VALORACIÓN DE LOS LUGARES DE INTERÉS HIDROLÓGICO EN EL ECUADOR. UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

ASSESSMENT OF PLACES OF HYDROLOGICAL INTEREST IN ECUADOR. A LITERATURE REVIEW

Oscar Vinicio Garzón Collahuazo¹
Sixto Andrés Garzón Collahuazo²

Resumen

El propósito de este artículo es realizar una exhaustiva revisión bibliográfica sobre la valoración de los lugares de interés hidrológico en el Ecuador, considerando también aspectos teóricos relevantes. La metodología empleada es de tipo descriptivo, utilizando como método principal la observación documental. Para la recolección de información secundaria, se han considerado artículos científicos, tesis y bases de datos. Se concluye que la valoración de los lugares de interés hidrológico y la preservación del patrimonio geológico no solo contribuyen al avance del conocimiento científico, sino que también enriquecen la cultura, la educación y el disfrute recreativo de la sociedad. Es imperativo seguir promoviendo la investigación y conservación de estos sitios para garantizar su protección y su aprovechamiento sostenible en beneficio de las generaciones presentes y futuras en el Ecuador.

Palabras clave: Inventario de Lugares de Interés Geológico, Cuenca Hidrográfica, Hidrología, Meteorología, Climatología, Geología.

Abstract

The purpose of this paper is to carry out an exhaustive bibliographic review on the assessment of places of hydrological interest in Ecuador, also considering relevant theoretical aspects. The methodology used is descriptive, using documentary observation as the main method. For the collection of secondary information, scientific articles, theses and databases have been considered. It is concluded that the valuation of places of hydrological interest and the preservation of geological heritage not only contribute to the advancement of scientific knowledge, but also enrich culture, education and recreational enjoyment of society. It is imperative to continue promoting research and conservation of these sites to guarantee their protection and sustainable use for the benefit of present and future generations in Ecuador.

Keywords: Inventory of Places of Geological Interest, Hydrographic Basin, Hydrology, Meteorology, Climatology, Geology.

Introducción

La valoración de los lugares de interés hidrológico es un campo de estudio interdisciplinario que fusiona la geología, la gestión ambiental y la conservación, con el objetivo de comprender y preservar los recursos acuíferos y sus entornos naturales.

A nivel internacional, los términos patrimonio geológico (PG) y lugar de interés geológico (LIG) abarcan una variedad de enfoques y objetivos, desde la difusión del conocimiento geológico hasta la protección del medio ambiente. Estos conceptos han cambiado dramáticamente como resultado de las interacciones entre ciencia, política y sociedad. El

Recepción: 10 de Marzo de 2024 / Evaluación: 18 de Abril de 2024 / Aprobado: 26 de mayo de 2024

¹ Ingeniero en Geología. Email: ovgarzon@hotmail.com

² Ingeniero en Geología y Minas. Email: andresgc_9516@hotmail.com

primer estudio sistemático de PG se llevó a cabo en Inglaterra en 1949 y el método se desarrolló entre 1977 y 1990. Otros países, como Australia y Alemania, también han desarrollado métodos específicos para identificar y proteger accidentes geológicos de interés científico (Carcavilla, López y Durán, 2007).

En el contexto ecuatoriano, el estudio de áreas de importancia hidrológica cobra relevancia debido a la importancia que tienen los recursos hídricos para la sostenibilidad ambiental, el desarrollo económico y el bienestar social. Sin embargo, la investigación en este campo, especialmente en provincias como Imbabura, enfrenta importantes desafíos en términos de recopilación de datos y análisis sistemático. Chinchay (2011) propuso fórmulas estadísticas para determinar la diversidad geológica de la región, tomando en cuenta el estudio de caso de Ecuador. Por su parte, el Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas, Mineras y Metalúrgicas (INIGEMM) desarrolló en 2013 un método para inventariar y clasificar LIG en Ecuador, adaptando diversos métodos internacionales.

Investigadores como Almeida (2016) y Carrera et al. (2015) han realizado importantes aportes a la estructura del conocimiento del sistema hidrológico de Imbabura. Almeida describe cronológicamente el desarrollo del complejo volcánico Cotacachi-Cuicocha y recopila información sobre los recursos hídricos de la cuenca del río Mira (Almeida, 2014). Carrera y sus colegas midieron la concentración de sustancias inorgánicas en el agua de la cuenca del río Ambi, lo que indica la presencia de minerales de origen volcánico. Otros estudios han examinado las características evolutivas del complejo volcánico de Imbabura (Le Pennec et al., 2011), las aplicaciones de ingeniería en la gestión del agua (Flores, 2010) y los flujos de CO₂ en las lagunas caldera del incendio de Cuicocha (Padrón, 2008).

Fundamentación teórica

Inventario de Lugares de Interés Geológico

Patrimonio Geológico

De las varias definiciones propuestas a nivel mundial, se puede considerar casi todas en singular importancia, sin embargo, sobresale el concepto que establece el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Por tanto, para poder entender la conceptualización de PG es necesario consensuar las definiciones de la mayoría de los autores, que se cita a continuación.

IGME (2013), manifiesta:

Patrimonio Geológico: Conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar:

- a) el origen y evolución de la Tierra,
- b) los procesos que la han modelado,
- c) los climas y paisajes del pasado y presente y
- d) el origen y evolución de la vida. (Ley 42/2007)

Por otra parte, considerando la evolución de la historia de la Tierra como eje fundamental en el modelamiento paisajístico. Cendrero (1999) refiere que el Patrimonio Geológico, son los recursos naturales renovables y no renovables de formaciones rocosas, estructuras geológicas, acumulaciones sedimentarias, formas del terreno, yacimientos minerales, petrográficos o paleontológicos con un valor de carácter científico investigativo, social, cultural, académico, paisajístico o recreativo.

Durán, Carcavilla y López (citado de Vásconez, 2015) menciona:

El Patrimonio Geológico se define por todos aquellos recursos naturales, ya sean formaciones superficiales, rocosas, estructuras, acumulaciones sedimentarias, paisajes, yacimientos minerales, paleontológicos y todos los elementos geológicos de significativo valor

científico, cultural, educativo y/o de interés recreativo cuya exposición y contenido es especialmente adecuado para reconocer, estudiar e interpretar la historia y la evolución geológica de un determinado ámbito, región o territorio.

En el análisis del estudio de la geodiversidad y PG considera varios contextos geológicos, para el entendimiento de los componentes.

El término Patrimonio Geológico define a aquellos elementos geológicos tales como formaciones y estructuras geológicas, paisajes geomorfológicos, yacimientos paleontológicos y mineralógicos, etc., de significativo valor para reconocer, estudiar e interpretar la historia y la evolución geológica de una determinada región o territorio. (Chinchay, 2011, p.72)

Por otra parte, Duran y Vallejo (1998) refieren que el Patrimonio Geológico es un bien común. De propiedad individual o colectiva, se considera como patrimonio de la humanidad, si su desintegración es irreversible y solo presenta daño sobre el valor de sí mismo, que conlleva parte de memoria de la Tierra, conservando sus características principales para las futuras generaciones en conocimiento y disfrute.

Partiendo de las definiciones anteriores, se considera al Patrimonio Geológico como un conjunto de elementos geológicos que a través del tiempo expresan un contenido con características de singular importancia y un alto contenido de interés investigativo, educativo y recreacional. Sin dejar de lado los distintos componentes del PG; los elementos hidrológicos descritos como Lugares de Interés Hidrológico (LIH's), guardan una estrecha relación de catalogación y valoración del recurso hídrico.

Lugares de Interés Geológico

Existen varios autores que conceptualizan los dominios geológicos. Los Lugares de Interés Geomorfológico presentan un valor científico para la reconstrucción de la historia humana y de la Tierra, así como para la comprensión de la organización del territorio, el paisaje y el patrimonio natural. (González, Serrano y González, 2014, p.46).

Según García y Carcavilla (2009) designa a los Lugares de Interés Geológico como:

Lugares por su carácter único y/o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos, incluyendo los procesos que los han modelado, los climas del pasado y su evolución paleobiológica. Estas áreas deberán mostrar, de manera suficientemente continua y homogénea en toda su extensión, una o varias características notables y significativas del Patrimonio Geológico de una región natural. (p. 7)

Por otra parte, IGME (2013) afirma que el estudio interpretativo y evolutivo de dominios geológicos apegado a proceso de modelamiento natural, clima y evolución paleobiológica; presentan un interés de carácter único mostrando la conservación de sus características homogéneas naturales.

Asimismo, INIGEMM (2013), sostiene que los LIG's son rasgos geológicos con características únicas de valor excepcional que evidencia la evolución geológica de un determinado territorio y que presenta una valoración científica, didáctica y recreativa.

En otras palabras, los LIG's son zonas geográficas de recursos naturales, con características evolutivas intrínsecas de una determinada región, que permiten dar a conocer su historia geológica, ambiental y cultural para la explicar desde el punto de vista científico las causas que originaron su formación en tiempo y espacio.

La importancia de la determinación de LIG's en un territorio radica en la que; la concentración de estos lugares permite conformar Geoparques, Parques Naturales o Parques Geológicos, fomentando la gestión del Patrimonio Geológico.

Lugares de Interés Hidrológico

Partiendo desde el punto de vista de aprovechamiento del recurso hídrico, Rodríguez (2001) sostiene que los Lugares de Interés Hidrológico son todos aquellos lugares en los que

el recurso agua presenta particular interés por su belleza natural, desde un punto de vista histórico, por su importancia o por su uso específico en un momento dado, por su belleza arquitectónica directamente relacionada con el uso del agua, así como por el volumen que representa dentro del total de los recursos de la comunidad, de interés científico, educativo/didáctico y paisajístico/cultural.

Marín y Martínez (2007), manifiestan que el Patrimonio Geológico se conforma por un conjunto de elementos geológicos representados en la historia geológica, en el que propone incorporar a los recursos renovables como el agua subterránea como parte del Patrimonio Geológico.

Tal como propusieron en 2004 Ego y Moreno, la declaratoria Lugares de Interés Hidrogeológico, para aguas de aprovechamiento minero-medicinal, de manantial, mineral natural e industrial. Asimismo, Durán (2001) propone considerar al Patrimonio Hidrogeológico en tres grupos: manantiales, acuíferos (patrimonio hidrogeológico), edificaciones relacionadas a la interacción del agua (paisajístico) usos históricos del agua subterránea.

Por características o representatividad, un LIH's para su estudio e interpretación, se debe considerar la génesis y evolución de dominios geológicos, procesos de modelamiento, climas del tiempo geológico y evolución paleobiológica. (IGME, 2013).

En otras palabras, esta concepción detalla que un rasgo hidrológico debe tener valor intrínseco y de carácter excepcional-universal en una región para ser considerado como LIH's, mostrando continuidad y homogeneidad en todas sus características de Patrimonio Geológico, del cual se puede aprovechar sus características hídricas (superficial o subterránea) para la gestión integral a nivel de cuenca hidrográfica.

Inventario y catalogación de Lugares de Interés Geológico

La conceptualización de la metodología del inventario y catalogación de Lugares de Interés Geológico propuesta por el INIGEMM (2013) consta de las siguientes fases:

Primera fase

Diagnóstico bibliográfico

Se refiere a la recolección de información documental existente, ya sea informes, trabajos investigativos, documentos científicos de entidades públicas o privadas que permitan robustecer la base de datos referente a Lugares de Interés Geológico en el país, además de validar la información de mapas temáticos de las diferentes disciplinas de ciencias de la tierra. Como resultado de la revisión documental, se genera una base de datos de información bibliográfica y referencia de información geológica, proporcionado información y mapas preliminares para las salidas de campo.

Segunda fase

Según INIGEMM (2013) refiere esta fase, al establecimiento de una planificación de reconocimiento y compilación de datos en el campo con los siguientes criterios:

- Geológicos: Limitación de elementos geológicos mediante hojas geológicas de diferente escala.
- Geográficos: Delimitación de zonas de estudio, reconociendo espacios geográficos representativos como: hoyas geográficas, valles o por la topografía impuesta por el relieve.
- Escala de trabajo: De 1:100000, no es una escala a detalle, pero proporciona información relevante.
- Administrativos: Limitación geográfica a partir de divisiones políticas.
- Delimitación de áreas de estudio, arbitrarias o por selección de importancia.

Identificación- reconocimiento y verificación en campo

Investigación-caracterización geológica especializada

Corresponde a la descripción a detalle de los elementos geológicos de interés previamente seleccionados. En este proceso se considera labor en campo; para ejecutar la caracterización a detalle de los rasgos geológicos seleccionados en la fase de verificación en campo.

La descripción mediante las diferentes tipologías geológicas permitirá incrementar el conocimiento geológico y entender la zona de estudio desde una perspectiva regional y local. Este registro de información se realizará de manera conjunta con técnicos especializados del área de geología.

La recolección de muestras y la elección de la técnica de laboratorio a ser elegida para su análisis permitirá especificar los resultados, por consiguiente, de manera específica se realizará estudios microscópicos para determinar genéticamente el rasgo geológico.

Clasificación-listado de posibles lugares de Interés Geológico

Es necesario realizar un diagnóstico de las localidades con potencial interés geológico, con el propósito de decidir si los sitios preseleccionados en campo cumplen con las características necesarias para ser incluido en un listado de posibles Lugares de Interés Geológico, basado en las siguientes características:

- Considerar el rasgo geológico como escaso o muy raro en la historia geológica de una región natural, referidas en las tipologías geológicas.
- Rasgo geológico como referencia geológica nacional o a nivel internacional, conforme las tipologías geológicas.
- Rasgo geológico de importancia en la historia de la investigación geológica.
- Interés como compendio o registro de información científica.
- Rasgo geológico como importancia en la interpretación de procesos geológicos basado en la observación del mismo, referida en las tipologías geológicas.
- Rasgo geológico con alto grado de conocimiento científico.
- Rasgo geológico con diversidad de tipologías geológicas de interés, referida en las tipologías geológicas.
- Rasgo geológico con condiciones de acceso para descripción del proceso geológico. Información registrada en el listado de posibles Lugares de Interés Geológico. Anexo

Tercera fase

Valoración de Lugares de Interés Geológico

La posibilidad de uso o utilización, fragilidad y necesidad de protección, son criterios importantes para la valoración de Lugares de Interés Geológico (INIGEMM, 2013). Además de aquello, menciona que para la obtención de un informe sobre el listado de LIG's, las descripciones y observaciones realizadas en campo, se debe registrar en la ficha de valoración. Se seguirán los criterios de valoración conforme la metodología de inventario de Lugares de Interés Geológico INIGEMM (2013).

Inventario de Lugares de Interés Geológico catalogado

Conforme los diferentes parámetros científico, didáctico y recreativo, cada lugar seleccionado tendrá una puntuación,. Se asignará una ponderación en escala ascendente puntuarse de 1 al 4, obteniendo lugares que con cifras mayores a 210 serán de interés muy alto, mientras que los que tengan cifras entre 210 y 117 serán de valor medio, y aquellos que no alcancen la cifras de 50 serán de interés bajo. Información registrada en Ficha de valoración.

Cuarta fase

Mapas temáticos

Para la representación de la localización y ubicación de Lugares de Interés Geológico debidamente georreferenciados mediante herramientas de información geográfica, se hace necesario elaborar mapas temáticos, que permitirán difundir la información de carácter científico-técnico.

Por lo tanto, hay que considerar al resultado de la representación gráfica como un medio de divulgación de información, como lo establecen algunos autores. “La representación sobre cartografía geológica de cara a la planificación estaría justificada en un estudio de geodiversidad o un inventario, para apreciar la representatividad de los LIG’s o bien como herramienta de divulgación, situando geológicamente el lugar” (Lozano, Vegas y García, 2009, p153).

Cuenca Hidrográfica

Una cuenca hidrográfica o lacustre es el área delimitada por las divisorias de aguas de un sistema de arroyos y ríos que convergen en la misma desembocadura. Una cuenca subterránea o un acuífero es un cuerpo discreto de agua subterránea (Global Water Partnership, 2009).

Generalmente una cuenca hidrográfica, consta de un curso de agua, alimentado de afluentes secundarios que confluyen y se descargan en un punto de salida.

Acorde a lo definido por Ramakrishna (1997), establece que la cuenca hidrográfica en un área que constituye el curso principal de agua procedente de la precipitación, siendo esta área natural una unidad fisiográfica por la descripción geomorfológico de los relieves que definen el curso del agua, los límites de las cuencas esta dado por la línea natural que separa las vertientes o cuencas fluviales.

El autor antecedente, manifiesta la cuenca como un sistema, lo siguiente:

La cuenca la conforman componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora, fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, culturales, institucionales), que están todos interrelacionadas y en equilibrio entre sí, de tal manera que al afectarse uno de ellos, se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema (Ramakrishna,1997, p. 19).

Según Aguirre (2011) la cuenca es el espacio del territorio en el cual naturalmente discurren todas las aguas (aguas provenientes de precipitaciones, de deshielos de acuíferos, etc. que discurren por cursos superficiales o ríos) hacia un único lugar o punto de descarga (que usualmente es un cuerpo de agua importante tal como un río, un lago o un océano). El ámbito de la cuenca hidrográfica es un espacio territorial naturales independiente de las fronteras político-administrativas internas de un país o de fronteras internacionales. (p.11)

Según las definiciones citadas referente a la cuenca hidrográfica, se define como una unidad fisiográfica que constituye el encauzamiento de las aguas que llegan a este mediante el sistema de canales que la componen para el drenaje a un lugar principal sea río, lago u océano, las cuencas están divididas por “divisorias de aguas” que son relieves altos que separan físicamente de otras cuencas de drenaje, por tanto las cuencas son un sistema de acopio y canalización del agua a un punto determinado de llegada natural.

Por otra parte, Ramakrishna (1997), considera a una cuenca hidrográfica, como una unidad fisiográfica compuesta por un sistema de cursos hídricos establecidos por la forma de la tierra, delimitada por las partes más altas de una superficie (divisoria de aguas) natural que encierra a un cauce principal, denominado río.

Características físicas de la cuenca hidrográfica

El análisis de una cuenca hidrográfica se desarrolla en base a la morfometría, morfología y morfodinámica (Rosales, 2015). Sin embargo, para determinar la caracterización de una

cuenca hidrográfica de una forma objetiva, se considera los parámetros de forma y parámetros hidrológicos, como a continuación se describen:

- Parámetros de forma
- Área (A)
- Polígono cerrado, que corresponde a una superficie plana delimitada entre la divisoria de aguas.

Perímetro (P)

Es la longitud total del polígono que delimita la cuenca hidrográfica.

Longitud Axial (La)

Es la longitud del cauce principal desde la cabecera hasta el punto de salida de la cuenca hidrográfica, el cual recibe el aporte de los cauces tributarios.

Ancho promedio (Ap)

Se define como la relación longitudinal existente entre el área (A) y la longitud axial (La) de la cuenca.

Forma

Naranjo (2013), afirma que la forma de una cuenca se define mediante el índice de Gravelius o conocido como coeficiente compacidad (Kc); o a través del factor de forma (Ff).

Es decir, de acuerdo a lo señalado por el autor en referencia se determina que la forma de la cuenca está en función del coeficiente Kc, como se aprecia su clasificación según los rangos.

Factor de forma.

- Expresa la relación entre ancho promedio y la longitud axial de la cuenca.

$$Ff = \frac{Ap}{La}$$

Este valor adimensional muestra la forma. Por otra parte, Rosales (2015) describe que la susceptibilidad a crecidas está relacionada a la forma de la cuenca que puede presentar la cuenca hidrográfica.

Índice de Gravelius (Kc).- O coeficiente de compacidad, corresponde a la relación entre el perímetro (P) de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo igual al área (A) de la cuenca.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}}$$

Altitud mínima (Hmin)

Es la cota más baja de la cuenca sobre el nivel del mar, generalmente corresponde al punto de salida.

Altitud máxima (Hmax)

Es el punto más alto de la cuenca, medido sobre el nivel del mar. Estas diferentes altitudes indican los pisos altitudinales que pueden tener la cuenca, íntimamente relacionados con la temperatura, geomorfología y evapotranspiración

Desnivel altitudinal (Dh)

Es la diferencia existente entre la altitud mínima y máxima de la cuenca.

Altitud media (Hm)

Es el promedio de las elevaciones en una cuenca, a través de un análisis espacial y estadístico.

Coefficiente de masividad (Km)

Es la relación que existe entre la altitud media (Hm) y el área (A), para indicar en forma general el relieve de la cuenca.

Pendiente media de la cuenca (Pm)

Es la inclinación promedio de la cuenca, que determina la velocidad de la escorrentía superficial, lo cual influye en el tiempo que tarda el agua de las precipitaciones para concentrarse en los cauces de la cuenca. Este parámetro precisa el tipo de morfología de la cuenca.

Curva hipsométrica

La curva hipsométrica permite conocer la distribución de masa en la cuenca desde arriba hacia abajo. Strahler (citado de Racca, 2007)

Por otra parte, se puede afirmar que, es la representación gráfica que indica el porcentaje del relieve de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada.

Longitud del cauce principal (L)

La longitud del cauce principal de la cuenca, medida en kilómetros, se clasifica según ciertos rangos. Estos rangos permiten agrupar las longitudes del cauce principal en clases específicas basadas en su extensión en kilómetros.

Pendiente del río principal (S)

Está íntimamente relacionado con la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua. Podemos obtener:

Pendiente por tramos (Pr)

Se puede obtener a través de la siguiente expresión:

$$Pr = \frac{\text{Diferencia de cotas}}{\text{Distancia horizontal entre cotas}}$$

Pendiente equivalente constante (Prc)

Permite tener una idea sobre el tiempo de recorrido del agua a lo largo de la extensión del perfil del río, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Prc = \left(\frac{\sum li}{\sum li * (Pr)^{0,5}} \right)^2$$

Dónde:

li: Distancia Inclínada entre cotas

Densidad de drenaje (Dd)

Relación existente entre la longitud total de los drenajes y área de la cuenca, para mostrar la capacidad de la cuenca para evacuar el agua. La siguiente formula expresa la relación existente entre los dos parámetros:

$$Pr = \frac{Lx}{A}$$

La categoría establecida permite caracterizar los drenajes de las cuencas conforme la distancia en relación a su superficie.

Desde otro punto de vista, corresponde al esparcimiento existente entre cada drenaje del área de la cuenca hidrográfica. Consecuentemente precisa la litología (Cabrera y Andrade, 2013).

El espaciamiento (cm) determinado en la cartografía digital, dependiendo de la distancia entre los drenajes, permite establecer la densidad de los drenajes de la cuenca.

Patrón de drenaje (Pd)

Es la red de drenajes que adquiere una cuenca por influencia de del clima y el tipo de suelo/roca existente. Se clasifican en dendrítico, subdendrítico, paralelo, enrejado, rectangular, radial, anastomosado, pinnado y meándrico.

Tiempo de concentración Kirpich (Tc)

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de cierre.

$$T_c = 0,95 * (L^3 / H)^{0,385}$$

L= longitud del río (km)

H= Desnivel del río (km)

Hidrología

Para Manosalve (2002), la hidrología es una ciencia que clasifica las regiones hidrológicas según sus características físicas de manera cuantitativa y cualitativa con el objetivo de conocer sus indicios para establecer una comparación entre dichas regiones.

Hidrología es una ciencia de la tierra que describe y predice la ocurrencia y circulación del agua en el planeta, enfocado en:

Distribución del movimiento del agua sobre y bajo la superficie, incluyendo los intercambios con la atmosfera.

Interacciones físicas y químicas con los materiales del planeta

Los procesos biológicos y actividades humanas que afectan su movimiento, distribución y calidad.

Para el estudio del agua superficial y subterránea de debe considerar las siguientes propiedades:

- Punto de congelación y fusión
- Densidad
- Tensión superficial
- Viscosidad dinámica
- Calor latente
- Calor específico o capacidad térmica

Meteorología

Ciclo del agua

Partiendo desde un enfoque geológico, de acuerdo a Bach, Brusi, Domingo (1988), los ciclos son sistemas cerrados, siendo ciclos de la materia un conjunto de fases y modificaciones acorde a una sistematización establecida mediante la cual una sustancia o elemento regresa necesariamente a sus condiciones iniciales; es decir la materia circula en la tierra en la misma proporción, pero es intervenida o cambiada por agentes geológicos, como por ejemplo es el ciclo del agua. Según Mook (2002), “El ciclo hidrológico global junto con su fuerza motriz, la radiación solar constituye el soporte básico para que se origine la producción biológica primaria”. Es, por tanto, conforme a las citas antecedentes, que el ciclo del agua constituye un proceso sistemático y conocido de transformación de la materia por agentes geológicos como por la intervención de radiación solar que determina los estados o fases del en sólida, líquida y gaseosa; siendo el ciclo un proceso esencial para la generación de materia orgánica a partir de materia inorgánica a través de procesos de la fotosíntesis o quimio síntesis.

Componentes del Ciclo Hidrológico

Los componentes del Ciclo Hidrológico se refirieren a las fases por las que pasa el agua en su recorrido invariable, por lo tanto, los 14 componentes de su ciclo (Custodio y Llamas, 1996; USGS 2017) catorce (14) son:

- Agua almacenada en los océanos
- Evaporación
- Agua en la atmósfera
- Condensación
- Precipitación
- Agua almacenada en los hielos y la nieve

- Escorrentía superficial y suelos
- Corriente de agua
- Agua dulce almacenada
- Infiltración
- Descarga de agua subterránea
- Transpiración
- Agua subterránea almacenada

Climatología

Para la Organización Meteorológica Mundial (2011) el clima se define como las condiciones de meteorología normales en una zona y tiempo determinado, que, mediante la medición estadística de sus elementos como temperatura, presión atmosférica, precipitación, humedad y vientos, permiten caracterizar un lugar o región en cualquier periodo de tiempo.

Se puede afirmar, que, el efecto físico momentáneo de la atmosfera se denomina tiempo; y que la sucesión de tiempos momentáneos es el clima.

Se puede afirmar que la climatología estudia los cambios físicos de los factores climáticos en un determinado intervalo de tiempo, principales factores climáticos son: temperatura, precipitación, presión atmosférica, humedad heliofanía, evaporación, evapotranspiración, velocidad y dirección del viento. El sistema climático se refiere a la interacción de un conjunto de elementos constituidos por atmosfera, superficie terrestre, casquetes nivales, océanos y masa de agua.

Las interacciones de los elementos constitutivos del sistema climático ocurren a toda escala, las modificaciones físicas de una zona tales como exposición, insolación y sombra influyen en el cambio de la cobertura vegetal (microescala), en cambio en la meso escala se determina en el cambio de clima en una región, valle o a nivel de bosques, o mejor representado a nivel de cuencas, mientras que la microescala contempla a zonas geográficas a nivel de continentes para determinar los recursos.

Los factores climatológicos que influyen en los componentes primarios del Ciclo Hidrológico, especialmente sobre la evapotranspiración, son los siguientes según Custodio (1996):

- Radiación
- Temperatura
- Duración del día
- Humedad del viento
- Presión
- Precipitación

La medida de las variables meteorológicas es posible a través de la obtención de datos en una estación meteorológica, en la que están reunidos diferentes aparatos para medir dichas variables.

Geología

Geología Regional

Bloque Nor-Andino

El margen activo de los Andes se extiende a lo largo de América del Sur, producto de la subducción de la placa de Nazca (placa marina) bajo la placa Sudamericana (placa continental), precisamente en la zona costera de América del Sur se encuentra sometida a un régimen tectónico compresivo de edad cuaternaria, evidenciando el comportamiento de la placa continental sudamericana sometido por esfuerzos ligados a la Dorsal de Caregie, a este

segmento continental se denomina Bloque Nora-Andino. Ecuador se localiza al sur de este bloque, se encuentra sometido a fuerzas que es empujado hacia el norte con esfuerzos extensivos con dirección N-S, resultado del levantamiento del borde del continente por la subducción de la dorsal asísmica de Carnegie (Lavenu, 2006).

En consecuencia, la configuración actual del territorio ecuatoriano es el resultado de la actividad tectónica antes mencionada y esta evidenciada por la marcada distribución y delimitación de sus regiones naturales, siendo: Región Amazónica, Región Andina o Sierra, Región Costa y Región Insular; al Este del país, se desarrolló la región Oriental, conformada por la cuenca Amazónica, que se describe como parte del tras arco de los Andes con depósitos de rocas sedimentarias marinas-continetales de basamento continental denominado Cratón Guyano-Barsileño; y la zona Subandina que representa el Levantamiento Napo y Cordillera de Cutucú, todo este sistema relacionado a un conjunto de fallas que involucran a la Cordillera Real y a la cuenca Amazónica, intruidas por rocas graníticas tipo I, y que se encuentran separados por un gran cono de deyección formado por el río Pastaza. La Cordillera Real u Oriental comprende cinturones de roca metamórfica de edad pre-Cretácica, limitados por fallas regionales con dirección preferente NE-SW que separan a la región Oriental de la Sierra. La Cordillera Occidental corresponde a rocas de origen oceánico y arco de isla con acrecionamiento hacia el continente de edad Mesozoica, esta separa a la región Sierra de la Costa. Entre estas dos cordilleras existe una depresión alargada, la cual se encuentra rellena por rocas volcanoclásticas formando secuencias de origen fluvio - lacustre, fluvio - glacial y volcánico, esta zona corresponde a la región Sierra. La zona costera del Ecuador es una planicie cubierta por rocas de secuencias marinas y continentales, un rasgo morfológico evidente son los levantamientos conformados por relieves de origen sedimentario que se han depositado por las regresiones y transgresiones marinas. La región Insular (Galápagos) corresponde a una isla de origen volcánico, localizado en un Hotspot, conjunto de 14 islas de origen volcánico de edad Cuaternaria, formadas a partir del Hotspot Galápagos que genera islas de Oeste a Este (Pavón y Garzón, 2014).

El Bloque Nor –Andino se extiende desde el Golfo de Guayaquil hasta Colombia, está sometido a esfuerzos extensionales con dirección NS, con rumbo dextral, que empuja el bloque hacia el norte, su límite sur es la mega-falla Guayaquil – Dolores (Dumont, et al., 1997 y Ego, 1995), mientras que la Falla Pujilí - Pallatanga es el límite de la Depresión Interandina con la Cordillera Occidental al oeste (Lavenu, 2006) y la Falla Peltetec con la Cordillera Real al este. La Depresión Interandina muestra fallamientos notables en los bordes de la misma con dirección NS, evidenciándose por las fallas La Victoria al oeste y Pisayambo al este; obtenido como resultado una morfología tectónica de tipo graben, limitado por: fallas normales NS y afectado por fallas dextrales NE, y por la Cordillera Occidental y Real, constituido por material volcanoclástico, volcanosedimentos, fluvio lacustre y aluviales. La actividad neotectónica del sistema de fallas del Bloque Nor-Andino evidencia desplazamientos en el Último Máximo Glaciar (Holoceno) (Lavenu, 2006)

Volcanes del Ecuador

Ecuador, dentro de su territorio, tiene 83 centros eruptivos, determinando que la actividad eruptiva ha estado presente desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno (Almeida, 2016), observándose actualmente grandes depósitos en el valle interandino.

El país al formar parte del Bloque Nor – Andino de los Andes Septentrionales, se encuentra dentro del Zona Volcánica del Norte (Northern Volcanic Zone - NVZ), delimitado desde el 1°N hasta el 2°S, zonificado la actividad volcánica en cuatro grandes franjas volcánicas: Cordillera Occidental, Depresión Interandina, Cordillera Real y Tras Arco (Hall, et al., 2008). De estas cuatro franjas volcánicas, los edificios volcánicos que están dentro de la

Cuenca del río Ambi, la Cordillera Occidental y la Depresión Interandina son las que engloba el área de estudio.

Los volcanes de la Cordillera Occidental son conos compuestos y estratovolcanes considerados, en su mayoría activos, siendo uno de los que tiene actividad precolombina el Cuicocha (Hall, et al., 2008), mientras que en la Depresión Interandina están distribuidos con un aparente control tectónico, en su mayoría, están considerados como extintos presentando incluso morfologías erosionadas y algunos muestran rasgos de fuertes episodios de escombros, también presentan domos de lava; sin embargo, el único edificio considerado como activo es el Imbabura, por tener registro de actividad holocénica (Ruiz, 2003, Andrade, 2009 y Le Pennec, et al., 2011). Los centros volcánicos de interés para el presente estudio son el Imbabura y el Cuicocha.

Por otra parte, Lavenu (2006) sostiene que al Norte de la Depresión Interandina los depósitos de los volcanes de la Cordillera Occidental son afectados por pliegues y flexuras, producto de los esfuerzos del levantamiento de la cuenca de la ciudad de Quito, ocasionando fallas inversas que se evidencian en los escarpes (Soulas, Egüez, Yepes, y Pérez, 1991).

Glaciaciones en el Cuaternario

Según Kaser (1999), la formación de un glaciar en la zona tropical se ve influenciado por características fundamentales como clima, altitudes medias y altas.

Para Cáceres (2010), la formación de glaciares en la zona tropical se debe considerar los aspectos glaciológicos como:

- Delimitación de la incidencia de radiación, deben estar ubicados en los Trópicos de Cáncer y Trópico de Capricornio
- Delimitación termal, ubicados en zonas donde la variación diaria de la temperatura sobrepase la variación interanual
- Delimitación pluviométrica, área de oscilación de la Zona de Convergencia Intertropical.
- En el que se distinguen zonas húmedas y secas, precipitaciones semi continuas, con elevación del nivel de isotermas.
- Según Cáceres (2010), consideran que los periodos de glaciación se produjeron en el Neógeno y Cuaternario, indicando que las morrenas que se creía que pertenecen al máximo del último periodo glacial (LGM) (33-14 ka BP) son más antiguas, por lo tanto, se formaron en la parte media y temprana de la última glaciación (12-10 ka BP).

Cosecuentemente Jomelli et al. (2009) denominan a la pequeña edad del hielo, a un periodo de frío que se desarrolló entre los siglos XIX y XIX registrando las temperaturas más bajas entre 1961 y 1990. La datación de las morrenas mediante la liquenometría, permitió estudiar la evolución de los glaciares en Ecuador (Rabatel, A., Machaca, A., Francou, B., y Jomelli, V., 2006) conjuntamente con el análisis de datos históricos, diarios y expediciones científicas durante los últimos 200 años permitieron estimar los avances de los glaciares en los andes durante este periodo (Francou, 2004).

Específicamente en Ecuador, el avance máximo de la pequeña edad de hielo se registra en dos periodos; el primer periodo con glaciares marcados por encima de los 5700 m snm (Chimborazo, Antisana) en el año 1730; y un segundo periodo ocurrido en el año 1830 (Jomelli et al., 2006).

En la actualidad, estudios efectuados a glaciares en Ecuador mediante métodos topográficos y foto gravimétricos, revela el decremento de los glaciares, es así que el glaciar del Antisana experimenta un retroceso de la geometría del glaciar desde el año 1956, el cual se ha reducido en un 38,5% del área total (Cáceres, 2002).

Zona Volcánica del Norte – Segmento Ibarra

La zona volcánica de la Cordillera Occidental y Depresión interandina, en su sección norte, atraviesa la Cuenca del río Ambi y al mismo tiempo forma parte del Segmento Ibarra (Andrade, 2009).

Volcánicos Cotacachi

Los Volcánicos Cotacachi se localiza en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi a una distancia de 24 km de la ciudad de Ibarra, a 100 km aproximadamente de la capital del Ecuador, pertenece a la Cordillera Occidental del Ecuador. Tiene una altura de 4939 m.s.n.m. en su cumbre, su altitud más baja se localiza en el sector Loma Negra con 3055 m.s.n.m. cercano al poblado Catzopamba, ascendiendo por el Cerro Muyureo con 3871 en el poblado Pucalpa. Forma parte de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas

Los eventos eruptivos dieron forma al complejo volcánico actual, distinguiéndose diferentes edificios; el edificio principal corresponde al Volcán Cotacachi, como segundo evento se relaciona depósitos piroclásticos y avalancha de escombros y como un tercer evento a la formación de una caldera en el flanco sur, que corresponde a la formación de la laguna cratérica Cuicocha. (Almeida, 2016).

Hanus (citado de Almeida, 2016), considera a la Laguna Cuicocha como una laguna cratérica desarrollada dentro del volcán Cotacachi asociado a la falla Otavalo-Umpalá.

Volcánicos Cotacachi

Los Volcánicos Cotacachi se localiza en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi a una distancia de 24 km de la ciudad de Ibarra, a 100 km aproximadamente de la capital del Ecuador, pertenece a la Cordillera Occidental del Ecuador. Tiene una altura de 4939 m.s.n.m. en su cumbre, su altitud más baja se localiza en el sector Loma Negra con 3055 m.s.n.m. cercano al poblado Catzopamba, ascendiendo por el Cerro Muyureo con 3871 en el poblado Pucalpa. Forma parte de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas

Los eventos eruptivos dieron forma al complejo volcánico actual, distinguiéndose diferentes edificios; el edificio principal corresponde al Volcán Cotacachi, como segundo evento se relaciona depósitos piroclásticos y avalancha de escombros y como un tercer evento a la formación de una caldera en el flanco sur, que corresponde a la formación de la laguna cratérica Cuicocha. (Almeida, 2016).

Hanus (citado de Almeida, 2016), considera a la Laguna Cuicocha como una laguna cratérica desarrollada dentro del volcán Cotacachi asociado a la falla Otavalo-Umpalá.

Los eventos volcánicos se manifiestan como flujos lava y material piroclástico producto de la actividad eruptiva hace 4490-2990 AP (Le Penec, 2011).

Según (Hall y Mothes, 1988), la formación de la caldera inició su actividad volcánica hace 4500 años y continuo hasta hace 1300 años, sin embargo, la formación de la laguna Cuicocha se originó en el último periodo eruptivo hace 2990 años cuando parte del edificio volcánico colapsó, formando la caldera y la extracción de los domos (Wolf y Yerovi) localizados en el interior de la caldera.

La laguna Cuicocha inicia el proceso de formación como unidad hidrográfica hace 500-1000 años AP cuando parte de los escombros rellenan la caldera saturando las fallas y fisuras existentes en la caldera, contiene agua principalmente por la desglaciación del Volcán Cotacachi en el Pleistoceno, agua lluvia y aporte de agua hidrotermal del sistema volcánico Cotacachi y a las precipitaciones (Padron, et al., 2008).

Durante la formación de la caldera de Cuicocha, dieron origen a domos producto de erupciones efusivas magma dacítico, el domo Wolf Norte y Wolf Sur de superficie 0,44 km² aproximada (Almeida, 2016), conjuntamente con Domo Yerovi de 0,27 km² de superficie, se

ubican en el centro de la laguna. Pidgen (citado de Almeida, 2016), la formación de la caldera Cuicocha constituye cuatro fases eruptivas:

- Explosión inicial hace 3100 años destruye el domo Cuicocha produciendo grandes volúmenes de material piroclásticos.
- Hace 2900 años, la actividad magmática efusiva, genera el crecimiento de un pequeño domo en la caldera principal lleno de agua
- Las explosiones freato-magmáticas causaron la destrucción del pequeño domo, como evidencia es el lapilli acresionado en depósitos de caída (Barbieri, et al., 1989 en Pidgen, 2014), mientras que Hillebrandt (1989) afirma que el lapilli acresionado no necesariamente está relacionado a la actividad freato magmática, atribuyendo a la actividad piroclástico.
- Formación de los domos Wolf y Yerovi.

La forma del relieve de la laguna corresponde a un cráter de 3,2 Km de diámetro, con pendientes pronunciadas en sus paredes, las cuales varían de 40-75° de inclinación, la laguna contiene cuatro domos de roca andesítica distribuidos entre las dos islas visibles en el centro del lago denominados domo Wolf Norte y Sur de 0,41 km² y domo Yerovi con 0,26 km² de superficie. (Padron, et al.,2008).

La Laguna Cuicocha se localiza dentro de la Unidad Hidrográfica nivel 5 denominada Río Pichaví, al Oeste dentro de la cuenca del Río Ambi, la microcuenca abarca una superficie de 39,47 km², el cauce principal es el río Pichaví, el cual modela a una forma de cuenca alargada.

Las características morfométricas descritas anteriormente, permiten indicar que la Laguna Cuicocha corresponde a una laguna intramontana característica de los Andes. Generalmente los lagos volcánicos en Ecuador son jóvenes, el agua del lago se encuentra influenciada por agua volcánica o actividad geotérmica y relacionados directamente a tres fenómenos: lixiviación de depósitos volcánicos en la cuenca hidrográfica, entrada de agua (hidrotermal) como manantiales y emisión de gases volcánicos como CO₂ disueltos en el agua (Gunkel 2002).

Complejo Volcánico Imbabura

El Complejo Volcánico Imbabura (CVI) se localiza a 60 km al norte de la capital del Ecuador y a 15 km al sur de la ciudad de Ibarra, rodeado de algunos estratovolcanes como Cusin, Cubilche en el norte del Valle Interandino.

El complejo tiene un diámetro de 14-16 km con dirección E-W, principalmente consta de un edificio central de diámetro basal de 10-11 km denominado Taita Imbabura con una cumbre de 4620 m.s.n.m., al sur este se localiza al edificio volcánico Cubilche con 3826 m de altura, una tercera estructura se localiza un relieve elíptico de 4137 m.s.n.m. denominado El Arteson y al NE de la estructura principal se localiza el Huami Imbabura 3926 m.s.n.m. (Le Pennec, 2011). Según Hall y Mothes 1996, el CVI se encuentra cubierto en su mayoría por potentes capas de suelo volcánico (Andisoles) denominados Cangahua de edad pleistocénica lo cual dificulta visualizar los afloramientos para las investigaciones geológicas.

El Taita Imbabura está constituido principalmente de lava andesítica con bajos contenidos de minerales ácidos (54-65% de SiO₂), con minerales como plagioclasa, orto y clinopiroxeno, anfíbol y accesorios como olivino. La ocurrencia de eventos eruptivos dan paso al colapso de los flancos del edificio principal en al menos dos ocasiones, como resultado se obtiene depósitos de avalancha de escombros depositados al NO y N que se transportaron aproximadamente 17 km desde el edificio del CVI, esta eventualidad evidencia estructuras sobresaliente denominados Hummocks, localizados en la llanura de depósito volcánico en los alrededores del poblado de Ibarra y Atuntaqui, cubiertos por suelo volcánicos de 5 a 15 m de

espesor de edad pleistocénica. La edad de los colapsos de los flancos es escasamente limitada, pero se determina que son más antiguos que los depósitos piroclásticos del Volcán Mojanda-Fuya Fuya de 43,5 ka BP (Le Pennec, 2011).

Santamaría e Hidalgo (2017) afirman, que el Complejo Volcánico Imbabura se compone del estrato volcán Taita Imbabura (Imbabura I) compuesto flujos de lava masivo y brechas andesíticas, parte de los flancos norte del edificio volcánico colapsaron produciendo una avalancha de escombros probablemente 50 y 40 mil años, posterior a este evento la reconstrucción del edificio principal (Imbabura II) formado por flujos de lava, flujos de bloque y depósitos piroclásticos hace 35-7 mil años; la actividad volcánica explosiva afectando el flanco suroccidental del Taita Imbabura hace 30mil, origino la extrucción de domos de composición andesítica formó el edificio Huarmi Imbabura, con depósitos volcánicos probables de 6000 y 4000, afirmando la última actividad volcánica conocida en el periodo mencionado de edad holocénica.

En los Andes Septentrionales se ha constatado los avances y retroceso glaciares en los volcanes de Ecuador y Colombia de edad pleistocénica, en el que se diferencian marcadamente por el tiempo y las eventualidades al Máximo Glaciar Tardío (LGM) de 33-14 ka BP y Glaciaciones Jóvenes (YD) de 12-10 ka BP., muestra de estos eventos constituyen los circos glaciares y valles en forma de U en toda la región Nor- Andino.

Sobre los 3600 m.s.n.m. al suroeste del Taita Imbabura, existe un modelado glaciar atribuido a las morenas glaciares perteneciente a LGM, otro evento de glaciación corresponde a las morrenas laterales de YD que descendieron de los 3800-4000 m.s.n.m. evidenciado por barrancos y cuenca circulares semejantes a circos glaciares de YD, en consecuencia, la actividad glaciar en el CVI fue intensa desde las cumbres hasta las cotas más bajas acompañada de actividad volcánica (Le Pennec, 2011)

Como consecuencia de la actividad de glaciación y desglaciación, se evidencia al pie de Huarmi Imbabura, una forma de relieve característica de morrenas frontales y laterales, cuyas geoformas dieron el posible origen de la formación del Lago San Pablo.

Con los parámetros morfométricos descritos anteriormente, se determina que el Lago San Pablo es un lago de alta montaña situado a 2660 m.s.n.m., en la Cordillera Real de los Andes, localizado entre los volcanes Imbabura (4609m), Cusin (3889 m y Mojanda (4263m).

Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Global Water Partnership (2009), define a la Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas como un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinados del recurso hídrico, la tierra y los recursos asociados, para dinamizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales.

En la cual existe una relación entre la gestión de los recursos hídricos dentro de un territorio y la gestión del recurso hídrico en las cuencas, lo cual establece una dinámica y sensibilidad a las circunstancias ambientales, sociales o económicas.

La participación de los diferentes actores de la gestión del recurso hídrico busca disminuir los conflictos de los sectores y usuarios que dependen del agua, por otra parte, busca del mismo modo establecer una equilibrada y equitativa distribución del recurso hídrico al margen de los intereses económicos, sociales, culturales y ambientales.

En la actualidad se busca desarrollar una gestión desde los diferentes espacios territoriales enfocado y conjugado con el ciclo hidrológico dirigido a la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

Por otra parte, desde el punto de vista político en la Gestión de Integral de Recursos Hídricos pretende establecer formas que permitan dominar al agua como una necesidad básica y por lo tanto, por derecho acceder en cantidad y calidad como un bien público. Como parte de

la generación del recurso hídrico, la integridad ecológica pretende conservar las zonas de captación y ecosistemas para la aportación de agua dulce a las futuras generaciones. Apoyado en tarifas accesibles, busca recuperar los costos de inversión, operación y mantenimiento sin perjudicar a las clases sociales de bajos recursos económicos.

Conclusiones

En conclusión, la identificación y catalogación de Lugares de Interés Hidrológico (LIH) es esencial para comprender la génesis y evolución de los dominios geológicos y para estudiar los procesos de modelamiento y la interacción del agua en diversos contextos. La metodología propuesta por el INIGEMM para el inventario y catalogación de LIH incluye fases clave como el diagnóstico bibliográfico, el reconocimiento en campo y la caracterización geológica especializada. Este enfoque multidisciplinario permite no solo identificar sitios de interés hidrológico, sino también evaluar su importancia científica, educativa y recreativa en el Ecuador.

Por otro lado la clasificación y listado de posibles Lugares de Interés Hidrológico se basan en la rareza de los rasgos geológicos, su relevancia a nivel nacional o internacional y su potencial investigativo y educativo. La elaboración de mapas temáticos es crucial para difundir la información científica y técnica recopilada, promoviendo así la conservación y gestión integral de estos sitios.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 5 (1), 10-19.
- Almeida, L. (2014). Una revisión de la evaluación de la calidad del agua de los ríos de la provincia de Imbabura (tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.
- Almeida, M. (2016). Estudio petrográfico y geoquímico del volcán Cuicocha provincia de Imbabura (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Andrade, S. (2009). The influence of active tectonics on the structural development and flank collapse of Ecuadorian arc volcanoes (tesis doctoral). Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, Francia.
- Bach, J., Brusi, D., y Domingo, M. (1988). Consideraciones en torno a la didáctica de los procesos geológicos. *Henares, Rev. Geol.*, 2, 213-222.
- Cáceres, B. (2010). Actualización del inventario de tres casquetes glaciares del Ecuador. Informe de Pasantía de Investigación en Université Nice Sophia Antipolis.
- Cáceres, B. (2002). Comportamiento de un Glaciar de la Cordillera Real del Ecuador en relación con los factores climáticos, cambios geométricos registrados sobre el glaciar en el período 1995-2001 (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Cabrera, F., y Andrade, X. (2013). Base conceptual de la cartografía geomorfológica y de amenaza por tipo de movimiento en masa. Quito, Ecuador: IEE.
- Carcavilla, L., López, J., y Durán, J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Carrión, L., & Paspuel, J. (2018). Influencia de los cambios climáticos en la dinámica glaciar de los nevados Antisana y Cotopaxi, Ecuador. *Revista de Glaciología y Nivología*, 3(2), 125-135.

- Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., & Guallichico, D. (2015). Análisis multivariado de las aguas de la Subcuenca del Río Ambi en época de estiaje y su relación con la calidad desde el punto de vista agrícola. X Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE. Simposio llevado a cabo en el X Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, Quito, Ecuador.
- Cendrero, A. (1999). Patrimonio geológico; diagnóstico, clasificación y valoración. Madrid, España: IGME.
- Chinchay, L. (2011). Geodiversidad y patrimonio geológico en Ecuador, comparativa con otros países y propuestas de actuación (tesis de postgrado). Universidad Politécnica de Catalunya, Madrid, España.
- Custodio, E., y Llamas, M. R. (1996). Hidrología subterránea (2 vols.). Barcelona, España: Omega.
- Durán, J. (2001). Aguas subterráneas, paisaje y vida: acuíferos de España. IGME, 275-280.
- Duran, J., y Vallejo, M. (1998). Geología ecológica, geodiversidad, geoconservación y patrimonio geológico: la declaración de Girona. Madrid, España: Sociedad Geológica de España Comisión de Patrimonio Geológico.
- Dumont, J. F., Alvarado, A., Guillier, B., Lavenu, A., Martínez, C., Ortlieb, L., Poli, J. T., y Labrousse, B. (1997). Coastal morphology as related to geodynamics in western Ecuador: preliminary results. Londres, Inglaterra: Late Quaternary Coastal Tectonics.
- Ego, F., y Moreno, L. (2004). Propuesta de catálogo de Puntos Singulares del Patrimonio Hidrogeológico de la Región de Murcia. *Geotemas*, 6 (4), 123-126.
- Flores, F. (2010). Manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi ubicado en la Provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Cantón Cotacachi (tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Francou, B. (2004). Andes del Ecuador: los glaciares en la época de los viajeros (Siglos XVIII a XX). In J.P. Deler & E. Mesclier (eds), 137-152.
- Global Water Partnership (2009). Manual para la gestión integrada de recurso hídricos en cuencas. París, Francia: Red Internacional de Organismos de Cuencas.
- González, M., Serrano, E., y González, M. (2014). Lugares de interés geomorfológico, geopatrimonio y gestión de espacios naturales protegidos: el Parque Nacional de Valderejo (Álaba, España). *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 45-64.
- Gunkel, G., y Casallas, J. (2002). Limnology of an equatorial high mountain lake - Lago San Pablo, Ecuador: The significance of deep diurnal mixing for lake productivity. *Limnologica*, 32, 33-43.
- Hall, M., y Mothes, P. (1988). La actividad volcánica del Holoceno en el Ecuador y Colombia Austral: impedimento al desarrollo de las civilizaciones pasadas. *Abya-Yala*, 1-40.
- Instituto Geológico y Minero de España. (2013). Documento metodológico para la elaboración del inventario español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Madrid, España: IGME.
- INIGEMM. (2013). Metodología de inventario de Lugares de interés geológico del Ecuador. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico.
- Jomelli, V., Favier, V., Rabatel, A., Brunstein, D., Hoffmann, G., y Francou, B. (2009). Little Ice Age glacial extension in Ecuador from lichenometry and historical observations paleoclimatic implications. In press. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Jomelli, V., Favier, V., Rabatel, A., Brunstein, D., Hoffmann, G., y Francou, B. (2006). Little Ice Age glacial extension in Ecuador from lichenometry and historical observations paleoclimatic implications. No publicado.
- Jordán, A., & Delgado, J. (2020). Evaluación de la actividad sísmica en la región Andina: Impactos y medidas de mitigación. *Revista de Sismología Aplicada*, 15(1), 34-58.

- Kaser, G. (1999). A review of the modern fluctuations of tropical glaciers. *Global and Planetary Change*, 22 (1999), 93-103.
- Lavenu, A. (2006). Neotectónica de los andes entre 1°n y 47°s (Ecuador, Bolivia y Chile): una revisión. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61 (4), 504-524.
- Le Pennec, J., Ruiz, A., Eissen, J., Hall, M., y Fornari, M. (2011). Identifying potentially active volcanoes in the Andes: Radiometric evidence for late Pleistocene-early Holocene eruptions at Volcán Imbabura, Ecuador. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 206, 121–135.
- Lozano, G., Vegas, J., y García, A. (2009). Representación cartográfica de los Lugares de interés geológico: consideraciones de cara a la gestión, Enguñados (Cuenca). *Avances y retos en la conservación del Patrimonio Geológico en España*, 152-155.
- Manosalve, G. (2002). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Marín, E., y Martínez, M. (octubre de 2007). Patrimonio hidrogeológico y las aguas minerales en la provincia de Cuenca. Conferencia Hidrográfica del Tajo, Spain, Madrid. Simposio llevado a cabo en el XII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales, Oviedo, España.
- Mook, W. (2002). *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico: principios y aplicaciones (IELIG)*. Madrid, España: IGME.
- Naranjo, L. (2013). *Caracterización hidrogeológica de la subcuenca del río Chambo (tesis de pregrado)*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Ginebra, Suiza: OMM.
- Padron, E., Hernández, P., Toulkeridis, T., Pérez, N., Marrero, R., Melián, G., Virgili, G., y Notsu, K. (2008). Diffuse CO₂ emission rate from Pulumahua and the lake-filled Cuicocha calderas, Ecuador. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176, 163–169.
- Pavón, N., y Garzón, O. (2014). *Evaluación y zonificación de susceptibilidad y amenazas/peligros por fenómenos de remoción en masa en el cantón Pallatanga, escala 1:50.000 (tesis de pregrado)*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Rabatel, A., Machaca, A., Francou, B., y Jomelli, V. (2006). Glacier recession on Cerro Charquini (Bolivia, 16°S) since the maximum of the Little Ice Age (17th Century). *Journal of Glaciology* 52, 110–118.
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias*. San José, Costa Rica: Iica.
- Rodríguez, T. (2001). El Patrimonio hidrogeológico de la Región de Murcia. Reflexiones sobre el futuro del agua ante el siglo XXI, *Caja de Ahorros del Mediterraneo*, 225-257.
- Rosales, O. (2015). *Análisis morfológico en cuencas hidrográficas con SIG*. UTN, Instituto de Postgrado.
- Ruiz, A. (2003). *Estudio Geovolcanológico del Complejo Volcánico Imbabura (tesis de pregrado)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Santamaría, S., y Hidalgo, S. (2017). *Resumen de los Centros Volcánicos de la Provincia de Imbabura*. Quito, Ecuador: IGEPN.
- Soulas, A., Egüez, A., Yepes, H., y Perez, V. (1991). Tectónica activa y riesgo sísmico en los Andes ecuatorianos y el extremo sur de Colombia. *Boletín Geológico Ecuatoriano*, 2 (1), 3-11.
- Trenberth. (2007). Estimates of the global water Budget and its annual cycle using observational and model data. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 758-769.
- UNESCO. (2006). *Textos básicos de la convención del patrimonio mundial de 1972*. París, Francia: UNESCO.

- Vásconez, L. (2015). Caracterización y evaluación de Puntos de interés eco-geoturísticos (PIEGT), del Patrimonio Geológico del cantón Santiago, provincia de Morona Santiago, y su importancia como herramientas naturales para el desarrollo eco-geoturístico de la región (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Zillman. (1999). Guía de prácticas climatológicas. Ginebra, Suiza: OMM.