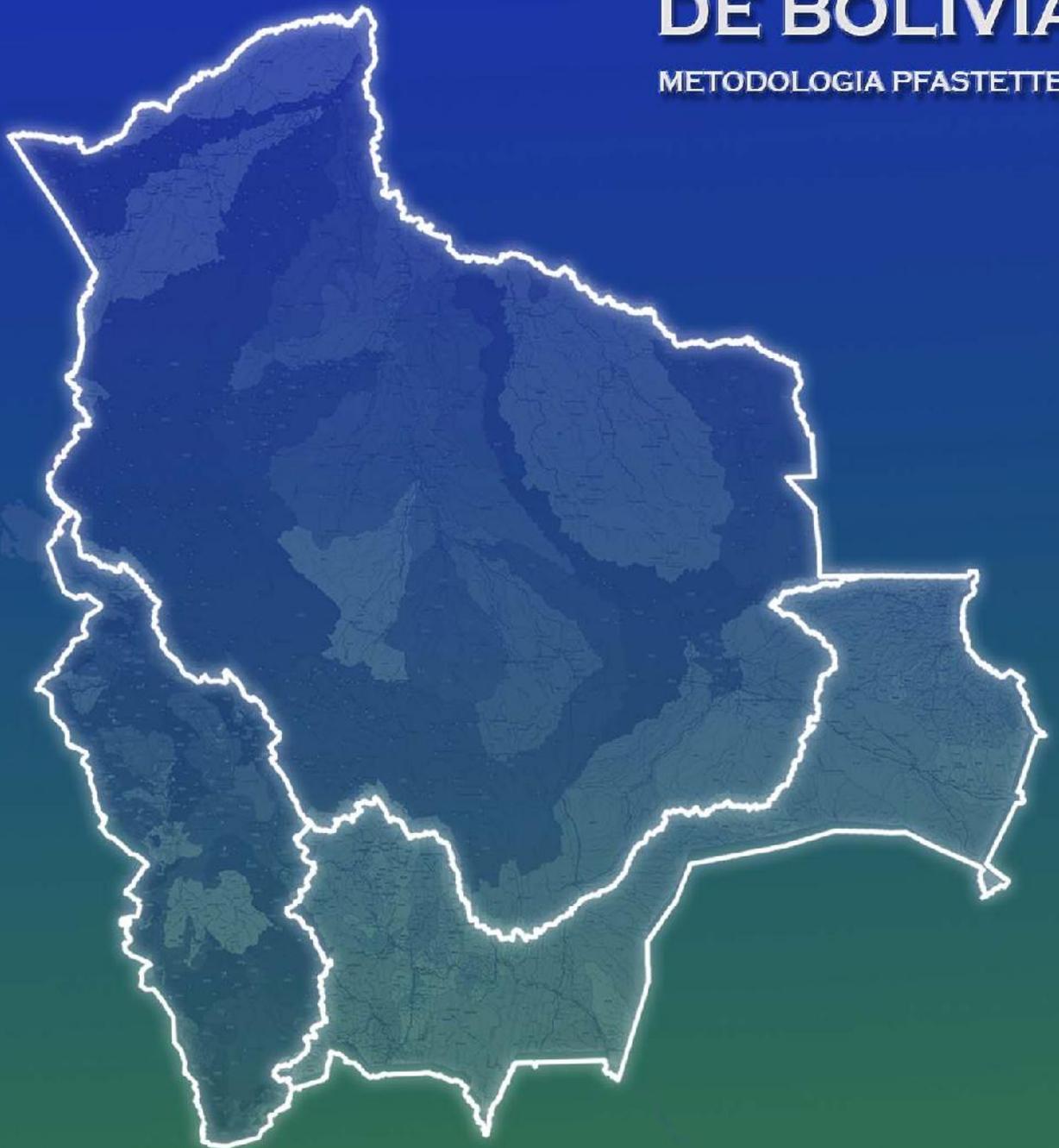
ESTADO PLURINACIONAL
DE BOLIVIA



MMAyA
Ministerio de Medio Ambiente y Agua

DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA

METODOLOGIA PFASTETTER



VICEMINISTERIO DE RECURSOS HIDRICOS Y RIEGO
LA PAZ - BOLIVIA
2009



**MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y AGUA DE BOLIVIA
VICEMINISTERIO DE RECURSOS HIDRICOS Y RIEGO (VRHR)**

**UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN
DE LA NATURALEZA (UICN)**

SECRETARÍA GENERAL DE LA COMUNIDAD ANDINA

Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego

Carlos Ortuño Yañez

Viceministro de Recursos Hídricos y Riego

Secretaria General de la Comunidad Andina

Freddy Ehlers Z.

Secretario General

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

Oficina Regional para América del Sur

Joao de Queiroz

Director Regional

Gabriela Encalada

Coordinadora del Proyecto SGCAN

Nelson Abán Botello

Coordinador del Proyecto VRHR

Mario Aguirre Núñez

Oficial de Programa - Agua

Coordinador del Proyecto UICN SUR

Consultores SIG

Elaboración del documento:

Carla Ramírez Andia

Humberto Torres Giraldo

Publicación y Difusión

Miguel Angel Chipana Vasquez

Miguel Angel Pinto Gutierrez

Limber Cardenas Ossio

ÍNDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
1. ANTECEDENTES	9
2. OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GENERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO	10
4. FUENTES DE INFORMACION	11
4.1 INFORMACION PRINCIPAL	11
4.2 INFORMACION COMPLEMENTARIA	12
4.3 PROYECTO SRTM	13
4.4 PROYECTO HydroSHEDS	14
4.4.1 INFORMACIÓN HYDROSHEDS PARA BOLIVIA	16
5. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO PARA LA DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS	16
5.1 METODOLOGIA	16
5.1.1 MÉTODO PFAFSTETTER	17
5.2 PROCEDIMIENTO	19
6. UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA	21
6.1 CONFIABILIDAD	21
6.2 CÁLCULO DE ÁREAS	22
6.3 RESULTADOS OBTENIDOS	22
6.3.1 NIVEL CONTINENTAL AMÉRICA DEL SUR	22
6.3.2 REGIÓN HIDROGRÁFICA 0	25
6.3.3 REGIÓN HIDROGRÁFICA 4 – CUENCA DEL AMAZONAS	33
6.3.4 REGIÓN HIDROGRÁFICA 8 – CUENCA DEL RIO DE LA PLATA	42
6.4 UNIDADES HIDROGRÁFICAS	51
6.5 UNIDADES HIDROGRÁFICAS NO SUBDIVIDIDAS	56
7. MAPA DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA	58
7.1 DESCRIPCIÓN DEL MAPA GENERAL	58
7.2 METADATO DEL ARCHIVO DIGITAL	58
7.3 CUADRO DE DISTRIBUCIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS	58
8. CONCLUSIONES	60
9. RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63

ANEXOS

ANEXO 1: Metadato del Archivo Digital

ANEXO 2: Distribución de las Unidades Hidrográficas de Bolivia - Nivel 4

ANEXO 3: Reporte de la Distribución de Unidades Hidrográficas de Bolivia - Nivel 5

ANEXO 4: Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de
Unidades Hidrográficas

ANEXO 5: Mapa General de Unidades Hidrográficas de Bolivia – Nivel 5

ANEXO 6: Glosario de Términos

Índice de figuras y cuadros

Figuras

1	Transbordador Endeavour: Proceso de captación de la señal	13
2	Transbordador Endeavour: Equipo receptor	13
3	HydroSHEDS: Cobertura de los datos	15
4	HydroSHEDS: Mosaico de descarga de datos	15
5	Bolivia: Mosaico de información HydroSHEDS	16
6	Proceso de División y Codificación	19
7	Diagrama de Flujo: Proceso de Delimitación Semiautomática de Unidades Hidrográficas	20
8	Regiones Hidrográficas Nivel 1	23
9	Bolivia: Regiones Hidrográficas	24
10	Bolivia: Región Hidrográfica 0 – Nivel 1	25
11	Bolivia: Región Hidrográfica 0 – Nivel 2	26
12	Bolivia: Región Hidrográfica 0 – Nivel 3	27
13	Bolivia: Región Hidrográfica 0 – Nivel 4	28
14	Bolivia: Región Hidrográfica 0 – Nivel 5	30
15	Unidad Hidrográfica 01 – Nivel 5	31
16	Unidad Hidrográfica 02 – Nivel 5	31
17	Unidad Hidrográfica 03 y 05 – Nivel 5	32
18	Determinación de cursos en salares	33
19	Determinación de watersheds en salares	33
20	Región Hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas) - Nivel 1	34
21	Región Hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas) - Nivel 2	35
22	Región Hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas) - Nivel 3	36
23	Región Hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas) - Nivel 4	37
24	Región Hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas) - Nivel 5	38
25	Región Hidrográfica 4 Unidad Hidrográfica 463	38
26	Región Hidrográfica 4 Unidad Hidrográfica 464	39
27	Región Hidrográfica 4 Unidad Hidrográfica 465	39
28	Región Hidrográfica 4 Unidad Hidrográfica 466	40
29	Región Hidrográfica 4 Unidad Hidrográfica 467	40
30	Región Hidrográfica 4 Unidad Hidrográfica 468	41
31	Región Hidrográfica 4 Unidad Hidrográfica 469	41
32	Región Hidrográfica 4 Unidad Hidrográfica 492	42

33	Delimitación de la Región Hidrográfica 8	43
34	Región Hidrográfica 8 Cuenca del río de la Plata	44
35	Región Hidrográfica 8 Cuenca del río de la Plata – Nivel 2	44
36	Región Hidrográfica 8 Cuenca del río de la Plata – Nivel 3	46
37	Región Hidrográfica 8 Cuenca del río de la Plata – Nivel 4	46
38	Región Hidrográfica 8 Cuenca del río de la Plata – Nivel 5	47
39	Región Hidrográfica 8 Unidad Hidrográfica 80	48
40	Región Hidrográfica 8 Unidad Hidrográfica 85	48
41	Región Hidrográfica 8 Unidad Hidrográfica 86	49
42	Región Hidrográfica 8 Unidad Hidrográfica 87	49
43	Región Hidrográfica 8 Unidad Hidrográfica 89	50
44	Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 1	51
45	Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 2	52
46	Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 3	53
47	Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 4	54
48	Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 5	55
49	Unidades Hidrográficas No Subdivididas	56
50	Mapa General de Unidades Hidrográficas de Bolivia	59

Cuadros

1	Unidades Hidrográficas Nivel 1: Sudamérica	23
2	Superficie por Regiones Hidrográficas	24
3	Región Hidrográfica 0 – Nivel 2	26
4	Región Hidrográfica 0 – Nivel 3	27
5	Región Hidrográfica 0 – Nivel 4	28
6	Región Hidrográfica 0 – Nivel 5	29
7	Región Hidrográfica 4 – Nivel 2	34
8	Región Hidrográfica 4 – Nivel 3	35
9	Región Hidrográfica 4 – Nivel 4	36
10	Región Hidrográfica 4 – Nivel 5	37
11	Región Hidrográfica 8 – Nivel 2	43
12	Región Hidrográfica 8 – Nivel 3	45
13	Región Hidrográfica 8 – Nivel 4	45
14	Región Hidrográfica 8 – Nivel 5	47
15	Unidades Hidrográfica no subdivididas	57

RESUMEN

El presente documento describe la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de Bolivia, a la escala 1:250.000, y hasta el nivel 5; el cual se constituye en Bolivia en un insumo fundamental para la gestión sostenible de los recursos naturales en general y de los recursos hídricos en particular.

La delimitación de las unidades hidrográficas se ha desarrollado mediante procesos semi-automáticos con el uso de programas (software) de sistemas de información geográfica y análisis espacial de modelos digitales de elevación.

El proceso de codificación se ha realizado utilizando el método de Pfafstetter, el cual consiste en la codificación jerárquica de las unidades hidrográficas de tipo cuenca, intercuenca y cuenca interna, desde el nivel continental ó nivel 1 hasta el nivel 5.

El territorio boliviano, según la metodología de Pfafstetter comprende parcialmente tres unidades o regiones hidrográficas en el nivel 1: región hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas), región hidrográfica 8 (cuenca del río de la Plata) y región hidrográfica 0. En el nivel 2 comprende 14 unidades hidrográficas, 67 en el nivel 3, 346 en el nivel 4 y 1951 unidades hidrográficas en el nivel 5.

En el nivel 1, la región hidrográfica del Amazonas es la de mayor superficie, con 720.792 km² (cerca del 66% del territorio boliviano). La región hidrográfica 8 comprende un área de 225.491 km² y la región hidrográfica 0 un área de 151.722 km².

En el nivel 2, se han determinado 14 unidades hidrográficas, destacando la unidad 46 (cuenca del río Madera) con una superficie de 718.811 km².

En el nivel 3, se han determinado 67 unidades hidrográficas, la unidad 466 (cuenca del río Mamoré) es la de mayor superficie con 237.718 km².

En el nivel 4 se han determinado 346 unidades hidrográficas siendo la unidad 4644 (cuenca del río Beni) la de mayor extensión con 120.450 km². En el nivel 5 se han determinado 1951 unidades hidrográficas siendo la unidad 46922 (cuenca del río Blanco) de mayor extensión con 25.017 km².

INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos naturales en general y de los recursos hídricos en particular considera a la cuenca como el espacio territorial más adecuado. Las unidades hidrográficas están definidas por fronteras naturales las cuales no toman en consideración las divisiones políticas entre países ni al interior de un país.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), y la Secretaria General de La Comunidad Andina, suscribieron una Carta Acuerdo para la implementación de un proyecto de delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Sudamérica y de los países de la Comunidad Andina, mediante la aplicación de una metodología estándar internacional. Este proyecto comprende la delimitación y codificación de unidades hidrográficas hasta el nivel 3 y a la escala 1:1.00.000 de Sudamérica y hasta el nivel 5 a la escala 1:250.000 de los países de la Comunidad Andina (CAN), Bolivia, Ecuador, Colombia y la integración del mapa del Perú.

El proyecto se ha desarrollado en dos etapas, la primera ha consistido en la delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Sudamérica a la escala 1:1.000.000 hasta el nivel 3 y la segunda ha consistido en la elaboración de los mapas de unidades hidrográficas de Bolivia, Ecuador, Colombia y la integración del mapa del Perú para constituir el mapa de unidades hidrográficas de la Comunidad Andina a la escala 1:250 000 y hasta el nivel 5.

El presente documento, es el informe final de la delimitación y codificación de unidades hidrográficas en Bolivia (nivel 1 al nivel 5), a la escala 1:250.000, elaborado con softwares SIG: ArcGis 9.2 y ArcView 3.3, a partir de modelos digitales de elevación (MDE) del Proyecto HydroSHEDS.

El presente informe consta de 9 capítulos. El capítulo 1 describe los antecedentes y el capítulo 2 los objetivos del proyecto. En el capítulo 3 se realiza una descripción general del ámbito geográfico.

En el capítulo 4 se describe las fuentes de información y en el capítulo 5 se describe el método Pfafstetter y el proceso de subdivisión y codificación de las unidades hidrográficas.

En el capítulo 6, se describe la precisión o confiabilidad del presente trabajo de delimitación de unidades hidrográficas, así como el proceso del cálculo de sus áreas.

En el capítulo 7, se realiza una descripción general del Mapa de Unidades Hidrográficas de Bolivia, se presenta asimismo el metadato respectivo y el cuadro de distribución de unidades hidrográficas de Bolivia en el nivel 4.

En el capítulos 8 se exponen las conclusiones y en el capítulo 9 las respectivas recomendaciones de la delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Bolivia.

1. ANTECEDENTES

En Bolivia se han desarrollado trabajos previos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas o cuencas, el primero de ellos ha sido elaborado por el Instituto Geográfico Militar (1990), que generó los límites de las tres grandes cuencas de Bolivia: Altiplánica o Cerrada, del Plata y Amazónica. Ese mismo año el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) con la cooperación de instituciones internacionales como la UNESCO y ORSTOM realizaron también la delimitación de las tres grandes cuencas ya mencionadas, la peculiaridad de este último trabajo es la delimitación de la Cuenca del Amazonas en siete unidades hidrográficas: Madre de Dios, Beni, Orthon, Mamoré, Itenez, Parapeti-Izozog y Abuná; así mismo la Cuenca Altiplánica se delimitó en tres unidades hidrográficas: Desaguadero-Poopó, Titicaca y Coipasa-Uyuni. Finalmente la delimitación de la Cuenca del Plata reportó tres unidades hidrográficas: Pilcomayo, Bermejo y Paraguay.

En 1996 la Dirección de Cuencas Hidrográficas de Bolivia del Ministerio de Desarrollo Sostenible, realizó la delimitación de cuencas y subcuencas de Bolivia. La Cuenca Amazónica fue delimitada en 8 subcuencas: Acre, Abuná, Madera, Orthon, Madre de Dios, Beni, Mamoré e Itenez. La Cuenca Altiplánica fue delimitada en 5 subcuencas: Titicaca, Desaguadero, Poopó, Coipasa y Salar de Uyuni y la Cuenca del Plata con tres subcuencas: Pilcomayo, Bermejo y Paraguay.

El Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Sostenible (SNIDS) en coordinación con la Dirección General de Cuencas del Ministerio de Desarrollo Sostenible, desarrollaron en el 2000, el Proyecto del Mapa de Cuencas Hidrográficas de Bolivia, mediante el cual se determinó la delimitación de cuencas hidrográficas en tres niveles: Primer Nivel: Amazonas, Altiplano y del Plata; Segundo Nivel: 17 cuencas interdepartamentales y Tercer Nivel: 89 cuencas Intermunicipales.

Por su parte, en el año 2007 el Instituto de Hidrografía Naval ha publicado el Atlas Hidrográfico de Bolivia, con la descripción de ríos principales y sus tributarios principales a nivel de cuencas hidrográficas de todo el país.

El Ex-Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos, elaboró en el 2008 un mapa preliminar de Unidades Hidrográficas de Bolivia - Nivel 5 con la metodología de Pfafstetter, cuyo mapa e informe fue presentado con carácter preliminar en diciembre del 2008.

En el contexto regional, se debe señalar como antecedentes el mapa de delimitación y codificación de unidades hidrográficas con la metodología de Pfafstetter elaborado en sus respectivos territorios por Brasil en el 2003 y del Perú en el 2006.

Se debe señalar asimismo el proyecto de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas de Sudamérica hasta el nivel 3, a la escala 1:1.000.000, que la UICN-SUR y la SGCAN han elaborado en el 2008.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar el documento de unidades hidrográficas de Bolivia aplicando una metodología estándar internacional para la delimitación y codificación de cuencas, como un instrumento de apoyo en la gestión y planificación de los recursos hídricos en Bolivia.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar el archivo digital geo-referenciado del mapa de unidades hidrográficas de Bolivia en el nivel 5 a la escala 1:250.000 de carácter referencial.
- Elaborar el documento final de Unidades Hidrográficas de Bolivia.
- Elaborar el Manual de Descripción de la Metodología de Codificación de Unidades Hidrográficas.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO

Bolivia es un país donde las altitudes marcan diferencias no solo de relieve sino de clima, vegetación, suelos, flora y fauna. La diversidad de formas topográficas a lo largo y ancho del país, es resultado de la acción de fenómenos complejos de erosión, transporte y sedimentación, ligados con fenómenos de tectonismo y de vulcanismo (Montes de Oca, 2005).

Bolivia ocupa la parte central de Sur América y está situada entre los paralelos 9°38' y 22°53' latitud sur, abarcando 13 grados geográficos. Se encuentra en el hemisferio occidental, entre los meridianos 57°26' y 69°38' de longitud oeste de Greenwich. La superficie de Bolivia es de 1.098.581 km², limita al Norte y al Este con el Brasil, al Este y Sureste con el Paraguay, al Sur con Argentina, al Sur y al Oeste con Chile, al Oeste con el Perú.

Según los factores morfológicos y geológicos, el país puede dividirse en dos unidades mayores: el bloque andino elevado y frío, y los llanos bajos, húmedos y calientes. El bloque andino es el relieve montañoso cuyo límite inferior se establece en 500 msnm y su máxima altura en 6.542 m (Nevado Sajama), abarca el 38% del territorio boliviano y comprende las cordilleras Occidental y Oriental con el Altiplano, todos los valles y yungas, el subandino que es la región intermedia entre la cordillera Oriental y los llanos orientales. Los llanos abarcan el 62% del territorio boliviano (Montes de Oca, 2005).

Bolivia es un país donde se presenta una diversidad de climas desde el tropical en los llanos, hasta el polar en las altas cordilleras, además de la variabilidad espacial de las condiciones climatológicas, muchos lugares del país presentan climas irregulares a lo largo del año o variaciones grandes e imprevisibles.

La distribución de las temperaturas medias está en relación a la altitud; varía anualmente desde cerca de 25 °C en los llanos, hasta 18 °C en los valles y 10 °C en el altiplano. Las mayores temperaturas se sitúan al centro de los llanos orientales, con valores que sobrepasan los 27 °C. Valores igualmente elevados se encuentran en el sureste de Bolivia (Chaco). Al pie de la cordillera Oriental de los Andes, la temperatura es del orden de 20 °C, y decrece con la altura hasta alcanzar 0 °C hacia los 5.100 m. En el altiplano, en las zonas de altitud inferior a 4.000 m, las temperaturas medias anuales están comprendidas entre 7 °C y 10 °C (Montes de Oca, 2005).*

Bolivia es un país que cuenta con recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, con algunos contrastes, mientras en el suroeste se desarrolla una competencia importante para lograr el recurso hídrico, el noreste es escenario de una permanente lucha contra el exceso de agua, que produce peligrosas inundaciones.

El año 2001 sobre una extensión territorial de 1.098.581 km² se distribuyen irregularmente 8.274.325 habitantes, con una densidad poblacional de 7,56 habitantes por km², la edad media es de 21,5 años, tratándose de un país de estructura poblacional joven, el Censo 2001 muestra que el 38,65% tiene menos de 15 años de edad, 56,36% está en el grupo de edad de 15 a 64 años y 4,99% en el grupo de 65 años o más. Así mismo, según Censo 2001 el 62,4% es población urbana y el restante 37,6% población rural.

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

4.1. Información Principal:

El presente trabajo, se ha basado principalmente en cuatro estudios:

- **Unidades hidrográficas delimitadas hasta el nivel 3 de Sudamérica del Proyecto “Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del América de Sur”,** escala 1:1.000.000, (UICN - SGCAN 2008). Para lo cual se ha utilizado el modelo digital de elevación del Proyecto HydroSHEDS con una resolución de 15” de arco (450 metros aproximadamente). En el proyecto en mención se han determinado para Sudamérica 801 unidades hidrográficas en el nivel 3. En base a esta delimitación se prosiguió con la delimitación de las unidades hidrográficas en los niveles 4 y 5 para la regiones hidrográficas de Bolivia, con una resolución de 3” de arco (90 metros aproximadamente).

* Las temperaturas obtenidas están en base al Mapa de Isotermas de fuente: M. A. Roche, C. Fernández, N. Abasto, A. Aliaga, R. Arellano, J. Cortés, C. Cruz, O. Espinoza, R. Frils, W. Garcia, G. Lozada, J. Mariaca, J. Peña, N. Rocha, 1990.

- **Proyecto de “Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú”**, escala 1:100.000, elaborado por la Intendencia de Recursos Hídricos del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) del Perú, en el año 2006. Se empleó la Carta Nacional Topográfica del Perú (1:100.000) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) mediante procedimientos de delimitación manual sobre pantalla, apoyándose de información de modelos digitales de elevación del Proyecto SRTM (3” de arco) principalmente en zonas de la región amazónica y parte baja de los valles costeros. En el proyecto en mención se determinaron 978 unidades hidrográficas en el nivel 5. Este trabajo ha contribuido en la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas de la región hidrográfica 0, especialmente de la unidad hidrográfica 01 (Sistema Titicaca – Poopó – Salar de Coipasa).

- **Modelos Digitales de Elevación – 3” de arco** (90 metros de resolución espacial aproximadamente).

Proviene del proyecto HydroSheds, que fue desarrollado por el Programa de Ciencias de Conservación del World Wildlife Fund (WWF), en conjunto con el U.S. Geological Survey (USGS), el International Center for Tropical Agriculture (CIAT), The Nature Conservancy (TNC) y el Center for Environmental Systems Research (CESR) de la Universidad de Kassel Alemania, que construyeron en el año 2006 la base digital raster hidrográfica de Sudamérica, basado en los modelos digitales de elevación del Proyecto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA (2000).

- **Archivo digital HYDRO1K**, contiene aspectos hidrográficos derivados del GTOPO30 creado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) con financiamiento de Brasil y de la FAO. Disponible en Internet desde de junio del 2001.
 - Formato: Vectorial - cauces y unidades hidrográficas
 - Formato Digital: Shapefile ArcView
 - Organizada por continentes
 - Sistema de Coordenadas: Lambert Azimuthal Equal Area

4.2. Información Complementaria:

- **Carta Digital del Mundo - Digital Chart of the World (DCW)**, es un producto de Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI), originalmente desarrollado por US Defense Mapping Agency (DMA) en 1993 a escala 1:1.000.000. El trabajo de compilación de ESRI, eliminación de detalles y acondicionamiento de bordes se inició en 1996 y culminó en 1997. El producto está organizado por bloques de 5 grados de lado, conteniendo hasta más de 25 capas temáticas en formato Arc/INFO.

- **Cartografía digital hidrográfica de Bolivia**, proporcionada por el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego del Ministerio del Medio Ambiente y Agua de Bolivia. Escala 1:500.000. Proyección Cónica Conforme de Lambert, datum WGS84.

4.3. Proyecto SRTM

La Misión Espacial de Topografía de Radar - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) – obtuvo datos topográficos de más del 80% de la superficie terrestre, creando la primera colección de datos de elevaciones del mundo.

El propósito de la misión fue obtener un modelo digital de elevación del globo terráqueo entre 56 °S a 60 °N, de modo de generar una completa base de cartas topográficas digitales de alta resolución de la Tierra.

El SRTM consiste en un sistema de radar especialmente modificado que voló a bordo del transbordador Endeavour durante los 11 días de la misión STS-99 de febrero del 2000. Para adquirir los datos de elevación topográfica estereoscópica, el SRTM llevaba dos reflectores de antenas de radar. Cada reflector-antena estaba separado del otro 60 metros gracias a un mástil que extendía la anchura transbordador en el espacio (Ver figuras 1 y 2). La técnica empleada conjuga software interferométrico con SAR radares con anchos "sintéticos" en sus antenas reflectoras.

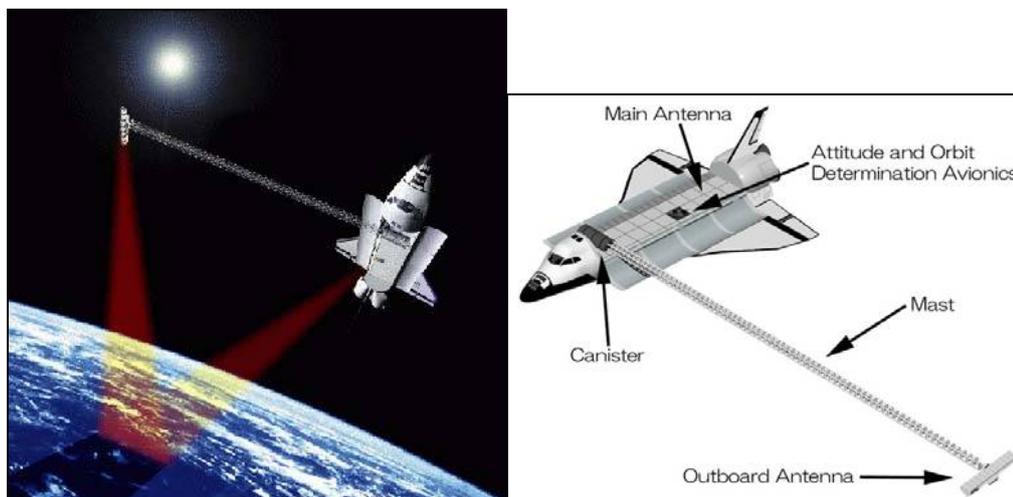


Figura N° 1: Transbordador Endeavour: Proceso de captación de la señal. (Fuente Deutsches Zentrum für Luft – und Raumfahrt)

Figura N° 2: Fuente: Transbordador Endeavour: Equipo receptor (Japan Aerospace Exploration Agency).

Los modelos de elevación se arreglan en pixeles de 1° de latitud por 1° de longitud, nombrados de acuerdo a sus esquinas suroestes. Entonces "n45e006" = 45°00'N 6°00'E a 46°00'N 7°00'E y "s45w006" = 45°00'S 6°00'O a 44°00'S 5°00'O.

La resolución de las celdas de los datos fuente es de 1 arco segundo, sobre EE. UU. y en el resto del mundo, 3 arco segundo. En cada tres arcos segundo de celda hay 1.201 filas, y cada fila consiste en 1.201 celdas de 16 bit bigendiano.

Los modelos de elevación derivados de los datos del SRTM se usan con el software del SIG Sistema de Información Geográfica, que pueden accederse gratuitamente en internet, y cuya extensión (.hgt) es soportada por muchos software.

La Misión Topográfica de Radar es un proyecto internacional entre la Agencia de Inteligencia Geoespacial Nacional, NGA y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA.

Características del Modelo Digital de Elevación - SRTM:

Elevación cada segundo de arco (30 metros) y tres segundos de arco (90 metros).

Precisión horizontal: +/- 23 metros.

Precisión vertical: +/- 18 metros.

Datum Horizontal: World Geodetic System 1984 (WGS84)

Datum Vertical: Nivel Medio del Mar del Geoide WGS84 – Earth Gravitational Model (EGM).

4.4. Proyecto HydroSHEDS

HydroSHEDS (Global **H**ydrological data and maps based on **S**huttle **E**levation **D**erivatives at multiple **S**cales) es un nuevo e innovador producto que provee información hidrográfica en un consistente y comprensible formato para aplicaciones de escala regional y global. HydroSHEDS ofrece un conjunto de datos geo-referenciados, incluyendo redes de drenaje, límites de cuencas, dirección de drenaje, acumulación de flujo, distancias e información topológica de ríos.

El objetivo de desarrollo de HydroSHEDS ha sido clave para generar capas de datos para apoyar al análisis regional y mundial de cuencas, modelación hidrológica y planificación de la conservación de la calidad del agua dulce. Los rangos de las resoluciones disponibles van a partir de 3 segundos de arco (aproximadamente 90 metros en el Ecuador) a 5 minutos (aproximadamente 10 km en el Ecuador) con alcance mundial, sin vacíos.

HydroSHEDS es derivado de los datos de elevación de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) a 3 segundos de arco de resolución, por lo tanto sus productos poseen los mismos valores de confiabilidad de este. Los datos originales del SRTM han sido acondicionados hidrológicamente mediante una secuencia de procedimientos automatizados. Los métodos existentes de mejora de datos y los nuevos algoritmos desarrollados han sido aplicados en el llenado de vacíos, en el filtrado, determinación de flujos y técnicas de aumento de la escala. Correcciones manuales se realizaron donde fueron necesarios.

HydroSHEDS ha sido desarrollado por el Conservation Science Program of World Wildlife (WWF), en colaboración con el United States Geological Survey (USGS), el International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), The Nature Conservancy (TNC), y el Center for Environmental Systems Research (CESR) de la Universidad de Kassel, Alemania.

Los datos de HydroSHEDS están disponibles en internet para uso no comercial. Los datos para América del Sur, el primer subcontinente que se completó, están disponibles desde abril del 2006 y la información de las otras regiones del mundo desde el 2008, en la página <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/>. (Ver figuras 3 y 4)

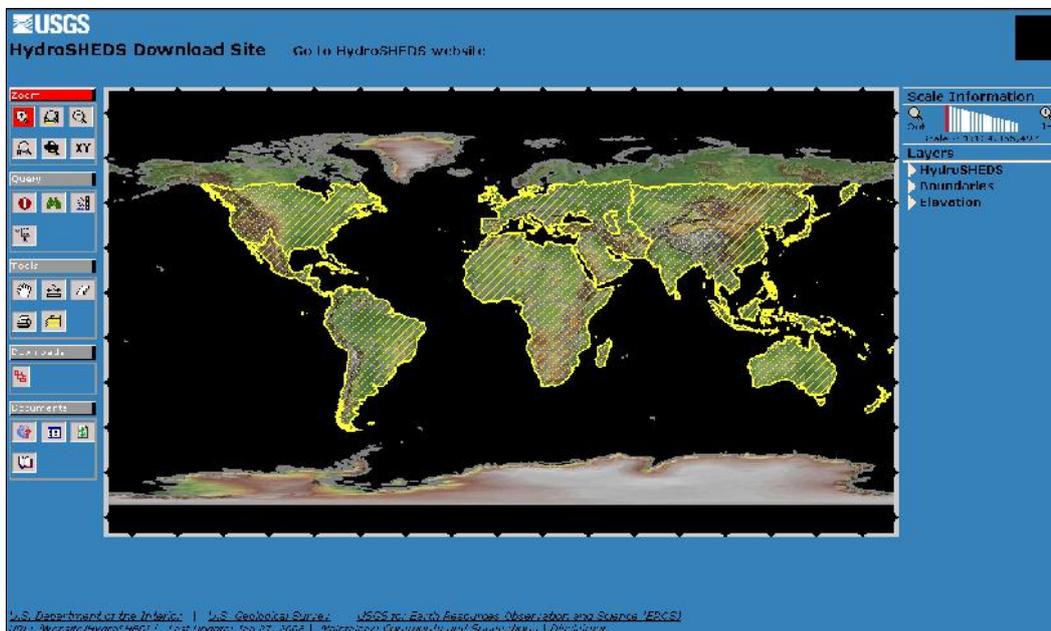


Figura N° 3: HydroSHEDS: Cobertura de los datos

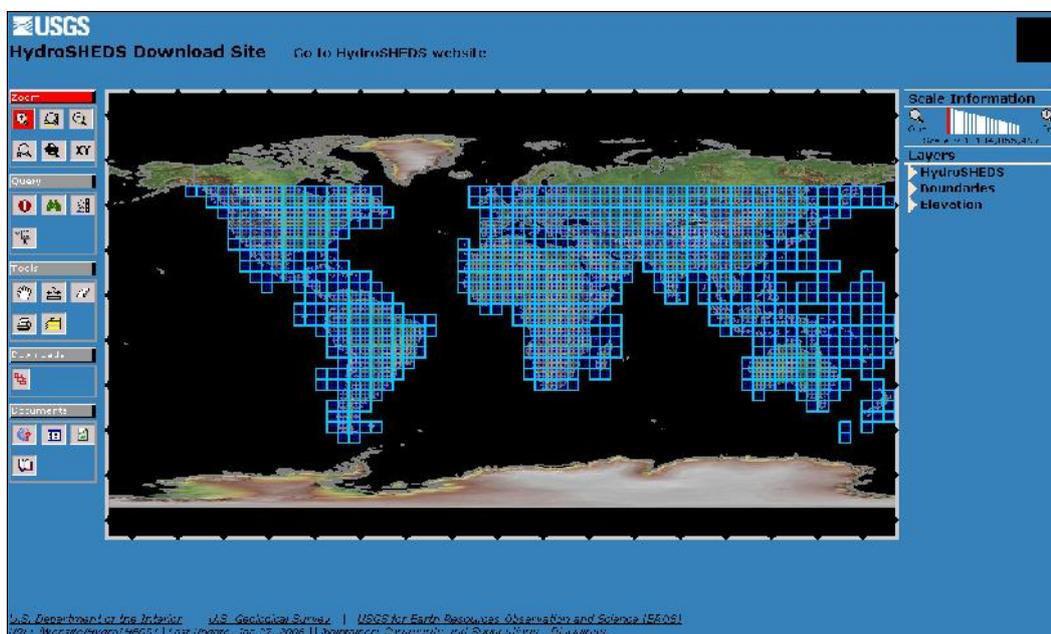


Figura N° 4: HydroSHEDS: Mosaicos de descarga de datos

4.4.1. Información del Proyecto HydroSHEDS para Bolivia:

El territorio boliviano está cubierto por 9 mosaicos de 5 grados de lado según la información HydroSHEDS (s10w070, s15w070, s15w065, s20w070, s20w065, s20w060, s25w070, s25w065, s25w060). (Ver figura N° 5)

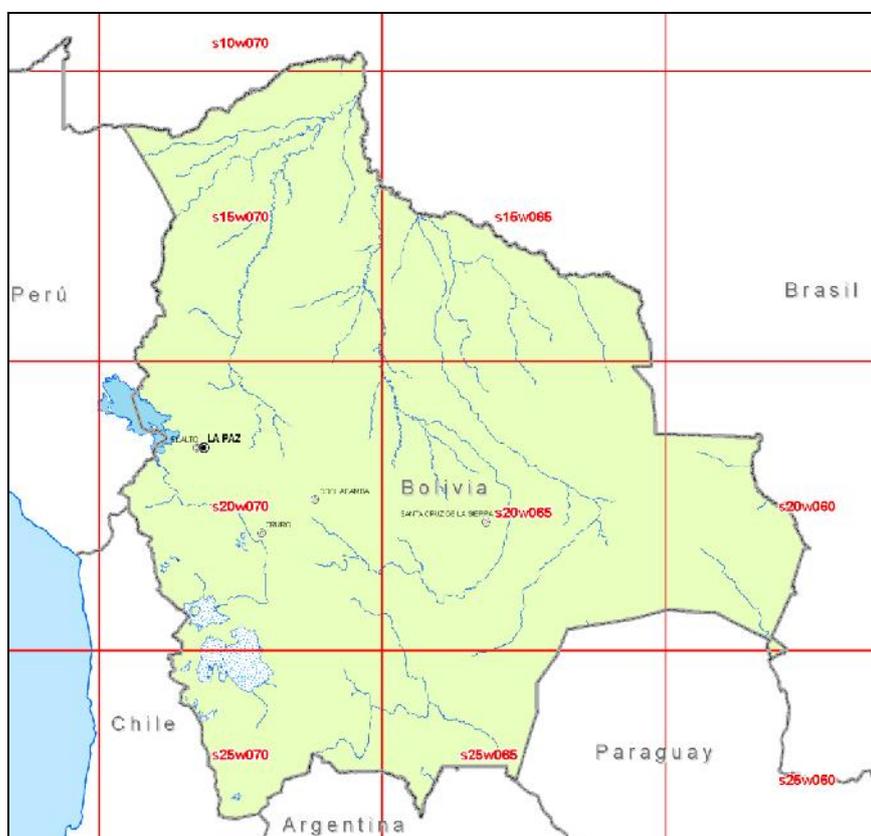


Figura N° 5: Bolivia - Mosaico de información HydroSHEDS

5. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO PARA LA DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LA UNIDADES HIDROGRÁFICAS

La metodología utilizada para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Bolivia ha sido la de Pfafstetter. Se ha desarrollado asimismo, una serie de procedimientos técnicos específicos, al cual denominamos procedimiento.

5.1. METODOLOGÍA

La metodología para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Bolivia ha sido la metodología de Pfafstetter, la misma que de manera resumida a continuación se describe:

5.1.1. Método Pfafstetter

Es una metodología que consiste en asignar Identificadores (Ids) a unidades de drenaje basados en la topología de la superficie o área de la unidad hidrográfica o de drenaje; es decir asigna identificadores (códigos) a una unidad hidrográfica en función de la unidad de mayor nivel que la contiene, del tipo de unidad hidrográfica (cuenca, intercuenca o cuenca interna) y de la ubicación relativa de la misma.

Características Principales

- El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (punto de confluencia de ríos) o desde el punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano.
- A cada unidad hidrográfica se le asigna un específico código Pfafstetter, basado en el tipo de unidad hidrográfica y en su ubicación dentro del sistema de drenaje que ocupa, de tal forma que el código es único dentro al interior de un continente.
- Este método hace un uso mínimo de la cantidad de dígitos en los códigos, lo cual permite que el número de dígitos describe el nivel de la unidad hidrográfica.
- La distinción entre río principal y tributario es en función del área drenada o tamaño de la unidad hidrográfica. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que está contenido en la unidad hidrográfica de mayor área de drenaje.

Unidad Hidrográfica

El concepto de unidad hidrográfica fue creado por Otto Pfafstetter en 1989, por esta razón a estas unidades se les suele denominar también “ottocuenas”.

Las *unidades hidrográficas* son área de drenaje limitadas por líneas divisorias de aguas, y que se relacionan espacialmente por sus códigos.

Tipos de Unidades Hidrográficas

El método de Pfafstetter describe tres clases de unidades hidrográficas o de drenaje: cuencas, intercuencas y cuencas internas.

- 1) **Cuenca**, es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje a través del curso del río principal.
- 2) **Intercuenca**, es un área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, mediante el curso del río considerado como el principal y permite el tránsito de las aguas hacia la unidad de drenaje que se ubica hacia aguas abajo. Una intercuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal.
- 3) **Cuenca interna**, es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje, frecuentemente suele contar con un cuerpo de agua (lago) en la parte central de la unidad en el cual confluyen los cursos que en ella se encuentran.

Proceso de Codificación

En principio se debe determinar cuál es el curso del río principal que para el caso de esta metodología se determina en función del área de las unidades hidrográficas que lo contienen.

Una vez definido el curso del río principal, se deben identificar las cuatro unidades hidrográficas de área de drenaje que confluyen al río principal constituyéndose las mismas en unidades hidrográficas tipo cuenca que son codificadas con los dígitos pares **2, 4, 6 y 8**, en el sentido de aguas abajo hacia aguas arriba, es decir desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Las áreas restantes, se agrupan en unidades hidrográficas denominadas intercuenca, que se codifican, con los dígitos impares **1, 3, 5, 7 y 9**, desde aguas abajo hacia aguas arriba. La unidad hidrográfica 9 constituye la cabecera de cuenca, es decir bajo esta metodología contiene el origen del curso del río principal.

Las unidades hidrográficas tipo cuenca e intercuenca, que resultan de la delimitación y codificación en el nivel 1, pueden a su vez ser delimitadas y codificadas en un siguiente nivel (nivel 2) siguiendo el mismo procedimiento, de modo que la delimitación de la unidad hidrográfica tipo cuenca **8** permite determinar al interior de la misma las unidades hidrográficas tipo cuenca de códigos 82, 84, 86 y 88, así como las unidades hidrográficas tipo intercuenca 81, 83, 85, 87 y 89. El mismo procedimiento se aplica a las intercuenca resultantes de la primera división, de modo que la intercuenca 3, por ejemplo, se subdivide en las unidades tipo cuenca de códigos 32, 34, 36 y 38 y en las unidades tipo intercuenca 31, 33, 35, 37 y 39. (Ver figura N° 6)

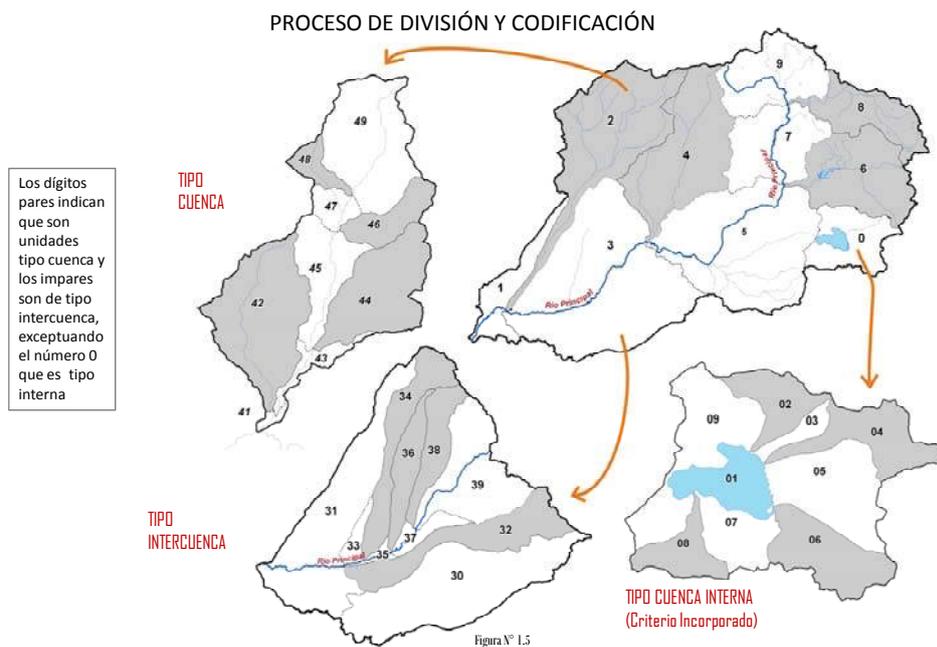


Figura N° 6

5.2. PROCEDIMIENTO

Consiste del proceso técnico que se adopta para la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas. Este procedimiento puede ser variable de acuerdo a la herramienta SIG que se utiliza, así como de la experiencia y de las capacidades técnicas y de análisis de la información espacial que tenga el usuario.

En el presente trabajo se ha diseñado un procedimiento basado en la metodología de Pfafstetter, tanto para el proceso de delimitación como para el proceso de codificación de unidades hidrográficas. Para mayor detalle remítase al *Anexo 4* del presente documento, en el cual se adjunta el “Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas”.

Este procedimiento considera los siguientes aspectos:

Proceso semiautomático para delimitación de unidades hidrográficas

Este proceso está basado en el uso de modelos digitales de elevación (MDE) como las imágenes de radar topográfico del proyecto HydroSheds – USGS con 3” de arco de resolución espacial, para la delimitación de las unidades hidrográficas.

Procedimiento:**1) Generación de áreas de drenaje, cuencas o watersheds:**

Este proceso consiste en determinar semiautomáticamente las áreas de drenaje o cuencas (watersheds) con el criterio de delimitación de la metodología Pfafstetter. (Ver figura N° 7), el cual comprende los siguientes subprocesos:

- a. Generación de la dirección de flujo
- b. Generación de la acumulación de flujo
- c. Determinación del umbral de acumulación de flujo específico
- d. Reclasificación de la acumulación de flujo específico
- e. Generación de la red de drenaje relevante
- f. Generación de unidades hidrográficas (watersheds)



Figura N° 7

2) Generación Vectorial de Unidades Hidrográficas:

Este proceso consiste en convertir las unidades hidrográficas o watersheds obtenidos, al formato vectorial de tipo polígono. Está comprendido por los siguientes subprocesos:

- a. Conversión de raster a polígono
- b. Conversión de polígonos a líneas
- c. Generalización de las líneas obtenidas
- d. Conformación de una nueva capa de líneas sólo con los arcos de interés
- e. Reconversión de líneas a polígonos

Codificación de unidades hidrográficas

El proceso de codificación consiste en ingresar los valores correspondientes de cada unidad hidrográfica en la respectiva tabla de atributos, representada visualmente por una estructura tabular, en la cual los registros –filas- representan a cada una de las unidades hidrográficas y las columnas –campos- las respectivas características de estas unidades.

6. UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA

6.1. CONFIABILIDAD

La confiabilidad permite conocer a través de un valor porcentual la precisión de la información con respecto a los valores reales. La confiabilidad del presente trabajo está determinada a partir de los valores de precisión de los datos utilizados como fuente.

1) Confiabilidad de las Fuentes de Información

La información fuente del presente trabajo es el producto del Proyecto HydroSHEDS (ver capítulo 4), que a su vez está basado en los Modelos Digitales de Elevación (DEM) de la misión SRTM, cuyas imágenes de radar poseen una precisión horizontal de +/- 23 metros (Ver capítulo 4).

En cuanto a la precisión horizontal, el error indicado (+/- 23 m) referido a la escala 1:250.000 puede considerarse despreciable, sin embargo se debe considerar que esta información cuenta con una resolución espacial de 90 metros aproximadamente, lo que resulta que detalles del terreno menores a esta distancia no sean “observables”, lo que equivale a decir 0,36 mm en el mapa (1:250.000), con lo cual la precisión aproximada es del 96,4%.

Otro punto a considerar en el cálculo de la confiabilidad, es la precisión del suavizado automático de los elementos lineales que conforman la delimitación de unidades hidrográficas, obtenidas del proceso semiautomático. Esta precisión se estima en 90%.

2) Cálculo de la Confiabilidad de la Delimitación de las Unidades Hidrográficas (CDUH)

A = Precisión de la delimitación digital: 96,4%

B= Precisión de suavizado automático de líneas: 90%

$$CDUH = \frac{A + B}{2} = \frac{96,4 + 90}{2} = 93,2\%$$

Por tanto, **CONFIABILIDAD DEL PROYECTO (CDUH) = 93%**

6.2. CÁLCULO DE ÁREAS

La proyección cartográfica o proyección geográfica es un sistema de representación gráfica que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana (mapa). Estos puntos se localizan auxiliándose en una red de meridianos y paralelos, en forma de malla. La única forma de evitar las distorsiones de esta proyección sería usando un mapa esférico lo cual es muy poco utilizado en la práctica.

Una buena proyección debe tener dos características, que conserve las áreas (equivalencia) y que conserve los ángulos (conformidad). Desafortunadamente no es posible tener ambas características a la vez (sería como hallar la cuadratura del círculo), por lo que se recurre a soluciones intermedias. Cuando una proyección conserva los ángulos de los contornos se dice que es una proyección ortomórfica o conforme, pero estas proyecciones no conservan las áreas.

Las proyecciones que conservan las áreas se denominan proyecciones equivalentes. Existen diversos tipos de proyecciones equivalentes, debiéndose optar por la que mejor represente a la región de interés. Para Sudamérica se recomienda la Proyección Cónica Equivalente de Albers.

Para el caso de Bolivia, el presente trabajo ha empleado la Proyección Cónica Equivalente de Albers para la determinación de las áreas de las unidades hidrográficas con los parámetros que el sistema SIG tiene por defecto para Suramérica:

<i>Falso Este</i>	: 0,000000
<i>Falso Norte</i>	: 0,000000
<i>Meridiano Central</i>	: -60,000000
<i>Paralelo Standard 1</i>	: -5,000000
<i>Paralelo Standard 2</i>	: -42,000000
<i>Latitud de Origen</i>	: -32,000000
<i>Unidad Lineal</i>	: metro

El área total de superficies parciales de unidades hidrográficas calculada mediante el sistema SIG (área SIG) es: 1.084.811,16 Km². Para la obtención de la superficie de Bolivia (1.098.581 km²) se realizó un ajuste cartográfico a los valores obtenidos mediante SIG (Ver Cuadro N° 2).

6.3. RESULTADOS OBTENIDOS

6.3.1 NIVEL CONTINENTAL AMÉRICA DEL SUR

El continente sudamericano está constituido, en el nivel 1, por 10 unidades o regiones hidrográficas.. (Ver cuadro N° 1, Unidades Hidrográficas nivel 1: Sudamérica y figura N° 8)

Cuadro N° 1
Unidades Hidrográficas Nivel 1: Sudamérica

Código	Nombre	Área (Km ²)
0	Región Hidrográfica 0	583.404,55
1	Región Hidrográfica 1	1.232.100,04
2	Región Hidrográfica Orinoco	934.339,31
3	Región Hidrográfica 3	589.484,10
4	Región Hidrográfica Amazonas	5.892.235,65
5	Región Hidrográfica 5	110.352,54
6	Región Hidrográfica Tocantins	769.445,28
7	Región Hidrográfica 7	281.0797,57
8	Región Hidrográfica dela Plata	2.588.980,33
9	Región Hidrográfica 9	2.226.534,75
TOTAL		17.737.674,12



Figura N° 8: Regiones Hidrográficas Nivel 1: Sudamérica y ubicación de Bolivia en el contexto regional.

Las Regiones Hidrográficas 0, 4 y 8 del Nivel 1 de Sudamérica tienen parte de su territorio en Bolivia. La Región Hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas) es la de mayor extensión dentro del territorio boliviano. (Ver Cuadro N° 2 y Figura N° 9)

Cuadro N° 2
Superficie por Regiones Hidrográficas

Región Hidrográfica	Área	
	(Km ²)	(%)
Región Hidrográfica 0	151.722	13,81
Región Hidrográfica 4 (cuenca del río Amazonas)	720.792	65,61
Región Hidrográfica 8 (cuenca del río de la Plata)	225.492	20,53
TOTAL	1.098.581	100,00



Figura N° 9 Bolivia: Regiones Hidrográficas (Unidades Hidrográficas de Nivel 1)

Cuadro N° 3
Bolivia: Región Hidrográfica 0 - Nivel 2

Unidad Hidrográfica	Área	
	Km ²	Porcentaje
Unidad Hidrográfica 01	89.378,51	58,91
Unidad Hidrográfica 02	59.280,37	39,07
Unidad Hidrográfica 03	2.881,42	1,90
Unidad Hidrográfica 05	181,76	0,12
Total	151.722,06	100,00

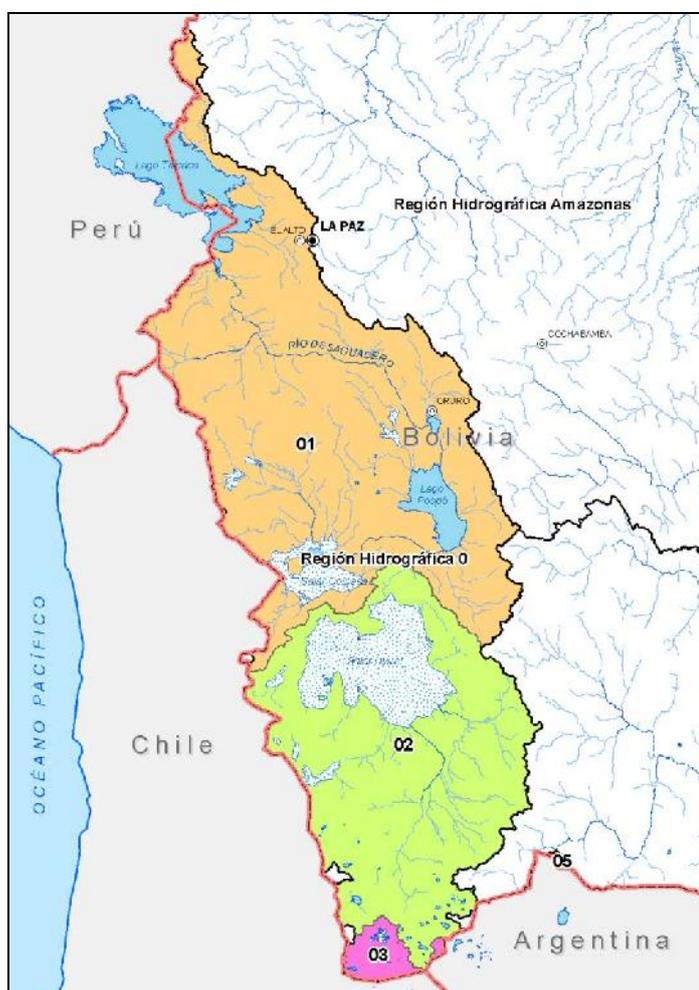


Figura N° 11 Bolivia: Región Hidrográfica 0 - Nivel 2

B. Delimitación y Codificación de la Región Hidrográfica 0 del territorio boliviano en el Nivel 3

La región hidrográfica 0, en el nivel 3, comprende en territorio boliviano 21 unidades hidrográficas. (Ver Cuadro N° 4)

Cuadro N° 4

Región Hidrográfica 0: Número de Unidades Hidrográficas Nivel 3

Unidad Hidrográfica	N° de unidades Nivel 3
01	7
02	9
03	4
05	1
Total	21

En el nivel 3 la unidad hidrográfica 022 (cuenca Uyuni) es la de mayor superficie con 47.634 km², seguida por la unidad hidrográfica 013 con 41.614,12 Km², la cual está comprendida íntegramente en territorio boliviano. (Ver figura N° 12)

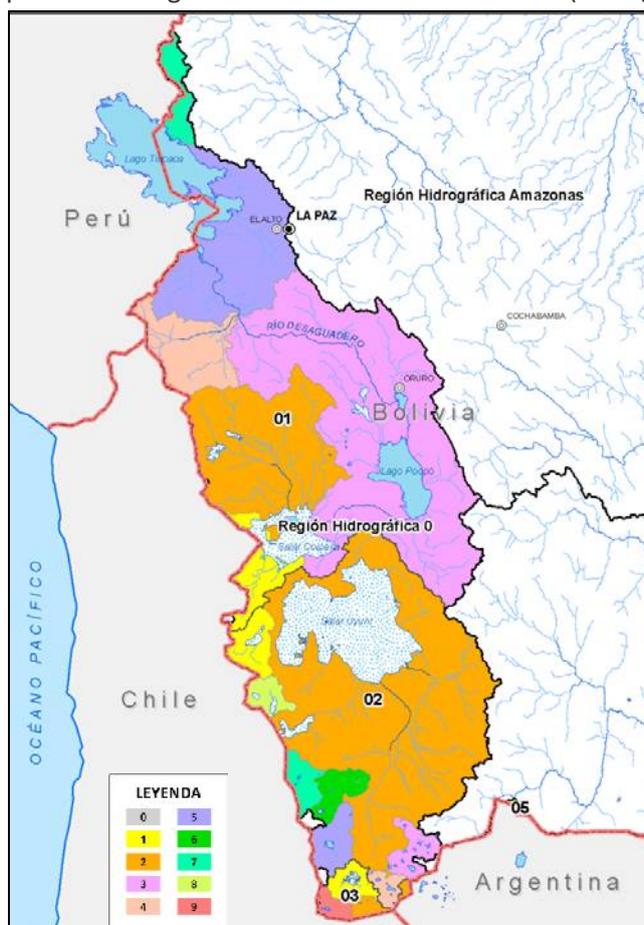


Figura N° 12 Bolivia: Región Hidrográfica 0 - Nivel 3

C. Delimitación y Codificación de la Región Hidrográfica 0 del territorio boliviano en el Nivel 4

En territorio boliviano, la región hidrográfica 0, en el nivel 4, comprende de 122 unidades hidrográficas. (Cuadro N° 5)

Cuadro N° 5
Región Hidrográfica 0: Número de Unidades Hidrográficas Nivel 4

Unidad Hidrográfica	N° de unidades Nivel 4
01	55
02	50
03	16
05	1
Total	122

En la unidad hidrográfica 01 la unidad de mayor superficie en el Nivel 4, es la unidad hidrográfica 0133 con 11.077,36 km². En la unidad hidrográfica 02, la unidad 0229, es la de mayor superficie con un área de 13.176,41 km² (Ver figura N° 13).

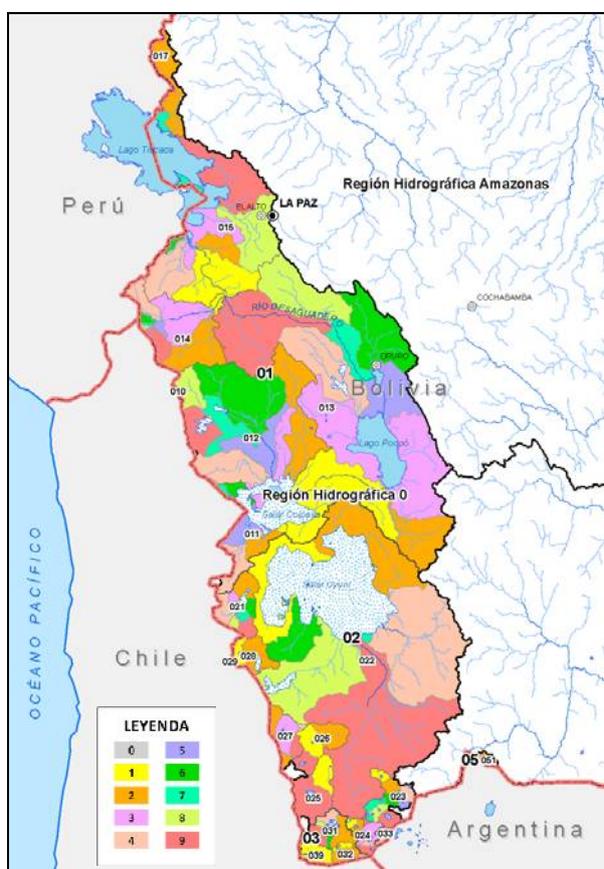


Figura N° 13 Bolivia: Región Hidrográfica 0 – Nivel 4

En la Unidad Hidrográfica 03, la unidad de mayor superficie, comprendida en territorio boliviano es la unidad hidrográfica 0391 con 742,33 km² y en la unidad hidrográfica 05, la unidad 0512 es la de mayor área con 181,76 km².

D. Delimitación y Codificación de la Región Hidrográfica 0 del territorio boliviano en el Nivel 5

La Región Hidrográfica 0 tiene en Bolivia 656 unidades hidrográficas en el nivel 5, sin embargo existen dos unidades hidrográficas de nivel 3 y 10 unidades hidrográficas de nivel 4 que no han sido delimitadas en niveles de mayor detalle debido a su reducido tamaño (menores a 50 km²) (Ver figura N° 14).

La unidad hidrográfica 01 contiene en el territorio boliviano 322 unidades hidrográficas de nivel 5; la unidad 01332 es la de mayor superficie con 5.052,58 km² (Ver figura N° 15).

La unidad hidrográfica 02 contiene 240 unidades hidrográficas de nivel 5, la unidad de mayor área es la 02299 con 4.409,88 km². (Ver figura N° 16)

Cuadro N° 6

Región Hidrográfica 0: Número de Unidades Hidrográficas Nivel 5

Unidad Hidrográfica	N° Unidades Nivel 5
01	322
02	240
03	50
05	2
Total	656

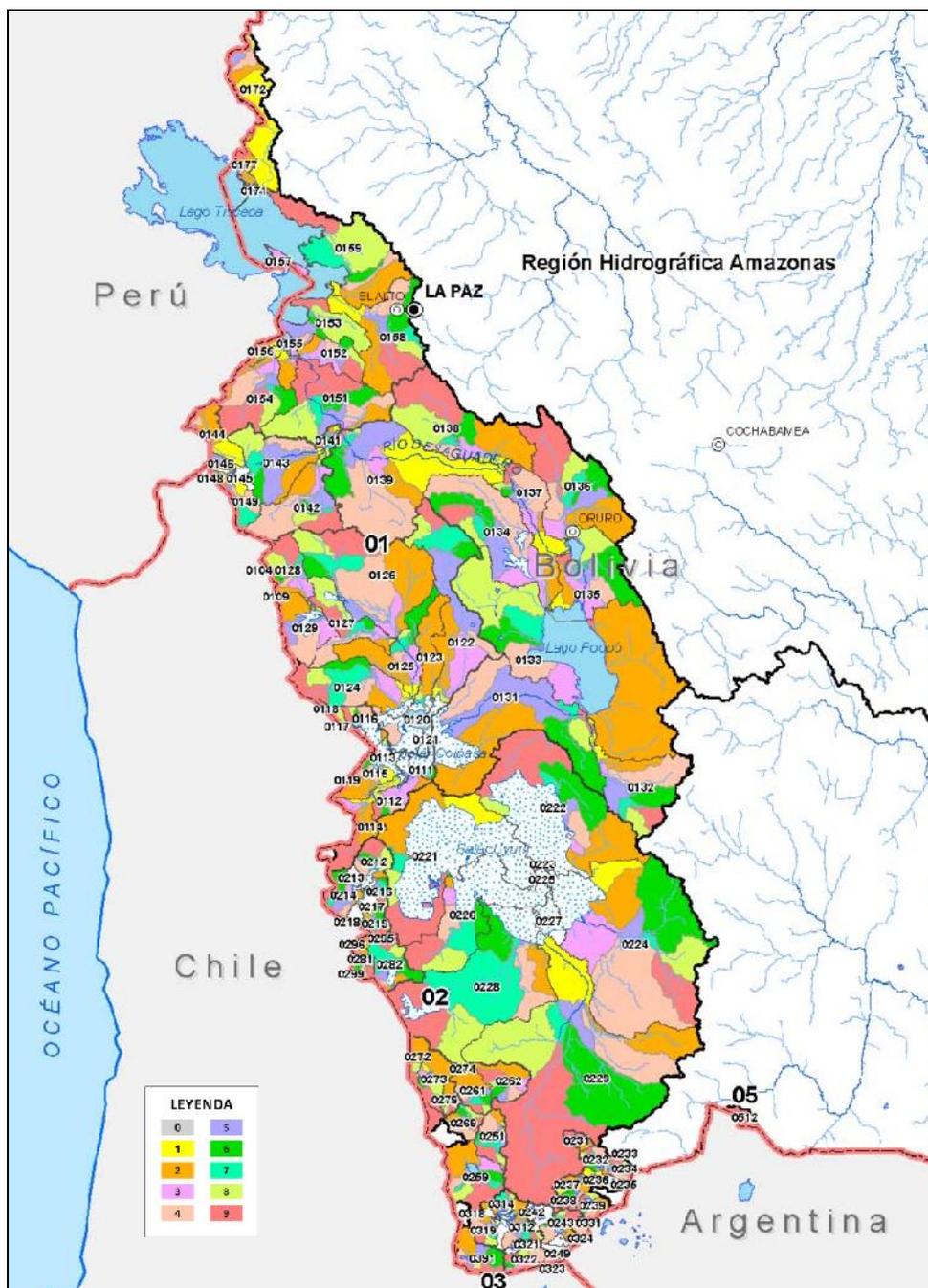


Figura N° 14 Bolivia: Región Hidrográfica 0 – Nivel 5

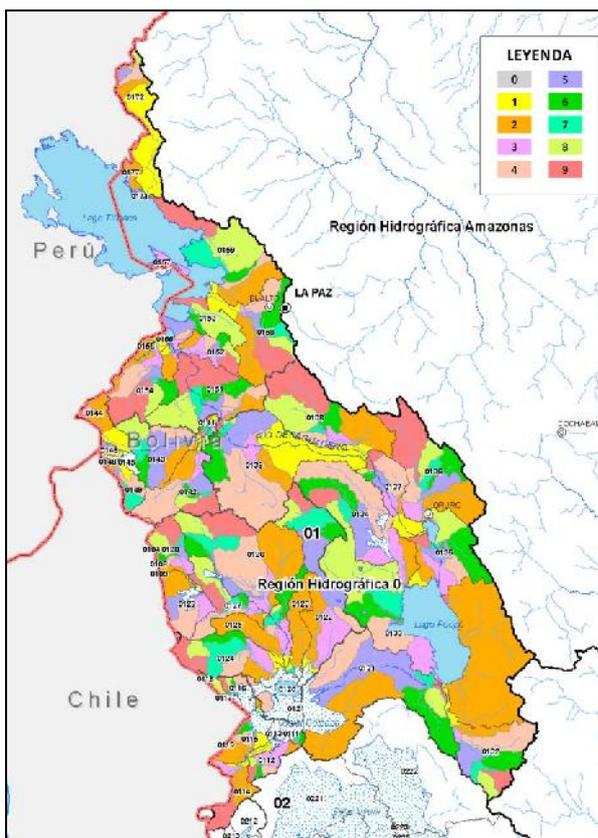


Figura N° 15: Unidad Hidrográfica 01 – Nivel 5

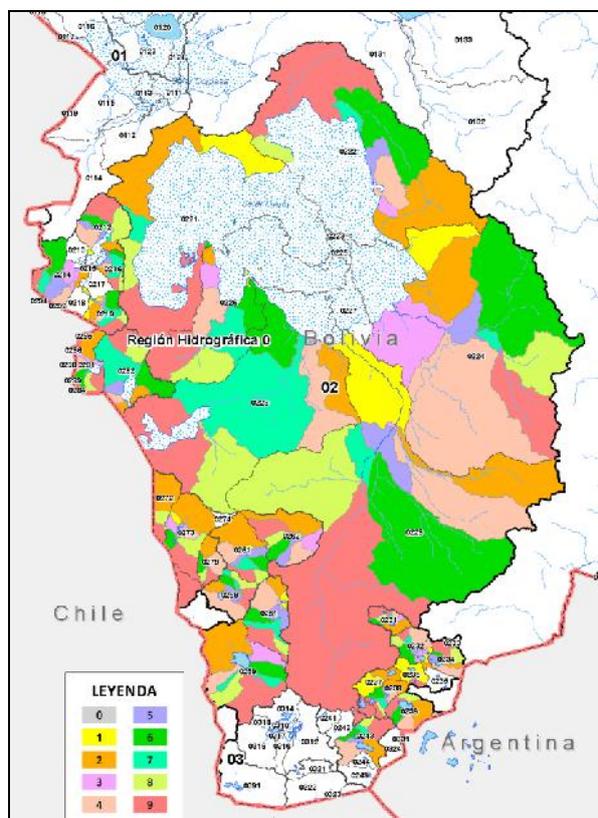


Figura N° 16: Unidad Hidrográfica 02 – Nivel 5

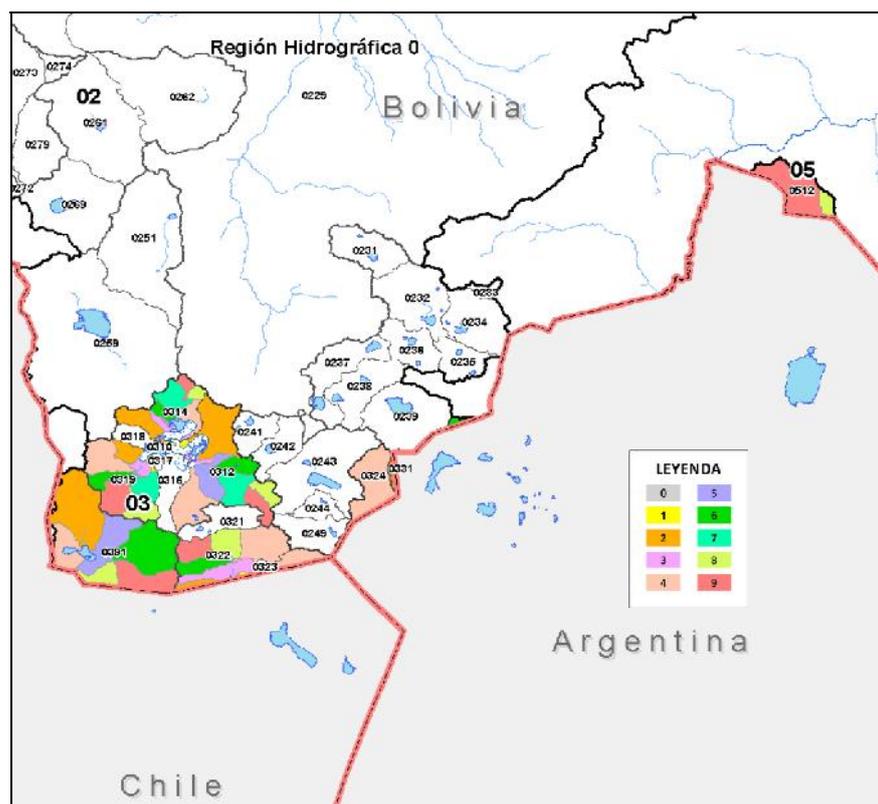


Figura N° 17 Unidades Hidrográficas 03 y 05 - Nivel 5

E. Delimitación de unidades hidrográficas en los salares altiplánicos

Los salares son el resultado de un largo proceso de sedimentación de sales (cloruros, sulfatos, nitratos, boratos, etc.) de lagos superficiales que no drenan al exterior por el carácter hidrológicamente cerrado del lago (endorreico), este proceso generalmente está asociado a un clima árido con altas tasas de evaporación.

La delimitación de unidades hidrográficas en los salares, se ha desarrollado según la metodología de delimitación y codificación de unidades hidrográficas endorreicas o cuencas internas (ver *Anexo 4: "Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas"*). Los modelos digitales de elevación SRTM, que a su vez fueron hidrológicamente acondicionados por el Proyecto HydroSHEDS, han permitido definir los cursos sobre los salares, a través de procesos de "dirección de flujo" y "acumulación de flujo", cuestión que ha posibilitado a su vez la determinación de las unidades hidrográficas (watersheds). (Ver figuras N° 18 y 19).

En el "Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas" (Ver *Anexo 4*), se detalla el procedimiento para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas de tipo endorreica.

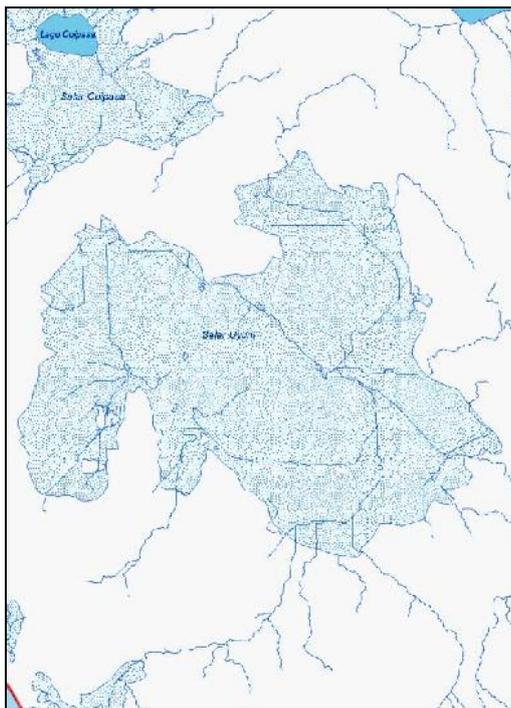
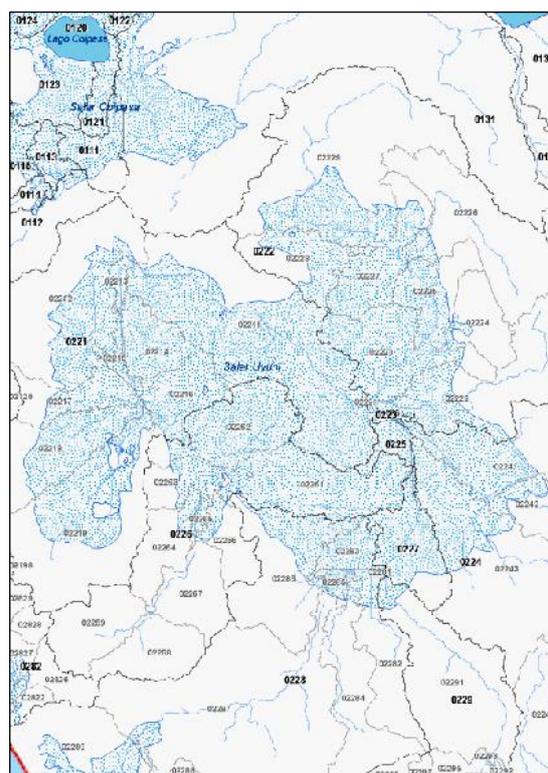


Figura N° 18 Determinación de cursos en salares: Los procesos de dirección y acumulación de flujo, permiten determinar algunos cursos sobre los salares.

Figura N° 19 Determinación de unidades hidrográficas (watersheds) en salares: A partir de la determinación de los cursos se delimitan automáticamente las unidades hidrográficas.



6.3.3 REGIÓN HIDROGRÁFICA 4 - CUENCA DEL RIO AMAZONAS

La región hidrográfica 4, cuenca del río Amazonas, comprende en Bolivia una superficie de 720.792,10 km², abarcando los departamentos: Pando, Beni, Cochabamba, norte de La Paz, y parte de Santa Cruz y Chuquisaca. (Ver Figura N° 20)

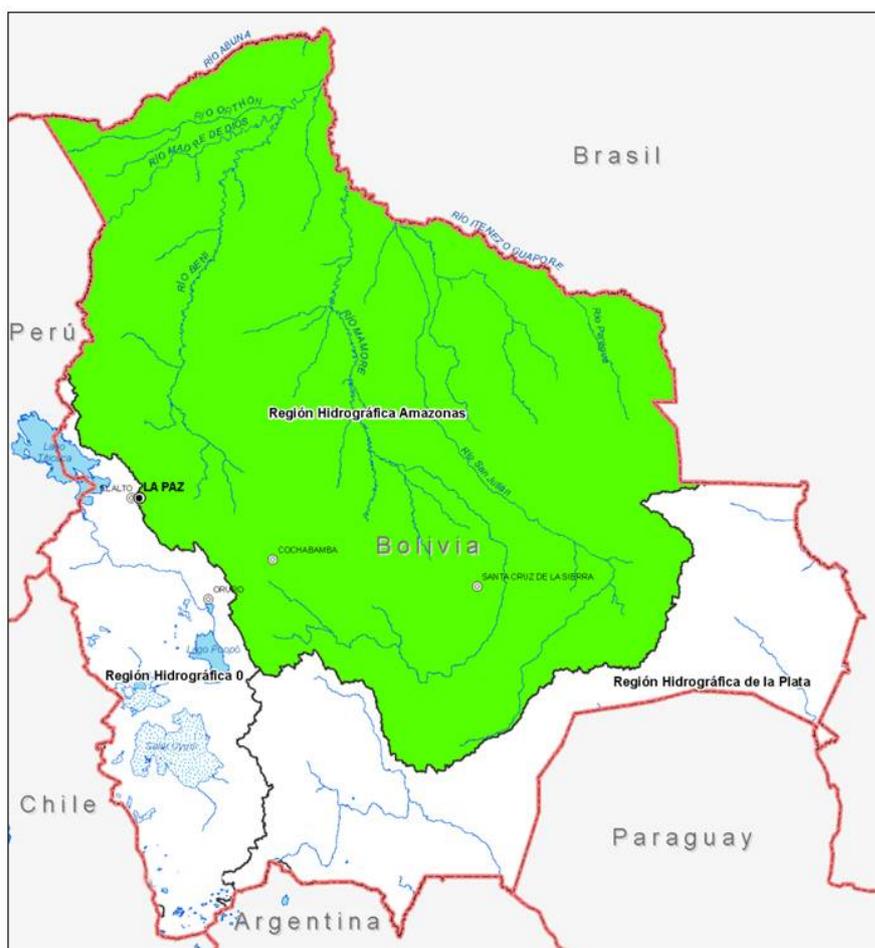


Figura N° 20 Bolivia: Región Hidrográfica 4 (Cuenca del río Amazonas) – Nivel 1

A. Delimitación y codificación de la Región Hidrográfica 4 del territorio boliviano en el Nivel 2

La región hidrográfica 4, en el nivel 2, comprende en territorio boliviano 2 unidades hidrográficas (unidades 49 y 46). (Ver Cuadro N° 7)

Cuadro N° 7
Bolivia: Región Hidrográfica 4 - Nivel 2

Unidad Hidrográfica	Área	
	Km ²	Porcentaje
Unidad Hidrográfica 46 (cuenca del río Madera)	718.810,71	99,73
Unidad Hidrográfica 49	1.981,39	0,27
Total	720.792,10	100,00

La unidad hidrográfica 46 (Cuenca del río Madera) tiene un área en territorio boliviano de 718.810,71 km². (Ver figura N° 21)

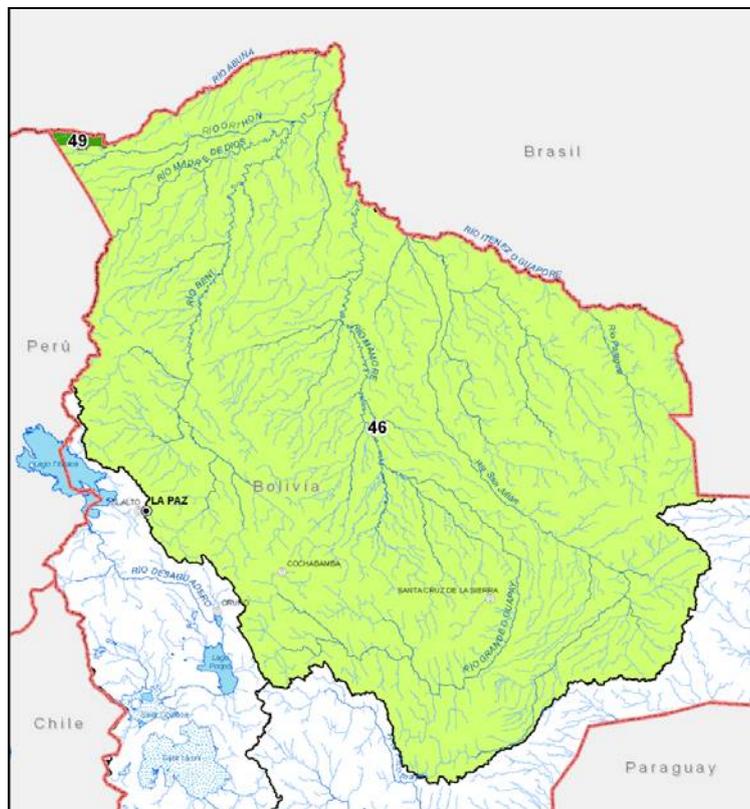


Figura N° 21 Bolivia: Región Hidrográfica 4 (Cuenca del río Amazonas) - Nivel 2

B. Delimitación y codificación de la Región Hidrográfica 4 del territorio boliviano en el Nivel 3

La región hidrográfica 4, en el nivel 3, comprende en territorio boliviano 8 unidades hidrográficas. (Ver Cuadro N° 8). La unidad hidrográfica de mayor área es la 466 (cuenca del río Mamoré) con 237.717,76 km². (Ver figura N° 22)

Cuadro N° 8

Región Hidrográfica 4: Número de Unidades Hidrográficas Nivel 3

Unidad Hidrográfica	N° Unidades Nivel 3
46	7
49	1
Total	8

C. Delimitación y codificación de la Región Hidrográfica 4 del territorio boliviano en el Nivel 4

Existen en territorio boliviano 48 unidades hidrográficas en nivel 4 de la región hidrográfica 4 o cuenca del río Amazonas (Ver Cuadro N° 9). La unidad hidrográfica 4644 (cuenca del río Beni) es la de mayor extensión con 120.449,83 km². (Ver figura N° 23)

Cuadro N° 9

Región Hidrográfica 4: Número de Unidades Hidrográficas Nivel 4

Unidad Hidrográfica	N° Unidades Nivel 4
46	47
49	1
Total	48

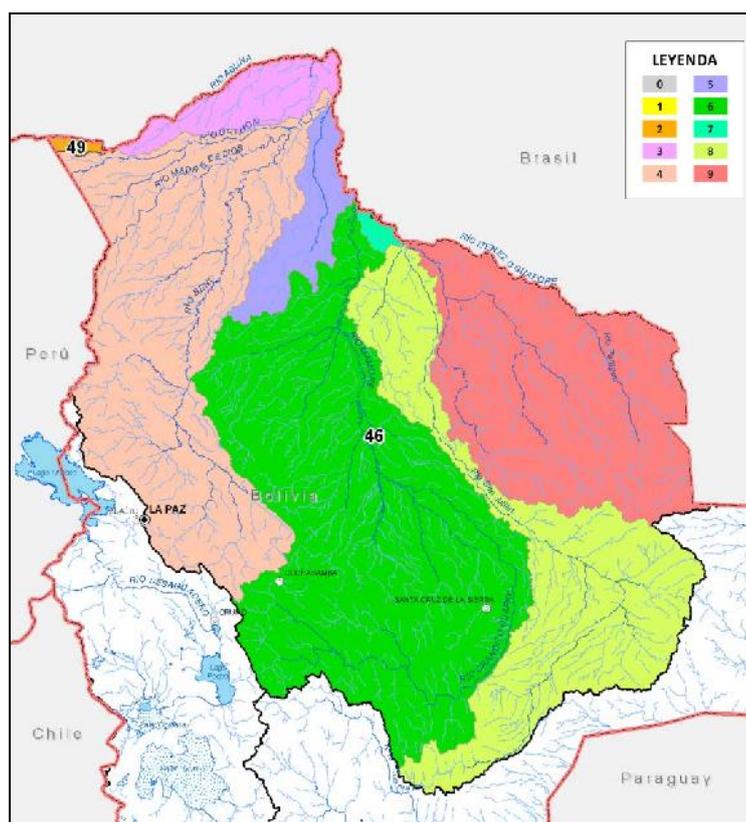


Figura N° 22 Bolivia: Región Hidrográfica 4 (Cuenca del río Amazonas) - Nivel 3

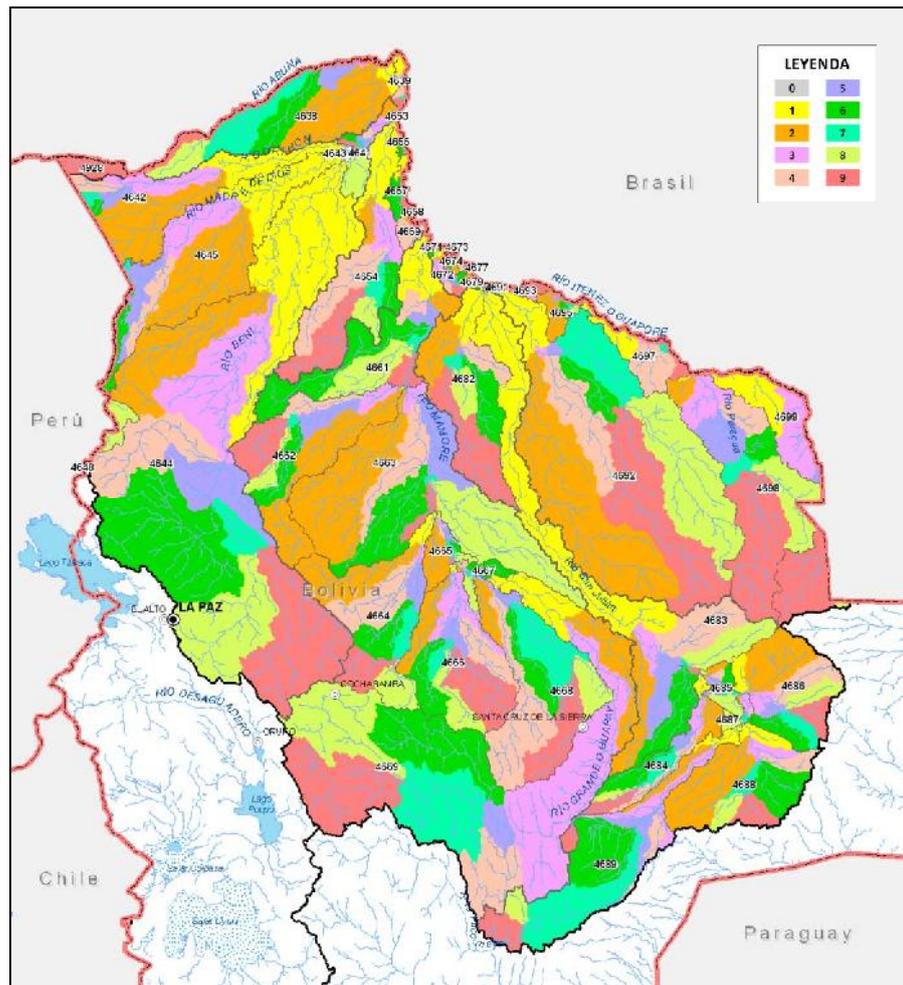


Figura N° 24 Bolivia: Región Hidrográfica 4 (Cuenca del río Amazonas) - Nivel 5

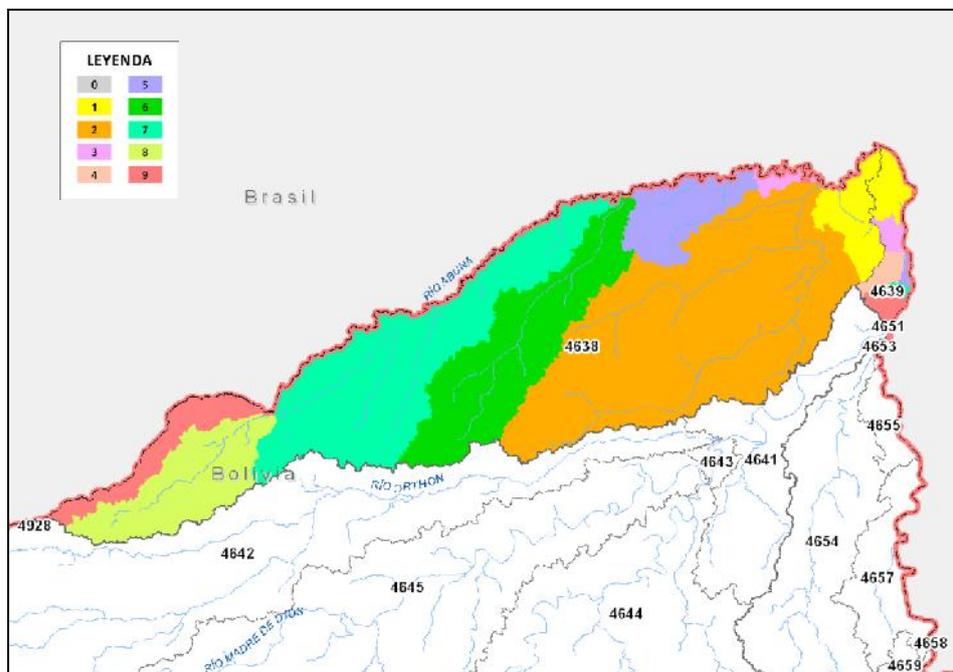


Figura N° 25 Región hidrográfica 4. Unidad hidrográfica 463 - Nivel 5

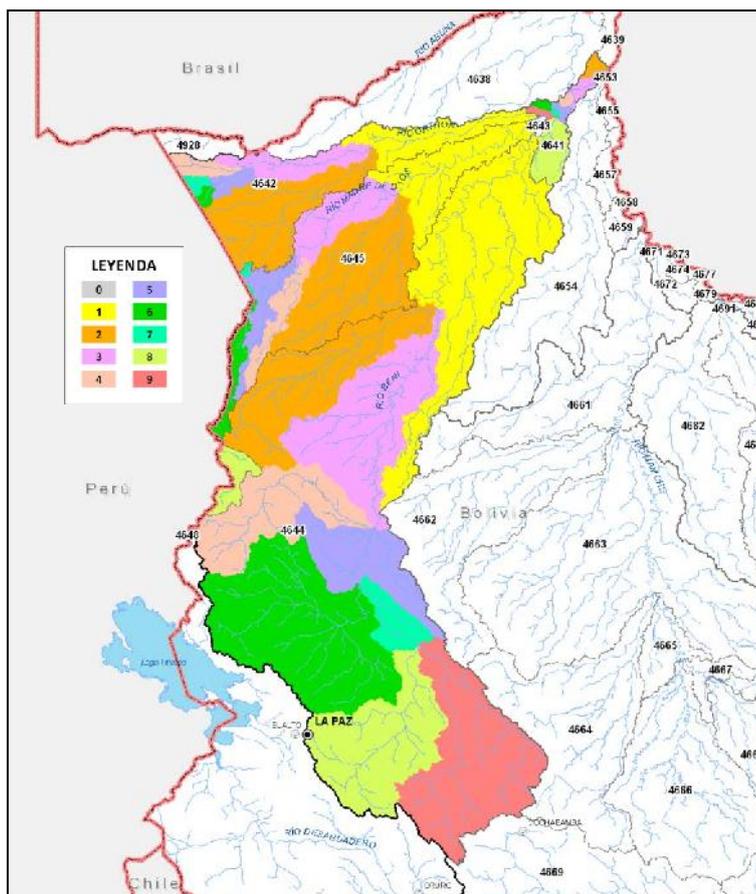


Figura N° 26 Región Hidrográfica 4. Unidad hidrográfica 464 (Cuenca del río Beni) - Nivel 5

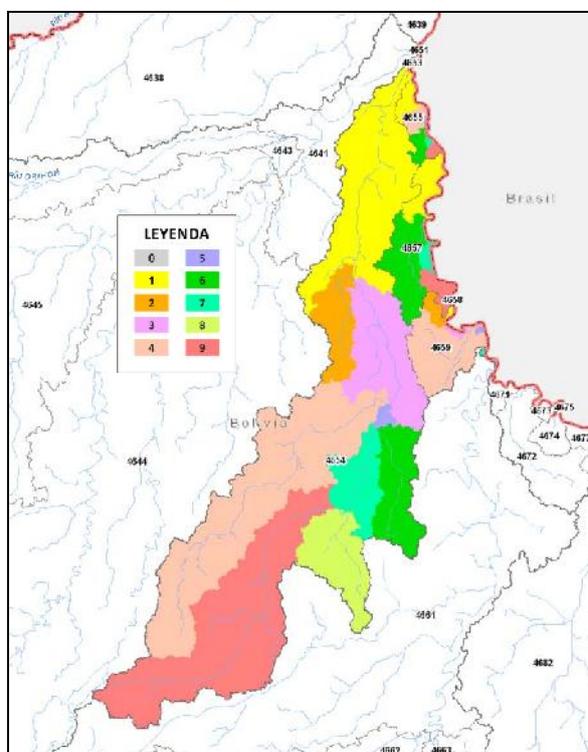


Figura N° 27 Región Hidrográfica 4. Unidad hidrográfica 465 - Nivel 5

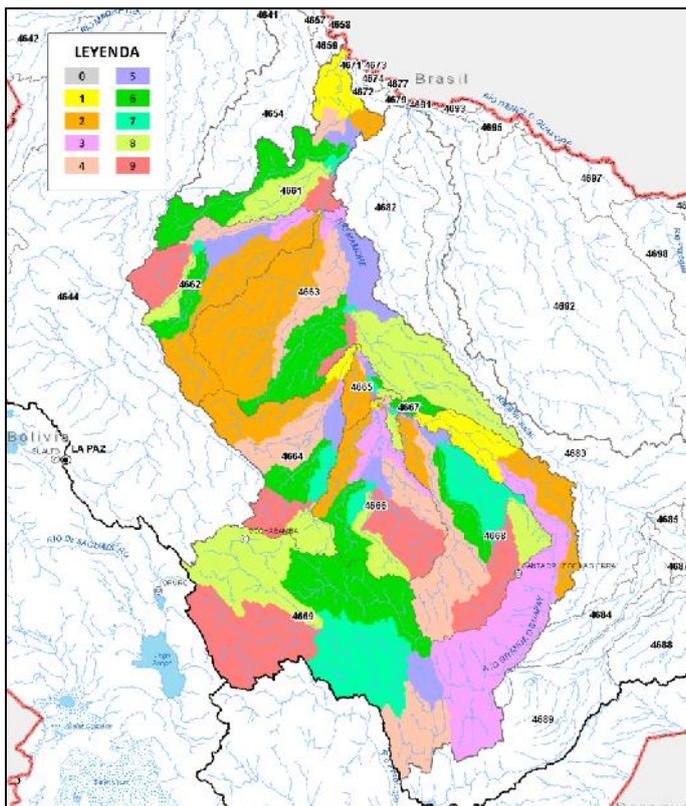


Figura N° 28 Región Hidrográfica 4. Unidad hidrográfica 466 (Cuenca del río Mamoré) - Nivel 5

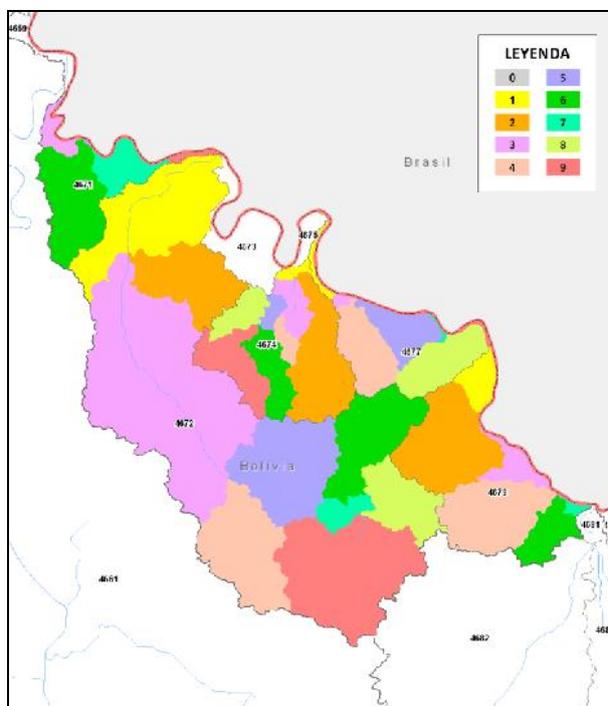


Figura N° 29 Región Hidrográfica 4. Unidad hidrográfica 467 - Nivel 5. Las unidades hidrográficas 4673 y 4675 (en color blanco) no fueron subdivididas en el nivel 5 por poseer áreas menores a 50 km².

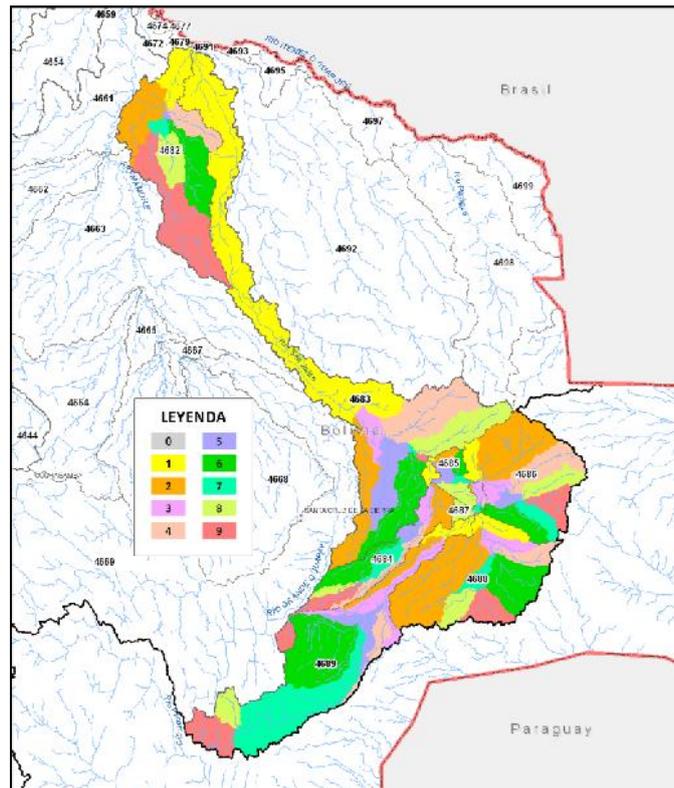


Figura N° 30 Región Hidrográfica 4. Unidad hidrográfica 468 (Cuenca del río Itonomas) - Nivel 5.

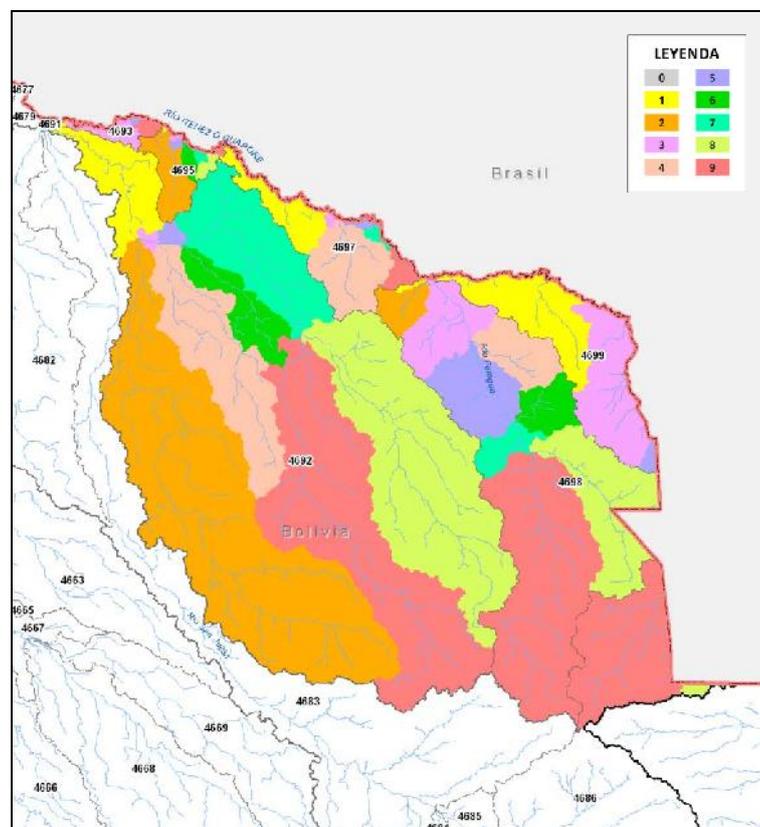


Figura N° 31 Región Hidrográfica 4.Unidad hidrográfica 469 - Nivel 5

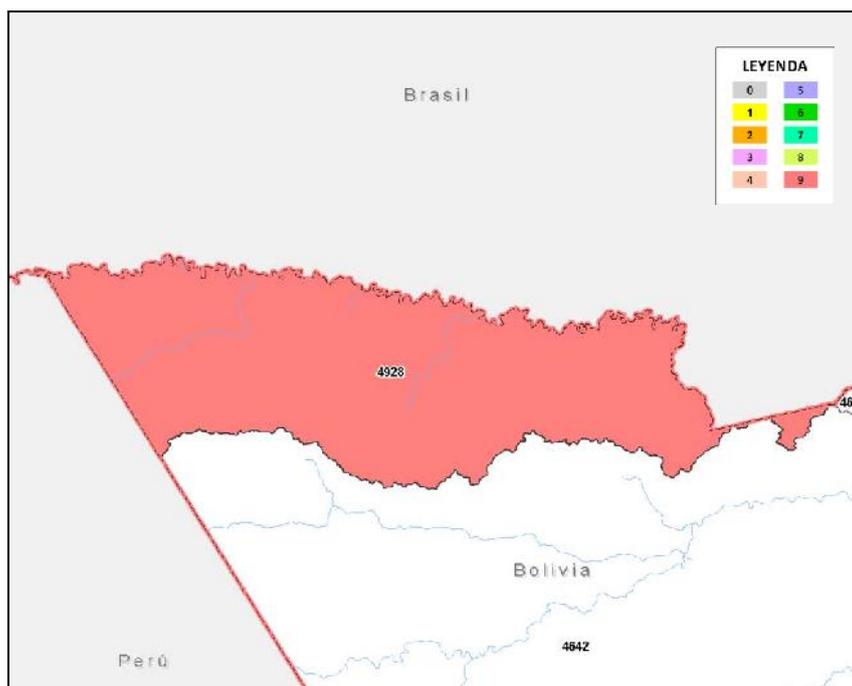


Figura N° 32 Región Hidrográfica 4. Unidad hidrográfica 492 (Cuenca del río Purús) - Nivel 5: La unidad hidrográfica 49289 es la única de nivel 5 que se encuentra en territorio boliviano.

6.3.4 REGIÓN HIDROGRÁFICA 8 - CUENCA DEL RIO DE LA PLATA

La Región Hidrográfica 8, cuenca del río de la Plata, se ubica en parte de los territorios de Bolivia, Brasil, Paraguay y Argentina, con una extensión de 2.588.980 km².

Aún cuando geográficamente, la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay dan lugar al Río de la Plata, que es un estuario de 280 km. de longitud ubicado en la costa suroriental de Sudamérica es de común uso el nombre de río de la Plata a toda el área de la cuenca incluyendo la cuenca del río Paraná.

A diferencia de las características geográficas, hidrológicamente la delimitación de la región hidrográfica 8 (tipo cuenca), mediante la metodología Pfafstetter, es considerada desde el punto de desembocadura del río Paraná en el denominado río de La Plata. El proceso semiautomático de delimitación de unidades hidrográficas determina internamente el punto de desembocadura o confluencia del curso de agua para que desde allí se inicie la delineación de la cuenca. (Ver Figura N° 33)

La Región Hidrográfica 8, cuenca del río de la Plata, en el territorio boliviano abarca los departamentos de Tarija, gran parte de Chuquisaca, parte de Potosí y Santa Cruz.



Figura N° 33 La delimitación de la región hidrográfica 8 se considera desde el punto de desembocadura en el Océano Atlántico.

La Región Hidrográfica 8 ocupa la parte suroriental del ámbito territorial de Bolivia y tiene una extensión de 225.492 km². (Ver Figura N° 34)

A. Delimitación y codificación de la Región Hidrográfica 8 del territorio boliviano en el Nivel 2

En la región hidrográfica 8 de Bolivia, existen 5 unidades hidrográficas en el nivel 2. Las unidades hidrográficas 86 –cuena del río Pilcomayo– (82.610 km²) y 87 (83.247 km²) son las que poseen las mayores extensiones. (Ver Cuadro N° 11 y Figura N° 35)

Cuadro N° 11
Bolivia: Región Hidrográfica 8 - Nivel 2

Unidad Hidrográfica	Área	
	Km ²	Porcentaje
Unidad Hidrográfica 80	471,12	0,21
Unidad Hidrográfica 85	15.469,69	6,86
Unidad Hidrográfica 86 (cuena del río Pilcomayo)	83.610,03	37,08
Unidad Hidrográfica 87	83.247,37	36,92
Unidad Hidrográfica 89	42.693,78	18,93
Total	225.491,98	100,00

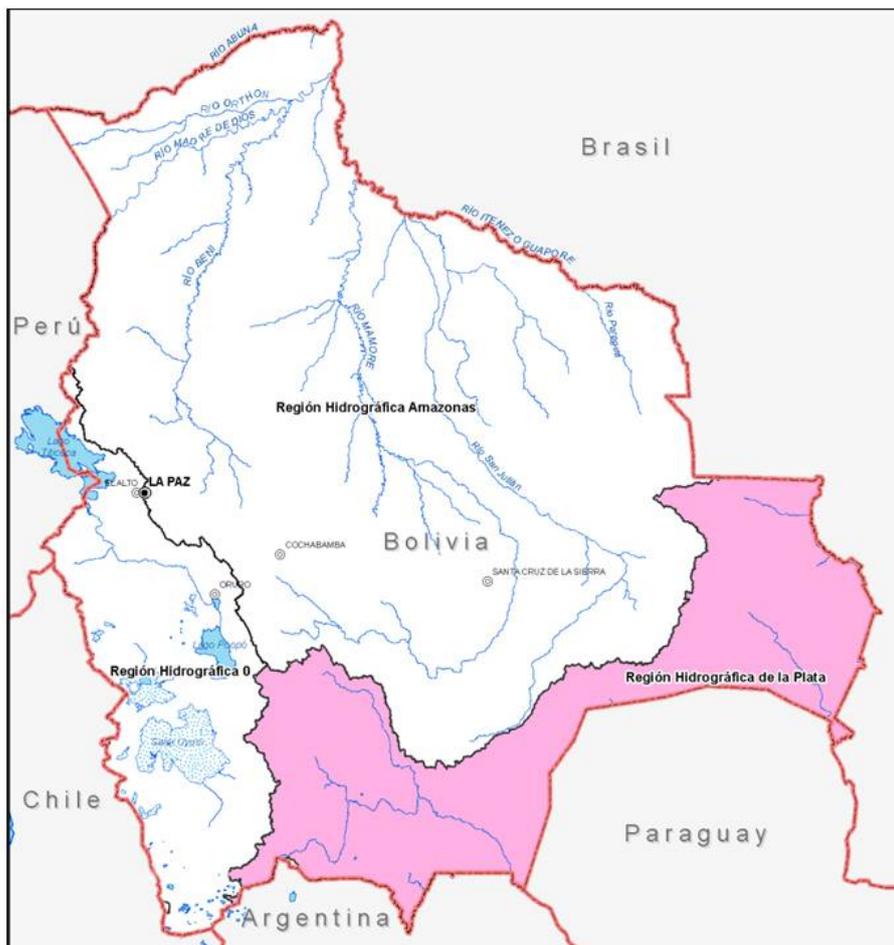


Figura N° 34 Bolivia: Región hidrográfica 8 Cuenca del río de la Plata - Nivel 1

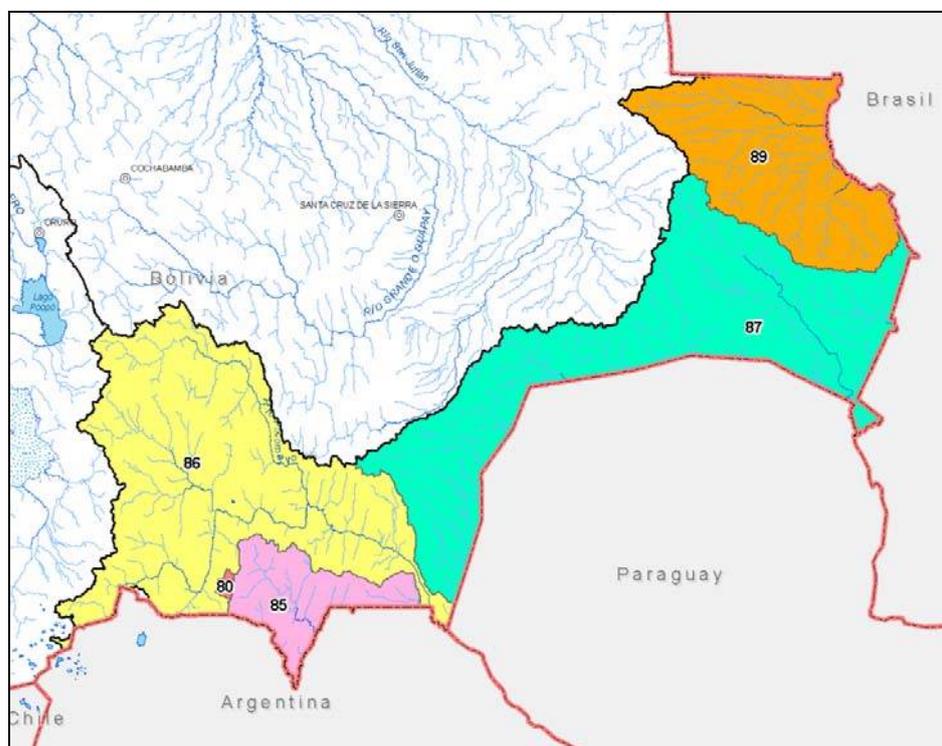


Figura N° 35 Bolivia: Región hidrográfica 8 Cuenca del río de la Plata - Nivel 2

B. Delimitación y codificación de la Región Hidrográfica 8 del territorio boliviano en el Nivel 3

En el nivel 3, existen 33 unidades hidrográficas de la región hidrográfica 8, en territorio boliviano (Ver Cuadro N° 12). La unidad 874 (cuenca del río Negro) con 44.865 km² es la de mayor extensión. (Ver figura N° 36)

Cuadro N° 12

Región Hidrográfica 8: Número de Unidades Hidrográficas Nivel 3

Unidad Hidrográfica	N° Unidades Nivel 3
80	9
85	2
86	8
87	5
89	9
Total	33

C. Delimitación y codificación de la Región Hidrográfica 8 del territorio boliviano en el Nivel 4

La región hidrográfica 8, dentro del territorio boliviano, tiene 172 unidades hidrográficas en el nivel 4 (Ver Cuadro N° 13). La unidad hidrográfica 8744 es la de mayor área con 25.101 km². Existen 7 unidades hidrográficas que han sido delimitadas solamente hasta el nivel 3 debido al tamaño reducido que presentan (menor a 50 km²). (Ver figura N° 37)

Cuadro N° 13

Región Hidrográfica 8: Número de Unidades Hidrográficas Nivel 4

Unidad Hidrográfica	N° Unidades Nivel 4
80	17
85	3
86	67
87	19
89	66
Total	172

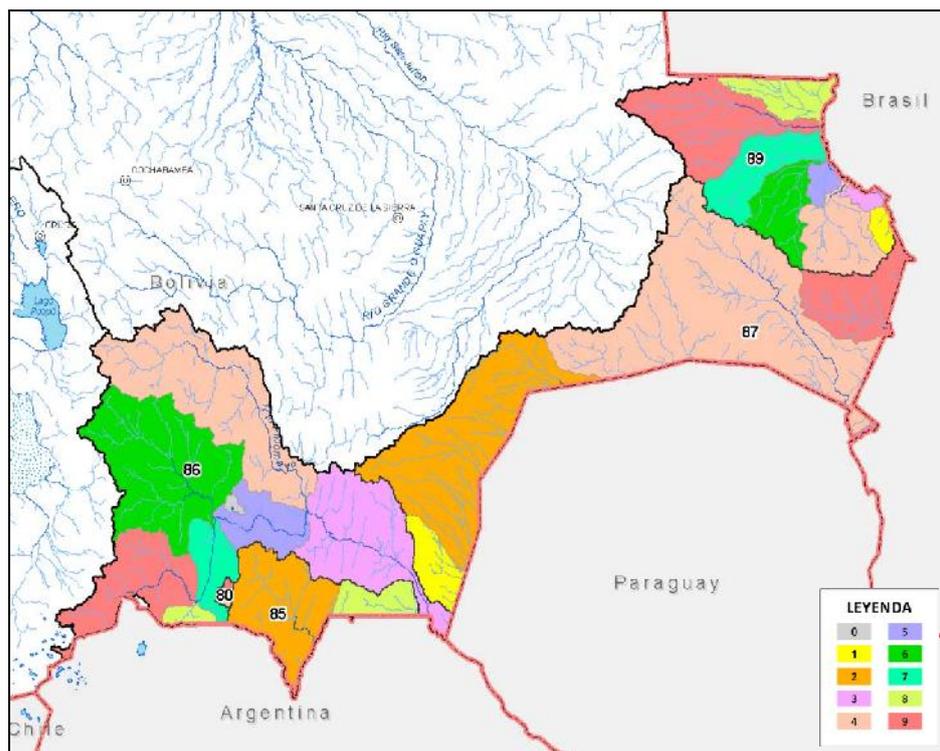


Figura N° 36 Bolivia: Región hidrográfica 8 (Cuenca del río de la Plata) - Nivel 3

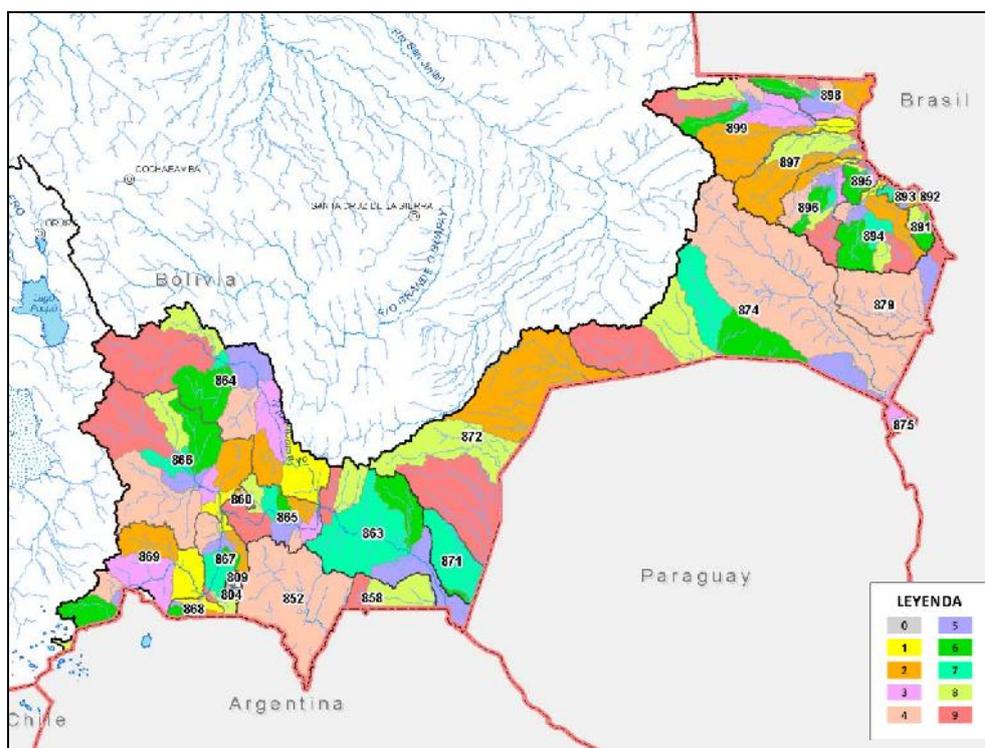


Figura N° 37 Bolivia: Región hidrográfica 8 (Cuenca del río de la Plata) - Nivel 4

D. Delimitación y codificación de la Región Hidrográfica 8 del territorio boliviano en Nivel 5

En el nivel 5 de la región hidrográfica 8, existen 993 unidades hidrográficas en territorio boliviano (Ver Cuadro N° 14). La unidad hidrográfica 85249 es la de mayor extensión con 8.321 km². Se debe mencionar que existen 7 unidades hidrográficas que se han sido delimitadas sólo hasta el nivel 3 y 38 unidades hasta el nivel 4 debido a que poseen extensiones menores a 50 km². (Ver Figura N° 38)

Como una forma de mostrar con mayor claridad las unidades hidrográficas de nivel 5, en las figuras N° 39 al 43, se muestran las unidades hidrográficas de nivel 2 (80, 85, 86, 87 y 89) en el nivel 5.

Cuadro N° 14
Región Hidrográfica 8: Número de Unidades Hidrográficas Nivel 5

Unidad Hidrográfica	N° Unidades Nivel 5
80	0
85	9
86	448
87	85
89	451
Total	993

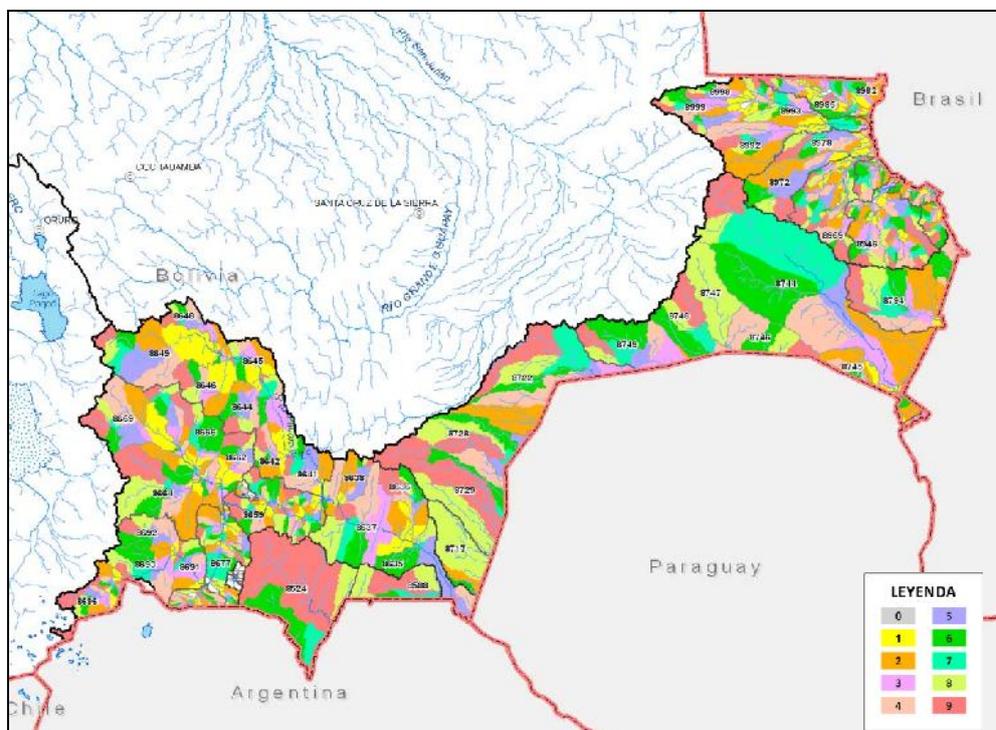


Figura N° 38 Bolivia: Región hidrográfica 8 (Cuenca del río de la Plata) - Nivel 5

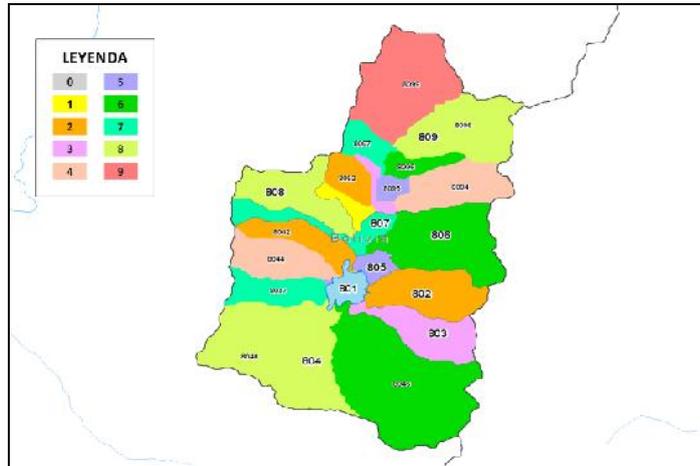


Figura N° 39 Región hidrográfica 8. Unidad hidrográfica 80 - Niveles 3 y 4

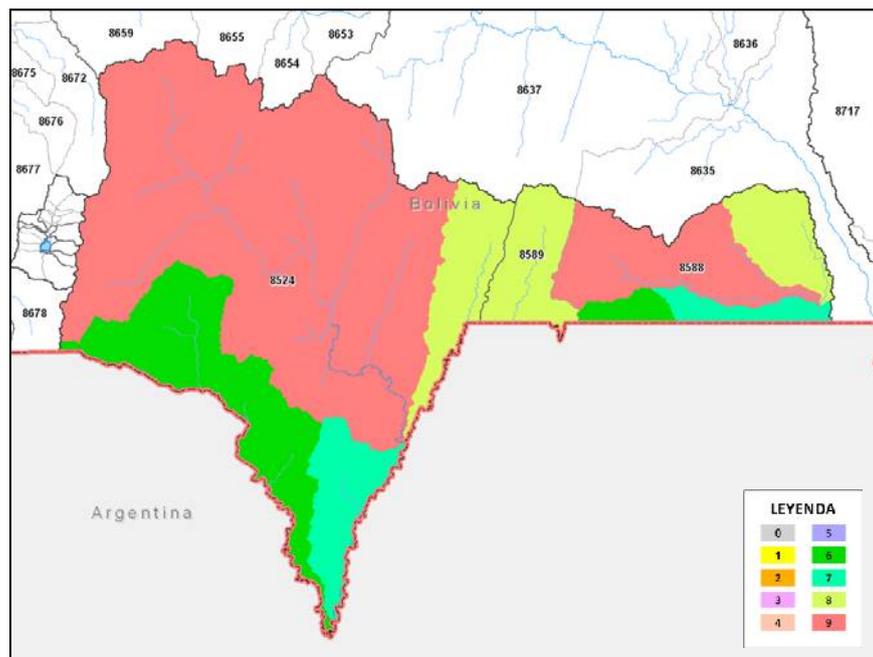


Figura N° 40 Región hidrográfica 8. Unidad hidrográfica 85 - Nivel 5

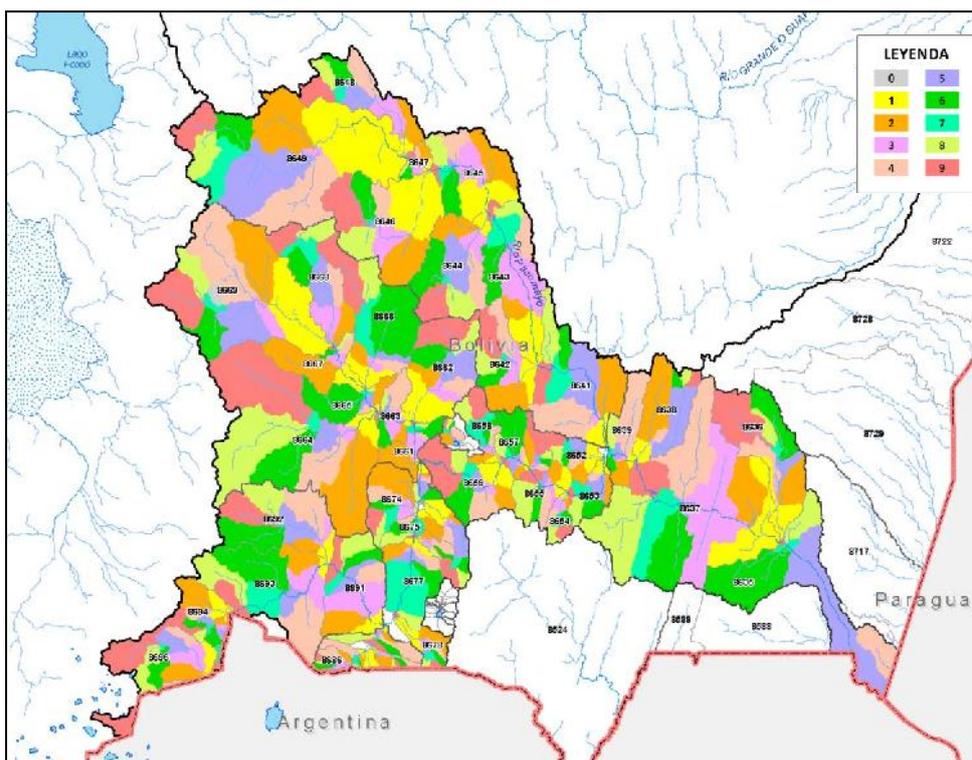


Figura N° 41 Región hidrográfica 8. Unidad hidrográfica 86 - Nivel 5

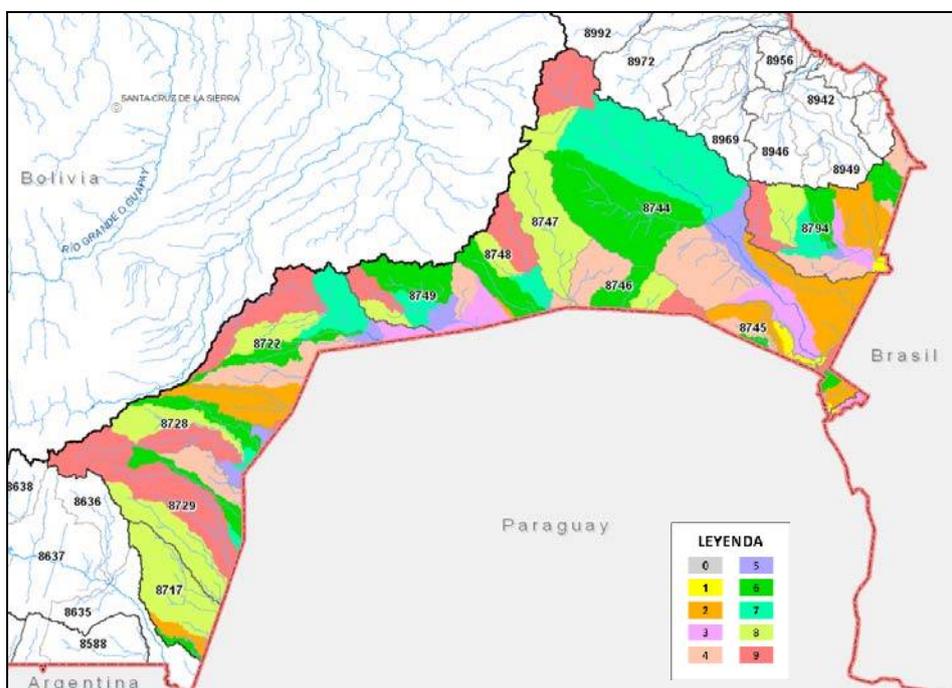


Figura N° 42 Región hidrográfica 8 .Unidad hidrográfica 87 - Nivel 5

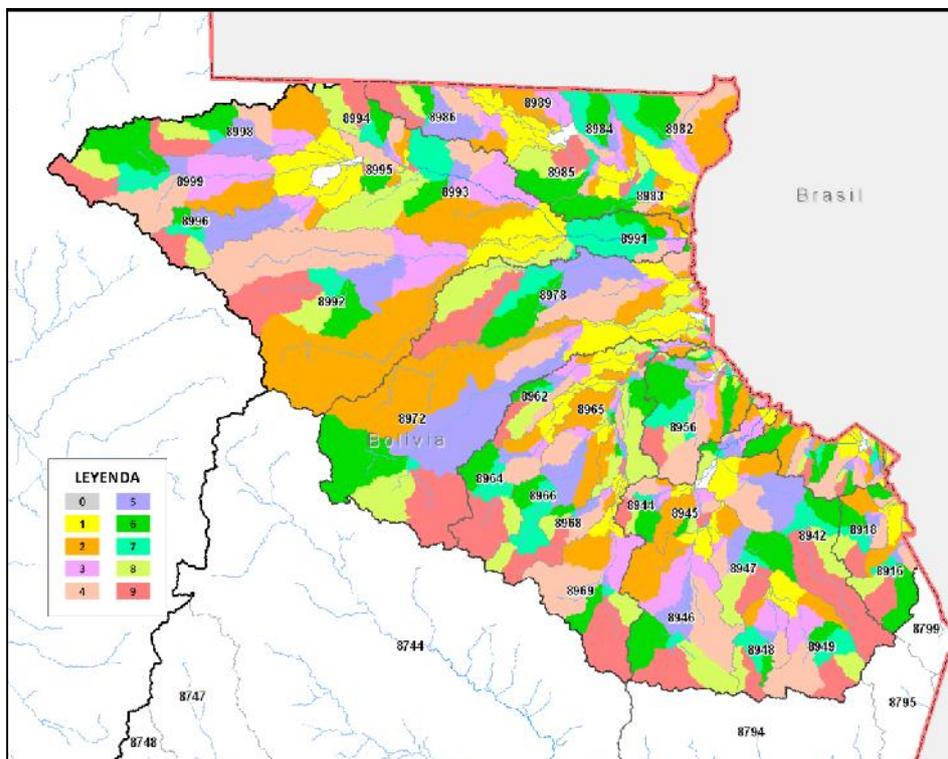


Figura N° 43 Región hidrográfica 8. Unidad hidrográfica 89 - Nivel 5

6.4 UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA

Unidades hidrográficas de Bolivia: nivel 1, nivel 2, nivel 3, nivel 4 y nivel 5 (Ver figuras N° 44 al 48)

UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA NIVEL 1

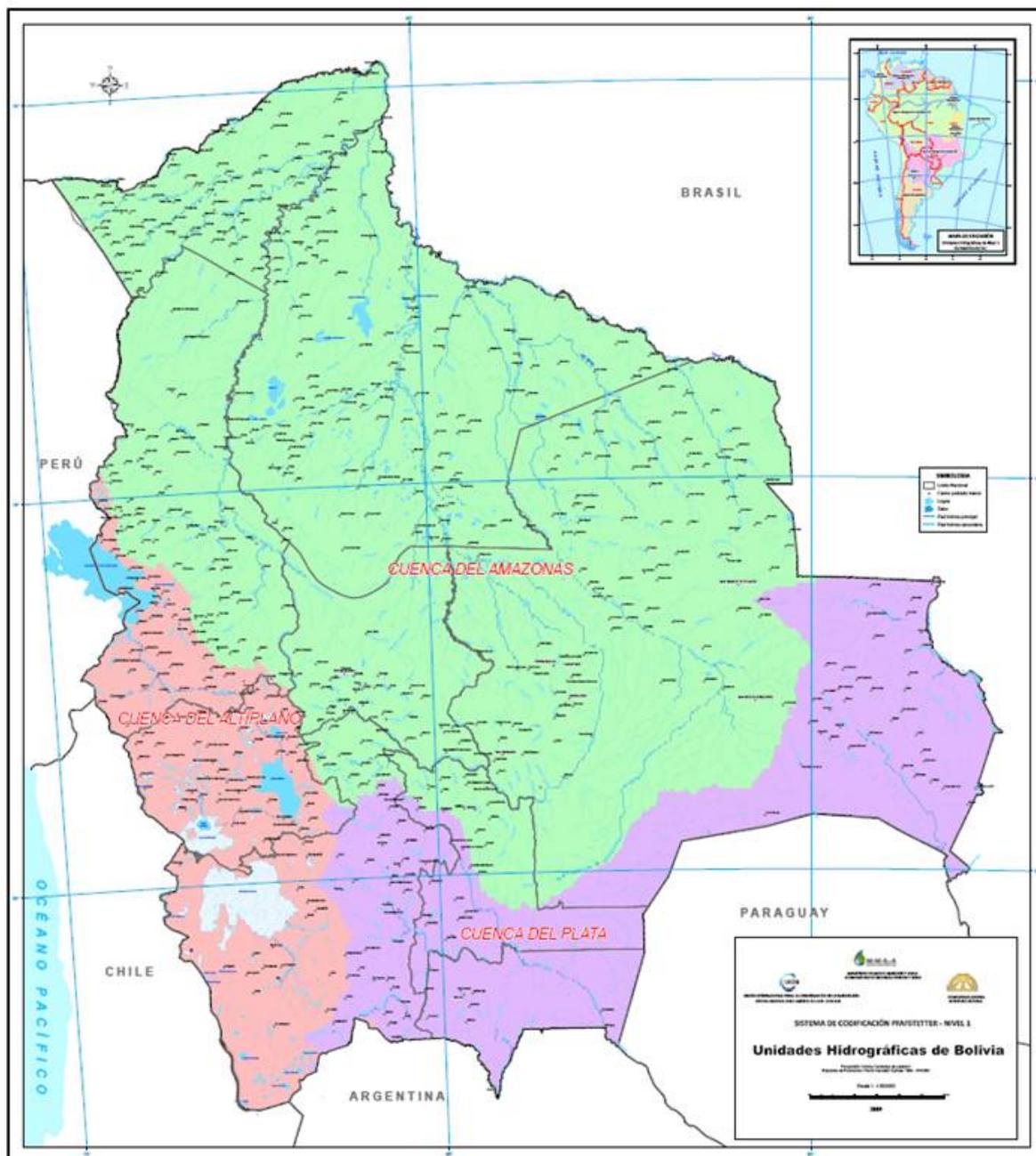


Figura N° 44 Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 1.

UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA NIVEL 2

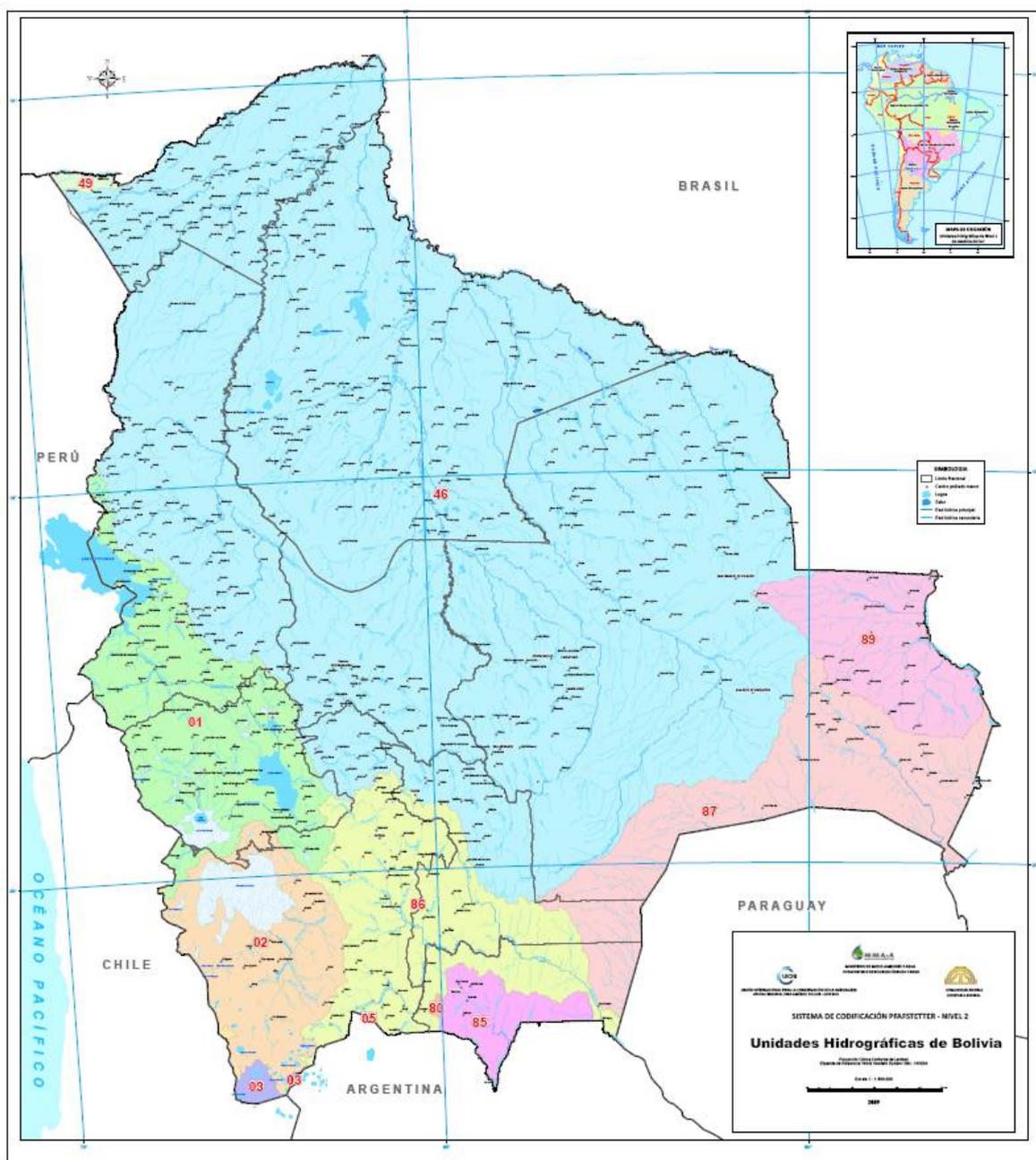


Figura N° 45 Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 2.

UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA NIVEL 3

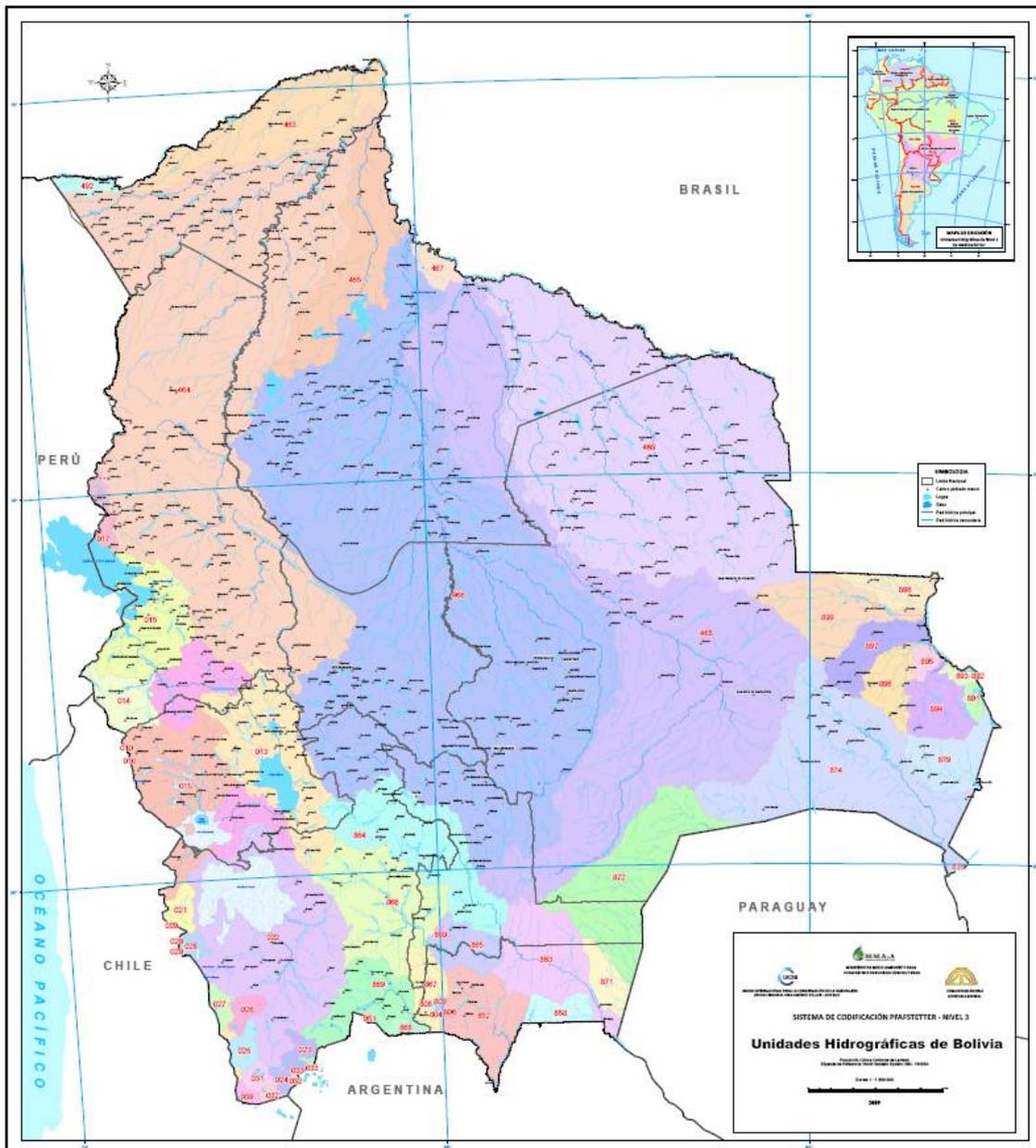


Figura N° 46 Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 3.

UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA NIVEL 4

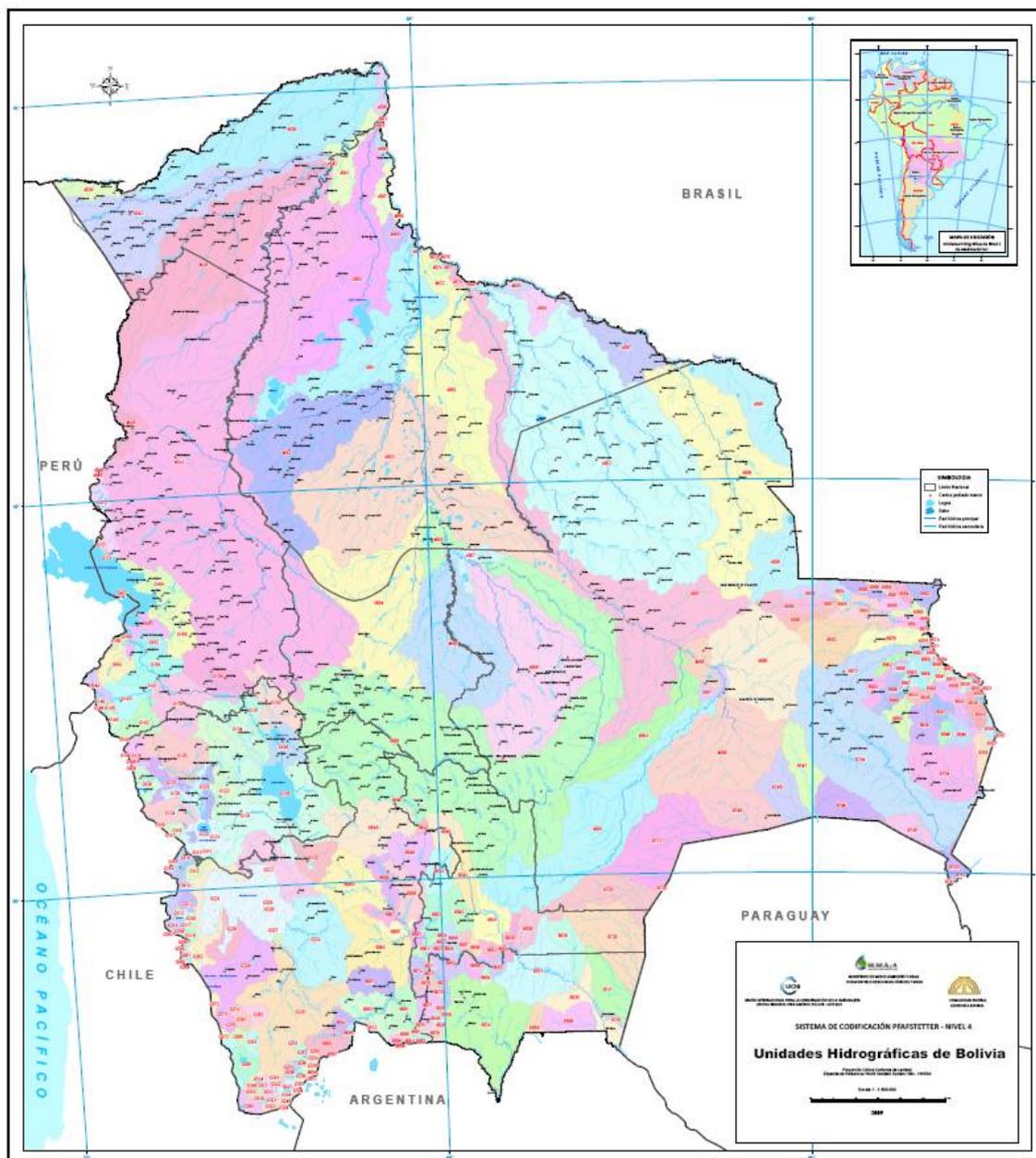


Figura N° 47 Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 4.

UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA NIVEL 5

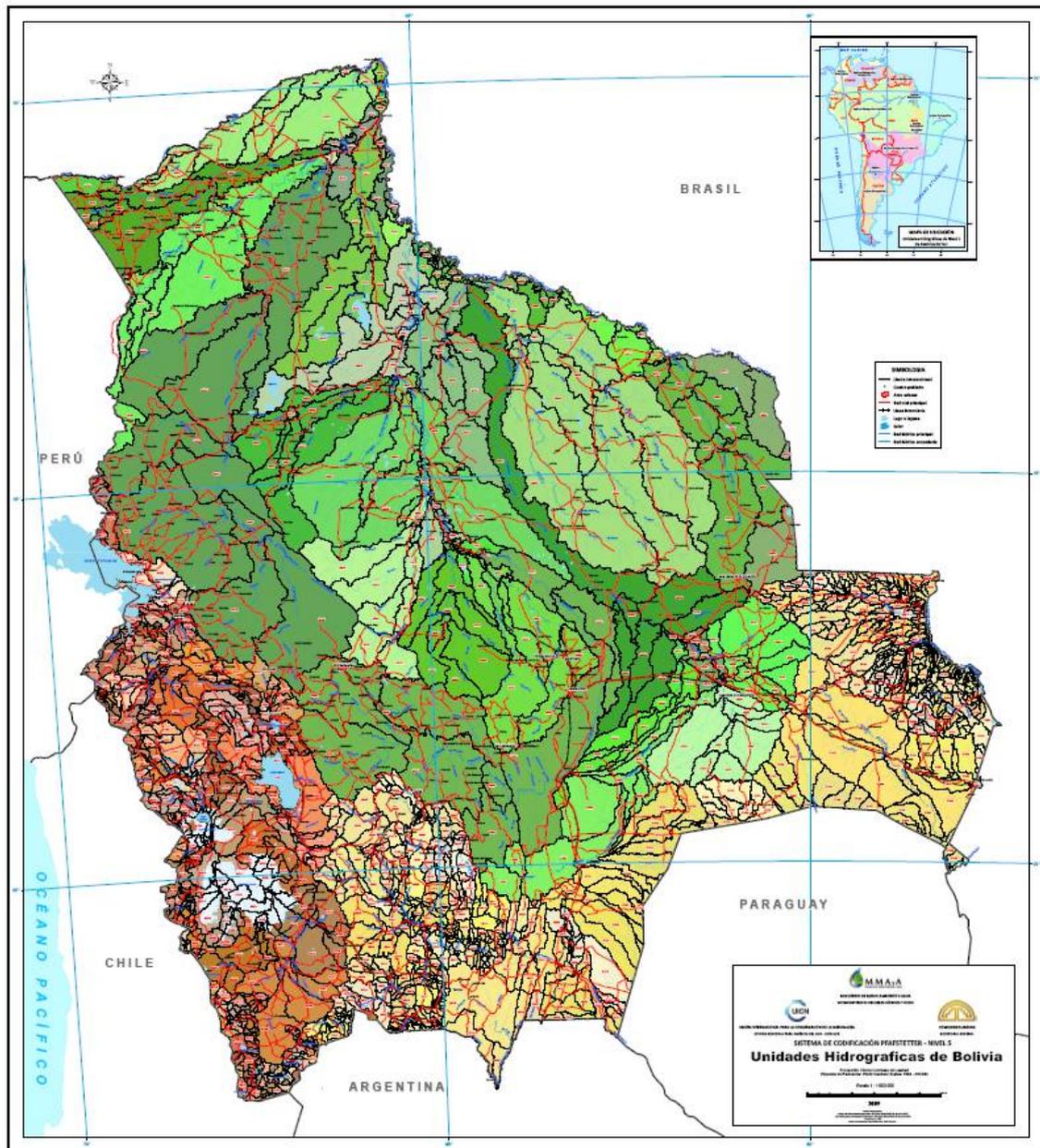


Figura N° 48 Unidades Hidrográficas de Bolivia Nivel 5.

6.5 UNIDADES HIDROGRÁFICAS NO SUBDIVIDIDAS

Toda información cartográfica posee un rango de escala (máximo y mínimo) en el cual el detalle espacial que ofrece es suficientemente útil en la geo-localización de eventos manteniendo la precisión necesaria. La utilización de una información cartográfica más allá de sus límites, repercutirá notablemente en la precisión de la localización de rasgos geo-referenciados, haciéndola de escasa o nula utilidad.

En el presente trabajo se buscó, mediante muchas pruebas en diferentes lugares del territorio a delimitar, el área mínima que debe poseer una unidad hidrográfica para poder ser subdividida en sus unidades menores, considerando la resolución del DEM utilizado y la escala final del trabajo. En consecuencia, se determinó un área mínima aproximada de 50 km² para la mayoría de los casos, sin embargo, en algunas ocasiones fue necesario ampliar el valor del área de acuerdo a la baja calidad de la delimitación obtenida.

Son 95 unidades hidrográficas que no han sido subdivididas en sus unidades menores, 9 de ellas sólo llegaron hasta el nivel 3 y el resto hasta el nivel 4 (Ver Cuadro N° 15). En la mayoría de los casos, la subdivisión era posible realizar, pero la baja precisión, traducida en el poco detalle de los trazos, representaban resultados de baja calidad cartográfica (Ver figura N° 49).

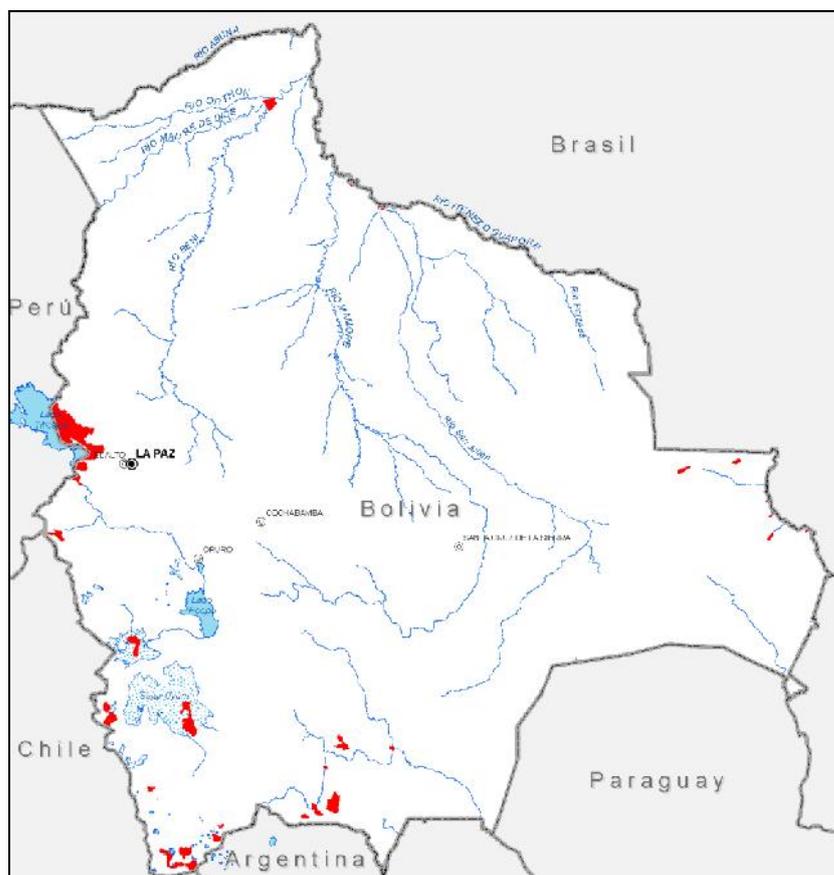


Figura N° 49 Bolivia: Unidades hidrográficas no subdivididas (95).

Cuadro N° 15
Unidades Hidrográficas No Subdivididas

ID	NIVEL 3	NIVEL 4	Km ²
1	015		2.894.55
2	017		443.36
3	801		6.81
4	802		26.56
5	803		22.09
6	805		5.36
7	806		41.11
8	807		14.02
9	808		24.66
10	010	0104	3.72
11	010	0107	0.14
12	010	0108	0.99
13	010	0109	0.59
14	012	0120	185.43
15	012	0121	162.03

ID	NIVEL 3	NIVEL 4	Km ²
16	014	0145	142.26
17	014	0147	37.04
18	015	0155	34.95
19	017	0171	0.09
20	021	0211	0.93
21	021	0213	124.15
22	021	0215	7.71
23	021	0217	148.99
24	021	0218	123.15
25	022	0223	3174
26	022	0225	123.97
27	022	0227	462.01
28	023	0233	28.17
29	023	0235	124.16
30	024	0241	106.71

ID	NIVEL 3	NIVEL 4	Km ²
31	024	0242	139.19
32	024	0244	70.72
33	024	0249	149.92
34	027	0274	55.74
35	028	0284	1.00
36	029	0292	3.19
37	029	0294	1.03
38	029	0295	1.22
39	029	0296	0.66
40	029	0298	0.96
41	029	0299	7.66
42	031	0310	7.56
43	031	0311	0.16
44	031	0313	0.21
45	031	0315	6.19
46	031	0316	121.66
47	031	0317	14.10
48	031	0318	50.96
49	032	0321	125.22
50	032	0323	14.23
51	464	4643	266.65
52	465	4651	3.77
53	465	4653	26.76
54	467	4673	85.82
55	467	4675	16.16
56	468	4681	15.14
57	469	4691	55.38
58	804	8041	0.08
59	804	8042	14.49
60	804	8043	0.03
61	804	8044	20.04
62	804	8045	0.20
63	804	8046	74.83

ID	NIVEL 3	NIVEL 4	Km ²
64	804	8047	14.86
65	804	8048	63.61
66	809	8091	5.03
67	809	8092	9.84
68	809	8093	3.73
69	809	8094	23.65
70	809	8095	4.12
71	809	8096	7.25
72	809	8097	8.48
73	809	8098	34.34
74	809	8099	45.95
75	860	8601	6.29
76	860	8603	22.49
77	860	8604	60.97
78	860	8605	12.20
79	860	8606	42.83
80	860	8607	16.10
81	860	8608	13.11
82	860	8609	16.06
83	865	8651	27.03
84	867	8673	18.26
85	867	8679	138.02
86	868	8683	46.56
87	868	8687	0.63
88	874	8741	24.70
89	893	8933	20.21
90	894	8943	42.04
91	895	8957	13.89
92	897	8973	28.14
93	897	8977	3.90
94	898	8987	55.31
95	899	8997	82.23

7. MAPA DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA

7.1 DESCRIPCIÓN DEL MAPA GENERAL

- **Simbología:** Con el fin de que se distinga claramente la distribución espacial de las cuatro regiones hidrográficas dentro del territorio boliviano, se ha representado cada región con un color diferente, así a la Región Hidrográfica 4 (Amazonas) es de color verde, la Región Hidrográfica 0 de color naranja y a la Región Hidrográfica 8 (Cuenca del río de la Plata) el color amarillo.

Las unidades hidrográficas de nivel 4 están representadas por las diferentes tonalidades del color elegido para cada región hidrográfica y las unidades hidrográficas de nivel 5 se distinguen por líneas punteadas, de color negro (Ver figura N° 50).

Un mapa de ubicación de Bolivia, a nivel continental, acompaña al mapa principal, el cual muestra además la distribución política e hidrográfica de Sudamérica, a una escala de 1/47.000.000.

- **Formato de hoja:** 90 x 100 cm.
- **Escala gráfica:** 1/1.600.000.
- **Proyección:** Cónica Conforme de Lambert.
- **Elipsoide de Referencia:** World Geodetic System 1984 (WGS84)
- **Malla de Coordenadas de impresión:** Geográficas, con 5 grados de intervalo, tanto en latitud como en longitud.
(Ver Anexo 5)

7.2 METADATO DEL ARCHIVO DIGITAL

El Metadato describe las características geo-espaciales del archivo shapefile *BOLIVIA_UH_NIVEL5.shp*, e indica su sistema de referencia, la conformación de la tabla de atributos, entre otros aspectos importantes. El formato se encuentra elaborado según ISO ESRI. (Ver Anexo 1).

7.3 CUADRO DE DISTRIBUCIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS

Debido a que el Cuadro de Distribución de las Unidades Hidrográficas de Bolivia en el Nivel 5 es muy extenso (2046 unidades hidrográficas), se muestra dicha distribución solamente hasta el Nivel 4; no obstante, en el CD que se adjunta al presente documento es posible encontrar el cuadro completo en formato PDF *Anexo 3: Distribucion_UH_Bolivia_Nivel5.pdf*.

El cuadro de distribución de unidades hidrográficas, que se muestra en el *Anexo N° 2*, se encuentra organizado por 4 columnas principales, uno para cada nivel: **Nivel 1**, **Nivel 2**, **Nivel 3** y **Nivel 4**, estas a su vez se subdividen en tres (3) columnas: **Código** (código

Pfaffstetter de la unidad hidrográfica), **Nombre** (nombre o denominación de la Región Hidrográfica) y **Área Total** (superficie total en Km²). En el Nivel 4 no se presenta el campo **Nombre**.

El cálculo de superficies, se realizó con la Proyección Cónica Equivalente de Albers, teniendo como elipsoide de referencia el WGS84 (World Geodetic Systems 1984). (Ver Anexo 2).

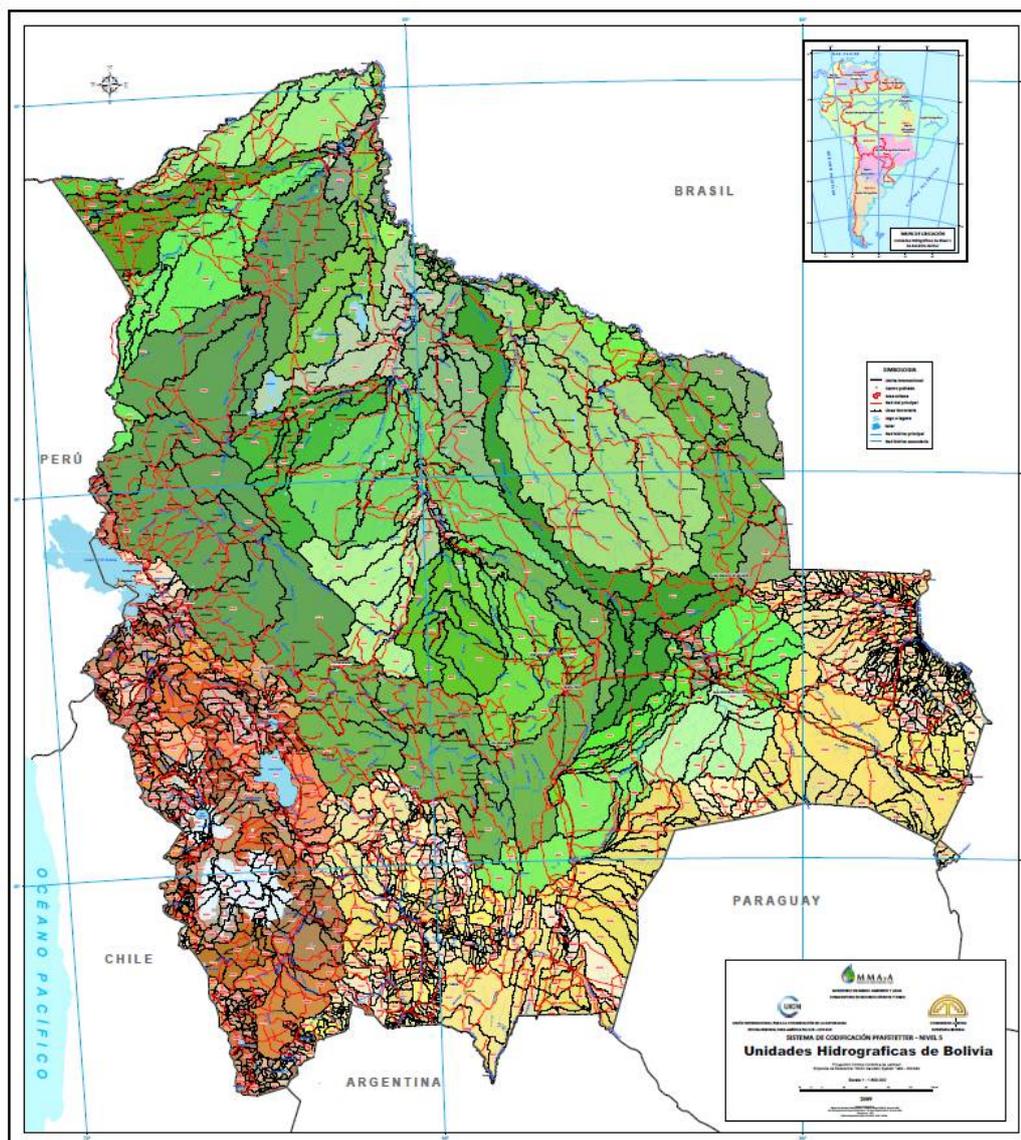


Figura N° 50 Mapa General de Unidades Hidrográficas de Bolivia – Nivel 5. Escala 1:1.600.000.

8. CONCLUSIONES

- El método de delimitación y codificación de unidades hidrográficas **Pfafstetter** ha demostrado una aplicabilidad eficiente en la elaboración del mapa de unidades hidrográficas de Bolivia.
- El Sistema de delimitación y codificación ha sido reconocido por importantes instituciones mundiales ligadas a la investigación y desarrollo. Por lo que hoy en día se constituye en el estándar internacional para la delimitación y codificación de cuencas.
- La distribución de las unidades hidrográficas en territorio boliviano, hasta el nivel 5, es la siguiente:

Región Hidrográfica	Unidades Hidrográficas			
	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Región Hidrográfica 0	4	21	120	613
Región Hidrográfica Amazonas (4)	2	8	48	327
Región Hidrográfica de la Plata (8)	5	33	172	993
TOTAL	14	67	346	1951

- Generalmente las unidades endorreicas (cuencas internas) presentan una configuración radial dirigida al punto de altitud más bajo de ésta, suele formarse un cuerpo de agua central, la cual es importante en el proceso de subdivisión de estas unidades pues deben ser consideradas como una unidad más durante el proceso de delimitación y codificación no obstante que el sistema genere unidades debajo de él, lo que no tendría utilidad en la práctica. De esta manera, las unidades hidrográficas delimitadas en una unidad endorreica sólo son consideradas desde el borde del cuerpo de agua, el cual a su vez es codificado con el dígito 0.
- Se han calculado un valor de superficie mínimo de subdivisión de las unidades hidrográficas, dependiendo de la resolución de la imagen de radar. En las imágenes de radar de 3" de arco (90 metros) el valor de superficie mínimo de subdivisión es de 50 km².
- El presente documento, al establecer las bases para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas utilizando el método Pfafstetter es **de carácter referencial y no implica la demarcación de límites de carácter político**. Es decir, la tarea concluye al tratar de delimitar cuencas hidrográficas obedeciendo únicamente a criterios naturales a través del uso de modelos digitales que permiten representar la superficie terrestre. En ese sentido es importante ver la aplicación del documento final desde una perspectiva de **instrumento de apoyo** en la gestión y planificación de los recursos hídricos en nuestro país.

9. RECOMENDACIONES

- Los resultados del presente proyecto, establecen las bases para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas a una escala de mayor detalle utilizando para ello la cartografía topográfica oficial cuya escala deberá ser de mayor detalle que la utilizada en el presente trabajo que ha sido 1:250.000
- Se recomienda no combinar información de las delimitaciones de unidades hidrográficas generadas de las imágenes de radar de 15" con las de 3" de arco, pues la diferencia espacial entre ellas obligaría a una edición adicional para lograr la coincidencia plena de dichas delimitaciones.
- El valor de tolerancia que se debe utilizar en el proceso de "smooth" (suavizado) de las líneas obtenidas del proceso automático de delimitación debe ser mayor que la resolución de la imagen de radar; en el caso de las imágenes de radar de 3 " de arco se ha calculado una tolerancia mínima de 0,003 grados.
- La información digital de las Unidades hidrográficas de Bolivia – Nivel 5, permitirá múltiples procesos relacionados con el ordenamiento y administración del territorio, especialmente de los recursos hídricos, tales como:
 - Codificación de ríos
 - Clasificación de ríos
 - Inventarios de fuentes de agua
 - Registro de derechos de uso de agua
 - Estudios hidrológicos
 - Estudios de calidad de las aguas
 - Estudios de biodiversidad acuática
 - Establecimiento de entidades de cuencas para la gestión de los recursos hídricos
- La información digital de las Unidades hidrográficas de Bolivia - Nivel 5, escala 1:250.000, deberá constituirse el punto de partida y de referencia de las siguientes delimitaciones de unidades hidrográficas de mayor detalle, basados en una fuente cartográfica de escala más adecuada.

*Cualquier observación, comentario o sugerencia sobre del presente documento contactarse con el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, Calle Capitán Castrillo N° 402, esquina 20 de Octubre
Teléfono - FAX 2117391 2113239*

BIBLIOGRAFÍA

- Ruiz, Rosa; Torres, Humberto y Aguirre, Mario. Memoria Descriptiva de la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú. INRENA. Lima. 2006.
- Ruiz, Rosa Y Torres, Humberto. Memoria Descriptiva de la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de Sudamérica. UICN-CAN. Quito. 2008.
- World Wildlife Fund. 2006. HydroSHEDS. EEUU.
<http://www.worldwildlife.org/hydrosheds>
- SRTM. 2000. Imágenes radar interferométricos topográficos, 90 metros. NASA. EEUU.
<http://srtm.csi.cgiar.org/>.
- El Comercio. 2002. Gran Atlas Universal. Tomo 2: América del Sur, Central y Antártida. España.
- GeoCover. 2000. Imágenes Landsat ETM, res. espacial 14.25 m/p. Bandas espectrales 7 4 2 realzadas. NASA - EEUU.
- NIMA, ESRI. 1997. Digital Chart Of The World. EEUU.
- ESRI.2001. Using ArcGIS Spatial Analyst. EEUU.
- ESRI. 2004. ArcGIS 9. EEUU.
- Google Earth (Navegador Satelital por Internet) version 5.0.11733.9347.
- Fundación Cátedra Iberoamericana
http://www.uib.es/catedra_iberamericana/paises/bolivia/pob.html
- Montes de Oca, Ismael (2005); Enciclopedia Geográfica de Bolivia. La Paz.