

Clasificación de Cuencas de Bolivia según la metodología de Pfafstetter

Classification of river basins of Bolivia using the method of Pfafstetter

Álvaro Crespo¹, Paul Van Damme¹ y Milton Zapata¹

RESUMEN

Hasta el momento, las cuencas en Bolivia no han sido clasificadas con un sistema estándar. Las clasificaciones existentes son subjetivas y generalmente no aplican sistemas de jerarquización. En este trabajo se aplicó el método de Pfafstetter, reconocido a nivel mundial, el cual es de carácter numérico, topológico y natural porque sigue la dirección del drenaje del agua. Se ha podido clasificar las cuencas hasta el octavo nivel en algunos sistemas y para todo el territorio hasta el cuarto nivel. Se presenta un mapa de cuencas combinando diferentes niveles, y se discuten las posibles aplicaciones.

Palabras clave: Cuencas, Pfafstetter, Bolivia, Clasificación.

ABSTRACT

There does not exist a standard classification system for river basins in Bolivia. Most of the existing classification systems are subjective and do not consider hierarchical ranking of river basins. We present a classification system based on the Pfafstetter method, recognized internationally as a standard. This methodology is numerical, topological and natural because it follows the direction of the drainage water. Watersheds were classified until the eighth level in some regions and until the fourth level in the whole territory. We present a map combining different levels, and discuss possible applications.

Key words: River basins, Pfafstetter, Bolivia, Classification

¹ Asociación FAUNAGUA, Avenida Max Fernández final s/n - Plazuela del Chillijchi (Arocagua), Cochabamba, Bolivia. Telf.: 4276071; Email: alvaro.crespo@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El hombre tiene una inclinación de clasificar el ambiente en que vive. Hasta la fecha se han realizado diferentes clasificaciones de cuencas de Bolivia, dependiendo del uso que se le va a dar. Por ejemplo, CUMAR (1998) elaboró un mapa de cuencas para el Programa Nacional de Riego de Bolivia, sin considerar las interacciones con los países vecinos con los que compartimos cuencas y está clasificado hasta tres niveles: macrocuencas (tres), subcuencas (diez) y cuencas (53 para Bolivia). Entre los inconvenientes que se presentan están los siguientes: (a) la clasificación no permite realizar estudios de trayectoria de ríos, por sí sola, lo cual es muy importante para detectar fuentes de contaminación, o para ver cómo afecta un contaminante en la cabecera de la cuenca al resto de la misma; y (b) se desconoce la forma en que se delimitaron las cuencas.

También existe la clasificación realizada por Montes de Oca (2005), quien clasificó las cuencas de Bolivia en dos niveles: cuencas (tres) y subcuencas (16 para Bolivia). Este sistema tiene las mismas desventajas que el anterior. Otra clasificación es la realizada para el balance hídrico de Bolivia (Roche 1992) quien divide Bolivia en tres grandes cuencas hidrográficas, las cuales están subdivididas en cuencas hidrográficas (13). Las desventajas son similares.

Al comparar las propuestas de CUMAR (1998) y de Montes de Oca (2005), se puede notar que el término "cuenca" se usa con diferentes connotaciones, es decir que la "macrocuenca" para el CUMAR es lo mismo que la "cuenca" para Montes de Oca. Lo anterior demuestra que se necesita urgentemente un sistema unificado y estándar de clasificación de cuencas.

Hay muchas definiciones de cuenca y todas coinciden en que es una superficie donde las aguas convergen a un río principal. Una cuenca es una superficie territorial delimitada por la línea divisoria de aguas que permite el flujo de agua hacia un colector principal el cual tiene una sola salida (SNHN, 1998). Esta definición para la palabra "cuenca" no nos indica que debe tener un tamaño determinado. Aunque si podemos ver algunas desventajas. La ley 1333 (Ley de Medio Ambiente y sus reglamentos) en el capítulo II, artículo 34, hace referencia al manejo integral y control de cuencas, sin embargo no lo hace respecto a su tamaño o a la forma de clasificarlas. Lo que si se tiene bien desarrollada en la ley mencionada, es la clasificación de las aguas de una cuenca de acuerdo a su composición química.

Analizando este tipo de inconvenientes, Otto Pfafstetter en el año 2002 desarrolló para el Programa de Riegos de Brasil, un método que evita las desventajas mencionadas. Esta metodología es de carácter numérico, topológico (dígitos del cero al nueve) y natural porque sigue la dirección del drenaje del agua. Por sus características topológicas, el método de Pfafstetter ha sido reconocido por el "United States Geological Survey" (USGS) de los EE.UU. de Norte América, quien realizó la delimitación y codificación de cuencas hidrográficas a nivel mundial con el apoyo de las Naciones Unidas. En el Brasil, el método fue utilizado en la elaboración del Plan Nacional de los Recursos Hídricos. La tendencia actual es que este método sea un Estándar Internacional de Delimitación y Codificación de Cuencas Hidrográficas (Aguirre et al. 2006).

Aplicación del método de Pfafstetter

Se utilizaron los siguientes insumos:

- Mapa de microcuencas de Bolivia elaborado en base al Modelo Digital de Drenaje (Archivo digital Hydro 1K)
- Mapas hidrográficos del Instituto Geográfico Militar en escala 1:100 000
- Mapa hidrográfico elaborado en base al Modelo Digital de Drenaje
- Mapa de clasificación de cuencas del Brasil utilizando el método de Pfafstetter

El mapa de microcuencas fue generado con el software Arcview 3.2a en base al Modelo Digital de Drenaje (HydroSHEDS), elaborado por el "Conservation Science Program" de la "World Wildlife Fund" (WWF), en sociedad con el USGS, el "Centro Internacional para Agricultura Tropical" (CIAT), "The Nature Conservancy" (TNC), y el "Centro de Investigación de Sistemas Ambientales" (CESR) de la Universidad de Kassel, Alemania.

Para elaborar el mapa de microcuencas, el programa generó 4577 microcuencas (polígonos), de los cuales se filtraron los menores a 5 km². Se hicieron pequeñas correcciones manuales utilizando como referencia los mapas hidrográficos de IGM (1:50 000; 1:100 000). El mapa definitivo de microcuencas está conformado por 4167 polígonos. No se realizaron cortes de las microcuencas con los límites internacionales.

El método de Pfafstetter consiste en identificar los cuatro tributarios más grandes de un río. Si se empieza a recorrer el río desde la desembocadura hacia las cabe-

ceras y se encuentra con una confluencia, es importante distinguir el tributario del río principal. Esta selección se hace en base al área que estos ríos drenan, siendo el área mayor asignada al río principal y el área menor al tributario. Al área que los tributarios drenan se les denomina cuenca. A estos se les asigna números pares 2,4,6 y 8 en el orden en que son encontrados en dirección río arriba.

Los espacios intermedios son denominados intercuenca y estos son numerados con números impares 1,3,5,7 y 9, siendo este último la cabecera de la cuenca y por definición siempre drena más agua que la cuenca ocho (Fig. 1). En el caso de encontrar una cuenca cerrada esta será denominada con el número cero (Verdin, 1997). Este sistema empieza la clasificación de las cuencas a nivel continental. Para este caso la codificación se da siguiendo las manecillas del reloj. Se realiza la misma selección de las cuatro cuencas más grandes que drenan sus aguas al océano, quedando las demás como intercuenca.

Como podemos observar en la Figura 1, los tributarios (identificadores pares) tienen las áreas más grandes y en el caso de la cuenca numerada como nueve, su área es mayor que la cuenca identificada como ocho.

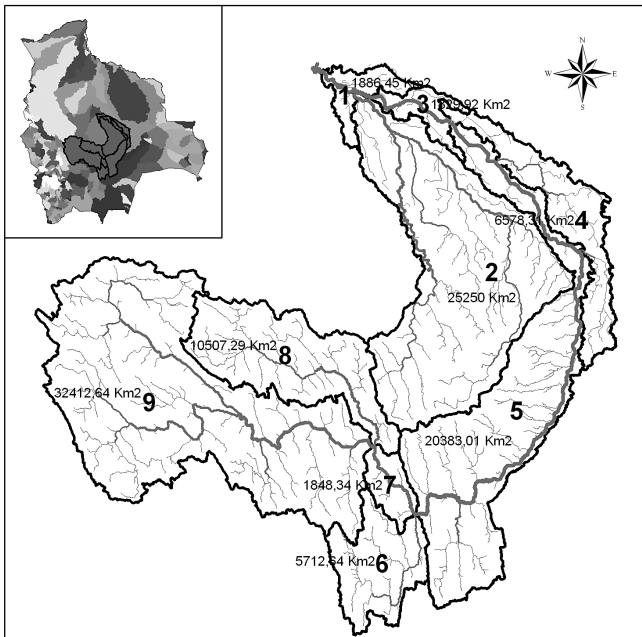


Figura 1. Ejemplo de clasificación de cuencas con el método de Pfafstetter. Los números representan distintas cuencas.

Se aplicó este método para clasificar las microcuencas de Bolivia, partiendo de la clasificación realizada por la Agencia Nacional de Aguas (ANA) para la cuenca del Amazonas en el Brasil (Fig. 2).

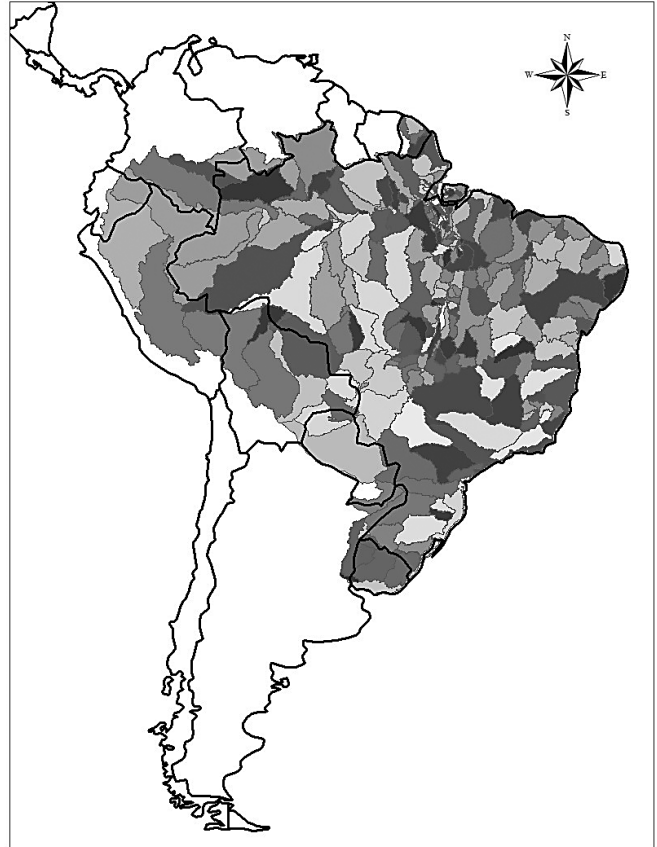


Figura 2. Clasificación de cuencas realizada por la ANA en Brasil con el método de Pfafstetter.

Mapa de cuencas de Bolivia

El resultado de los procedimientos descritos es la clasificación de las cuencas de Bolivia hasta un cuarto nivel según el método de Pfafstetter. La clasificación puede continuar hasta el octavo nivel en algunas cuencas. El nivel de las cuencas dependerá de la escala del investigador o del gestor.

El primer nivel de clasificación presenta tres regiones hidrográficas (Fig. 3a), equivalentes a las tres cuencas principales del país (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del primer nivel de clasificación según el método de Pfafstetter. PRONAR = Programa Nacional de Riego.

Región Hidrográfica según el método de Pfafstetter	Equivalente de cuenca con el sistema del	Área en Km ²
4	Macrocuena del Amazonas	716 021.19
8	Macrocuena del Plata	221 852.43
0	Macrocuena Cerrada	132 077.90

El segundo nivel de clasificación presenta siete regiones hidrográficas (cuencas) (Fig. 3b - Tabla 2). Se puede observar que la Cuenca del Plata o Región Hidrográfica ocho se ha dividido en dos regiones hidrográficas, la Cuenca Cerrada o Región Hidrográfica cero está dividida en tres regiones hidrográficas, y la Región Hidrográfica cuatro está dividida en dos regiones hidrográficas, de las cuales una es casi imperceptible al norte del país.

Tabla 2. Resultados del segundo nivel de clasificación según el método de Pfafstetter. PRONAR = Programa Nacional de Riego.

Región Hidrográfica según el método de Pfafstetter	Equivalente de cuenca con el sistema del	Área en Km ²
46	Macrocuena del Amazonas	713 867.41
49	Cuenca del Acre	2 038.64
88	Subcuena del Pilcomayo y Bermejo	99 374.94
89	Subcuena del Paraguay	123 575.62
01	Subcuena Titicaca	82.795.71
02	Subcuena Altiplano	45 390.97
03	Subcuena Altiplano	2 908.23

En el tercer nivel de clasificación se presentan 31 regiones hidrográficas (Fig. 3c - Tabla 3) clasificadas y una región sin clasificar debido a la falta de información de las cuencas compartidas con la República de la Argentina. Esta se encuentra en los cursos de los ríos Bermejo y Tarija.

El cuarto nivel de clasificación presenta 85 regiones hidrográficas con tamaños muy diferentes entre sus cuencas e intercuencas (Fig. 3d).

La clasificación de las cuencas en diferentes niveles está limitada por el número de afluentes que esta tiene.

En el caso de que tenga menos de 4 afluentes, la clasificación ya no es posible y toda la cuenca tiene como identificador el último nivel de clasificación. Debido

Tabla 3. Resultados del tercer nivel de clasificación según el método de Pfafstetter. PRONAR = Programa Nacional de Riego.

Región Hidrográfica según el método de Pfafstetter	Equivalente de cuenca con el sistema del	Área en Km ²
463	Cuenca del Abuná	24 241.70
464	Cuencas del Beni, Orthon, Madre de Dios, Manurimi, Tuichi, Kaka, Beni, Quiquibey, Tipuani, Boopi, Biata, Colorado, Madidi, Manuripi	172 187.45
465	Cuenca del Yata	23 860.61
466	Subcuena del Ichilo	239 283.55
467	Cuenca del Itenez	2 705.91
468	Cuenca del Itonamas	123 165.59
469	Cuenca del Itenez, Paraguá, Blanco, San Martín, San Miguelito	128 584.24
49	Cuenca del Acre	2 038.64
887	Cuenca baja del Pilcomayo	15 626.47
888	Cuenca alta del Pilcomayo	23 558.38
889	Cuencas del Cotagaíta, Pilaya Tumusla, San Juan del Oro	44 899.59
891	Cuenca baja del Pilcomayo	4 006.86
892	Cuenca baja del Pilcomayo y Cuenca de los ríos muertos del Chaco	16 376.95
894	Cuenca de los ríos muertos del Chaco, Cuenca Otuquis y Río Negro	51 837.24
895	Cuenca Bahía Cáceres	8 601.15
898	Cuenca Pantanal	42 477.49
012	Cuenca Titicaca	2 357.84
015	Cuenca Titicaca	12 823.68
016	Cuenca Desagüadero	26 277.81
018	Cuencas del Barras, Turco y Lauca	18 879.48
019	Cuencas del Marquez y Lagos	22 452.43
021	Cuenca Salares	1 657.40
022	Cuenca Salares	3 946.46
024	Cuenca Salares	11 419.42
025	Cuenca Salares	1 194.37
026	Cuenca del Grande de Lípez	1 647.61
027	Cuenca del Pucamayu	8 872.69
028	Cuenca del Grande de Lípez	2 271.19
029	Cuenca del Grande de Lípez	14 349.53
032	Cuenca del Grande de Lípez	852.42
033	Cuenca del Grande de Lípez	2 055.80

a esto, algunas cuencas (especialmente las del Altiplano) solo llegan a tener hasta un tercer nivel, en cambio en la cuenca amazónica tienen hasta un séptimo nivel. La ventaja de esta clasificación es que es posible identificar todas las cabeceras de cuencas, los diferentes afluentes que estas puedan tener, y las desembocaduras con

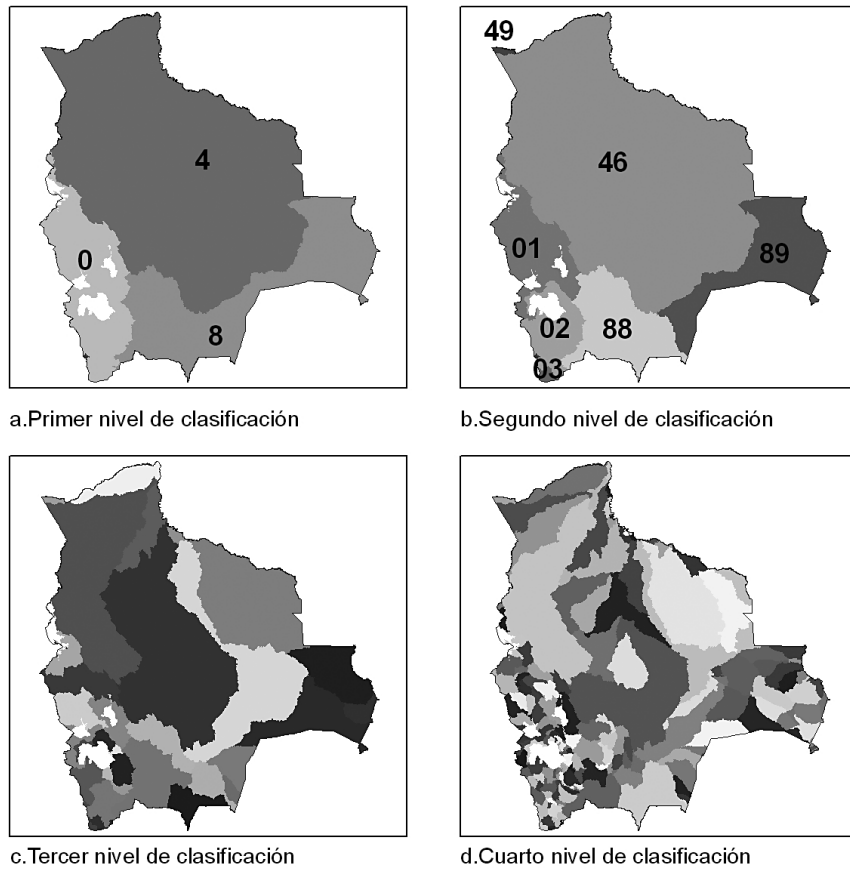


Figura 3. Resultado de la clasificación de las cuencas de Bolivia hasta el cuarto nivel según el método de Pfafstetter. Para explicación de códigos véase texto y Tablas 1 y 2.

operaciones sencillas de búsqueda con un software SIG, o incluso con Excel.

Debido a que el método realiza una división basada en la forma de la cuenca (los ríos), no existe un tamaño estándar de cuencas en el mismo nivel. Las más grandes pueden ser hasta treinta veces más grandes que las pequeñas, lo cual puede ser una limitante para realizar comparaciones entre cuencas. Una vía de acción para usar este sistema como herramienta de gestión, es utilizar cuencas con diferentes niveles y de similar tamaño para usos específicos, por ejemplo, en el marco de la gestión del riego o del manejo de fauna acuática. Como herramienta de gestión se propone combinar cuencas del nivel tres y cuatro para obtener un mapa con cuencas de similar tamaño (Fig. 4). Las cuencas del Altiplano boliviano se clasifican hasta un tercer nivel mientras que las de la Amazonía hasta un cuarto nivel.

Para la gestión del recurso agua, el uso de esta clasificación puede tener muchas ventajas como ser: la facilidad del trazado de contaminantes y los efectos que pueda tener cuenca abajo con herramientas que permitan la automatización del proceso (el sistema puede asignar identificadores en base a la topología). Haciendo uso de herramientas informáticas, se pueden elaborar aplicaciones que permitan proporcionar información requerida de las cuencas, como por ejemplo las cuencas e intercuencas que se encuentran arriba o abajo, el número de estas, etc. Un ejemplo de estas herramientas es "Pfafstetter Tools" desarrollada para ser usada en Excel (Furnans & Olivera 2001). La aplicación de los identificadores para las cuencas y las intercuencas indica un tipo de relación con sus vecinos, ningún área del territorio está sin codificar.

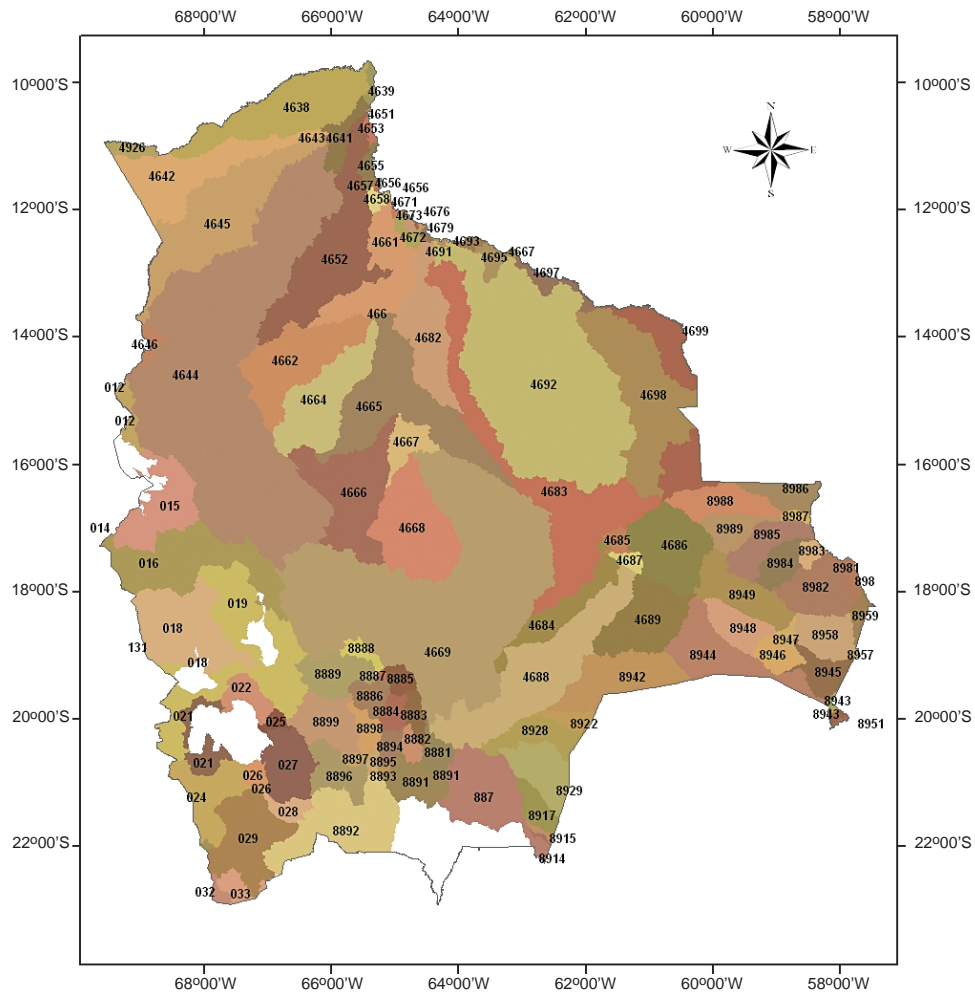


Figura 4. Propuesta de mapa de cuencas como instrumento de gestión, combinando dos niveles según el método de Pfafstetter. Para explicación de códigos de 3 dígitos véase Tabla 3.

El mapa de cuencas resultante de la aplicación del método de Pfafstetter puede tener multitud de aplicaciones tanto a nivel de investigación como a nivel de gestión. En la biología, por ejemplo puede representar un marco geográfico ideal para la descripción, explicación y/o predicción de organismos acuáticos. En Bolivia, existen tanto clasificaciones de los ecosistemas terrestres (Ibisch et al. 2003; Navarro y Maldonado, 2002) como de los ecosistemas acuáticos (Navarro y Maldonado, 2002). Estas clasificaciones, que generalmente aplican criterios climáticos, geológicos y geomorfológicos, se caracterizan por poder explicar la distribución de ciertas especies o de grupos de especies indicadores, como la vegetación o los macroinvertebrados acuáticos (Navarro y Maldo-

nado, 2002). El mapa de cuencas presentada puede ser complementaria a estas clasificaciones en el sentido de que puede explicar o predecir de mejor forma, la distribución de especies obligatoriamente acuáticas, como son los peces o los delfines de agua dulce.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue realizado con financiamiento de la Asociación AGUA SUSTENTABLE y TNC. Agradecemos en particular a Paola Pacheco, Elena Villarroel, Juan Carlos Alluralde (AGUA SUSTENTABLE), Eric Armijo y Steffen Reichle (TNC).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre M., H. Torres y R. Ruiz. 2006. Manual de Procedimientos para la Delimitación y Codificación de Cuencas Hidrográficas del Perú. Consultado en 20 de mayo de 2006, <http://10.10.0.10/website/sanfrancisco/viewer.htm>.
- CUMAR. 1998. Mapa de Ordenamiento Hidrográfico de Bolivia, correlación con niveles de pobreza y degradación de recursos naturales renovables. Escala 1:1 000 000. Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Desarrollo Rural. La Paz, Bolivia.
- Furnans, J. & F. Olivera. 2001. Determining the downstream watershed with the Pfafstetter system. Consultado en 2 de mayo de 2007. <http://gisesri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap1008/p1008.htm>.
- Ibisch, L.P. y G. Mérida (Eds.). 2003. Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de conocimiento y conservación. Ed. FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 564 p.
- SNHN. 1998. Hidrografía de Bolivia, Descripción de ríos, lagos, salares y balance hídrico de Bolivia. Servicio Nacional de Hidrografía Naval. La Paz.
- Montes de Oca, I. 2005. Enciclopedia Geográfica de Bolivia. Ed. Atenea S.R.L. La Paz, Bolivia. 871 p.
- Navarro, G. y M. Maldonado. 2002. Geografía Ecológica de Bolivia: Vegetación y Ambientes Acuáticos. Ed. Centro de Ecología Simon I. Patiño. Cochabamba, Bolivia. 719 p.
- Roche, G. 1992. Balance hídrico superficial de Bolivia. Publicación PHICAB. La Paz, Bolivia. 28 p.
- Shuttle Radar Topography Mission. U.S. Geological Survey. Última actualización 14 mayo 2004. Consultado en mayo de 2005. <http://srtm.usgs.gov/mission.html>.
- Verdin K.L. 1997. A System for Topologically Coding Global Drainage Basins and Stream Networks. Consultado en 22 de junio de 2008. <http://edu.usgs.gov/productos/elevation/gtopo30/hydro/P311.html>.