

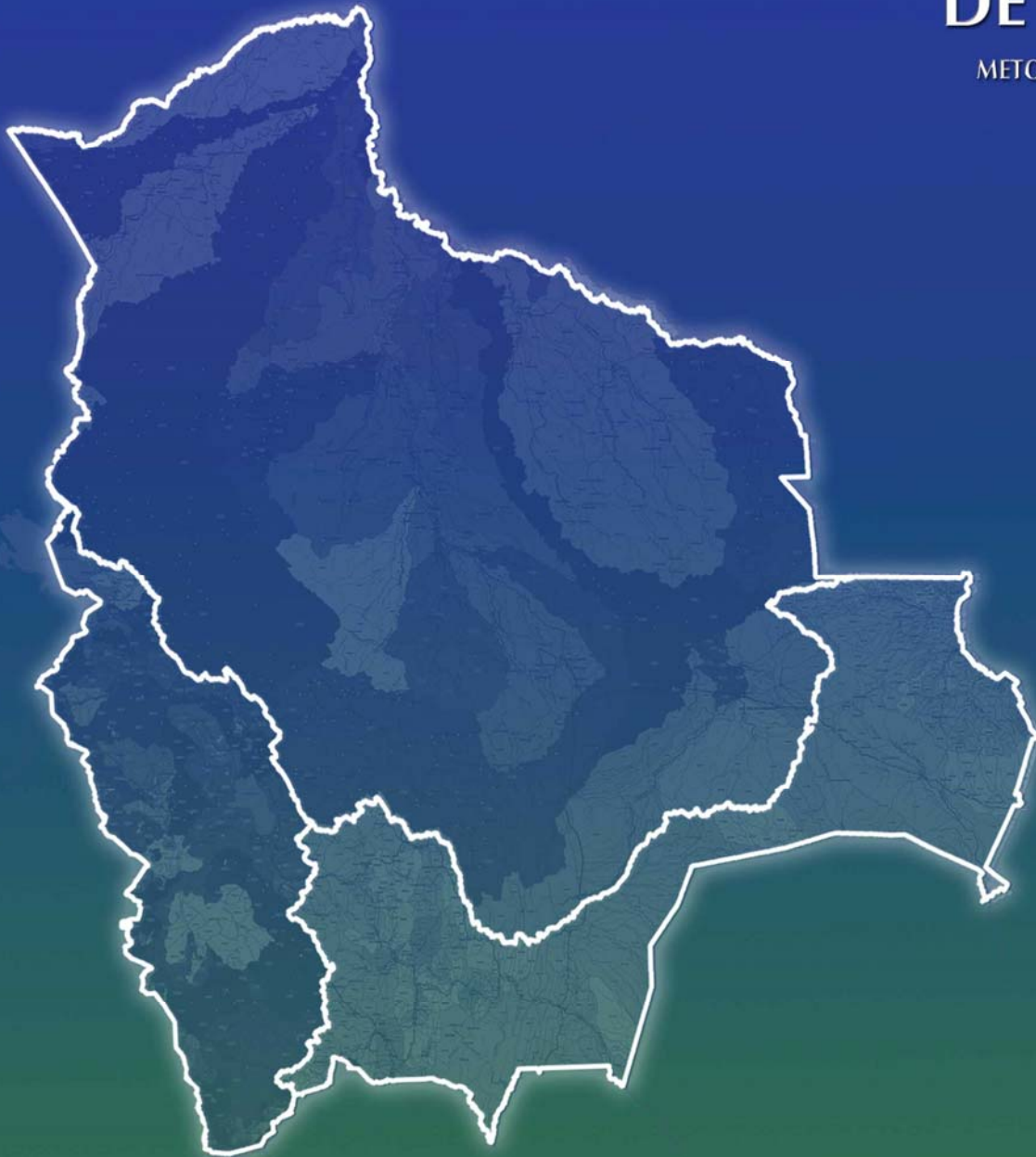


MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA



DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA

METODOLOGÍA PFAFSTETTER



UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA
CONSERVACIÓN DE
LA NATURALEZA

VICEMINISTERIO DE RECURSOS HÍDRICOS Y RIEGO
LA PAZ - BOLIVIA
2010



COMUNIDAD ANDINA

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y AGUA

VICEMINISTERIO DE RECURSOS HIDRICOS Y RIEGO (VRHR)

**“DELIMITACION Y CODIFICACION DE UNIDADES HIDROGRAFICAS DE BOLIVIA
METODOLOGIA PFAFSTETTER”**

1. INTRODUCCION

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.

2. ANTECEDENTES

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), y la Secretaria General de La Comunidad Andina (SGCAN), 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 25 de Noviembre del 2008 se suscribe el convenio entre la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos para la elaboración del mapa de cuencas de Bolivia nivel 5 (metodología Pfafstetter) en el marco de la Carta Acuerdo SGCAN-UICN.

3. OBJETIVO

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.

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

El presente trabajo, se ha basado principalmente en los siguientes 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).
- **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.
- **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.

5. METODOLOGIA 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, la misma que de manera resumida a continuación se describe:

5.1 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.

5.1.1 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.

5.1.2 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 "ottocuencas".

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

5.1.3 Tipos de Unidades Hidrográficas

El método de Pfafstetter describe tres clases de unidades hidrográficas o de drenaje: cuencas, intercuenas y cuencas internas (figura N° 1)

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.

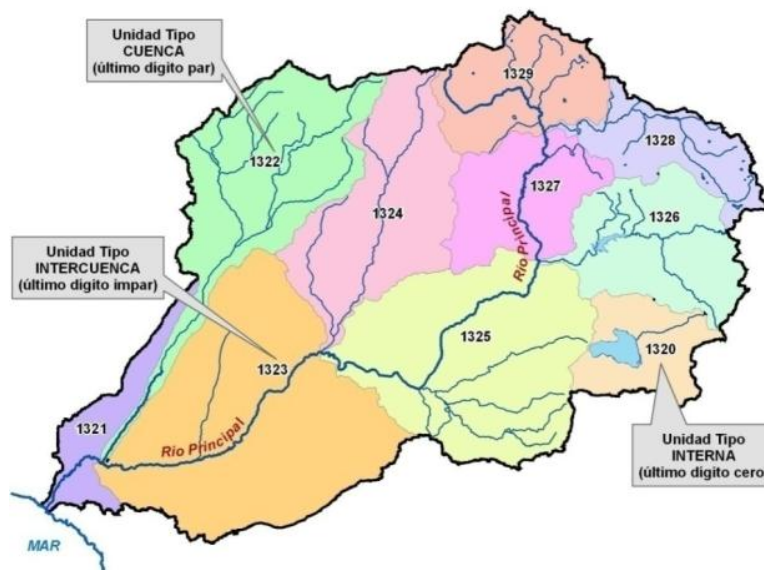


figura Nº 1. Tipos de unidades hidrográficas según la metodología Pfafstetter

5.1.4 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. (figura Nº 2)

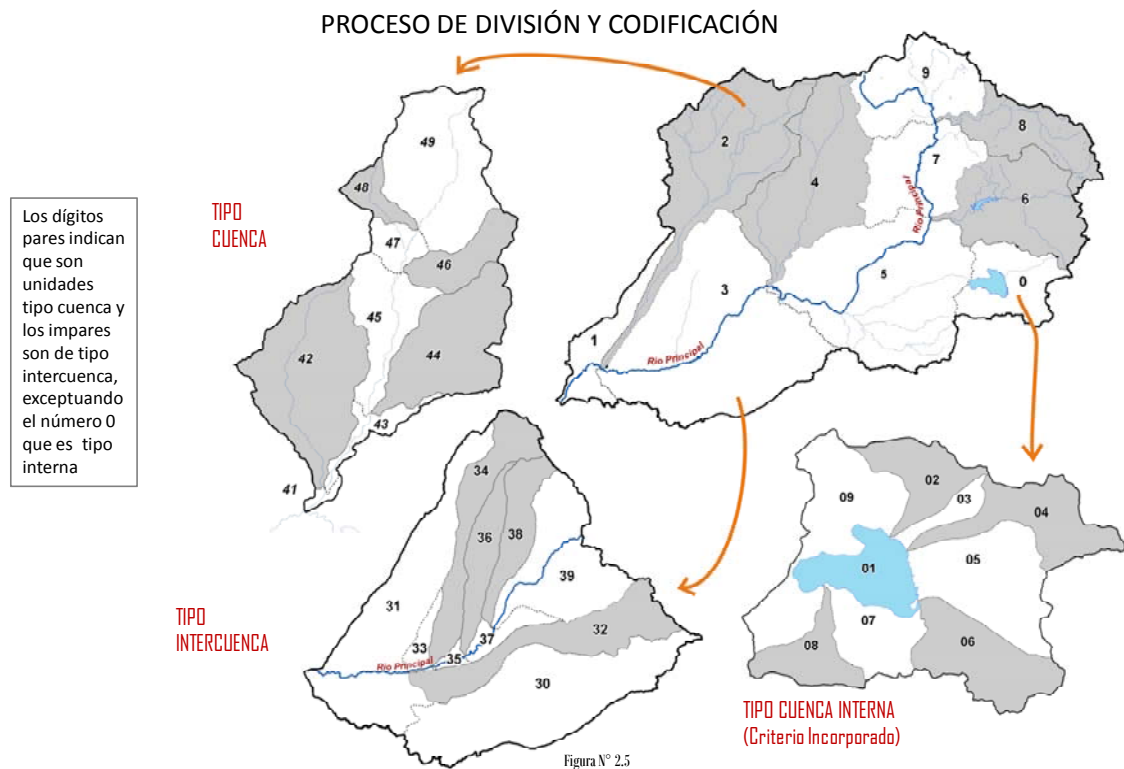


figura N° 2. Codificación de unidades hidrográficas según la metodología Pfafstetter

5.2 Procedimiento para la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas

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. Este procedimiento considera los siguientes aspectos:

5.2.1 Proceso semiautomático para la 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. (figura N° 3), 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)

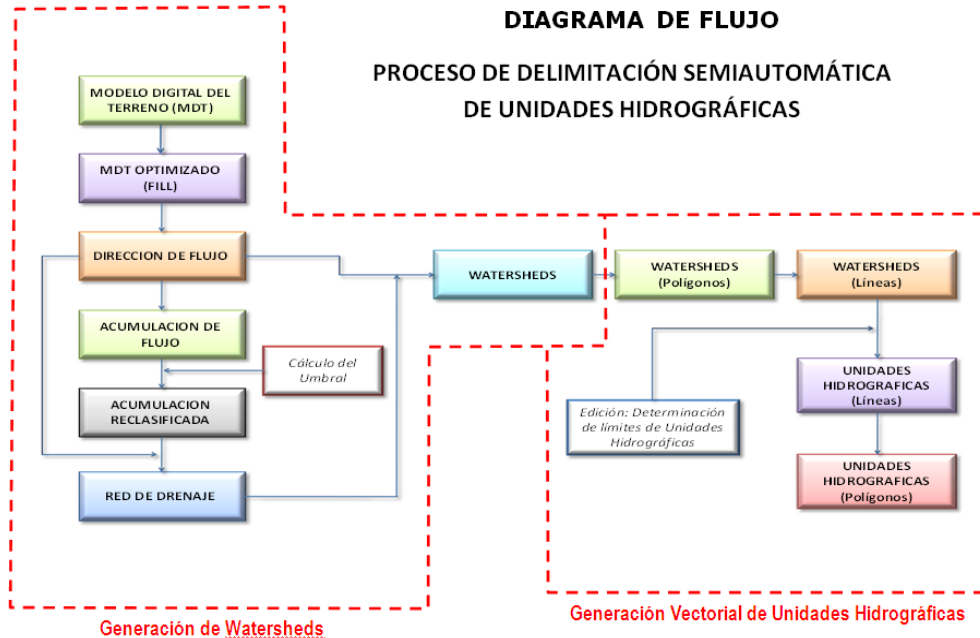


figura N° 3. Proceso de delimitación semiautomática de unidades hidrográficas

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

5.2.2 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. (figura N° 4)

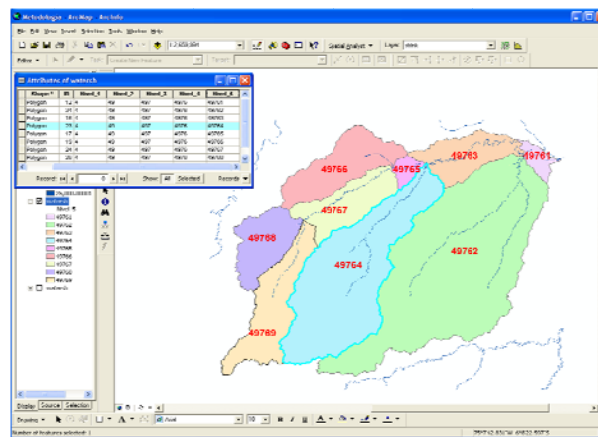


figura N° 4. Proceso de delimitación semiautomática de unidades hidrográficas

6. RESULTADOS

A continuación se detalla los resultados obtenidos de este trabajo:

El continente sudamericano está constituido, en el nivel 1, por 10 unidades o regiones hidrográficas. (figura N° 5)



figura N° 5. Unidades Hidrográficas de nivel 1: Sudamérica

Las Regiones Hidrográficas 0, 4 y 8 del Nivel 1 de Sudamérica tienen parte de su territorio en Bolivia. (cuadro N° 1)

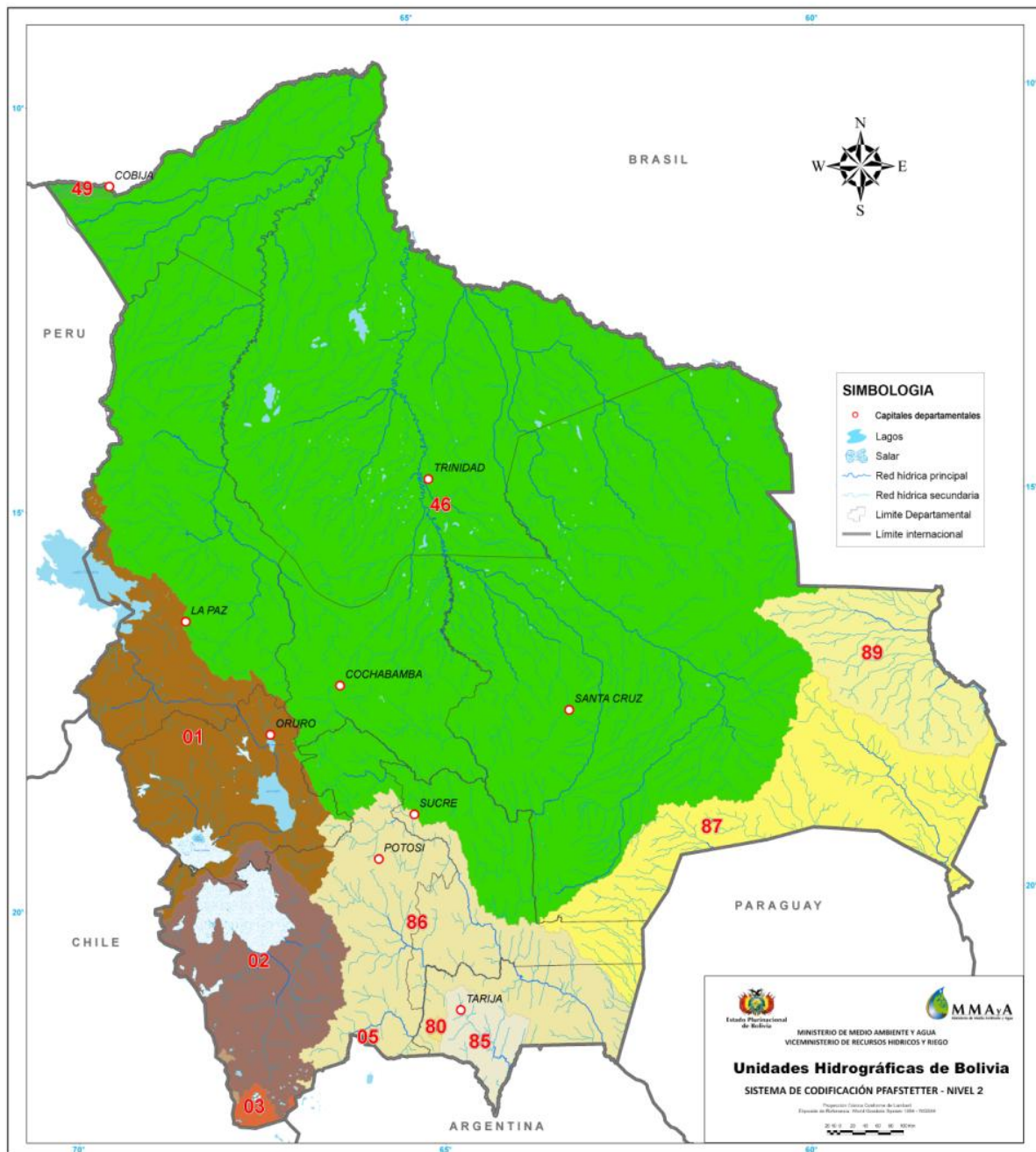
Cuadro N° 1
Superficie por Regiones Hidrográficas

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

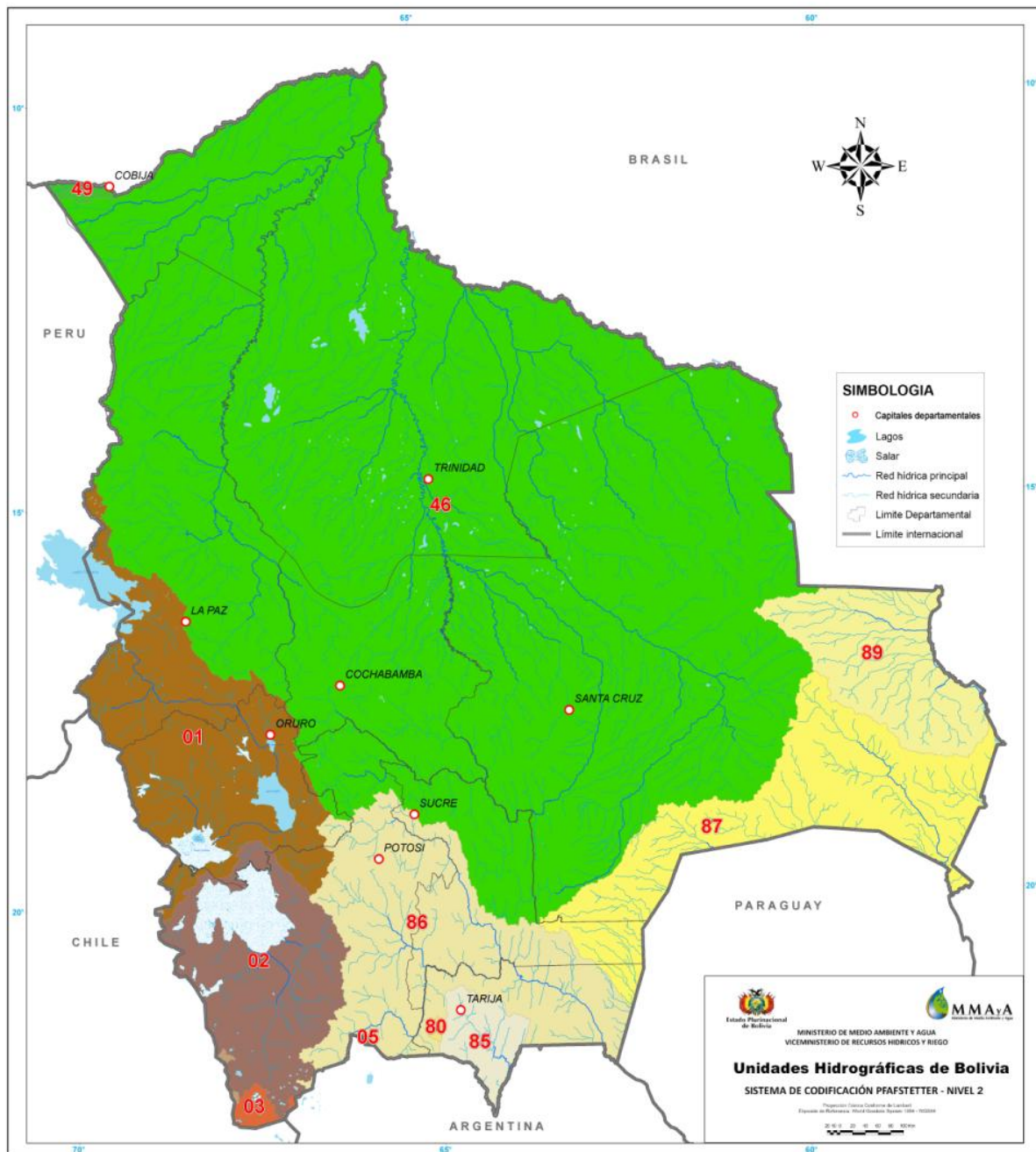
Unidades Hidrográficas de Bolivia - Nivel 1



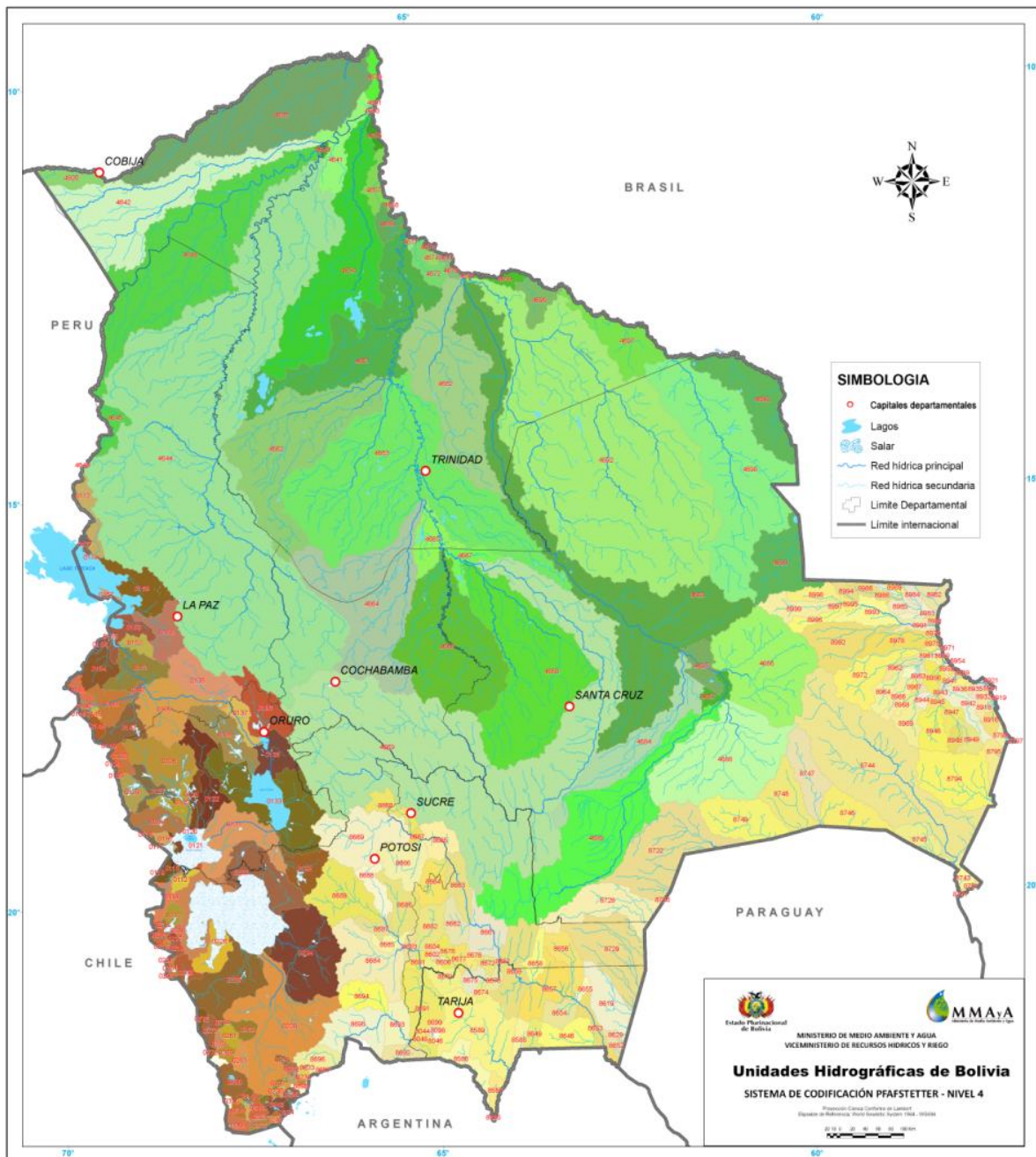
Unidades Hidrográficas de Bolivia - Nivel 2



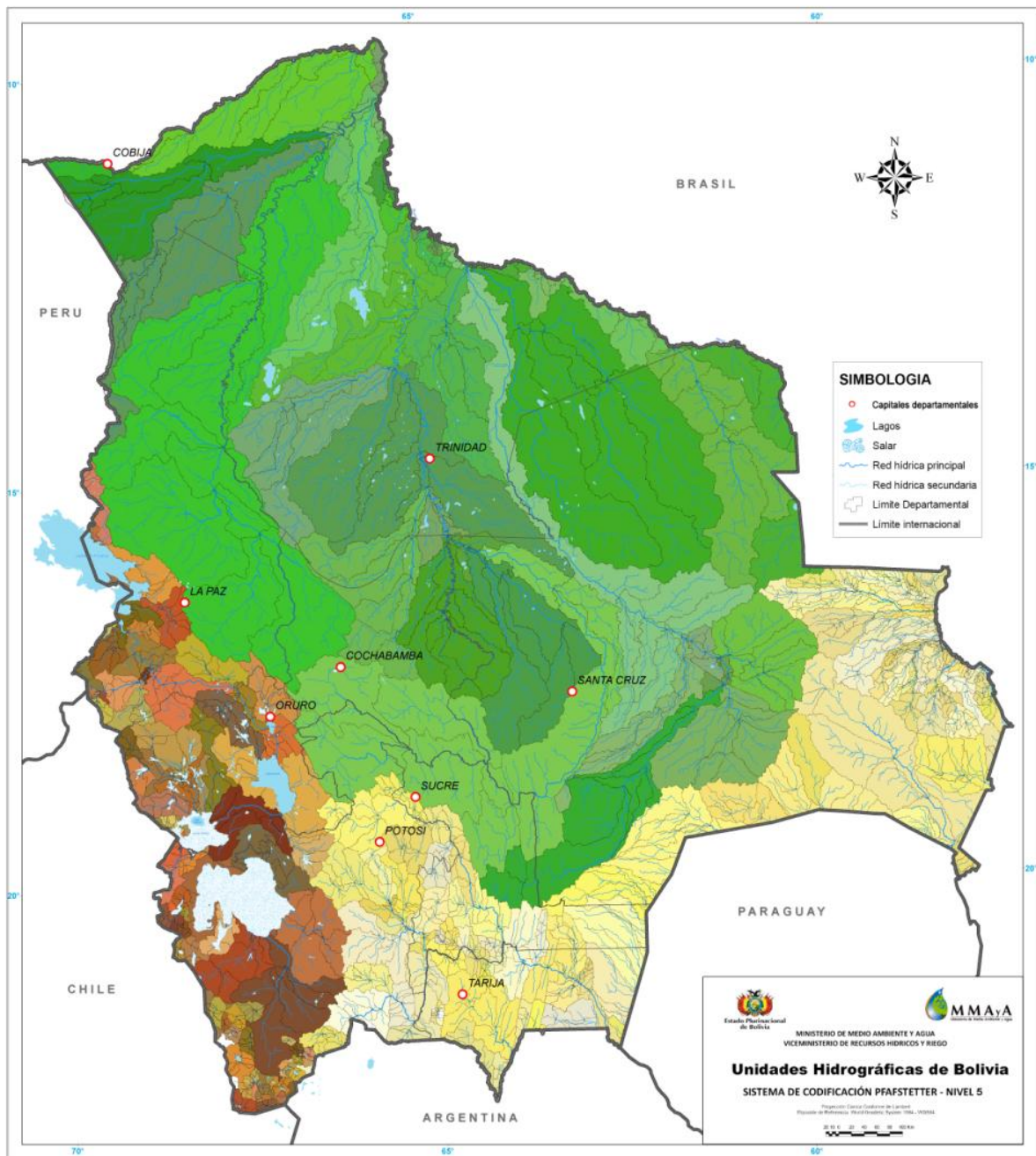
Unidades Hidrográficas de Bolivia - Nivel 3



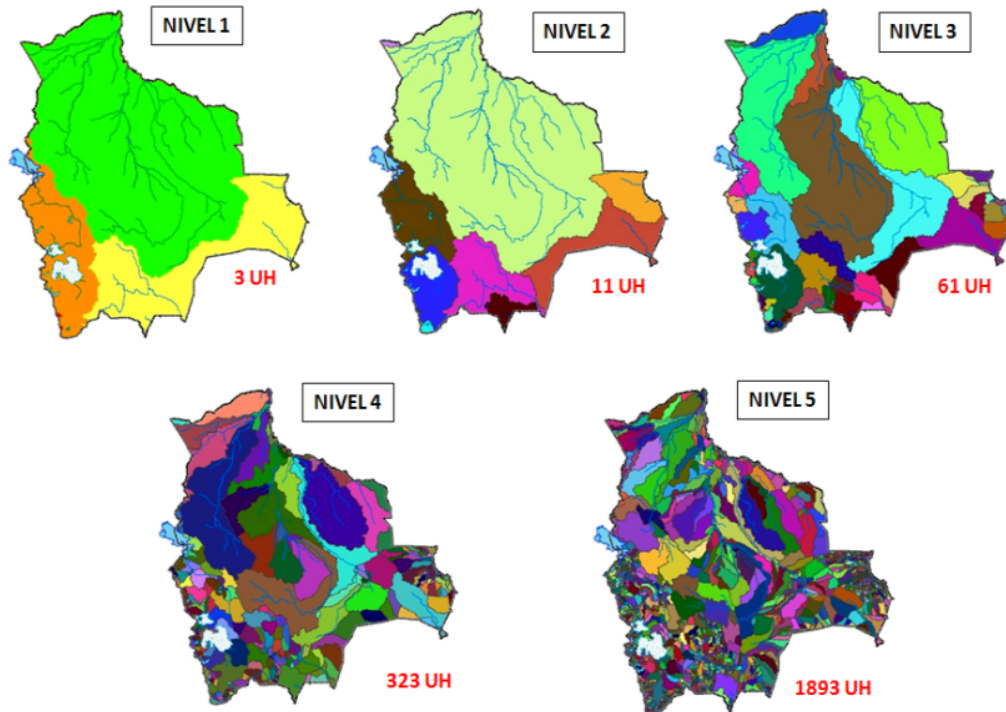
Unidades Hidrográficas de Bolivia - Nivel 4



Unidades Hidrográficas de Bolivia - Nivel 5



UNIDADES HIDROGRAFICAS DE BOLIVIA (NIVEL 1 AL 5)
Metodología Pfafstetter



7. 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 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.

- *El presente documento al establecer las bases para la delimitación y codificación de unidades hidrográficas utilizando el método Pfafstetter es de carácter referencial y se constituye en una versión preliminar. 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.*