

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**Recursos hídricos subterráneos en la cuenca baja del río
Chambo: Disponibilidad, variabilidad, gestión y Geodiversidad.**

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA GEÓLOGA

OPCIÓN: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ANA PRISCILA ZUÑIGA ARELLANO
ana.zuniga@epn.edu.ec

DIRECTOR: PhD. Sandra Procel Guerra
sandra.procel@epn.edu.ec

Quito, Diciembre 2021

DECLARACIÓN

Yo, Ana Priscila Zúñiga Arellano declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ana Priscila Zúñiga Arellano

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ana Priscila Zúñiga Arellano, bajo mi supervisión.

PhD. Sandra Procel Guerra
DIRECTOR DEL TRABAJO

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento inmenso a todo el cuerpo docente del departamento de Geología de la EPN, a todos esos profesores que forjaron día a día mis conocimientos y fueron mis compañeros y Amigos.

Le quiero dar las gracias en especial a la PhD. Sandra Procel quién me dio la oportunidad de pertenecer al proyecto y fue mi guía durante este proceso, muchas gracias por su dedicación y sobre todo por su paciencia en mis momentos de flaqueza.

Gracias PhD. Anita Cabero por ser una gran persona, un apoyo y levantarme cuando en medio de una pandemia los ánimos no eran los mejores.

Ing. Vanessa Escobar muchas gracias por siempre ser esa persona que a pesar de la distancia está ahí para acompañarnos en cada proceso deseándonos lo mejor siempre.

DEDICATORIA

DIOS

Tu amor y bondad no tiene límites, este trabajo fue una bendición tuya y te lo agradezco padre santo.

MAMÁ Y PAPÁ

Dedico todos mis logros a Myriam y Denis quienes con todo el esfuerzo y amor han hecho de mí una mejor persona cada día. Su entrega, trabajo y sacrificio no solo como padres sino como personas me han dado el ejemplo para seguir adelante y culminar con todo lo que me propongo.

Los amo demasiado padres gracias por todo.

LILI

Mi negrita eres esa persona que me inspira para ser mejor, que me demuestra que no solo hay que nacer con estrella sino también hay que esforzarse mucho para conseguir nuestras metas y luchar por nuestros sueños.

Te amo ñaña.

MAMI Y ABUELITA ANITA

Mi mami ha pasado más de un año de tu partida, quisiera que estes aquí no solo para ver que esta etapa ya se está acabando gracias a ti, gracias a que me recibiste en tu casa en Quito y cuidaste de mi durante mi etapa universitaria. Sino también para ver tu sonrisa de orgullo.

Abuelita Anita a pesar de que te fuiste hace 17 años aun te siento como si estuvieras aquí y es porque desde el cielo velas por toda la familia y no te nos duermes nunca.

Ha pesar de que ya no estén aquí mis viejitas sé que desde el cielo me cuidan y están pendientes de cada paso que doy y desde donde están sé que sonrían en este momento.

Les extraño mucho.

ÍNDICE

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.2. ÁREA DE ESTUDIO	4
CLIMA	4
GEOLOGÍA	5
AMBIENTE TÉCTONICO LOCAL	12
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. CICLO HIDROGEOLÓGICO	14
2.1.2. COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO	14
2.1.3. BALANCE HÍDRICO	17
2.2. ACUÍFEROS, ACUICLUDOS, ACUITARDOS, ACUÍFUGO	18
POROSIDAD	18
POROSIDAD EFECTIVA	19
RETENCIÓN ESPECÍFICA	19
TIPOS DE POROSIDAD	19
PERMEABILIDAD	20
LEY DE DARCY	21
SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA	21
2.2.1. DEFINICIÓN DE ACUÍFERO	21
TIPOS DE ACUÍFEROS	22
2.3. GESTIÓN HÍDRICA	24
2.3.1. DEFINICIÓN	24
2.3.2. GESTIÓN HÍDRICA EN ECUADOR	24
2.3.2. PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	25
2.4. GEODIVERSIDAD	26
2.4.1. DEFINICIÓN	26
2.4.2. ESTUDIO DE LA GEODIVERSIDAD	27
2.4.3. HIDRO-GEODIVERSIDAD	32

3. METODOLOGÍA.....	34
3.1. LEVANTAMIENTO BIBLIOGRÁFICO.....	34
3.2. TRATAMIENTO DE DATOS.....	34
3.2.1. BASE DE DATOS.....	35
3.3. MÉTODOS PARA CALCULAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA.....	38
3.3.1. ZONIFICACIÓN.....	38
3.3.2. GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.....	42
3.5. ANÁLISIS DE LA GEODIVERSIDAD.....	45
3.5.1. CÁLCULO DE LA ABUNDANCIA (GEODIVERSIDAD INTRÍNSECA).....	45
3.5.2. CÁLCULO DE LA FRECUENCIA DE CLASE (FC).....	45
3.5.3. SUPERFICIE ACUMULADA DE CLASES.....	46
3.5.4. DISTRIBUCIÓN.....	47
3.5.5. PATRONES DE GEODIVERSIDAD.....	47
4. RESULTADOS.....	52
4.1. ZONIFICACIÓN DESTINADA A LA GESTIÓN HÍDRICA EN LA CBRCH.....	52
4.1.1. RED HÍDRICA Y CONCESIONES.....	52
4.1.2. CÁLCULO DE LA PENDIENTE.....	53
4.3.3. USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO.....	54
4.2. ZONIFICACIÓN.....	55
4.3. GESTIÓN DE RECURSOS HIDRÍCOS.....	57
4.3.1. DISPONIBILIDAD HÍDRICA.....	57
4.3.2. VARIABILIDAD HÍDRICA.....	72
4.4. ANÁLISIS DE LA GEODIVERSIDAD.....	85
4.4.1. ABUNDANCIA O GEODIVERSIDAD INTRÍNSECA.....	90
4.4.2. FRECUENCIA DE CLASE (Fc).....	90
4.4.3. SUPERFICIE ACUMULADA DE CLASES.....	97
4.4.4. DISTRIBUCIÓN.....	102
4.4.5. PATRONES DE GEODIVERSIDAD.....	103
4.5. CORRELACIÓN ENTRE LA GEODIVERSIDAD Y LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCESIONES.....	104
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
5.1. CONCLUSIONES.....	117
5.2. RECOMENDACIONES.....	121
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
7. ANEXOS.....	132

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1 Ubicación del área de estudio con respecto a la demarcación hidrográfica Pastaza y la provincia Chimborazo.	5
Ilustración 1-2 Unidades y Formaciones Geológicas del área de estudio. F.P.P: Sistema de fallas Pallatanga, F.P.E. Sistema de fallas Pelpetec. Tomado de Nuñez (2020)	13
Ilustración 2-1 Representación del ciclo hidrológico. Modificado de Musy, 2001	17
Ilustración 2-2 Elementos del balance hídrico. Tomado de Toews M.W. (2007) Conceptual diagram of near-surface hydrology Modificado de: Surfacewatercycleeu.svg	18
Ilustración 2-3 Tipos Genéticos de porosidad Secundaria.....	20
Ilustración 2-4 Tipos de acuíferos según sus características hidrodinámicas. El nivel freático (nf) indica el nivel de agua para el acuífero libre, mientras que la superficie piezométrica (SP) corresponde al nivel de agua del acuífero confinado. Fuente: Sistema Integra	23
Ilustración 2-5 Elementos propuestos por Serrano y Flaño (2007), que forman parte de la Geodiversidad.....	29
Ilustración 2-6 Ejemplo de dos áreas, que difieren en el número de clases litológicas, en la imagen de la izquierda se pueden ver dos clases (la primera clase se trata de una intrusión granítica en el borde inferior izquierdo, mientras que la segunda clase son unas are	30
Ilustración 2-7 Ejemplo de frecuencia, se puede observar que el número de clases es el mismo, pero la distribución y las veces que se repiten no es la misma de las clases no es la misma, a la derecha se encuentran tres clases, que se repiten una sola vez, mientras que a la derecha se tienen tres clases que se distribuyen de manera diferente en un total de 14 recintos. Tomado de Carcavilla et al., 2007.....	31
Ilustración 2-8 Ejemplo de distribución, en la imagen de la izquierda se tienen 4 tipos de clases, pero ninguna clase se repite y su distribución es uniforme, mientras que en la imagen de la derecha tiene la misma cantidad de clases pero estas si se repiten presentando un aspecto fragmentado. Tomado de Carcavilla et al., 2007.....	32
Ilustración 3.1-1 Flujo de proceso de análisis para la zonificación de la CBRCH y sus respectivas fuentes.....	41
Ilustración 3.1-2 Proyección de crecimiento poblacional en el cantón Riobamba. Fuente: INEC, 2010	43
Ilustración 3.1-3 Proyección de crecimiento poblacional en los cantones Guano y Chambo. Fuente: INEC, 2010	43
Ilustración 4-1 Concentración de caudales dentro de la cuenca baja del Río Chambo	52
Ilustración 4-2 Clasificación de pendientes fundado en la zonificación propuesta por el ACSE, 1969.....	53
Ilustración 4-3 Usos del suelo de la CBRCH dependiendo de su ubicación.	54
Ilustración 4-4 Distribución de subzonas de la 1-5	55
Ilustración 4-5 Distribución de las subzonas de la 6 a la 9	56
Ilustración 4-6 Zonificación del área de estudio. Modificado de Procel (2018)	57
Ilustración 4-7 Distribución de los 7 usos de agua en la CBRCH. Fuente: SENAGUA 2019.	58
Ilustración 4-8 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria y generación de energía según el uso de suelo en la zona 1.....	60
Ilustración 4-9 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria según el uso de suelo, en la zona 2.....	62
Ilustración 4-10 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria y generación de energía según el uso de suelo en la zona 3.....	64
Ilustración 4-11 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, consumo humano, industria según el uso de suelo en la zona 4.....	65

Ilustración 4-12 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria y turístico y termal según el uso de suelo en la zona 5	67
Ilustración 4-13 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria, según el uso de suelo en la zona 6.....	68
Ilustración 4-14 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria. En las áreas urbanas 7 y 8	70
Ilustración 4-15 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria y generación de energía según el uso de suelo en la zona 9.....	71
Ilustración 4-16 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 1	73
Ilustración 4-17 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 2	74
Ilustración 4-18 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 3	75
Ilustración 4-19 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 4	76
Ilustración 4-20 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 5	78
Ilustración 4-21 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 6	79
Ilustración 4-22 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 7	80
Ilustración 4-23 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 8	81
Ilustración 4-24 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 9	82
Ilustración 4-25 Demanda de caudal en m ³ /s vs Proyecciones desde el año 2010 hasta el año 2040 en el cantón Riobamba, para una demanda mínima de 50l/hab-día, media de 130 l/hab-día y máxima de 210 l/hab-día. comparando con los valores propuestos por Procel (2018)	84
Ilustración 4-26 Demanda de caudal en m ³ /s vs Proyecciones desde el año 2012 hasta el año 2040 en el cantón Guano, para una demanda mínima de 50l/hab-día, media de 130 l/hab-día y máxima de 210 l/hab-día. Comparado con los valores propuestos por Procel (2018).	85
Ilustración 4-27 Formaciones geológicas. Tomadas de Nuñez 2020.....	86
Ilustración 4-28 Geoformas.	89
Ilustración 4-29 Diversidad litológica arriba y diversidad geomorfológica en la parte inferior.	91
Ilustración 4-30 Zona 2. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).	92
Ilustración 4-31 Zona 3. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).	92
Ilustración 4-32 Zona 4. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).	93
Ilustración 4-33 Zona 5. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).	94
Ilustración 4-34 Zona 6. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).	94
Ilustración 4-35 Zona 7 y 8. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).	95
Ilustración 4-36 Zona 9. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).	96
Ilustración 4-37 Tendencia de clases litológicas de la zona 1 y 2.....	97
Ilustración 4-38 Tendencia de clases litológicas de la zona 3 a la 9.....	98
Ilustración 4-39 Tendencias de clases morfológicas de la zona 1 y 2	99
Ilustración 4-40 Tendencias de clases morfológicas de la 3 a la 5	100
Ilustración 4-41 Tendencia de clases de la zona 4 a la 7	100
Ilustración 4-42 Tendencia de clases de la zona 6 a la 9	101
Ilustración 4-43 Columna estratigráfica generalizada de la CBRCH. Se presentan las unidades hidrogeológicas que constituyen acuíferos de acuerdo con Procel (2018). Modificado de Nuñez, 2020.	105

Ilustración 4-44 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 1.....	106
Ilustración 4-45 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 2.....	108
Ilustración 4-46 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 3.....	109
Ilustración 4-47 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 4.....	110
Ilustración 4-48 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 5.....	111
Ilustración 4-49 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 6.....	112
Ilustración 4-50 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 7 y 8.....	113
Ilustración 4-51 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 9.....	114
Ilustración 4-52 Mapa de la geodiversidad.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de las fuentes de agua de las diferentes concesiones de la CBRCH, con el caudal en L/s Fuente: Base de datos SENAGUA, 2019	36
Tabla 2 Muestras tomadas y publicadas para el trabajo de titulación de doctorado de la PhD. Sandra Procel. P=Pozo, V= vertiente	37
Tabla 3 Muestras publicadas en el trabajo de titulación de Nuñez, 2020	37
Tabla 4 Demanda de agua por cada habitante destinada al uso doméstico, la cantidad mínima está definida por la OMS, mientras que la demanda máxima está definida por Mancheno (2010).	44
Tabla 5 Oferta de agua para los sectores urbanos de Riobamba y Guano. Tomado de Procel (2018)	44
Tabla 6 Patrones de Geodiversidad 1-4.....	48
Tabla 7 Patrones de Geodiversidad del 5 al 8 Modificado de Carcavilla et al., 2007	49
Tabla 8 Patrones de Geodiversidad del 9 al 12 Modificado de Carcavilla et al., 2007	50
Tabla 9 Patrones de Geodiversidad del 13 al 16 Modificado de Carcavilla et al., 2007	51
Tabla 10 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 1	59
Tabla 11 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 2	61
Tabla 12 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 3	63
Tabla 13 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 4	65
Tabla 14 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 5	66
Tabla 15 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 7	68
Tabla 16 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 7	69
Tabla 17 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 8	69
Tabla 18 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 9	71
Tabla 19 Disponibilidad hídrica en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 1	72
Tabla 20 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 1, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	73
Tabla 21 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 2, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	74
Tabla 22 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 3, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	75
Tabla 23 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 4, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	76
Tabla 24 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 5, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	77
Tabla 25 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 6, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	78

Tabla 26 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 7, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	79
Tabla 27 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 8, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	80
Tabla 28 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 9, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010.....	81
Tabla 29 Disponibilidad hídrica segun la base de datos de la SENAGUA 2019 Y 2010.	83
Tabla 30 Geoformas presentes en la CBRCH.....	87
Tabla 31 Geodiversidad intrínseca de la litología y geomorfología.....	90
Tabla 32 Frecuencia de clase de la litología y geomorfología	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 33 Grado de fragmentación.....	102
Tabla 34 Geodiversidad intrínseca total, frecuencia de clase total, grado de fragmentación total	103
Tabla 35 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 1 y el número de concesiones total	106
Tabla 37 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 2 y el número de concesiones total	107
Tabla 38Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 3 y el número de concesiones total	109
Tabla 39 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 4 y el número de concesiones total	110
Tabla 40 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 5 y el número de concesiones total	111
Tabla 41 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 6 y el número de concesiones total	112
Tabla 42Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 7 y8 y el número de concesiones total	113
Tabla 43 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 9 y el número de concesiones total	114

RESUMEN

Este estudio presenta un análisis de los caudales superficiales y subterráneos de la cuenca baja del río Chambo (CBRCH) con el objetivo de valorar y zonificar la disponibilidad, variabilidad, gestión y Geodiversidad del recurso hídrico en la cuenca. Para ello se consideró la base de datos de concesiones hídricas otorgada por la SENAGUA (2019) y la información de campo generada dentro del proyecto *“PIMI-15-02-Characterización del sistema acuífero de la cuenca baja del río Chambo mediante un enfoque hidrodinámico y geoquímico: procesos de recarga y gestión sostenible del recurso”*. De esta forma, se zonificó estratégicamente la CBRCH en 9 subzonas a través de la superposición de mapas de pendientes, uso de suelo y el mapa de concentración de concesiones hídricas realizado a través del tratamiento de la información otorgada por la SENAGUA (2019) con el uso de la herramienta Densidad de Kernel del software ArcGis versión 10.8. Para cada zona se estimó la disponibilidad hídrica diferenciando las fuentes subterráneas de las fuentes de agua superficiales, tanto con el catálogo de muestras del proyecto como con la base de datos de la SENAGUA (2019) para 7 diferentes aprovechamientos. Se determinó de esta manera que la principal fuente de abastecimiento de agua potable para consumo humano y uso doméstico es el agua subterránea proveniente de los pozos de Llío-Guano, Riobamba y Yaruquíes. El sector que más caudal utiliza en la CBRCH es la agricultura, es decir el riego con un total de 590 concesiones otorgadas, seguido del uso industrial vinculado a la presencia de la Empresa Cemento Chimborazo y distintas actividades industriales en la zona. Con el análisis de la Geodiversidad propuesto por Carcavilla et al., (2007) se determinó que en el río Chambo y el lado este de la CBRCH, la Geodiversidad es mayor debido a la presencia de Formaciones geológicas del Jurásico y Cretácico y geoformas de origen volcánico, fluvial y de ladera. Mientras que, el lado occidental es menos geodiverso y el caudal que se obtiene de aquí es favorecido por fuentes subterráneas de diferentes pozos.

PALABRAS CLAVE. Caudal, Chambo, Geodiversidad, Gestión

ABSTRACT

This study presents an analysis of the superficial and groundwater water flow, considering the supply and demand of this resource. This was done by using the database from SENAGUA (2019), based on the information of the concessions from the lower basin of the river known as the "Chambo river". Field samples were also used in this study. The field samples were collected considering the framework of the following project *"PIMI-15-02-Characterization of the aquifer system of the lower river basin of Chambo's river using a hydrodynamic and geochemical approach: recharging processes and sustainable management of the resource"*. In order to do this, zoning of the location was used, which required us to divide the CBRCH into 9 different subzones by using different maps. Through analyzing the information provided by SENAGUA (2019), a map of the concession concentration was made using the Kernel Density tool of the ArcGis software, version 10.8. The resulting map shows that the highest concentrations of concessions are located in the main rivers, to this result we need to overlap the slope map and the appliance of soils map, in order to determine which zones would be the 9 zones that are mainly delimited by rivers. For each zone, water availability were estimated, distinguishing the groundwater sources from the superficial water sources, both with the project's sample catalog and with SENAGUA's database (2019) for 7 different kinds of usage. This allowed us to determine that the main source of drinking water supply for human consumption and domestic use is the underground water from the Llíó-Guano, Riobamba, and Yaruquíes wells. The sector that has more water usage in the CBRCH is agriculture, the irrigation process results in a total of 590 concessions granted, followed by the industrial use of water due to the presence of the Chimborazo Cement Company and various industrial activities in the area. With the analysis of the geodiversity proposed by Carcavilla et al., (2007) it was possible to determine that the Chambo River and the East Side of the CBRCH present a high geodiversity due to the presence of geological formations from the Jurassic and Cretaceous times including geofoms of volcanic origin, fluvial and hillside. While the western side is less geodiverse and the flow obtained here is favored by underground sources of different wells.

KEYWORDS. Flow, Chambo, Geodiversity, Management

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el uso del agua ha aumentado debido a diferentes factores como es el crecimiento poblacional, el desarrollo económico de las comunidades y los patrones de consumo que varían dependiendo de las necesidades del ser humano (Indji y Schreider, 2011). El agua como recurso vital para el desarrollo de la vida y de cualquier país debe ser controlada y medida en beneficio de toda la población, lo que implica responsabilidades para la conservación y preservación de las aguas subterráneas y superficiales. La gestión del agua se refiere a como se administra este recurso natural tomando en cuenta si existe o no una crisis del agua que afectaría directamente al desarrollo (Valdés, 2018).

En la actualidad, en el mundo existe una competencia por el uso múltiple de agua, debido principalmente a las demandas poblacionales, energéticas y agrícolas. La disponibilidad del agua para diferentes usos ha generado varias problemáticas debido a las debilidades en la administración y un bajo conocimiento técnico y científico, lo que ha provocado uno de los desafíos más graves a los que se enfrenta el mundo de hoy, la crisis del agua. De no mejorar la gestión de los recursos hídricos, se calcula que para los 2025 dos tercios de la población mundial enfrentarán problemas de escasez hídrica (GWP, 2016).

En la provincia de Chimborazo, el creciente desarrollo de las ciudades, pueblos y comunidades hace que este estudio sea imprescindible para determinar la vulnerabilidad, disponibilidad y variabilidad del recurso hídrico. En Riobamba, el abastecimiento de agua potable se da a través de 30 pozos perforados por la EMAPAR y el Gobierno Descentralizado de la Provincia de Chimborazo (CESA, 2013), por lo tanto, es imperativo realizar una planificación de los recursos hídricos ya que la principal fuente de agua es la subterránea y por ende el uso desmedido o pobremente gestionado del flujo subterráneo puede producir un agotamiento del recurso.

La subcuenca del río Chambo forma parte de la demarcación hidrográfica Pastaza, ubicándose por completo dentro de la provincia de Chimborazo (Comité de la Subcuenca del río Chambo, 2015), este territorio se encuentra en los cantones Chambo, Riobamba,

Penipe, Guano, parte del cantón Colta y parte del cantón Guamate, contemplando una superficie de 1692 km².

El presente estudio de investigación se basa en calcular la disponibilidad hídrica en la cuenca baja del río Chambo mediante la utilización de herramientas SIG (zonificación, análisis estadísticos y análisis de la geodiversidad). Para ello se analizó el registro de concesiones y caudal otorgado por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) para la CBRCH por un periodo de 42 años (1977 a 2019). Estos datos se encuentran divididos en demarcaciones, tipos de usuarios (comunidad rural, juntas de agua, comunidad urbana), red de drenaje (superficial y subterráneo), el aprovechamiento (consumo humano, riego, abrevadero, acuicultura, turístico y termal, industrial y generación de energía), la parroquia y el cantón en donde se encuentra ubicada cada concesión con sus respectivas coordenadas UTM. El registro se analizó considerando el caudal de agua (superficial/subterránea) otorgado comparado con el caudal extraído (pozos y vertientes) y estimado en cuerpos superficiales (caudales de ríos, lagunas). Es decir, se estimó los valores de oferta superficial y subterránea, así como las proyecciones de demanda en los diferentes usos. Estas estimaciones correlacionadas con datos geomorfológicos y geológicos permitieron definir zonas hídricas vulnerables y de productividad acuífera.

1.1. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Valorar y zonificar los usos del agua subterránea en la cuenca baja del río Chambo, para la planificación y el control del uso y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la base de datos de las concesiones del 2019 de la SENAGUA, con los registros de concesiones desde el año 1977 hasta el 2019, para examinar el uso y el caudal del agua subterránea concesionada;
- Estimar los caudales superficiales (caudales de ríos, lagunas) y subterráneos (pozos y vertientes) a través de métodos directos e indirectos de medición;
- Estimar los valores de disponibilidad hídrica superficial y subterránea y calcular las proyecciones de demanda en los diferentes usos;
- Correlacionar los valores de caudal con los datos geomorfológicos y geológicos, para definir zonas hídricas vulnerables y de productividad acuífera;
- Identificar y cuantificar los parámetros de distribución, frecuencia y abundancia litológica, y geomorfológica en el área de estudio, mediante la metodología propuesta por Carcavilla et al. (2007).

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca baja del río Chambo (CBRCH) forma parte de la demarcación hidrográfica del río Pastaza. Se encuentra en el centro del país dentro de la provincia de Chimborazo, rodeada de diferentes volcanes como: el volcán Chimborazo, que se localiza al NW, representando el punto más alto con una altitud de 6228 m.s.n.m., también se encuentran los volcanes Iguayata (4430 m.s.n.m.) al Norte, Tungurahua (5023 m.s.n.m.) al NE, El Altar (5319 m.s.n.m.) al Este y otras elevaciones menores ubicadas en el centro de la cuenca (Ilustración 1-1).

El río principal de la cuenca es el río Chambo, la CNRH (2007) señala que existen 2 tipos de redes hidrográficas separadas por dicho río, la red oriental está conformada por los ríos Candelaria, Chorrera, Panchucal, Timbul, Ishpi, Maguazo, Collantes, Blanco, Guayllabamba, Daldal y Alao, mientras que la red occidental está conformada por los ríos Sicalpa, Chibunga, Guano y Chimborazo.

Dentro de este territorio se encuentran 6 de los 10 cantones de la provincia, entre ellos Guano, Riobamba, Colta, Penipe, Chambo y parte del cantón Guamote (Ilustración 1-1).

CLIMA

La CBRCH se encuentra ubicada al sur del Valle Interandino, el hidrólogo Pierre Pourrut (1983) estableció 2 climas generales para esta zona: 1) Clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo, el cual tiene temperaturas extremas que oscilan entre los 30°C y raramente bajo los 0°C, el promedio anual oscila entre 12 y 20°C; 2) Clima ecuatorial de alta montaña, la característica de este tipo de clima es que se encuentra a alturas mayores a los 3000m, lo que produce temperaturas bajas con una media anual de 8°C (Pourrut, 1983).

La estacionalidad en Ecuador es baja debido a que se encuentra sobre la línea ecuatorial, presenta solamente dos estaciones conocidas como invierno y verano, el invierno, se presenta en los meses de octubre a mayo y la temporada seca de verano en los meses de junio a septiembre. Procel (2018) indica que en la CBRCH existen dos períodos de lluvia

intensa, el primero es durante los meses de abril y mayo en los cuales la precipitación llega a ser mayor a los 60 mm/año, y el segundo que abarca los meses de octubre y noviembre en donde la precipitación es superior a 40mm/año, mientras que los meses de junio a septiembre la precipitación es muy baja con valores menores a 40mm/año.

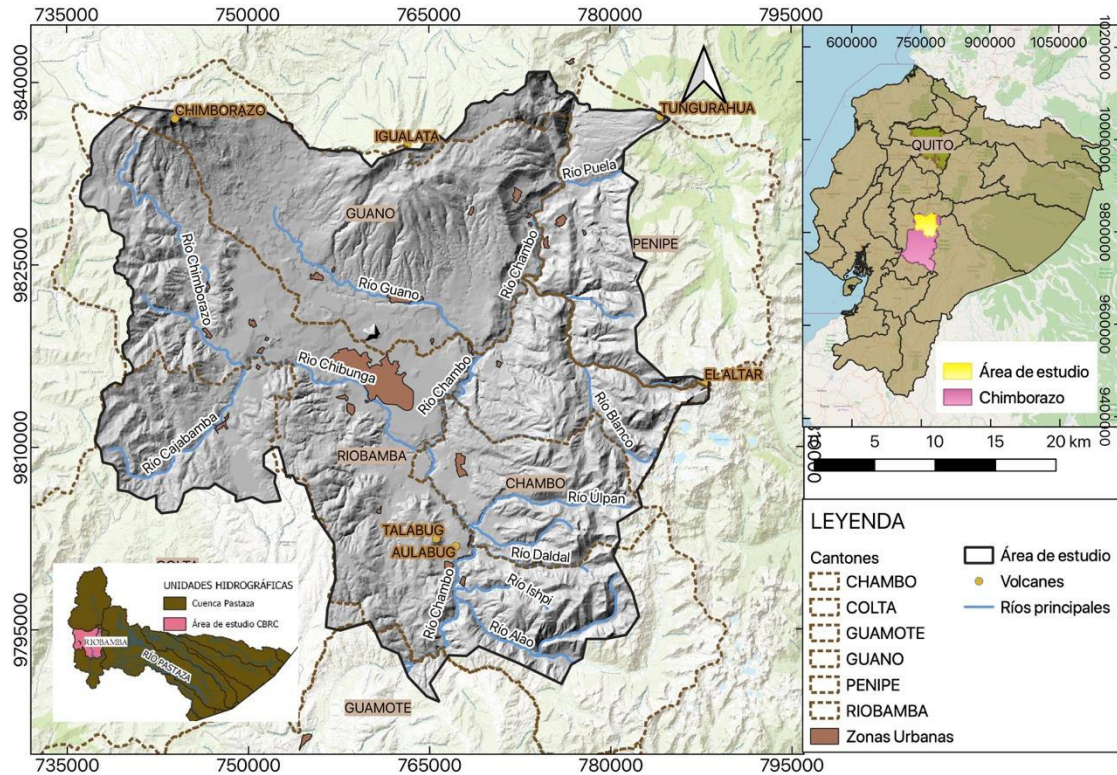


Ilustración 1-1 Ubicación del área de estudio con respecto a la demarcación hidrográfica Pastaza y la provincia Chimborazo.

GEOLOGÍA

El Valle Interandino (VI) es reconocido geológicamente como una depresión tectónica-geomorfológica que se extiende desde $\sim 2^{\circ}30'S$ hasta el borde colombiano al norte. Lo conforman una cadena de cuencas de $\sim 300\text{km}$ de largo y 25km de ancho, formadas entre la Cordillera Real y Cordillera Occidental. Se encuentra delimitado al este por la falla Pelpetec y al oeste por la falla Pallatanga-Pujilí-Calacalí (Winkler et al., 2005).

Winkler et al. (2005) han identificado en el valle 4 subcuencas formadas durante el Mioceno Tardío y Pleistoceno (Cuenca del Chota, Cuenca de Quito-San Antonio-Guayllabamba, Cuenca Ambato-Latacunga, Cuenca Alausí-Riobamba). Dentro de la cuenca Alausí –

Riobamba ubicada en la provincia de Chimborazo se encuentra el área de estudio, el cual forma parte de la demarcación hidrográfica del Pastaza, cubriendo una superficie aproximada de 3.580km². Esta área toma el nombre de “Subcuenca del Rio Chambo”, recibiendo el nombre de su río principal.

Las Formaciones y Unidades Geológicas presentes dentro de esta subcuenca son:

UNIDAD ALAO – PAUTE (Jurásico – Cretácico Inferior)

Forma parte del “cinturón verde” del Terreno Alao, está formada principalmente por rocas que han sido alteradas por procesos metamórficos formando filitas gráficas – cuarcíferas, meta sedimentos, y rocas con tremolita - clinozoisita (Aspen y Litherland, 1992). Intercalado con esquistos verdes, esquistos gráficas, esquistos pelíticos, cuarcitas y mármol, siendo así que a medida que el contenido de cuarzo y carbonatos aumenta, va aumentando también su grado metamórfico (Litherland et al., 1994). La característica que más se recalca de estas rocas es la deformación que se generó durante diferentes procesos, formando micropliegues, planos de estiramiento y vetillas de cuarzo (Yáñez, 2016).

Litherland et al. (1994) propuso que esta Formación se depositó durante los eventos del Jurásico Medio, edad que fue constatada en 2013 por Cochrane R. mediante dataciones $^{238}U/^{206}Pb$ en circones, dando como resultado la edad de 163 ± 1.6 Ma perteneciente al Jurásico Medio-Tardío.

UNIDAD SAN PABLO DE SALI (Jurásico)

En los primeros estudios liderados por Litherland et al. (1994) se definió a esta Unidad como parte de la Unidad Alao-Paute. Yáñez (2016) describe esta unidad como una sucesión volcanoclásticas-andesítica conformada por metandesitas y filitas intercalándose, tomando tonalidades verdosas y mostrando una gran deformación. La unidad toma este nombre debido a que los afloramientos se ubican en la vía que conecta los poblados Chañag San Miguel - San Pablo de Sali y San Pablo de Sali – El Toldo. Sin embargo, los más representativos se localizan en el margen izquierdo del río Blanco (Yáñez, 2016).

UNIDAD GUAMOTE (Jurásico)

Compuesta por cuarcitas negras, intercaladas con filitas grises sericíticas y grafitosas, pizarras negras, metaconglomerados y metasedimentos (Salguero, 2017). Esta secuencia continental de edad Jurásica aflora en el basamento a largo de la ladera oeste de la Cordillera Real (Litherland et al., 1994).

Dentro del área de estudio se va extendiendo desde la comunidad Verde Pamba hacia el norte, llegando a tener un área de aproximadamente 4,7km, que llega a su fin en la comunidad Balabug. Este cinturón metamórfico alcanza un ancho de aproximadamente 2,3km (Salguero, 2017). Al oriente del río Chambo varios afloramientos se puede encontrar dentro del poblado Juan Pablo de Sali, proyectándose hacia el poblado Punín (Yáñez, 2016).

UNIDAD MAGUAZO (Jurásico – Cretácico Inferior)

Litherland et al. (1994) se refiere a una secuencia turbidítica intercalada con rocas volcánicas andesíticas y basálticas. Las turbiditas son de grano fino de composición silícea cerca del río Maguazo y volcanoclásticas en el río Paute, presentan un metamorfismo pobre. Salguero (2017) interpretó a esta Formación como una serie de depósitos de decantación, los sedimentos se encontraban en suspensión sobre la Unidad Guamote, en un ambiente de talud continental. La Unidad Maguazo se la puede encontrar dentro del poblado San Pablo de Sali extendiéndose hacia el norte, hasta el poblado Matus Alto.

Litherland et al. (1994) basándose en análisis palinológico de granos de polen, esporas y dinoflagelados, determinó una edad de Jurásico Medio-Superior.

UNIDAD RÍO DALDAL (Jurásico Tardío)

Yáñez (2016) describe esta Unidad como una secuencia de rocas metamórficas de bajo grado, conformada por filitas de tonalidades gris azuladas y verdosas. A esta Unidad se la puede encontrar al este del río Chambo, en el límite oriental de la zona de estudio aflorando desde el sur en la quebrada del río Ishpi prolongándose desde el margen sur del río Daldal,

hacia el este y norte de la zona. El contacto entre la unidad Río Daldal y una de las escamas de la Unidad Guamote descrito por Yáñez (2016), se encuentra limitado por una falla dextral, indicando una edad Jurásico Tardío (Calloviano/ Oxfordiano).

UNIDAD PELPETEC (Jurásico – Cretácico inferior)

La Unidad Peltetec se caracteriza principalmente por estar formada por serpentinitas, gabros, basaltos serpentinizados, rocas verdes, filitas negras, rocas volcanoclásticas. Según Litherland et al. (1992) se trata de una secuencia ofiolítica de corteza oceánica acrecionada durante un evento tectónico.

Al borde oriental y occidental la Unidad Pelpetec se encuentra en contacto tectónico con la unidad Guamote, mientras que al norte dentro del poblado Torcasa, el contacto tectónico sucede con la Formación Maguazo (Salguero, 2017).

Yáñez (2016) y Salguero (2017) toman las edades propuestas por Spikings et al., (2015) el cual mediante dataciones Ar/Ar en plagioclasas tomadas de metabasaltos y gabros obtuvo edades de Cretácico Temprano.

UNIDAD YUNGUILLA (Maestrichtiano)

Thalman (1946) indica que esta Formación se representa como una secuencia turbidítica sedimentaria formada por limolitas y areniscas grises opacas, que pertenece a un ambiente de abanicos turbidíticos, depositados dentro de cuencas de antearco de edad Maestrichtiano (Vallejo et al., 2007).

En la zona de estudio se pueden encontrar los afloramientos en el margen izquierdo del río Blanco extendiéndose hacia el SSE y en la quebrada La Tranca en el poblado Verde Pamba, en esta área se encuentra un contacto tectónico al este de dinámica indiferenciada con la Unidad Guamote (Salguero, 2017).

FORMACIÓN APAGUA (Paleoceno al Eoceno Medio)

Consiste en secuencias de facies turbidíticas compuestas de areniscas de grano medio, limolitas y lodolitas, esta Formación representa las partes medias a proximales de abanicos submarinos turbidíticos (Eguez & Bourgois, 1986). Vallejo (2007) interpreta a la Formación Apagua como la parte proximal-media de un abanico turbidítico submarino que posee una fuente metamórfica y granítica, así como también una fuente volcánica coetánea que se puede observar dentro de la secuencia.

Durante el Congreso Ecuatoriano de Geología en 1986, Egüés y Bourgois presentan edades correspondientes al Eoceno medio mediante el estudio de fauna foraminífera.

FORMACIÓN YARUQUÍES (Eoceno-Plioceno)

Esta Formación fue definida por Sosa y Guevara (1973) como una secuencia de tipo fluvial que comprende en su base areniscas de tamaño de grano fino de color amarillo rojizo, sobre estas se encuentran depositadas capas de conglomerados de composición andesítica y de cuarcitas que presentan intercalaciones de estratos de areniscas rojizas de grano medio.

Mediante análisis de la relación estratigráfica con la Formación Macuchi, Dunkley y Gaibor (1997), determinaron que la edad se encuentra entre el Paleógeno y Neógeno.

FORMACIÓN CIZARÁN (Mioceno)

Baldock (1982) describe esta Formación dominada por piroclastos de composición ácida e intermedia, las rocas que se pueden encontrar aquí son brechas riolíticas a andesíticas, tobas, flujos piroclásticos e ignimbritas. Esta Formación contiene depósitos piroclásticos de gran extensión regional, los más jóvenes que se pueden encontrar en el sur de Ecuador.

UNIDAD RIOBAMBA (Plioceno)

Salguero (2017) distribuye esta Formación en dos miembros. El primero se trata de estratos sedimentarios granodecrecientes de color grisáceo que forman terrazas aluviales en la desembocadura del río Guano en el río Chambo. El segundo miembro está conformado por productos volcanoclásticas de grano medio provenientes de procesos eruptivos de los

diferentes volcanes de la zona, depositados sobre los estratos del miembro 1 y sobreyacidos por la Cangahua.

Esta Formación ocupa un área de 181 Km² que parten desde la ciudad que recibe su nombre Riobamba hasta la parroquia Calpi (Núñez, 2020). Hungerbühler (2002) señala una compresión en la región interandina, lo que según Winkler et al. (2005) provoca el desarrollo de las subcuencas del sur del VI a finales del Mioceno, los depósitos fluviales podrían indicar el inicio de Formación de la cuenca durante el Plioceno (Salguero, 2017).

VOLCÁNICOS IGUALATA (Pleistoceno)

Los depósitos volcánicos del Igualata están constituidos por flujos de lava de composición andesítica y andesítica basáltica, brechas volcánicas con matriz arenosa y líticos andesíticos, flujos piroclásticos incluidos dentro de la Unidad Cangahua y depósitos de lahar (Salguero, 2017).

SEDIMENTOS DEL RÍO CHAMBO (Pleistoceno)

Forman dentro de la zona de Quimiag terrazas estratificadas por variaciones granulométricas, los conglomerados están formados por una matriz arenosa y clastos de hasta 10 cm, de composición andesítica, las areniscas se encuentran en la transición de conglomerados a limos, los limos forman el techo de la secuencia (Salguero, 2017).

VOLCÁNICOS DEL ALTAR (Pleistoceno)

Litológicamente corresponde a una brecha volcánica de tonalidades claras, relacionadas a avalanchas de escombros, (Bustillos, 2008). Estos depósitos se encuentran distribuidos en la ribera occidental del Río Chambo y desembocadura el Río Blanco, forma una terraza rectangular en la cual se puede encontrar poblaciones como la del Río Blanco y El Recreo (Salguero, 2017).

CANGAGUA (Pleistoceno)

La Formación Cangahua es un depósito periclinal, consolidado, vesicular sin foliaciones, de color café oscuro, húmeda, formado principalmente por ceniza con presencia de líticos en bajo porcentaje, lentes de lapilli y arena gruesa (Sosa & Guevara, 1973).

VOLCÁNICOS DEL CHIMBORAZO (Pleistoceno)

El depósito se formó como resultado de avalanchas de escombros que se expone en la cuenca de Riobamba en el Río Chambo. Presenta facies mixtas debido a la mezcla que se genera entre el substrato erosionado durante el transporte de las brechas de la avalancha, este bloque está conformado por una matriz arenosa-limosa con facies mixtas dentro de la cual se encuentran brechas, cenizas y arcillas parte del substrato y bloques de clastos andesíticos (Bernard et al 2008).

VOLCÁNICOS DEL TUNGURAHUA (Pleistoceno)

Hacia el sur del volcán, estos depósitos se los puede encontrar en sitios y poblados como la Loma Montirón, Bayushig, El Altar y Penipe, Guso Chico, Guso Grande, Guanando, La Providencia, Pungal y El Quinche tanto en el margen Oriental como Occidental respectivamente. Se representa por exponer una morfología en forma de terrazas, el depósito exhibe laminaciones dentro de mega bloques que se generaron durante el transporte de la avalancha de escombros, conformada por una matriz areno-limosa de color gris a rojiza y clastos basálticos de tamaño variable entre 10 y 50cm (Salguero, 2017).

DEPÓSITOS SUPERFICIALES CUATERNARIOS (Holoceno)

DEPÓSITOS ALUVIALES: Gravas medias a gruesas intercaladas con material laharítico y tobas formando terrazas (MAGAP, 2015).

DEPÓSITOS COLUVIALES: Es habitual encontrarlos en pendientes abruptas, principalmente en los márgenes del Río Blanco. Se encuentra formada de clastos angulosos y redondeados, mal sorteo, siendo así que se tiene la presencia de clastos métricos a milimétricos, de composición andesítica en una matriz arenosa (Salguero, 2017).

INTRUSIVOS

Los cuerpos intrusivos tienen diversa composición, se los encuentra aflorando principalmente en la Cordillera Real, con edades entre el Cretácico y Cenozoico, se tiene: Complejos ultramáficos (Ku), granodioritas (Kg), granodioritas/dioritas (Tg), tonalitas (Tn) (Naranjo, 2013).

INTRUSIVO PUNGALÁ

El Plutón de Pungalá toma este nombre por su ubicación en la parroquia rural de Pungalá, en la loma de Miraloma, dentro de la Provincia de Chimborazo. Aspen et al., (1992) realizaron la primera datación durante el proyecto de la Misión Británica en 1990 dando como resultado edades de 42 a 45Ma.

Las muestras tomadas en campo muestran Granodioritas con alto contenido de Plagioclasas, Cuarzo, Feldespato Potásico, Hornblenda como minerales accesorios presenta Magnetita y Pirita (Guerrero, 2020) (Ilustración 1-2).

AMBIENTE TÉCTONICO LOCAL

El área de estudio presenta tectónica variada y compleja que se desarrolla desde el Jurásico hasta la actualidad, dichas estructuras poseen un rumbo N-S y se desarrollan en la Cordillera Occidental, Valle Interandino y Cordillera Real. El sistema de fallas Pallatanga se desarrolla regionalmente extendiéndose desde el Golfo de Guayaquil (Baize et al., 2014), atraviesa el Valle Interandino siguiendo el valle del río Pangor mostrando una componente lateral dextral (Alvarado et al., 2016). Salguero (2017) indica que dentro del área de estudio esta falla se manifiesta en las redes de drenaje que se puede apreciar un ligero desplazamiento formando un contacto entre la Unidad Yunguilla y los sedimentos Apagua.

El lineamiento Guano-Altar es definido por Salguero (2017) mediante un análisis fotogeológico, este lineamiento sigue el curso del río Guano proyectándose hacia la cordillera real en una dirección E-O. El lineamiento Rio Chibunga-Rio Ulpan se localiza al sur del área de estudio siguiendo una dirección NOO-SEE siguiendo a los ríos Tililag, Chibunga y Úlpan. El lineamiento Calero-Urbina presenta un rumbo NE-SO, localizándose a los pies del volcán Chimborazo (Salguero, 2017).

La falla Candelaría se encuentra paralela al río Chambo, Egüez et al. (2003) le asignó una tasa de desplazamiento <1mm/año con sentido transcurrente, esta falla marca el límite de la Cordillera Real en la zona. El sistema de fallas Peltetec presenta direcciones variables marcando el límite entre las rocas de la Cordillera Real y los volcánicos recientes, adyacente a esto se puede encontrar 2 zonas de cizallamiento, la principal posee un rumbo ~N15°E y la central N30°E, con desplazamiento transcurrente dextral (Yáñez, 2016) (Ilustración 1-2).

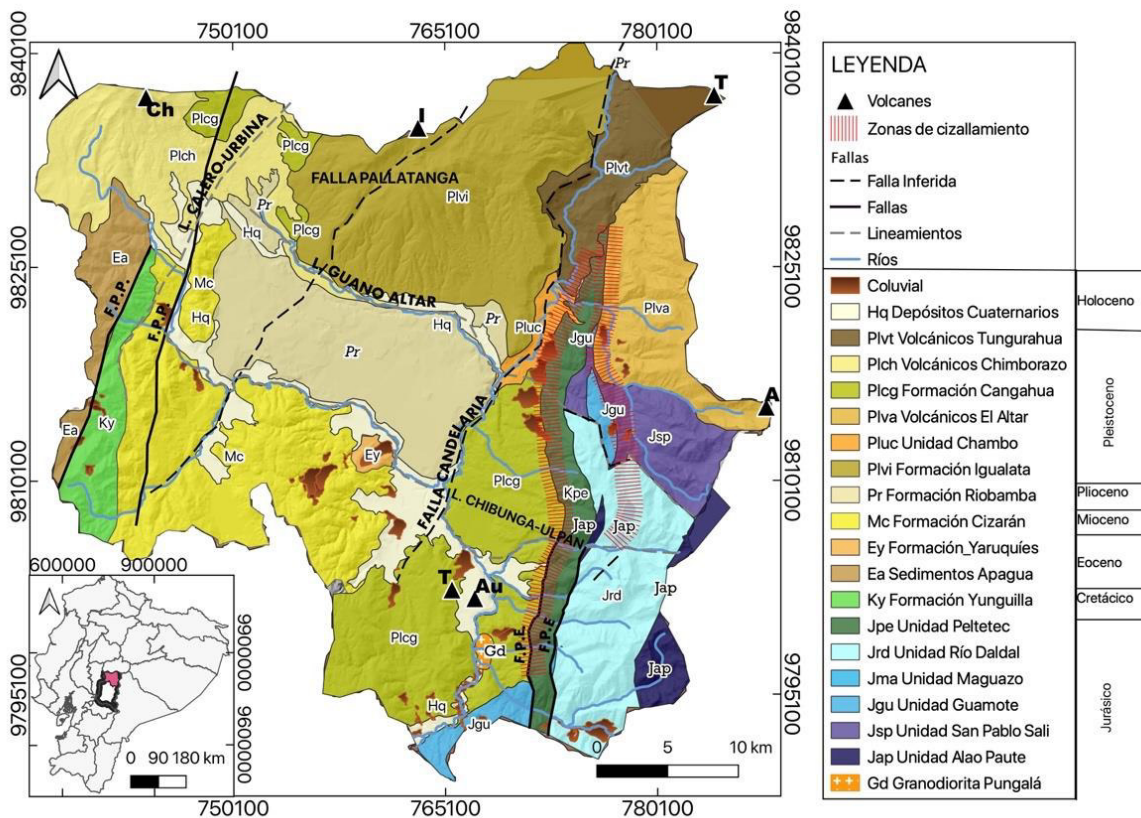


Ilustración 1-2 Unidades y Formaciones Geológicas del área de estudio. F.P.P: Sistema de fallas Pallatanga, F.P.E. Sistema de fallas Peltetec. Tomado de Núñez (2020)

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CICLO HIDROGEOLÓGICO

El agua es un elemento natural esencial para el desarrollo de la vida en la tierra y la sostenibilidad de los ecosistemas. Aproximadamente el 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, lo que equivale a 1,386 millones de kilómetros cúbicos, distribuidos en el océano (97,5%), glaciares y regiones polares (1,74%), agua dulce (0,76%), lagos de agua dulce (0,007), lagos de agua salada (0,006%), río (0,0002), biomasa (0,0001%), atmósfera (0,001%) (García, 2009).

El ciclo hidrológico o ciclo del agua, describe el movimiento de agua continuo a través de la atmósfera y la litósfera, dentro de un espacio que se extiende aproximadamente 15Km de altura llamado hidrósfera (Chow et al., 1994). Durante dicho proceso el agua cambia de fases constantemente entre estado líquido, gaseoso y sólido, siendo así que pasa de estado líquido cuando se evapora desde la superficie de la tierra y distintos océanos, ascendiendo hacia la atmósfera, posteriormente precipita en forma de lluvia, nieve o granizo. La precipitación puede infiltrarse en el suelo y subsuelo, escurrirse hasta encontrar una fuente de agua superficial o evapotranspirarse, haciendo que se repita el ciclo de agua (Córdova, 2017).

2.1.2. COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO

2.1.2.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación es el proceso por el cual las aguas meteóricas provenientes de la tropósfera alcanzan la superficie terrestre en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo (Córdova, 2017), se la considera primordial en el ciclo hidrológico, ya que representa la principal entrada de agua dentro del ciclo hidrológico continental (Ilustración 2-1).

La disponibilidad de agua subterránea de una zona depende de la rapidez con que se renueva el recurso, los factores primordiales para que esto suceda es la duración e

intensidad de la Precipitación que varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca o subcuenca dependiendo de la temperatura y presión (Musy, 2011).

Los aparatos que más se utilizan para medir la precipitación se denominan pluviómetros, la unidad de medida es el milímetro, debido a que esta representa la altura que alcanza un litro dentro de un cuerpo prismático, que posea una base de un m^2 de superficie, es decir que 1mm corresponde a 1 l/m^2 (García, 2009). Li Y., 2012 indica que a partir de dichas mediciones se pueden obtener varios datos como las precipitaciones diarias, mensuales y anuales, precipitaciones medidas en intervalos de tiempo, número de días de lluvia, nieve o granizo durante el mes y la precipitación máxima diaria producida en el mes. Se determinan diferentes medidas con el propósito de obtener valores medios y puntuales en el mes y el año.

2.1.2.2 INFILTRACIÓN

La infiltración es un parámetro hidrológico que representa la precipitación que penetra en el suelo, satisfaciendo la deficiencia de humedad y saturando los espacios vacíos (Springall., 1970), el agua sobrante desciende por gravedad hasta alcanzar un nivel acuífero aumentando el volumen preexistente (Custodio y Llamas, 1983) (Ilustración 2-1).

Horton y Elliott (1993) introducen el término de capacidad de infiltración como la máxima cantidad de agua de lluvia que se puede absorber en un tiempo determinado. Los factores que determinan la capacidad de infiltración son: la composición de material del suelo (estructura y textura), su compactación y su humedad (Custodio y Llamas, 1983).

La humedad del suelo determinará la tasa de infiltración siendo así que a mayor humedad edáfica la infiltración es menor afectando al flujo lateral de agua que de igual manera se reduce (Lowery et al., 1996). En el suelo se forman dos zonas húmedas, que vienen a ser la zona saturada y la zona no saturada, llamada también zona vadosa o de aireación (Vélez y Vélez 2002). La zona saturada es aquella que tiene todos sus poros o fracturas llenas de agua y se encuentra limitada por la superficie freática, mientras que la zona no saturada se encuentra sobre la superficie freática formando tres subzonas hasta llegar a la superficie del terreno (Vega, 2020).

El concepto de Infiltración se puede aplicar únicamente en materiales no saturados, a diferencia de la Percolación que se define como el agua que desciende por acción de la gravedad en materiales saturados (Davis y De Wiest, 1971).

2.1.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la coalición de la evaporación y la transpiración. Thornthwaite (1948) describe a la evaporación como el proceso en el que el agua se transforma de líquido a vapor, este se produce desde las superficies someras de agua y del suelo. La transpiración es un fenómeno biológico que consiste en la vaporización del agua que se encuentra contenida dentro de las estomas de las plantas. Este proceso dependerá del suministro de energía requerida, que viene dado por la radiación solar, la temperatura del ambiente, la velocidad del viento y la humedad. (Córdova, 2017) (Ilustración 2-1)

Las pérdidas de agua por evapotranspiración se miden en mm de altura de agua, que es igual a $10\text{m}^3/\text{Ha}$, el agua que regresa a la atmósfera por medio de este proceso se calcula en determinados intervalos de tiempo (Custodio y Llamas, 1983).

2.1.2.4. ESCORRENTÍA

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Abarca al agua que sigue su curso en la superficie de un terreno, este proceso puede darse en un terreno abierto o en un medio canalizado como ríos y arroyos (García, 2009). La escorrentía superficial está controlada por factores climáticos, fisiográficos y antrópicos. Los factores climáticos están ligados directamente con duración e intensidad de la precipitación, los componentes fisiográficos se refieren a la topografía y el relieve dentro del área de la cuenca y los antrópicos a la influencia de la humanidad dentro del ecosistema como obras civiles e hidráulicas (Monsalve, 1995).

ESCORRENTÍA HIPODÉRMICA

Se refiere al agua que se ha infiltrado en el suelo gracias a la precipitación, pero se transporta en los niveles superiores y reaparece almacenada como manantial o se incorpora a la red de drenaje superficial (USGS, 2019).

ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA

Este tipo de escorrentía se da cuando la precipitación se infiltra hasta el nivel freático, circulando hasta alcanzar la red de drenaje o aumentar el volumen de un acuífero mediante recarga lateral (USGS, 2019).

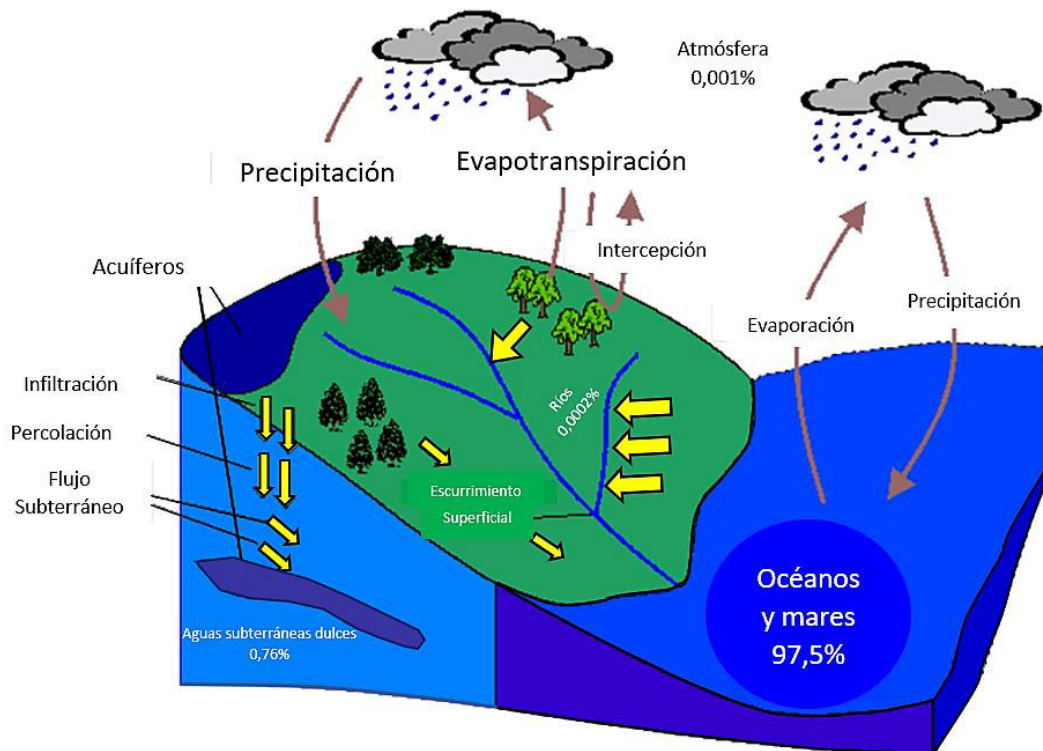


Ilustración 2-1 Representación del ciclo hidrológico. Modificado de Musy, 2011

2.1.3. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se fundamenta en la comprensión del ciclo hidrológico en sus diferentes fases en una cuenca hidrográfica, basándose en el axioma de Lavoisier “que nada se crea ni se destruye” y se expresa como:



Partiendo de esta premisa, se puede afirmar que el agua cae en un determinado sitio (Precipitación= P), parte vuelve a la atmósfera (evapotranspiración= ET), otra parte se escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial= ES) y otra parte del agua se infiltra en el terreno incorporándose al sistema de aguas subterráneas o acuífero (Infiltración= I), cumpliendo con la siguiente ecuación (Ordoñez, 2011) (Ilustración 2-2).

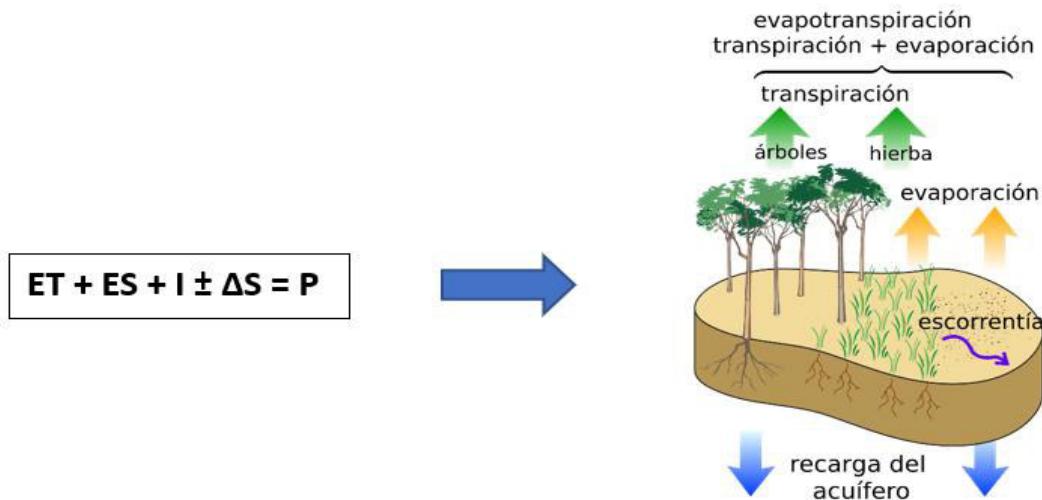


Ilustración 2-2 Elementos del balance hídrico. Tomado de Toews M.W. (2007) Conceptual diagram of near-surface hydrology Modificado de: Surfacewatercycleeu.svg

2.2. ACUÍFEROS, ACUICLUDOS, ACUITARDOS, ACUÍFUGO

POROSIDAD

La porosidad (n) determina la capacidad de almacenar agua en un acuífero, se define como la relación que existe entre el volumen de espacios vacíos o llenos de agua (V_v) y el volumen total (V_t) (Custodio y Llamas, 1983).

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

POROSIDAD EFECTIVA

La porosidad efectiva corresponde a los espacios vacíos interconectados que permiten el paso y almacenamiento de un fluido en la roca. La porosidad efectiva está intrínsecamente relacionada con la permeabilidad.

$$n_e = \frac{V_i}{V_t}$$

RETENCIÓN ESPECÍFICA

La capacidad de retención específica (n_s) equivale a la diferencia entre la porosidad total (n) y la porosidad efectiva (n_e), hace referencia al agua retenida dentro de los poros que no se encuentran interconectados.

$$n_s = n - n_e$$

TIPOS DE POROSIDAD

Los tipos de porosidad se clasifican en porosidad primaria y secundaria (Ilustración 2-3). La porosidad primaria se define como una característica inherente de las rocas, este tipo de porosidad se desarrolla u origina en el momento de la Formación o depositación de una Formación Geológica. Mientras que, la porosidad secundaria es aquella que se forma debido a un proceso geológico, que sucede posterior a la Formación o depositación del material del estrato o capa, ellos pueden ser por:

1. Fracturación o trituración
2. Disolución
3. Dolomitización

1. Rocas sometidas a acciones de diastrofismo.
2. Reacciones químicas provocadas por fluidos, modifican el volumen poroso.
3. Calizas se convierten en dolomitas que son más porosas.

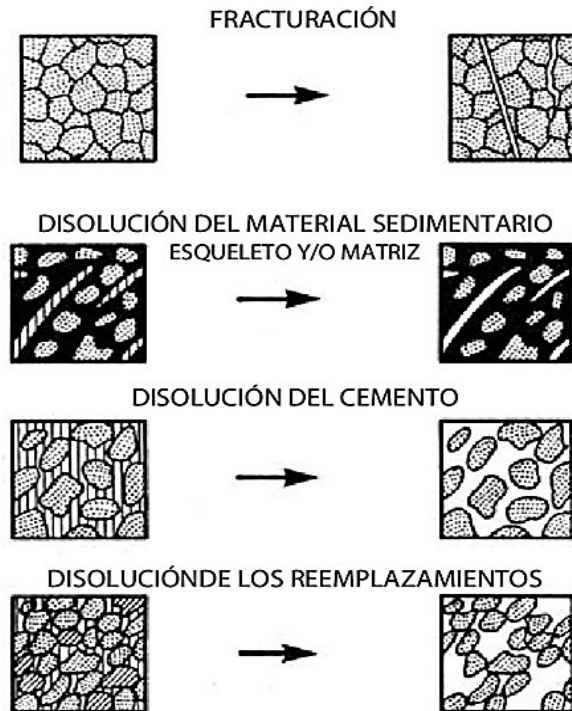


Ilustración 2-3 Tipos Genéticos de porosidad Secundaria

PERMEABILIDAD

La permeabilidad de un material es la capacidad que este tiene de transmitir un fluido, en este caso agua, esta propiedad será más efectiva si los poros estén interconectados y el tamaño de los poros es grande. (Ordóñez, 2011)

LEY DE DARCY

El ingeniero Francés Henry Darcy en 1856, descubrió una ley que describe el movimiento de las aguas subterráneas, a través del cálculo del volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado denominado como caudal (Q), la velocidad del agua al transmitirse en un medio poroso (v) y el área (A) (Freeze and Cherry, 1979).

$$v = \frac{Q}{A}$$

SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA

Se establece como todos los puntos en los que la presión del agua subterránea es igual a la presión atmosférica. Se la representa mediante líneas de igual altura potenciométrica llamadas isopiezas, los niveles piezométricos se obtienen mediante perforaciones, excavaciones hasta el nivel del agua y piezómetros (Custodio y Llamas, 1983)

2.2.1. DEFINICIÓN DE ACUÍFERO

Un Acuífero se refiere a una Unidad o Formación Geológica que se caracteriza por ser permeable y porosa, capaz de almacenar, transmitir y permitir la circulación de agua subterránea, a través de poros, grietas, diaclasas o fracturas (Villarroya, 2009; Custodio y Llamas 1983). Las Formaciones semipermeables toman el nombre de Acuitardo, estas a pesar de ser porosas y tener la capacidad de almacenar agua en grandes cantidades, la transmiten lentamente (Molineros, 2005), los Acuicludos por su parte se refieren a Formaciones impermeables que son capaces de almacenar agua gracias a su porosidad, pero no permite su libre circulación. (Molineros, 2005). Las rocas que se caracterizan por no poseer porosidad ni permeabilidad, es decir no son capaces de almacenar ni transmitir agua se denominan Acuífugo (Custodio y Llamas, 1983).

TIPOS DE ACUÍFEROS

Los acuíferos se clasifican de acuerdo con los siguientes criterios:

1. SEGÚN SU POROSIDAD

Primaria

La característica principal se da en que la alta permeabilidad que poseen este tipo de acuíferos se da gracias a la porosidad primaria intergranular, propia de las Formaciones Geológicas detríticas formadas por arenas, gravas, arcosas, areniscas y conglomerados, volcano sedimentos (Molineros, 2005).

Secundaria

La permeabilidad de este tipo de acuíferos se da gracias a la porosidad secundaria provocada por fisuración, disolución o ambos procesos. Las Formaciones Geológicas serán aquellas Formaciones consolidadas que de no ser por las fracturas o fisuras se las consideraría Acuífugos. Las rocas ígneas, metamórficas y rocas sedimentarias bien consolidadas, debido a su rigidez, pueden llegar a presentar un comportamiento mecánico frágil lo que provocaría el desarrollo de las fracturas (Molineros, 2005).

2. SEGÚN LAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

Acuíferos libres

También llamados no confinados o freáticos, son aquellos en los que el nivel superior de saturación se encuentra a presión atmosférica. A la superficie piezométrica de un acuífero se le denomina superficie freática. (Moliner, 2005) (Ilustración 2.4).

Los acuíferos colgados son un tipo de acuífero libre que se encuentran situados esporádicamente como resultado de una fuerte recarga, el nivel freático asciende provocando que se quede retenida una fracción de agua en forma de lente, por un nivel inferior impermeable (Todd & Mays, 1980).

Acuíferos confinados

La característica principal de este tipo de acuíferos es que la presión a la que está sometida el agua es mayor a la atmosférica. El agua ocupa completamente los poros, fisuras, fracturas o diaclasas de las rocas de la Formación Geológica que la alberga, hasta saturarla, las variaciones de nivel de agua ocurren debido a cambios en la presión y no de volumen (Dunn A., 2011) (Ilustración 2-4).

Acuíferos semiconfinados

Se encuentran sobreyacidos o subyacidos por capas semipermeables, por lo que pueden perder parte del agua almacenada, la superficie piezométrica se encuentra sobre el techo del acuífero, el agua se encuentra a una presión superior a la atmosférica (Rebollo y Loeches, 2007; García, 2009) (Ilustración 2-4).



Ilustración 2-4 Tipos de acuíferos según sus características hidrodinámicas. El nivel freático (nf) indica el nivel de agua para el acuífero libre, mientras que la superficie piezométrica (SP) corresponde al nivel de agua del acuífero confinado. Fuente: Sistema Integra

2.3. GESTIÓN HÍDRICA

2.3.1. DEFINICIÓN

La gestión hídrica se basa en la planificación, desarrollo, distribución y dirección del uso óptimo del recurso hídrico, para ello es necesario la implementación de un sistema que comprenda el estudio de la oferta limitada y el análisis de la demanda creciente del recurso hídrico (Ortiz et al., 2017), tomando en cuenta el sistema natural y humano. El sistema natural se divide en la disponibilidad, calidad y volumen del recurso, mientras que el sistema humano se basa en concesionar el agua para darle uso específico (Bernex y Tejada, 2010).

Burbano (2011) en la conferencia de Hidrogeología en Ecuador señaló que se ha provocado un aumento en el aprovechamiento de las aguas subterráneas dentro del país, en los últimos 20 años, equivalente al aumento de la demanda, degradación de la calidad de las aguas superficiales, al desarrollo industrial y agropecuario y los problemas de sequía en el país. El objetivo de la gestión hídrica de aguas subterráneas es el manejo de manera planificada de los acuíferos, con el objetivo de evitar efectos indeseables como subsidencia del suelo, bombeo poco económico y en el caso de estar en una zona costera intrusiones marinas (Singhal et al., 2010).

2.3.2. GESTIÓN HÍDRICA EN ECUADOR

Históricamente, la gestión hídrica dentro del país ha carecido de políticas nacionales que favorezcan a los grupos más vulnerables, mostrando una profunda inequidad en su acceso, ya que durante casi cuatro décadas (1966-2008), se impuso un modelo estatal de la administración de recurso hídrico que se centró en beneficiar al sector agroexportador y sus necesidades de riego (EC SENAGUA, 2010,1) (Benítez, 2018).

El Plan Nacional de Desarrollo (2007-2010) y el Plan Nacional del Buen Vivir (2009-2013) se enfocaron en promocionar la gestión integrada del agua dividiéndola por cuencas hidrográficas, creando un nuevo modelo de cultura de agua. Este cambio produjo la creación de la nueva Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) entidad que se encarga de

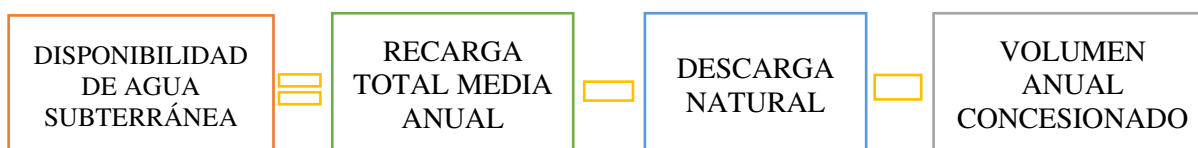
diseñar e implementar el Plan Nacional del Agua, formulando estrategias y acciones a nivel de cuencas hidrográficas con el fin de avanzar en la consecución de las metas del Gobierno Nacional, procurando garantizar el acceso al agua para consumo humano, riego para la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas (SDGF, 2017) (Benítez, 2018).

La Agencia de Regulación y Control de Recursos Hídricos (ARCA) se establece en el 2014 como una institución adscrita a la SENAGUA, con el objetivo de ejercer la gestión integrada e integral del agua. En el mismo año se crea la Empresa Pública del Agua (EPA) que se encarga de los contratos, la administración y supervisión de los proyectos de infraestructura hídrica en todas sus fases (PNUD 2014,31).

2.3.2. PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La Planificación Estratégica de Cuencas Hidrográficas se basa en el estudio integral de cuencas con la finalidad de gestionar los recursos hídricos por medio de la evaluación de la disponibilidad de agua, a partir de la entrada, retención, acumulación y salida del agua, lo que permite a su vez, planificar y gestionar su uso de manera racional y sustentable (Esmoriz et al., 2016).

La disponibilidad de agua subterránea se refiere al volumen medio anual que puede ser extraído de un acuífero, para distintos fines (Hernández et al., 2019) (Ecuación 1).



Ecuación 1. Disponibilidad de agua subterránea.

La ecuación 1 muestra los elementos que se utilizan para determinar la disponibilidad de agua. La recarga total media anual se obtiene a través del estudio del balance hídrico, corresponde al volumen disponible de agua que se ha infiltrado a la zona de Formación del sistema acuífero. La descarga natural comprometida se define como la salida de agua de

forma natural de un acuífero, comprometida como agua superficial. El volumen anual concesionado actualmente es regulado y controlado en Ecuador por la SENAGUA, las concesiones tienen distintos fines como uso doméstico, agricultura, industrial y turístico y termal.

2.4. GEODIVERSIDAD

2.4.1. DEFINICIÓN

La geodiversidad como término se introdujo en la literatura científica a partir de los años 90's gracias al creciente interés científico de Patrimonio Geológico, Geoconservación y Geoturismo (Carrión Mero et al., 2018). En 1992 durante la cumbre de Río de Janeiro se relacionó la geodiversidad con la biodiversidad, lo que produjo que se deriven varias reflexiones sobre su relación con la ecología y conservación, sin lograr hasta el día de hoy, que una de estas definiciones sea inequívoca y ampliamente aceptada por la comunidad científica (Carcavilla, 2008; Granados, 2019). Entre los autores más representativos se encuentran:

Nieto (2001) realizó un análisis de 12 diferentes trabajos sobre geoconservación y patrimonio geológico, asimilando las definiciones que se presentan de diversidad geológica, estructuras y procesos geológicos, diversidad natural y ordenación y gestión del territorio, llegó a la conclusión de que la geodiversidad se la puede definir como “el número y variedad de estructuras (sedimentarias, tectónicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y petrológicas) y de materiales geológicos (minerales, rocas, fósiles y suelos), que constituyen el sustrato de una región, sobre las que se asienta la actividad orgánica, incluida la antrópica”.

Kozłowski (2004) realiza un énfasis en como la actividad antropogénica ha afectado la eficiencia del geosistema y la necesidad de proteger la geodiversidad para asegurar un desarrollo sostenible, es así que se refiere a la geodiversidad como la variedad natural que existe en la superficie terrestre, referida a la variedad de fenómenos y paisajes geológicos, geomorfológicos, edafológicos, hidrológicos, y demás sistemas que resultan de procesos naturales (endógenos y exógenos) como de la actividad humana.

Gray (2004) tomó la definición propuesta por el Australian Heritage Commission (2003). Realizando ligeras modificaciones afirmó que la geodiversidad consiste en “la diversidad de rasgos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (formas del terreno y procesos) y características del suelo, incluyendo sus relaciones, propiedades, interpretaciones y sistemas”. Dentro de su monografía examina las formas en que esta diversidad se puede conservar y restaurar.

Carcavilla et al. (2007), menciona que las definiciones de Gray (2004) y Nieto (2001) son las más completas ya que denotan matices novedosos. Nieto (2001) habla sobre la actividad antrópica y orgánica que puede asentarse en el sustrato de una región, lo que puede provocar un cierto grado de modificación y pérdida de naturalidad, mientras que Gray (2004) dentro de su definición introduce la relación entre los rasgos geológicos y la interpretación que se pueda dar. A partir de estas reflexiones Carcavilla et al. (2007) plantean que por geodiversidad se entiende: Diversidad geológica de un territorio, con relación a los rasgos geológicos presentes en un lugar, la geodiversidad analiza dichos elementos en unitario y en conjunto, considerando su distribución y relación, asimismo es una propiedad intrínseca que guarda relación con otros aspectos como geografía, clima, cultura y economía, sin embargo, su estudio se limita a aspectos netamente geológicos.

Por tanto, siguiendo la visión integradora de los autores se concluye que la geodiversidad se inclina a convertirse en sinónimo de la diversidad geológica de una región, no obstante Nieto (2001) aclara que bajo el vocablo “Geológico” se incluyen solamente los rasgos geológicos referidos a rocas, mientras que el prefijo “Geo” incluye los aspectos referidos a rocas, formas del terreno y características del suelo, lo que hace necesario la introducción del término “Geodiversidad”.

2.4.2. ESTUDIO DE LA GEODIVERSIDAD

En las últimas décadas, varios autores han propuesto diferentes metodologías y técnicas, con la finalidad de cuantificar la Geodiversidad, entre ellos están:

-Kozlowski (2004) dividió la geodiversidad en cinco niveles (muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo) utilizando diferentes parámetros como el relieve (cantidad de montañas, diferencia de alturas), suelos (uso de suelos, zonas expuestas a erosión), aguas

superficiales (número de vertientes, lagos, ríos). Por su parte, Rojas et al. (2005) considera que un barrio residencial también se debe tomar en cuenta en el estudio de la Geodiversidad.

- Nieto (2001) utilizó como parámetros básicos el número y variabilidad de los elementos geológicos para realizar la evaluación cuantitativa y cualitativa de la geodiversidad, el número se determinó como una estimación de los diferentes elementos (estructuras, rocas, materiales, etc.), mientras que la variabilidad permitió tener en perspectiva diferentes contextos geológicos (pasado y presente). En consecuencia, si existe un gran número de elementos y la representatividad del ambiente prima, la geodiversidad aumenta. Nieto (2006) realiza unas mejoras a su modelo previo donde señala la necesidad de incluir el tamaño del área en la evaluación de la geodiversidad, propone el uso de criterios matemáticos e indica que el uso de modelos de diversidad y densidad permite combinar diferentes categorías geológicas con objetos.

En la propuesta de Serrano y Flaño (2007) se introduce un parámetro denominado índice de geodiversidad, el cual relaciona la variedad de elementos físicos (geomorfológicos, hidrológicos, suelos) con la rugosidad y superficie de los elementos geomorfológicos de un área determinada, el cual facilitara el estudio cuantitativo de la geodiversidad, dividiéndola en geodiversidad alta, baja o media. Acorde con lo propuesto por Gray (2004) los elementos de la geodiversidad se fundamentan en la historia de la Tierra, como la tectónica, minerales, rocas, sedimentos, fósiles, formas del terreno, procesos geomorfológicos y suelos. Kozlowski (2004) añadió un elemento muy importante como lo es el agua superficial. Basándose en lo propuesto por estos-autores, Serrano y Flaño (2007) diseñaron una tabla con los elementos que consideraron relevantes para su estudio (Ilustración 2-5).

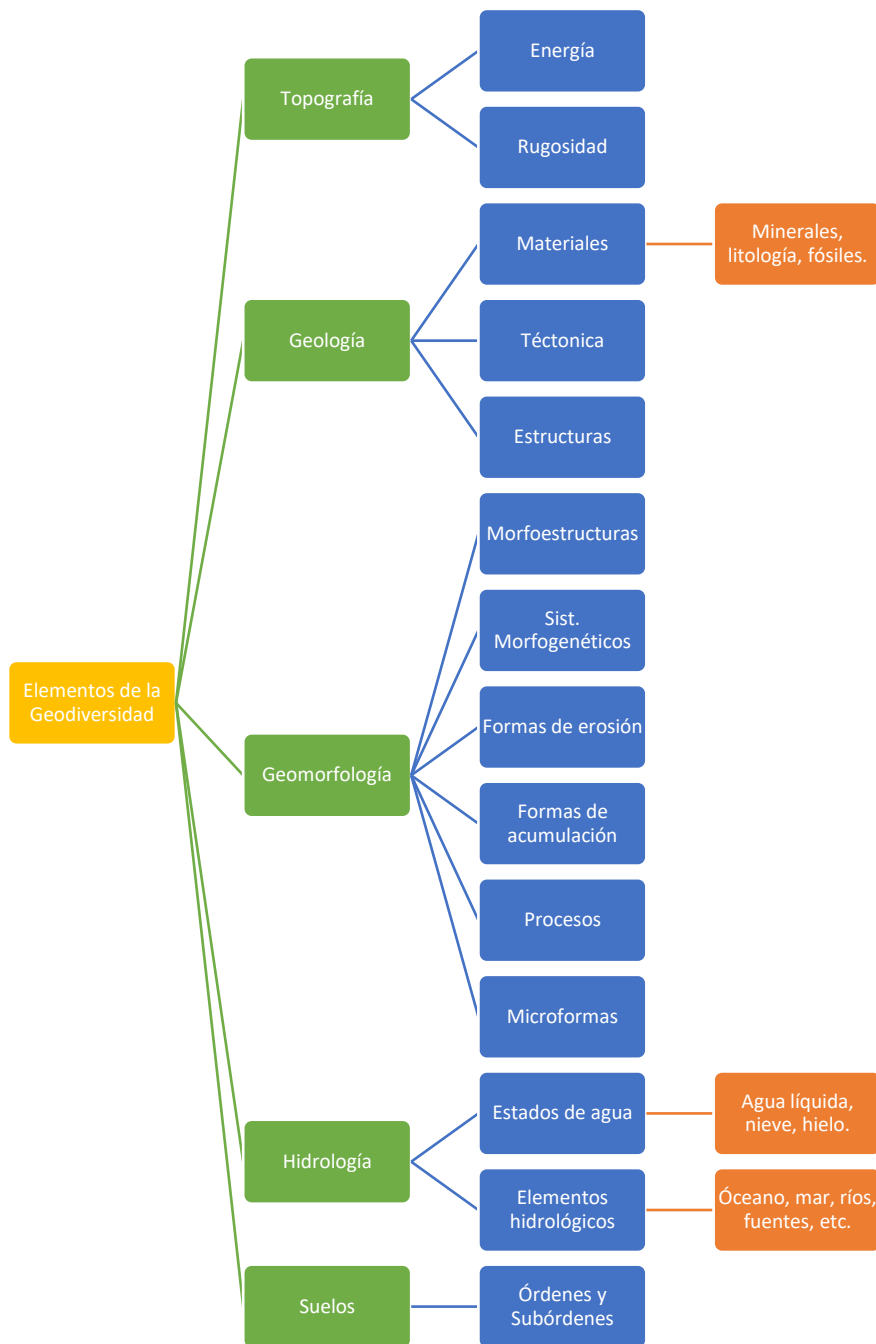


Ilustración 2-5 Elementos propuestos por Serrano y Flaño (2007), que forman parte de la Geodiversidad

El estudio de la geodiversidad de Carcavilla et al. (2007) se basa en el análisis de la variedad, frecuencia y distribución de diferentes elementos geológicos, previo a realizar dicho estudio, los aspectos fundamentales a definirse son: 1) la muestra a estudiar que

vendrá definida por la escala o grado de detalle con el que éstos se analizan, y 2) qué elementos (clases) se consideran al estudiar su número.

VARIEDAD

Carcavilla et al. (2007) se refieren a la variedad como la geodiversidad primaria, esta refleja el número de clases presentes en una región, a medida que el número de clases sea mayor así también lo será su geodiversidad, es decir que, si al comparar dos territorios que hayan sido analizados con los mismos criterios (litología, estructuras morfológicas, etc.) aquel que posea más clases se concreta que su geodiversidad es mayor, en la ilustración 2-6 se puede observar un ejemplo de variedad. La imagen de la izquierda posee solamente dos clases litológicas, mientras que la imagen de la derecha 6, por lo que se determina que esta es la que presenta una mayor variedad.

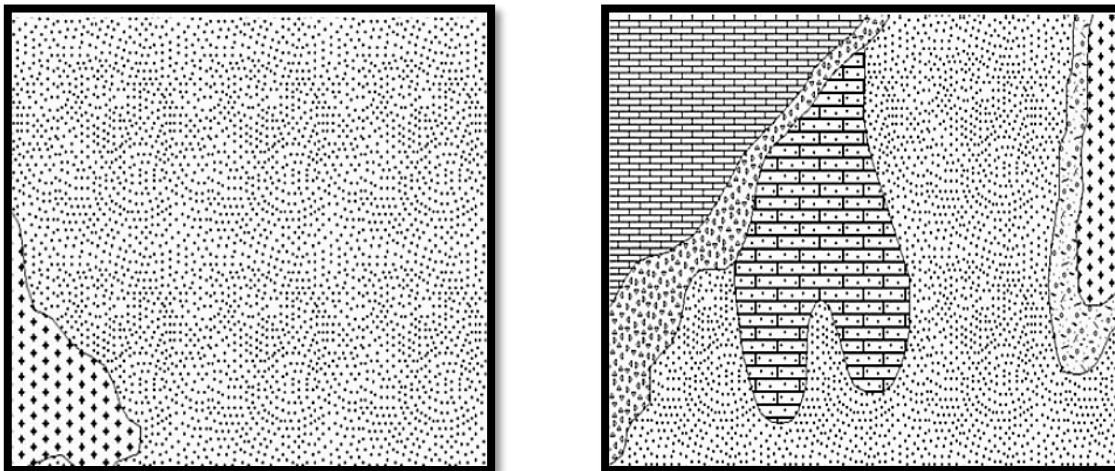
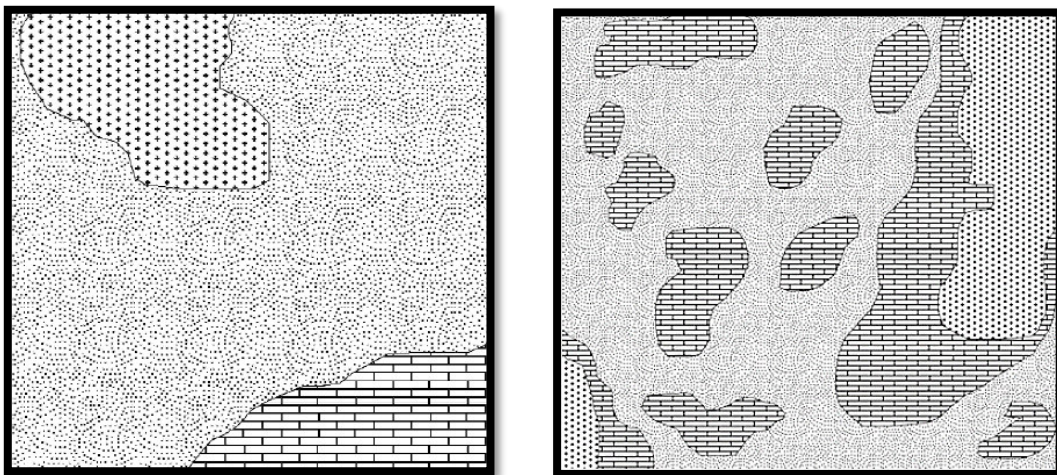


Ilustración 2-6 Ejemplo de dos áreas, que difieren en el número de clases litológicas, en la imagen de la izquierda se pueden ver dos clases (la primera clase se trata de una intrusión granítica en el borde inferior izquierdo, mientras que la segunda clase son unas are

FRECUENCIA

Se describe como el número de veces que se repite una clase, cada clase repetida toma el nombre de recinto, el proceso se realiza tomando en cuenta las dimensiones relativas ya que a pesar de que dos territorios tengan el mismo número de clases no significa que la distribución también deba ser la misma, las clases pueden encontrarse dispersas en distintos polígonos de distintas dimensiones.

En la ilustración 2.7 se puede observar 2 imágenes diferentes, en la gráfica de la izquierda se presenta tres clases (un intrusivo, arenas, calizas), cada una se presentan una sola vez en toda el área mostrando un comportamiento equifrecuencial, mientras que el gráfico de la derecha presenta las mismas 3 clases, pero su frecuencia es diferente mostrando la presencia de 1 arena, 2 intrusivos y 11 de calizas, por lo que se dice que es inequifrecuencial. Al existir 14 recintos en la imagen de la derecha se dice que su geodiversidad es mayor.



LEYENDA

Intrusivo

Arenas

Calizas

Ilustración 2-7 Ejemplo de frecuencia, se puede observar que el número de clases es el mismo, pero la distribución y las veces que se repiten no es la misma de las clases no es la misma, a la derecha se encuentran tres clases, que se repiten una sola vez, mientras que a la derecha se tienen tres clases que se distribuyen de manera diferente en un total de 14 recintos.

Tomado de Carcavilla et al., 2007

DISTRIBUCIÓN

La Geodiversidad, en varios casos muestra diferentes modelos de organización espacial, la distribución se encarga de analizar el orden de las diferentes clases y como estas se disponen en el espacio (Carcavilla et al., 2007) (Ilustración 2.8).

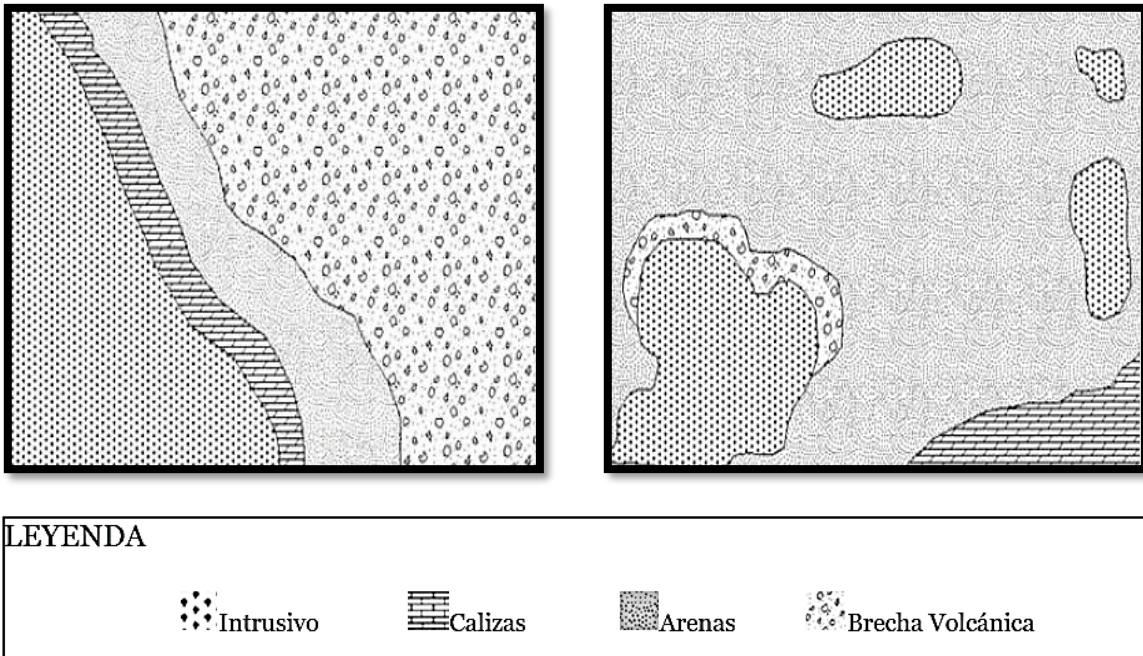


Ilustración 2-8 Ejemplo de distribución, en la imagen de la izquierda se tienen 4 tipos de clases, pero ninguna clase se repite y su distribución es uniforme, mientras que en la imagen de la derecha tiene la misma cantidad de clases pero estas si se repiten presentando un aspecto fragmentado. Tomado de Carcavilla et al., 2007

2.4.3. HIDRO-GEODIVERSIDAD

La primera pregunta de investigación que se procura abordar es: ¿Qué valor se debe atribuir a los recursos hídricos al definir la geodiversidad? Y la respuesta es que, de los amplios intereses, los diversos enfoques de los métodos para estudiar la geodiversidad y definiciones mencionadas con anterioridad considera a los elementos hidrológicos como un componente al momento de evaluar la geodiversidad, debido a que el ciclo hidrológico desempeña un papel de primera magnitud para la supervivencia de los ecosistemas.

Perotti et al. (2019) menciona que estudios previos que relacionan la Geología con los recursos hídricos se han analizado de forma sectorial tanto de manera cualitativa como

cuantitativa. El método cuantitativo establece valores numéricos precisos enfocándose en la productividad del acuífero, mientras que el método cualitativo se basa en interpretar los detalles hidrológicos, ya sea en una perspectiva de análisis del paisaje, o aplicando un enfoque morfológico a los problemas de la hidro-geodiversidad.

Los trabajos propuestos por Pereira et al. (2015), Moura et al. (2017) y Perotti et al. (2019) se centran en sistematizar las relaciones entre la diversidad litológica y geomorfológica con los demás sistemas presentes dentro del área como los recursos hídricos, mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG). Pereira et al. (2013) plantean el estudio de todos los elementos geológicos, mediante la realización de un mapa índice de la geodiversidad basado en el cálculo del índice de la geodiversidad, este método se basa en la superposición de varios mapas que están cuadrículados, a escalas que van desde 1:500.000 a 1:650.000, siendo el índice de geodiversidad final la suma de los mapas de índices parciales calculados en una cuadrícula de 25925 km. Moura et al. (2017) utiliza como base el mapa de precipitaciones, el mapa de flujo de agua subterránea, el mapa de acuíferos y el mapa de ríos, con el fin de obtener el mapa de Diversidad de Recursos Hídricos.

3. METODOLOGÍA

3.1. LEVANTAMIENTO BIBLIOGRÁFICO

Para la elaboración de este trabajo de titulación se empleó varios datos cartográficos obtenidos de manera digital y física. Los mapas geológicos en escala regional utilizados fueron: Cartografía geológica de Riobamba escala 1:100.000 (Sosa e Guevara, 1978), (Villagómez, 2003), Mapa Geológico del Ecuador escala 1:1.000.000 (Egüez et al., 2017). Para brindar información del contexto geológico local de la CBRCH se realizó una revisión y compilación de las tesis de pregrado de: Núñez (2020); Buenaño (2018); Salguero (2017); Quishpe (2017); Tenelema (2017); Yáñez (2016); Naranjo (2013); Bustillos (2008); Villagómez (2003), sumado a la tesis doctoral de la Ing. Sandra Procel PhD. titulada “Herramientas de gestión de recursos hídricos: un estudio de caso en la cuenca del río Chambo inferior (Ecuador), 2018” que además propone una metodología para la gestión de los recursos hídricos y brinda información geoquímica.

Los archivos de información geográfica obtenidos a través del portal web del Sistema Nacional de Información aportaron con datos del uso y ocupación de suelo, taxonomía, tipos de cultivos. El estudio bibliográfico de informes técnicos como el realizado por el Comité de la Subcuenca del Río Chambo “Aportes a la planificación para la gestión integral de los recursos hídricos, 2015”, aportó con información sobre el contexto completo de la CBRCH guiado a la planificación para gestión del agua.

Las publicaciones realizadas por Hernández et al., (2019) y Carcavilla et al. (2007), se utilizaron como metodología sistemática para la realización del análisis de la gestión hídrica y geodiversidad respectivamente.

3.2. TRATAMIENTO DE DATOS

3.2.1. BASE DE DATOS

La base de datos de las concesiones en la CBRCH otorgada por la SENAGUA, única entidad en el país capaz de otorgar derechos de uso de agua aportó información de la ubicación geográfica de las concesiones (cantón, parroquia, coordenadas), caudal (l/s), tipo de usuario (particular, público), aprovechamiento (consumo humano, agrícola, industrial, energético), fuente (superficial o subterránea) y año en que se realizó el trámite en la entidad.

Por medio de una solicitud expresa, la SENAGUA entregó una base de datos que contenía 2700 registros de concesiones de agua en toda la cuenca del Rio Chambo otorgadas desde el año 1977 hasta el 2019. Los registros de concesiones de 42 años se ingresaron al software ArcGIS 10.8, para su visualización y análisis, las coordenadas se re proyectaron al sistema de referencia UTM Zona 17S, con el datum WGS84. Se revisó su ubicación puesto que el 38% de los datos se encontraban fuera de los límites de la CBRCH, repartidos en los cantones Colta, Guamote, Pallatanga, Alausí y Pelileo. A partir de la depuración de estos datos se trabajó con un total de 1663 concesiones, dichos datos se exportaron a tablas Excel para su tratamiento. Se obtuvieron los caudales de agua disponibles dependiendo del aprovechamiento que se le da a cada concesión y el tipo de fuente del que se extrae (Tabla 1).

Tabla 1 Clasificación de las fuentes de agua de las diferentes concesiones de la CBRCH, con el caudal en L/s Fuente: Base de datos SENAGUA, 2019

FUENTE AGUA	DE CANTIDAD CONCESIONES	DE CAUDAL L/S
Acequia	11	117,67
Canal	2	3,03
Ciénegas /Pantanos/		
Humedales	5	23,74
Deshielos	1	19,8
Lagos/ Lagunas	2	2,51
Otros	5	11,94
Galerías	1	0,01
Pozo	62	3715,4
Quebrada	127	1171,2
Remanente	49	6548,05
Rio	137	10179,4
Vertiente	12	1,556
Vertiente, Manantial, Acuífero	1249	4094,2
TOTAL	1663	25888,59

La base de datos depurada y analizada se introdujo en el software ArcGIS 10.8, en donde se trabajó con la herramienta densidad de Kernel que se encarga de generar modelos espaciales de densidad, utilizando los puntos o las partes de una línea que caen dentro de una vecindad, con el fin de cuantificar el uso e identificar las regiones con mayor presión sobre el agua subterránea y superficial. Las variables con las que trabaja la herramienta son la cantidad y el caudal de concesiones, con una resolución espacial en metros.

La recolección de datos en campo se efectuó dentro del marco del proyecto “PIMI-15-02- Caracterización del sistema acuífero de la cuenca baja del río Chambo utilizando un enfoque hidrodinámico y geoquímico: procesos de recarga y gestión sostenible del recurso.” Del cual se han desarrollado varios trabajos de titulación tanto de pregrado como de

doctorado, como el de la PhD. Sandra Procel (2018), en donde se realizó varias campañas de campo entre junio y agosto del 2016, siendo así que se obtiene 10 muestras colectadas en 7 pozos y 8 vertientes para el análisis de aguas subterráneas (Tabla 2). Mientras que, las campañas realizadas entre septiembre del 2018 y marzo del 2019, se reunió un total de 10 muestras provenientes de 4 pozos, 4 vertientes y 2 muestras de agua superficial que fueron publicados en el proyecto de titulación de pregrado de Núñez (2020) (Tabla 3). Dentro del proyecto también se realizó una recopilación de datos de pozos y manantiales obtenidos de archivos de EP-EMAPAR, SENAGUA (2011), INHAMI y empresas consultoras, de esta manera se prestó atención a los manantiales que evaluaban la ubicación y el caudal, dando como resultado la selección de 14 pozos y 10 manantiales que aportan con la información para la realización del análisis de la calidad de agua y gestión hídrica.

Tabla 2 Muestras tomadas y publicadas para el trabajo de titulación de doctorado de la PhD. Sandra Procel. P=Pozo, V= vertiente

ID	MUESTRA	SECTOR	POZO/ VERTIENTE	FECHA	X	Y
P18-0	Llío 1		P	30/06/2016	754475	9827340
P18-02	Llío 3	Llío - San	P	30/06/2016	754395	9827005
P18-04	Llío 5	Pablo	P	30/06/2016	754446	9827230
P18-A	San Pablo		V	30/06/2016	753982	9827072
P18-A2	Lav. Guano		V	30/06/2016	768446	9818121
P18-A1	Guano Lavandería	Guano	V	19/08/2016	762063	9821994
P18-G	Guano (pfuentes)		V	2016	762081	9822111
P18-11	21 de abril		P	2016	762580	9817459
P18-13	24 de mayo	Riobamba	P	2016	757618	9817881
P18-4	UNACH		P	2016	762198	9816984
P18-T	Pantaño		V	2016	764525	9810144
P18-19	Estadio	Yaruquiles	P	2016	758994	9813514
P18-Q	Cubijíes VC2 la Calera		V	19/08/2016	767644	9818696
P18-R	Cubijíes CUB1	Cubijíes	V	01/07/2016	768456	9817915
P18-A3	Cubijíes CO2		V	01/07/2016	766886	9821554

Tabla 3 Muestras publicadas en el trabajo de titulación de Nuñez, 2020

ID	MUESTRA	SECTOR	POZO/ VERTIENTE	FECHA	X	Y
N20-L1	Llío 5	Llío-San	P	19/09/2018	754446	9827230
N20-L2	San Pablo	Pablo	V	19/09/2018	753960	9827473
N20-E1	V. Los Elenes	Los Elenes	V		766073	9821090
N20-G1	Lavandería Guano	Guano	V	19/09/2018	762081	9822111
N20-R1	24 de mayo	Riobamba	P	20/09/2018	757618	9817881
N20-R2	UNACH		P	20/09/2018	762198	9816984
N20-Y1	El Estadio	Yaruquíes	P	20/09/2018	758994	9813514
N20-Y2	V. Pantaño		V	20/09/2018	764525	9810144
N20-C1	Cubijíes CO2	Cubijíes	V	20/09/2018	766886	9821554
N20-V1	Laguna el Altar		S	15/03/2019		
N20-V2	V. Refugio 2 El Altar	El Altar	V	14/03/2019		
N20-V3	Río Collanes Refugio 2		S	15/03/2019		

3.3. MÉTODOS PARA CALCULAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA

3.3.1. ZONIFICACIÓN

La zonificación se utilizó como herramienta para el análisis de la distribución, variabilidad y gestión de los recursos hídricos, proporcionando información y permitiendo comparar el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos, dependiendo de su localización. La zonificación en este estudio se realizó con base en información de mapas topográficos, de uso y utilización de suelo, distribución de la red hídrica y densidad de las concesiones.

3.3.1.1. VARIABLES UTILIZADAS EN LA ZONIFICACIÓN

RED HÍDRICA Y CONCESIONES

El análisis de datos realizado en el apartado 3.1 se registró un total de 1663 sitios de captación de agua, utilizados en la construcción de un ráster de densidad generalizado. El mapa de la densidad de las concesiones brinda información del uso de los recursos hídricos, la cantidad y el volumen del caudal de las concesiones se pueden utilizar como indicadores de la presión antropogénica, lo que ayudará a identificar las áreas en donde existe un mayor uso y aprovechamiento de agua. La reclasificación se basó en tres clases: alta densidad, baja densidad y media densidad, obtenidas mediante cálculos de estadística descriptiva (media, moda, mediana, varianza, máximo y mínimos).

Dentro del GeoPortal del Instituto Geográfico Militar se encuentra disponible en formato shapefile la base continua escala 1:1000000 de los ríos principales y los afluentes de la provincia de Chimborazo, mediante herramientas de Geoprocesamiento se procede a tomar los ríos de la zona de estudio.

PENDIENTE

El mapa de pendientes y elevación de terreno se lo realizó a partir de las curvas de nivel obtenidas a través del GeoPortal del Instituto Geográfico Militar. Para obtener el modelo digital de terreno (MDT) se empleó el método de la interpolación de la altimetría mediante la red de triángulos irregulares (TIN) que se realiza con las herramientas de manejo de datos y posteriormente es transformado a ráster con la herramienta de conversión de ArcMap 10.8. Por su parte, el mapa de pendientes se realizó con la herramienta de superficie, el geoproceso da como resultado un archivo ráster basado en el MDT, en el cual se calcula el porcentaje de inclinación del terreno, reclasificando los rangos en valores de 0-2% en zonas de asentamientos con pendientes bajas, 2-7% como pendientes medias <7% como zonas de pendientes moderadas (ASCE, 1969).

El mapa de pendientes ayudó a identificar los límites morfológicos, además la pendiente al ser una característica del territorio influye en elementos como la vegetación o la construcción de edificaciones del ser humano. Una pendiente abrupta (<7%) limita los procesos de urbanización y de colonización vegetal, mientras que cuanto menor sea la pendiente, habrá una mayor aptitud agrícola, que se podrá verificar con el mapa de uso de suelos.

USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO

Para el análisis del uso y ocupación del suelo se obtuvieron informaciones del Sistema Nacional de Información (SIN) del año 2014. Estos mapas en formato pdf y a escala 1:50.000 fueron analizados y homogenizados con los mapas en formato shapefile de las memorias técnicas realizadas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP) en el año 2003.

Se delimitó la cuenca baja del río Chambo y se determinaron los principales usos y ocupación del suelo, con el objetivo de correlacionar con los mapas de drenaje y de pendientes. Se obtuvieron los principales usos de suelo, sus áreas y características, informaciones indispensables para el cálculo de oferta y demanda rural y urbana.

3.3.1.2. SUPERPOSICIÓN DE VARIABLES

Los mapas mencionados en el apartado 3.3.1.1 fueron utilizados para realizar la zonificación con base en una serie de análisis basados en el procesamiento de la información de tres capas shapefile y una capa tipo ráster (Ilustración 3.1-1), mediante la utilización de herramientas de geoprocésamiento.

En el software QGis 3.6.3. se transformó el mapa de densidad de las concesiones (Ilustración 3.1-1) de archivo ráster a vectorial tipo polígonos, con el fin de utilizar la herramienta "Spatial Join". De esta manera se unió la capa de la densidad de las concesiones con el mapa de la red hídrica por medio del atributo ríos para así verificar los ríos y quebradas que aportan mayor caudal hídrico, considerando que estos se utilizaron como límite de zona, discriminando las áreas urbanas de Riobamba y Guano como una zona cada una.

Al intersecar el mapa de pendientes se pueden definir los límites morfológicos, lo que ayudó a identificar las zonas que corresponden a pendientes mayores a 7%, las zonas planas de pendientes bajas (0-2%) y zonas de pendiente media. El mapa de uso de suelo se utilizó como refuerzo para definir las zonas en donde existe una mayor cantidad de cultivos y de asentamientos, así como para establecer en donde se concentran los bosques andinos y

páramos con respecto a la pendiente (Ilustración 3.1-1). Siendo así que se procedió a dividir en 9 zonas la CBRCH.

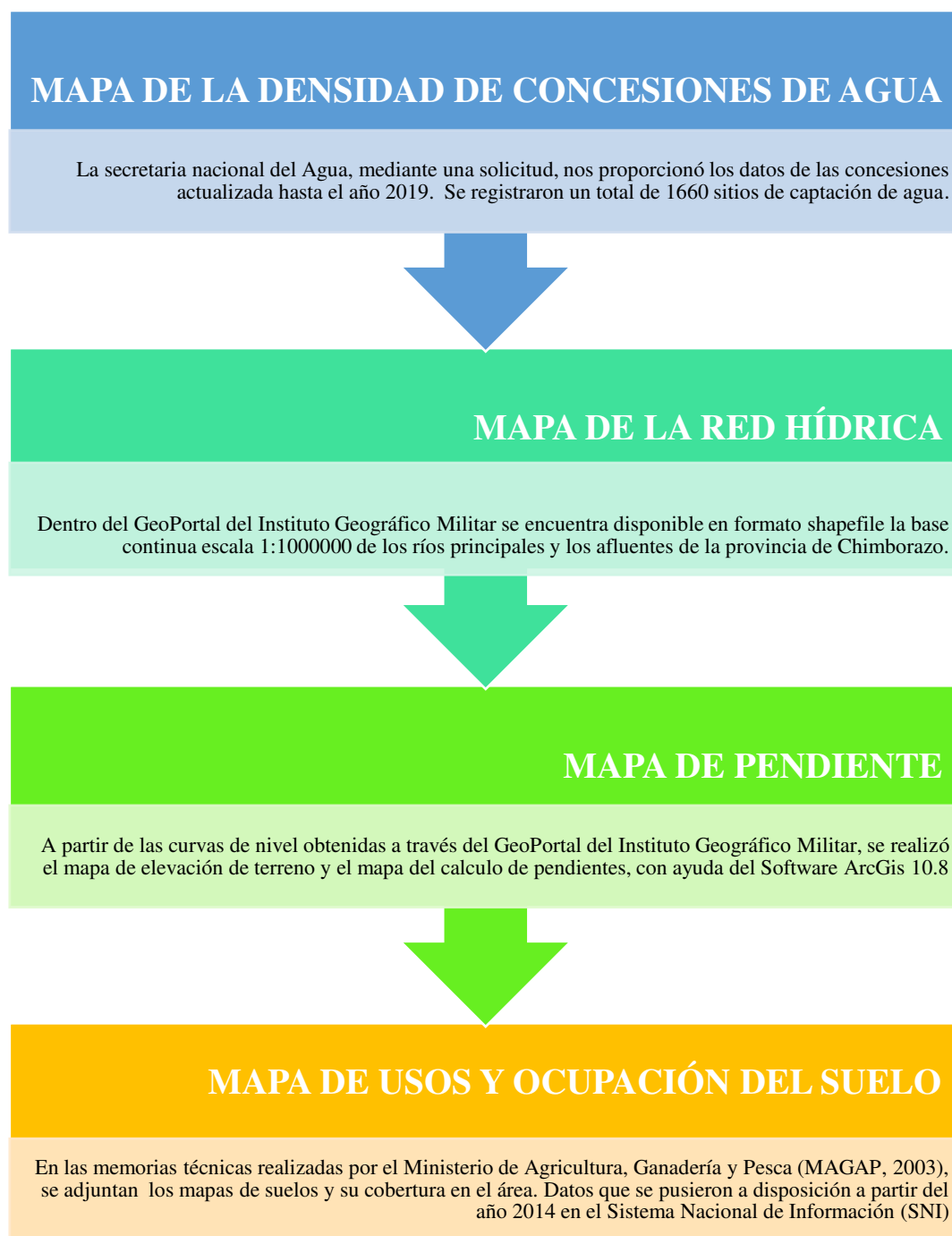


Ilustración 3.1-1 Flujo de proceso de análisis para la zonificación de la CBRCH y sus respectivas fuentes.

3.3.2. GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

La gestión de recursos hídricos se basó en determinar la disponibilidad y variabilidad del agua, a través del análisis según el uso que se da a las concesiones las cuales se dirigen a consumo humano, riego, abrevadero, acuicultura; uso industrial, uso turístico y termal y concesiones destinadas a generación de energía.

3.3.2.1. DISPONIBILIDAD DE AGUA

Desde la creación de la SENAGUA en el 2008 hasta el 2020, esta entidad fue responsable de la planificación de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos destinados al consumo humano, al riego para la soberanía alimentaria y las distintas actividades productivas en una cuenca hidrográfica delimitada.

En base a la información otorgada por la SENAGUA en el año 2019 por medio de solicitud y la base de datos de la SENAGUA 2010 entregada por la PhD. Sandra Procel, se obtuvo la información de todas las concesiones de la cuenca del río Chambo, la cual fue filtrada y zonificada dentro de la CBRCH. A la vez, la base de datos de las concesiones proporcionada por la SENAGUA en el 2019 y 2010 aporta la ubicación, el aprovechamiento, las fuentes y el caudal de los otorgamientos en cada una de las subzonas del apartado 3.3.1. Dicha información permite contemplar cual es el caudal máximo que se está extrayendo de las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas, que con la ayuda del software ArcGis 10.8 se filtraron en sus respectivas subzonas para el análisis y la comparación del uso al que se destina cada concesión.

En este sentido, se consideró para el cálculo de la disponibilidad del agua tres usos: agua para consumo humano, agua para riego para soberanía alimentaria, y agua para actividades productivas. El uso de agua para consumo humano se define por la Organización Mundial de Salud (OMS) como el empleo de agua para beber, cocinar, higiene personal y limpieza del agua. Determinar la cantidad de agua para satisfacer las necesidades de un conjunto de individuos es uno de los factores más importantes al realizar gestión hídrica. En este sentido, el cálculo de la demanda doméstica urbana y rural fue estimado considerando el crecimiento poblacional calculado a partir de datos del INEC en

el censo realizado en el año 2010 con una proyección poblacional hasta el año 2040 para los cantones de Riobamba (Ilustración 3.1-2) Guano y Chambo (Ilustración 3.1-3).

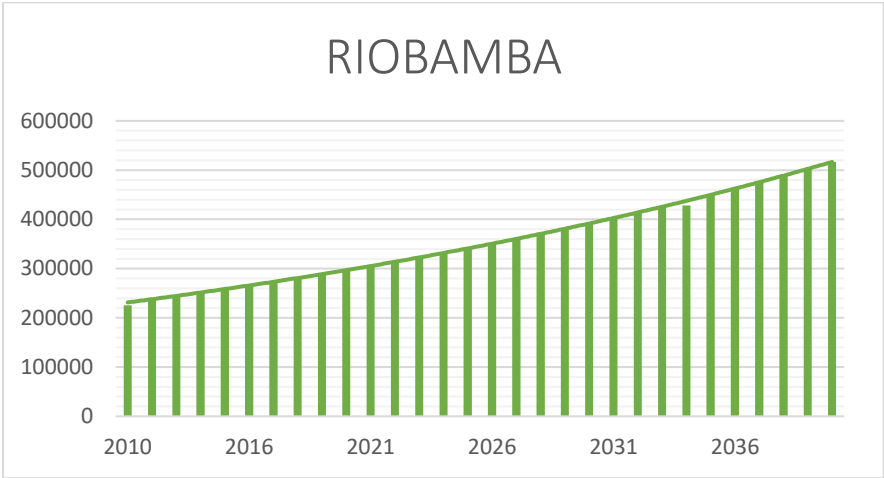


Ilustración 3.1-2 Proyección de crecimiento poblacional en el cantón Riobamba. Fuente: INEC, 2010

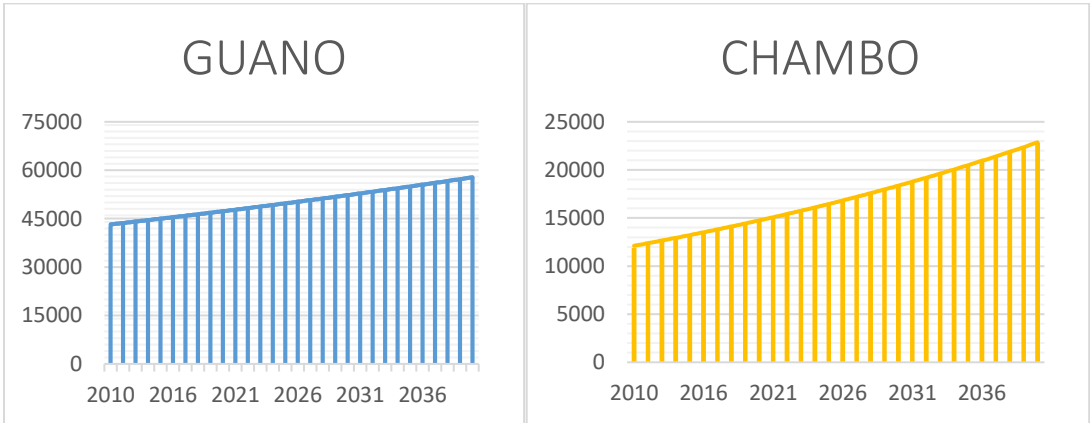


Ilustración 3.1-3 Proyección de crecimiento poblacional en los cantones Guano y Chambo. Fuente: INEC, 2010

Una vez obtenidos los datos del censo realizado el 2010 se procedió a calcular la cantidad de agua que requiere cada habitante al día. La cantidad adecuada por cada habitante según la OMS (2019) se considera que es entre 50 a 100 l/h/día. Mientras que el estudio realizado por Mancheno (2010) señala que la dotación por habitante en Riobamba es de 210 l/h/día. Por ende, se estableció el valor sugerido por la OMS (2019) como la demanda mínima, y el valor establecido por Mancheno (2010) como la demanda máxima (Tabla 4).

Tabla 4 Demanda de agua por cada habitante destinada al uso doméstico, la cantidad mínima está definida por la OMS, mientras que la demanda máxima está definida por Mancheno (2010).

	Habitante (2010)	Demanda Máx/día		Demanda Min/día	
		m ³ /h	m ³ / d	m ³ /h	m ³ / d
Riobamba	225741	1975,23	47405,61	470,29	11287,05
Guano	42851	374,95	8998,71	89,27	2142,55
Chambo	11885	103,99	2495,85	24,76	594,25

Para la estimación de la oferta de agua en los sectores de Riobamba y Guano se consideró la información publicada por Procel (2018) quien señala que el abastecimiento de agua para las zonas urbanas de Riobamba y Guano se obtiene por medio de pozos operados por la EMAPAR (67%) y concesionarios privados (33%), indicando que los pozos más productivos están en Llío y en la vertiente San Pablo. En el municipio de Riobamba y Guano existen pozos menos productivos (Tabla 5).

Tabla 5 Oferta de agua para los sectores urbanos de Riobamba y Guano. Tomado de Procel (2018)

ABASTECIMIENTO RIOBAMBA			ABASTECIMIENTO GUANO		
	m ³ /s	L/s		m ³ /s	L/s
Pozos Llío	0,55	550	Pozos Llío	0,55	550
Manantial San Pablo	0,24	240	Fuente San Pablo	0,24	240
Pozos Riobamba	0,2	200	Pozos Guano	0,2	200
Pozos Llío-Guano, Menos el 15% de Guano	0,67	670	15% Guano	0,119	118,5
OFERTA TOTAL	0,87	870		0,319	318,525

Considerando que la provincia de Chimborazo representa el 3.27% del sector agrícola a nivel nacional, y más del 70% de la población rural y urbana en la CBRCH vive directa o indirectamente del uso de suelo para agricultura y crianza de animales, se tomó en cuenta los canales de riego que se emplean para facilitar la labor agrícola (p.e. río Blanco-Quimiag y Chambo-Guano) y los principales cultivos en la cuenca (transitorios como el maíz, papa y alfalfa para los animales).

Para la estimación de la demanda de agua para actividades productivas se realizó un inventario de las principales industrias localizadas dentro de Riobamba, principal centro económico de la cuenca (empresas de cerámica, cementeras, agroindustrias, fábricas de materiales de construcción). Se planteó un enfoque especial en la Unión Cementera Nacional por ser la empresa cementera más grande del país con una de sus plantas de producción ubicada en Riobamba.

3.5. ANÁLISIS DE LA GEODIVERSIDAD

3.5.1. CÁLCULO DE LA ABUNDANCIA (GEODIVERSIDAD INTRÍNSECA)

La abundancia se refiere al cálculo del número de clases que existe en un área definida (Carcavilla et al., 2007). Para el cálculo de la abundancia se ha establecido un parámetro que se define como geodiversidad intrínseca, el objetivo de este es la obtención de índices que permitan la comparación entre áreas. Éste corresponde al número de clases que existan en un territorio para la superficie del territorio expresada en kilómetros cuadrados (Ecuación 2).

$$G_i = \frac{C}{S}$$

Ecuación 1 Geodiversidad Intrínseca. G_i = geodiversidad intrínseca, C = número de clases existentes en el territorio, S = superficie del territorio expresada en km^2

3.5.2. CÁLCULO DE LA FRECUENCIA DE CLASE (FC)

La frecuencia se calcula midiendo el número de veces que se repite una clase y la superficie relativa que ocupa cada una de ellas (Anexo 3.2) (Carcavilla et al., 2007). La frecuencia se analiza bajo dos parámetros; el primero dará como resultado un único valor para toda el área de estudio, mientras que el segundo se hace una relación a la superficie ocupada por cada clase con la superficie total.

Frecuencia de Clase (F_c): Analiza la cantidad de veces que se repite una clase, en función de su área. Valores altos de F_c son indicativos de que la frecuencia de cada clase es alta (Ecuación 3, Anexo 3.3).

$$F_c = \frac{rc}{S}$$

Ecuación 2 Frecuencia de clase; rc : Número de recintos de cada clase (Cantidad de veces que se repite una clase), S : superficie del área de estudio expresada en km^2 .

Superficie relativa de clase (Sc): Mediante este parámetro se puede determinar la superficie que ocupa una clase, en relación, con la superficie total de la zona en la que se encuentre. La superficie relativa de clase es un valor porcentual que indica que mientras mayor sea el valor de la superficie relativa de cada clase su presencia en una zona determinada será mayor (Ecuación 4, Anexo 3.4).

$$Sc = \frac{S_n \times 100}{S}$$

Ecuación 3 Superficie relativa de clase. S_n : Superficie ocupada por una clase n expresada en km^2 , S : Superficie del área de estudio expresada en km^2 .

3.5.3. SUPERFICIE ACUMULADA DE CLASES

La superficie acumulada de clases muestra mediante gráficos de barras realizados en Excel, como se encuentran distribuidas las clases en cada zona. Este análisis se realiza ordenando las clases de mayor a menor tomando en cuenta su Sc , posterior a ello se procede a realizar los gráficos y calcular su pendiente dentro del software Excel.

3.5.4. DISTRIBUCIÓN

La distribución analiza la organización de las distintas clases presentes en una determinada área de estudio, tomando en cuenta los parámetros de frecuencia y abundancia.

Grado de Fragmentación (Gf): Mide la heterogeneidad en la distribución de las clases entre las diferentes zonas. Se calcula con la cantidad de recintos presentes en función al área establecida (Ecuación 5).

$$Gf = \frac{r}{S}$$

Ecuación 4 Grado de fragmentación. r=número de recintos en un área, S= superficie del área en km².

3.5.5. PATRONES DE GEODIVERSIDAD

Carcavilla et al. (2007) diseñaron 16 modelos teóricos de geodiversidad o patrones, resultado de la combinación de los parámetros definidos con anterioridad, basándose en el análisis de los diferentes escenarios que se podrían obtener de cada una de las ecuaciones de abundancia, frecuencia y distribución (Tabla 6; tabla 7; tabla 8; tabla 9).

Tabla 6 Patrones de Geodiversidad 1-4

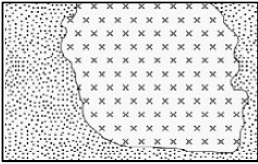
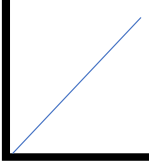
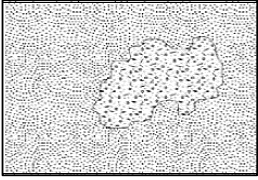
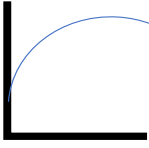

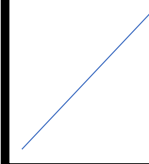
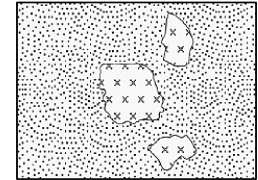
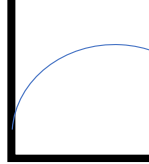
N°	PATRÓN	ABUNDANCIA	DISTRIBUCIÓN	FRECUENCIA		OBSERVACIONES	
		Geodiversidad intrínseca (Gi)	Grado de fragmentación (Gf)	Frecuencia de clase (Fc)	Superficie relativa de clase (Sc)		Curva de superficie acumulada de clases (Sa)
1		Baja	Bajo	Equipfrecuencial	Equipfrecuencial		<p>Conclusiones que pueden establecerse mediante el análisis del patrón, si bien no siempre serán válidas</p> <p>Ejemplos de territorios con baja diversidad intrínseca y diferente grado de fragmentación y superficie relativa. Patrones que pueden corresponder a zonas donde predominan los relieves residuales (uno o varios) o formaciones superficiales cuaternarias (p.e. depósitos fluviales sobre diferentes tipos de sustratos).</p>
2		Baja	Bajo	Equipfrecuencial	Inequipfrecuencial		<p>Generalmente corresponderán a zonas poco tectonizadas y con poca variedad de paisajes geológicos y morfológica. Un factor que puede influir mucho en este tipo de patrones es el intervalo de tiempo representado por cada unidad de geodiversidad: si las unidades corresponden al mismo periodo de tiempo o a intervalos muy próximos casi siempre la diversidad morfológica, paisajística (1) y complejidad tectónica será menor.</p>
3		Baja	Bajo	Inequipfrecuencial	Equipfrecuencial		<p>Además, también dependerá del conjunto de procesos morfológicos y estructurales que hayan actuado, que pueden asignar una gran variedad morfológica a pesar de la monotonía lito-cronológica. Ocasionalmente puede corresponder a zonas con un grado de tectonización más alto, como en el caso de diapiros o de zonas con afloramientos ígneos, ya sean plutónicos o volcánicos, pero que generalmente habrán sufrido procesos erosivos. También en función del grado de fragmentación podrá cambiar el reflejo morfológico y contexto tectónico en el que se sitúe el área de estudio, de manera que, como norma general, cuanto más fraccionada esté el área, más compleja será tectónicamente y más diversidad morfológica y paisajística tendrá.</p>
4		Baja	Bajo	Inequipfrecuencial	Inequipfrecuencial		

Tabla 7 Patrones de Geodiversidad del 5 al 8 Modificado de Carcavilla et al., 2007

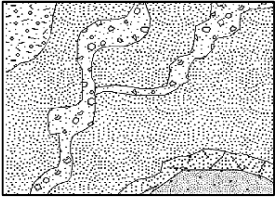
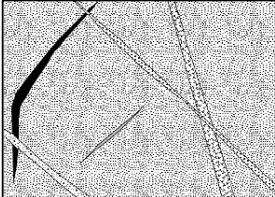
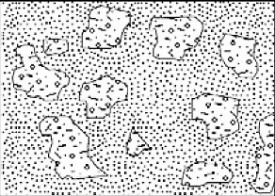
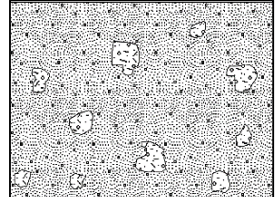
N°	PATRÓN	ABUNDANCIA	DISTRIBUCION	FRECUENCIA		OBSERVACIONES
		Geodiversidad intrínseca (Gi)	Grado de fragmentación (Gf)	Frecuencia de clase (Fc)	Superficie relativa de clase (Sc)	
5		Baja	Alto	Equiprecuencial	Equiprecuencial	<p>conclusiones que pueden establecerse mediante el análisis del patrón, si bien no siempre serán válidas</p> <p>Ejemplos de territorios con baja geodiversidad intrínseca y alto grado de fragmentación. La equi-frecuencia de clase tiene como resultado una cierta distribución regular del paisaje. Puede corresponder a zonas con desarrollo de morfologías lineales, como cursos fluviales, diques o elementos estructurales como pliegues y fracturas. Por lo general, estos patrones no son muy abundantes en la naturaleza, porque la distribución regular de clases y superficies es poco frecuente.</p>
6		Baja	Alto	Equiprecuencial	Inequiprecuencial	
7		Baja	Alto	Inequiprecuencial	Equiprecuencial	<p>Territorios con baja geodiversidad y alto grado de fragmentación. Pueden corresponder a casos similares a los de los patrones 1 a 4, pero en este caso la variedad paisajística será, en principio, mayor, ya que el territorio se encuentra más fragmentado. Esto puede deberse a una mayor participación de la tectónica, o a casos con presencia de formaciones superficiales sobre diferentes tipos de sustratos.</p>
8		Baja	Alto	Inequiprecuencial	Inequiprecuencial	

Tabla 8 Patrones de Geodiversidad del 9 al 12 Modificado de Carcavilla et al., 2007

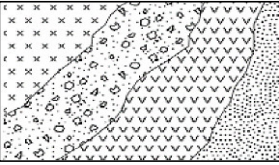
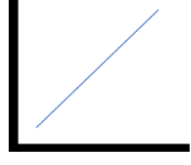
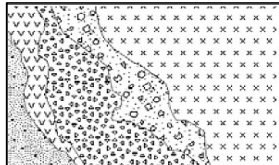

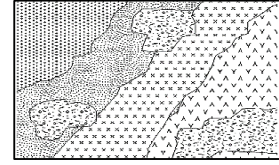
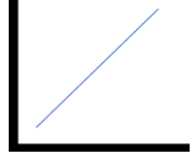



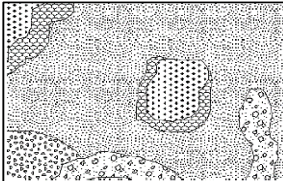
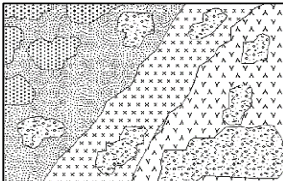
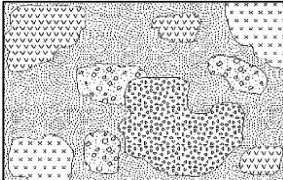
N°	PATRÓN	ABUNDANCIA	DISTRIBUCIÓN		FRECUENCIA		OBSERVACIONES
		Geodiversidad intrínseca (Gi)	Grado de fragmentación (Gf)	Frecuencia de clase (Fc)	Superficie relativa de clase (Sc)	Curva de superficie acumulada de clases (Sa)	
9		Alta	Bajo	Equifrecuencial	Equifrecuencial		<p>conclusiones que pueden establecerse mediante el análisis del patrón, si bien no siempre serán válidas</p> <p>Ejemplo de territorios con alta geodiversidad intrínseca y bajo grado de fragmentación con una distribución de clases equifrecuencial. Puede corresponder a zonas con modelados condicionados por factores estructurales de cierta complejidad como zonas con cabalgamientos, o más sencillos estructuralmente como relieves en cuesta o incluso relieves tabulares erosionados en zonas con topografías abruptas. La complejidad tectónica puede ser baja o muy alta, casi siempre en función del tipo de contacto que delimite las unidades de geodiversidad definidas. La morfología dependerá en gran parte de las características de cada unidad, y de nuevo será importante el intervalo cronoestratigráfico representado en el área porque, a menudo, implica mayor diversidad litológica e implica mayor complejidad tectónica. Puede corresponder a zonas paisajísticamente muy variadas y diferenciadas, con grandes contrastes entre unidades de geodiversidad, aunque ocasionalmente también puede corresponder a zonas con una cierta monotonía en relación al modelado.</p>
10		Alta	Bajo	Equifrecuencial	Inequifrecuencial		
11		Alta	Bajo	Inequifrecuencial	Equifrecuencial		
12		Alta	Bajo	Inequifrecuencial	Inequifrecuencial		

Tabla 9 Patrones de Geodiversidad del 13 al 16 Modificado de Carcavilla et al., 2007

N°	PATRÓN	ABUNDANCIA	DISTRIBUCIÓN	FRECUENCIA		OBSERVACIONES
		Geodiversidad intrínseca (Gi)	Grado de fragmentación (Gf)	Frecuencia de clase (Fc)	Superficie relativa de clase (Sc)	
13		Alta	Alto	Equiprecuencial	Equiprecuencial	<p>Conclusiones que pueden establecerse mediante el análisis del patrón, si bien no siempre serán válidas</p> <p>Zonas de alta geodiversidad y alto grado de fragmentación. La organización Equiprecuencial proporciona un cierto orden a una zona que posee componentes que proporcionan una máxima diversidad. Precisamente la organización Equiprecuencial puede deberse a la presencia de elementos estructurales que compartimentan el territorio dando una cierta sensación de orden que se va perdiendo en los siguientes patrones.</p> <p>Zonas de alta geodiversidad y alto grado de fragmentación. Corresponden a los patrones con, en principio, mayor diversidad paisajística, probablemente con mayor participación tectónica y variedad morfológica. Implica la presencia de diversos rasgos geológicos, litologías y amplio intervalo cronoestratigráfico representado.</p>
14		Alta	Alto	Equiprecuencial	Inequiprecuencial	
15		Alta	Alto	Inequiprecuencial	Equiprecuencial	
16		Alta	Alto	Inequiprecuencial	Inequiprecuencial	

4. RESULTADOS

4.1. ZONIFICACIÓN DESTINADA A LA GESTIÓN HÍDRICA EN LA CBRCH

4.1.1. RED HÍDRICA Y CONCESIONES

La zonificación de la CBRCH destinada a la gestión hídrica consideró la división de la red hídrica en red oriental y occidental con respecto al río Chambo para identificar la densidad de concesiones otorgadas por la SENAGUA (Ilustración 4-1). Con este fin, dentro de la red oriental se agruparon los ríos: Puela, Blanco, Ulpán, Daldal, Maguazo, Alao y la Quebrada Ishpi; con respecto a la zona occidental se consideraron los ríos Guano, Chibunga, Chimborazo y Cajabamba. De esta forma, se determinó la concentración de concesiones otorgadas clasificándolas según su densidad (alta, media y baja) encontrando que la mayor parte se localiza a lo largo del cauce de los ríos principales de la red occidental. En este sentido, los ríos Chimborazo y Cajabamba presentan la mayor densidad de concesiones, mientras que en los ríos Guano, Chibunga y sus drenajes la densidad es media a baja (Ilustración 4-1). Por esta razón, se estableció como límites de zona para la gestión hídrica a los ríos principales.

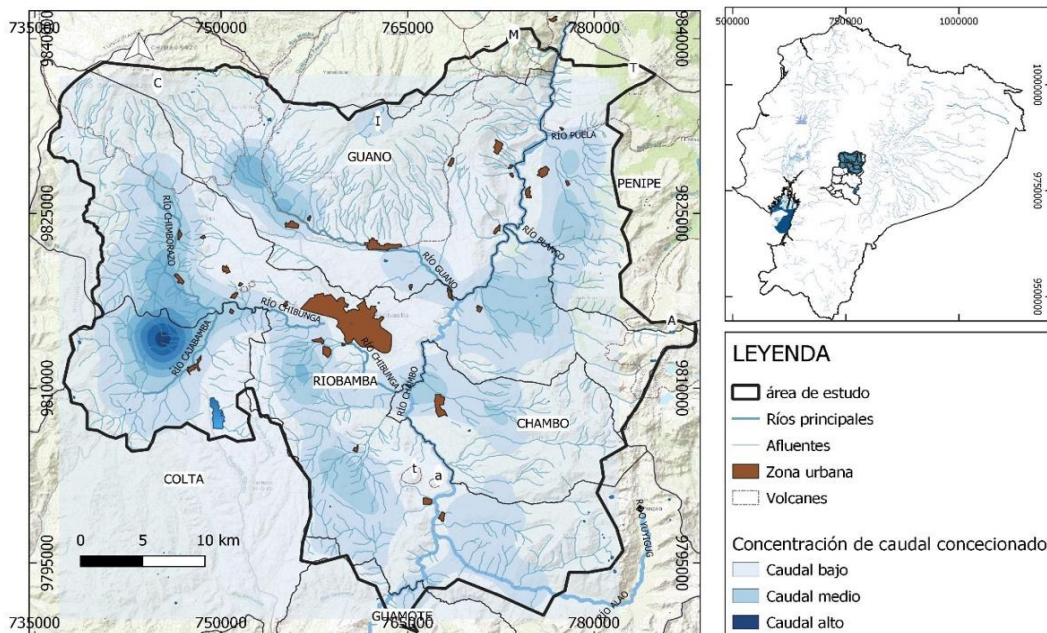


Ilustración 4-1 Concentración de caudales dentro de la cuenca baja del Río Chambo

Los diferentes usos de las concesiones de agua distribuidas en los cantones Guano, Penipe, Riobamba, Colta, Chambo y Guamote incluyen el consumo humano (787 concesiones), el sector agrícola, que dentro de este trabajo se ha subdividido en concesiones de riego (590), abrevadero (260) y acuicultura (8); otorgas destinada a la industria (10), sector turístico y termal (4), y por último para la generación de energía (3) (SENAGUA, 2019).

4.1.2. CÁLCULO DE LA PENDIENTE

El cálculo de la pendiente se realizó basándose en 3 rangos: <2 para pendientes bajas, 2-7% para pendientes medias y >7% para pendientes mayores (ACSE, 1969), en la ilustración 4-2 se observa que las pendientes predominantes en toda la cuenca son mayores al 7%, esto se debe a la presencia de volcanes en la zona como es el Chimborazo con alturas de 6268 m.s.n.m. (IG, 2021), volcán Igualata, volcán Tungurahua y El Altar. Mientras que, se puede observar que en el centro de la cuenca entre el río Guano, río Chambo y río Chibunga predominan las pendientes de bajas a medias.

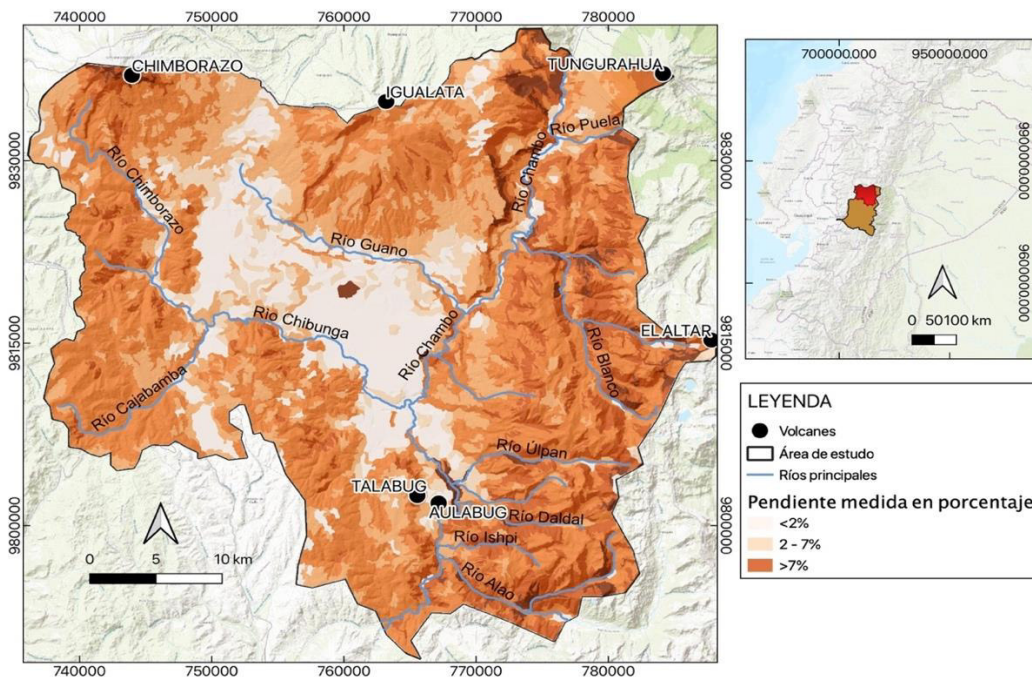


Ilustración 4-2 Clasificación de pendientes fundada en la zonificación propuesta por el ACSE, 1969.

4.3.3. USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO

Se realizó una reclasificación del uso y la ocupación del suelo de la CBRCH (Ilustración 4-3) considerando las siguientes clases: zonas erosionadas, área de cultivo y ganadería, vegetación natural, páramo, páramo invertido, bosque plantado, cuerpos rocosos y de agua. Las actividades agropecuarias dominan el uso de suelo de la CBRCH predominando los cultivos de maíz (<40%) y el pasto destinado a la ganadería (22,7%), debido a que alrededor del 70% de la población subsiste gracias al trabajo de la tierra y a la crianza de animales. Por esta razón, la población aprovecha los sistemas de riego para la producción de cultivos. En la zona oriental y zonas bajas arenosas predominan los cultivos de papa, maíz y alfalfa, mientras que al oeste de la CBRCH existe mayor producción de cultivos de secano (cebada y maíz) debido a que se aprovecha el beneficio de la época lluviosa (Comité de la subcuenca del río Chambo, 2015).

En la provincia de Chimborazo gran parte de los sistemas naturales han sido intervenidos tanto para agricultura como para ganadería intensiva y extensiva. Dentro de la CBRCH los ecosistemas que se conservan naturales ocupan solamente 491 km², esto incluye páramos, bosques naturales, pastizales, vegetación arbustiva, glaciares, cuerpos de agua y afloramientos rocosos que representan el 29,56% de la superficie total.

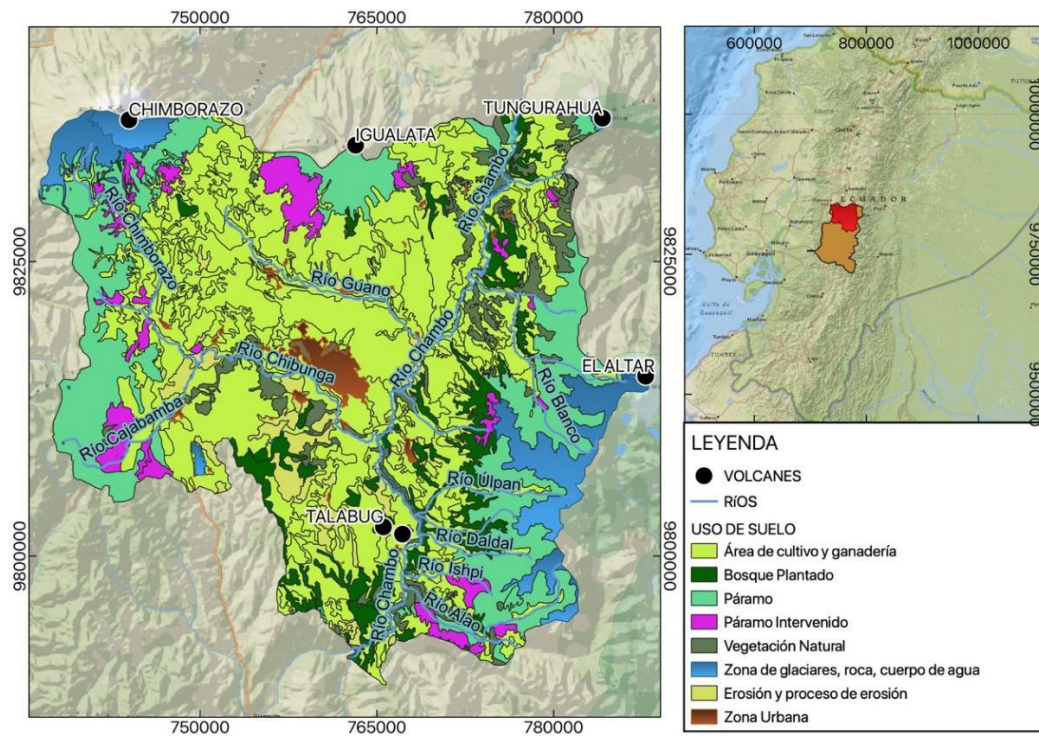


Ilustración 4-3 Usos del suelo de la CBRCH dependiendo de su ubicación.

4.2. ZONIFICACIÓN

En base a la información analizada en el apartado 4.2 se determinó que la gestión de los recursos hídricos será analizada en 9 zonas, donde el principal límite sean los ríos principales (Ilustración 4-4, 4-5, 4-6):

ZONA 1

- Alta concentraciones de concesiones en los ríos Guano y Chimborazo (límites).
- Presencia de volcanes Chimborazo e Iqualata (Cordillera Occidental).
- Pendientes altas <7.
- Presencia de cultivos, páramos, cuerpos de agua, glaciares.

ZONA 2

- Concentración media de concesiones en el río Blanco (límite sur) y concentración alta en el río Chambo (límite oeste).
- Presencia del volcán Tungurahua.
- Altas pendientes <7%.
- Separación política entre los cantones Penipe y Riobamba.
- Presencia de cuerpos de agua, vegetación natural y cultivos.

ZONA 3

- Límite Norte río Blanco, límite Oeste río Chambo
- Presencia del volcán El Altar
- Pendientes altas <7%
- Presencia de cuerpos de agua, páramos y cultivos

ZONA 4

- Drenaje del río Chambo, dirección N-S

ZONA 5

- Río Chibunga caudal bajo a medio (límite sur), río Chimborazo límite oeste, río Guano límite norte, río Chambo límite este.
- Pendientes bajas, zona de asentamientos.
- Zonas de cultivos.

Ilustración 4-4 Distribución de subzonas de la 1-5

ZONA 6

- Río Cajabamba concentración alta de coneciones límite sur, río Chimborazo límite oeste, río Chambo límite este, río Guano límite norte
- Pendientes medias a altas , zonas de asentamientos
- Áreas de cultivos

ZONA 7

- Zona urbana Riobamba

ZONA 8

- Zona urbana Guano

ZONA 9

- Río Chibunga límite norte, río Cajabamba límite oeste, río Chambo límite este
- Pendiente media 2-7%
- Área de cultivo y ganadería, zonas erosionadas, bosques plantados y vegetación natural

Ilustración 4-5 Distribución de las subzonas de la 6 a la 9

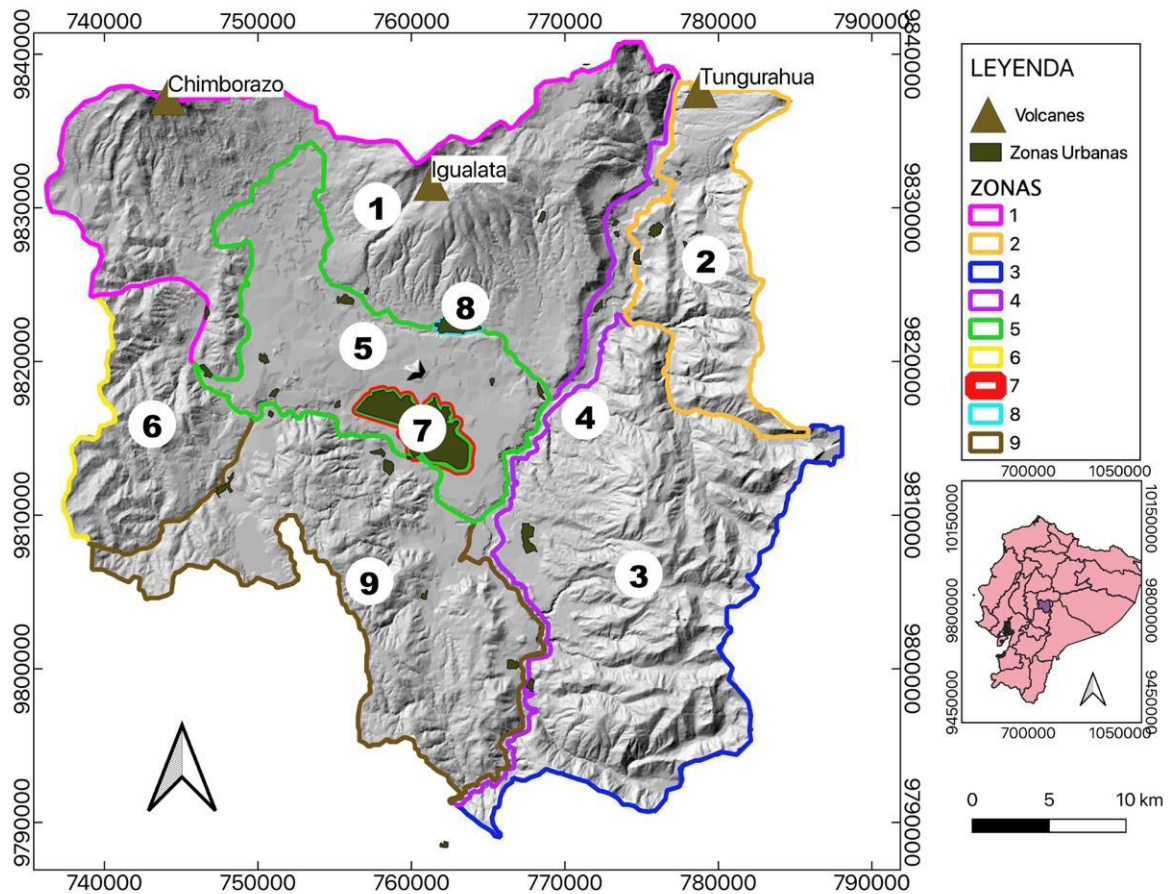


Ilustración 4-6 Zonificación del área de estudio. Modificado de Procel (2018)

4.3. GESTIÓN DE RECURSOS HIDRÍCOS

La idea de que el agua era un recurso renovable e ilimitado fue descartada hace poco, el incremento de la población ha provocado un aumento del uso del recurso hídrico y por ende se han desarrollado nuevos retos para su distribución, uso eficiente y la sustentabilidad del recurso (Carabias, 2017. P21). En este trabajo se utiliza la zonificación descrita en el apartado 4.2. como herramienta de gestión del recurso hídrico lo que permite evaluar y comparar la disponibilidad y la demanda para cada zona dependiendo del uso.

4.3.1. DISPONIBILIDAD HÍDRICA

En la CBRCH la disponibilidad hídrica está determinada por las características geológicas y el uso del suelo, siendo así que las actividades antropogénicas como la ganadería, agricultura y el uso diario para la supervivencia del ser humano impactan notablemente en

la infiltración de agua de acuíferos y el caudal base de los ríos. Para el 2019 el sector agrícola solamente con riego ocupa más del 50% de volumen de la demanda de agua, los abrevaderos utilizan el 0,15% de agua y la crianza de especies acuáticas el 0,39% (Ilustración 4-7). El sector energético conformado por tres centrales hidroeléctricas, 2 de ellas administradas por la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. y la tercera correspondiente a la empresa Cemento Chimborazo, ocupa el segundo lugar refiriéndose a la cantidad de caudal concesionado con el 20,85% del total de agua en la zona. El consumo industrial y el consumo humano abarcan el 11,81% y el 11,65% respectivamente, finalmente el sector turístico posee el 0,02% (Ilustración 4-7).

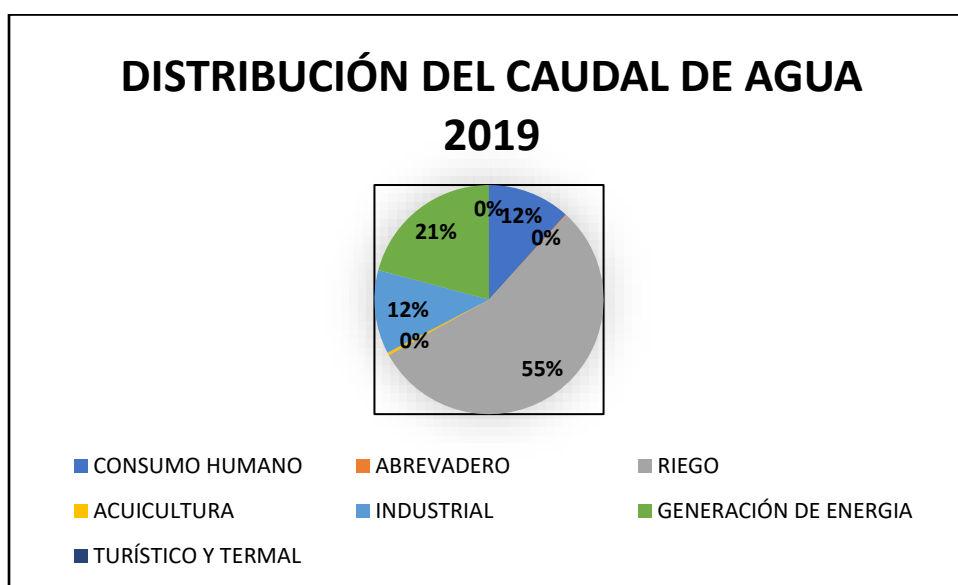


Ilustración 4-7 Distribución de los 7 usos de agua en la CBRCH. Fuente: SENAGUA 2019.

ZONA 1

El área cultivada en la zona 1 ocupa el 50,95% del total del área, lo que se correlaciona con los 1632 L/s otorgados para riego que como se puede observar en la ilustración 1, estas concesiones se extienden hacia los páramos al igual que las concesiones de los abrevaderos y las concesiones destinadas para consumo humano (Ilustración 4-8). El agua para riego utiliza un mayor caudal en la zona 1 con un total de 28 fuentes de agua superficial provenientes de los deshielos del Chimborazo, quebradas y ríos principalmente. El río Guano aporta un caudal de 612 L/s y el río Chimborazo aporta 35,4 L/s. En cuanto al caudal

subterráneo, se tiene 58 concesiones provenientes de 41 vertientes distribuidas a lo largo de la zona que aportan un caudal de 873,18 L/s.

El agua extraída de los pozos del sector San Pablo (248 L/s) y los Chingazos (1,66 L/s) es la principal fuente de abastecimiento para uso doméstico seguido de diferentes vertientes que proporcionan un caudal de 163 L/s. De las quebradas Guilles, Timbul y Sigsipamba se obtienen 7,42 L/s y del río Guano 0,38 L/s.

Para abrevadero se cuentan con 23 concesiones tomadas de diferentes vertientes que brindan un caudal de 9,3 L/s para abastecer a 11120 animales (Senagua, 2019). Del río Guano se obtienen 1,5 L/s para abastecer a 2200 animales y del río Chimborazo 0,03 L/s para 40 animales solamente (Tabla 10).

El uso de agua para acuicultura, industrial y generación de energía poseen únicamente una concesión dentro de la zona uno, provenientes de la vertiente Truchas, vertiente sin nombre y vertientes Pampa Chalata y Pampa Totorillas respectivamente.

Tabla 10 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 1

USO DE AGUA	Letra	Superficial			Subterráneo			Total		
		#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s
Abrevadero	A	5	1,66	0,00 2	23	9,30	0,00 9	28	10,91	0,0 1
Acuicultura	P				1	2,00	0,00 2	1	2,00	0,0 0
Riego	R	28	758,83	0,69 8	58	873,18	0,93 3	86	1632	1,6 3
Consumo Humano	H	4	7,8	0,00 8	98	412,73	0,41 3	102	420,53	0,4 2
Industrial	I				1	0,03	0,00 0	1	0,03	0,0 0
Generación de Energía	E				1	434,00	0,43 4	1	434,00	0,4 3
Disponibilidad		35	768,29	0,70 8	184	1731,2 4	1,79	219	2499,5 3	2,5

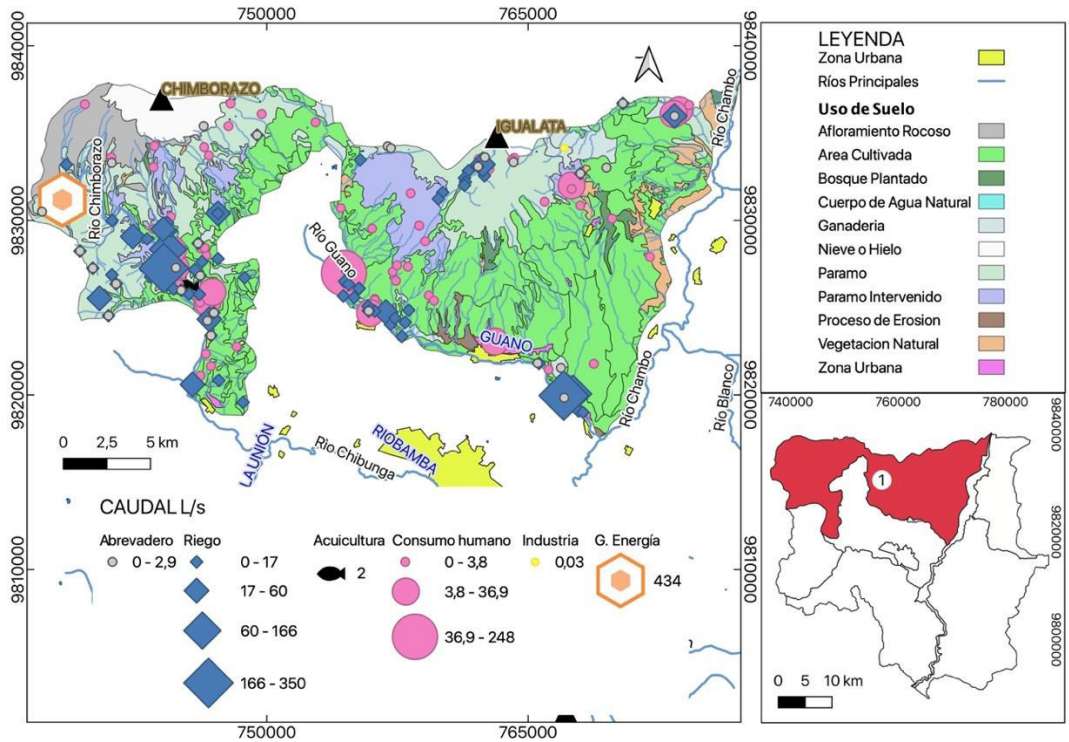


Ilustración 4-8 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria y generación de energía según el uso de suelo en la zona 1

ZONA 2

En la zona 2 los principales usos de suelo se distribuyen en áreas cultivadas (32,76%), páramos (24,1%), vegetación natural (18,72%) y bosques plantados (12,72%) (Ilustración 4-9), siendo así que las 48 concesiones de riego se concentran al SE y centro de la cuenca. Por su parte, las concesiones de consumo humano se distribuyen a lo largo de las vertientes siendo estas la principal fuente de abastecimiento. En la zona 2 el consumo humano tiene la mayor cantidad de concesiones con un caudal total de 54,02 L/s, que se divide en 43 concesiones provenientes de vertientes, 3 provenientes de ríos (río Tazarón, río Choca, río Azacucho), 2 remanentes del río Tarau y una de la quebrada Chimblas.

El riego en la zona 2 es el uso que utiliza una mayor cantidad de agua, 21 concesiones provienen de ríos y sus remanentes que drenan al río Blanco, río Chambo, río Puela, río Choca aportando un caudal de 983,46 L/s. La quebrada Pachanillay proporciona un caudal de 28,9 L/s con 3 concesiones, mientras que las quebradas Chaupi Tarau y

Chiguila proveen caudales de 34,75 y 12,55 L/s con 1 concesión cada uno. El caudal subterráneo proviene netamente de distintas vertientes.

A los abrevaderos, en 12 fuentes de agua superficial se le concesionan 2,65 L/s tomados de los ríos Blanco, Puela, Matus y Azacucho, del canal Yuracyacu, quebrada Chiguila y quebrada El Trompo. Las fuentes subterráneas se refieren a 20 concesiones obtenidas de vertientes que aportan un caudal de 1,75L/s (Tabla 11).

Para acuicultura se cuenta con una concesión perteneciente al río Matus (16,32 L/s) y dos concesiones obtenidas de vertientes (2,92 L/s). Para uso industrial se tiene una concesión destinada a procesadoras agroindustriales tomada de la vertiente Pishipogyo (2L/s).

Tabla 11 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 2

USO DE AGUA	Letra	#	Superficial		#	Subterráneo		#	Total	
			L/s	m ³ /s		L/s	m ³ /s		L/s	m ³ /s
Abrevadero	A	12	2,65	0,003	20	1,75	0,002	32	4,4	0,00
Acuicultura	P	1	16,32	0,016	2	2,92	0,003	3	19,24	0,02
Riego	R	26	1059,66	1,06	16	116,63	0,117	42	1176,3	1,18
Consumo Humano	H	6	14,41	0,014	43	39,606	0,04	49	54,016	0,05
Industrial	I				1	2	0,002	1	2	0,00
Disponibilidad		45	1093,04	1,093	82	162,906	0,163	127	1255,9	1,26

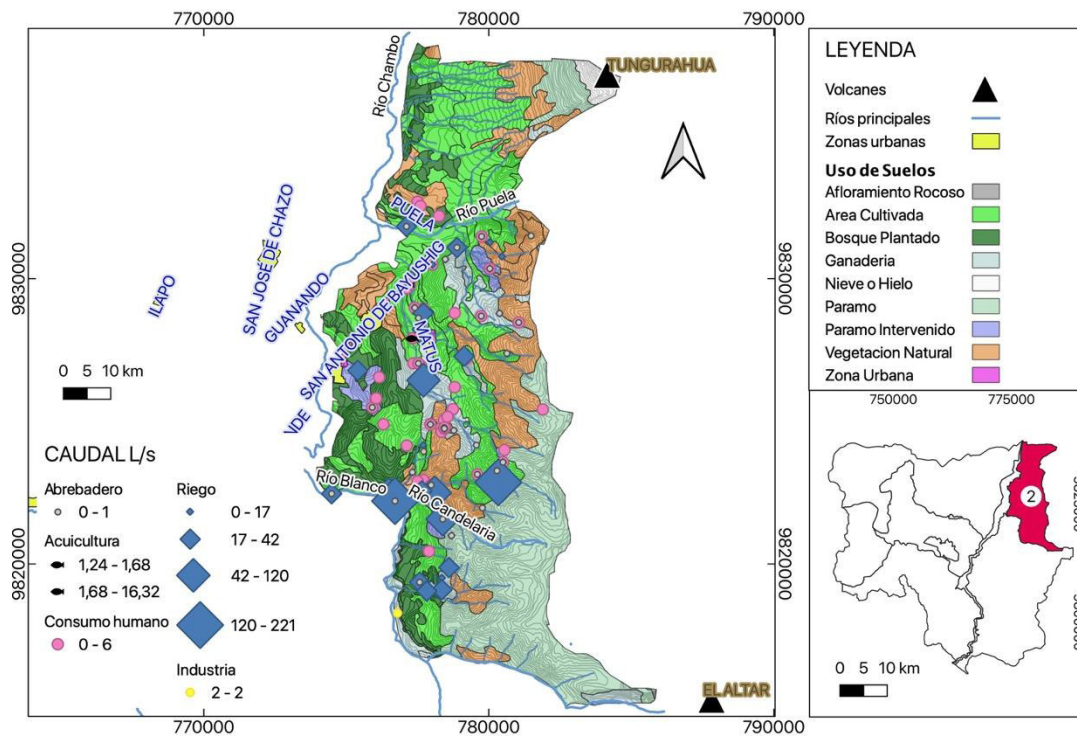


Ilustración 4-9 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria según el uso de suelo, en la zona 2.

ZONA 3

En la zona 3 el uso de suelo al este del río Chambo presenta una transición desde el área cultivada y de ganadería que ocupa el 32,6% y en la que se concentran la mayor parte de concesiones, al bosque plantado (11,22%) y páramo (28,82%), terminando en zonas de nieve o hielo que alcanzan alturas de 5319m en donde se encuentra la laguna del volcán El Altar (Ilustración 4-10). Para riego se cuenta con un total de 153 concesiones en la zona 3 de las cuales 66 pertenecen a fuentes superficiales. Las quebradas, ríos, remanentes y acequias proporcionan un caudal de 734,24, 698,26, 91,22 y 21,02 L/s, respectivamente. Mientras que, 86 concesiones obtenidas de vertientes poseen un caudal de 725,27 y una concesión de agua extraída de 1 pozo que aporta 0,28 L/s.

Para consumo humano se concedieron un total de 154 concesiones, 139 obtenidas de vertientes (149,9 L/s), 11 de quebradas (8,4 L/s), 1 pozo (2,06 L/s) y 3 ríos y sus remanentes (1600,02 L/s). Por su parte, los abrevaderos poseen 79 concesiones, 59 de vertientes y 1 de un pozo que suman un caudal subterráneo de 7,5 L/s. Las 11 concesiones de quebradas y 8 de ríos y remanentes (río Guamote, río Ulpán, río Timbul, río Cebadas) poseen caudales de 3,83, 0,43 y 0,23 L/s respectivamente (Tabla 12). La principal fuente para acuicultura en

la zona 3 es la quebrada Cochipala que proporciona un caudal de 63,72 L/s con dos concesiones y el río Chusga con una concesión de 15 L/s. La generación de energía presenta dos concesiones en el río Alao y río Blanco con un caudal de 4500 y 463 L/s, respectivamente. El sector turístico posee una concesión de la vertiente Aullanchi para uso general de aguas termales con un caudal de 0,52L/s.

Tabla 12 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 3

USO DE AGUA	LETR A	#	Superficial		Subterráneo			Total		
			L/s	m³/s	#	L/s	m³/s	#	L/s	m³/s
Abrevadero	A	19	4,5	0,0	60	7,50	0,00	79	11,986	0,0
Acuicultura	P	2	78,5	0,0	1	0,22	0,00	3	78,72	0,0
Riego	R	66	1544,7	1,5	87	725,5	0,72	153	2270,2	2,2
Consumo Humano	H	14	1608,4	1,6	140	149,9	0,15	154	1758,4	1,7
Industrial	I				1	0,15	0,00	1	0,15	0,0
Generación de Energía	E	2	4963,0	4,9				2	4963	4,9
Turístico y Termal	T				1	0,52	0,00	1	0,52	0,0
Disponibilidad		103	8199,2	8,2	290	883,9	0,88	393	9083,0	9,0

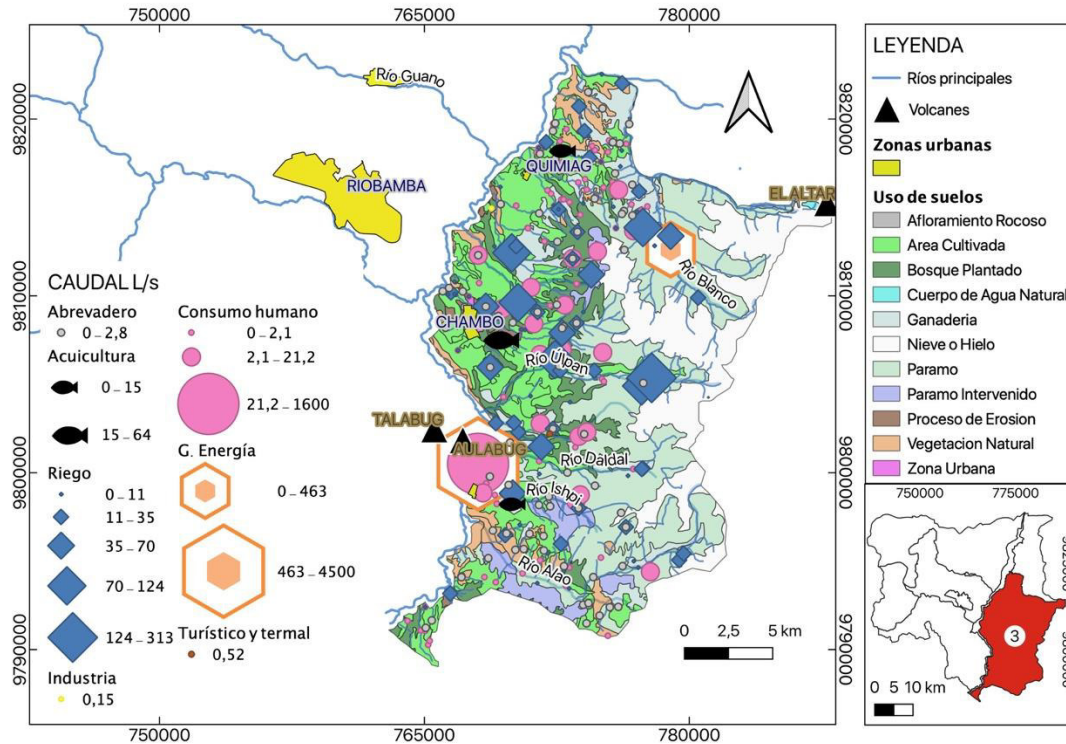


Ilustración 4-10 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria y generación de energía según el uso de suelo en la zona 3

ZONA 4

El río Chambo que secciona la red hídrica de la CBRCH concierne la zona 4 (Ilustración 4-11). Predomina el uso de suelo para áreas cultivadas (72,5%) al que se le atribuye el mayor caudal concesionado para riego en toda la cuenca con 6082,1 L/s extraídas principalmente del río Chambo el cual aporta un caudal de 6059,68 L/s en 6 concesiones, las distintas vertientes contribuyen con 21,6 L/s en 5 concesiones y el pozo Curtiembre aporta con 0,65L/s. El consumo humano por su parte posee 17 concesiones, el mayor aporte lo recibe de 15 vertientes que proporcionan un caudal de 18,255 L/s, seguido de remanentes de la quebrada Angaguachana (0,14 L/s) y el pozo Curtiembre (0,01L/s).

Para el uso de agua de abrevaderos se tiene 5 concesiones provenientes de 3 vertientes (0,739 L/s), del pozo Curtiembre (0,02L/s) y remanentes de agua de riego del cantón Chambo (0,01 L/s). La concesión destinada para industria proviene de la quebrada el Puente y brinda un caudal de 2 L/s (Tabla 13).

Tabla 13 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 4

USO DE AGUA	LETRA	Superficial			Subterráneo			Total		
		#	L/s	m³/s	#	L/s	m³/s	#	L/s	m³/s
Abrevadero	A	1	0,01	0,000	4	0,76	0,00	5	0,769	0,00
Riego	R	7	6059,93	6,060	6	22,22	0,02	13	6082,1	6,08
Consumo Humano	H	1	0,14	0,000	16	18,27	0,02	17	18,405	0,02
Industrial	I	1	2,00	0,002				1	2	0,00
Disponibilidad		10	6062,08	6,062	26	41,24	0,04	36	6103,3	6,10

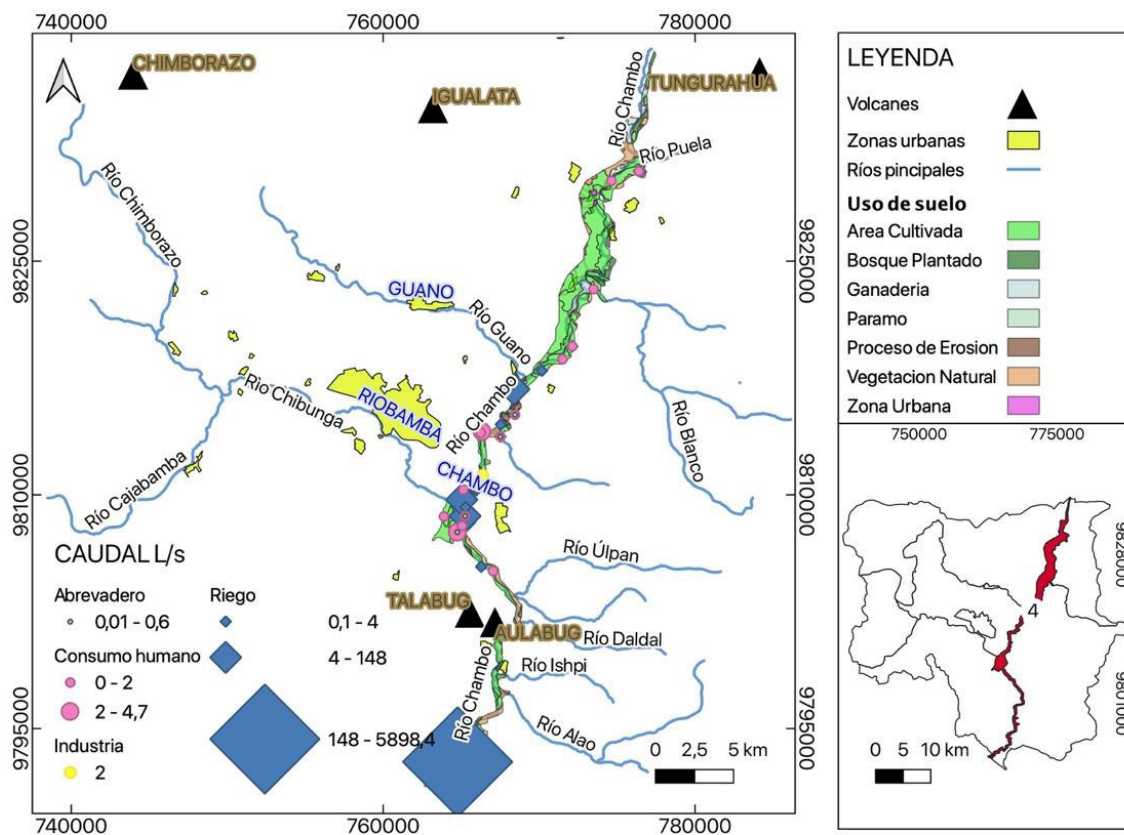


Ilustración 4-11 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, consumo humano, industria según el uso de suelo en la zona 4

ZONA 5

En la ilustración 4-12 se puede observar que el área destinada para cultivos es aquella que predomina llegando a apoderarse del 88% de toda la zona. El riego y el consumo humano son aquellos que más caudal utilizan en la zona 5 con 1784,5 y 501,42 L/s, respectivamente.

Las fuentes para riego provienen de ríos (río Chimborazo, río Guano, río Chibunga), vertientes, quebradas, acequias, ciénegas y pozos con caudales asignados de 989,1, 661,86, 87,8, 10,17, 21 y 10 L/s, respectivamente. Para consumo humano se presentan 85 concesiones de vertientes que brindan un caudal de 115,71 L/s, 10 concesiones de pozos (del sector Llío, San Miguel San José, El Carmen, Los Olivos, El Poguio, Gazul, Yaruquíes) que suman un caudal de 373,22 L/s, 2 pantanos con caudal de 2,46 L/s, 1 del remanente de la vertiente los Elenes (0,3 L/s).

Para abrevadero se tienen 26 concesiones, 18 de ellas vienen de vertientes (4,3 l/s), 3 de quebradas (0,31 l/s), 2 del río Guano (0,06 l/s), 1 del río Chibunga (0,06l/s), 1 de Ciénegas (0,14 l/s) y una laguna (0,02 l/s). El sector turístico posee 2 concesiones otorgadas de vertientes en el sector de Cubijíes y el Guayco (3,43 L/s) (Tabla 14).

El caudal de acuicultura es obtenido de una laguna mientras que para la industria es obtenido de la quebrada Cochipala para procesadoras de especies acuáticas.

Tabla 14 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 5

USO DE AGUA	Letra	Superficial			Subterráneo			Total		
		#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s
Abrevadero	A	8	0,59	0,001	18	4,30	0,00	26	4,89	0,00
Acuicultura	P	1	0,30	0,00				1	0,3	0,00
Riego	R	33	1112,43	1,112	40	672,12	0,67	73	1784,5	1,78
Consumo Humano	H	5	12,49	0,012	95	488,93	0,49	100	501,42	0,50
Industrial	I	1	1,33	0,00				1	1,33	0,00
Turístico y Termal	T				2	3,43	0,00	2	3,43	0,00
Disponibilidad		46	1125,51	1,126	157	1170,41	1,17	203	2295,9	2,30

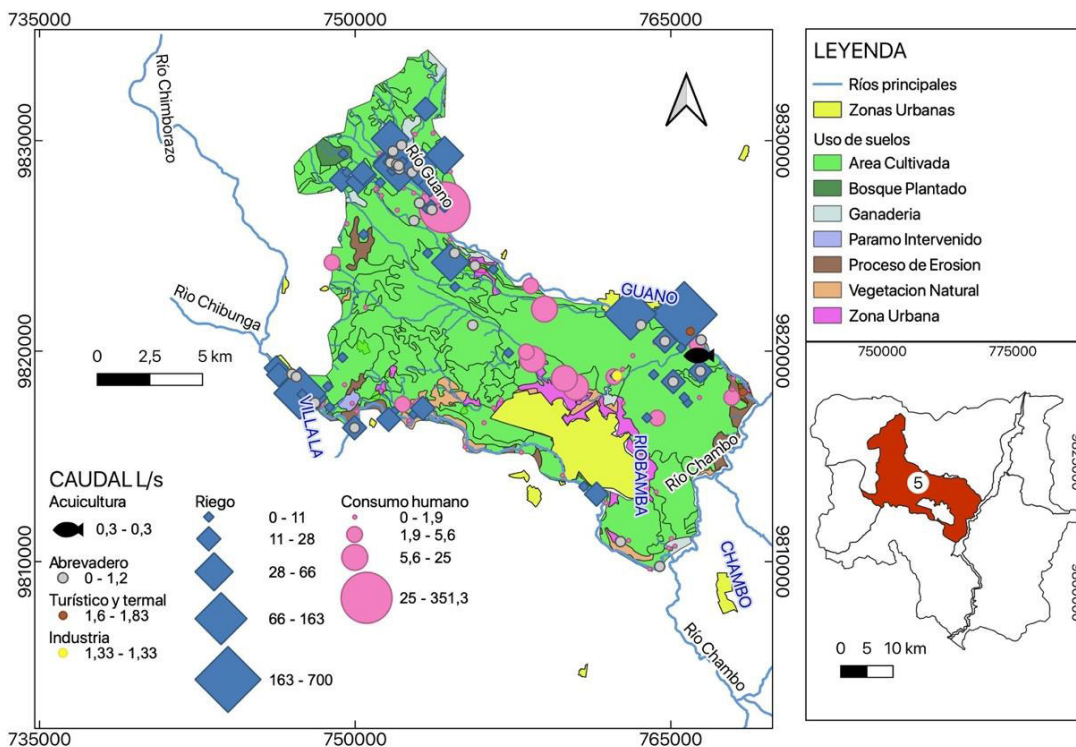


Ilustración 4-12 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria y turístico y termal según el uso de suelo en la zona 5

ZONA 6

En la zona 6 el uso de agua para riego abarca 142 concesiones, distribuidas en 92 concesiones en vertientes (309,88 L/s), 18 en pozos (3,9 L/s), 14 en ríos (288,86 L/s), 12 en quebradas (118,1 L/s), 3 remanentes (4,93 L/s), 2 acequias (55,4 L/s) y finalmente 1 en el canal Santa Lucia (3 L/s). Es así que las áreas cultivadas emplean el 30% de la zona, utilizando parte de los páramos intervenidos (11,47%) y los páramos naturales (50,79%) (Ilustración 4-13).

Para consumo humano se cuenta con 127 concesiones, las fuentes de agua subterráneas como los pozos Pogyo y Cunambay y 119 concesiones de vertientes brindan caudales de 0,33 L/s y 75,75 L/s respectivamente. Mientras que las fuentes superficiales como quebradas, ríos y remanentes brindan caudal de 8,8 L/s (Tabla 15).

Para los abrevaderos se cuentan con 58 concesiones, la principal fuente son las vertientes, con 48 concesiones que aportan 3,25 L/s, seguido de los pozos Cunambay y 1,2 y 3 Cicalpito que proporcionan 4 concesiones que acumulan 0,12 L/s, 3 concesiones de quebradas, 2 de ríos y una Ciénega que aporta 0,22 L/s. Para industria se cuenta con dos

concesiones, la primera de 11,45 L/s obtenida de una vertiente para uso general de industria y la segunda de 0,023L/s extraída de la quebrada Mamblug destinada a explotación minera.

Tabla 15 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 7

USO DE AGUA	Letra	Superficial			Subterráneo			Total		
		#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s
Abrevadero	A	6	0,22	0,00	52	3,39	0	58	3,61	0
Riego	R	32	470,28	0,47	110	315,15	0,32	142	785,43	0,79
Consumo Humano	H	4	8,80	0,01	123	76,08	0,08	127	84,88	0,08
Industrial	I	1	0,02	0,00	1	11,45	0,01	2	11,47	0,01
Disponibilidad		43	479,32	0,48	286	406,07	0,41	329	885,39	0,89

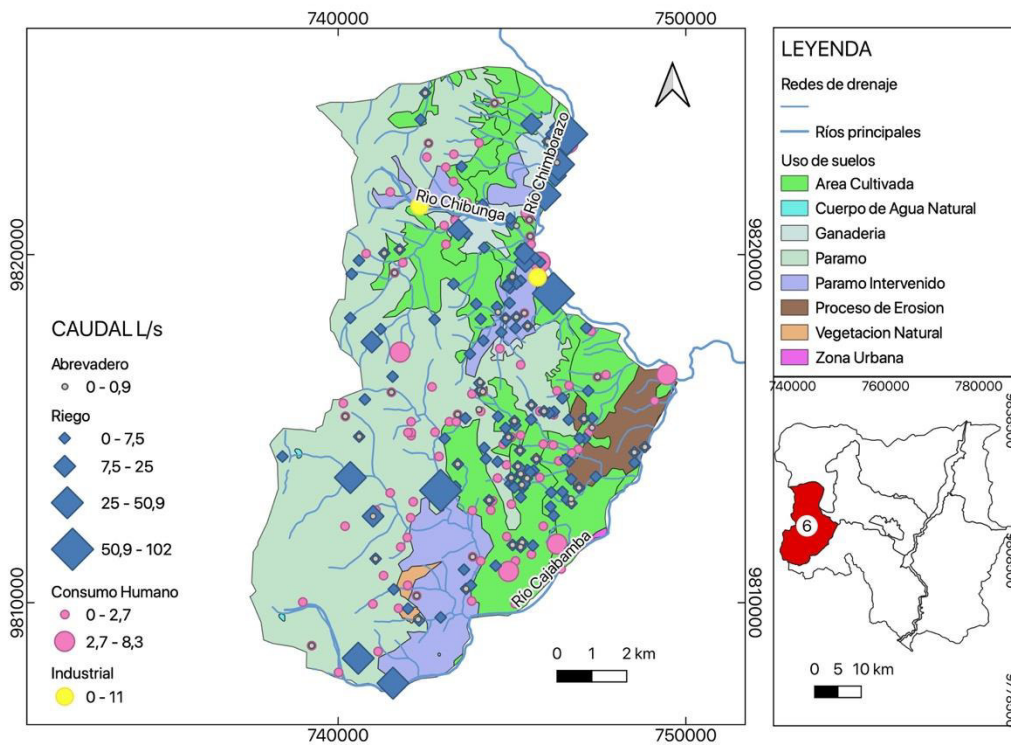


Ilustración 4-13 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria, según el uso de suelo en la zona6

ZONA 7

El área urbana de Riobamba presenta un total de 8 concesiones (Ilustración 4-14). El uso de agua para industria cuenta con 2 concesiones obtenidas del pozo 1 y 2 de la ESPOCH que suman un caudal de 3040,82 L/s. Al consumo humano se destinan dos concesiones para una población de 18.250 personas con un caudal de 24,2 L/s provenientes de dos pozos captados en la ESPOCH y en la ciudadela El Pinar. Para riego se tienen dos concesiones de 19,96 y 0,91 L/s del río Chibunga y del pozo de la ESPOCH, respectivamente. Del río Chibunga se tiene también una concesión para abrevadero y para el sector turístico se cuenta con una concesión del pozo de la ESPOCH (Tabla 16).

Tabla 16 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 7

USO DE AGUA	Letra	Superficial			Subterráneo			Total		
		#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s
Abrevadero	A	1	0,04	0,00				1	0,04	0,00
Riego	R	1	19,96	0,02	1	0,91	0,00	2	20,87	0,02
Consumo Humano	H				2	24,2	0,02	2	24,20	0,02
Industrial	I				2	3040,8	3,04	2	3040,82	3,04
Turístico y Termal	T				1	0,087	0,00	1	0,09	0,00
Disponibilidad		2	20	0,02	6	3066	3,07	8	3086,02	3,09

ZONA 8

En el área urbana de Guano se tienen 4 concesiones 3 para riego obtenida de una vertiente y la acequia Tuncahuan que ofertan un caudal de 28,58 L/s y una concesión para uso industrial tomado de una vertiente al pie del cantón Guano (Tabla 17, Ilustración 4-14).

Tabla 17 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 8

USO DE AGUA	LETRA	Superficial			Subterráneo			Total		
		#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s
Riego	R	2	28,58	0,03	1	1,01	0,001	3	29,59	0,03
Industrial	I				1	0,03	0,000	1	0,025	0,00
Disponibilidad		2	28,58	0,03	2	1,04	0,001	4	29,61	0,03

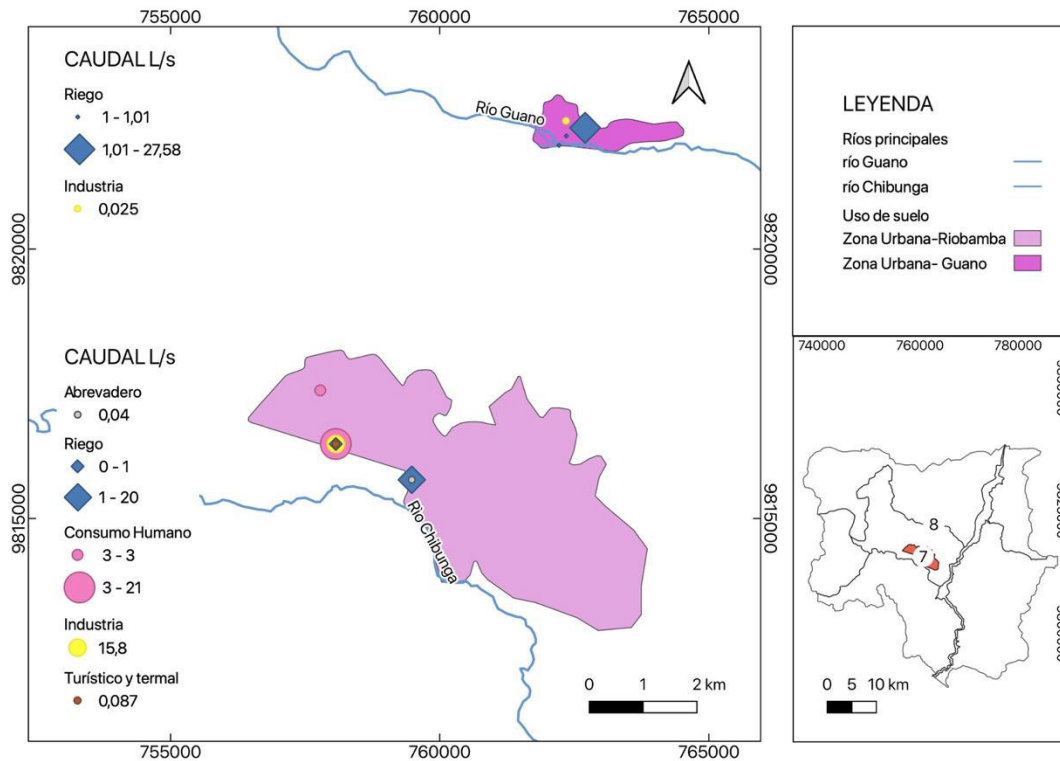


Ilustración 4-14 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria. En las áreas urbanas 7 y 8

ZONA 9

En la zona 9 predomina el uso de agua para riego con 76 concesiones, 50 proceden de vertientes aportando un caudal de 135 L/s y 26 concesiones que provienen de ríos, quebradas y una acequia que acoplan un caudal de 350,23 L/s, siendo los ríos Sicalpa y Chibunga los principales proveedores dentro del área de riego que posee un 57% del total de la superficie. Para consumo humano se cuentan con 240 concesiones de las cuales 208 vienen de vertientes brindando 140,16L/s, 11 pozos (11,168 L/s), 20 quebradas (11,03 L/s) y una galería en la comuna Puctus con 0,01 L/s (Ilustración 4-15).

Las 32 concesiones de abrevaderos se dividen en 25 concesiones en vertientes, 3 en el río Sicalpa (0,115 L/s), 1 en el río Chibunga (0,01 L/s), 2 en quebradas (0,05 L/s) y 1 de remanente de la vertiente Guisan (0,03 L/s) (Tabla 18)

Tabla 18 Uso de agua para determinadas actividades en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 9

USO DE AGUA	LETRA	Superficial			Subterráneo			Total		
		#	L/s	m³/s	#	L/s	m³/s	#	L/s	m³/s
Abrevadero	A	7	0,21	0,00	25	2,01	0,00	32	2,22	0,002
Riego	R	26	350,23	0,35	50	134,99	0,13	76	485,22	0,49
Consumo Humano	H	20	11,03	0,01	220	151,34	0,15	240	162,37	0,16
Disponibilidad		53	361,47	0,36	295	288,34	0,29	348	649,81	0,65

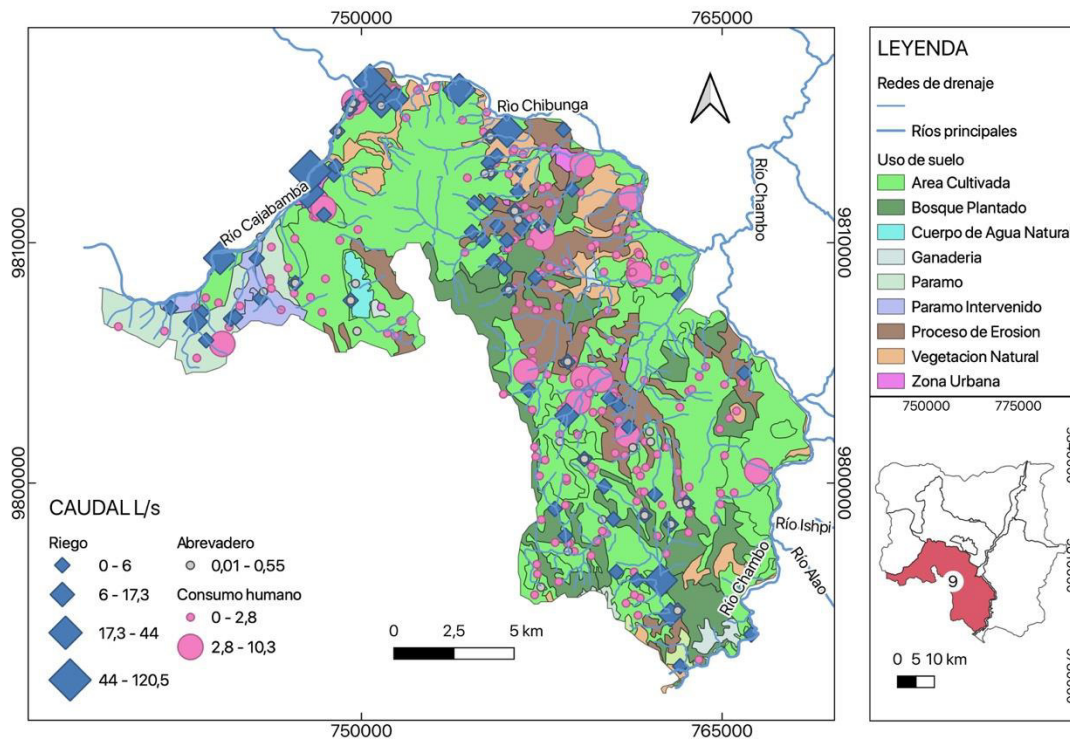


Ilustración 4-15 Ubicación de las concesiones destinadas para abrevaderos, riego, acuicultura, consumo humano, industria y generación de energía según el uso de suelo en la zona 9

En todas las zonas excepto en las zonas 7 y 3 predomina notablemente el uso de agua para riego siendo el área de cultivo la más extensa en toda la cuenca y la que más caudal concesionado en su extensión posee.

La disponibilidad de agua en la CBRCH está dominada por fuentes superficiales principalmente ríos y quebradas distribuidas a lo largo de las nueve zonas. La mayor contribución de agua superficial se encuentra alrededor del río Chambo en la zona 4 un área de descarga en donde los ríos occidentales y orientales confluyen y en la zona 3 que posee varios de los ríos principales de la cuenca como el río Blanco, río Puela, río Alao, y quebrada Ishpi. En la zona 7 la mayor demanda de agua es para uso industrial en general, obtenidos de pozos dentro del municipio de Riobamba, específicamente en el pozo de la ESPOCH, mientras que para la zona 8 la mayor demanda es para uso doméstico. El menor caudal superficial ofertado se encuentra en la zona 8 en el área de Guano ya que el abastecimiento sobre todo para consumo humano se da con la explotación de pozos en el área de Llío (Tabla 19).

Tabla 19 Disponibilidad hídrica en la CBRCH, diferenciando el número de concesiones y los caudales concesionados de fuentes superficiales y subterráneas en la zona 1

DISPONIBILIDAD ZONAS	Superficial			Subterráneo			TOTAL		
	#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s	#	L/s	m ³ /s
1	35	768,29	0,71	184	1731,24	1,79	219	2499,53	2,5
2	45	1093,04	1,09	82	162,91	0,16	127	1255,95	1,26
3	103	8199,18	8,2	290	883,9	0,88	393	9083,08	9,08
4	10	6062,08	6,06	26	41,24	0,04	36	6103,32	6,1
5	46	1125,51	1,13	157	1170,41	1,17	203	2295,92	2,3
6	43	479,32	0,48	286	406,07	0,41	329	885,39	0,89
7	2	20	0,02	6	3066,02	3,07	8	3086,02	3,09
8	2	28,58	0,03	2	1,04	0	4	29,62	0,03
9	53	361,47	0,36	295	288,34	0,29	348	649,81	0,65
CBRCH	339	18137	18,08	1328	7751,17	7,81	1667	25888,6	25,9

4.3.2. VARIABILIDAD HÍDRICA

Al comparar los caudales ofertados tanto en el año 2010 como en el año 2019, en la zona 1 se puede observar que la disponibilidad hídrica para el año 2010 era mayor, siendo así que se destinaba un caudal superficial mayor para el consumo humano, en la actualidad se destina 420,53 L/s, mientras que hace aproximadamente 10 años en esta zona se destinaban 747,9 L/s para uso doméstico, lo que indica una diferencia de aproximadamente 300 L/s de una época a otra. Dentro de la base de datos de la SENAGUA 2010 se detalla

el concesionario a quién se destina el caudal por lo que Procel (2018) indica que, en el 2010, 8 concesiones que suman un total de 889 L/s se destinaban a la Empresa Cemento Chimborazo, dichas concesiones se encuentran inscritas para generación de energía, uso doméstico y acuicultura (Tabla 20; Ilustración 4-16).

Tabla 20 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 1, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONCESIONES	LETRA	Caudal Superficial				Caudal Subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Abrevadero	A	5	1,66	12	3,93	23	9,3	43	5,86
Acuicultura	P			2	12,23	1	2		
Riego	R	28	758,83	83	2256,96	58	873,18	109	1381,34
Consumo Humano	H	4	7,8	15	7,21	98	412,731	109	740,691
Industrial	I					1	0,03		
Generación de Energía	E					1	434	2	444,5
DISPONIBILIDAD		37	766,63	112	2280,33	182	1731,24	263	2572,39

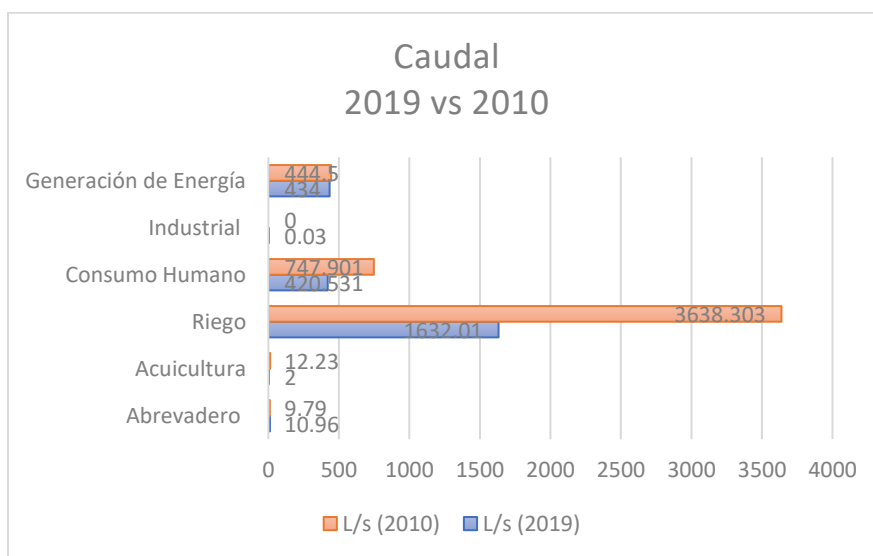


Ilustración 4-16 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 1

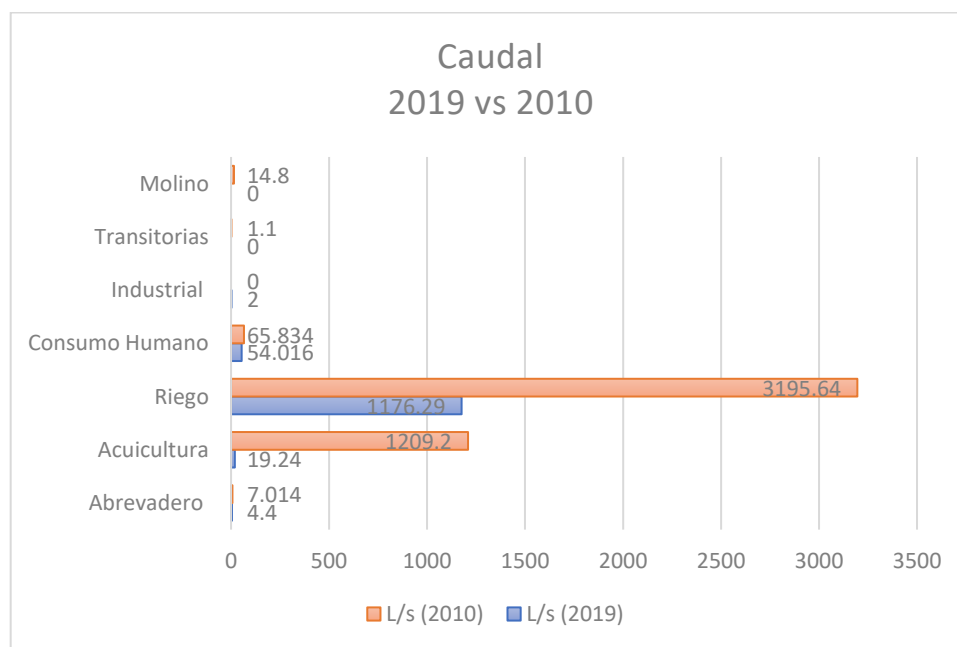
La zona 2 se encuentra ubicada al NE de la CBRCH, al este del río Chambo, en la tabla 13 se puede apreciar una importante disminución de la disponibilidad hídrica en esta zona

desde el 2010 hasta el 2019. Se puede observar que para todos los usos el caudal disminuye a excepción del aprovechamiento para industria, sin embargo el uso que redujo considerablemente su caudal superficial es el riego el cual de tener 3032,13 L/s paso a tener menos de la mitad en el 2019 con 1059,66 L/s (Tabla 21; Ilustración 4-17).

Tabla 21 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 2, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONCESIONES	LETRA	Caudal Superficial				Caudal Subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Abrevadero	A	12	2,65	21	5,064	20	1,75	26	1,95
Acuicultura	P	1	16,32	3	1166	2	2,92	1	43,2
Riego	R	26	1059,66	45	3032,13	16	116,63	37	163,51
Consumo Humano	H	6	14,41	11	22,03	43	39,606	45	43,804
Industrial	I					1	2		
Transitorias	T							1	1,1
Molino	F							1	14,8
DISPONIBILIDAD		45	1093,04	80	4225,22	82	162,906	111	268,364

Ilustración 4-17 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 2



Según la base de datos de la SENAGUA 2019, dos de las 3 centrales hidroeléctricas de la empresa eléctrica Riobamba S.A. se encuentran dentro de la zona 3, la primera utiliza un

caudal de 4500 L/s, es decir 4,5m³/s, esta concesión se encuentra en el río Alao y también se la puede encontrar en la base de datos del 2010. La segunda requiere un caudal de 463 L/s que equivale a 0,46m³/s perteneciente al río Blanco (Tabla 14). Se presentan 393 otorgamientos distribuidos alrededor de la zona 3 que suman un caudal de 9083,079 L/s. Mientras que en la base de datos de la SENAGUA 2010 se presentan un total de 553 otorgamientos de los cuales los usos que mayor caudal utilizan son el riego y el consumo humano (Tabla 22; Ilustración 4-18).

Tabla 22 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 3, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONCESIONES	LETRA	Caudal superficial				Caudal Subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Abrevadero	A	19	4,49	28	6	60	7,496	55	8,764
Acuicultura	P	2	78,5	3	98,5	1	0,22	4	24,75
Riego	R	66	1544,74	129	2247,95	87	725,55	134	1171,73
Consumo Humano	H	14	1608,45	23	1611,8	140	149,967	155	168,214
Industrial	I					1	0,15		
Generación de Energía	E	2	4963	1	4500				
Turístico y Termal	T					1	0,52		
Transitorio								1	0,54
DISPONIBILIDAD		103	8199,18	184	8464,25	290	883,903	349	1374

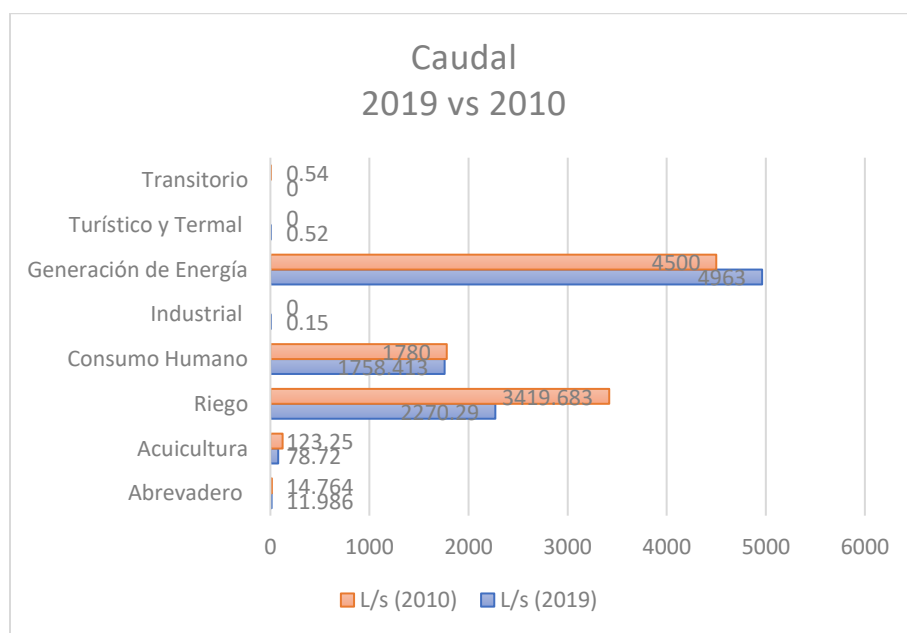


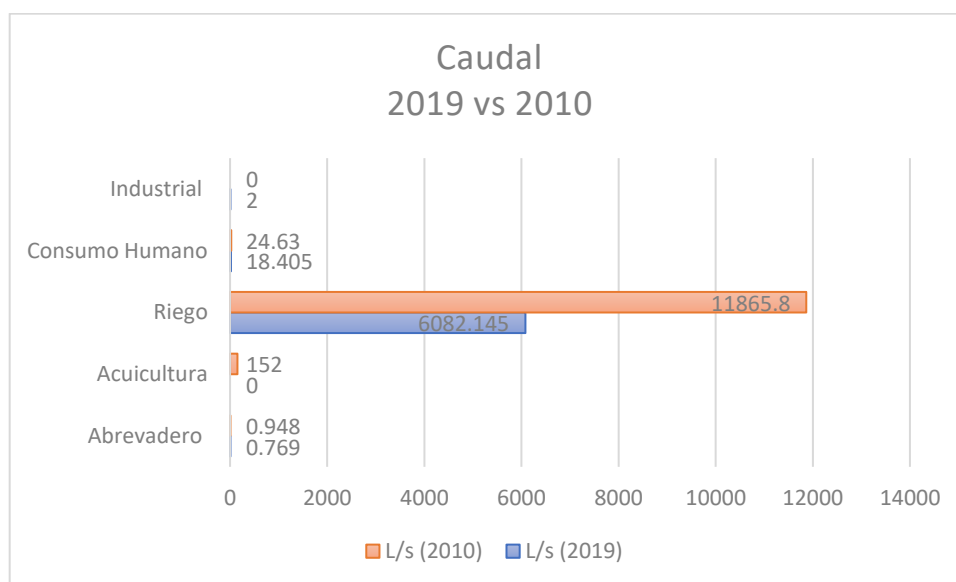
Ilustración 4-18 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 3

En la zona 4 dentro del río Chambo se concentra la afluencia tanto de los ríos orientales como de los ríos occidentales de la cuenca, es por ello que para todos los usos excepto para el consumo humano el caudal superficial predomina siendo así que en el 2010 para riego se tienen un caudal superficial otorgado de 11821,7, el cual disminuyó a la mitad casi una década después. Es por ello que la disponibilidad hídrica de la SENAGUA 2010 es de 12043,378 L/s y en el 2019 es de 6103,319 L/s (Tabla 23; Ilustración 4-19).

Tabla 23 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 4, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONSESIONES	LETRA	Caudal superficial				Caudal subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Abrevadero	A	1	0,01	1	0,03	4	0,759	8	0,918
Acuicultura	P			2	152				
Riego	R	7	6059,93	10	11821,7	6	22,215	10	44,13
Consumo Humano	H	1	0,14	4	0,26	16	18,265	18	24,37
Industrial	I	1	2						
DISPONIBILIDAD		10	6062,08	17	11974	26	41,24	36	69,42

Ilustración 4-19 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 4



En la zona 5 al centro de la CBRCH predomina el uso del recurso hídrico destinado para la agricultura, siendo así que en el 2019 se presentaron 73 concesiones para riego que suman un total de 1784,54 L/s, 118,36 L/s más que en el 2010. Al igual que el caudal concesionado para consumo humano incrementó durante esta década de 153 a 501,424 L/s.

Procel (2018) menciona que la planta de producción de la Empresa Cemento Chimborazo que se encuentra dentro del área de la zona 5 en la parroquia San Juan en el cantón Riobamba utiliza un caudal de 889 L/s que se abastece de la zona 1, para la producción de 3000 toneladas diarias de cemento y 1.3 millones de toneladas anuales. Otra concesión de industria para la zona 5 en el 2019, se refiere a una procesadora para especies acuáticas que utiliza un caudal de 1,33 L/s (Tabla 24; Ilustración 4-20).

Tabla 24 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 5, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONCESIONES	LETRA	Caudal superficial				Caudal subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Abrevadero	A	8	0,59	9	1,1	18	4,3	27	5,1
Acuicultura	P	1	0,3	2	26,8	1	0,3	8	27,12
Riego	R	33	1112,43	49	875,84	40	672,12	71	790,3
Consumo Humano	H	5	12,49	9	5,08	95	488,93	96	148,74
Industrial	I	1	1,33						
Turístico y Termal	T					2	3,43		
DISPONIBILIDAD		48	1127,14	69	908,82	156	1169,08	202	971,3

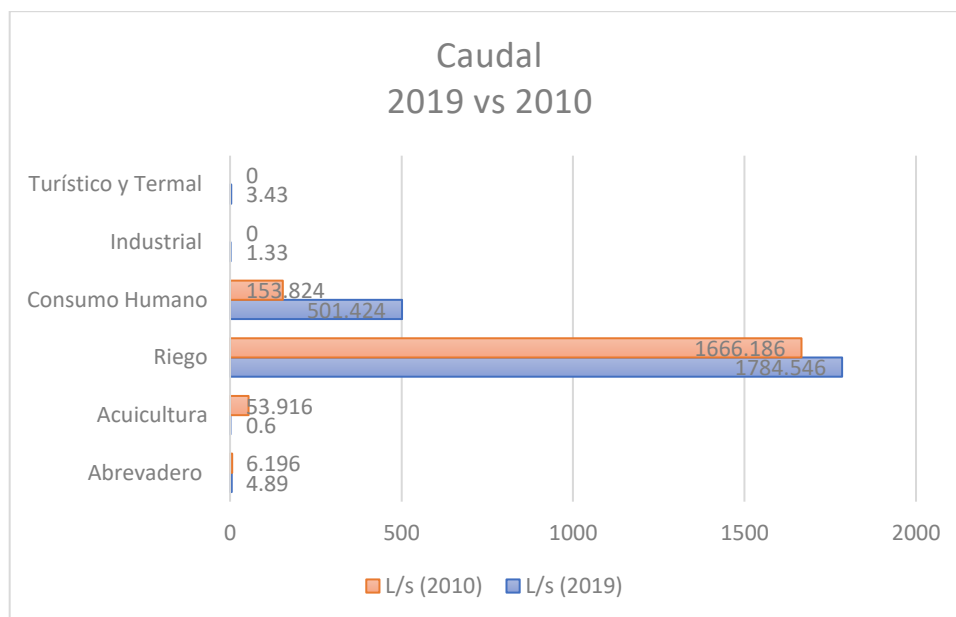


Ilustración 4-20 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 5

En la zona 6 el riego es aquel al que se le atribuye un mayor caudal tanto superficial como subterráneo, este se ha reducido notablemente durante esta década siendo así que de 432,134 L/s disminuyó a 315,148 L/s el caudal de pozos y vertientes y de 486,6 L/s a 479,3 L/s las fuentes superficiales en especial el río Chimborazo y Cajabamba (Tabla 25; Ilustración 4-21).

Tabla 25 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 6, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONCESIONES	LETRA	Caudal superficial				Caudal subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Abrevadero	A	6	0,22	7	0,194	58	3,385	68	4,871
Riego	R	32	470,28	62	476,59	142	315,148	144	432,134
Consumo Humano	H	4	8,801	6	9,81	127	76,082	148	83,156
Industrial	I	1	0,023			2	11,45		
DISPONIBILIDAD		43	479,324	75	486,594	329	406,065	360	520,161

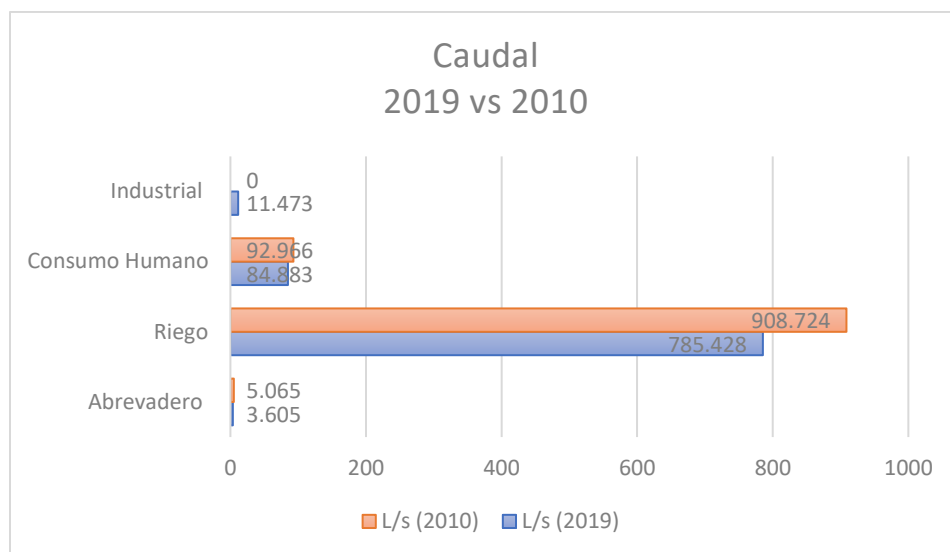


Ilustración 4-21 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 6

Dentro del área urbana de Riobamba (zona 7) existen concesiones destinadas a abrevaderos, consumo humano, uso industrial, turístico y termal, y riego para los registros del 2019, algo relevante de esta base de datos son las concesiones destinadas para industria que suman un caudal de 3040,82 L/s.

Procel (2018) señala que las ofertas para abastecer a la ciudad provienen de pozos y manantiales los más productivos se encuentran en la zona 1 y 5 en Llío, mientras que el manantial San Pablo con caudales de 0,24 m³/s se encuentra dentro del municipio de Riobamba en la zona 7. De las fuentes hídricas mencionadas el 67% es operado por la empresa EP-EMAPAR y el 33% es operado por instituciones privadas (Procel, 2018) (Tabla 26; Ilustración 4-22).

Tabla 26 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 7, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONSESIONES	LETRA	Caudal superficial				Caudal subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Abrevadero	A	1	0,04						
Riego	R	1	19,96	3	33,76	1	0,91		
Consumo Humano	H					2	24,2	3	6,36
Industrial	I					2	3040,82		
Turístico y Termal	T					1	0,087		
DISPONIBILIDAD		2	20	3	33,76	6	3066,02	3	6,36

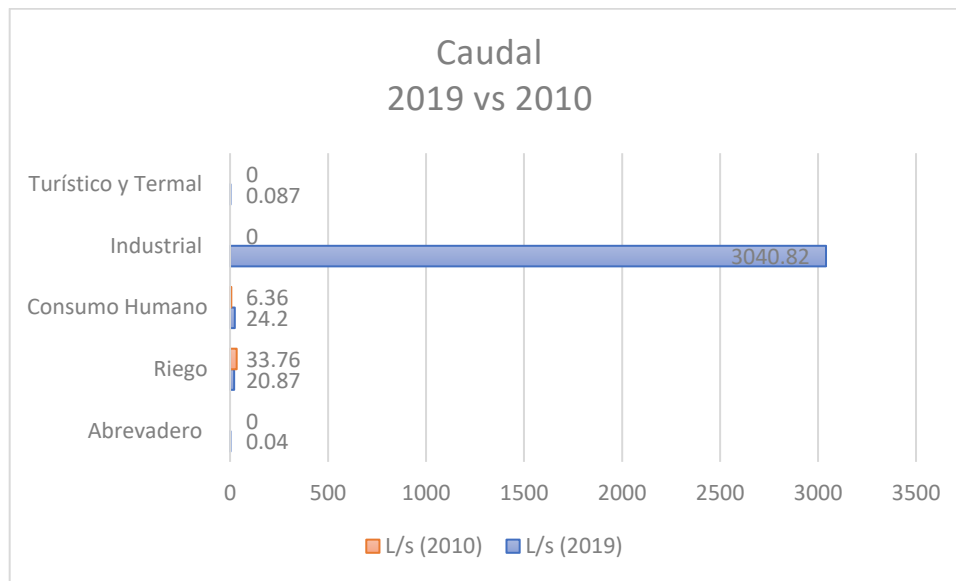


Ilustración 4-22 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 7

El área urbana Guano equivalente a la zona 8, abarca solamente 1,49 Km² dentro de la CBRCH, aquí se presentan distintas concesiones para los diferentes aprovechamientos, entre ellos están acuicultura, riego, consumo humano e industrial, en el 2019 y 2010 (Tabla 27; Ilustración 4-23).

Tabla 27 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 8, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONCESIONES	LETRA	Caudal superficial				Caudal subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Riego	R	2	28,58	6	131,612	1	1,01	3	88,41
Consumo Humano	H							1	2,08
Industrial	I					1	0,025	1	0,35
DISPONIBILIDAD		2	28,58	6	131,612	2	1,035	5	90,84

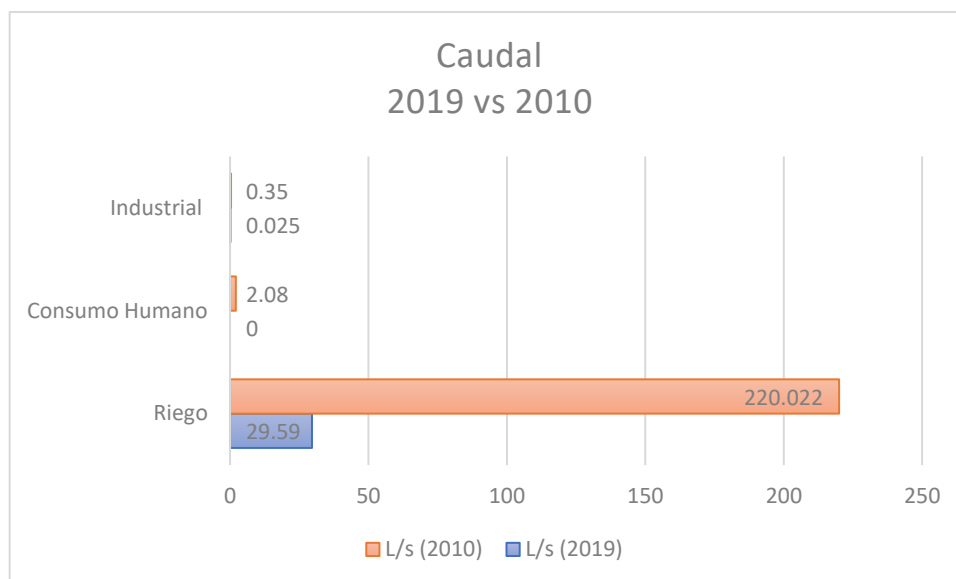


Ilustración 4-23 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 8.

En la base de datos de la SENAGUA 2010 se presenta una concesión de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. en el río Chambo de 3000 L/s, lo que hace que la disponibilidad hídrica de la zona en ese año sea alta con 3822,26 L/s, mientras que la disponibilidad hídrica para el 2019 es de 649,8 L/s (Tabla 28; Ilustración 4-24).

Tabla 28 Concesiones destinadas para las diferentes actividades en la zona 9, comparando los caudales disponibles del 2019 y el 2010

CONSESIONES	LETRA	Caudal superficial				Caudal subterráneo			
		#	L/s (2019)	#	L/s (2010)	#	L/s (2019)	#	L/s (2010)
Abrevadero	A	7	0,205	9	0,52	25	2,01	29	4,507
Acuicultura	P			1	30				
Riego	R	26	350,23	57	276,13	50	134,99	88	298,551
Consumo Humano	H	20	11,03	27	16,75	220	151,34	241	165,806
Generación de Energía	E			1	3000				
Transitorias	Tp			1	30				
DISPONIBILIDAD		53	361,465	96	3353,4	295	288,34	358	468,864

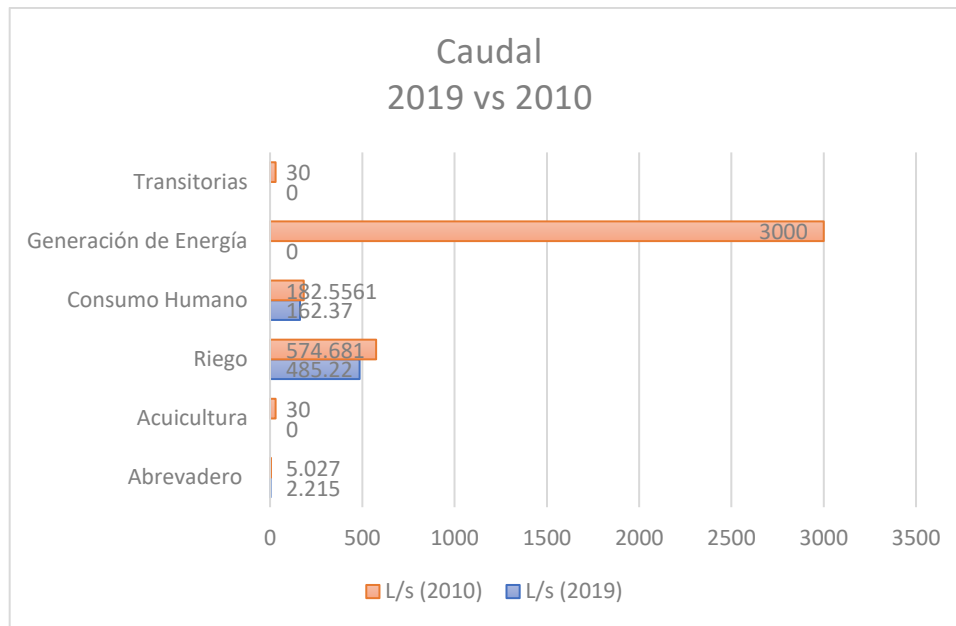


Ilustración 4-24 Caudales 2010 vs 2019 según las diferentes actividades en la zona 9

El uso de agua para riego en las zonas 1,2,4,5,6 y 8 es la que predomina, siendo así que únicamente en la zona 5 de 2019 a 2010 se presenta un aumento para esta área de 118,36 L/s, en las demás zonas existe una reducción que es más notable en la zona 1 que disminuye casi a la mitad, en la zona 2 bajo de 3638,3L/s a 1632,01 L/s y en la zona 4 que de 20 concesiones que sumaban un caudal de 11865,8 L/s destinados para riego se redujo a 13 concesiones que acumulan 6082,15 L/s.

En la zona 5 existe un aumento en el caudal concesionado tanto para riego y consumo humano y se concesionan 2 concesiones para uso turístico de aguas termales y 1 para uso industrial de procesadoras de especies acuáticas. De igual manera, en la zona 7 al realizar el análisis se puede determinar que se presentan dos concesiones de industrias que en el 2010 no existían lo que provoca que el caudal concesionado en esta zona se incremente notablemente (Tabla 29).

Tabla 29 Disponibilidad hídrica según la base de datos de la SENAGUA 2019 Y 2010.

ZONAS	SENAGUA 2019		SENAGUA 2010		DIFERENCIA 2019 -2010	
	L/s	m3/s	L/s	m3/s	L/s	m3/s
1	2499,53	2,50	4852,72	4,85	-2353,19	-2,35
2	1255,95	1,26	4493,59	4,49	-3237,64	-3,24
3	9083,08	9,08	9838,25	9,84	-755,17	-0,76
4	6103,32	6,10	12043,38	12,04	-5940,06	-5,94
5	2296,22	2,30	1880,12	1,88	416,10	0,42
6	885,39	0,89	1006,76	1,01	-121,37	-0,12
7	3086,02	3,09	40,12	0,04	3045,90	3,05
8	29,62	0,03	222,45	0,22	-192,84	-0,19
9	649,81	0,65	3822,26	3,82	-3172,46	-3,17

En el apartado 3.3.2.1 se menciona los valores de agua que un ser humano necesita para su consumo diario, siendo así que se toma las estimaciones que la OMS (2019) y Mancheno (2010) mencionan, como valores mínimos y máximos, respectivamente (Tabla 4). Para la oferta se toma los datos presentados por Procel (2018) en el cual se asume que los pozos de Llío-Guano van a permanecer constantes y bombearán las 24 horas.

Al comparar las proyecciones máximas (210 l/h/día), mínimas (50 l/h/día) y obtener la media entre estos valores (130 l/h/día), se puede definir que en la zona 7, el cantón Riobamba en condiciones mínimas de demanda de recurso hídrico no va a tener problemas para satisfacer a la población, en condición de uso medio podrá abastecer a toda la comunidad hasta el año 2035, mientras que con una demanda máxima a partir del año 2018 va a existir un déficit hídrico. Por otra parte, Procel (2018) estableció que el valor mínimo que una persona necesita a diario es de 100 L/h/día y por lo tanto la media sería de 155 L/h/d, de ser así, a una demanda mínima no existiría déficit hasta el año 2040, pero en el valor medio existiría escases desde el 2029 (Ilustración 4-25).

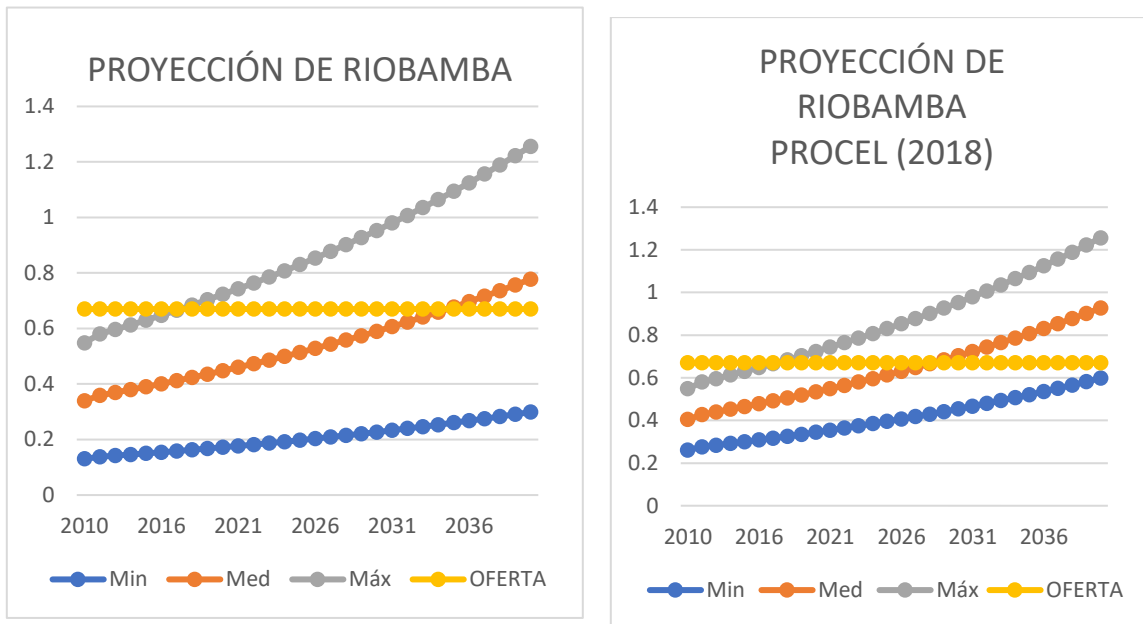


Ilustración 4-25 Demanda de caudal en m³/s vs Proyecciones desde el año 2010 hasta el año 2040 en el cantón Riobamba, para una demanda mínima de 50l/Hab-día, media de 130 l/Hab-día y máxima de 210 l/hab-día.comparadando con los valores propuestos por Procel (2018)

Para el cantón Guano no se presenta déficit hídrico hasta el año 2040 mientras la demanda para uso doméstico sea mínima o media es decir de 50 a 130 L/h/día. Caso contrario con la demanda máxima a partir del año 2025 podría existir una carencia del recurso hídrico. Lo mismo sucede con los valores propuestos por Procel (2018), en donde no se presenta falta de agua hasta el 2040 si los valores se encuentran en el mínimo (100 L/h/d) y media (155 L/h/d) (Ilustración 4-26).

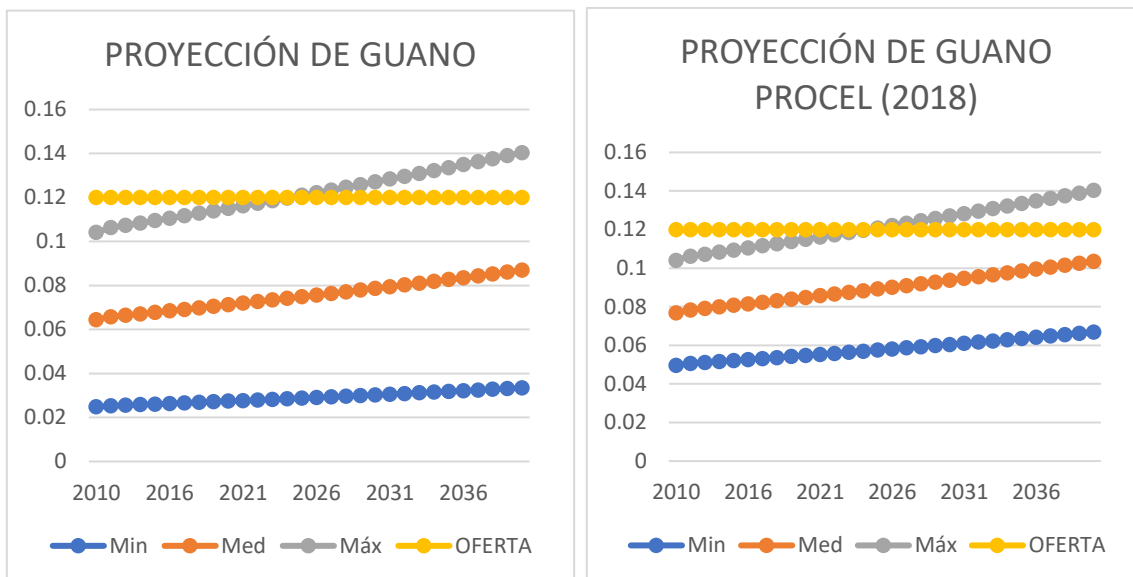


Ilustración 4-26 Demanda de caudal en m³/s vs Proyecciones desde el año 2012 hasta el año 2040 en el cantón Guano, para una demanda mínima de 50 l/Hab-día, media de 130 l/Hab-día y máxima de 210 l/Hab-día. Comparado con los valores propuestos por Procel (2018).

4.4. ANÁLISIS DE LA GEODIVERSIDAD

El análisis de la geodiversidad se realizó a través de la obtención de datos con el fin de comparar distintos elementos en un área establecida a través de los indicadores de abundancia, frecuencia de clase, superficie acumulada de clase y distribución (Carcavilla et al., 2007).

Para el análisis de la Geodiversidad se realizó una recopilación de diferentes mapas geológicos, para ello se precisó del trabajo realizado por Egüez et al. (2017) a escala 1:1000.000 del Mapa Geológico de la República del Ecuador. También se tomó en cuenta varios trabajos de pregrado como el de Núñez (2020), Salguero (2017), Yáñez (2016) (Ilustración 4-27).

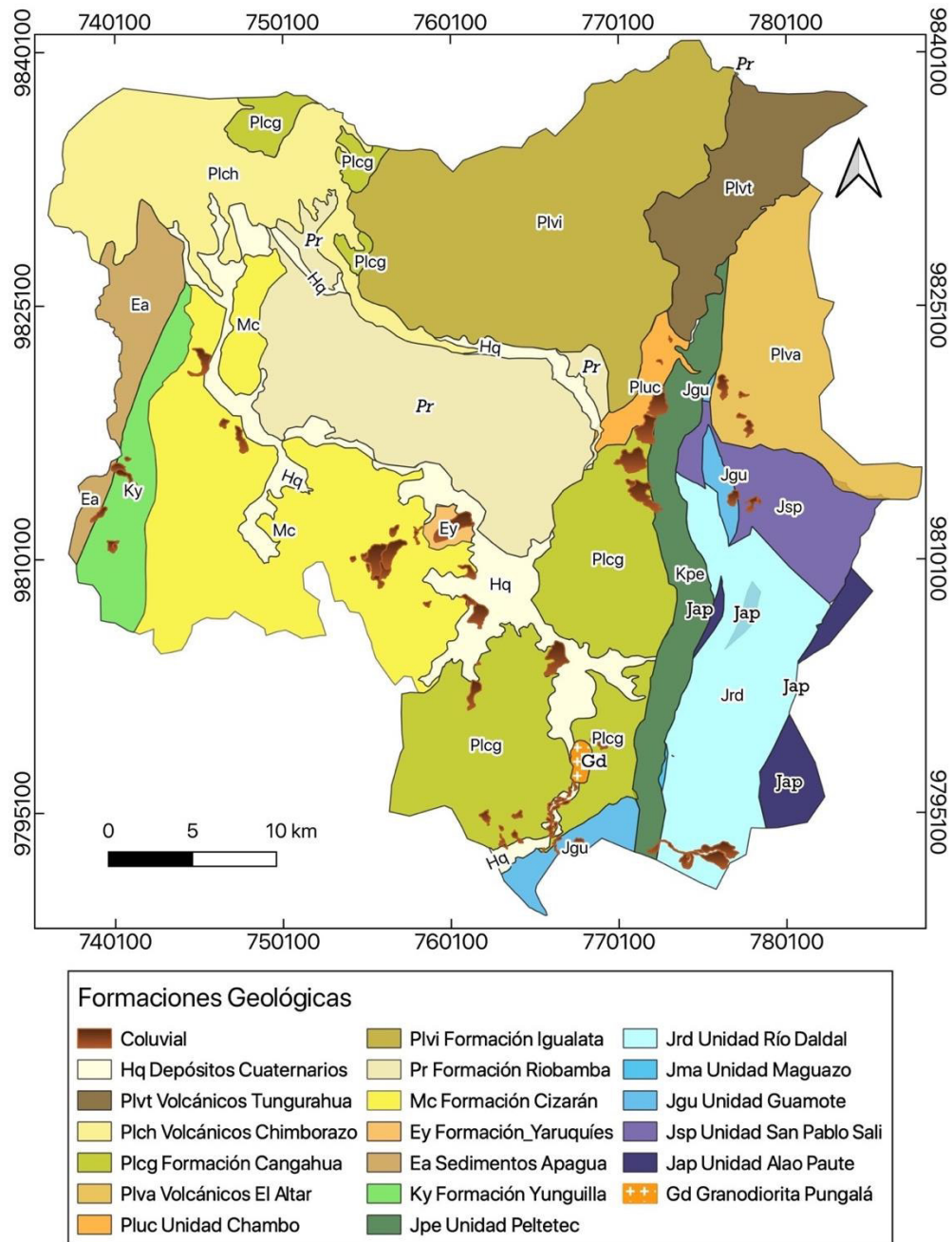


Ilustración 4-27 Formaciones geológicas. Tomadas de Núñez 2020

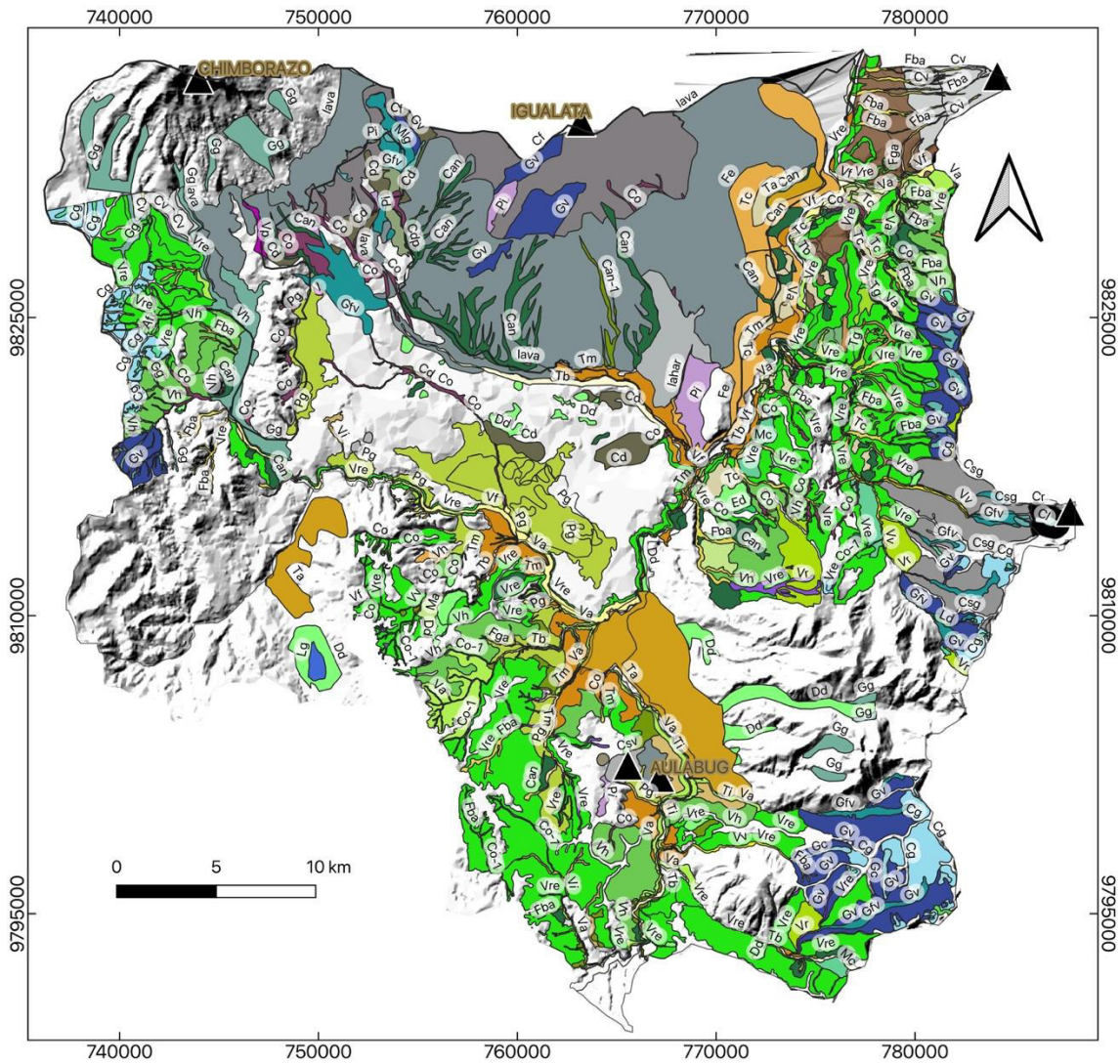
En el análisis Geomorfológico se utilizó de las memorias técnicas del proyecto “Generación De Geo información Para La Gestión Del Territorio A Nivel Nacional. Escala 1: 25 000” de los cantones Riobamba, Guano y Penipe, realizado en julio del año 2013 por el Instituto Espacial Ecuatoriano en coordinación con el MAGAP obteniéndose 52 clases Geomorfológicas distribuidas en el área de estudio (Tabla 30; Ilustración 4-28).

Tabla 30 Geoformas presentes en la CBRCH dividido en sus grupos genéticos.

GRUPOS	GEOFORMAS	SIMBOLOGÍA
Fluvial		
1. VALLES E INCISIONES		
	Valle fluvial, llanura de inundación	Vf
	Terraza baja y cauce actual	Tb
	Valle indiferenciado	Vi
	Valle en V	Vv
	Barranco	Fba
	Garganta	Fga
	Encañonamiento	Fe
2. TERRAZAS		
	Terraza colgada	Tc
	Terraza media	Tm
	Terraza alta	Ta
	Terrazas indiferenciadas	Ti
Laderas		
1. VERTIENTES		
	Vertiente rectilínea	Vre
	Vertiente abrupta	Va
	Vertiente heterogénea	Vh
	Vertiente rocosa	Vr
	Morfología abollada	Ma
	Escarpe de deslizamiento	Ed
2. DEPÓSITOS DE LADERA		
	Coluvión antiguo	Can
	Coluvión reciente	Can-1
	Macrocoluvión	Mc
	Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	Dd
	Talud de derrubios	Ld
3. PIEDEMONTE		
	Testigo de glacis de esparcimiento	Tg
	Glacis-cono de esparcimiento	Pg

Tabla 31 Geoformas presentes en la CBRCH dividido en sus grupos genéticos.

GRUPOS	GEOFORMAS	SIMBOLOGÍA
Glaciar y periglaciar		
	1. FORMAS GLACIARES	
	Circo glaciar	Cg
	Cubeta glaciar	Cug
	Fondo de valle glaciar	Gfv
	Vertiente de valle glaciar	Gv
	Valle glaciar colgado	Gc
	Laguna glaciar	Lg
	Rampa de piedemone de cono volcánico	Gr
	2. DEPÓSITOS GLACIARES	
	Morrena de fondo	Mfg
	Morrena lateral	Mlg
	Depósito glaciar	Gg
Volcánico		
	1. CONOS VOLCÁNICOS	
	Cono muy bien conservado con actividad volcánica actual	Cv
	Cono sin actividad volcánica y sin huellas glaciares	Csv
	Cono sin actividad volcánica actual e intenso retoque glaciar	Csg
	2. FORMAS ASOCIADAS A CONOS	
	Cráter	Cr
	Casquete glaciar	Ccg
	Laguna en fondo de cráter o caldera	Cl
	Flanco de volcán	Cf
	Llanura de depósito volcánico	Cd
	Llanura de depresión volcánica	Cdp
	3. DOMOS VOLCÁNICOS	
	Domo volcánico	DV
Estructural		
	Frente de cuesta	Ef
Poligénicas		
	Coluvio-aluvial antiguo	Co
	Coluvio-aluvial reciente	Co-1
	Planicie Intermontaña	Pi
	Vertiente de planicie intermontañosa	Vp
	Inselberg	I



▲ VOLCANES	Cg Circo glaciar	Tc Terraza colgada
GEOFORMAS	Cl Laguna o caldera	Ta Terraza alta
Pi Planicie intermontaña	Cug Cubeta glaciar	Ti Terraza indiferenciada
Co Coluvial antiguo	Gfv Fondo de valle glaciar	Tb Terraza baja
Co-1 Coluvial reciente	Gg Depósito glaciar	Ed Escarpe de deslizamiento
Vp Vertiente de planicie intermontaña	Lg Laguna glaciar	Can Coluvio-aluvial antiguo
I Inselberg	Mfg Morrena de fondo	Can-1 Coluvio-aluvial reciente
Cf Flanco del volcán	Mlg Morrena lateral	Mc Macrocoluvion
Cdp Llanura de depresión volcánica	Gv Vertiente de valle glaciar	Dd Depósitos de deslizamiento
Cd Llanura de depósito volcánico	lahar	Ma Morfología abollada
Ccg Casquete glaciar	lava	Ld Talud de derrubios
Cr Cráter	Ef Frente de cuesta	Pg Glacis-cono de esparcimiento
Csg Cono sin actividad volcánica e intenso retoque glaciar	Fba Barranco	Va Vertiente abrupta
Csv Cono sin actividad volcánica y sin huellas glaciares	Fe Encañonamiento	Vh Vertiente heterogénea
Cv Cono con actividad volcánica	Fga Garganta	Vr Vertiente rocosa
DV Domo volcánico	Vf Valle fluvial	Vre Vertiente rectilínea
Gc Valle glaciar colgado	Tm Terraza media	Vv Valle en v
	Vi Vertiente indiferenciada	Tg Testigo de glacis de esparcimiento

Ilustración 4-28 Geoformas.

4.4.1. ABUNDANCIA O GEODIVERSIDAD INTRÍNSECA

El análisis de la abundancia o geodiversidad intrínseca se realizó con base en la zonificación de CBRCH en las 9 zonas determinadas en el apartado 4.1. El área de cada zona se calculó con la ayuda de las herramientas del software ArcGIS 10.8.

Tabla 32 Geodiversidad intrínseca de la litología y geomorfología

ZONAS	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA		GEOMORFOLOGÍA	
		CLASES	Gi	CLASES	Gi
1	458,61	10	0,02	26	0,06
2	136,44	5	0,04	27	0,20
3	405,34	10	0,03	33	0,08
4	48,6	9	0,19	17	0,35
5	201,96	7	0,04	21	0,10
6	130,03	4	0,03	14	0,11
7	17,42	2	0,12	4	0,23
8	1,48	3	2,03	2	1,35
9	290,6	7	0,02	26	0,09

La zona 8 presentada en este trabajo como el área urbana de Guano presenta una mayor abundancia de tal manera que en 1,48 Km² se encuentran 3 Formaciones con una abundancia litológica igual a 2,029 y abundancia morfológica de 1,35 con 2 clases. Mientras que, la zona 1 al tener el área más grande de la cuenca con 10 clases presenta la menor abundancia con 0,022 y la menor abundancia morfológica con 0,0479 (Tabla 32).

4.4.2. FRECUENCIA DE CLASE (Fc)

La frecuencia indica el número de veces en las que una clase se repite dentro de una misma zona (Tabla 32).

Dentro de la zona 1 en donde se encuentran los volcanes Chimborazo e Igualata y sus depósitos volcánicos se tiene una frecuencia de clase alta siendo así que los volcано-

sedimentos de la Formación Riobamba y la Formación Cangahua son aquellas que se repiten una mayor cantidad de ocasiones dando un Fc de 0,004, mientras que las Formaciones que no se repiten tiene un Fc de 0,002. Las geoformas dominantes son aquellas de laderas al pie del volcán, las de origen glaciar y volcánico, gracias a la presencia de conos volcánicos. Siendo así que las vertientes rectilíneas que se reiteran 24 veces tienen un Fc de 0,052 (Ilustración 4-29).

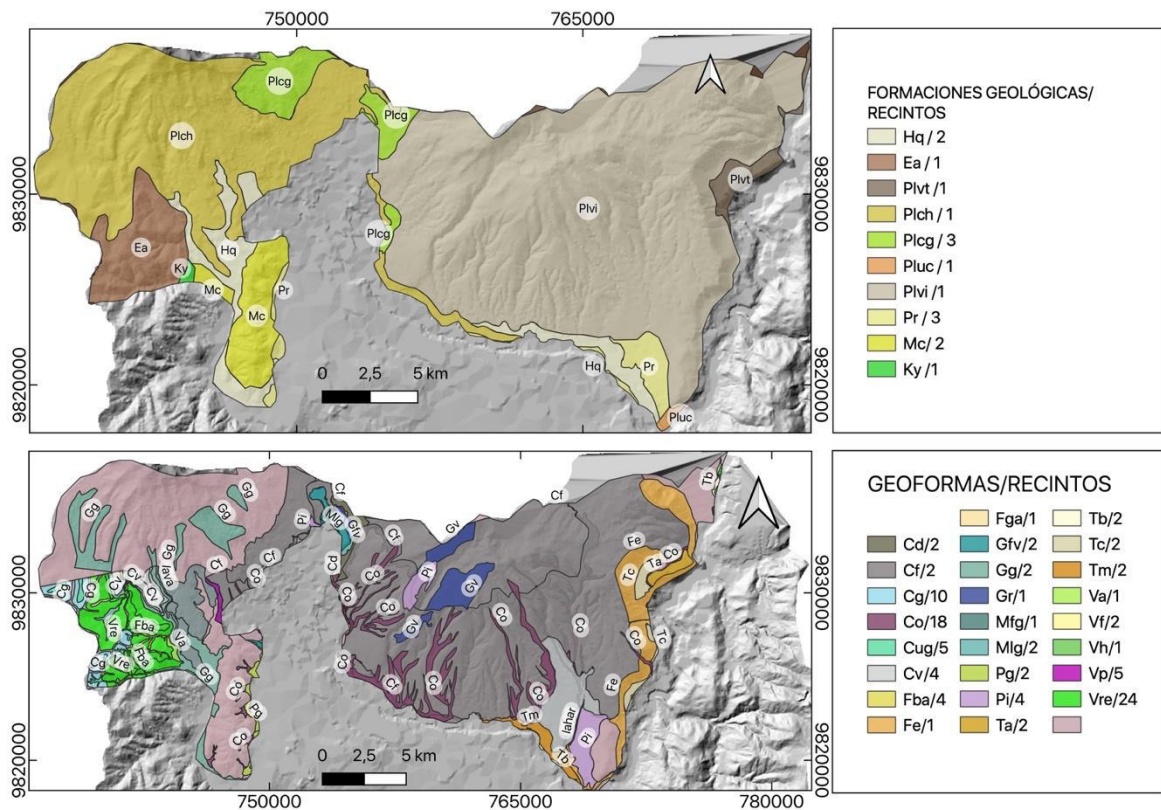


Ilustración 4-29 Diversidad litológica arriba y diversidad geomorfológica en la parte inferior.

En la zona 2 se tiene la presencia de un volcán con actividad volcánica presente siendo así que predominan las geoformas de ladera y de origen volcánico, la geoforma que se observa más frecuente es la vertiente rectilínea seguido de las rampas de piedemonte de cono volcánico y el cono volcánico muy bien conservado, con frecuencias de clase de 0,24; 0,12 y 0,11 respectivamente. Las clases litológicas muestran que las Formaciones Geológicas se muestran por una sola vez dando un Fc de 0,007 (Ilustración 4-30).

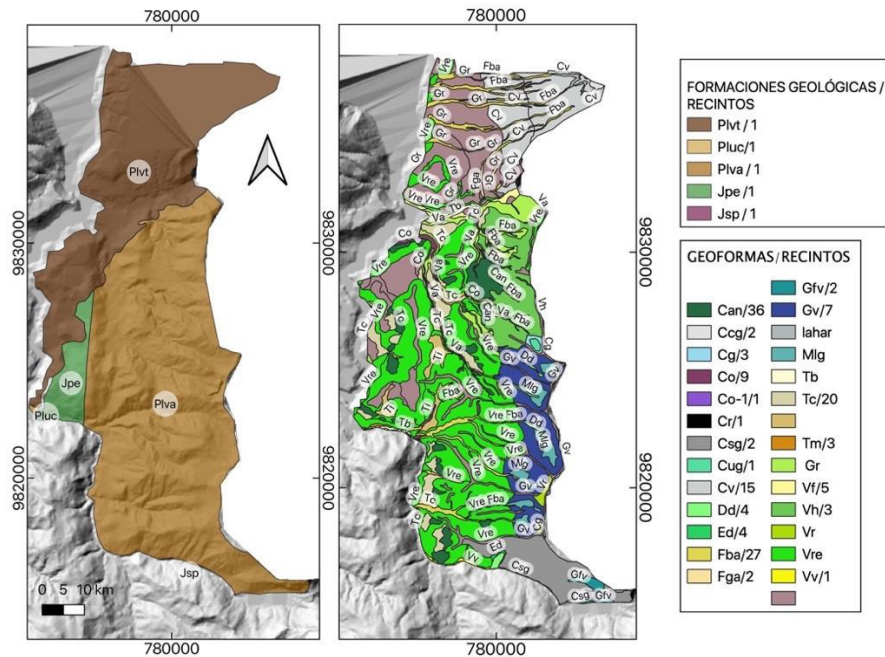


Ilustración 4-30 Zona 2. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).

En la zona 3, 10 clases presentan 19 recintos litológicos que incluyen los depósitos Cuaternarios (3 veces), la Formación Cangahua (2 veces), la Unidad Chambo (2 veces), la Formación Guamote (3 veces) y la Unidad Alao Paute (4 veces) (Ilustración 4-31). Mientras que, 33 geoformas exponen 244 recintos, prevaleciendo aquellos de origen de Laderas y de origen Glaciar en las zonas más altas.

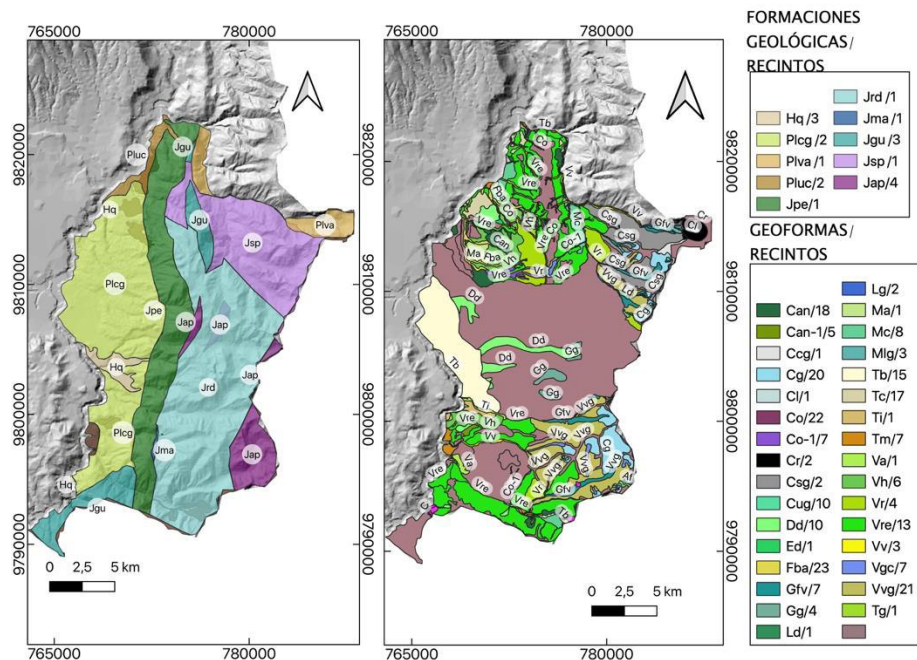


Ilustración 4-31 Zona 3. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).

En la zona 4 se tiene un total de 13 recintos litológicos y 150 geomorfológicos, en esta zona se encuentra el río Chambo por lo que predomina la vertiente rectilínea y las terrazas medias con un Fc de 0,47 y 0,41 respectivamente. Los depósitos cuaternarios se repiten 3 veces siendo aquel que frecuente más a menudo junto a la Formación Cangahua dando un Fc de 0,06 (Ilustración 4-32).

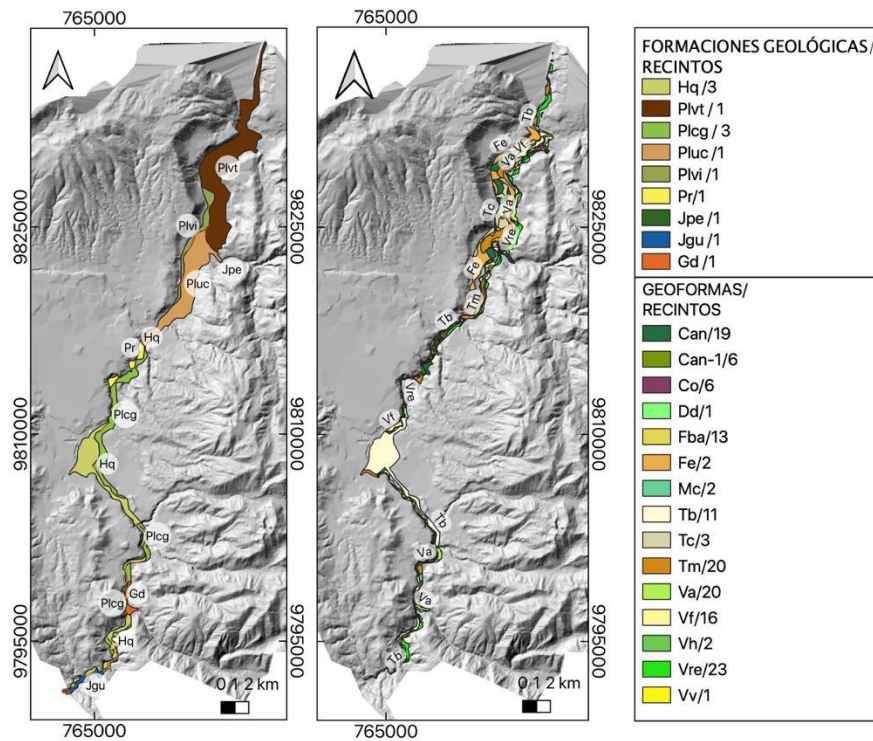


Ilustración 4-32 Zona 4. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).

En el centro de la CBRCH se presentan 7 Formaciones de las cuales los depósitos cuaternarios que se encuentran en los límites de la zona son los que se repiten 5 veces generando un mayor Fc de 0,02. En la zona 5 se presentan geoformas de los 6 grupos genéticos siendo los coluvio-aluviales antiguos aquellos que se muestran más ocasiones con un Fc de 0,11 (Ilustración 4-33).

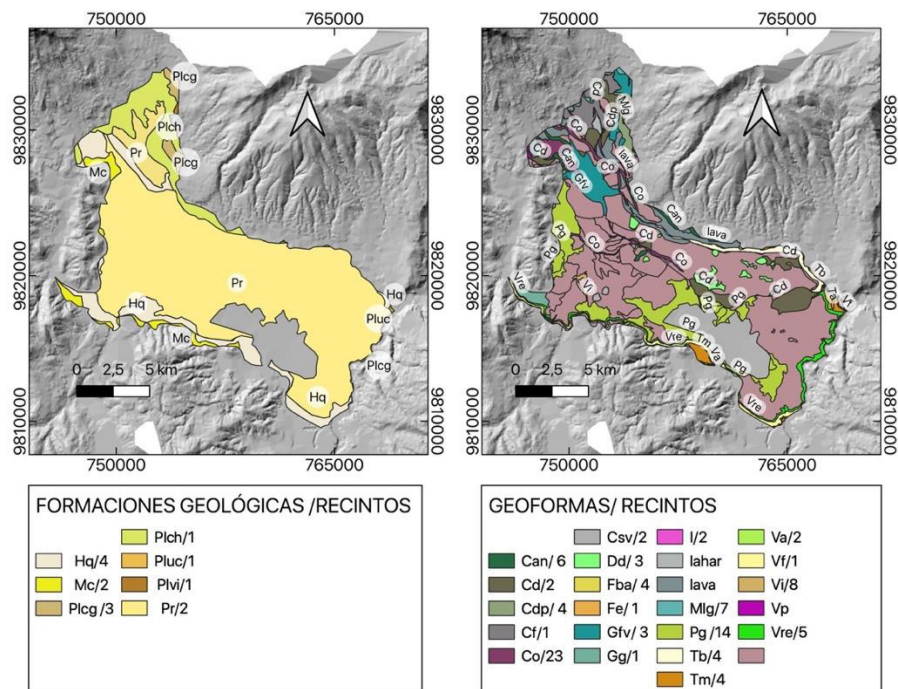


Ilustración 4-33 Zona 5. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).

La zona 6 posee 4 clases litológicas con 4 recintos generando Frecuencia de clase de 0,015 a aquellas que solo se presentan una ocasión. Las geoformas que más veces se exhiben son aquellas de laderas siendo las vertientes las que tienen un Fc mayor de 0,076 (Ilustración 4-34).

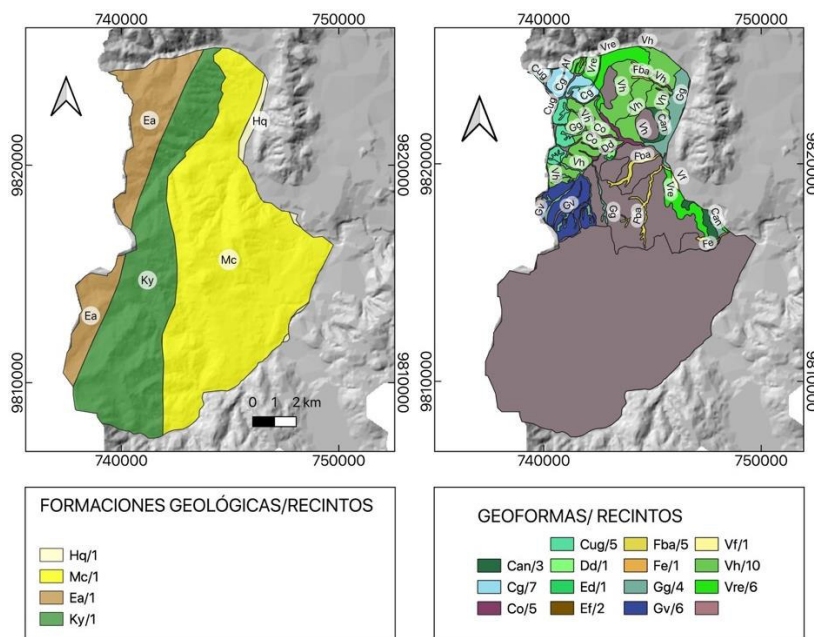


Ilustración 4-34 Zona 6. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).

Las zonas 7 y 8 son las zonas urbanas de Riobamba y Guano respectivamente, las Formaciones geológicas solo se presentan en una ocasión dando un Fc de 0,06 y 0,7 respectivamente. La geoforma que se reitera por 5 veces en Riobamba son los glaciares de esparcimiento proporcionando un Fc de 0,3 mientras que las geoformas que solo se dan una vez tienen un Fc de 0,06. En Guano se generan frecuencias de clase litológicas y geomorfológicas de 0,7 al presentarse solo por una ocasión cada clase (Ilustración 4-35).

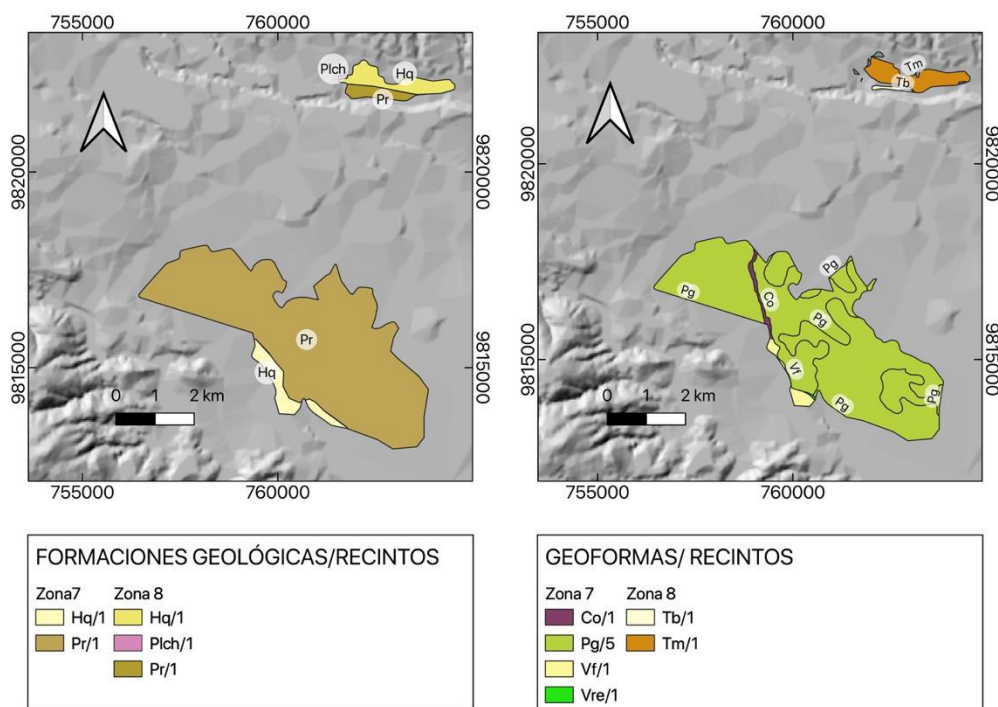


Ilustración 4-35 Zona 7 y 8. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).

En la zona 9 se exponen 10 recintos litológicos y 198 geomorfológicos, la Formación que más se frecuenta son los depósitos cuaternarios con 3 veces y un Fc de 0,01, mientras que la geoforma que más itera son las vertientes rectilíneas con un Fc de 0,15 y la que menos veces se presenta es el escarpe de deslizamiento con un Fc de 0,006 (Ilustración 4-36).

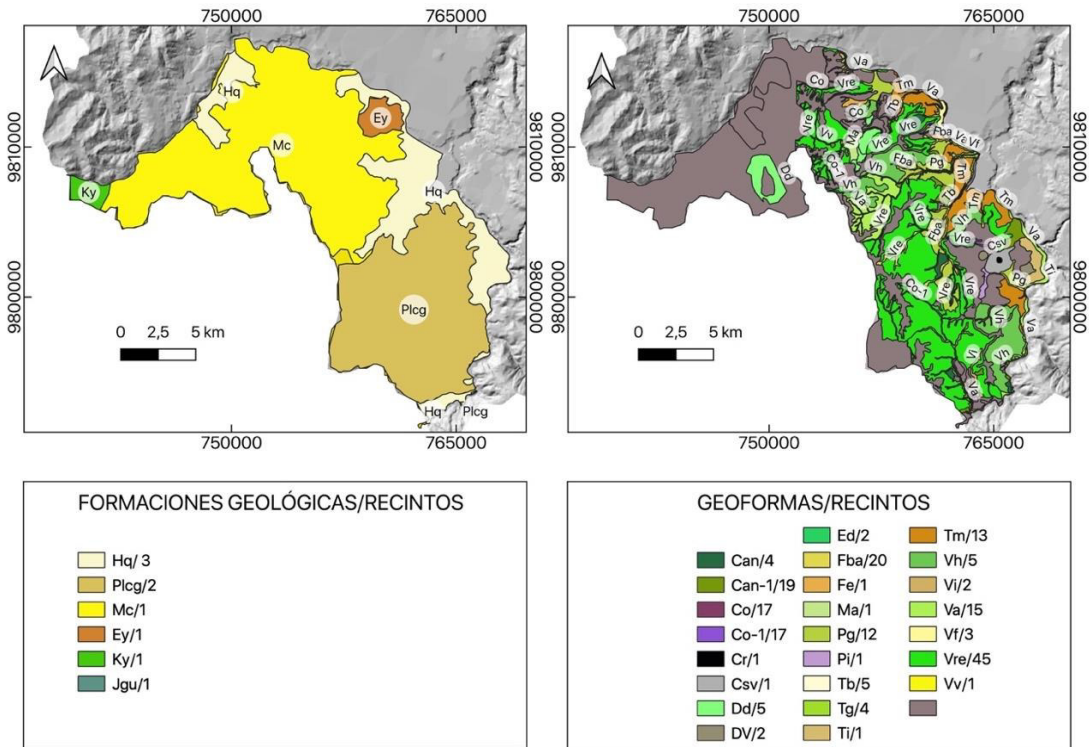


Ilustración 4-36 Zona 9. Diversidad litológica (lado izquierdo), diversidad geomorfológica (lado derecho).

En general, la frecuencia de clases es baja en las 9 zonas de la CBRCH, como se puede apreciar en la tabla 33, el promedio los valores de Fc son menores o iguales a 0,1, a excepción de la zona 8 que por su área de menor tamaño presenta un Fc de 0,68 a pesar de que ninguna de sus clases se repita.

Tabla 33 Frecuencia de clase promedio de las 9 zonas.

ZONA	LITOLOGÍA		GEOMORFOLOGÍA	
	Suma de recintos	Fc	Suma de recintos	Fc
1	16	0,002	101	0,008
2	5	0,007	271	0,074
3	19	0,004	244	0,018
4	13	0,021	150	0,182
5	14	0,010	102	0,023
6	10	0,012	57	0,031
7	2	0,057	8	0,115
8	3	0,676	2	0,676
9	10	0,003	198	0,026

4.4.3. SUPERFICIE ACUMULADA DE CLASES

Para el cálculo de la superficie acumulada de clases se ordenó los valores de mayor a menor de la superficie relativa de clases (Anexo G), mediante el análisis de gráficos de barras para obtener la curva de superficie acumulada de clase (Ilustración 4-37, 4-38).



Ilustración 4-37 Tendencia de clases litológicas de la zona 1 y 2

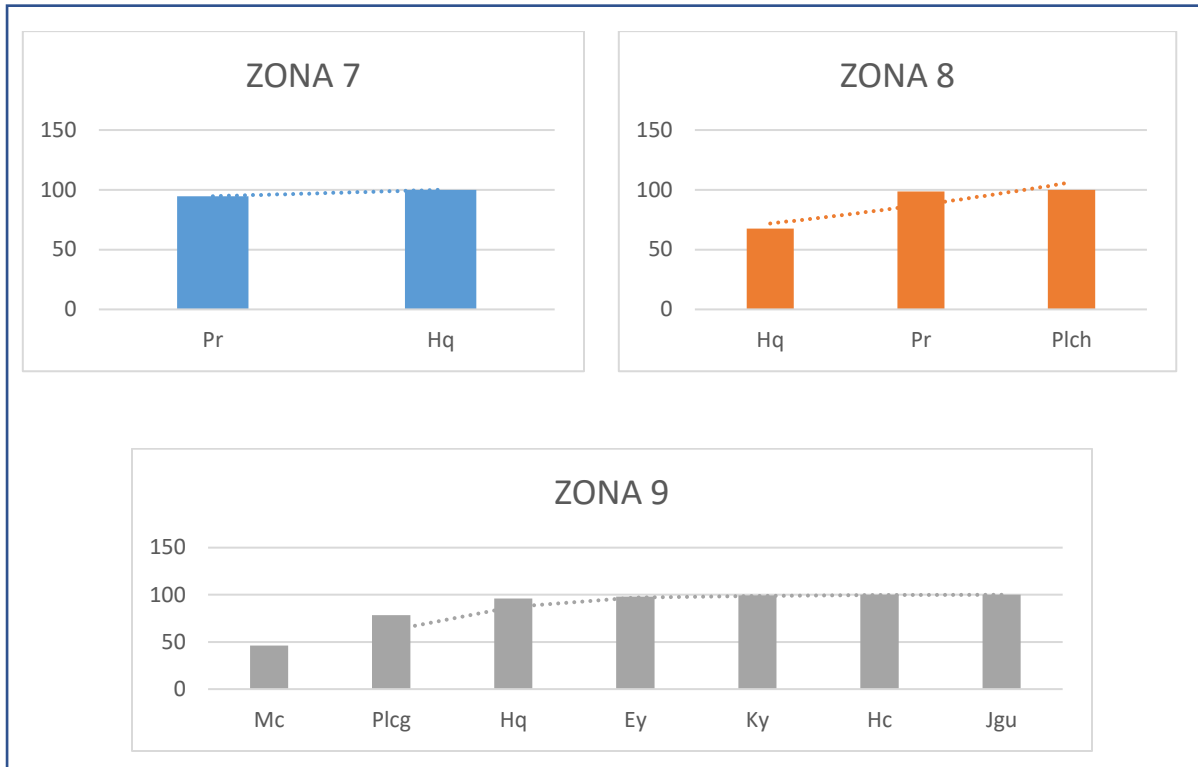


Ilustración 4-38 Tendencia de clases litológicas de la zona 3 a la 9

De acuerdo con el apartado 3.5.5 en el que se presentan los patrones de Geodiversidad, la tendencia de las curvas de superficie acumulada de las Ilustraciones 4-38, 4-39, 4-40, 4-41 son de rectas o curvas asintóticas, siendo así que las zonas 1,5,7 y 8 tienen una tendencia lineal señalando que el área de cada clase se asemeja, mientras que las zonas 2,3,4,6 y 9 poseen una línea de tendencia curva cóncava, lo que indica que predomina una sola clase en el área.

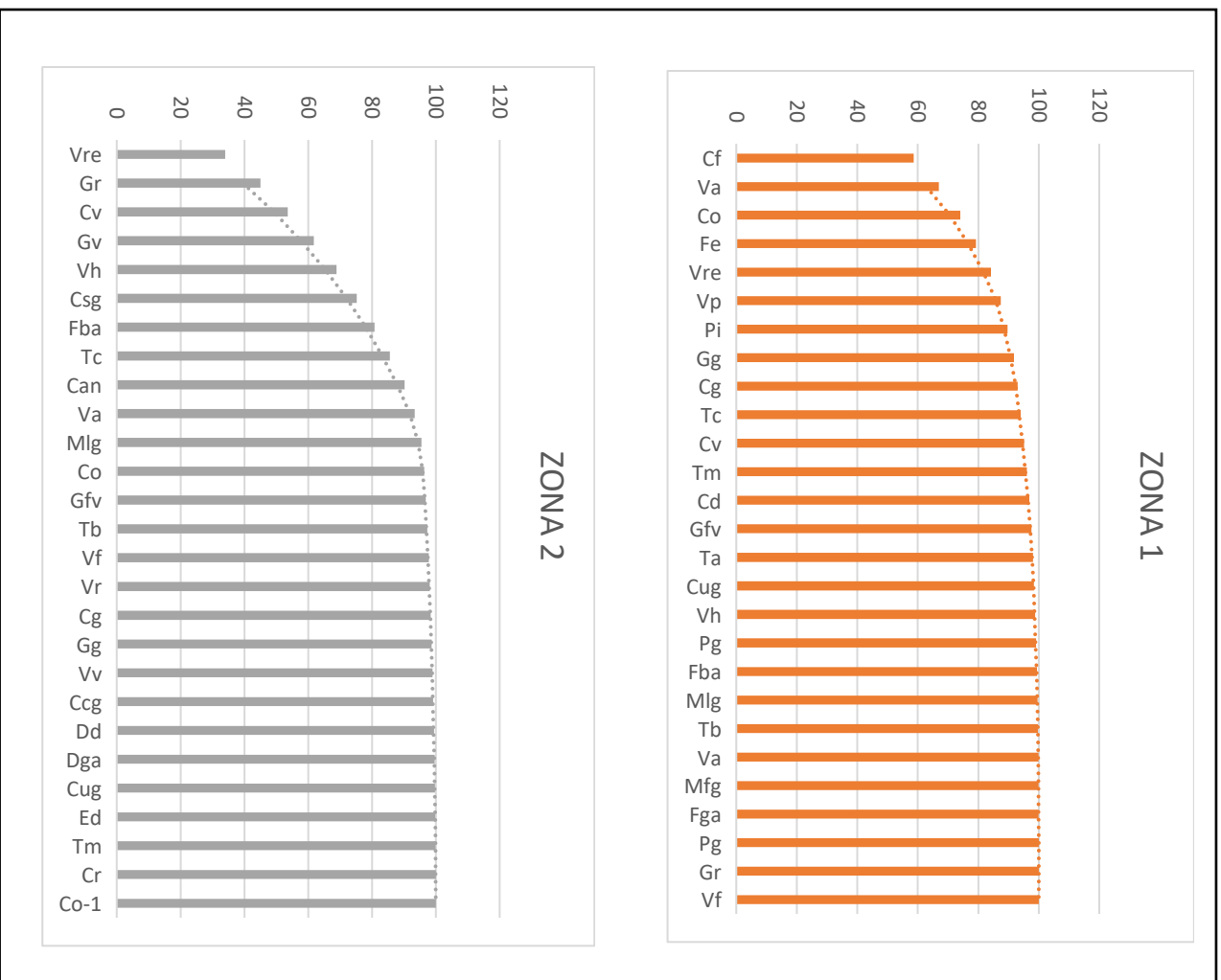


Ilustración 4-39 Tendencias de clases morfológicas de la zona I y 2

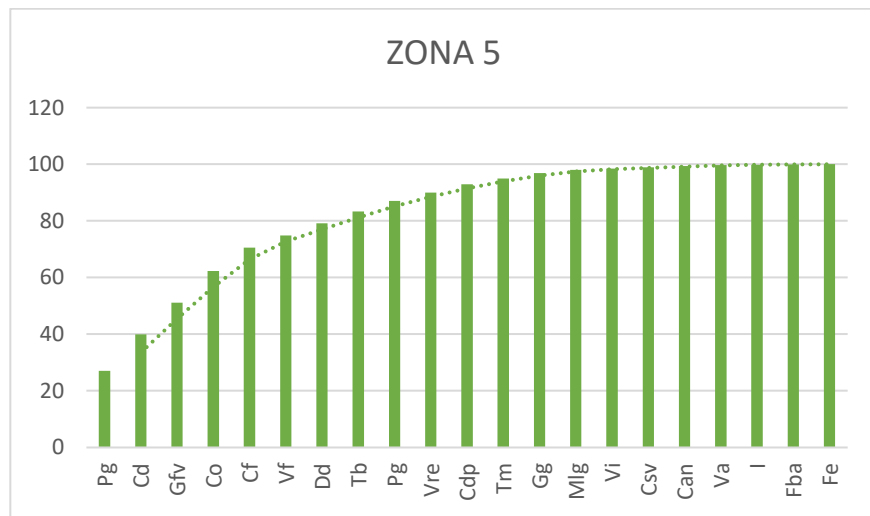
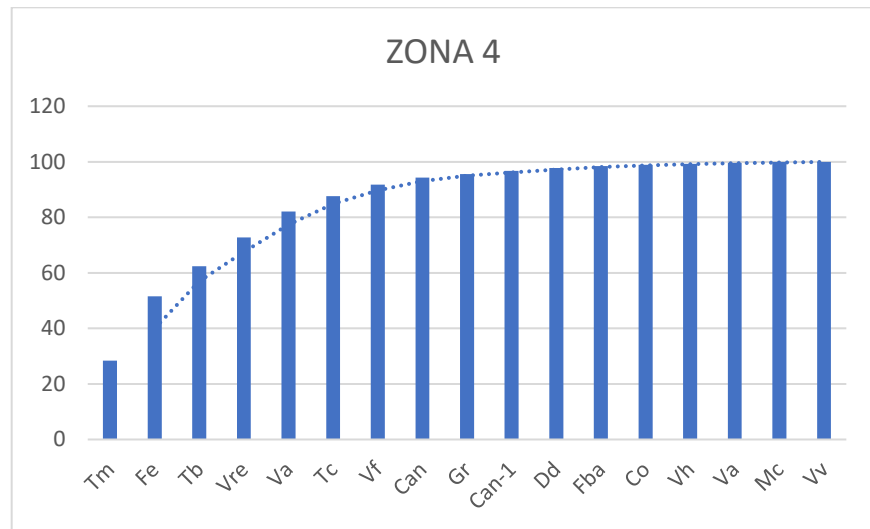
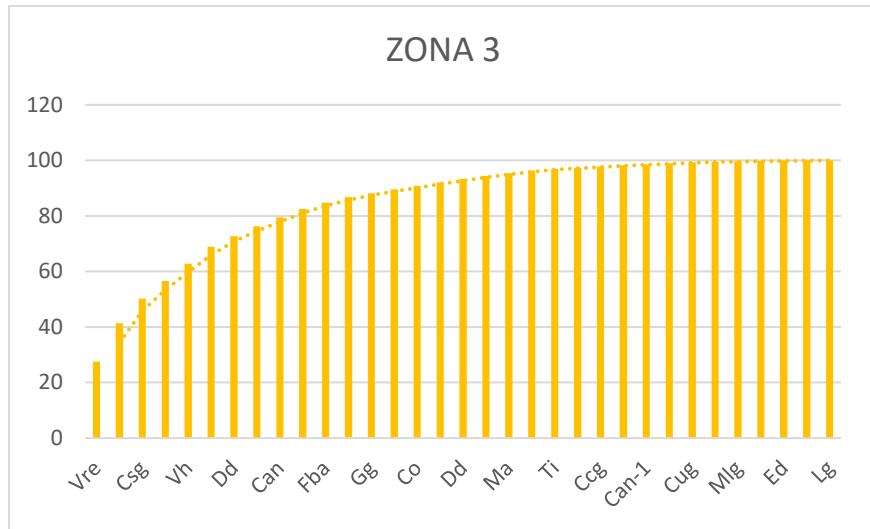


Ilustración 4-40 Tendencias de clases morfológicas de la 3 a la 5



Ilustración 4-42 Tendencia de clases de la zona 6 a la 9

Para todas las zonas a excepción de la zona 7 y 8 se tiene que el resultado de la superficie acumulada es una curva asintótica con la horizontal, lo que indica que existe una clase que predomina en cada una de las zonas. Las zonas 7 y 8 áreas urbanas presentan 4 y 2 clases, respectivamente, lo que indica que el área de las clases es similar.

4.4.4. DISTRIBUCIÓN

La distribución de las clases en el área de estudio se analizó con el grado de fragmentación Gf, siendo así que en la zona 8 donde se tiene 3 recintos litológicos en un área de 1,48 Km² se tiene un grado de fragmentación alto de 2,03 indicativo de que existe una heterogeneidad en la distribución de las clases, mientras que en el resto de las zonas presenta un grado de fragmentación bajo <1, es decir, existe un cierto grado de homogeneidad (Tabla 33).

Tabla 34 Grado de fragmentación

ZONAS	Área (Km ²)	LITOLOGÍA		GEOMORFOLOGÍA	
		r	Gf	r	Gf
1	458,61	16	0,04	101	0,29
2	136,44	5	0,04	271	1,99
3	405,34	19	0,05	244	0,60
4	48,6	13	0,27	150	3,09
5	201,96	14	0,07	98	0,49
6	130,03	10	0,08	57	0,44
7	17,42	2	0,12	8	0,46
8	1,48	3	2,03	2	1,35
9	290,6	10	0,03	198	0,68

Por otro lado, en lo que se refiere a geodiversidad morfológica las zonas 2, 4, 8 y 9 presentan altos grados de fragmentación lo que indica que existe un alto grado de heterogeneidad, la zona 3 presenta un grado de fragmentación de 0,85, es decir, es más o

menos homogénea. Las zonas 1, 5, 6 y 7 presentan bajos grados de fragmentación menores a 0,5, indicado una homogeneidad en su distribución (Tabla 34).

4.4.5. PATRONES DE GEODIVERSIDAD

Analizando los resultados de los factores que determinan la geodiversidad se puede determinar que la Geodiversidad intrínseca, la frecuencia de clases y el grado de fragmentación es únicamente alto (>1) para la zona 3 por lo que se determina que pertenece al patrón número 14 que indica una alta Geodiversidad en la zona (Tabla 35).

Tabla 35 Geodiversidad intrínseca total y, grado de fragmentación total

ZONAS	ÁREA (Km ²)	Clases	Recintos	Gi	Gf
1	458,61	26	117	0,06	0,26
2	136,44	10	276	0,07	2,02
3	405,34	29	263	0,07	0,65
4	48,6	22	163	0,45	3,35
5	201,96	21	112	0,10	0,55
6	130,03	14	67	0,11	0,52
7	17,42	4	10	0,23	0,57
8	1,48	5	5	3,38	3,38
9	290,6	17	208	0,06	0,72

Las zonas 2 y 4 presentan un grado de fragmentación alto >1 , la frecuencia de clase en ambos casos es baja, la zona dos y la zona 2 presentan inequifrecuencia, , por lo que a la zona dos se le asigna el patrón número 8 lo que indica una buena variedad paisajística que se puede presentar por actividad tectónica. La zona 3 presenta un grado de fragmentación cercano a la unidad por lo que se le atribuye un grado de fragmentación alto, con una frecuencia de clase inequifrecuencial por lo que también pertenecería al patrón 8.

Las zonas 1, 5, 6, 7 y 9 poseen un grado de fragmentación y geodiversidad intrínseca bajo, por lo que su patrón puede variar del 1 al 4 que indica que existe una gran cantidad de

depósitos superficiales cuaternarios, ocasionalmente puede corresponder a zonas con afloramientos ígneos que han sufrido procesos erosivos (Carcavilla et al., 2007) (Tabla 34).

4.5. CORRELACIÓN ENTRE LA GEODIVERSIDAD Y LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCESIONES

El basamento de la CBRCH está conformado por unidades tanto de la Cordillera Real como de la Cordillera Occidental, dichas unidades se encuentran divididas por fallas regionales como el sistema de fallas Peltetec (Yáñez, 2016). Spikings et al (2000; 2001) reportan tasas de exhumación considerables que se generaron durante del Eoceno en la Cordillera Occidental lo que produjo el depósito de material sedimentario.

Durante el Mioceno Tardío, la llegada y subducción de la cordillera asísmica de Carnegie (Rigde) produjo una compresión en el antearco y en la región Interandina lo que generó el desarrollo de las cuencas del Valle Interandino, dando inicio a la concentración de la actividad volcánica (Winkler et al., 2005). La actividad del volcán Igualata marca el inicio del volcanismo en la CBRCH, la cual se depositó sobre secuencias fluvio-lacustres y volcanoclásticas de la Unidad Riobamba. La depositación de la Formación Igualata generó la acumulación de aluviones y terrazas aluviales que influyó en la variación del nivel de los ríos Guano y Chambo (Salguero, 2017) (Ilustración 4-43).

El Pleistoceno tardío marca el inicio de la actividad volcánica del Chimborazo, un colapso de este edificio, ocasionado por un sistema de fallas hace 50 y 60 ka aproximadamente, llegó hasta el río Chambo, la acumulación del material volcánico generó que el nivel del agua suba y permita que se forme una potente terraza aluvial (Unidad Chambo). La actividad volcánica del Chimborazo ha continuado durante el Holoceno y se ha evidenciado un evento eruptivo importante cada mil años, a lo largo de los últimos 5000 años (Barba 2008).

Bustillos (2008) señala que el volcán El Altar mantuvo una actividad volcánica activa durante el Plio-Pleistoceno hasta el Pleistoceno medio, mientras que el volcán Tungurahua inició su actividad volcánica desde el Pleistoceno Medio a Superior y se lo considera como uno de los volcanes más activos del país en la actualidad.

PERÍODO ÉPOCA	FORMACIONES GEOLÓGICAS	UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Holoceno	Coluvial		
Pleistoceno	Hq Depósitos Cuaternarios		
	Plvt Volcánicos Tungurahua	Acuífero Yaruquíes	Lavas
	Plch Volcánicos Chimborazo	Acuífero Llío_Guano	
	Plcg Formación Cangahua		
	Plva Volcánicos El Altar	Acuífero Cubijjés?	Brechas volcánicas
	Pluc Unidad Chambo		
	Plvi Formación Igualata		Ceniza compactada
Plioceno	Pr Formación Riobamba	Acuífero Riobamba	Brechas volcánicas
Mioceno	Mc Formación Cizarán	Acuífero Llío_Guano	Sedimentos volcanoclásticos
Eoceno	Ey Formación_Yaruquíes	Acuífero Yaruquíes	Conglomerados andesíticos
	Ea Sedimentos Apagua		
Cretácico	Ky Formación Yunguilla		
Jurásico	Jpe Unidad Peltetec		
	Jrd Unidad Río Daldal		
	Jma Unidad Maguazo	BASAMENTO	BASAMENTO
	Jgu Unidad Guamote		
	Jsp Unidad San Pablo Sali		
	Jap Unidad Alao Paute		
	Gd Granodiorita Pungalá		

Ilustración 4-43 Columna estratigráfica generalizada de la CBRCH. Se presentan las unidades hidrogeológicas que constituyen acuíferos de acuerdo con Procel (2018). Modificado de Núñez, 2020.

En la zona 1 se encuentran los volcanes Chimborazo e Igualata que alcanzan alturas de 6228 m.s.n.m. y 4430 m.s.n.m. respectivamente, el punto más bajo está a 2480m.s.n.m en el cauce del río Chambo límite entre el final de la zona 1 y comienzo de la zona 4. En esta área predominan las Formaciones que poseen una porosidad primaria. Aquí se encuentran 219 concesiones destinadas para consumo humano (102), riego (86), abrevaderos (28), acuicultura (1), industria (1) y generación de energía (1). La zona 1 posee el área más grande de la zona con 459km² y 10 clases litológicas las cuales no se repiten ya que predominan los volcánicos Igualata y los volcánicos Chimborazo (Tabla 36; Ilustración 4-44).

Tabla 36 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 1 y el número de concesiones total

ZONA	CONCESIONES	FORMACIÓN GEOLÓGICA	SIMBOLOGÍA	POROSIDAD
1	219	Depósitos Cuaternarios	Hq	Primaria
		Volcánicos Tungurahua	Plvt	Primaria/ Secundaria
		Volcánicos Chimborazo	Plch	Primaria/ Secundaria
		Formación Cangahua	Plcg	Primaria
		Unidad Chambo	Pluc	Primaria
		Volcánicos Igualata	Plvi	Primaria
		Formación Riobamba	Pr	Primaria
		Formación Cizarán	Mc	Primaria/ Secundaria
		Sedimentos Apagua	Ea	Primaria
		Formación Yunguilla	Ky	Primaria

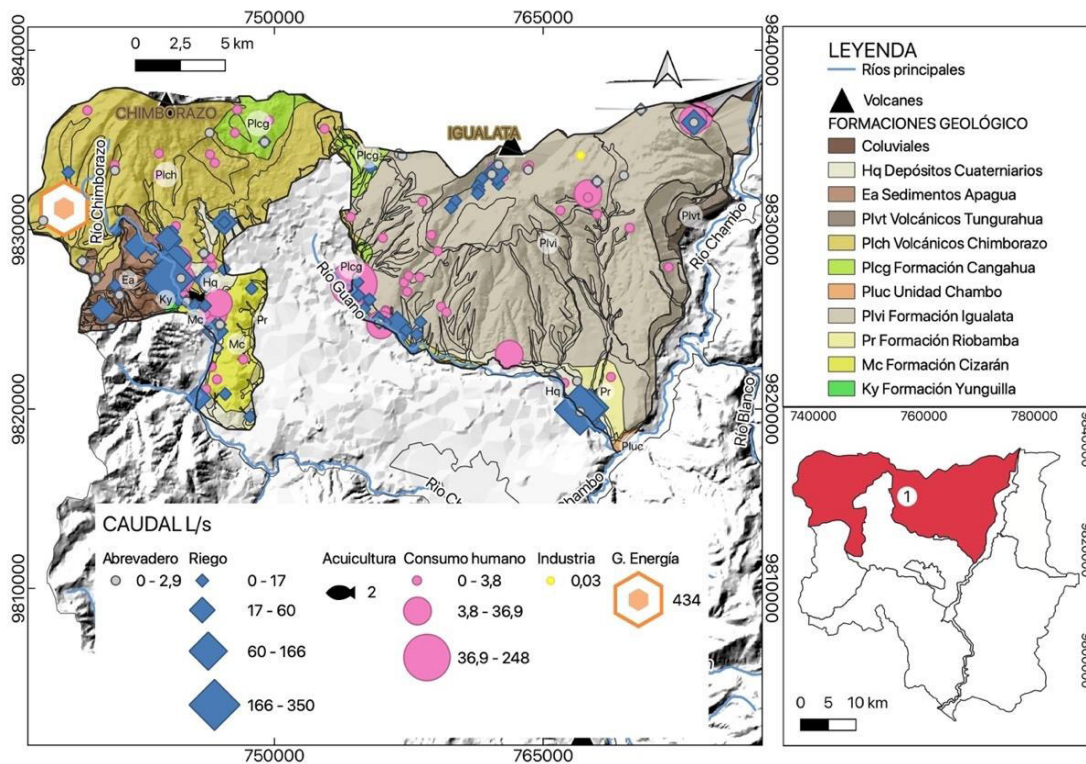


Ilustración 4-44 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 1

Por su parte en el área dos se encuentra el estratovolcán Tungurahua con una altura de 5020 m.s.n.m., el cual presenta actividad volcánica a partir del Pleistoceno hasta la actualidad y ha ido generando 3 edificios volcánicos conocidos como Tungurahua I, II y III (Hall et al., 1999), siendo Tungurahua III el cono actual. Tungurahua I se desestabilizó debido a un cripto-domo lo que produjo el cese de la actividad volcánica y una avalancha de escombros que relleno el valle del río Chambo represando fragmentos de los ríos Chambo y formando una potente terraza aluvial (Unidad Chambo) (Salguero, 2017). Predominando las geoformas de laderas y de origen volcánico.

En esta zona se tiene 127 concesiones distribuidas para consumo humano (49), riego (32), abrevaderos (32), acuicultura (3) e industria (1) (Tabla 37; Ilustración 4-45). Aquí se presenta una geodiversidad media según el método propuesto por Carcavilla et al (2007), con 5 Formaciones geológicas y 27 geoformas de origen glacial, volcánico y fluvial.

Tabla 37 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 2 y el número de concesiones total

ZONA	CONCESIONES	FORMACIÓN GEOLÓGICA	SIMBOLOGÍA	POROSIDAD
		Volcánicos Tungurahua	Plvt	Primaria/ Secundaria
2	127	Volcánicos El Altar	Plva	Primaria/ Secundaria
		Unidad Chambo	Pluc	Primaria
		Unidad Peltetec	Kpe	Primaria
		Unidad San Pablo de Sali	Jsp	Secundaria

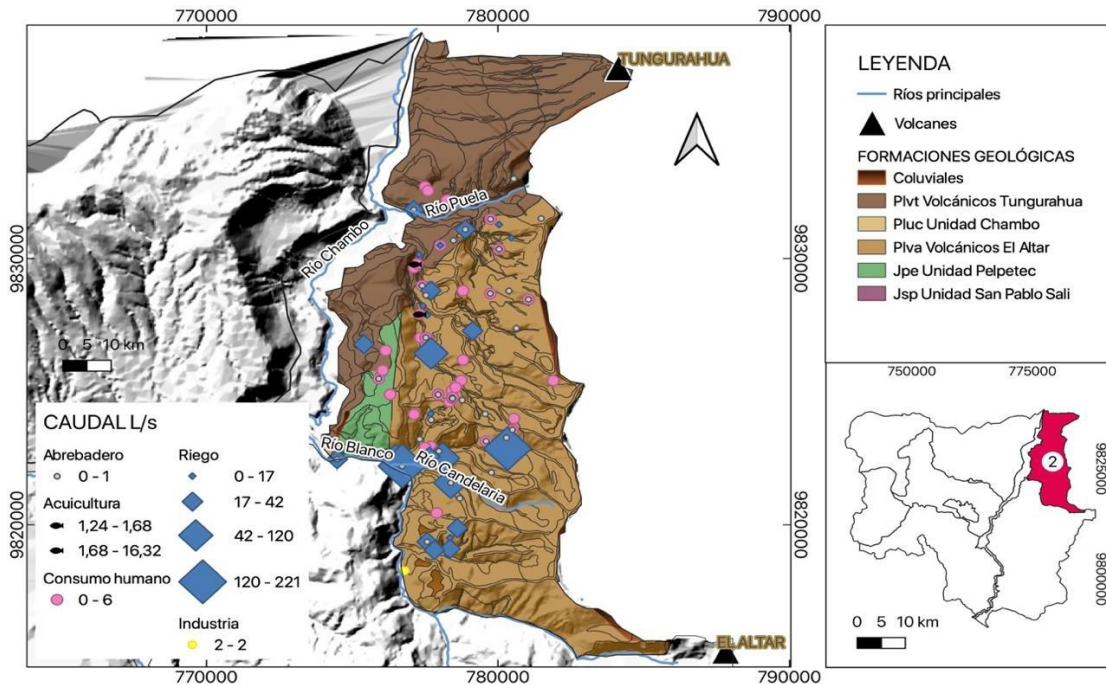


Ilustración 4-45 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 2

En la zona 3 se encuentran las evidencias del basamento de la Cordillera Real siendo así que lo conforman las Unidades Guamote, Río Daldal, San Pablo de Sali y Alao Paute, además cerca al río Chambo se puede encontrar aflorando la granodiorita de Pungalá. Al oriente se tiene la presencia del volcán El Altar que se ubica a 5319 m.s.n.m. el cual crea un contexto morfológico de construcciones de estratovolcán y sus formas asociadas de tipo fluvial, laderas, glaciar y periglacial, y volcánico. Aquí se cuenta con 393 concesiones del cual el caudal concesionado es aprovechado principalmente de las fuentes superficiales, los ríos principales. Se cuenta con un total de 393 concesiones para consumo humano (154), riego (153), abrevaderos (79), acuicultura (3), generación de energía (2), industria (1) y actividades turísticas (1) (Tabla 38; Ilustración 4-46). La zona 3 presenta una geodiversidad media ya que aquí se encuentran Formaciones del basamento principalmente.

Tabla 38 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 3 y el número de concesiones total

ZONA	CONCESIONES	FORMACIÓN GEOLÓGICA	SIMBOLOGÍA	POROSIDAD
3	393	Depósitos Cuaternarios	Hq	Primaria
		Volcánicos El Altar	Plva	Primaria/ Secundaria
		Formación Cangahua	Plcg	Primaria
		Unidad Chambo	Pluc	Primaria
		Unidad Peltetec	Kpe	Primaria
		Unidad Guamote	Jgu	Secundaria
		Unidad Río Daldal	Jrd	Secundaria
		Unidad San Pablo de Sali	Jsp	Secundaria
		Unidad Alao Paute	Jap	Secundaria
		Granodiorita	Gd	Secundaria

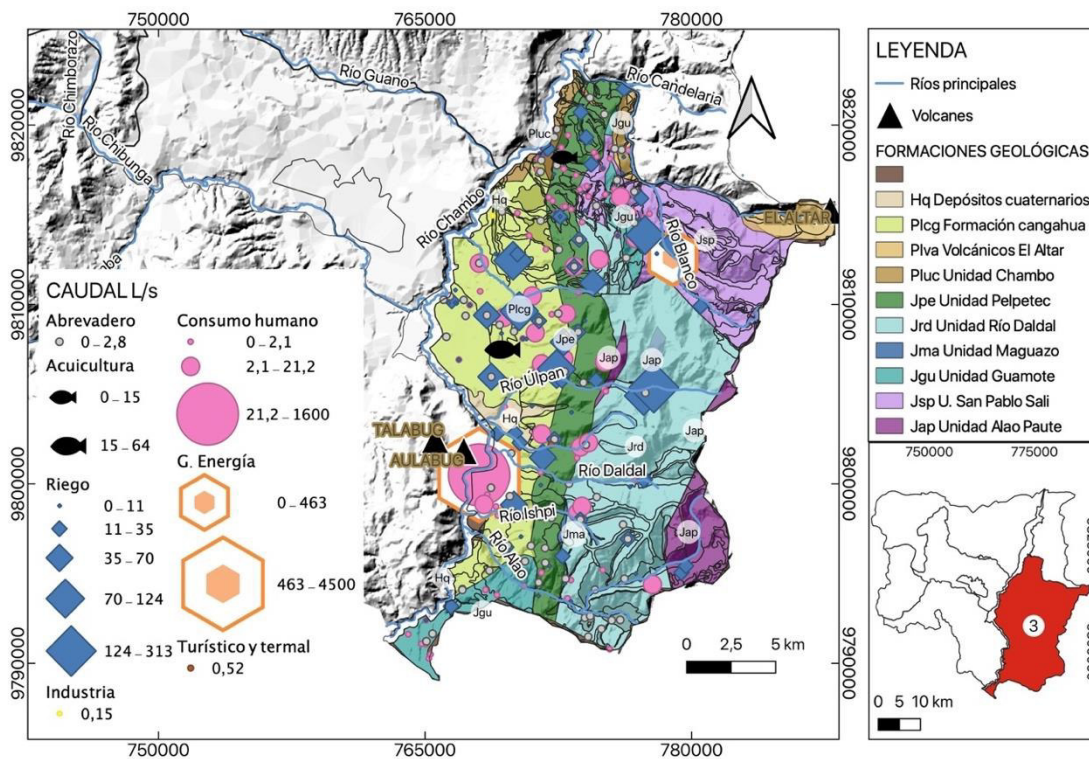


Ilustración 4-46 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 3

La zona 4 se refiere a la región de menor altitud de la CBRCH con 2480 m.s.n.m., la zona de confluencia del río Chambo, por lo que aquí predomina la morfología de tipo fluvial y poligenética. La geodiversidad es media-alta debido a que tiene un grado de fragmentación mayor a la unidad es decir el número de recintos es mayor al área. Se tiene 36 concesiones aprovechadas para consumo humano (17), riego (13), abrevaderos (5) e industrias (1)

(Tabla 39; Ilustración 4-47). La zona 4 posee una geodiversidad media-alta ya que aquí afloran Formaciones del Jurásico y Cretácico parte del basamento y los depósitos volcano-sedimentarios.

Tabla 39 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 4 y el número de concesiones total

ZONA	CONCESIONES	FORMACIÓN	SIMBOLOGÍA	POROSIDAD
4	36	Depósitos Cuaternarios	Hq	Primaria
		Volcánicos Tungurahua	Plvt	Primaria/ Secundaria
		Formación Cangahua	Plcg	Primaria
		Unidad Chambo	Pluc	Primaria
		Volcánicos Igualata	Plvi	Primaria
		Formación Riobamba	Pr	Primaria
		Unidad Peltetec	Kpe	Primaria
		Unidad Guamote	Jgu	Secundaria
		Granodiorita	Gd	Secundaria

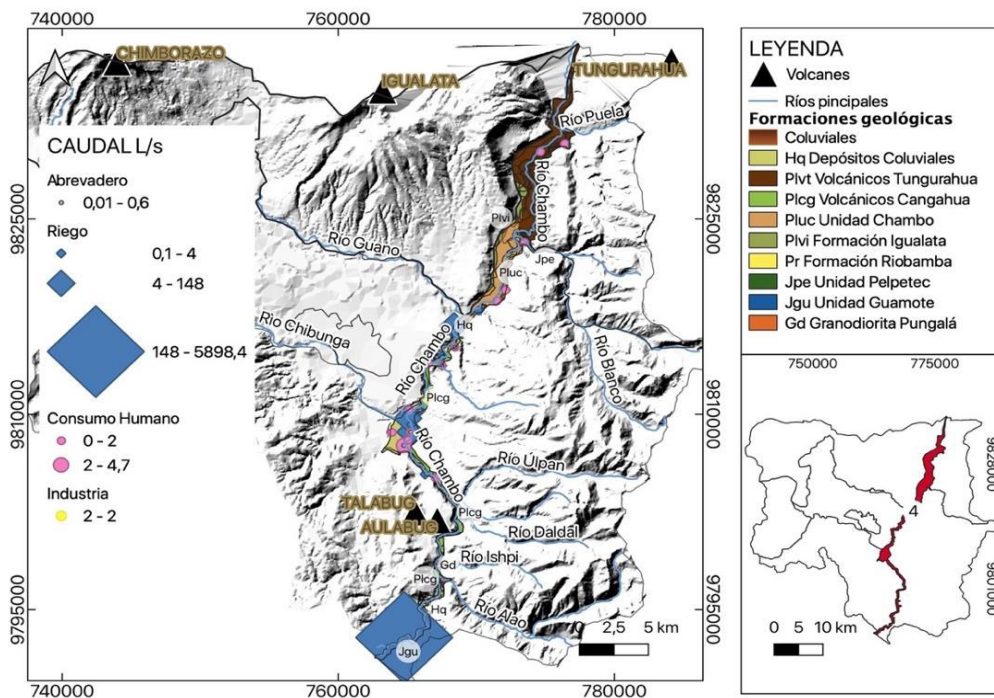


Ilustración 4-47 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 4

Esta zona 5 está dominada por las pendientes bajas a medias de 2-7%, predominando las geoformas de laderas y fluviales rodeando la zona. Aquí se encuentran los depósitos volcano-sedimentarios de la CBRCH que poseen una porosidad primaria. Se presentan 204 concesiones empleadas para consumo humano (100, el 95% obtenido de fuentes subterráneas), riego (73, obtenidas principalmente del río Chibunga y río Guano), abrevaderos (26), acuicultura (2), uso turístico (1) e industria (1) (Tabla 40; Ilustración 4-48). La zona 5 netamente presenta 7 Formaciones en la cual predomina notablemente la Formación Riobamba por lo que se determina una geodiversidad baja.

Tabla 40 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 5 y el número de concesiones total

ZONA	CONCESIONES	FORMACIÓN GEOLÓGICA	SIMBOLOGÍA	POROSIDAD
5	203	Depósitos Cuaternarios	Hq	Primaria
		Formación Cizarán	Mc	Primaria/ Secundaria
		Unidad Chambo	Pluc	Primaria
		Volcánicos Igualata	Plvi	Primaria
		Formación Riobamba	Pr	Primaria
		Formación Cangahua	Plcg	Primaria
		Volcánicos Chimborazo	Plch	Primaria/ Secundaria

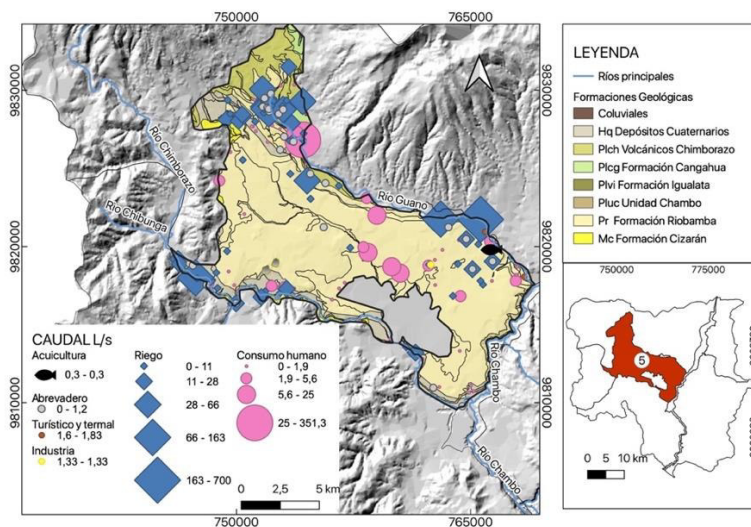


Ilustración 4-48 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 5

La zona 6 forma parte de la Cordillera Occidental conformada por bloques oceánicos acrecionados (Vallejo, 2009), se encuentra limitada al E por el sistema de fallas Peltetec con dirección NNE-SSW. Aquí se tienen 372 concesiones obtenidas principalmente de vertientes, 172 de dichas concesiones se destinan para riego, 131 para consumo humano, 64 para abrevaderos y 3 para uso industrial (Tabla 41; Ilustración 4-49). La zona 6 presenta una baja geodiversidad debido a que en 130 km² solamente se presentan 4 Formaciones geológicas.

Tabla 41 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 6 y el número de concesiones total

ZONA	CONCESIONES	FORMACIÓN GEOLÓGICA	SIMBOLOGÍA	POROSIDAD
		Depósitos Cuaternarios	Hq	Primaria
6	329	Formación Cizarán	Mc	Primaria/ Secundaria
		Sedimentos Apagua	Ea	Primaria
		Formación Yunguilla	Ky	Primaria

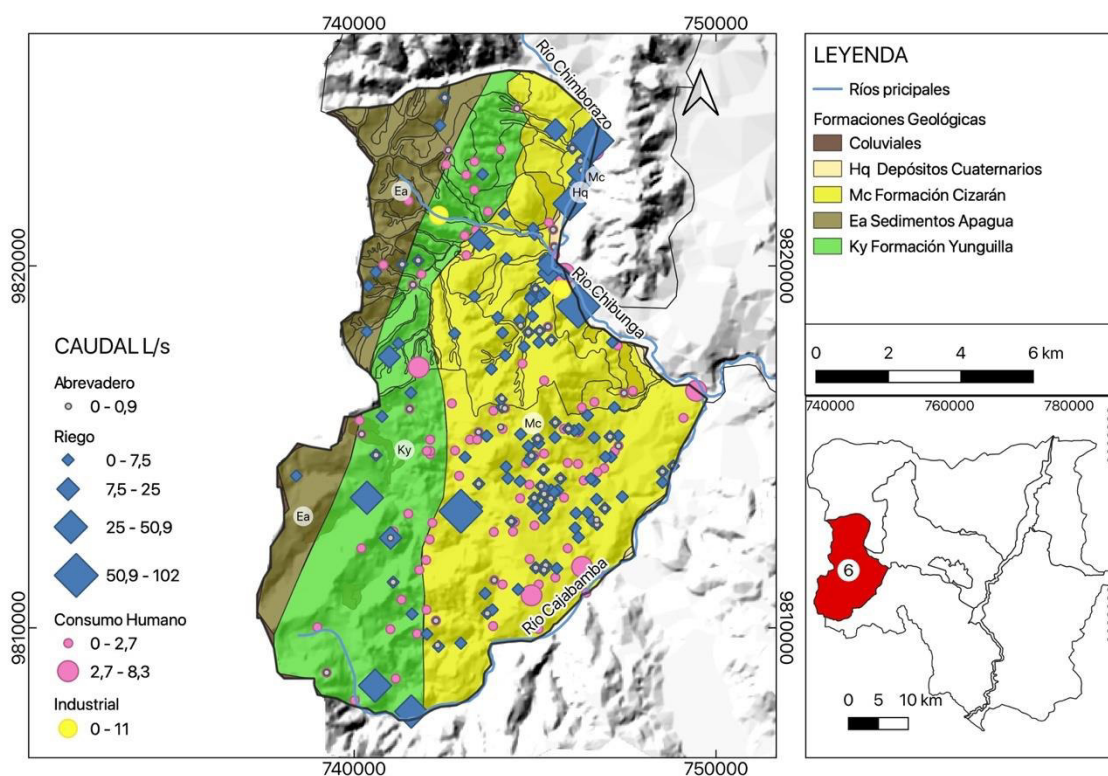


Ilustración 4-49 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 6

Las zonas 7 y 8 corresponden al área urbana de Riobamba y Guano respectivamente. En la zona 7 se cuenta con la presencia de un valle fluvial debido a la afluencia del río Chibunga, mientras que en la zona 8 se cuenta con terrazas aluviales debido al paso del río Guano. En Riobamba se cuenta con 8 concesiones destinadas para industria (2), consumo humano (2), riego (2), abrevadero (1) y uso turístico (1). Mientras que en Guano se tiene netamente 4 concesiones 3 para riego y 1 para uso industrial (Tabla 42; Ilustración 4-50). La zona 8 al contar con la menor área que presenta una mayor geodiversidad, mientras que la zona 7 presenta una baja geodiversidad al no presentar una variedad en geoformas ni litologías.

Tabla 42 Resumen de las Formaciones Geológicas en la zona 7 y 8 y el número de concesiones total

ZONA	CONCESIONES	FORMACIÓN GEOLÓGICA	SIMBOLOGÍA	POROSIDAD
7	8	Depósitos Cuaternarios	Hq	Primaria
		Formación Riobamba	Pr	Primaria
8	4	Depósitos Cuaternarios	Hq	Primaria
		Formación Riobamba	Pr	Primaria
		Volcánicos Chimborazo	Plch	Primaria/ Secundaria

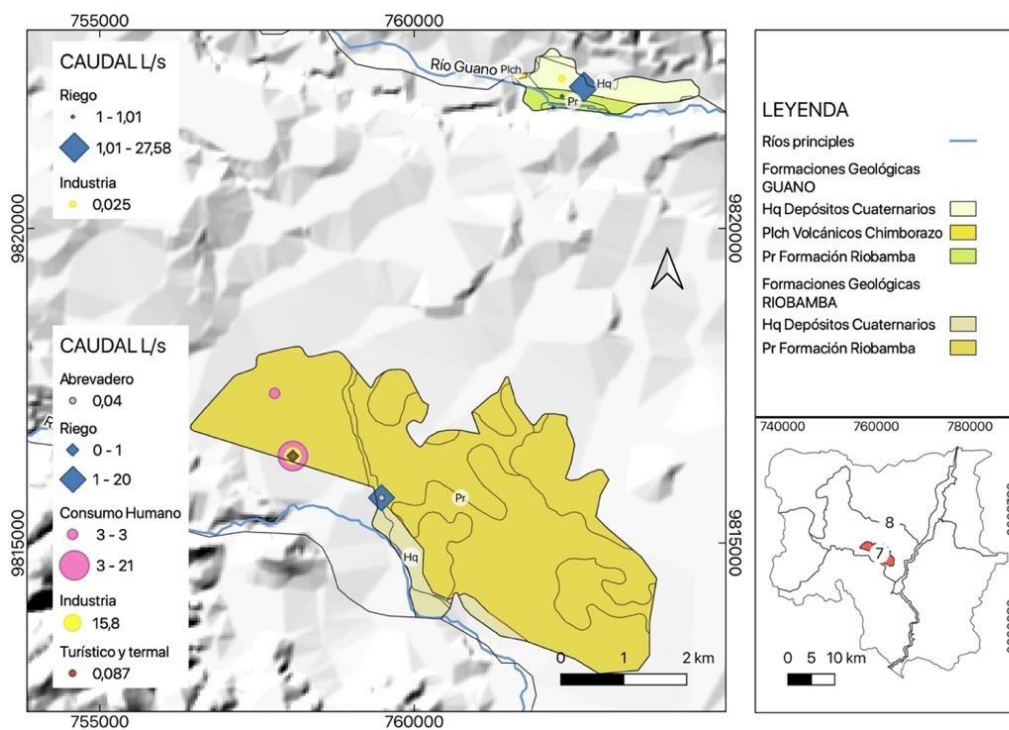


Ilustración 4-50 Correlación entre la morfología, litológica y concesiones en la zona 7 y 8

En la ilustración 4.52 se puede observar que en general el lado oriental de la CBRCH es más geodiverso que el occidental, al norte (zona 2) tenemos la presencia de volcanismo reciente del volcán Tungurahua lo que produce geoformas de origen volcánico y de ladera, al sur (zona 3) se tiene afloramientos que relatan la geología del Ecuador del Jurasico y Cretácico, además de una red fluvial caudalosa formada por los ríos principales de la CBRCH: Puela, Blanco, Ulpán, Daldal, Maguazo, Alao y la Quebrada Ishpi. En el lado oriental predominan las concesiones obtenidas de aguas superficiales para los diferentes usos de agua siendo así que cerca del 90% del caudal concedido proviene de ríos, quebradas y acequias, las concesiones se destinan principalmente para riego, para consumo humano e hidroeléctricas.

En el lado occidental de la cuenca se presenta las zonas con geodiversidad baja, las tres zonas que poseen una menor geodiversidad son la zona 1, zona 9 y zona 6. En la zona 9 predomina la Formación Cizarán, la Formación Cangahua y los Depósitos Cuaternarios, en la zona 6 predomina el basamento que se encuentra en la Cordillera Occidental, mientras que en la zona 1 los volcánicos del Chimborazo y del Igualata. La zona 8 presenta una alta geodiversidad debido a que su área es de 1,48 Km², una superficie muy pequeña la cual está dividida por el río Guano. En las zonas de pendientes bajas, la zona 5 y 8 se presenta una geodiversidad baja dada por la ausencia de geoformas en cantidad, en el área urbana de Riombamba se destina una gran cantidad de agua para uso industrial con 3040 L/s, en la zona 5 por su parte se destina gran cantidad para riego provenientes de los ríos que lo limitan con otras zonas (río Guano, río Chibunga, río Chambo y río Chimborazo), siendo así que la disponibilidad hídrica aumento en la zona 5 debido al aumento de agua concesionada para riego.

La zona 6 presenta una gran cantidad de concesiones (329) sin embargo dichas concesiones no presentan un caudal significativo y el 87% de estas son extraídas de fuentes subterráneas como pozos y vertientes.

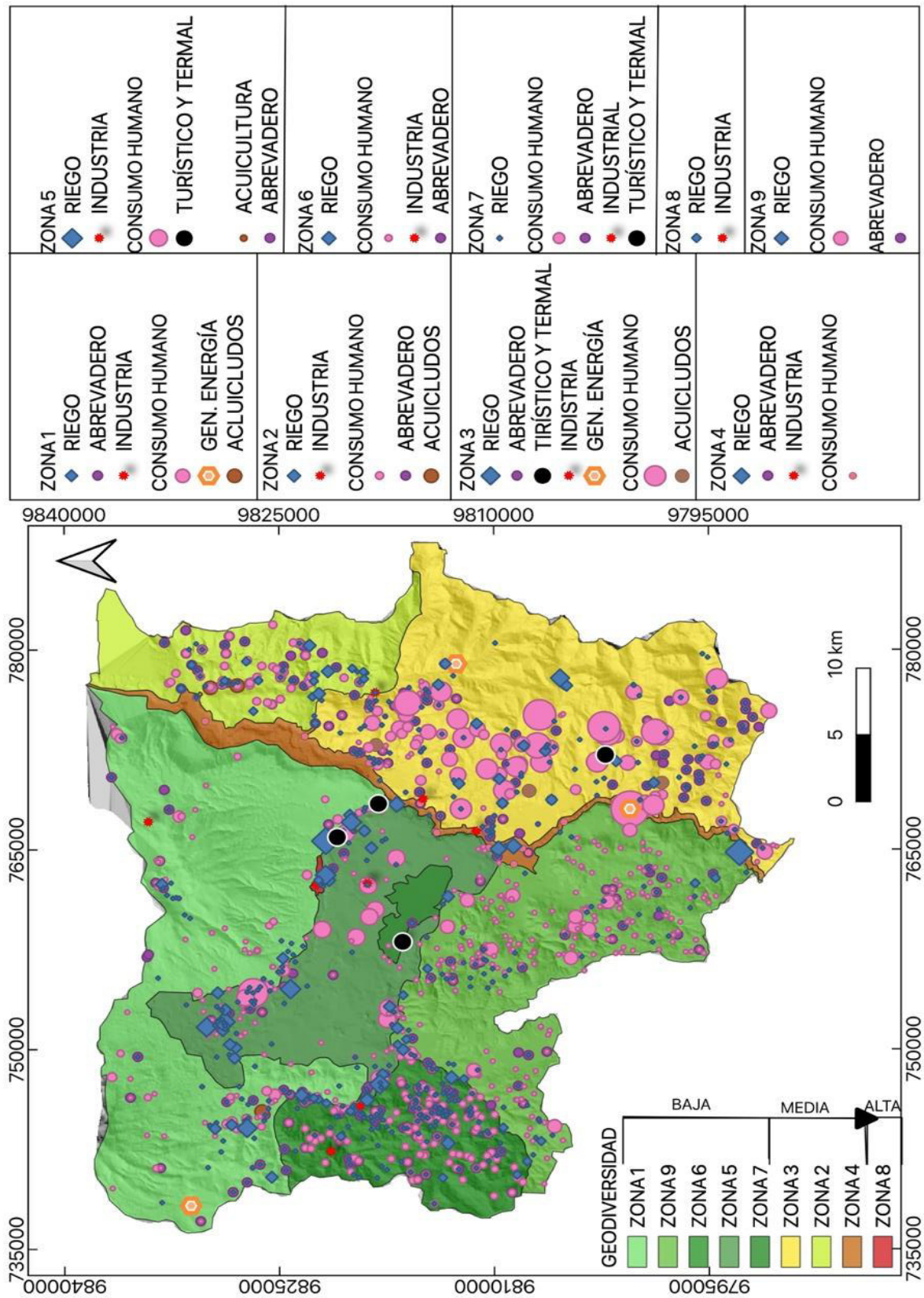


Ilustración 4-52 Mapa de la geodiversidad

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En la base de datos de la SENAGUA del año 2019 se registraron un total de 1663 concesiones distribuidas alrededor de toda la cuenca baja del río Chambo, dichas concesiones suman un caudal de 25889 L/s, que se utilizan para 7 aprovechamientos diferentes entre los cuales están: consumo humano, riego, abrevadero, industrial, acuicultura, generación de energía (hidroeléctricas), turístico y termal.
- Los caudales obtenidos para satisfacer la demanda hídrica son obtenidos de acequias, canales, Ciénegas/pantanos/humedales, lagos/lagunas, galerías, pozos, quebradas, remanentes, ríos y vertientes/manantiales/acuíferos. Estas fuentes se dividieron, siendo así que de las 1663 concesiones el 20% pertenece a fuentes superficiales y el 80% a fuentes subterráneas.
- El río Chambo divide a la red hidrográfica en dos, los ríos orientales están conformados por los ríos: Puela, Blanco, Ulpán, Daldal, Maguazo, Alao y la quebrada Ishpi, mientras que la zona occidental alberga a los ríos Guano, Chibunga, Chimborazo y Cajabamba. El área del río Chambo y sus alrededores tiene pendientes bajas (<2%) lo que hace que todos los ríos de la zona confluyan allí.
- La CBRCH se dividió en 9 zonas tras un análisis geomorfológico, hidrológico y geológico. Para ello se realizó mapas de pendientes, uso de suelo, distribución de la red hídrica y concentración de las concesiones de agua. En la zona 1 se encuentran los volcanes Chimborazo e Igualata que al alcanzar alturas de 6268 m.s.n.m. y 5032 m.s.n.m. respectivamente, presenta pendientes altas (>7%). La zona 2 está al NE de la cuenca, allí se encuentra el volcán Tungurahua con una altura de 5023 m.s.n.m., separando a la zona oriental en dos se encuentra el río Blanco que separa la zona 2 de la zona 3, dentro de esta zona se concentran los ríos orientales que aportan un caudal significativo a la cuenca. La zona 4

considerada como zona de descarga está conformada por el río Chambo que fluye de N a S. La zona 5 es una zona de asentamientos con pendientes bajas que se concentra en el centro de la cuenca. El río Cajabamba presenta una alta concentración de concesiones por lo que se lo definió como límite entre la zona 6 y la zona 9. Las zonas 7 y 8 son las áreas urbanas de Riobamba y Guano, respectivamente.

- En toda la CBRCH a excepción de la zona urbana de Riobamba y las zonas sur 3 y 9 predomina el uso de agua para riego. A pesar de ello, la zona que presenta una mayor demanda de agua para riego con 9083,08 L/s es la 3 al lado oriental del río Chambo, la cual demanda una mayor cantidad de agua para generación de energía con 4963 L/s y de igual manera aporta con la mayor cantidad de caudal para consumo humano. Para uso industrial la mayor cantidad de agua la requiere la zona 7 con la extracción de los pozos 1 y 2 ubicados en la ESPOCH.
- Los mayores caudales superficiales se dan en la zona 3 y 4. La zona 3 alberga la mayoría de los ríos principales por lo que presenta un caudal superficial de 8,2 m³/s y un subterráneo de 0,88m³/s, la zona 4 por su parte está formado por el río Chambo que exhibe un caudal superficial de 6,1m³/s y 0,04 m³/s de caudal subterráneo. El mayor caudal subterráneo es ofertado por la zona 7 con 3,07m³/s. El menor caudal superficial se encuentra en la zona 8 en el área de Guano ya que el abastecimiento sobre todo para consumo humano se da con la explotación de pozos en el área de Llío.
- El análisis entre las concesiones del 2019 vs las del 2010 dio como resultado que en el 2010 existía una mayor disponibilidad hídrica, siendo así que únicamente las zonas 5 y 7 presentan valores positivos de 416,1 L/s y 3045,9 L/s al realizar la diferencia entre los caudales obtenidos en el 2019 menos los caudales del 2010. Esto se da debido a que a pesar de que las concesiones para riego disminuyen de 120 a 73 el caudal aumenta, mientras que en la zona se tienen dos nuevas concesiones de industria de 3040,82 L/s.
- Al comparar las proyecciones de crecimiento poblacional con la demanda mínima y máxima de agua, se obtuvo que para el área de Riobamba mientras la demanda

sea mínima de 50l/Hab-día no existirá problema alguno para satisfacer a la comunidad, a una demanda media de 130 l/Hab-día, es decir, con los caudales ofertados se podrá satisfacer la demanda hasta el año 2035, mientras que con una demanda alta de 210l/Hab-día actualmente ya existiría un déficit hídrico que inició desde el año 2018. Por otro lado, para el sector de Guano a una demanda baja a media no se presentaría ningún déficit hasta el año 2040, mientras que con una demanda máxima la carencia de agua empezaría en el año 2025.

- La Geodiversidad relaciona varios factores para su cuantificación, dando como resultado que existen más clases geomorfológicas que litológicas en la zona de estudio. Las zonas 1, 5, 6, 7 y 9 presentan baja geodiversidad debido a que presentan pocas clases y pocos recintos en relación con el área de cada una. Las zonas 2, 3 y 4 presentan una cantidad significativa de recintos y pocas clases dentro del área, la zona 2 y 3 pertenecen al patrón 8 que indica que existe una variedad paisajística producida por tectónica activa, la zona 4 correspondiente al cauce del río Chambo pertenece al patrón 5 que indica una distribución regular del paisaje con desarrollo de cursos fluviales. La zona 3 tiene una alta geodiversidad considerando su área de menor tamaño, por lo que se le asigna el patrón 14 que indica una alta geodiversidad con variedad paisajística y presencia de tectónica.
- El río Chambo separa a la CBRCH en dos, el lado oriental es más geodiverso y presenta una red fluvial mas amplia con los ríos principales de la cuenca siendo así que el 90% del caudal concesionado provienen de ríos, quebradas y lagos principalmente, además de que existen distintos tipos de aprovechamientos como uso de agua para hidroeléctrica, consumo humano, riego y abrevaderos. El lado occidental presenta una geodiversidad menor a pesar de al norte poseer dos grandes volcanes, en este lado predomina el uso de agua extraído de fuentes superficiales que principalmente se destina para riego y para consumo humano, en la zona 1 se tiene una hidroeléctrica que genera energía para la empresa cemento Chimborazo y en el área urbana de Riobamba se destina más de 3000L/s para uso industrial en las zonas planas de pendientes bajas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar gestión hídrica anual para verificar que no exista una demanda excedente del recurso hídrico.
- Se recomienda seguir con el catálogo de pozos y vertientes dentro de la CBRCH sobre todo en el lado oriental que no se cuenta con una cantidad significativa de muestras y en el sur en donde existe un déficit hídrico
- Se aconseja hacer un análisis geomorfológico a detalle en la zona del volcán Chimborazo e Igualata.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abiye, T. A., y Kebede, S. (2011). The role of geodiversity on the groundwater resource potential in the upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*, 64(5), 1283-1291. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-0946-7>
- Alcaraz, S., Bernard, B., Eissen, J.-P., Leyrit, H., Robin, C., Samaniego, P., Pennee, J.-L. L., & Barba, D. (2005). The debris avalanche of Chimborazo, Ecuador. 5.
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., et al. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. *Tectonics* 25, 1048–1065. doi: 10.1002/2016TC004117
- Araujo, A. M., y Pereira, D. Í. (2018). A New Methodological Contribution for the Geodiversity Assessment: Applicability to Ceará State (Brazil). *Geoheritage*, 10(4), 591-605. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0250-3>
- ASCE. (1969). *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*.
- Aspden, J., y Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*.
- Baize, S., Audin, L., Winter, T., Alvarado, A., Moreno, L. P., Taibe, M., . Yepes, H. (2014).
- *Paleoseismology and tectonic geomorphology of the Pallatanga fault (Central Ecuador), a major structure of the South-American crust.* , <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.030>: ELSEVIER
- Baldock, J. (1982). *Geology of Ecuador: Explanatory Bulletin of the National Geological map of the Republic of Ecuador*. Quito, DGGM.
- BARBA, D; ROBIN, C; SAMANIEGO, P; EISSEN, J-P, Holocene recurrent explosive activity at Chimborazo volcano (Ecuador), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176 (2008) 27–35,
- Bernard, B., van Wyk de Vries, B., Barba, D., Leyrit, H., Robin, C., Alcaraz, S., & Samaniego, P. (2008). The Chimborazo sector collapse and debris avalanche: Deposit characteristics as evidence of emplacement mechanisms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.03.012>
- Bernex , N., & Tejada, M. (2010). *Cambio Climático, Retroceso Glaciar y Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. Lima : Global Water Parthership.

- Benitez, B. C. (2018). La Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) como herramienta para contribuir al proceso de adaptación del Cambio Climático en la Cuenca Transfronteriza Catamayo-Chira . Quito, Ecuador : Tesis de maestría, Unidad Andina Simón Bolívar
- Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: A Review. *Geoheritage*, 8(2), 119-134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Buenaño, A. (2018). Análisis geológico y geofísico aplicado a la prospección hidrogeológica entre las localidades de Riobamba y Pungalá. [Trabajo de titulación previo a la obtención del título Ingeniero Geólogo]. EPN.
- Burbano, N. (2011). La Hidrología del Ecuador . (pág. 32). INHAMI
- Bustillos, J. (2008). Las avalanchas de escombros del Tungurahua. [Trabajo de Titulación de Pregrado]. Escuela Politécnica Nacional.
- Carabias, J. (2017). Medio ambiente sano, condición para una vida digna y segura. Configuraciones, Revista de la Fundación Pereyra y del Instituto de Estudios para la Transición Democrática, 44, 18.
- Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz E., García, A., Lozano, G., Rábano, I., Sánchez A. y Vegas, J. (2014). Geodiversidad y patrimonio geológico. Instituto Geológico y Minero de España. 21 p. Madrid. NIPO: 474-11-012-3. EDICION PARQUES NACIONALES.
- Carcavilla, L., Durán, J.J., y López-Martínez, J. 2008. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, 1299-1303. VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria.
- Carcavilla, L., & Durán, J. J. (2007). Geodiversidad: Concepto y relación con el patrimonio geológico. 4.
- Carcavilla Urquí, L., Durán Valsero, J. J., y López Martínez, J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: Investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos.
- Carrión. Mero, Paul., Gricelda, H. F., Josuè David, B. B., & Cristhian, S. P. (2018). La Geodiversidad, una componente de desarrollo sostenible. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, ISSN 2528-8083, Vol. 3, N°. Extra 3 (Ejemplar dedicado a: I International Conference on Civil Engineering - ICCE 2018), págs. 36-42.
- Castillo, F. X. F., Alarcón, A. N., Figueroa, O., y Sá, A. A. (s. f.). La geodiversidad al servicio del desarrollo regional. 12.

- CHOW, V.T., MAIDMENT, D., MAYS, L. 1994.. Hidrología aplicada. Bogotá. McGraw-Hill interamericana.. pp584
- Córdova Tafur, E. E. (2017). Evaluación del producto de precipitación diaria TMPA 3B42 V7 para su aplicabilidad en la modelización hidrológica en el Ecuador utilizando diferentes metodologías de corrección de datos. 112 hojas. Quito : EPN.
- Coba, J., Guillaume, J., Rodríguez, J., y Romero, N. (2018). Aportes a la planificación para la gestión integral de los recursos hídricos. Contribución del Comité de la Subcuenca del río Chambo (p. 128). Consorcio CESA - AVSF 2013.
- Coello, M. (2019). Informe preliminar de rendición de cuentas. (p. 48). ARCA.
- Cochrane, R., Spikings, R., Gerdes, A., Winkler, W., Ulianov, A., Mora, A., & Chiaradia, M. (2014). Distinguishing between in-situ and accretionary growth of continents along active margins. *Lithos*, 202-203, 382-394.
- Cochrane, R. 2013. U–Pb thermochronology, geochronology and geochemistry of NW South America: Rift to drift transition, active margin dynamics and implications for the volume balance of continents. Doctoral thesis, University of Geneva, 191 p. Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:30029>
- Comité de la Subcuenca del río Chambo. (2015). Aportes a la planificación para la gestión integral de recursos hídricos. CESA. Recuperado de: <http://cesa.org.ec/documentos/aportes-la-planificacion-la-gestion-integral-recursos-hidricos-contribucion-del-comite-la-subcuenca-del-rio-chambo-cesa-2015/>
- CNRH (2007) Estudio Hidrológico de la subcuenca del río Chambo e implementación de un modelo hidrológico. (Quito, Ecuador).
- Custodio, E. (1976). Hidrología subterránea. Omega. Madrid España. pp1161
- Custodio, E. y Llamas M.R. (1983) Hydrogeoquímica, Hidrología Subterránea, 2a edición. Ed. Omega, Barcelona.
- Davis, y. De Wiest, J. M. (1966). Hydrogeology. Vol. 2. New-York.
- Dunkley, P. y Gaibor, A. (1997). Geology of the area between 2 and 3 degrees south western Cordillera, Ecuador. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), Programa de Información Cartográfica y Geología (PIGG), CONIGEM- BGS, Report, 2.
- Dunn A (2011). Artesian_Well.png: Andrew Dunn derivative work: Gregors (talk) 14:16, 1 March 2011 (UTC) (Artesian_Well.png) [CC BY-SA 2.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0>)], via Wikimedia Commons.

- Duque, J., González, S., Andrade, X., y Garzón, Ó. (2015). Levantamiento de cartografía temática escala 1:25000, LOTE 2 (p. 129) [Memoria Técnica]. MAGAP-PRAT, SIGTIERRAS, Consorcio TRACASA-NIPSA.
- Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M., Costa, C., Dart, R. y Bradley, L. (2003). Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. US Geological Survey Open-File Report, 3, 289.
- Egüez, A. (1986). Evolution cénozoïque de la Cordillère Occidentale septentrionale d'Equateur, les minéralisations associées. Université Pierre et Marie Curie.
- Eguez, & Bourgois. (1986). *La Formación Apagua: edad y posición estructural en la Cordillera occidental del Ecuador*. Quito, Ecuador: Cuarto congreso ecuatoriano de geología.
- Egüez, A., Aspden, J., Báez, N., Beate, B., Benítez, S., Jaillard, E., y Van Thournot, F. (2017). Mapa Geológico de la República del Ecuador, Escala 1: 1 000.000. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.
- (EMAPAR), E. M. (2012). *Consultorías, Análisis de pérdidas*. Riobamba, Ecuador .
- FAO.1990.“Evapotranspiración del Cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”. FAO. <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Foster, S. (2014). The link between land-use and groundwater—Governance provisions and management strategies to secure a 'sustainable harvest. Global Water Partnership (GWP) Secretariat.
- Freeze, R. A., y Cherry, J. A. (1979). Groundwater. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N.J. pp604
- Garcia, M. (2009). *Clima y Su Diagnóstico Una Aproximación Conceptual*. Colombia : Universidad del Valle .
- Gray, M. (2004). Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature. Londres, Editora John Wiley & Sons. 434p.
- Gleeson, T., Befus, K. M., Jasechko, S., Luijendijk, E., y Cardenas, M. B. (2016). The global volume and distribution of modern groundwater. Nature Geoscience, 9(2), 161-167. <https://doi.org/10.1038/ngeo2590>
- González, A., Sevillano, G., Coloma, J., y Rodríguez, A. (2012). Generación de Geo información para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:250.000. Cantón Guano, Chambo y Riobamba (p. 75) [Memoria Técnica]. SENPLADES.
- Granados Salazar, D. (2019). *GEODIVERSIDAD: RED DE GEOPARQUES DE ANDALUCÍA*. Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria

Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas,
Universidad de Jaén. Geología.

- Guerrero Tamayo, E. J. (20 de Agosto de 2020). Geocronología y geoquímica de los intrusivos de Pungalá, Amaluza, San Lucas e intrusión vía Alao. Quito, Ecuador: Tesis de pregrado, EPN
- GWP. (2016). *GWP in action, 2016 Anual Report*. Stockholm, SWEDEN.
- Hernández, R., Martínez, L., Peñuela, L., & Rivera, S. (2019). *Gestión del agua subterránea en los acuíferos de la cuenca del río Ayuquilla-Armería en Jalisco y Colima, México*. México: Región y sociedad año 31/ISSN e-2448-4849.
- Horton, D., & Elliott, H. (1993). Managing agricultural research: An introduction. En *Public Administration and development* (págs. Vol 3, 189-193). The Hague, The Netherlands : ISNAR .
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D.E., et al. (2002) Neogene Stratigraphy and Andean Geodynamics of Southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57, 75-124.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00071-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00071-X)
- Hungerbuhler, D., 1997. Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador 3800 – 4820 : sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis, Institute of Geology ETH Zurich, Switzerland, 182 pp
- INEC, I. N. (2010). *Información estadística poblacional*. Obtenido de <https://www.gob.ec/inec>
- Indij, Damián, y Schreider Mario. (2011). “Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y su Aprovechamiento para la Agricultura frente al Cambio Climático en la Región Andina”. *La Gestión Integral del Recurso Hídrico en America Latina*.
<http://www.gwp.org/Global/ToolBox/References/Critical%20Challenges%20Spanish/GIRH%20y%20su%20aprovechamiento%20para%20la%20agricultura%20enfrente%20al%20cambio%20climatico.pdf>
- IG, I. G. (30 de 05 de 2021). *CHIMBORAZO*. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/index.php/chimborazo>
- Kozłowski, S. (2004). Geodiversity: the concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny*, 52: 833-837.

- Li, Y. (2012). *Hydrodynamic and geochemical models for environmental applications in civil and mining engineering* (Doctoral dissertation, Universidade da Coruña).
- Litherland, M., Aspden, J. A., y Jemielita, R. A. (1994). The metamorphic belts of Ecuador, British Geological Survey, Overseas Memoir 11. British Geological Survey, Keyworth, 147.
- Lozano, G. (2015). Geodiversidad: Cuantificación Y Distribución En La Provincia De Segovia. Patrimonio geológico y Geoparques, avances de un camino para todos. Cuadernos del Museo Geominero, 18, 5.
- Lowery, B., Arshad, M.A., Lal, R. and Hickey, W.J. (1996) Soil Water Parameters and Soil Quality. In: Doran, J.W. and Jones, A.J., Eds., Methods for Assessing Soil Quality, Soil Science Society of America Special Publications 49, SSSA, Madison, 143-157.
- Mancheno, N (2010) Análisis De La Problemática Y Ampliación Del Sistema De Agua Potable En La Ciudad De Riobamba, Carrera de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército,
- Monsalve S German. (1995) Hidrología en la ingeniería. Escuela colombiana de ingenieros Bogotá D.C Colombia Primera edición
- Ministerio de Agricultura, G. A. (2003). *GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25 000*.
- Moura, A., & Pereira, D. Í. (2017). *A New Methodological Contribution for the Geodiversity Assessment: Applicability to Ceará State (Brazil)*. The European Association for Conservation of the Geological Heritage, Geoheritage, DOI 10.1007/s12371-017-0250.
- Musy, A. and Higy, C. (2011) Hydrology: A Science of Nature. Science Pub. Taylor & Francis Group., New York, 346 p.
- Molinero, J. (2005). Clase de Hidrogeología: Tipos de Acuíferos. Maestría de las Américas en Ingeniería del Agua. Universidad de Santiago de Compostela
- Nieto, L. (2001). Geodiversidad: Propuesta de una definición integradora. Boletín Geológico y Minero, 112: 3-12.
- Naranjo Gaibor, L. F. (2013). Caracterización hidrogeológica de la Subcuenca del río Chambo [Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniero en Geología]. Universidad Central del Ecuador.

- Núñez, G. (2020). *Caracterización Hidrogeoquímica e Isotópica de la Cuenca Baja del Río Chambo Provincia de Chimborazo* . Quito : Trabajo de titulación EPN .
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Ciclo hidrológico. Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico*. Lima-Peru: SENAMHI.
- OMS, O. m. (02 de 12 de 2019). *Water*. Obtenido de https://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/Documents/righttowater/righttowater.pdf
- Ortiz Arenas , L. A., Ruiz Ochoa , M., & Rodriguez Miranda , J. P. (2017). Planificación y gestión de los recursos Hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática . *Revista LOGOS CIENCIA Y TECNOLOGÍA* .
- Peñafiel, R. y Ochoa, V. (2012). Formulación de un plan de Protección y manejo integrado de la fuente San Pablo y LLío (p. 314). USFQ-EP-EMAPAR.
- Pereira DI, Pereira P, Brilha J, Santos L (2013) Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. *Environ. Manag.* 52:541–552. doi:10.1007/s00267-013-0100-2
- Pereira Corona, A., Servón, P. F., Martínez, S. A., Granados, A. R. A., y Verges, F. A. R. (2015). Geodiversidad, Ordenamiento Territorial Y Áreas Naturales Protegidas. 16.
- Perotti, Carraro, Giardino, De Luca, & Lasagna. (2019a). Geodiversity Evaluation and Water Resources in the Sesia Val Grande UNESCO Geopark (Italy). *Water*, 11(10), 2102. <https://doi.org/10.3390/w11102102>
- Posada, C. A. (Enero-Junio 2016). ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE INFILTRACIÓN DE AGUA Y LOCALIZACIÓN DE DEFORMACIÓN EN SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS. *Revista EIA, Publicación semestral de carácter técnico-científico*, pp. 53-6.
- Pourrut, P. (1983). *Los Climas del Ecuador*. Ecuador: Documentos de investigacion (Centro Ecuatoriano de Investigacion Geografica) ; no. 4.
- PNUD.(2014). "Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las Cuencas Transfronterizas y Acuíferos en Puyango-Tumbes, Catamayo-Chira y Zarulimilla". PRODOC, Quito
- Procel, S. (2018). Ferramentas de gestão dos recursos hídricos: Estudo de caso na bacia do baixo Rio Chambo (Equador) (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo-Brasil

- Quishpe, G. (2017). Caracterización Hidrometereológica y Estimación de Balance Hídrico de la Cuenca del Rio Chambo. Caracterización Hidrometereológica y Estimación de Balance Hídrico de la Cuenca del Rio Chambo [Trabajo de Titulación de Pregrado]. Escuela Politecnica Nacional.
- Randel, R. P., y Lozada, F. (1973). Mapa geológico del Ecuador, Hoja 69, Chimborazo [Map]. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.
- Reyes, P. (2006). El complejo ofiolítico Peltetec y su relación con las unidades metamórficas jurásicas de la Cordillera Real [Trabajo de Titulación de Pregrado]. Escuela Politecnica Nacional.
- Rebollo, L., & Loeches, M. (2007). Diez preguntas elementales sobre aguas subterráneas. En *Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (págs. 240-249). ISSN 1132-9157.
- Rojas, J. (2005): Los desafíos del estudio de la geodiversidad. *Revista Geográfica Venezolana* 46, 1, 143-152.
- SENAGUA, S. D. (2011). *Base de datos de las concesiones otorgadas en la Subcuenca del Río Chambo*. Quito.
- SENAGUA, S. N. (2019). *Base de datos de las concesiones otorgadas en la Subcuenca del Río Chambo*. Quito.
- Spikings, R. A., Seward, D., Winkler, W., & Ruiz, G. M. (2000). *Low-temperature thermochronology of the northern Cordillera Real, Ecuador: Tectonic insights from zircon and apatite fission track analysis*. *TECTONICS*, VOL. 19, NO. 4, PAGES 649-668 AUGUST 2000.
- Springall, R. (1970). *Hidrología: primera parte*. México: UNAM, Instituto de Ingeniería
- Rodríguez, K. (2013). Herramientas estadísticas para el manejo de recursos hidráulicos subterráneos. *Herramientas estadísticas para el manejo de recursos hidráulicos subterráneos*, 34, 73-88.
- Rosero, A. L. R. (2020). Análisis De La Geodiversidad A Partir De Dos Metodologías Geoestadísticas Aplicadas En El Ecuador Para El Sector Del Volcán El Reventador [Trabajo de titulación de Pregrado]. EPN.
- Salguero, D. (2017). Levantamiento geológico-estructural de la zona comprendida por la hoja topográfica de Guano escala 1:50.000 [Trabajo de Titulación de Pregrado]. Escuela Politecnica Nacional.
- Serrano, E. y Ruiz, P. (2007). Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, 62: 140-147.

- Serrano, E. y Ruiz-Flaño, P. (2007): Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tierras Caracena (Soria), Boletín de la A.G.E., 45:79- 98.
- Singhal, B. B. S., y Gupta, R. P. (2010). Assessment and Management of Groundwater Resources. En B. B. S. Singhal & R. P. Gupta, Applied Hydrogeology of Fractured Rocks (pp. 345-375). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8799-7_20
- Sosa, H., y Guevara, S. (1973). Mapa Geológico del Ecuador, Hoja 69, Riobamba [Map]. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., y Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: From Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95-139.
- Stigter, Tibor & Nunes, J.P. & Pisani, Bruno & Fakir, Younes & Hugman, Rui & Li, Yanmei & Tomé, S. & Ribeiro, Luís & Samper, Javier & Proença de Oliveira, Rodrigo & Monteiro, José & Silva, A.C.F. & Tavares, P. & Shapouri, M. & Cancela da Fonseca, Luís & Hicham, El. (2012). Comparative assessment of climate change and its impacts on three coastal aquifers in the Mediterranean. *Regional Environmental Change*. 14. 1-16. [10.1007/s10113-012-0377-3](https://doi.org/10.1007/s10113-012-0377-3).
- Tenelema Allaica, V. H. (2017). Estudio estratigráfico del acuífero del río Chambo mediante Tomografías Eléctricas y Técnicas Geoestadísticas [Trabajo de Titulación de Pregrado]. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Toews, M. W. (2007). *Modelling climate change impacts on groundwater recharge in a semi-arid region, southern Okanagan, British Columbia*. Dept. of Earth Sciences-Simon Fraser University.
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (1980). *Groundwater hydrology*. John Willey Sons. Inc., New York, 535.
- Thornthwaite, C. (1948). An approach toward a Rational Classification of Climate. *American Geographical Society*, 38(1), 55-94.
- Tóth, J. (1999). Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*, 7(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s100400050176>
- Tóth, J. (2009). *Gravitational Systems of Groundwater Flow* (Vol. 10). Cambridge University Press.

- USGS. (2019). Obtenido de https://www.usgs.gov/special-topic/water-scienceschool/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Vallejo, C. (2007). Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene) (PhD Thesis). ETHZ, Zürich, Switzerland.
- Valdés, Y. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: Una necesidad de estos tiempos. 1, 15.
- VÉLEZ, M., VÉLEZ., J. 2002. Capítulo 8: Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica. <http://poseidon.unalmed.edu.co/materias/hidrologia.html>
- Vega Pasos, A. E. (2020) *Air infiltration modelling based on low-pressure airtightness measurements*. PhD thesis, University of Nottingham.
- Vilchis-Mata, I., Garrocho-Rangel, C. F. y Díaz-Delgado, C. (2018). Modelo dinámico adaptativo para la toma de decisiones sostenibles en el ciclo hidrosocial urbano en México 1. Revista de geografía Norte Grande, 71, 59-90. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022018000300059>
- Villarroya, F. (2009). Tipos De Acuíferos Y Parámetros Hidrogeológicos.
- Villagómez, D. (2003). Evolución Geológica Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador. Proyecto de titulación de Pregrado [Trabajo de Titulación de Pregrado]. Escuela Politecnica Nacional.
- Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, St., y Egüez, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. Journal of South American Earth Sciences, 19(1), 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.06.006>
- Yanez. (2016). Caracterización e interpretación geológico-estructural de las secuencias Lito-tectónicas de la Cordillera Real entre las Longitudes 78°34' y 78°30'O y las Latitudes 1°40' y 1°50' S. al Este de Chambo [Trabajo de Titulación de Pregrado]. Escuela Politecnica Nacional.

7. ANEXOS

Anexo A: Número De Concesiones Para Riego

Anexo B: Caudal De Riego

Anexo C: Número De Concesiones Para Consumo Humano

Anexo D: Caudal Destinado Para Consumo Humano

Anexo E: Número De Concesiones Para Abrevadero

Anexo F: Caudal Para Abrevadero

Anexo G: Concesiones De Industria

Anexo H: Concesiones Para Generación De Energía

Anexo I: Concesiones De Acuicultura

Anexo J Concesiones Para Turístico Y Termal

Anexo K: Cálculos De Los Parámetros De Geodiversidad Litológica

Anexo L: Cálculos De Los Parámetros De Geodiversidad Morfológica

ANEXO A: NÚMERO DE CONCESIONES PARA RIEGO

FUENTE	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	TOTAL
ACEQUIA	0	0	3	0	3	2	0	2	1	11
CANAL	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
CIENEGAS/PANTANOS/HUMEDALES	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
DESHIELOS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
LAGOS/LAGUNAS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
OTROS	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
GALERÍAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZO	0	0	1	1	1	18	1	0	0	22
QUEBRADA	3	5	33	0	7	12	0	0	11	71
REMANENTE	4	2	13	1	3	3	0	0	1	27
RIO	19	19	17	6	18	14	1	0	12	106
VERTIENTE	2	0	0	0	1	2	0	0	0	5
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	57	16	86	5	38	90	0	1	50	343
TOTAL	86	42	153	13	73	142	2	3	76	590

ANEXO B: CAUDAL DE RIEGO

FUENTE	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	TOTAL
ACEQUIA	0	0	21,02	0	10,17	55,4	0	28,58	2,5	117,67
CANAL	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
CIENEGAS/PANTANOS/HUMEDALES	0	0	0	0	21	0	0	0	0	21
DESHIELOS	19,8	0	0	0	0	0	0	0	0	19,8
LAGOS/LAGUNAS	0	0	0	0	2,48	0	0	0	0	2,48
OTROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15
GALERÍAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZO	0	0	0,28	0,65	10	3,944	0,91	0	0	15,784
QUEBRADA	11,04	76,2	734,24	0	87,8	118,09	0	0	49,66	1077,03
REMANENTE	20,13	318,16	91,22	0,25	1,88	4,93	0	0	0,44	437,01
RIO	647,86	665,3	698,26	6059,68	989,104	288,86	19,96	0	297,48	9666,504
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	933,175	116,63	725,27	21,565	662,116	311,204	0	1,01	134,991	2905,961
TOTAL	1632,005	1176,29	2270,29	6082,145	1784,55	785,428	20,87	29,59	485,221	14266,389

ANEXO C: NÚMERO DE CONCESIONES PARA CONSUMO HUMANO

FUENTE	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8	ZONA 9
ACEQUIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CANAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CIENEGAS/PANTANOS/HUMEDALES	0	0	0	0	2	0	0	0	0
DESHIELOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GALERÍAS	0	0	0	0	0	0	0	0	1
LAGOS/LAGUNAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OTROS	0	0	2	0	2	0	0	0	0
PICHIPOGIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZO	2	0	1	1	10	4	2	0	11
QUEBRADA	3	1	9	0	0	2	0	0	17
REMANENTE	0	2	3	1	1	1	0	0	3
RIO	1	3	0	0	0	1	0	0	0
VERTIENTE	1	0	1	0	0	0	0	0	1
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	91	43	138	15	85	119	0	0	207
TOTAL	98	49	154	17	100	127	2	0	240

ANEXO D: CAUDAL DESTINADO PARA CONSUMO HUMANO

FUENTE	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8	ZONA 9
ACEQUIA		0	0	0	0	0	0	0	0
CANAL		0	0	0	0	0	0	0	0
CIENEGAS/PANTANOS/HUMEDALES		0	0	0	2,46	0	0	0	0
DESHIELOS		0	0	0	0	0	0	0	0
GALERÍAS		0	0	0	0	0	0	0	0,01
LAGOS/LAGUNAS		0	0	0	0	0	0	0	0
OTROS		0	2,06	0	9,73	0	0	0	0
PICHIPOGIO		0		0		0	0	0	0
POZO	249,66	0	0,01	0,01	373,22	0,331	24,2	0	11,168
QUEBRADA	7,42	0,64	6,366			0,331	0	0	9,48
REMANENTE		7,37	1600,02	0,14	0,3	0,19	0	0	1,55
RIO	0,38	6,4				8,28	0	0	
VERTIENTE			0,19				0	0	
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	163,07	39,606	149,767	18,255	115,714	75,751	0	0	140,1641
TOTAL	420,53	54,016	1758,413	18,405	498,964	84,883	24,2	0	162,3621

ANEXO E: NÚMERO DE CONSESIONES PARA ABREVADERO

FUENTE	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	suma
ACEQUIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CANAL	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
CIENEGAS/PANTANOS/HUMEDALES	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
DESHIELOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LAGOS/LAGUNAS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
OTROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GALERÍAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZO	0	0	1	1	0	4	0	0	0	6
QUEBRADA	0	2	11	0	3	3	0	0	2	21
REMANENTE	1	2	4	1	0	1	0	0	1	10
RIO	3	7	4	0	3	1	1	0	4	23
VERTIENTE	2	0	0	0	0	1	0	0	0	3
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	22	20	59	3	18	47	0	0	25	194
TOTAL	28	32	79	5	26	58	1	0	32	261

ANEXO F: CAUDAL PARA ABREVADERO

FUENTE	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	suma
ACEQUIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CANAL	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0,03
CIENEGAS/PANTANOS/HUMEDALES	0	0	0	0	0,14	0,14	0	0	0	0,28
DESHIELOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LAGOS/LAGUNAS	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0,02
OTROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GALERÍAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZO	0	0	0,01	0,02	0	0,12	0	0	0	0,15
QUEBRADA	0	0,17	3,83	0	0,31	0,05	0	0	0,05	4,41
REMANENTE	0,02	1,16	0,23	0,01	0	0,02	0	0	0,03	1,47
RIO	1,53	1,29	0,43	0	0,12	0,01	0,04	0	0,125	3,545
VERTIENTE	0,106	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0,126
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	9,256	1,75	7,486	0,739	4,3	3,245	0	0	2,014	28,79
TOTAL	10,912	4,4	11,986	0,769	4,89	3,605	0,04	0	2,219	38,821

ANEXO G: CONCESIONES DE INDUSTRIA

FUENTE	NÚMERO	L/s	m ³ /s	ZONA
POZO	2	3040,8231	3,0408231	7
QUEBRADA	2	2,023	0,002023	4, 6
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	6	14,985	0,014985	1,2,3,5,6,8
TOTAL	10	3057,8311	3,0578311	

ANEXO H: CONCESIONES PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

FUENTE	NUMERO	L/s	m ³ /s	Zonas
REMANENTE	1	4500	4,5	1
RIO	1	463	0,463	3
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	1	434	0,434	3
TOTAL	3	5397	5,397	

ANEXO I: CONCESIONES DE ACUICULTURA

FUENTE	z1	z2	z3	z5	total num	
ACEQUIA	0	0	0	0	0	0
CANAL	0	0	0	0	0	0
CIENEGAS/PANTANOS/HUMEDALES	0	0	0	0	0	0
DESHIELOS	0	0	0	0	0	0
LAGOS/LAGUNAS	0	0	0	0	0	0
OTROS	0	0	0	0	0	0
GALERÍAS	0	0	0	0	0	0
PICHIPOGIO	0	0	0	0	0	0
POZO	0	0	0	0	0	0
QUEBRADA	0	0	1	63,5	0	1 63,5
REMANENTE	0	0	0	0	0	0
RIO	0	1	16,32	1	15	0 2 31,32
VERTIENTE	0	1	1,24	0	0	1 1,24
VERTIENTE,MANANTIAL,ACUIFERO	0	0	0	0	0	0 0
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	1	2	1 1,68	1	0,22	1 0,3 4 4,2
YERBA BUENA	0	0	0	0	0	0 0
TOTAL	1	3	19,24	3	78,72	1 0,3 8 100,26

ANEXO J CONCESIONES PARA TURÍSTICO Y TERMAL

FUENTE	NUMERO	
ACEQUIA	0	
CANAL	0	
CIENEGAS/PANTANOS/HUMEDALES	0	
DESHIELOS	0	
LAGOS/LAGUNAS	0	
OTROS	0	
GALERÍAS	0	
PICHIPOGIO	0	
POZO	1	0,087
QUEBRADA	0	
REMANENTE	0	
RIO	0	
VERTIENTE	0	
VERTIENTE,MANANTIAL,ACUIFERO	0	
VERTIENTE, MANANTIAL, ACUIFERO	3	3,95
YERBA BUENA	0	
TOTAL	4	4,037

ANEXO K: CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DE GEODIVERSIDAD LITOLÓGICA

ZONA	FORMACIÓN	SIMBOLOGÍA	rc	Fc	Sn	Sc	Sa	
1	Depósitos Cuaternarios	Hq	2	0,00436098	241,83	55,36	55,36	
	Formación Cangahua	Plcg	3	0,00654146	111,86	24,39	79,75	
	Volcánicos Tungurahua	Plvt	1	0,00218049	21,67	4,72	84,48	
	Volcánicos Chimborazo	Plch	1	0,00218049	21,22	4,63	89,10	
	Unidad Chambo	Pluc	1	0,00218049	17,20	3,75	92,85	
	Volcánicos Iguayata	Plvi	1	0,00218049	12,54	3,21	96,06	
	Formación Riobamba	Pr	3	0,00654146	8,83	1,93	97,99	
	Formación Cizarán	Mc	2	0,00436098	6,36	1,39	99,38	
	Sedimentos Apagua	Ea	1	0,00218049	0,83	0,18	99,56	
	Formación Yunguilla	Ky	1	0,00218049	0,59	0,13	100,00	
			16	0,00218049				
2	Volcánicos Tungurahua	Plvt	1	0,00732944	82,02	61,12	61,12	
	Volcánicos El Altar	Plva	1	0,00732944	47,24	34,63	95,75	
	Unidad Chambo	Pluc	1	0,00732944	5,61	4,11	99,86	
	Unidad Peltetec	Kpe	1	0,00732944	0,12	0,09	99,94	
	Unidad San Pablo de Sali	Jsp	1	0,00732944	0,06	0,04	100,00	
				5	0,00732944			
3	Depósitos Cuaternarios	Hq	3	0,00740119	123,19	30,39	30,39	
	Formación Cangahua	Plcg	2	0,00493413	97,61	24,08	54,47	
	Volcánicos El Altar	Plva	1	0,00246706	59,93	14,78	69,26	
	Unidad Chambo	Pluc	2	0,00493413	54,86	13,53	82,79	
	Unidad Peltetec	Kpe	1	0,00246706	21,68	5,35	88,14	
	Unidad Guamote	Jgu	3	0,00740119	21,61	5,33	93,47	
	Unidad Río Daldal	Jrd	1	0,00246706	13,14	3,24	96,71	
	Unidad San Pablo de Sali	Jsp	1	0,00246706	5,84	1,44	98,15	
	Unidad Alao Paute	Jap	4	0,00986826	5,49	1,35	99,51	
	Granodiorita	Gd	1	0,00246706	1,83	0,45	100,00	
				19	0,0037006			
	4	Depósitos Cuaternarios	Hq	3	0,06173094	17,25	35,49	35,49
Volcánicos Tungurahua		Plvt	1	0,02057698	9,90	20,37	55,86	
Formación Cangahua		Plcg	3	0,06173094	9,05	18,62	74,48	
Unidad Chambo		Pluc	1	0,02057698	7,21	14,83	89,31	
Volcánicos Iguayata		Plvi	1	0,02057698	2,58	5,32	94,62	
Formación Riobamba		Pr	1	0,02057698	1,15	2,37	97,00	

	Unidad Peltetec	Kpe	1	0,02057698	0,94	1,93	98,92
	Unidad Guamote	Jgu	1	0,02057698	0,77	1,58	99,95
	Granodiorita	Gd	1	0,02057698	0,02	0,05	100,00
			13	0,02057698			
5	Depósitos Cuaternarios	Hq	4	0,0198059	153,96	76,24	76,15
	Formación Cizarán	Mc	2	0,00990295	21,21	10,50	86,65
	Unidad Chambo	Pluc	1	0,00495148	18,55	9,19	95,84
	Volcánicos Iguayata	Plvi	1	0,00495148	5,08	2,52	98,35
	Formación Riobamba	Pr	2	0,00990295	3,00	1,49	99,84
	Formación Cangahua	Plcg	3	0,01485443	0,17	0,08	99,92
	Volcánicos Chimborazo	Plch	1	0,00495148	0,15	0,08	100,00
			14	0,00990295			
6	Depósitos Cuaternarios	Hq	1	0,00769053	68,35	52,56	52,56
	Formación Cizarán	Mc	2	0,01538107	40,78	31,36	83,92
	Sedimentos Apagua	Ea	2	0,01538107	19,44	14,95	98,87
	Formación Yunguilla	Ky	1	0,00769053	1,47	1,13	100,00
			10	0,0115358			
7	Depósitos Cuaternarios	Hq	1	0,05740528	16,49	94,63	94,63
	Formación Riobamba	Pr	1	0,05740528	0,93	5,33	100,00
			2	0,05740528			
8	Depósitos Cuaternarios	Hq	1	0,67567568	1,00	67,57	67,57
	Formación Riobamba	Pr	1	0,67567568	0,46	31,15	98,72
	Volcánicos Chimborazo	Plch	1	0,67567568	0,02	1,31	100,00
			3	0,67567568			
9	Depósitos Cuaternarios	Hq	3	0,0103235	133,24	45,85	46,15
	Formación Cangahua	Plcg	2	0,00688234	93,98	32,34	78,49
	Formación Cizarán	Mc	1	0,00344117	51,05	17,57	96,06
	Formación Yaruquíes	Ey	1	0,00344117	5,66	1,95	98,01
	Formación Yunguilla	Ky	1	0,00344117	3,83	1,32	99,32
	Unidad Guasuntos	Jgu	1	0,00344117	1,93	0,66	99,99
	Coluvial	Hc	1	0,00344117	0,03	0,01	100,00
			10	0,00344117			

ANEXO L: CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DE GEODIVERSIDAD MORFOLÓGICA

ZONA	clases	simbología	Sn (km2)	r	Fc	Sc	Sa
zona							
1							
	Circo glaciar	Cg	203,76	10	0,021	44,44	44,437
	Barranco	Ba	57,853	4	0,0087	12,62	57,054
	FLANCO DEL						
	VOLCAN	Fv	56,039	2	0,0044	12,22	69,275
	Coluvio-aluvial						
	antiguo	Co	38,807	18	0,0392	8,463	77,739
	Abanicos aluviales	Dc	18,402	17	0,0371	4,013	81,752
	Vertiente rectilínea	Vr	18,338	24	0,0523	3,999	85,751
	ENCAÑONAMIENT						
	O	E	18,062	1	0,0022	3,939	89,69
	VERTIENTE DE						
	PLANICIE						
	INTERMONTAÑA	Vp	12,045	5	0,0109	2,627	92,317
	PLANICIE						
	INTERMONTAÑA	Pi	8,133	4	0,0087	1,774	94,091
	Depósito glaciar						
	modelado por						
	acción fluvial	Dg	7,757	2	0,0044	1,692	95,782
	TERRAZA COLGADA	Tc	3,998	2	0,0044	0,872	96,654
	Cono muy bien						
	conservado con						
	actividad volcánica						
	actual e intenso						
	retoque glaciar	Cv	3,816	4	0,0087	0,832	97,486
	FONDO DE VALLE						
	GLACIAR	Vg	2,428	2	0,0044	0,53	98,016
	Valle glaciar	Vg	2,428	2	0,0044	0,53	98,545
	TERRAZA ALTA	Ta	2	1	0,0022	0,436	98,982
	Cubeta glaciar	Cg	1,325	5	0,0109	0,289	99,271
	Vertiente						
	heterogénea	Vh	1,269	1	0,0022	0,277	99,547
	MORRENA LATERAL	MI	0,743	2	0,0044	0,162	99,709
	Terraza baja y						
	cauce actual						
	(sobreexcavación	Tb	0,541	2	0,0044	0,118	99,827

de cauce en llanura de inundación)						
Vertiente abrupta	Va	0,456	1	0,0022	0,099	99,927
MORRENA DE						
FONDO	Mf	0,174	1	0,0022	0,038	99,965
Cañón	Ca	0,162	1	0,0022	0,035	100

			11			
22		458,54	1	0,242		
				0,0022		
				0,0523		
				0,0044		

zona
2

Vertiente rectilínea	Vr	38,057	33	0,2419	33,58	33,577
Piedemonte de cono volcánico	Cv	13,475	17	0,1246	11,89	45,466
Vertiente de valle glaciar	Vvg	10,564	7	0,0513	9,321	54,787
Cono muy bien conservado con actividad volcánica actual y moderado retoque glaciar	Cv	10,353	15	0,1099	9,134	63,921
Cono sin actividad volcánica actual e intenso retoque glaciar	C	7,7	2	0,0147	6,794	70,715
Barranco	Ba	6,735	27	0,1979	5,942	76,657
Terraza colgada	Tc	5,774	20	0,1466	5,094	81,752
Coluvión antiguo	Can	5,596	36	0,2639	4,937	86,689
Vertiente rocosa	Vr	3,328	2	0,0147	2,936	89,625
Vertiente heterogénea	Vh	2,242	3	0,022	1,978	91,603
Morrenas	M	2,092	7	0,0513	1,846	93,449
Vertiente abrupta	Va	1,434	58	0,4251	1,265	94,714
Coluvio-aluvial antiguo	Co	1,02	9	0,066	0,9	95,614
Valle en V	Vv	0,822	1	0,0073	0,725	96,339
Valle fluvial, llanura de inundación	Vf	0,744	5	0,0366	0,656	96,996
Fondo de valle glaciar	Vg	0,619	2	0,0147	0,546	97,542

Terraza baja y cauce actual (sobreexcavación de cauce en llanura de inundación)	Tb	0,539	3	0,022	0,476	98,017
Circo glaciar	Cg	0,368	3	0,022	0,325	98,342
Depósito glaciar modelado por acción fluvial	Dp	0,345	3	0,022	0,304	98,647
Cañón	Ca	0,285	2	0,0147	0,251	98,898
Casquete glaciar	Gl	0,279	2	0,0147	0,246	99,144
Terraza media	Tm	0,273	3	0,022	0,241	99,385
Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	Dd	0,271	4	0,0293	0,239	99,624
Cubeta glaciar	Cg	0,162	1	0,0073	0,143	99,767
Escarpe de deslizamiento	Ed	0,148	4	0,0293	0,131	99,898
Coluvio-aluvial reciente	Co-1	0,074	1	0,0073	0,065	99,963
Cráter	Cr	0,042	1	0,0073	0,037	100
			27			
	27	113,34	1	1,9862	0,4251	0,0073
				0,022		

ZONA 3

Vertiente rectilínea	vR	56,421	13	0,0321	29,01	29,006
Vertiente de valle glaciar	Vvg	28,523	21	0,0518	14,66	43,67
Cono sin actividad volcánica actual e intenso retoque glaciar	C	18,141	11	0,2738	9,326	52,996
Circo glaciar	Cg	13,053	20	0,0493	6,711	59,706
Vertiente heterogénea	Vh	12,87	6	0,0148	6,616	66,323
Vertiente rocosa	Vr	12,449	4	0,0099	6,4	72,723
Fondo de valle glaciar	Fvg	7,283	7	0,0173	3,744	76,467
Coluvión antiguo		6,63	18	0,0444	3,408	79,876

	Can					
Macrocoluvión	Mc	6,17	8	0,0197	3,172	83,048
Barranco	Ba	4,742	23	0,0567	2,438	85,485
Terraza colgada	Tc	3,857	17	0,0419	1,983	87,468
Coluvio-aluvial reciente	Co-1	2,77	7	0,0173	1,424	88,892
Coluvio-aluvial antiguo	Co	2,728	22	0,0543	1,402	90,295
Valle en V	Vv	2,627	3	0,0074	1,351	91,645
Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	Dd	2,468	5	0,0123	1,269	92,914
Cráter	Cr	2,299	2	0,0049	1,182	94,096
Morfología abollada	Ma	2,112	1	0,0025	1,086	95,182
Valle glaciario colgado	Vgc	1,875	7	0,0173	0,964	96,146
Terrazas indiferenciadas	Ti	1,157	1	0,0025	0,595	96,741
Terraza media	Tm	0,944	7	0,0173	0,485	97,226
Casquete glaciario	Gl	0,885	1	0,0025	0,455	97,681
Terraza baja y cauce actual (sobreexcavación de cauce en llanura de inundación)	Tb	0,875	15	0,037	0,45	98,131
Coluvión reciente	Can-1	0,786	5	0,0123	0,404	98,535
Vertiente abrupta	Va	0,707	1	0,0025	0,363	98,898
Cubeta glaciario	Cg	0,656	10	0,0247	0,337	99,236
Laguna en fondo de cráter o caldera	L	0,41	1	0,0025	0,211	99,446
Morrena lateral	MI	0,301	3	0,0074	0,155	99,601
Talud de derrubios	Td	0,283	1	0,0025	0,145	99,747
Escarpe de deslizamiento	Ed	0,243	1	0,0025	0,125	99,871
Testigo de glacis de esparcimiento	T	0,16	1	0,0025	0,082	99,954
Laguna glaciario	Lg	0,09	2	0,0049	0,046	100
			34			
31		194,52	4	0,8487		
				0,0148		

ZONA 4

Terraza media	Tm	10,965	20	0,4115	30,69	30,69
ENCAÑONAMIENT						
O	E	8,898	2	0,0412	24,9	55,595
Terraza baja y cauce actual (sobreexcavación de cauce en llanura de inundación)	Tb	4,199	11	0,2263	11,75	67,348
Vertiente rectilínea	Vr	3,969	23	0,4733	11,11	78,457
Terraza colgada	Tc	2,152	3	0,0617	6,023	84,48
Valle fluvial, llanura de inundación	Vf	1,613	16	0,3292	4,515	88,995
Coluvión antiguo	Can	1,175	19	0,3909	3,289	92,283
Coluvión reciente	Can-1	0,639	6	0,1235	1,789	94,072
Coluvio-aluvial antiguo	Co	0,53	6	0,1235	1,483	95,555
Piedemonte de cono volcánico	Cv	0,476	5	0,1029	1,332	96,888
Aluvial antiguo	Dc	0,411	1	0,0206	1,15	98,038
Barranco	Ba	0,282	13	0,2675	0,789	98,827
Vertiente heterogénea	Vh	0,144	2	0,0412	0,403	99,23
Vertiente abrupta	Va	0,12	2	0,0412	0,336	99,566
Macrocoluvión	Mc	0,117	2	0,0412	0,327	99,894
Valle en V	Vv	0,038	1	0,0206	0,106	100
			11			
	15	24,763	2	2,3045		
				0,1029		

ZONA 5

Glacis de esparcimiento	Cv	27,29	14	0,0693	30,66	30,658
Coluvio-aluvial antiguo	Co	9,716	23	0,1139	10,92	41,573
FONDO DE VALLE GLACIAR	Vg	8,909	3	0,0149	10,01	51,582
LLANURA DE DEPOSITO VOLCANICO	Lldep	14,248	6	0,0297	16,01	67,588
Aluvial antiguo	Dc	5,178	3	0,0149	5,817	73,405

Planicie arenosa de origen lahárico	Lh	5,058	3	0,0149	5,682	79,088
Terraza baja y cauce actual (sobrexexcavación de cauce en llanura de inundación)	Tb	4,071	4	0,0198	4,573	83,661
Valle indiferenciado	Vi	3,603	8	0,0396	4,048	87,709
Vertiente rectilínea	Vr	2,599	5	0,0248	2,92	90,628
Depósito glaciario modelado por acción fluvial	Dg	1,625	1	0,005	1,826	92,454
PLANICIE INTERMONTAÑA						
Valle fluvial, llanura de inundación	Vf	1,295	1	0,005	1,455	95,61
Inselberg	In	0,888	2	0,0099	0,998	96,607
Vertiente abrupta	Va	0,737	2	0,0099	0,828	97,435
TERRAZA MEDIA	Tm	0,703	4	0,0198	0,79	98,225
MORRENA LATERAL	MI	0,601	7	0,0347	0,675	98,9
Cono sin actividad volcánica y sin huellas glaciares	C	0,425	2	0,0099	0,477	99,378
Coluvión antiguo	Co	0,401	6	0,0297	0,45	99,828
Barranco	Ba	0,093	4	0,0198	0,104	99,933
ENCAÑONAMIENTO						
O	E	0,044	1	0,005	0,049	99,982
FLANCO DEL VOLCAN						
	Fv	0,016	1	0,005	0,018	100
			10			
21		89,014	1	0,5001		
				0,0149		

ZONA 6

Vertiente heterogénea	Vh	13,748	10	0,0769	40,46	40,461
Vertiente rectilínea	Vr	5,601	6	0,0461	16,48	56,946
Circo glaciario	Cg	2,976	7	0,0538	8,759	65,704
Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	Dd	2,359	1	0,0077	6,943	72,647

Depósito glaciar modelado por acción fluvial	Dg	2,223	4	0,0308	6,542	79,189
Coluvio-aluvial antiguo	Co	1,899	5	0,0385	5,589	84,778
Barranco	Ba	1,696	5	0,0385	4,991	89,77
Cubeta glaciar	Cg	1,262	5	0,0385	3,714	93,484
Vertiente de valle glaciar	Vvg	1,05	6	0,0461	3,09	96,574
Coluvión antiguo	Can	0,741	3	0,0231	2,181	98,755
Valle fluvial, llanura de inundación	Vf	0,158	1	0,0077	0,465	99,22
Encañonamiento	E	0,101	1	0,0077	0,297	99,517
Frente de cuesta	Fc	0,083	2	0,0154	0,244	99,762
Escarpe de deslizamiento	Ed	0,081	1	0,0077	0,238	100
	14	33,978	57	0,4384		
				0,0346		

ZONA 7

Glacis de esparcimiento	Cv	15,488	5	0,287	96,85	96,854
Valle fluvial, llanura de inundación	Vf	0,305	1	0,0574	1,907	98,762
Coluvio-aluvial antiguo	Co	0,186	1	0,0574	1,163	99,925
Vertiente rectilínea	Vr	0,012	1	0,0574	0,075	100
	4	15,991	8	0,4592		
				0,0574		

ZONA 8

TERRAZA MEDIA	Tm	1,066	1	0,6757	93,43	93,427
TERRAZA BAJA	Tb	0,075	1	0,6757	6,573	100
	2	1,141	2	1,3514		
				0,6757		

ZONA 9

Vertiente abrupta	Va	93,689	67	0,2306	52,38	52,379
Terraza media	Tm	21,438	13	0,0447	11,99	64,365

Glacis de esparcimiento	Cv	11,762	11	0,0379	6,576	70,941
Terraza baja y cauce actual (sobreexcavación de cauce en llanura de inundación)	Tb	9,444	5	0,0172	5,28	76,221
Coluvión reciente	Can-1	6,462	19	0,0654	3,613	79,834
Cañón	Ca	5,827	3	0,0103	3,258	83,091
Cráter	Cr	5,58	1	0,0034	3,12	86,211
Coluvio-aluvial reciente	Co-1	4,799	17	0,0585	2,683	88,894
Barranco	Ba	3,034	20	0,0688	1,696	90,59
Testigo de glacis de esparcimiento	T	2,751	4	0,0138	1,538	92,128
Coluvio-aluvial antiguo	Co	2,204	17	0,0585	1,232	93,36
Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	Dd	1,989	5	0,0172	1,112	94,472
Terrazas indiferenciadas	Ti	1,882	1	0,0034	1,052	95,525
Valle indiferenciado	Vi	1,822	2	0,0069	1,019	96,543
Planicie intermontana	Pi	1,418	1	0,0034	0,793	97,336
Coluvión antiguo	Co	1,242	4	0,0138	0,694	98,03
Morfología abollada	Ma	1,177	1	0,0034	0,658	98,688
Domo volcánico	Dv	0,841	2	0,0069	0,47	99,159
Valle fluvial, llanura de inundación	Vf	0,622	3	0,0103	0,348	99,506
Encañonamiento	E	0,565	1	0,0034	0,316	99,822
Cono sin actividad volcánica y sin huellas glaciares	C	0,111	1	0,0034	0,062	99,884
Escarpe de deslizamiento	Ed	0,076	2	0,0069	0,042	99,927
Valle en V	Vv	0,074	1	0,0034	0,041	99,968
Aluvial antiguo	Dc	0,057	1	0,0034	0,032	100

			13			
23		85,177	5	0,4646		0,0103

