

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE GEOGRAFÍA

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓGRAFO EN GESTIÓN AMBIENTAL

“PRIORIZACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA AL SUR
OCCIDENTE DEL PARQUE NACIONAL CAYAMBE – COCA PARA
ABASTECIMIENTO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO”

NOMBRE:
ROBERTO ALEJANDRO MASACHE POVEDA

DIRECTORA: SHEIKA ARAGUNDI, PhD

QUITO, 2018

DEDICATORIA

A mis padres, mi hermano y mis abuelos, por haber estado presentes en cada una de las etapas de mi vida ofreciéndome su apoyo incondicional y su sabiduría; para ustedes es este logro el cual solo refleja el comienzo de una nueva etapa con mayor responsabilidad mía para con ustedes.

A Alejandra, por tanto apoyo y cariño incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la PhD. Sheika Aragundi por su sabiduría, su paciencia y su excelente labor como formadora en la realización de esta disertación y de mi persona.

A mis amigos, por ser siempre la raíz de mi curiosidad e impulsarme a explorar un poco más cada día.

Tabla de Contenidos

TÍTULO	2
TEMA	2
JUSTIFICACIÓN	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
MARCO REFERENCIAL	5
Antecedentes	5
Marco teórico	7
Marco conceptual.....	8
Marco metodológico	9
OBJETIVOS	11
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
CAPITULO I	12
DETERMINACIÓN, CARACTERIZACIÓN E INVENTARIO DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN EL SUR OCCIDENTE DEL PNCC	12
1.1. ÁREA DE ESTUDIO	12
1.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA	14
1.2.1. Aspectos geomorfológicos	14
1.2.2. Suelos	14
1.2.3. Hidrología.....	15
1.2.4. Clima	15
1.2.5. Cobertura Vegetal y Uso de Suelo	15
1.2.6. Pendiente	16
1.2.7. Elevación.....	16
1.2.8. Infraestructura	17
1.3. DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA	17
1.4. METODOLOGÍA	19
1.4.1. Generación de Mapas Temáticos y Ponderaciones	22

1.5. RESULTADOS.....	28
Geomorfología:	28
Textura:	29
Pendiente.....	29
Cobertura y uso del suelo:.....	30
Elevación:.....	31
Isoyetas:	31
Zonas de Recarga Hídrica superficial:	32
Zonas de Recarga Hídrica Subterráneas:	33
CAPITULO II	36
AMENAZAS A LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA DEL SUR OCCIDENTE DEL PNCC BASADOS EN EL TIPO DE USO DEL SUELO Y OCUPACIÓN TERRITORIAL	36
2.1. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36
2.1.1. Porcentaje de crecimiento anual poblacional:	37
2.1.2. Densidad poblacional:	38
2.1.3. Porcentaje de la población en actividades agrícolas y ganaderas:.....	38
2.2. DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS A LA RECARGA HÍDRICA DENTRO DEL SUR OCCIDENTE DEL PNCC.....	38
2.3. METODOLOGÍA	41
2.3.1. Generación de mapas temáticos y ponderaciones para el mapa de amenazas.	42
2.4. RESULTADOS.....	47
Cobertura Vegetal y Uso del Suelo	47
Porcentaje de Crecimiento Poblacional Anual.....	47
Densidad Poblacional por Parroquia.....	48
Porcentaje Agro pastoril de la Población.....	50
Potenciales Amenazas a las Zonas de Recarga Hídrica	51
CAPITULO III.....	53
SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS AL SUR OCCIDENTE DEL PNCC Y SU RELACIÓN CON QUITO	53

3.1. MARCO LEGAL PARA EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HÍDRICOS Y USO DE SUELO.....	53
3.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS AL SUROCCIDENTE DEL PNCC Y SU RELACIÓN CON EL DMQ.....	56
CAPITULO IV	60
DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	67
Descripción de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo	67
“Efectos de la Ley de Aguas de 1972 en el Manejo de los Recursos Hídricos de Alta Montaña en el Ecuador”	67
Documento de Petición de Información al Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca.....	70

Índice de Tablas

Tabla 1: División político administrativa de la vertiente sur occidental del PNCC.....	14
Tabla 2: Metadatos de información de Ortofotografías y Modelos Digitales de Terreno.....	21
Tabla 3: Metadatos de Información Vector para el mapa de zonas de recarga hídrica.....	22
Tabla 4: Variables utilizadas para la determinación de zonas de recarga hídrica	23
Tabla 5: Matriz de SAATY para la generación de un mapa de Zonas de Recarga Hídrica...	25
Tabla 6: Ponderaciones para el mapa de las zonas de recarga hídrica superficiales	26
Tabla 7: Ponderaciones para el mapa de zonas de recarga hídrica subterráneas.....	26
Tabla 8: Geomorfología de la Vertiente Occidental del PNCC	29
Tabla 9: Suelos de la Vertiente Occidental del PNCC.....	29
Tabla 10: Rangos de pendientes de la Vertiente Occidental del PNCC.....	30
Tabla 11: Cobertura y Uso del Suelo de la Vertiente Occidental del PNCC	30
Tabla 12: Rangos altitudinales de la Vertiente Occidental del PNCC	31
Tabla 13: Rangos de precipitación de la Vertiente Occidental del PNCC.....	32
Tabla 14: Zonas de recarga hídrica superficial al sur occidente del PNCC	33
Tabla 15: Zonas de Recarga Hídrica subterránea al sur occidente del PNCC	35
Tabla 16: Localización de las Parroquias que conforman el Área de Estudio	37

Tabla 17: Metadatos de Información Vector para el mapa de posibles amenazas a las zonas de recarga hídrica al sur occidente del PNCC.....	42
Tabla 18: Variables utilizadas para la determinación de potenciales amenazas al sur occidente del PNCC	43
Tabla 19: Matriz de SAATY para la generación del mapa de potenciales amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente del PNCC.....	45
Tabla 20: Ponderaciones de las clases usadas para el mapa de potenciales amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente del PNCC.....	46
Tabla 21: Crecimiento poblacional y porcentaje de crecimiento de cada parroquia de la Vertiente Occidental del PNCC	48
Tabla 22. Número de personas y densidad poblacional en cada parroquia de la Vertiente Occidental del PNCC	49
Tabla 23: Proyección poblacional de cada parroquia del Suroccidente del PNCC (basado en la tasa de crecimiento 2001-2010)	50
Tabla 24: Porcentaje de la población en actividades agro pastoriles	51
Tabla 26: Instituciones con incidencia en los recursos hídricos a partir del 2014	56
Tabla 27: Crecimiento poblacional vs. Crecimiento en la demanda de agua en el DMQ.....	57

Índice de Mapas

Mapa 1: Geomorfología del Sur occidente del PNCC	71
Mapa 2: Textura del suelo del sur occidente del PNCC	72
Mapa 3: Microcuencas del Sur Occidente del PNCC	73
Mapa 4: Pendientes del sur occidente del PNCC.....	74
Mapa 5: Cobertura y uso del suelo del sur occidente del PNCC	75
Mapa 6: Elevaciones del sur occidente del PNCC.....	76
Mapa 7: Isoyetas al sur occidente del PNCC	77
Mapa 8: Zonas de Recarga Hídrica Superficial al sur occidente del PNCC	78
Mapa 9: Zonas de Recarga hídrica subsuperficial al sur occidente del PNCC	79
Mapa 10: División político administrativa parroquial del sur occidente del PNCC	80
Mapa 11: Mapa de Porcentajes de Crecimiento Poblacional Anual por Parroquias al Sur Occidente del PNCC	81
Mapa 12: Mapa de Densidad Poblacional por parroquias al Sur Occidente del PNCC.....	82
Mapa 13: Porcentaje Agropastoril de la Población al Sur Occidente del PNCC	83
Mapa 14: Mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente del PNCC	84

Índice de Anexos

Descripción de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo (Muñoz, 2017).....	67
Documento de Petición de Información al Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca.....	70

TÍTULO

Priorización de zonas de recarga hídrica al sur occidente del Parque Nacional Cayambe – Coca para abastecimiento del Distrito Metropolitano de Quito.

TEMA

La disponibilidad de agua para las poblaciones de los Andes del Ecuador en gran medida depende de la conservación de los ecosistemas montañosos. Con la mayor demanda de agua que resulta del aumento de la población urbana y rural, se hace necesario evaluar la disponibilidad de este recurso en términos de fuentes y su estado de conservación en las áreas protegidas estratégicas en relación a este. Además, se requiere evaluar el nivel de aplicación de las políticas de conservación a las fuentes de recarga en particular. En esta realidad, el presente estudio se propone identificar e inventariar las zonas de recarga hídrica del Sur Occidente del Parque Nacional Cayambe Coca, área estratégica de aprovisionamiento de agua para el Distrito Metropolitano de Quito, evaluar el estado de las políticas de conservación de fuentes de recarga hídrica e identificar potenciales amenazas por uso inadecuado del suelo.

JUSTIFICACIÓN

La importancia del recurso hídrico se evidencia en varios aspectos como son la agricultura, el consumo humano, el saneamiento, el consumo animal, y el uso industrial, entre otros. La vigente crisis hídrica del mundo se revela en los 768 millones de personas que tienen un acceso restringido a agua potable (UNESCO, 2014).

En Ecuador el recurso hídrico se encuentra bajo una creciente presión atribuida primordialmente a un aumento en la demanda por parte de la población; esto ha resultado en un incremento de embalses y proyectos de riego que permitan cubrir las diferentes necesidades de las poblaciones (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011). De esta manera, en el escenario ecuatoriano se sabe que aproximadamente el 28% de la población no tiene abastecimiento de agua mediante una red pública, lo que denota que aún existen procesos por realizar para una idónea gestión del recurso hídrico considerando la importancia que tiene el mismo dentro de los temas de planificación (Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento, 2013).

Frente a la creciente demanda de agua dentro del país se requiere una correcta planificación y gestión de este recurso que pretenda, por un lado, identificar las diferentes fuentes de agua y su disponibilidad de uso para el ser humano; mientras que, por otro lado, reconozca las posibles amenazas tanto antrópicas como naturales que pongan en riesgo la calidad y cantidad de agua proveniente de estas zonas. De esta manera, procurando zonificar las áreas de recarga hídrica tanto superficial como subterránea para enfocar hacia éstas esfuerzos de conservación que vayan

de acuerdo con las peculiaridades del territorio, así como con las posibles amenazas que interfieran en la prestación de servicios hídricos por parte de estos territorios (MAE, 2009).

El área de estudio formando parte del sur occidente del Parque Nacional Cayambe – Coca (en adelante PNCC) es un área estratégica de aprovisionamiento de agua para el Distrito Metropolitano de Quito (en adelante DMQ) ya que las aguas que de esta zona provienen abastecen a gran parte de sus pobladores; de todas maneras, el hecho de que el DMQ cuente con fuentes provenientes directamente de esta zona no garantiza que su demanda hídrica esté cubierta, lo que ha resultado en la creación de infraestructuras de captación y conducción en fuentes cada vez más lejanas, lo que implica problemas sociales y ambientales en los procesos de formulación, construcción y puesta en marcha de estos proyectos (Vera, 2014).

Las fuentes de agua para el DMQ, así como para las poblaciones aledañas al sur occidente del PNCC dependen en gran medida de las estrategias de conservación consideradas dentro de las políticas de protección de zonas de recarga hídrica. Las diferentes amenazas a las que se encuentran expuestas estas zonas de recarga tanto superficial como subterráneas; sin embargo, hacen que los esfuerzos de conservación tengan que priorizarse en las zonas de mayor recarga hídrica por su importancia para el ser humano. Así, aunque se tengan políticas de uso de suelo y gestión del recurso hídrico para protección del agua, hace falta la incorporación de ciertas políticas que obliguen al Estado a promover la investigación de fuentes y zonas de recarga tanto superficiales como subterráneas que pretendan resolver la vigente crisis hídrica de la sociedad tratando de encontrar nuevas fuentes de agua que abastezcan las necesidades de la sociedad ecuatoriana.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien el Sistema Natural de Áreas Protegidas (SNAP), La Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua del 2014, y la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo del 2016, entre otras, han sido marcos fundamentales para la conservación de recursos hídricos dentro del país, existe una serie de conflictos en torno a los recursos hídricos debido primordialmente a usos y/o actividades incompatibles con el mantenimiento de los servicios ambientales. El cambio en el uso del suelo, obras de infraestructura y explotación de recursos son las principales causas de la alteración de ecosistemas, especialmente de ecosistemas tan funcionales como los sistemas montanos, los cuales tienen un rol fundamental en el almacenamiento y provisión de recursos hídricos dentro del país (MAE, 2009).

La creciente demanda de recursos hídricos por parte de las urbes del país también es un reto al que nos enfrentamos en la actualidad en lo referente a la gestión hídrica, necesitándose así

cubrir diferentes aspectos como demanda de agua potable, agua para riego, agua para industria, agua para saneamiento, sin olvidar respetar el respectivo caudal ecológico de cada sistema hídrico. En la actualidad se necesita un promedio de 8000 l/s de agua potable para satisfacer el nivel de consumo del DMQ y se calcula que este consumo irá aumentando en 233 l/s anualmente durante los próximos 20 años; por otro lado, los caudales garantizados para el DMQ solamente cubren 7000 l/s viéndose así la importancia de gestionar el agua de la mejor manera posible. La evidencia de como el crecimiento del DMQ ha ido incrementando la presión sobre el recurso hídrico se puede ver en las infraestructuras de captación, y cómo éstas han ido posicionándose en lugares cada vez más apartados, buscando fuentes más lejanas que involucran ciertos problemas de carácter social con pobladores de las zonas (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

En la actualidad la población del DMQ supera los 2`200.000 habitantes que requieren un caudal aproximado de 8000 lts/s para satisfacer diferentes necesidades (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011); de todas maneras, estudios por parte del EPMAPS y FONAG han demostrado que la infraestructura actualmente instalada no será suficiente para abastecer la creciente demanda por parte del DMQ en el futuro, las cuales actualmente se estiman en 8m³/s (El Telégrafo, 2016), y según estimaciones se proyectan a ser de 10.9 m³/s en el 2020 y 13 m³/s en el 2040. De esta manera evidenciándose la necesidad de gestionar de manera idónea las cuencas que abastecen al Distrito Metropolitano de Quito y de proteger las zonas de recarga hídrica de donde este recurso proviene generando una cultura que conciencie a la población sobre la importancia del recurso (EPMAPS, 2011).

En lo que concierne el mantenimiento del ciclo biogeoquímico del agua en el PNCC, existen ecosistemas que pueden ser más vulnerables a disturbios antrópicos; ecosistemas cuya vulnerabilidad viene dada principalmente por variables como el tipo de cobertura vegetal, el tipo de formación geológica y el tipo de suelo. La importancia de conservar estas zonas responde a la función que cumplen con respecto al ciclo hidrológico en donde actúan como áreas de recarga para su respectivo sistema hídrico (Vélez, 2005), el cual puede ser superficial y subterráneo para el caso de las formaciones hidrogeológicas Napo, Volcánicos Pisayambo y Volcánicos Cotopaxi y primordialmente superficial para el resto de formaciones dentro del PNCC (MAE, 2009).

Dentro del PNCC existen tres cuencas hidrográficas las cuales abastecen a la ciudad de Quito, estas son la Cuenca del Río Papallacta, la Cuenca del Río Oyacachi y la Cuenca del Río Guayllabamba; las dos primeras cuentan con una caudal medio mensual de 2.451 m³/s y 52,3 m³/s respectivamente, mientras que de la cuenca del río Guayllabamba no se tiene un dato exacto, lo que evidencia que existen ciertos vacíos en el manejo de los recursos hídricos dentro PNCC. (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

Las zonas de recarga hídrica son zonas que, por su considerable elevación, la exposición a una alto régimen de precipitación, su cobertura vegetal como páramo y bosque altomontano, poca intervención de uso de suelo y más características biofísicas actúan como áreas de almacenamiento de agua tanto superficial como subterránea. La importancia de inventariar y caracterizar estas zonas responde a la necesidad de satisfacer las crecientes demandas por parte de la población sobre este recurso, considerando claro que estas zonas de recarga pueden llegar a alimentar acuíferos subterráneos los cuales se estiman que albergan alrededor del 40% del agua dulce del mundo (Werner, 1996). También, el elevado número de cuerpos de agua del área de estudio muestra por un lado que estos son el resultado de la descarga de agua de las zonas aguas arriba y por otro lado muestran que estos cuerpos de agua pueden ser los elementos que recarguen subterráneamente los acuíferos que se cree que existen en esta zona (MAE, 2009).

Conservar ecosistemas para obtener sus servicios ambientales significa accionar acorde a uno de los objetivos de manejo del Parque Nacional Cayambe Coca que es derivar beneficios ambientales de los ecosistemas montanos por medio de la conservación de la cobertura vegetal nativa y los recursos hídricos del lugar. Existen sin embargo ciertas inconsistencias entre la categoría de manejo, y los usos directos que tienen lugar en el parque. La conservación de los recursos hídricos impone ciertas consideraciones en lo que respecta al uso de la tierra, consideraciones que normalmente están ligadas a actividades humanas y sus efectos en los balances ecosistémicos y prestación de servicios. De esta manera la presente investigación propone inventariar las zonas de recarga del sur occidente del PNCC y evaluar preliminarmente el grado de amenaza al que se encuentran expuestas por el tipo de uso de suelo y la presión social.

MARCO REFERENCIAL

Antecedentes

El manejo integral de los recursos hídricos por parte del Estado ecuatoriano como un bien público no privatizable se da por primera vez tras la publicación de la Ley de Aguas de 1972, Aquí se reconoce que las fuentes de agua deben ser protegidas por medio de delimitaciones territoriales y que las concesiones de uso y acceso al agua serán reguladas por medio del Estado (Ley de Aguas: Reglamento y Legislación Conexa, 2010).

Por la importancia que tiene el recurso hídrico en los aspectos social, político y económico de las comunidades, en 1977 en la Conferencia Intergubernamental de Mar del Plata se reconoce internacionalmente por primera vez que el agua es un elemento que debe ser gestionado y utilizado de la mejor manera para promover su cuidado y conservación tanto para aguas

superficiales como para aguas subterráneas; y que se deben delimitar zonas de protección hídrica para las fuentes de estos recursos. (World Water Council, 2016).

Las zonas de recarga hídrica sean superficiales o subterráneas en Ecuador se ven determinadas por ciertas características biofísicas específicas. Las características que determinan una zona de alta recarga hídrica son encontrarse en áreas de considerable elevación, encontrarse expuestas a elevados regímenes de lluvia, poseer vegetación alta-montana o de páramo que favorezca la retención del agua, poseer relieves geomorfológicos de alta montaña y tener texturas de suelos pequeñas y pendientes pronunciadas que favorezcan la escorrentía superficial en el caso de las zonas de recarga superficial y suelos con texturas más arenosas y pendientes casi planas que favorezcan la recarga subterránea en el caso de las zonas de recarga hídrica subsuperficial (Vélez, 2005).

En la Ley de Aguas del 2014 la delimitación de zonas de protección hídrica ya se reconoce específicamente dentro de uno de sus artículos, y se considera que por la importancia que estas tienen para todas la esfera social ambiental y económica del país su delimitación se debe incluir dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, algo que también va de acuerdo a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo del 2016 la cual reconoce zonas de protección de recursos naturales como el agua (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014). De esta manera, las áreas protegidas del país a más de significar un esfuerzo de conservación de servicios ambientales y ecosistémicos se encargan del cuidado de las fuentes de agua, dándosele así una importancia específica a este dentro de las áreas protegidas. Sin embargo, debido la gran importancia hídrica tanto superficial como subterránea del PNCC, el presente estudio pretende zonificar la posible intensidad de recarga para cada uno de estos tipos de recarga, puesto que los procesos hidrogeológicos del lugar no se encuentran en su totalidad comprendidos, aunque se sabe que por el grado de fisuración de las rocas las aguas subterráneas son bastante probable en la zona (MAE, 2009).

Actualmente existe información sobre ciertas características hidrológicas del PNCC, como son los patrones de drenaje de la zona, la vocación de las microcuencas, así como se sabe que en la mayoría del área de estudio puede existir la presencia de aguas subterráneas. A la par se identifican ciertas amenazas que pueden alterar los sistemas hídricos: el tipo de uso de suelo, los patrones de extracción y explotación del parque, o las implicaciones ecológicas de cierta infraestructura son factores que pueden modificar la cantidad y calidad del recurso hídrico, sin embargo, por motivos de dinero y personal, los esfuerzos de conservación del recurso hídrico se tienen que concentrar en las zonas que mayor recarga tengan y las cuales se encuentren mayormente amenazadas (MAE, 2009)

Como una de las áreas naturales de mayor interés hídrico en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), el PNCC es una zona de suma importancia para el DMQ ya que es el área protegida de donde llega la mayor cantidad de agua que el Distrito necesita para sus actividades, y ésta en conjunto con el agua de la Reserva Ecológica Antisana y el Parque Nacional Cotopaxi significan zonas de considerable recarga hídrica que aportan aproximadamente el 75% del agua que el DMQ consume (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

El rápido crecimiento que el DMQ ha tenido desde la década de 1910 se puede ver evidenciado en la infraestructura usada para cubrir las necesidades hídricas, de esta manera en 1913 la primera planta de tratamiento “El Placer” tenía un caudal promedio de 200 lt/seg (Rodríguez, 2011); mientras que en la actualidad las necesidades del DMQ son de aproximadamente 8000 lt/seg los cuales abastecen a alrededor de 2`500.000 personas. Sin embargo, a pesar de la magnitud actual de la infraestructura de captación, se sabe que para el año 2040 la población del DMQ bordeará los 4`200.000 personas y se necesitará de un caudal de 13 m³/s para cubrir las necesidades de los quiteños (EPMAPS, 2011)

Actualmente las cuencas del PNCC que abastecen al DMQ son la cuenca del río Papallacta, la cuenca del Río Oyacachi y la cuenca del Río Guayllabamba; sin embargo, se está incorporando la cuenca del río Chalpi a las cuencas de abastecimiento del DMQ mediante el proyecto “Chalpi Grande” el cual constará de 3 fases que buscan bombear el agua de esta cuenca al reservorio del Sistema Papallacta para aumentar el volumen del caudal proveniente lo que denota un crecimiento en el uso del agua por parte del DMQ del PNCC (EPMAPS, 2011).

Finalmente las zonas de recarga hídrica superficiales como subterráneas son las áreas donde este estudio hace énfasis, y considerando las políticas que las reconocen y protegen y los procesos sociales que las amenazan, el presente estudio pretende identificar las zonas de mayor intensidad de recarga hídrica las cuales deben ser focos de esfuerzos de conservación.

Marco teórico

Las zonas de recarga hídrica son objeto de estudio de la **Hidrología** e **Hidrogeología** las cuales dicen que las zonas montañosas son las fuentes de recarga de agua para el ser humano ya que es donde las aguas superficiales y subterráneas comienzan a correr dentro del ciclo hidrológico en base al movimiento descendente que es el movimiento dominante en hidrología. Las aguas superficiales por un lado tienden a correr en pendientes más pronunciadas y en suelos que no permitan la infiltración, mientras que las aguas subsuperficiales y subterráneas normalmente se encuentran en pendientes planas con suelos que permitan la infiltración con textura arenosa, y, en el caso de acuíferos, normalmente también existe la presencia de rocas fisuradas que permiten la recarga subterránea de agua (Werner, 1996).

También, el **paisaje hídrico** es otro de los temas que determina la recarga hídrica tanto superficial como subterránea. Este, por un lado trata de considerar al agua como un elemento específico de estudio y no como un elemento más dentro del paisaje terrestre, y por otro lado, propone que el agua en su calidad y cantidad se ve determinada por las características del paisaje terrestre al que se encuentra expuesto. Actualmente se tiene una visión más holística sobre el paisaje y se consideran aspectos como prestación de servicios ambientales o recursos naturales que permiten una mejor planificación de las áreas protegidas con un mejor entendimiento de las amenazas hacia estos sistemas naturales. (Lianyong & Eagles, 2009).

Por otro lado, las **políticas de protección del recurso hídrico** son otro de los aspectos que determina la calidad y cantidad de agua disponible para uso humano; el Ecuador ha promovido el cuidado de su agua desde 1832 con la formulación de la primera Ley de Aguas, y, la vigente Ley de Aguas de 2014 ha sido el resultado de años de modificaciones y adaptaciones a la realidad. Esta última, reconoce que se debe proteger las fuentes de recarga hídrica tanto superficial como subterránea y como también se dice en la Ley de Suelos del 2016, se debe regular la ocupación del territorio para el mejor cuidado y mejor gestión de este recurso.

Finalmente, la **Evaluación Multicriterio** es la técnica geográfica encargada del procesamiento de la información para generación de mapas. Ésta propone que el territorio tiene varias características que pueden ser sistematizadas para darles una valoración en base a un objetivo general, y que, escogiendo criterios pertinentes con la finalidad del objetivo, se puede llegar a generar escenarios para facilitar soluciones en el campo de la planificación. De esta manera, la Evaluación Multicriterio se usará en base al objetivo de este estudio, el cual es la delimitación de zonas de recarga hídrica tanto superficial como subterránea, usando criterios pertinentes para su valoración (Gómez & Barredo, 2005).

Marco conceptual

Las **zonas de recarga hídrica** son zonas que, por sus características de gran elevación, regímenes de alta precipitación y cobertura vegetal y uso de suelo poco disturbado, hacen que sean áreas con grandes posibilidades de almacenar agua así como a actuar de fuerte de este recurso. Por un lado, las **zonas de recarga hídrica superficial** se caracterizan normalmente por encontrarse en pendientes pronunciadas y con suelos que permiten la escorrentía superficial, mientras que las **zonas de recarga subterránea** son terrenos de baja pendiente y con suelos de texturas grandes como la arena, que permiten la escorrentía de agua hacia estratos más profundos del suelo, También, las rocas fisuradas permiten el flujo de agua hacia cuerpos de agua bajo tierra los cuales son llamados acuíferos. El área de estudio se encuentra dentro del PNCC, ésta es un área destinada a la conservación y aprovechamiento de ciertos elementos ambientales; también

es un **Área Protegida** cuyas características la hacen un área de interés nacional con una categoría de manejo de **Parque Nacional**, categoría que procura conservar los ecosistemas que aquí existen para indirectamente conservar los servicios ambientales prestados, entre ellos el agua; se pretende también que exista una muy reducida presencia humana en estas zonas debido a su fragilidad y a su importancia ambiental (ECOLAP y MAE, 2007).

Las **políticas de conservación del recurso hídrico** son marcos legales encargados de proteger la calidad y cantidad de este recurso, por un lado, para uso del hombre y por otro lado para mantener los caudales ecológicos que son los volúmenes de agua útiles para mantener los balances ambientales. Aquí, las políticas reconocen que el recurso hídrico es de vital importancia para la esfera social, económica y ambiental, y que la importancia que las zonas de recarga hídrica tienen en el **ciclo hidrológico** el cual es la forma en que fluye el agua dentro de la tierra, es que actúan como fuentes de agua para su posterior uso por parte de los seres vivos.

Las **amenazas** presentes en esta área se refieren primordialmente a elementos que pueden alterar las características normales del funcionamiento de los ecosistemas; entre las más importantes se reconocen al **tipo de uso de suelo** que consiste en el cambio de la cobertura natural existente por otro tipo de coberturas mayormente debido a actividades humanas, a la **agricultura y ganadería**, que son actividades productivas que van en contra de los objetivos de conservación de agua del PNCC, y a las **obras de infraestructura** como hidroeléctricas o embalses de captación, cuyos potenciales efectos aún no se encuentran en su totalidad entendidos (Maskrey, 1993).

Los efectos que mayormente interesan en este estudio son los producidos hacia el **paisaje hídrico** por medio del **cambio de uso de suelo** y la **fragmentación de ecosistemas**. Estos efectos se pueden visualizar especialmente en el **funcionamiento del ciclo hidrológico**, dándose cambios en los caudales. Se hace de vital importancia para la ciudad de Quito una **zonificación de las áreas prioritarias de recarga hídrica** y un reconocimiento preliminar de las **potenciales amenazas** al funcionamiento normal del ciclo hidrológico dentro del PNCC.

Marco metodológico

La presente investigación propone zonificar la intensidad de recarga hídrica tanto superficial como subterránea en el sur occidente del PNCC tomando en cuenta un conjunto de variables pertinentes para tratar de zonificar estas áreas. Las variables para zonificar la intensidad de recarga en el área de estudio son cobertura vegetal y uso del suelo, precipitación, geomorfología, pendiente, elevación, y textura del suelo; éstas, ponderadas mediante el método de la matriz de SAATY y procesadas en su conjunto nos darán una propuesta clara sobre las zonas que mayor

intensidad de recarga hídrica tienen, las cuales por su importancia deben ser focos de esfuerzos de conservación.

Por otro lado, como se menciona anteriormente, el área de estudio se encuentra bajo ciertas amenazas que pueden poner en riesgo el volumen de agua almacenado y proveído por parte de esta zona. Las amenazas consideradas en el presente estudio responden a presiones sociales por parte de la población y a la cobertura vegetal y uso del suelo dentro de la zona: de esta manera, las variables que se consideran para la realización del mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica son cobertura y uso del suelo, porcentaje de crecimiento poblacional anual por parroquia, densidad poblacional por parroquia, y porcentaje de la población en actividades agrícolas y ganaderas. Éstas, ponderándose en base al objetivo de encontrar amenazas a la recarga hídrica y sobreponiéndose una a la otra nos dan una idea de las zonas del sur occidente del PNCC donde mayores amenazas se encuentran. La información base para la realización del mapa de zonas de recarga hídrica superficial y subterráneo, así como la información utilizada para el mapa de amenazas a estas zonas de recarga será obtenida de diferentes fuentes. Las fuentes son FONAG, SIGTIERRAS, INAMHI, SNI, SENAGUA, SIGAGRO y la clasificación de cobertura vegetal y uso de suelo generada por Muñoz; y los mapas serán generados con el procesamiento de información en un Sistema de Información Geográfica (en adelante SIG). También, la escala de trabajo del presente estudio es de 1:50.000.

Las políticas y leyes analizadas en el presente estudio son la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del agua de 2014 y la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo del 2016, las cuales pretenden dar una idea general de cómo las zonas de recarga hídrica son consideradas dentro del país y los esfuerzos de conservación que existen sobre estas. La principal ley a considerar es la Ley de Aguas, sin embargo, la ley de uso y ocupación del suelo nos da ideas claras de cómo el suelo es dado una vocación para un objetivo en específico, que en este caso es la conservación de recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos.

Finalmente, una vez obtenida la propuesta de zonificación de zonas de recarga hídrica tanto superficial como subterránea, así como el grado de amenaza al que se encuentran expuestas estas zonas, se procederá a proponer recomendaciones de manejo de estas área que consideren la protección y la conservación de agua, tomando en cuenta los cuerpos legales que topan este tema y cuáles pueden ser las posibles falencias en el manejo de estas áreas de estratégica importancia para el DMQ y poblaciones aledañas al área de estudio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Delimitar y caracterizar las zonas de recarga hídrica del suroccidente del Parque Nacional Cayambe – Coca, y determinar preliminarmente el grado de amenaza al que se encuentran expuestas por el tipo de uso de suelo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un inventario y un mapa de zonas de recarga hídrica del sur occidente del Parque Nacional Cayambe Coca mediante medida de variables paisajísticas pertinentes (elevación, pendiente, orientación, otras).
- Representar gráficamente las posibles amenazas a las zonas de recarga hídrica en el sur occidente del PNCC basado en el tipo de uso de suelo y en el interés hídrico de Quito.
- Determinar la situación actual de los recursos hídricos del sur occidente del PNCC y su relación con el DMQ en el marco de la normativa vigente que contempla la implementación de áreas de conservación hídrica.
- Proponer recomendaciones de gestión sobre el recurso hídrico y el recurso suelo que permitan la conservación de los sistemas hídricos del sur occidente del PNCC.

CAPITULO I

DETERMINACIÓN, CARACTERIZACIÓN E INVENTARIO DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN EL SUR OCCIDENTE DEL PNCC

1.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la vertiente Occidental del Parque Nacional Cayambe Coca así como las cuencas del río Papallacta y el río Chalpi también pertenecientes a esta área protegida; se encuentra al nororiente de Quito entre las provincias de Pichincha, Napo e Imbabura y posee aproximadamente 62.000 hectáreas de superficie las cuales se encuentran delimitadas por la línea divisoria de aguas, siendo todo el territorio parte de la vertiente occidental del PNCC excepto por las cuencas del río Papallacta y el río Chalpi, que son cuencas pertenecientes a la vertiente occidental. La importancia de la vertiente occidental del PNCC radica en que es la fuente de agua de muchos proyectos de riego y agua potable que quedan aguas abajo, mientras que las cuencas del Papallacta y del Chalpi son unidades hidrográficas que drenan hacia el oriente ecuatoriano, sin embargo, por la cantidad de proyectos de captación de agua para el DMQ que en estas existe, fueron incluidas dentro del área de estudio.

Este territorio se encuentra limitando al Norte con el sector La Bonita en la provincia de Sucumbíos, al Sur con Quijos, al Este con la vertiente oriental del PNCC que ocupa las provincias de Napo Sucumbíos y Pichincha, y al Oeste con las cuencas altas de la provincia Pichincha. Este es un lugar que, por sus peculiaridades en localización, altitud, características biofísicas, y alta precipitación, dan al territorio una serie de potencialidades ecológicas y características ambientales las cuales sirven a las 11 parroquias que conforman el área de estudio y al DMQ, sobretodo abasteciendo de recursos hídricos a estas localidades (MAE, 2009).

El clima, la latitud, la altitud y el tipo de vegetación juegan un papel fundamental en la importancia hídrica que tiene esta área. Además, la cantidad y calidad de recursos hídricos que dentro de esta área afloran son aprovechados por el DMQ, el cual satisface la mayor parte de su consumo por medio del agua de esta área protegida la cual también satisface a los pobladores que viven en las zonas de amortiguamiento de esta (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

Por otro lado, la Ley de Aguas del 2014 al igual que la Ley de suelos del 2016 son dos de las referencias legales en las que el suroccidente del PNCC basa su integridad conservadora, ya que por medio de estos marcos se pretende proteger los recursos hídricos y gestionar el uso y ocupación del suelo. Además, esta área protegida es un área de interés nacional puesto que es considerada como una zona de provisión de servicios ambientales, sobre todo para el DMQ quien aprovecha directamente mediante infraestructuras de captación los recursos hídricos que de aquí provienen (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

A pesar de que dentro del área de estudio existe baja densidad poblacional y esta zona es un área protegida, la presión social sobre el territorio es uno de los factores que se deben considerar a futuro puesto que en las parroquias que conforman este parque nacional tienen tasas de crecimiento altas con respecto al resto del país, lo que en conjunto con las actividades económicas que en su mayoría son de producción agrícola y ganadera, pueden llegar a impactar la zona de manera negativa (INEC, 2012). De esta manera se reconoce que las actividades productivas tienen lugar dentro de esta área protegida incluso si estas van en contra de los objetivos de conservación del parque, y, como se menciona en el Plan de Manejo del PNCC, se sabe que la actividad que mayores efectos negativos tiene para el almacenamiento y provisión de agua es la ganadería libre dentro de la zona, la cual no tiene restricciones o barreras que puedan controlarla de alguna manera.

También, la importancia hídrica del área de estudio radica en que las aguas superficiales que aquí se pueden encontrar abastecen casi en su totalidad al DMQ y a las poblaciones aledañas, sin embargo, el Plan de Manejo del PNCC también reconoce que en la vertiente sur occidental de esta área protegida puede que haya una alta posibilidad de recarga de aguas subterráneas por la roca fisurada que caracteriza esta zona, la cual permite la infiltración de agua la cual puede llegar a alimentar a acuíferos, y, lo poco que se conoce de las aguas subterráneas de esta zona es que estas podrían alimentar a una serie de cuerpos de agua o más aguas subterráneas mientras el agua sigue su movimiento natural descendente, por lo que el área de estudio, a más de presentar una gran cantidad de cuerpos de agua y aguas superficiales, puede también tener una gran cantidad de aguas subterráneas las cuales no son visibles, y por su poco conocimiento, deben ser temas de futuras investigaciones las cuales pretendan proteger e incluso utilizar las aguas subterráneas que de aquí provengan, viéndose la importancia estratégica de esta área protegida con respecto al aprovisionamiento de agua (MAE, 2009).

Tabla 1: División político administrativa de la vertiente sur occidental del PNCC

Provincia	Cantón	Parroquia
Napo	Quijos	Cuyuja
		Papallacta
Pichincha	Quito	Checa
		El Quinche
		Pifo
		Yaruquí
	Cayambe	Cayambe
		Cangahua
		Olmedo
Imbabura	Pimampiro	Mariano Acosta
		San Fco. De Sigsipamba

Modificado de: INEC, 2009, Esquema de codificación de la división político administrativa del país.

1.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

1.2.1. Aspectos geomorfológicos

El área de estudio se caracteriza por presentar paisajes geomorfológicos relacionados con relieves montañosos y la Cordillera de los Andes característicos de relieves de alta montaña; éstos, por su elevación implican una considerable importancia sobre los recursos hídricos ya que son relieves alto montanos los cuales son fuentes naturales de agua (MAE, 2009). La forma en que la geomorfología se relaciona con la hidrología es que ésta por sus relieves altomontanos, puede dar una idea de si el tipo de relieve es un relieve de almacenamiento o de flujo de agua esto debido a que el área de estudio presenta relieves altomontanos los cuales tienen gran importancia hídrica (Matus, Faustino, & Jiménez, 2009). En la figura N° 1 se puede observar los distintos tipos de relieves geomorfológicos del área de estudio.

1.2.2. Suelos

Los suelos presentes en la vertiente occidental del PNCC son productos de la investigación hecha por EcoCiencia y The Nature Conservancy (TNC) a escala 1:250.000, donde se identificaron tres tipos de acuerdo con la de Soil Taxonomy los cuales son Entisol, Mollisol y Inceptisol. La textura de estos suelos va desde franco arenosa hasta arcillo arenosa y esta textura es la que permite la infiltración del agua, mientras más grandes las partículas, mayor infiltración de agua, y mientras más pequeñas las partículas mayor escorrentía superficial (Matus, Faustino, & Jiménez, 2009). La figura N° 2 presenta los diferentes tipos de textura del suelo presentes dentro del área de estudio.

1.2.3. Hidrología

El área de estudio se divide en 3 grandes grupos principales, las cuencas del sistema Mira que drena hacia la vertiente occidental por el norte, las microcuencas del subsistema Guayllabamba que drenan hacia la vertiente occidental y las cuencas del río Chalpi y del río Papallacta que son parte de la vertiente oriental de esta área protegida y pertenecen al sistema hídrico Napo, pero debido a su importancia hídrica para el DMQ se las considera dentro del área de estudio (MAE, 2009). Adicionalmente, existe un total de 19 microcuencas dentro del área de estudio de las cuales dos se encuentran en el sistema Mira, 15 en el subsistema Guayllabamba, mientras que las cuencas del río Chalpi y del río Papallacta pertenecen al sistema Napo, el cual drena hacia la Amazonía.

También existen alrededor de 47 cuerpos de agua dentro del área de estudio, lo que demuestra el gran potencial hídrico de ésta, este potencial no sólo radica en el almacenamiento de agua para consumo humano, sino en los servicios ecológicos que ésta presta, ya que estas pequeñas lagunas son un sitio de importancia internacional frente a la convención RAMSAR de aves migratorias (MAE, 2009). Los cuerpos de agua se localizan en su mayoría en la zona sur de la vertiente occidental del PNCC donde a la par también se localiza la mayoría de la infraestructura utilizada para captación. La figura N°3 presenta las cuencas hidrográficas del área de estudio.

1.2.4. Clima

Dentro del área de estudio se pueden encontrar diferentes tipos de climas, principalmente climas alto montañosos que van desde los 0° hasta las 24°C. Normalmente las temperaturas menores a 10°C se encuentran en las zonas altas donde están distribuidos los páramos y los cuerpos glaciares, mientras que en las zonas bajas la temperatura puede llegar a los 24°C (MAE, 2009).

Adicionalmente, los regímenes de precipitación van desde los 500 mm/año en la zona baja del oeste hasta los 3000 mm/año en la zona alta de este, con dos estaciones lluviosas que se dan entre enero y marzo, y octubre y noviembre debido a corrientes de aire provenientes del Océano Pacífico y de la Amazonía respectivamente (MAE, 2009). Estas juegan el papel más importante en lo referente a la recarga hídrica ya que es la variable que determina cuánta agua ingresa al sistema. Los rangos de precipitación dentro del área de estudio se presentan en la figura N°7.

1.2.5. Cobertura Vegetal y Uso de Suelo

El presente estudio clasifica la cobertura de la superficie tomando como referencia la clasificación propuesta por Muñoz (2017) la cual se basa en las clasificaciones del MAE (2012) y de Cañadas (1983); esto debido a que para el presente estudio se hizo necesario un mayor detalle en las coberturas vegetales y de uso del suelo.

Por otro lado, la mayoría del área de estudio no posee asentamientos humanos de considerable magnitud en lo referente a uso de suelo, pero de todas maneras la funcionalidad de los sistemas hídricos depende en gran medida del estado de la cobertura vegetal, el cual juega un papel muy importante en el balance, distribución y almacenamiento del recurso hídrico (Buytaert, 2006). Los usos del suelo y coberturas vegetales del área de estudio se presentan en la figura N° 5.

1.2.6. Pendiente

Las pendientes dentro del PNCC van desde los 5 grados hasta las inclinaciones mayores a 70 grados debido a que esta zona comprende un terreno montañoso y bastante heterogéneo en relieve y clima. Dentro del área de estudio también se tienen zonas clasificadas como cuerpos de agua, cascos de nieve representado por el Cayambe y afloramientos rocosos como son los eriales, los cuales se encuentran rodeando al volcán Cayambe, lo que denota aún más la irregularidad topográfica del terreno y su gran variedad de pendientes (MAE, 2009).

También, la pendiente juega un papel importante al momento de relacionarla con la hidrología superficial ya que, mientras mayor pendiente mayor escorrentía y menor infiltración, y mientras menor pendiente menor escorrentía y mayor infiltración. Cabe recalcar también que las escorrentías o drenajes superficiales se forman cuando el suelo se encuentra saturado y no puede filtrar más agua, por lo que drenajes en zonas relativamente planas nos muestran que el suelo se encuentra saturado de agua (Vélez, 2005). La figura N° 4 muestra la información del tipo de pendientes presentes dentro del área de estudio.

1.2.7. Elevación

El papel de la elevación dentro de la hidrología del área de estudio se puede ver determinado por el principio de aguas arriba y aguas abajo; este principio propone que las zonas que se encuentran a mayor elevación tienen mayor importancia hídrica puesto que el agua que circula desde las zonas altas hacia las zonas bajas va a verse influenciada por las peculiaridades ambientales y sociales que cada rango elevacional posea, de esta manera viéndose así influenciada la calidad del agua a medida que esta avanza hacia abajo. Consecuentemente, si las aguas que provienen de mayores elevaciones dentro del área de estudio tienen una afectación en su caudal, este caudal irá repercutiendo aguas abajo, por lo que la elevación a mayor elevación mayor importancia hídrica de la zona (Matus, Faustino, & Jiménez, 2009).

La totalidad del área de estudio abarca elevaciones que van desde los 2512 hasta los 5773 msnm representados por la elevación del volcán Cayambe. Para una mejor percepción del territorio se ha dividido el área de estudio en cinco diferentes estratos como se puede ver en la figura N° 6.

1.2.8. Infraestructura

El PNCC es una de las áreas de mayor importancia hídrica del país, sobre todo para el DMQ, ya que satisface casi la totalidad del consumo directamente a partir de la infraestructura de captación y conducción que sale de su territorio. Por otro lado, los recursos hídricos provenientes de aquí también se pretenden destinar para generación hidroeléctrica y aunque ningún proyecto hidroeléctrico se encuentra dentro de la zona, las aguas provenientes del área de estudio son de vital importancia ya que constituyen las zonas altas de las cuencas donde se encuentran estos proyectos (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

La cuenca del Guayllabamba cuenta con 1 proyecto hidroeléctrico construido y 8 proyectos en estado básico de construcción o planeamiento, mientras que las cuencas del río Chalpi y del río Papallacta cuentan con una propuesta de proyectos hidroeléctricos cada una, el proyecto Chalpi Grande y el proyecto Tuminguina – Papallacta para cada cuenca respectivamente, proyectos que por la importancia que tienen para el DMQ y otras localidades han hecho del área una zona estratégica en lo que se refiere a recursos hídricos (FONAG, 2016).

También existen un total de 13 infraestructuras de captación de agua dentro de la zona de estudio, 12 localizadas dentro de la cuenca del río Chalpi y 1 dentro de la cuenca del río Papallacta, y aunque el sistema de microcuencas del subsistema Guayllabamba no tenga infraestructura de captación en su superficie, las aguas provenientes de estas zonas y del volcán Cayambe alimentan a más de 100 estructuras de captación que se encuentran aguas abajo en la misma cuenca (FONAG, 2016). Por último, la vialidad constituye otra de las formas de infraestructura que se encuentra presente dentro del área de estudio, y aunque no se encuentre distribuida en una gran superficie de terreno esta es parte de la dinámica de la zona.

1.3. DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

Las zonas de recarga hídrica son territorios que por sus características intrínsecas, su ubicación, y los factores ambientales a las que se encuentran expuestas, tienen la capacidad de retener, almacenar y proveer de recursos hídricos a las zonas que se encuentran aguas debajo de estas o, por medio de infraestructura de captación y conducción, a zonas más alejadas que hagan uso directo o indirecto del agua que de aquí provenga (Donis, 2015).

Existen dos tipos de zonas de recarga hídrica, las que alimentan acuíferos y aguas subterráneas, y las que alimentan caudales o cuerpos de agua superficiales como ríos o lagos. Las zonas de recarga hídrica se ven determinadas principalmente por el régimen de precipitaciones al que se encuentran expuestas; de esta manera, el área de estudio a más de poseer un régimen de precipitación bastante alto, posee características que favorecen la recarga tanto superficial como subterránea, transformándola en un área de suma importancia hídrica, sin embargo para la

presente investigación se propone mapear las potenciales zonas de recarga superficiales y subterráneas puesto que la necesidad de nuevas fuentes de agua se están haciendo cada vez más obvias y el cuidado de las aguas debe darse tanto superficial como subterráneamente (Matus, Faustino, & Jiménez, 2009).

Las zonas de recarga hídrica se caracterizan por poseer factores biofísicos que en conjunto trabajan como una sola entidad capaz de almacenar y proveer agua para los diferentes tipos de uso del ser humano. Las principales características de estas zonas son una alta precipitación, una cobertura vegetal que retenga el agua y no erosione el suelo, son áreas poco intervenidas o poco contaminadas por el ser humano, tienen una elevación considerable que garantiza la calidad y cantidad de los recursos hídricos que de estas zonas provienen, tienen una textura de suelo que permite la escorrentía superficial sin dejar de mantener una buena humedad en el suelo, y sobretodo, como es el caso del área de estudio, son zonas que contienen glaciares que permiten la recarga superficial y subterránea dentro de su territorio, como es el caso del volcán Cayambe el cual se encuentra en la zona central del área de estudio, el cual drena hacia la cuenca del Guayllabamba (Donis, 2015).

La cantidad de cuerpos de agua dentro de la zona son un importante indicador de la importancia hídrica de la zona. Se reconocen 47 cuerpos de agua dentro del área de estudio, los cuales son alimentados directamente desde la zona más alta de la vertiente occidental por medio de precipitaciones, deshielos, y la capacidad hídrica del suelo y vegetación. Estos cuerpos de agua vierten agua superficial o subsuperficialmente por medio del suelo lo que los convierte en elementos imprescindibles para el funcionamiento de la dinámica hídrica de la zona y los convierte en puntos focales en lo referente a recarga y descarga hídrica. Además, estos cuerpos de agua son de importancia internacional según lo acordado en la convención RAMSAR de humedales, debido a que son sitios de paso de aves migratorias (MAE, 2009).

La gran mayoría de la vegetación que se encuentra en el área de estudio se caracteriza por ser vegetación de páramo, ecosistema que por su altitud es considerado uno de los mayores proveedores de agua para las ciudades andinas, sobretodo dentro de los países de Ecuador, Perú y Colombia. Adicionalmente, los páramos son ecosistemas los cuales presentan poca disturbación dentro del área de estudio, sin embargo hay que considerar que no se tiene un registro histórico de cómo era el páramo en siglos pasados, así, considerando que el hombre ha hecho un uso intensivo del páramo desde hace varios cientos de años, se hace difícil saber en qué proporción y distribución se encontraban las especies nativas de páramo, lo que hace aún más importante su conservación, la cual ha incrementado en estas últimas décadas por su importancia hídrica para el ser humano (Buytaert, 2006).

El difícil acceso hacia la vertiente occidental del PNCC, las altas precipitaciones, las bajas temperaturas, la irregular topografía y la calidad de área protegida del terreno, hacen que el área de estudio sea un lugar en donde no existen asentamientos humanos, lo que garantiza la calidad y cantidad de los recursos hídricos en la zona. De todas maneras, el crecimiento poblacional, la alta tasa de urbanización en el país, así como la degradación de la calidad de las tierras en zonas bajas están obligando a los agricultores y a los ganaderos a buscar terrenos cada vez más elevados, lo que pone en riesgo la integridad de esta área protegida, la cual se encuentra conformada por algunas parroquias que tienen una tasa de crecimiento poblacional alta (Buytaert, 2006).

Normalmente las altas precipitaciones son las que definen las zonas de recarga hídrica en las zonas montañosas, sin embargo las peculiaridades del páramo del PNCC como la neblina y el rocío en las zonas altas también agrega una cantidad considerable de agua hacia este sistema, sobretodo en parches de vegetación arbórea y arbustiva como *Polylepis* sp., vegetación que por su altura, la forma y tamaño de su follaje, las características físicas de la hoja y la presencia de epífitas promueve la condensación de la neblina, y al pensar que actúa en similares proporciones que el bosque siempre verde montano, puede llegar a representar entre el 5 y 20% del promedio de lluvia en la zona (Buytaert, 2006).

También, las considerables elevaciones de la zona, y las bajas temperaturas promueven que se formen delgadas capas de hielo durante la noche entre los 4000 y 5000 msnm, sin embargo las temperaturas del día que llegan hasta los 24°C derriten este hielo y es agregado como agua líquida dentro de estas vertientes (Buytaert, 2006).

Los suelos del área de estudio son otro de los factores que juega un importante papel en lo referente a zonas de recarga hídrica puesto que las frías temperaturas de este territorio hacen que la descomposición de la materia orgánica sea lenta, y debido a que existe una alta cantidad de materia orgánica en los suelos de los sistemas alto montanos, la retención de agua es mayor, transformando estos territorios en verdaderas reservas de agua y promoviendo la escorrentía superficial por los altos niveles de saturación hídrica del suelo (MAE, 2009).

1.4. METODOLOGÍA

Para la elaboración del mapa de zonas de recarga hídrica tanto superficiales como subterráneas dentro del Suroccidente del PNCC se utilizaron diferentes variables geográficas integradas mediante la técnica de Evaluación Multicriterio. Esta técnica se enfoca en describir, integrar y jerarquizar las diferentes variables que se quieren utilizar para cumplir un objetivo específico, que en este caso es identificar zonas de recarga hídrica dentro del área de estudio (Gómez & Barredo, 2005).

Con la Evaluación Multicriterio, se pretende dar un aspecto medible a cada uno de los criterios y a cada una de las clases en las que se dividen estos criterios, por lo que es necesario jerarquizar numéricamente la vocación que tiene cada una de estas clases para cumplir el objetivo propuesto; de esta manera, identificar la vocación de zona de recarga hídrica es el parámetro de referencia en el que todas las ponderaciones estarán basadas.

La ponderación se basa en una serie de articulaciones lógicas entre los criterios que se van a utilizar y el objetivo al que se quiere llegar; de esta manera los criterios tienen que estar en relación con el objetivo. También, las ponderaciones que se den a los criterios se las dan de dos maneras, primero jerarquizando las clases dentro de cada uno de los criterios frente al objetivo, y luego ponderando cada uno de los criterios con respecto al otro; posteriormente utilizando técnicas matemáticas se puede reconocer la intensidad que tiene cada una de las variables para cumplir dicho objetivo y la intensidad que tiene cada una de las clases de cada variable con respecto al objetivo (Gómez & Barredo, 2005).

Así, una vez que se hayan ponderado las clases de cada variable, y cada variable con respecto a las otras, se pueden combinar las capas temáticas para obtener un mapa que muestre las zonas en donde mejor se cumple el objetivo basados en intensidades; **intensidades que muestran una alta vocación del territorio para recargar recursos hídricos, una mediana vocación y una baja vocación. De esta manera zonificando el terreno en base a un objetivo específico de referencia** (Gómez & Barredo, 2005).

El método utilizado para ponderar a las variables entre sí fue el método de las Jerarquías Analíticas propuesto por SAATY (1980). Aquí se compara cada una de las variables con las otras utilizando una matriz cuadrada en donde las filas y las columnas están dadas por el número de variables a integrar para el mapa final. De esta manera, al comparar cada una de las variables con las otras, se tendrá como resultado el vector propio para cada una de las variables, la ponderación entre variables se hace tomando en cuenta que 1 es para determinar igual importancia entre los criterios y 9 para determinar importancia extrema de un criterio sobre otro, mientras que los números menores a 1 determinan que una variable es menos importante que otra. Así se obtiene un peso para cada variable basados en términos aritméticos precisos (Gómez & Barredo, 2005).

Hay que considerar que, aunque la ponderación y la asignación de juicios estén correctamente sustentadas y basadas en criterios sólidos, siempre dentro de estos métodos existe un poco de subjetividades debido a que cada estudio tiene sus propios objetivos y sobre todo a que cada área de estudio tiene sus propias particularidades. También hay que considerar que el número de variables que se ingresen dentro de la matriz de SAATY es un factor muy importante a considerar, puesto que, si estas variables son más de 15 o 20 pueden llegar a significar una carga innecesaria

a la investigación, lo que puede resultar en una desestabilización de las ponderaciones y afectar el resultado de la investigación (Gómez & Barredo, 2005).

Las ortofotografías y modelos digitales de terreno utilizados para la generación de la capa de elevación, así como para la generación de curvas de nivel y ríos dentro del área de estudio se encuentran detallados en la siguiente tabla. Los archivos entregados por SIGTIERRAS fueron entregados a escala cantonal y se los re proyectó al Datum WGS84 para su procesamiento con el resto de capas.

Tabla 2: Metadatos de información de Ortofotografías y Modelos Digitales de Terreno proporcionados por SIGTIERRAS para el Estudio

Provincia	Cantón	Datum	Proyección	Escala	Zona	Sensor
Imbabura	Pimampiro	Sistema de Referencia para América del Sur 1995 (SIRGAS)	UTM	1:5.000	17S	CCD
Pichincha	Quito	Sistema de Referencia para América del Sur 1995 (SIRGAS)	UTM	1:5.000	17S	CCD
	Cayambe		UTM	1:5.000	17S	CCD
Napo	Quijos	Sistema de Referencia para América del Sur 1995 (SIRGAS)	UTM	1:5.000	17S	CCD

Elaboración propia.

También, la información utilizada para la generación del mapa de zonas de recarga hídrica que no fueron ponderadas como variables se detallan en la siguiente tabla. Esta información fue de vital importancia para la realización de este mapa y cabe recalcar que el *shapefile* de ríos y el de curvas de nivel fueron generados a partir de los Modelos Digitales de Terreno (en adelante DEMs) proporcionados por SIGTIERRAS, el resto de insumos fueron obtenidos de diferentes fuentes como se muestra a continuación.

Tabla 3: Metadatos de Información Vector para el mapa de zonas de recarga hídrica

Tipo de Información	Nombre	Proyección	Datum	Zona	Fuente
Vector	Hidroeléctricas	UTM	WGS 84	17s	FONAG
Vector	Captaciones	UTM	WGS 84	17s	FONAG
Vector	Curvas de Nivel	UTM	WGS84	17s	DEMs proporcionados por SIGTIERRAS.
Vector	Ríos	UTM	WGS84	17s	DEMs proporcionados por SIGTIERRAS.
Vector	Nx Cantones	UTM	WGS84	17s	SNI
Vector	PANE	UTM	WGS84	17s	SNI
Vector	Microcuencas	UTM	WGS84	17s	SENAGUA

Elaboración propia.

Por otro lado, cabe recalcar que el intento de generar líneas de acción y usar este método como herramienta para la toma de decisiones en el ámbito de la planificación territorial es una de las técnicas que se ha venido desarrollando exclusivamente en las últimas décadas y que es recomendada por la EPA (*Environmental Protection Agency*) de Estados Unidos, la cual la califica como un buen método para comparar alternativas frente a uno o varios objetivos dentro de un delimitado territorio (Gómez & Barredo, 2005).

Finalmente, la ponderación y las variables escogidas para el estudio se basaron en las principales características que definen a las zonas de recarga hídrica y en estudios de caso en donde se utilizó la misma metodología para definir zonas de recarga hídrica, así, los criterios utilizados están sustentados fuertemente y se encargan de identificar zonas de recarga hídrica superficial y subterránea (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

1.4.1. Generación de Mapas Temáticos y Ponderaciones

Para la generación de los diferentes mapas temáticos que se utilizaron como insumos para el mapa de zonas de recarga hídrica se manejó información proveniente de diversas fuentes así como el uso de un Sistema de Información Geográfica para procesamientos específicos para cada capa temática; de esta manera, los mapas realizados y normalizados bajo los mismos parámetros y ponderados en base al mismo objetivo nos ofrecerán información relevante para generar el mapa de propuesta de zonas de recarga hídrica.

Las capas temáticas utilizadas para la generación del mapa de zonas de recarga hídrica corresponden a la capa de cobertura vegetal y uso de suelo, a la capa de elevación, a la de geomorfología, textura de suelo, isoyetas y pendiente. Las clases de la capa de cobertura y uso del suelo están basadas en la clasificación de Muñoz (2017), mientras que las clases dentro de las 3 capas de indicadores poblacionales se encuentran determinadas por facilidades del estudio.

Tabla 4: Variables utilizadas para la determinación de zonas de recarga hídrica

CRITERIOS	CLASES	FUENTE	ESCALA
PENDIENTE	5-12	SIGAGRO	1:50.000
	12-25		
	25-50		
	50-70		
	>70		
	Eriales		
	Nieve y hielo		
	Cuerpos de agua		
TEXTURA DEL SUELO	Arcillo-arenoso	SIGAGRO	1:50.000
	Franco		
	Franco Arcilloso arenoso		
	Franco limoso		
GEOMORFOLOGÍA	Franco arenoso	SIGAGRO	1:50.000
	Cimas		
	Circo-glaciár		
	Colinas altas		
	Cono de escorias		
	Cuerpos de agua		
	Cuesta		
	Depósitos lávicos		
	Edificios Volcánicos		
	Escarpes		
	Glacis		
	Morrenas		
	Relieve Apalachense		
	Relieves montañosos		
Vertientes Disectadas			
COBERTURA Y USO DEL SUELO	Bosque	Muñoz, V.	1:5.000
	Cuerpo de agua		
	Cultivos		
	Matorral		
	Nieve		
	Paramo herbáceo-pajonal		
	Quema		
	Suelo desnudo		
ELEVACIÓN	2512-3000	SIGTIERRAS	1:5.000
	3000-3500		
	3500-4000		
	4000-4500		
	4500-5773		
ISOYETAS	500-750	INAMHI	1:1.000.000
	750-1000		
	1000-1250		
	1250-1500		
	1500-1750		
	1750-2000		
	2000-2500		
	2500-3000		

Elaboración propia.

La escala en la que se trabajará para la generación cartográfica será de 1:50.000. De esta manera, todos los insumos gráficos utilizados tienen que pasar por un ajuste de capas que garantice que los polígonos en las capas temáticas tengan más de 4 hectáreas de superficie. Así,

los polígonos que tengan menos de 4 hectáreas de superficie no serán mapeados y pasarán a formar parte de polígonos más grandes que los contengan, excepto en la capa temática de cobertura y uso de suelo debido a que existen remanentes de bosque menores a 4 Ha. los cuales pretenden representar fielmente los pequeños parches de bosque dentro del área de estudio.

Adicionalmente, la generación del mapa de zonas de recarga hídrica se basa primordialmente en la utilización de la matriz de SAATY como método de ponderación entre variables bajo la mira de un mismo objetivo, ponderación aritméticamente sustentada que posteriormente pretende ser procesada para mapear intensidades de recarga hídrica en el sur occidente del PNCC.

Como se sabe, son 6 las variables que se integraron para generar el mapa de zonas de recarga hídrica son precipitación, cobertura y uso del suelo, elevación, geomorfología, pendiente y textura. Estas variables se ponderaron entre ellas tomando en cuenta criterios objetivos aunque en esta clase de métodos la subjetividad siempre juega un papel importante ya que cada locación así como cada estudio tiene sus peculiaridades; de esta manera, la forma en que aseguramos la veracidad de la información se basa en la concordancia aritmética que tengan las ponderaciones al momento de plasmarlas en la matriz de SAATY, por lo que en base a la concordancia de las ponderaciones de este estudio se puede decir que, como se ve en la Tabla N°19 el radio de consistencia es del 96,59% con un error aproximado de $\pm 3,41\%$.

También, sabiendo que 1 representa el 100% del peso de las variables y 0 es el 0% o sin peso, se sabe que las variables se influyen las unas a las otras comenzando en orden descendente por la capa precipitación con un “vector propio” de 0,284, seguido de cobertura y uso del suelo con un vector propio de 0,254, tercero elevación con un 0,196, cuarto geomorfología con un “vector propio” de 0,134, luego pendiente con 0,060 y finalmente textura con un 0,053; y sumándose todas estas el resultado es 1, que es el 100% del peso de influencia de estas capas sobre el territorio.

De esta manera, en la presente investigación la precipitación y la cobertura vegetal son las capas con mayor peso, mientras que textura y pendiente son las de menor peso. La matriz de SAATY se presenta a continuación.

Tabla 5: Matriz de SAATY para la generación de un mapa de Zonas de Recarga Hídrica

Identificación de ponderados según criterios asignados para la identificación de zonas de recarga hídrica.														
Tamaño de la Matriz														
n=		6												
Código	I_Geo	I_Prec	I_Cob	I_Tex	I_Elev	I_Pen	Normalización de la matriz						Vector propio	Vector lambda máximo
Zonas de Recarga Hídrica	Geomorfología	Precipitación	Cobertura Vegetal	Textura	Elevación	Pendiente	I_GEO	I_Prec	I_Cob	I_Tex	I_Elev	I_PEN	Ti	λmax
Geomorfología	1	0,5	0,3	3,0	0,5	3,1	0,115	0,158	0,076	0,162	0,084	0,208	0,134	1,161
Precipitación	2,000	1	2,0	3,0	2,0	3,0	0,230	0,316	0,458	0,162	0,334	0,201	0,284	0,898
Cobertura Vegetal	3,030	0,500	1	3,5	2,0	4,0	0,349	0,158	0,229	0,189	0,334	0,268	0,254	1,111
Textura	0,333	0,333	0,286	1	0,20	0,33	0,038	0,105	0,065	0,054	0,033	0,022	0,053	0,984
Elevación	2,000	0,5	0,5	5	1	3,5	0,230	0,158	0,115	0,270	0,167	0,234	0,196	1,171
Pendiente	0,323	0,333333333	0,25	3,03030303	0,285714286	1	0,037	0,105	0,057	0,048	0,048	0,067	0,060	0,901
Total	8,686	3,167	4,366	18,530	5,985714286	14,9							0,980700067	6,225
Fórmulas		Descripción		Resultados		0,045076125								
CI = $\frac{(L_{max} - n)}{(n - 1)}$		Índice de Consistencia		CI = 0,045										
IA = 1,32		Índice de consistencia Aleatorio		n = 6										
RC = IC/IA		Ratio de consistencia		RC = debe ser menor al 10% RC = 0,034		3,41								

Modificado de: Ortiz, 2016. Diseño de un sistema de alerta temprana para la prevención de la proliferación del dengue en Manabí.

Tabla 6: Ponderaciones para el mapa de las zonas de recarga hídrica superficiales

Variable	Clases	Ponderación
Pendientes	5-12	0,5
	12-25	1
	25-50	1,5
	50-70	2
	>70	2,5
	Eriales	3
	Nieve y hielo	3,5
	Cuerpos de agua	3,5
Textura	Arcillo-arenoso	3,5
	Franco	2
	Franco Arenoso	1
	Franco Arcilloso arenoso	3
	Franco limoso	2,5
Geomorfología	Cimas	3
	Circo-glaciar	2,5
	Colinas altas	2,5
	Cono de escorias	3
	Cuerpos de agua	3,5
	Cuesta	2,5
	Depósitos lávicos	1,5
	Edificios Volcánicos	2
	Escarpes	2
	Glacis	3,5
	Laguna	3,5
	Morrenas	2,5
	Relieve apalachense	2
	Relieves montañosos	2,5
Vertientes disectadas	3	
Cobertura y Uso del suelo	Bosque	3
	Cuerpo de agua	3,5
	Cultivos	0,5
	Matorral	2,5
	Nieve	3,5
	Paramo herbáceo-pajonal	2
	Quema	0,5
	Suelo desnudo	1
Elevación	2512-3000	1,5
	3000-3500	2
	3500-4000	2,5
	4000-4500	3
	4500-5773	3,5
Precipitación (mm/año)	500-750	1,5
	750-1000	2
	1000-1250	2,5
	1250-1500	2,5
	1500-1750	3
	1750-2000	3
	2000-2500	3,5
	2500-3000	3,5

Modificado de: Donis, 2015.

Tabla 7: Ponderaciones para el mapa de zonas de recarga hídrica subterráneas

Variable	Clases	Ponderación
Pendientes	5-12	3
	12-25	2,5
	25-50	2
	50-70	1,5
	>70	1
	Eriales	1,5
	Nieve y hielo	3,5
	Cuerpos de agua	3,5
Textura	Arcillo-arenoso	1,5
	Franco	3
	Franco Arenoso	3,5
	Franco Arcilloso arenoso	2
	Franco limoso	2,5
Geomorfología	Cimas	3
	Circo-glaciar	2,5
	Colinas altas	2,5
	Cono de escorias	3
	Cuerpos de agua	3,5
	Cuesta	2,5
	Depósitos lávicos	1,5
	Edificios Volcánicos	2
	Escarpes	2
	Glacis	3,5
	Laguna	3,5
	Morrenas	2,5
	Relieve apalachense	2
	Relieves montañosos	2,5
Vertientes disectadas	3	
Cobertura y Uso del suelo	Bosque	3
	Cuerpo de agua	3,5
	Cultivos	0,5
	Matorral	2,5
	Nieve	3,5
	Paramo herbáceo-pajonal	2
	Quema	0,5
	Suelo desnudo	1
Elevación	2512-3000	1,5
	3000-3500	2
	3500-4000	2,5
	4000-4500	3
	4500-5773	3,5
Precipitación (mm/año)	500-750	1,5
	750-1000	2
	1000-1250	2,5
	1250-1500	2,5
	1500-1750	3
	1750-2000	3
	2000-2500	3,5
	2500-3000	3,5

Modificado de: Donis, 2015.

Los pesos de las diferentes clases de las variables se encuentran ponderadas en base al objetivo de delimitar intensidades del territorio de ser zonas de recarga hídrica tanto superficiales como subterráneas; de esta manera, se utilizó como referencia para darles peso a las variables, las ponderaciones propuestas por Donis, 2015, las cuales se enfocan en aguas subterráneas.

Los pesos de las clases en las variables precipitación, elevación, geomorfología y cobertura y uso del suelo son las mismas para aguas superficiales y subterráneas puesto que en el presente estudio se considera que tienen igual importancia para ambas; mientras que, las variables pendientes y textura de suelo son ponderadas de diferente manera debido a que una pendiente elevada en conjunto con una textura del suelo que permita la escorrentía superficial favorecen el flujo de agua sin infiltración, mientras que pendientes poco pronunciadas en conjunto con texturas de suelo que tienden a facilitar la filtración hacen que se permita una escorrentía subterránea lo que favorece a recargas subsuperficiales y subterráneas.

1.5. RESULTADOS

Geomorfología:

La geomorfología de la zona se caracteriza por presentar relieves montañosos con unidades que favorecen la recarga hídrica por ser esta zona el inicio de la vertiente occidental como se muestra en el Mapa N° 1. La característica principal de estos relieves es que todos son de alta montaña y hacen que toda la zona sea propensa a retener y distribuir agua.

En la geomorfología perteneciente a la vertiente occidental del PNCC, se puede ver que predomina el relieve de edificios volcánicos con un total de 27% de la superficie, seguido de relieves montañosos con un 17% aproximadamente y vertientes disectadas con un 15% de la superficie, lo que denota que el área de estudio está primordialmente conformada por relieves volcánicos y montañosos con una alta importancia hídrica debido a su topografía, a las precipitaciones, a la acumulación de aguas y derretimiento de glaciares (MAE, 2009).

Tabla 8: Geomorfología de la Vertiente Occidental del PNCC

TIPO DE GEOMORFOLOGÍA	HA. COBERTURA	% DE COBERTURA
Cimas	6064,04	9,90
Circo Glaciar	149,29	0,24
Colinas Altas	2419,56	3,95
Cono de Escorias	51,78	0,08
Cuerpos de agua	385,18	0,63
Cuestas	674,49	1,10
Depósitos lávicos	7697,27	12,56
Edificios Volcánicos	16579,81	27,06
Glacis	2740,65	4,47
Laguna	154,05	0,25
Morrenas	2339,55	3,82
Relieve Apalachense	69,94	0,11
Relieve Montañoso	10648,51	17,38
Vertientes Disectadas	9445,18	15,42
Escarpes	1851,75	3,02
TOTAL	61245,13	100,00

Fuente: SIGAGRO. Elaboración propia.

Textura:

La textura de la zona va desde partículas franco arenosas hasta partículas arcillo arenosas como se puede ver en el Mapa N° 2. Para la generación de la cartografía se procedió a sistematizar la capa producida por SIGAGRO. La tabla siguiente muestra los porcentajes de las clases de la capa textura en el área de estudio.

Tabla 9: Suelos de la Vertiente Occidental del PNCC

TEXTURA DEL SUELO	HA. COBERTURA	% DE COBERTURA
Franco arenoso	2311,97	3,77
Franco arcillo - arenoso	2038,44	3,33
Franco limoso	13616,94	22,23
Franco	42521,94	69,43
Arcillo arenoso	755,84	1,23
TOTAL	61245,13	100

Fuente: SIGAGRO. Elaboración propia.

Pendiente

Como se puede apreciar en el Mapa N° 3, existen un total de 8 diferentes tipos de pendientes con los que se mapeó el área de estudio; la generación del mapa se hizo en base a la capa temática generada por SIGAGRO. La siguiente tabla detalla las coberturas presentes en el área de estudio.

Tabla 10: Rangos de pendientes de la Vertiente Occidental del PNCC

Pendiente (grados)	Descripción	Ha. Superficie	% cobertura
5 - 12	Suave a ligeramente ondulado	5894,13	9,62
12 - 25	Moderadamente Ondulado	4477,76	7,31
25 - 50	Relieve Colinado	9270,91	15,14
50 - 70	Relieve Escarpado	14202,55	23,19
>70	Relieve Montañoso	19941,71	32,56
Wn	Cuerpos de agua	278,69	0,46
On	Nieve o hielo	751,33	1,23
Eriales	Afloramientos rocosos	6428,05	10,50
TOTAL		61245,13	100,00

Fuente: SIGAGRO. Elaboración propia.

Cobertura y uso del suelo:

La cobertura y uso del suelo del sur occidente del PNCC está basada en la clasificación realizada por Muñoz (2017), la cual cubre las zonas de la cuenca del Guayllabamba y las cuencas del río Papallacta y Chalpi dentro del área de estudio, mientras que, la cuenca del río Mira al norte de esta área fue digitalizada a mano mediante ortofotografías a escala 1:5000 publicadas en 2013 por SIGTIERRAS, en ésta se consideraron los mismos parámetros de la clasificación presentada por Muñoz (2017) para congruencia de la información. La siguiente tabla muestra el porcentaje que ocupan las diferentes clases dentro del área de estudio.

Tabla 11: Cobertura y Uso del Suelo de la Vertiente Occidental del PNCC

COBERTURA Y USO DEL SUELO	HA. COBERTURA	% DE COBERTURA
Bosque	434,72	0,71
Cuerpo de agua	635,61	1,04
Cultivos	741,29	1,21
Matorral	13728,85	22,42
Nieve	1029,78	1,68
Paramo herbáceo-pajonal	43508,13	71,04
Quema	66,13	0,11
Suelo desnudo	1100,36	1,80
TOTAL	61245,13	100

Modificado de: Muñoz, 2017.

Elevación:

Para una mejor visualización y comprensión del terreno se dividió al mismo en 5 diferentes clases para propósitos de sistematización de información y visualización de la misma. El primero se encuentra entre los 2512 y 3000 msnm y representa el 0,93% de la superficie del terreno, es decir 569,91 hectáreas las cuales se encuentran localizadas en la zona noroccidental. El segundo yace entre los 3000 y 3500 msnm constituyendo el 8,68% del área de estudio con 5318,92 ha. La tercera clase abarca 36587,90 ha comprendidas entre los 3500 y 4000 msnm las cuales representan el 59,74% de la superficie total del terreno, esta clase es en donde se encuentra la mayoría de la superficie del terreno. La cuarta clase representa el 28,33% del terreno que yacen entre los 4000 y 4500 msnm significando así 17352,79 ha, área que representa la segunda clase más abundante dentro de la zona de estudio. Finalmente, el quinto y último estrato se encuentra entre los 4500 y 5773 msnm determinado por el volcán Cayambe que se encuentra en la zona central - oriental del mapa, éste representa el 2,31% de la superficie total del área de estudio con 1415,34 ha.

La siguiente tabla muestra la información de elevación y su respectiva superficie dentro del área de estudio.

Tabla 12: Rangos altitudinales de la Vertiente Occidental del PNCC en base a metadatos del Raster entregado por SIGTIERRAS

Elevación (msnm)	Ha. Superficie	% Cobertura
2512 – 3000	569,91	0,93
3000 – 3500	5318,92	8,68
3500 – 4000	36587,90	59,74
4000 – 4500	17352,79	28,33
4500 – 5773	1415,34	2,31
TOTAL	61245,13	100

Elaboración propia.

Isoyetas:

A la capa de Isoyetas se la ponderó con el resto de las variables para asignarle un peso, sin embargo, esta variable no se incluyó en el procesamiento de todas las capas temáticas entre ellas mediante la herramienta de intersección, si no, que se la incluyó luego de que el resto de capas hayan sido intersecadas entre ellas debido a que las isoyetas son límites inferidos, mas no reales. De esta manera, el procesamiento de esta capa temática se lo incluyó por medio de un vector aritmético al resto de polígonos resultantes del proceso de intersección, por lo que tienen incidencia en la determinación de zonas de recarga hídrica, pero se encuentran mapeadas por la intensidad que se está capa da a los polígonos establecidos mediante el resto de capas temáticas.

La tabla siguiente muestra las intensidades de las precipitaciones en mm/año, sin embargo, no se ha puesto un área de influencia porque son límites inferidos (ver mapa N°7).

Tabla 13: Rangos de precipitación de la Vertiente Occidental del PNCC

ISOYETAS (mm/año)
500-750
750-1000
1000-1250
1250-1500
1500-1750
1750-2000
2000-2500
2500-3000

Fuente: INAMHI, 2008. Elaboración propia.

Zonas de Recarga Hídrica superficial:

El mapa de zonas de recarga hídrica al sur occidente del PNCC se basa en intensidades de recarga en base a la integración de las diferentes variables. Las intensidades de recarga hídrica superficial se clasificaron en 3 según la aptitud del terreno las cuales son baja recarga, mediana recarga y alta recarga; cada una de estas responde a la aptitud que el terreno tiene para recargar recursos hídricos en base a la veracidad de las valoraciones anteriormente realizadas en la ponderación de clases y en la matriz de SAATY; de esta manera, el mapa está en estrecha relación con la coherencia de las ponderaciones y con el objetivo de identificar zonas de recarga hídrica.

Por otro lado, se sabe que todo el occidente y sur del PNCC es de importancia estratégica para la recarga y almacenamiento de agua del norte del Ecuador; este estudio mapea las zonas que por sus características pudieran ser el foco de esfuerzos de conservación dentro del parque ya que procesos como el acelerado crecimiento de las urbes así como el rápido crecimiento poblacional pueden poner en riesgo la integridad hídrica de este territorio, la cual por su fragilidad, puede poner en riesgo el abastecimiento de agua del DMQ y comunidades locales, así como de millonarios proyectos de riego en la cuenca del Guayllabamba (Gobierno Autónomo Descentralizado de Canguahua, 2012).

Las zonas de recarga hídrica superficial de mayor intensidad se encuentran definidas principalmente por 5 áreas las cuales 3 se localizaron en la zona central del área de estudio en las cimas dentro del cantón Cayambe siendo el volcán Cayambe y sus laderas parte de esta zona, un foco de recarga en el norte como es la laguna de Puruhanta y el complejo de humedales altoandinos y la laguna de Nunalviro en el Sur del PNCC. La alta intensidad de recarga de estas zonas se debe a que son parte de las cuencas altas del área de estudio, presentan coberturas como

nieve, cuerpos de agua y bosque; también tienen relieves montañosos de topografías irregulares como los eriales de la vertiente occidental del volcán Cayambe en la cuenca del Guayllabamba. Estas áreas representan el 24,45% del área de estudio con 14998,88 hectáreas y se puede decir que son zonas que aportan y almacenan agua constantemente las cuales tienen un alto régimen de precipitación y se localizan a partir de los 4000 msnm.

Las zonas de mediana intensidad de recarga hídrica superficial abarcan el 35,9% del área de estudio con 21987,01 hectáreas. Son zonas que se localizaron desde los 3000 hasta los 4000 msnm, tienen coberturas como matorral, páramo herbáceo – pajonal, se encuentran normalmente en la línea divisoria de cuencas hidrográficas. La principal diferencia entre las zonas de mediana recarga y las de alta recarga es que las zonas de alta recarga, por su elevación y su baja temperatura, almacenan agua en mayor proporción, mientras que las de mediana intensidad de recarga dependen mayormente de la precipitación, así como de la cobertura vegetal para efectuar esta recarga. También, las pendientes de estas zonas son bastante pronunciadas por lo que favorecen a la recarga superficial sobretodo en cuencas como la del Chalpi, en donde se encuentran 12 de los 13 proyectos de captación del área de estudio.

Finalmente, las zonas de baja intensidad de recarga hídrica superficial se encuentran distribuidas en el norte, centro y sur en las partes más bajas del área de estudio, se ven representadas por 24259,24 hectáreas que representan el 39,65% de la totalidad del territorio. Las coberturas predominantes son páramo herbáceo – pajonal y también hay parches de cultivo y quema; se encuentran influenciados por los regímenes de precipitación más bajos del área de estudio que no pasan de los 1500 mm/año, y la capacidad hídrica de estas zonas se ven alimentadas por las aguas de las partes altas de las cuencas hidrográficas. También cabe recalcar que el proyecto hidroeléctrico dentro del mapa corresponde al Proyecto hidroeléctrico Chalpi Grande el cual se encuentra en planeación, de todas maneras, se lo considera dentro del mapa por su futura importancia para el área de estudio.

Tabla 14: Zonas de recarga hídrica superficial al sur occidente del PNCC

	Superficie (Ha)	Porcentaje (%)
Baja recarga	24259,24	39,65
Media recarga	21987,01	35,9
Alta recarga	14998,88	24,45
TOTAL	61245,13	100

Elaboración Propia.

Zonas de Recarga Hídrica Subterráneas:

Las zonas de recarga hídrica subterráneas se diferencian de las superficiales en sus pendientes poco pronunciadas y sus texturas de suelo que favorecen la infiltración. El Plan de Manejo del PNCC reconoce que en el área de estudio existe una gran posibilidad de que haya presencia de cuerpos de agua subterráneos debido a que la roca madre del área de estudio es en su mayoría fracturada, sin embargo, pocos estudios han sido realizados al respecto (MAE, 2009).

Las zonas de alta recarga hídrica subterránea se caracterizan por estar presentes en 3 áreas principalmente. La primera en la zona norte en la cuenca del Mira con un foco de recarga como es la laguna de Puruhanta; la segunda en la zona central-sur dentro del cantón Cayambe donde hay presencia de rocas desiertas de difícil acceso cubiertas de páramo herbáceo-pajonal las cuales, por el grado de fisuramiento de las rocas pueden ser un punto clave de recarga subterránea en la zona; y la tercera área se encuentra en la zona sur y corresponde al complejo de humedales, los cuales a más de actuar como zonas de recarga superficial también pueden actuar como zonas de recarga subterránea, por lo que este complejo de humedales es de prioridad en lo referente a esfuerzos de conservación. En su totalidad las zonas de alta recarga subterránea cubren el 19,76% del terreno que son un total de 12104,36 hectáreas las cuales también posiblemente sean recargadas por los cuerpos de agua del área de estudio.

Las cuencas hidrográficas donde se encuentra toda la infraestructura de captación de agua dentro del área de estudio son la cuenca del río Papallacta y la cuenca del Río Chalpi, siendo estas de vital importancia para el DMQ. La cuenca del río Papallacta se caracteriza por presentar un sistema de humedales altoandinos y una vegetación de pajonal, por lo que la mayoría de su terreno es una zona de alta recarga hídrica superficial; mientras que la cuenca del río Chalpi, donde se encuentran 12 de las 13 infraestructuras de captación, tiene en su mayoría zonas de media y alta recarga para las zonas superficiales y subterráneas, sin embargo, mientras que la cuenca de Papallacta presenta un conjunto de humedales, la cuenca del Chalpi presenta remanentes de bosque altomontano y matorral; es por esta razón que estas dos cuencas son de suma importancia para el abastecimiento de agua para Quito

Las zonas de recarga hídrica de mediana intensidad tienen pendientes más pronunciadas en estratos medios de elevación y con texturas de suelo que permiten la infiltración un poco menos que las texturas arenosas. El cantón Cayambe es el área que mayormente tiene zonas de mediana intensidad de recarga hídrica subterránea, primordialmente por la presencia de eriales en la zona, los cuales pueden significar rocas desgastadas, que en conjunto con su característica de tener una base fisurada puede corresponder a la zona de mayor posibilidad de recarga subterránea en todo el mapa (Werner, 1996). Por otro lado, la cuenca del Chalpi y del Papallacta también presentan un grado de mediana posibilidad de infiltración para zonas de recarga hídrica subterránea, y, por la presencia de cuerpos de agua podrían significar la presencia de aguas subterráneas de

considerable importancia. La superficie que abarcan las zonas de mediana intensidad de recarga hídrica subterránea es de 20716,47 hectáreas las cuales representan el 33,83% del total del área de estudio.

Las zonas de baja intensidad de recarga hídrica subterránea son las de mayor superficie con un total de 28424,17 hectáreas las cuales representan el 46,41% del total de la superficie del área de estudio. Estas zonas se encuentran primordialmente en 3 partes del terreno. La primera se localiza al norte en las parroquias de San Francisco de Sigsipamba y Mariano Acosta, a más de en las faltas más bajas del Cayambe. La segunda en zona se localiza en entre los cantones de Cayambe y Quito, y la tercera zona se encuentra en la cuenca baja del río Chalpi y parte de la cuenca del Papallacta. Estas zonas tienen poca filtración y se encuentran caracterizadas por presentar escorrentía superficial como factor predominante en escorrentía. Finalmente, la siguiente tabla muestra el porcentaje de cobertura para cada rango de intensidad de recarga hídrica subterránea.

Tabla 15: Zonas de Recarga Hídrica subterránea al sur occidente del PNCC

	Superficie (Ha)	Superficie (%)
Baja recarga	28424,17	46,41
Mediana Recarga	20716,47	33,83
Alta Recarga	12104,36	19,76
Total	61245,13	100

Elaboración Propia.

CAPITULO II

AMENAZAS A LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA DEL SUR OCCIDENTE DEL PNCC BASADOS EN EL TIPO DE USO DEL SUELO Y OCUPACIÓN TERRITORIAL

2.1. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La superficie del área de estudio es y ha sido usada como fuente de recursos por las personas que viven dentro y fuera de ésta, y, aunque no se vean asentamientos y usos del suelo de considerable magnitud, se sabe que el uso del páramo se remonta incluso a tiempos precolombinos, por lo que se hace difícil decir en qué medida se encuentra un páramo realmente disturbado (Buytaert, 2006). La categoría de Parque Nacional de la zona y las condiciones ambientales a la que se encuentra expuesta hacen que la gente busque lugares menos elevados para asentarse y efectuar sus actividades cotidianas, sin embargo las tendencias de crecimiento poblacional en conjunto con las actividades productivas y económicas que se dan en las parroquias que conforman el área de estudio, hacen que se haga necesaria ciertas consideraciones sobre ordenamiento territorial para salvaguardar la integridad del territorio y de la prestación de servicios ambientales que de aquí se obtienen (MAE, 2009).

Por otro lado, aunque es verdad que la zona ha sido utilizada históricamente por parte de las comunidades aledañas a la zona, los esfuerzos de conservación se han visto presentes por parte de las comunidades y el gobierno central, sobre todo desde una perspectiva más institucional y madura frente a los retos de manejo que impone este recurso. La Secretaría Nacional del Agua (en adelante SENAGUA) es la encargada de entregar cualquier tipo de concesión de riego a los GADs parroquiales o a las comunidades que viven aledañosamente a la zona, aunque de todas maneras existen ciertas inequidades en el acceso al agua generado por la presión a la que se somete a este recurso (Muñoz, 2017).

La vertiente occidental del PNCC además de la cuenca del río Chalpi y del río Papallacta se encuentran conformadas por 11 parroquias. De estas parroquias 7 se encuentran en la provincia de Pichincha, 2 en la provincia de Imbabura y 2 en la provincia de Napo (ver Mapa N°10). Además, al ser parroquias en su mayoría rurales, las actividades económicas que aquí se desarrollan están bastante relacionadas con la producción primaria como la agricultura y la ganadería, lo que hace a estas parroquias dependientes tanto del recurso suelo como del recurso hídrico (Gobierno Autónomo Descentralizado de Canguahua, 2012).

La siguiente tabla muestra la pertenencia de las parroquias a cada provincia dentro del área de estudio.

Tabla 16: Localización de las Parroquias que conforman el Área de Estudio

Parroquia	Provincia
Mariano Acosta	Imbabura
San Fco. De Sigsipamba	
Cuyuja	Napo
Papallacta	
Checa	Pichincha
El Quinche	
Pifo	
Yaruquí	
Cayambe	
Cangahua	
Olmedo (Pesillo)	

Fuente: MAE, 2009. Elaboración propia.

La principal actividad humana que tienen lugar dentro del área de estudio se puede decir que es la ganadería libre, ya que por su rendimiento económico con respecto a la agricultura es más rentable dejar a las vacas libres por el área de estudio que cultivar esta área. De esta manera, la ganadería es uno de los problemas que más acecha el área de estudio puesto que no tiene restricciones y puede, mediante heces y pisoteos, cambiar las propiedades del suelo ya que la materia orgánica se demora mucho más en descomponer en el frío (Vásconez & Hofstede, 2006).

Las principales amenazas consideradas para el área de estudio se evalúan mediante el tipo de cobertura vegetal y uso del suelo, la densidad poblacional, el porcentaje de crecimiento poblacional anual y el porcentaje de la población que se dedica a la agricultura o ganadería. De esta manera, mostrándose que las variables sociales tienen gran incidencia con respecto al uso del agua, lo que se detalla a continuación.

2.1.1. Porcentaje de crecimiento anual poblacional:

La tasa de crecimiento anual promedio en el país es de 1,92%. La presión ejercida por el crecimiento poblacional sobre los recursos afecta la abundancia y regeneración de estos, haciéndose cada vez más altas las necesidades a cubrir con respecto a la demanda del recurso hídrico por parte de las poblaciones (CEPAL, 2012). El agua del PNCC se utiliza para abastecimiento de agua potable del DMQ, así como de las zonas aledañas, lo que significa una presión del crecimiento poblacional primero mediante fuentes de captación para agua potable, y segundo mediante agua potable, riego y actividades económicas para las áreas aledañas al área de estudio (ver Mapa N°11).

2.1.2. Densidad poblacional:

La densidad poblacional se refiere a la cantidad de habitantes que existen un área específica. El área de estudio está conformada por parroquias rurales, sin embargo, algunas tienen grandes densidades poblacionales ya que estas parroquias están con tendencias de urbanizarse y por la gran cantidad de gente en cada parroquia puede llegar a haber presiones directas e indirectas sobre el recurso hídrico del área de estudio (MAE, 2009). La información de la densidad poblacional a nivel parroquial se puede ver en el Mapa N°12, en los anexos.

2.1.3. Porcentaje de la población en actividades agrícolas y ganaderas:

Las actividades ganaderas y agrícolas dentro del área de estudio son producidas exclusivamente por las parroquias que se encuentran asentadas en las zonas de amortiguamiento del sur occidente del PNCC. La ganadería libre, así como la agricultura hacen que el potencial hídrico de los ecosistemas altomontanos disminuya con respecto a la acumulación y provisión de agua. Mientras más porcentaje de la población se encuentre en actividades agrícolas y ganaderas, más superficie de pasto y cultivos se necesitarán, lo que puede significar una amenaza para el área de estudio. El Mapa N° 13 muestra el porcentaje de la población en actividades agrícolas y ganaderas por parroquia en el área de estudio.

2.2. DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS A LA RECARGA HÍDRICA DENTRO DEL SUR OCCIDENTE DEL PNCC

El PNCC es un área protegida que busca cuidar y gestionar de la mejor manera los recursos que de ésta se aprovechan, en especial el recurso hídrico del cual hace tanto uso la sociedad. El Plan de Manejo de esta área protegida reconoce 5 principales procesos que afectan a la zona y pueden cambiar las dinámicas del territorio en un futuro, estos son la reducción de áreas para la biodiversidad, la explotación de recursos, el crecimiento de la población humana, el crecimiento en infraestructura dentro de la reserva y la contaminación (MAE, 2009). El presente estudio hace referencia al tipo de uso de suelo y cobertura vegetal, al crecimiento y densidad poblacional, y al porcentaje agro-pastoril de la población como las principales variables a procesar para la generación del mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica. De esta manera, estas 4 variables en conjunto con las obras de captación y desviación de cauces son las principales actividades humanas que tienen incidencia y pueden interferir en la funcionalidad hídrica de la zona.

Las características hídricas y ambientales dentro del PNCC se ven amenazadas de dos distintas maneras por las actividades humanas. La primera es una amenaza directa que ocurre por parte de las poblaciones de las parroquias rurales que viven en las zonas de amortiguamiento de esta área protegida; estas actividades son primordialmente ganadería, agricultura, la explotación de recursos provenientes del PNCC, quemados y actividades que van en contra de los objetivos de

conservación del parque; mientras que la segunda se trata de obras de captación hídrica que desvían parte de los caudales de los ríos en las microcuencas del Papallacta y del Chalpi, agua que es bombeada desde la vertiente oriental hacia la vertiente occidental para uso y abastecimiento del DMQ (EPMAPS, 2016). Este tipo de obras a más de presentar ciertas consideraciones ambientales, también tienen implicaciones sociales que involucran problemas con las poblaciones que hacen uso de esta agua que por gravedad debería llegar a las comunidades de la provincia de Napo, en las parroquias Papallacta y Cuyuja.

Según el plan de manejo del PNCC el área de estudio se encuentra afectada por dos zonas críticas en lo referente a amenazas. La primera zona va desde el extremo norte de la vertiente occidental hasta aproximadamente la división entre las parroquias Pifo y Yaruquí, aquí el manejo del agua es en gran parte comunal y el gobierno trata de proteger este recurso mediante acuerdos con las comunidades que viven en las zonas aledañas a este parque nacional. La mayoría del agua que proveniente de este sector tiene una finalidad agrícola y ganadera, así, aunque las comunidades no tengan una cobertura de igual porcentaje como la del DMQ, se puede decir que el agua proveniente de este sector constituye el pilar fundamental para satisfacer las demandas de riego de estas comunidades aguas abajo en la cuenca del Guayllabamba. Adicionalmente, aunque se tengan bien definidas las zonas agrícolas y ganaderas en las zonas de amortiguamiento, existen aprovechamientos sociales directos ejercidos por parte de la población directamente dentro del PNCC; esto, en conjunto con el incremento de peticiones de concesiones de riego y la expansión de la frontera agrícola en el sector generan potenciales amenazas dentro de las vertientes occidentales en la cuenca alta del Guayllabamba dentro del PNCC (MAE, 2009).

La segunda zona de afectación va desde la parroquia de Pifo hasta la cuenca del río Chalpi, abarcando todo el sector sur del área de estudio. Aquí la presencia de una gran cantidad de cuerpos de agua al igual que remanentes de bosque y matorral hacen de esta zona un área mucho más húmeda y retenedora de agua, así, las características esta zona la han transformado en una zona para captación y conducción de agua para el DMQ lo que implica la desviación de ríos y el bombeo de agua desde la vertiente oriental hacia la vertiente occidental. Adicionalmente, aunque la humedad de estas cuencas sea alta, estas zonas tienen un gran historial de uso de suelos para ganadería y madera, y, el hecho de combinar la desviación de caudales y proyectos de captación con actividades como la ganadería y el pastoreo puede llegar a tener consecuencias muy graves económica, social y ambientalmente en el funcionamiento de los sistemas hídricos de la zona (MAE, 2009).

Por otro lado, la tasa de crecimiento poblacional de las parroquias rurales de la zona de amortiguamiento es mucho mayor que el promedio nacional de 1,9% anual, a excepción de las 3 parroquias del extremo norte que son San Francisco de Sigsipamba, Mariano Acosta y Pesillo, las

cuales tienen un porcentaje de crecimiento de -2,13%, -1,68% y 0,57% respectivamente. Las parroquias que mayor crecimiento tienen son Pifo, El Quinche, Yaruquí y Checa con unos porcentajes de crecimiento anual bastante elevados de 7,94%, 6,97%, 6,83%, y 6,7% respectivamente, todas estas se encuentran en la provincia de Pichincha dentro del cantón Quito. También, la parroquia Cayambe dentro del cantón con el mismo nombre tiene un porcentaje de crecimiento poblacional del 5,5% anual y la parroquia Papallacta uno de 3,98%; viéndose así la necesidad de una planificación con respecto a esta presión que crece exponencialmente dentro de las parroquias rurales de la zona. De esta manera, en el presente estudio se considera al porcentaje de crecimiento anual parroquial como una de las variables a integrar para la realización del mapa de amenazas a la zona sur occidental del PNCC y es una de las potenciales amenazas reconocidas por el MAE para la integridad hídrica de este sector.

Las ocupaciones y prácticas ancestrales dentro del PNCC están amparadas bajo la constitución del Ecuador, así como por la Ley de Aguas del 2014 para ciertas comunidades que residen dentro y en la zona de amortiguamiento del área de estudio. De todas maneras, aunque se estén respetando los derechos de estas comunidades a hacer uso de las tierras de las que ancestralmente han hecho uso y de sus técnicas de aprovechamiento, se debe considerar que estas prácticas no siempre van de la mano con los principios de conservación de esta área protegida. Esto, en conjunto con el aumento de la población y la elevada densidad poblacional de algunas parroquias puede significar una presión a los recursos por parte de diferentes partes de la población (Muñoz, 2017).

Adicionalmente hay que recalcar que no se puede hacer un contraste de como las actividades humanas han cambiado la cobertura vegetal y uso del suelo en los páramos andinos ya que, al remontarse el uso de estos ecosistemas a épocas prehistóricas, no existen registros de un páramo prístino de referencia con el cual comparar los páramos actuales del área de estudio. Así, prácticas como la quema y el cultivo en pendientes, las cuales son consideradas ancestrales por ciertas comunidades, pudo haber y siguen modificando las propiedades hídricas del páramo (Buytaert, 2006).

Las actividades como la ganadería y la agricultura las cuales se pueden ver afectando la zona baja de la parroquia de Canguahua y en el caso de la ganadería casi la totalidad del área de estudio (ver Mapa N° 4) pueden tener efectos bastante negativos en la capacidad de los ecosistemas montanos de retener agua, ya que el cambio de la cobertura vegetal, la compactación por pastoreo y el ingreso de elementos como el nitrógeno por parte de las heces del ganado cambian las propiedades del suelo y por lo tanto la capacidad de filtración, retención y permeabilidad del suelo, resultando así en suelos con una baja infiltración y una escorrentía meramente superficial, con poca capacidad de almacenamiento de agua (Buytaert, 2006).

El régimen de cobertura vegetal y uso del suelo dentro del área de estudio denota que no existen asentamientos humanos dentro de la zona; sin embargo, existen pequeños parches de quema y cultivos que demuestran que las actividades humanas tienen incidencia dentro del PNCC y que existe una participación activa por parte de las poblaciones en las dinámicas hídricas del territorio. De esta forma, la cobertura vegetal y uso del suelo, en conjunto con la densidad poblacional, el porcentaje de crecimiento poblacional anual y el porcentaje agro-pastoril de la población son las 4 variables a integrar para el mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente del PNCC, las cuales muestran los procesos que ocurren dentro y en las zonas de amortiguamiento de este parque.

La infraestructura de captación, por otro lado, es parte de las potenciales amenazas que pueden alterar el ciclo hídrico de la zona puesto que acaparan y cambian de dirección agua de la vertiente oriental hacia la vertiente occidental. Además, el hecho de que en la actualidad se estén construyendo ampliaciones al actual Sistema Papallacta Integrado, sólo denota la creciente presión hacia el recurso hídrico por parte del DMQ, el cual capta la mayoría del agua que consume en las cuencas del Papallacta y del Chalpi (EPMAPS, 2016).

2.3.METODOLOGÍA

Para la elaboración del mapa de amenazas del sur occidente del PNCC se usó la misma técnica utilizada para la elaboración del mapa de zonas de recarga hídrica la cual es la Evaluación Multicriterio. Ésta técnica pretende describir, integrar y jerarquizar las 4 variables elegidas para el presente mapa en base a un mismo objetivo el cual es encontrar las amenazas antrópicas a la zona por medio de capas temáticas de cobertura vegetal y uso del suelo y de las presiones sociales de las parroquias rurales que conforman esta área protegida (Gómez & Barredo, 2005).

La Evaluación Multicriterio procura jerarquizar las 4 variables en base a pesos asignados, los cuales guardan concordancia con el objetivo del estudio. La primera ponderación se hace entre las clases de cada una de las capas temáticas; y la segunda ponderación se hace entre las capas entre sí para asignarle un valor a cada una con respecto de la otra. De esta manera se logra tener en términos aritméticos correctos el peso de cada variable y de cada clase dentro de cada variable, lo cual posteriormente por medio de mapas puede expresar las zonas en donde mejor se cumple el objetivo de la investigación, que es encontrar amenazas al sector sur occidental del PNCC (Gómez & Barredo, 2005).

La matriz de SAATY, al igual que en el mapa de zonas de recarga hídrica, fue usada como método para ponderar a las diferentes variables entre sí; y su escala considera que 1 significa igual importancia de una variable sobre otra, 9 significa importancia extrema de una variable sobre otra y un número menor a 1 significa menor importancia de una variable sobre otra; este método se

usa para relacionar a las variables entre sí y es una manera de aplicar la evaluación Multicriterio, puesto que existen más formas de relacionar a las variables entre sí.

Por otro lado, las capas utilizadas para la generación del mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica se detallan en la siguiente tabla; éstas responden a información utilizada para la generación del mapa de amenazas, sin embargo, aunque juegan un papel muy importante en la realización de este producto visual estos insumos no se ponderan como una de las variables principales.

Tabla 17: Metadatos de Información Vector para el mapa de posibles amenazas a las zonas de recarga hídrica al sur occidente del PNCC

Tipo de Información	Nombre	Proyección	Datum	Zona	Fuente
Tabla	2_Tasa de crecimiento_prov_cant_parr 1990 - 2001 - 2010	n/a	n/a	n/a	INEC
Tabla	12_Densidad poblacional	n/a	n/a	n/a	INEC
Vector	Cobertura y uso del suelo (digitalizado a mano de ortofotografías aéreas)	UTM	WGS84	17S	SIGTIERRAS
Vector	Nx Cantones	UTM	WGS84	17S	SNI
Vector	Nx Parroquias	UTM	WGS84	17S	SNI
Vector	Hidroeléctricas	UTM	WGS84	17S	FONAG
Vector	Captaciones	UTM	WGS84	17S	FONAG
Vector	Curvas de Nivel	UTM	WGS84	17S	SIGTIERRAS
Vector	Ríos	UTM	WGS84	17S	SIGTIERRAS
Vector	PANE	UTM	WGS84	17s	SNI

Elaboración propia.

La unidad mínima cartografiable al igual que en el mapa de zonas de recarga es de 4Ha excepto en la capa de cobertura y uso del suelo ya que existen cuerpos de agua y parches de bosque con superficies menores a 4 hectáreas que deben ser considerados por su importancia hídrica para el estudio. También existen zonas de quema y suelo desnudo que en algunos casos son menores a 4Ha, sin embargo, sea mapean para evidenciar las actividades que tienen dentro del PNCC.

2.3.1. Generación de mapas temáticos y ponderaciones para el mapa de amenazas

Para la generación de los diferentes mapas temáticos que se utilizaron como insumos para el mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica se utilizaron insumos provenientes de diversas fuentes así como un SIG para procesamientos específicos para cada capa temática; de esta manera, los mapas realizados y normalizados bajo los mismos parámetros y ponderados en base al mismo objetivo nos ofrecerán información relevante para generar el mapa de potenciales amenazas a las zonas de recarga hídrica.

Las capas temáticas utilizadas para la generación del mapa de amenazas corresponden a la capa de cobertura vegetal y uso de suelo (ver Mapa N° 5) y a 3 variables poblacionales determinadas por la división político administrativa parroquial. Las clases de la capa de cobertura y uso del suelo están basadas en la clasificación de Muñoz (2017), mientras que las clases dentro de las 3 capas de indicadores poblacionales se encuentran determinadas por su mejor acoplamiento al estudio. La siguiente tabla detalla la proveniencia de las variables utilizadas para el mapa de potenciales amenazas a las zonas de recarga hídrica.

Tabla 18: Variables utilizadas para la determinación de potenciales amenazas al sur occidente del PNCC

CRITERIOS	CLASES	FUENTE	ESCALA
COBERTURA Y USO DEL SUELO	Bosque	Muñoz, V.	1:5.000
	Cuerpo de agua		
	Cultivos		
	Matorral		
	Nieve		
	Paramo herbáceo-pajonal		
	Quema		
Suelo desnudo			
CRECIMIENTO POBLACIONAL ANUAL	-2,13% - -1,68%	SNI & INEC	1.25.000
	-1,67% - 0,57%		
	0,57 - 3,98%		
	3,98% - 5,55%		
	5,55% - 7,94%		
DENSIDAD POBLACIONAL	1,94 - 48,95 (Hab/km2)	SNI & INEC	1.25.000
	48,95 - 133,23 (Hab/km2)		
	133,23 - 246,53 (Hab/km2)		
PORCENTAJE AGROPASTORIL DE LA POBLACIÓN	15,58 - 20,00 %	SNI & INEC	1.25.000
	20,00 - 50,17%		
	50,17 - 83,62%		

Elaboración propia.

El método de comparación por pares de SAATY es la técnica utilizada para ponderar las 4 variables escogidas para representar el mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente del PNCC. Se trata de una matriz que pondera a las variables entre sí con la finalidad de darles un peso aritméticamente correcto cuando se las compara a unas con otras en base a un objetivo; la coherencia de estos pesos se basa en la coherencia de las ponderaciones que se hacen subjetivamente, pero siempre basados en información objetiva para generar un estudio veraz.

Las 4 diferentes variables utilizadas para la generación del mapa de amenazas son cobertura vegetal, porcentaje de crecimiento poblacional anual, densidad poblacional y porcentaje agro

pastoril de la población. La matriz de SAATY de la Tabla N° 30 muestra los criterios utilizados para ponderar a las variables entre sí, viéndose que según la tabla las ponderaciones guardan una interrelación confiable entre ellos puesto que la consistencia de la ponderación tiene un 94,9% de confiabilidad con solo un 5,10% de posible error basados en la articulación de la ponderación de las variables con respecto a las otras.

También, la suma total del peso de las 4 variables nos debe dar 1, que representa el 100% del peso de todas las variables para determinar amenazas a las zonas de recarga hídrica; mientras que 0 representa 0% de influencia de una variable a generar amenazas a las zonas de recarga en la ponderación entre variables. Según la Tabla N° 19 que es la matriz de SAATY del mapa de amenazas, las capas tienen las siguientes ponderaciones en orden descendente. Primero la capa de cobertura y uso de suelo con un vector propio de 0,566, que representa que esta capa tiene el 56,6% del peso total de todas las variables, luego la capa de crecimiento poblacional tiene un vector propio de 0,245, lo que quiere decir que el peso de esta variable es del 24,5% del peso total de las variables; luego viene la capa de densidad poblacional con un índice de 0,126, que quiere decir que esta variable tiene el 12,6% de incidencia para determinar amenazas a las zonas de recarga, y finalmente la capa de porcentaje agro pastoril de la población tiene un índice de 0,063 lo que quiere decir que esta variable tiene un 6,3% de determinancia al momento de definir las zonas de recarga hídrica.

Se debe decir que las ponderaciones asignadas a las variables dentro de la Matriz de SAATY son subjetivas y deben estar acopladas a cada caso de estudio específico, de esta manera, aunque las ponderaciones sean subjetivas el investigador debe buscar concordancia entre las ponderaciones y el objetivo de la investigación, esto es lo único que garantizará la veracidad del estudio y la coherencia de esta matriz de comparación por pares. La Matriz de SAATY para el mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente de PNCC se presenta a continuación.

Tabla 19: Matriz de SAATY para la generación del mapa de potenciales amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente del PNCC

Tamaño de la Matriz											
n=		4									
CRITERIOS	Código	V_COB	V_CRE	V_DEN	V_AGRO	Normalización de la matriz				Vector propio	Vector lambda máximo
	AMENAZA	COBERTURA_USO	CRECIMIENTO POBLACIONAL	DENSIDAD	AGROPASTORIL	V_COB	V_CRE	V_DEN	V_AGRO	Ti	λ_{max}
V_COB	COBERTURA_USO	1	3	5	7	0,597	0,649	0,536	0,483	0,566	0,949
V_CRE	CRECIMIENTO POBLACIONAL	0,333	1	3	4	0,199	0,216	0,321	0,241	0,245	1,130
V_DEN	DENSIDAD	0,200	0,333	1	3	0,119	0,072	0,107	0,207	0,126	1,180
V_AGRO	AGROPASTORIL	0,143	0,286	0,333	1	0,085	0,062	0,036	0,069	0,063	0,913
V_TOTAL	Total	1,676	4,619	9,333	14,500					1,000	4,171
Fórmulas		Descripción			Resultados						
CI =	(Lmax - n)	Índice de Consistencia			CI=	0,057					
	(n - 1)										
IA=	1,115	Índice de consistencia Aleatorio			n=	5					
RC=	IC/IA	Ratio de consistencia			RC= debe ser menor al 10%		%				
					RC=	0,051	5,10				

Modificado de: Ortiz, 2016. Diseño de un sistema de alerta temprana para la prevención de la proliferación del dengue en Manabí.

Las ponderaciones de la matriz de SAATY (ver Tabla N° 20) se usan para relacionar a las variables entre sí mediante un peso aritmético basado en el objetivo del estudio. Mientras que las ponderaciones de las clases dentro de cada variable sirven para asignar una intensidad a cada rango basado en el objetivo de encontrar amenazas a las zonas de recarga al sur occidente del PNCC.

Las diferentes clases dentro de cada variable fueron ponderadas en base al nivel de amenaza a las zonas de recarga hídrica. Cabe recalcar que para el mapa de amenazas no se usaron los rangos de las clases que se establecieron en las capas temáticas puesto que al ser solamente 11 parroquias las que se encuentran en el área de estudio, la ponderación se hizo individualmente por parroquia para mejor detalle del mapa de amenazas. La siguiente tabla muestra a detalle las ponderaciones para el mapa de amenazas y las clases que se utilizaron.

Tabla 20: Ponderaciones de las clases usadas para el mapa de potenciales amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente del PNCC

VARIABLE	CLASES	PONDERACION
COBERTURA Y USO DEL SUELO	Bosque	3
	Cuerpo de agua	3,5
	Cultivos	0,5
	Matorral	2,5
	Nieve	3,5
	Paramo herbáceo-pajonal	2
	Quema	0,5
	Suelo desnudo	1
Crecimiento Poblacional Anual (%)	-1,68	0,5
	-2,13	0,5
	2,52	1,5
	3,98	2
	6,7	3,5
	6,97	3,5
	7,94	3,5
	6,83	3,5
	5,55	3
	3,25	2
	0,57	1
Densidad Poblacional (hab/Km2)	1,94	0,5
	2,9	0,5
	7,29	0,5
	11,67	1
	17,04	1
	48,75	1,5
	66,44	1,5
	101,12	2,5

VARIABLE	CLASES	PONDERACION
	133,23	2,5
	215,25	3,5
	246,53	3,5
Porcentaje Agro pastoril de la Población (%)	15,58	1
	16,8	1
	30,86	1,5
	34,51	2
	37,64	2
	39,73	2
	50,17	2,5
	57,59	3
	62,62	3
	83,28	3,5
83,62	3,5	

Elaboración propia.

2.4. RESULTADOS

Cobertura Vegetal y Uso del Suelo

La cobertura usada para este mapa fue la misma usada para la generación del mapa de recarga tanto superficial como subterránea. La clasificación fue hecha por Muñoz (2017) y por la pertinencia a esta investigación fue elegida como base para este mapa temático.

El Mapa N° 4 muestra la cobertura vegetal y uso del suelo del sur occidente del PNCC con mayor detalle.

Porcentaje de Crecimiento Poblacional Anual

Los porcentajes de crecimiento poblacional anual de las parroquias que conforman el área de estudio van en orden ascendente desde -2,13% en San Fco. de Sigsipamba, seguido de -1,68% en Mariano Acosta, luego 0,57% en Olmedo (Pesillo), 2,52% en Cuyuja, 3,25% en Cangahua, 3,98% en Papallacta, 5,55% en Cayambe, 6,70% en Checa, 6,83% en Yaruquí, 6,97% en El Quinche y terminan en 7,94% en Pifo, viéndose así que a excepción de los primeros tres, el resto de las parroquias poseen porcentajes de crecimiento mucho mayores al promedio del Ecuador, el cual es de 1,95% anual (INEC, 2012), por lo que el excesivo crecimiento poblacional de la zona puede a la larga convertirse en una de las principales amenazas a la conservación de las vertientes de la zona de estudio.

Aunque la mayoría de parroquias presenten tendencias de crecimiento poblacional, existen dos parroquias que contrarias a la tendencia, presentan decrecimiento poblacional a lo largo del

tiempo; estas parroquias son Mariano Acosta y San Fco. de Sigsipamba, las cuales cuentan con un promedio de 39,15 y 47,25 habitantes menos anualmente. Adicionalmente, en contraste a estas reducciones poblacionales, existen parroquias como la de Cayambe y Yaruquí las cuales tienen tendencias de crecimiento aceleradas, con 1337,3 y 515,55 pobladores más cada año respectivamente (INEC, 2012).

Tabla 21: Crecimiento poblacional y porcentaje de crecimiento de cada parroquia de la Vertiente Occidental del PNCC

Parroquia	Crecimiento poblacional anual			Porcentaje Año
	1990 -2001	2001 - 2010	1990 - 2010	
Mariano Acosta	-36,45	-42,44	-39,15	-1,68
San Fco. De Sigsipamba	-59,27	-32,56	-47,25	-2,13
Cuyuja	12,36	7,78	10,3	2,52
Papallacta	26,73	12,67	20,4	3,98
Checa	317,91	183	257,2	6,70
El Quinche	560,36	354	467,5	6,97
Pifo	536,64	479	510,7	7,94
Yaruquí	568,18	451,22	515,55	6,83
Cayambe	1491,09	1149,33	1337,3	5,55
Cangahua	333,82	302,56	319,75	3,25
Olmedo (Pesillo)	33,18	37	34,9	0,57

Modificado de: INEC. 2_Tasa de crecimiento_prov_cant_parr 1990 - 2001 – 2010.

Densidad Poblacional por Parroquia

Las parroquias que forman parte del área de estudio se caracterizan por presentar una tendencia de incremento de sus pobladores, viéndose así que los 69.970 habitantes de estas parroquias en 1990 se han convertido en 137.714 habitantes en el último censo poblacional del 2010, de esta manera evidenciándose un continuo crecimiento de los habitantes que a la larga puede tener como consecuencias las invasiones de las zonas bajas del área de estudio, zona que actualmente se encuentra protegida para fines ecológicos, ambientales y de prestación de servicios (MAE, 2009).

También se puede evidenciar que las densidades poblacionales van desde los 1,9 habitantes por metro cuadrado hasta los 246,5 habitantes por metro cuadrado, lo que implica que ciertos cantones cuentan con muy poca gente dentro de su territorio, mientras que otros cuentan con una muy alta densidad poblacional, lo que puede provocar que sus pobladores busquen lugares más altos para realizar sus actividades productivas e incluso para asentarse.

Tabla 22. Número de personas y densidad poblacional en cada parroquia de la Vertiente Occidental del PNCC

Parroquia	POBLACIÓN POR AÑOS			Superficie (Km ²)	Densidad Poblacional Hab/Km ² (2010)
	1990	2001	2010		
Mariano Acosta	2327	1926	1544	132,26	11,67
San Fco. De Sigsipamba	2214	1562	1269	173,94	7,29
Cuyuja	408	544	614	315,26	1,94
Papallacta	512	806	920	316,62	2,9
Checa	3836	7333	8980	88,8	101,12
El Quinche	6706	12870	16056	74,59	215,25
Pifo	6431	12334	16645	254,34	65,44
Yaruquí	7543	13793	17854	72,42	246,53
Cayambe	24083	40485	50829	381,5	133,23
Cangahua	9836	13508	16231	332,91	48,75
Olmedo (Pesillo)	6074	6439	6772	397,26	17,04
Total	69970	111600	137714		

Modificado de: INEC. 2_Tasa de crecimiento_prov_cant_parr 1990 - 2001 – 2010.

Adicionalmente, la población del área de estudio se proyecta a crecer a futuro, así se puede ver que en los cantones con porcentaje de decrecimiento la población disminuiría si esta tendencia continua, mientras que las parroquias con altos porcentajes de crecimiento poblacional logran duplicar e incluso casi triplicar sus poblaciones de 2010 en 2050, mostrando que porcentajes de crecimiento poblacional anual altos como los del área son consideraciones que necesitan tomarse en cuenta para planificaciones ambientales e hídricas (CEPAL, 2012).

Tabla 23: Proyección poblacional de cada parroquia del Suroccidente del PNCC (basado en la tasa de crecimiento 2001-2010)

Parroquia	POBLACIÓN POR AÑOS				
	1990	2001	2010	2020	2050
Mariano Acosta	2327	1926	1544	1204	183
San Fco. De Sigsipamba	2214	1562	1269	1005	211
Cuyuja	408	544	614	702	965
Papallacta	512	806	920	1065	1498
Checa	3836	7333	8980	11221	17944
El Quinche	6706	12870	16056	20472	33721
Pifo	6431	12334	16645	23109	42502
Yaruquí	7543	13793	17854	23695	41217
Cayambe	24083	40485	50829	65259	108549
Cangahua	9836	13508	16231	19866	30773
Olmedo (Pesillo)	6074	6439	6772	7161	8329

Modificado de: INEC. 2_Tasa de crecimiento_prov_cant_parr 1990 - 2001 – 2010.

Porcentaje Agro pastoril de la Población

Las actividades económicas dentro de las parroquias del área de estudio juegan un papel importante en lo referente a los recursos hídricos, pues son estas actividades las que marcan la forma en la que se desarrolla cada parroquia. La vertiente occidental del PNCC se ve rodeada de cantones rurales los cuales realizan actividades primordialmente de producción y gran parte de su terreno es usado en agrícolas, por otro lado, como se menciona la ganadería libre es la amenaza más importante del área de estudio por la consecuencia de su proceso que altera el suelo. La siguiente tabla detalla el porcentaje de la población de las parroquias del sur occidente del PNCC que realizan actividades agrícolas y ganaderas.

Tabla 24: Porcentaje de la población en actividades agro pastoriles

PARROQUIAS	Población en actividades agrícolas y ganaderas (%)
Mariano Acosta	83,28
San Fco. De Sigsipamba	83,62
Cuyuja	50,17
Papallacta	15,58
Checa	39,73
El Quinche	37,64
Pifo	16,18
Yaruquí	30,86
Cayambe	34,51
Cangahua	62,62
Olmedo (Pesillo)	57,59

Modificado de: INEC. 2_Tasa de crecimiento_prov_cant_parr 1990 - 2001 – 2010. Como se puede visualizar, las actividades de agricultura, ganadería y pesca son las que predominan en 5 de las 11 parroquias del área de estudio, mientras que en parroquias como Pifo, Cayambe y Papallacta, estas actividades llegan a ser realizadas por solo el 30% e incluso 15% de la población, porcentaje resultante de que en estas parroquias se realizan más actividades comerciales y de prestaciones de servicios que actividades de producción agrícola (MAE, 2009).

Potenciales Amenazas a las Zonas de Recarga Hídrica

El mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica presenta 3 diferentes tipos de intensidad en cuanto a estas amenazas. Las zonas que representan una alta intensidad de amenaza se agrupan principalmente en dos zonas, la parte de la parroquia de Cayambe al centro norte del área de estudio, y las parroquias de El Quinche y Checa, y la zona baja de la parroquia de Canguahua la cual se ve afectada por cultivos; por otro lado, la infraestructura de captación la cual consta de trece captaciones al sur del área de estudio deben ser consideradas focos de alta amenaza a las zonas de recarga hídrica y las implicaciones de los desvíos de los cauces no se encuentran totalmente entendidas.

Las áreas de mediana amenaza a las zonas de recarga hídrica se ven comprendidas en el norte, centro y sur de la superficie del área de estudio, en las parroquias de Papallacta, Pifo, Cangahua y Pesillo. Las características de esta zona son que presentan en su mayoría páramo herbáceo – pajonal, su crecimiento poblacional es mayor a la media nacional pero menor que parroquias como Cayambe y su densidad poblacional no pasa de los 133,23 hab/km². La cuenca de Papallacta se encuentra en su mayoría bajo una media amenaza a las zonas de recarga, y por su importancia hídrica para el DMQ se deberían tomar en cuenta estos datos para futura planificaciones.

Finalmente, las áreas de menor amenaza a las zonas de recarga hídrica son las parroquias de Cuyuja al sur del área de estudio y San Francisco de Sigsipamba y Mariano Acosta en el norte: las dos segundas cuentan con tasas de crecimiento poblacional negativas, por lo que la población que aquí reside está abandonando el lugar para asentarse en otras localidades. Por otro lado, aunque la parroquia de Cuyuja se caracterice por poseer una baja intensidad de amenaza a las zonas de recarga en lo referente a presión poblacional, aquí están la mayoría de las obras de captación de agua para el DMQ, las que en conjunto con el crecimiento poblacional en la zona puede significar una amenaza considerable a la regulación del sistema hídrico en la zona.

CAPITULO III

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS AL SUR OCCIDENTE DEL PNCC Y SU RELACIÓN CON QUITO

3.1. MARCO LEGAL PARA EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HÍDRICOS Y USO DE SUELO

Los esfuerzos de conservación de fuentes de agua se pueden ver relegados en la Ley de Aguas de 1972 donde se prohíbe toda privatización sobre este recurso y es el Estado quien designa a un consejo la delimitación de zonas de protección hídrica (Ley de Aguas: Reglamento y Legislación Conexa, 2010). Sin embargo, en la Ley de Aguas del 2014, en donde se reconoce que las fuentes de agua del país, por su importancia, deben ser incluidas dentro de una categoría de protección dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Por otro lado, la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo del 2016 de igual forma pretende regular la ocupación del suelo y mediante esto destinar suelos exclusivamente para conservación; suelos que sin embargo se están viendo amenazados por el rápido crecimiento poblacional y actividades que van en contra del objetivo de conservación de estas áreas.

De igual forma la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo del 2016, ha sido una de los cuerpos legales más útiles en lo que se refiere a conservación, ya que pone en consideración temas más puntuales al decir que es el Estado ecuatoriano quien tiene la decisión final sobre el uso y ocupación del suelo, así como de declarar sitios de interés nacional los cuales deben estar integrados con las funciones de los diferentes tipos de GADs; por otro lado, también topa temas ambientales sobre las funciones que cumplen los ecosistemas y la prestación de servicios ambientales, siendo así esta ley una de las bases actuales en lo referente al control del suelo (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, 2016).

La Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo del 2016 tiene por objeto en el territorio la utilización racional y sostenible del suelo, la protección del patrimonio natural y cultural, y la regulación de las intervenciones antrópicas a partir de políticas públicas de buena calidad como se menciona en el artículo 10 de la misma. También, dentro de esta ley se reconoce la necesidad de integrar las regulaciones del suelo en base al elemento agua y cómo este elemento está distribuido a lo largo del territorio como se menciona en los artículos 11 y 32, donde se dice que los GADs de todos los niveles se deben desarrollar en base a sus competencias y tomando en cuenta las directrices de SENAGUA y otros organismos, y que se debe dar el suelo necesario para los sistemas de soporte de las ciudades, soportes como son fuentes para agua

potable y saneamiento (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, 2016).

Adicionalmente, el hecho de que el área de estudio sea el suroccidente de un área protegida implica que constitucionalmente es el Estado quien la administra, y, siendo esta una zona de estratégica importancia hídrica para el DMQ y el país en general, es SENAGUA quien es la principal entidad administradora del recurso hídrico de la zona. El artículo 41 de La ley de uso de suelo del 2016 menciona la denominación de “polígonos de intervención territorial”, los cuales son áreas homogéneas urbanas o rurales destinadas para un mismo objetivo dentro de los proyectos de uso y ocupación del suelo, y que pueden tener un ámbito ambiental, geomorfológico, socio-económico, cultural, o incluso ámbito de soporte, como provisionamiento de agua para grandes ciudades; de esta manera se puede ver que en esta norma ya se consideran áreas de interés nacional que tengan un propósito establecido como el de provisión de agua o suelo para desarrollo urbano, además de considerar suelos destinados para diferentes tipos de infraestructuras que componen los sistemas de soporte como se lo menciona en el artículo 32, numeral 4. (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, 2016).

La Ley de Recursos Hídricos y Aprovechamiento del Agua del 2014 es un instrumento legal que marca pautas administrativas apegadas a la realidad hídrica del país. Los aspectos claves de este instrumento son la declaración del agua como un derecho humano, la prohibición de la privatización del agua, la demarcación de una priorización de uso del agua en la que primero se considera el agua para consumo humano, el reconocimiento de sistemas comunitarios dentro de los planes de desarrollo y de manejo del agua y una institucionalidad descentralizada que responde a la heterogeneidad del país y sus necesidades locales (Embid & Martín, 2015).

El artículo 78 de la Ley de Recursos Hídricos y Aprovechamiento del Agua del 2014 es el más apegado a lo en lo que se refiere a una zona de recarga hídrica; éste trata de áreas de protección hídrica las cuales, por su importancia estratégica para el país en lo referente al agua, pasarán a formar parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas previo a un informe por parte de SENAGUA. Esta entidad, en conjunto con los GADs provinciales son los encargados de establecer las zonas de recarga hídrica para promover su conservación; el objetivo de estas zonas es satisfacer las demandas de consumo humano y garantizar la soberanía alimentaria. También, se menciona que se respetarán los usos ancestrales y espirituales del agua por parte de comunidades de la zona; las cuales inevitablemente también se encuentran ligadas al uso y ocupación del suelo con actividades de producción como la agricultura y el pastoreo (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014).

Falta esclarecer en qué forma estas aguas pueden garantizar la soberanía alimentaria y mediante qué métodos; además se debe profundizar en los diferentes tipos de usos ancestrales de

las comunidades que viven dentro y en las zonas que rodean el área de estudio, ya que ciertos tipos de uso ancestral pueden alterar la igualdad de la ley. Por otro lado, también se pretende controlar el uso de suelo para evitar la degradación ambiental sobre todo de cuerpos de agua como riberas, ríos, lagos, lechos de ríos, aunque en realidad estos son usados como cuerpos en donde se depositan las aguas servidas y los desperdicios de las ciudades.

En el artículo 117 de la Ley de Aguas del 2014 se menciona lo referido a uso y aprovechamiento de aguas subterráneas, las cuales son zonas de recarga hídrica naturales. Aquí se menciona que para el uso y explotación de aguas provenientes de fuentes subterráneas se necesita un previo permiso por parte de SENAGUA, y que la validez del permiso debe garantizar que la explotación de agua no perjudique al acuífero y que este acuífero no intervenga con otras fuentes de agua. El permiso se entrega a quien lo requiera siempre y cuando éste venga acompañado de estudios que garanticen que las condiciones anteriormente mencionadas se cumplan, viéndose así que por primera vez en una ley de aguas ecuatoriana, se habla de aprovechamiento responsable y uso de aguas subterráneas (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014).

Finalmente, las entidades que tienen incidencia sobre los recursos hídricos y conforman el Sistema Nacional Estratégico del Agua son SENAGUA como Autoridad Única del Agua, la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) la cual es un organismo adscrito a SENAGUA, el Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua, las instituciones de la función ejecutiva que cumplan competencias vinculadas a la gestión integral de los recursos hídricos como por ejemplo el MAE o el MAGAP, los GADs y los Consejos de Cuenca, los cuales son entidades participativas en la gestión del agua (Embid & Martín, 2015). En la siguiente tabla se muestra las diferentes entidades con incidencia en los recursos hídricos a partir de la Ley de Aguas del 2014.

Tabla 25: Instituciones con incidencia en los recursos hídricos a partir del 2014

Institución	Incidencia en los Recursos Hídricos
SENAGUA	Rectoría nacional en la gestión y administración de los Recursos Hídricos
La Agencia de control y regulación del Agua (ARCA)	“Regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua
Gobiernos Autónomos Descentralizados Consejos de Cuenca	Prestación de servicios relacionados con el Agua

Fuente: Tomado de Muñoz, 2017.

3.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS AL SUROCCIDENTE DEL PNCC Y SU RELACIÓN CON EL DMQ

El Distrito Metropolitano de Quito alberga a alrededor de 2'500.000 habitantes lo cual la convierte en la segunda más poblada del país atrás de Guayaquil. La mayor parte de la población se encuentra en la cuenca interandina, en la cuenca del río Guayllabamba dentro del sistema Esmeraldas, el cual comienza directamente en la divisoria de aguas que atraviesa el país en la zona centro norte, lugar donde se encuentra el occidente del PNCC (MAE, 2009).

El DMQ cuenta con 4 sistemas de abastecimiento de agua los cuales son el Sistema Papallacta Integrado, el Sistema Mica – Sur, Conexión Oriental y Conexión Occidental; cada uno de estos abasteciendo a aproximadamente 800.000, 700.000, 600.000 y 300.000 personas respectivamente, siendo el Sistema Papallacta Integrado cuyas aguas se provienen del PNCC el que mayor agua aporta para el abastecimiento del DMQ cubriendo así la zona centro norte del Distrito (El Telégrafo, 2016).

La cantidad de agua que abastecen las aguas que directa e indirectamente provienen del PNCC es de casi 3 m³/s, lo cual representa alrededor del 35% del consumo total del DMQ. Por un lado estas aguas responden a la necesidad de agua de Quito ya que son bombeadas desde la vertiente oriental, sin embargo, por el rápido crecimiento de la urbe se está haciendo necesaria la creación de nuevas fuentes de captación que incluso van fuera del área protegida, lo que implica que la presión al recurso agua se puede ver en la obras de captación de agua para el DMQ la cual es la urbe que mejor nivel de cobertura de agua potable tiene a nivel Nacional (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

El Sistema Papallacta Integrado posee 3 principales obras de captación de agua estas son el embalse Salve Faccha el cual posee una capacidad de aproximadamente 9'000.000 m³ de agua, el embalse Mogotes que posee una capacidad aproximada de 5'000.000 de m³ y el embalse Sucus soporta casi 1'200.000 m³. Estas obras de infraestructura se encuentran dentro del PNCC en las microcuencas de los ríos Oyacachi, Chalpi y Papallacta respectivamente, y son las infraestructuras de soporte del DMQ de mayor importancia en lo referente a recursos hídricos (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

El Sistema Papallacta Integrado que consta de 19 captaciones aporta aproximadamente un total de 2,9 m³/s a la demanda actual de 8 m³/s del DMQ, lo cual significa un 35% del total del consumo (FONAG, 2016). Además, 15 de estas de estas 19 captaciones se encuentran dentro del PNCC, y de éstas, 13 se encuentran dentro del área de estudio. El agua de todas estas captaciones es bombeada hacia la cuenca del Guayllabamba, llevada a la planta de tratamiento Paluguillo, y finalmente transportada a la planta de Tratamiento de Bellavista ya dentro del DMQ, la cual abastece la parte centro norte de la ciudad (EPMAPS, 2016).

En la actualidad el DMQ necesita un promedio de 8000 l/s para abastecer las necesidades de agua potable de sus pobladores y se estima que estas necesidades irán creciendo a un promedio de 233 l/s anualmente durante los próximos 20 años. Los aproximadamente 2'500.000 habitantes del DMQ en la actualidad pasarán a ser cerca de 4'400.000 habitantes para el año 2040, lo que implicará una mayor demanda de agua para consumo, riego, industria y el respectivo caudal ecológico de los cuerpos de agua. De igual forma se espera que los niveles de consumo del DMQ que en la actualidad son de 8 m³/s lleguen a ser de 10.9 m³/s en el año 2020 y de 13 m³/s en el año 2040 (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

Tabla 26: Crecimiento poblacional vs. Crecimiento en la demanda de agua en el DMQ

Año	2010	2020	2040
Número Poblacional	2.300.000	3.000.000	4.400.000
Caudal Requerido Estimado m³/s	7	10,9	13

Fuente: PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011 & INEC. Elaboración Propia.

Por otro lado, el porcentaje de abastecimiento de agua por red pública del DMQ es uno de los más elevados de todo el país, llegando a un poco más del 96% de cobertura según la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento; además, el servicio es prácticamente continuo las 24 horas del día todo el año; de todas maneras, en cantones como Pedro Moncayo y Cayambe este porcentaje de cobertura decrece al 79,9% y 73,8% respectivamente denotando que los esfuerzos de abastecimiento de agua potable se han enfocado primeramente en el DMQ y luego en sus asentamientos periféricos, los cuales sin embargo, se encuentran más cercanos a las fuentes de agua del sur occidente del PNCC (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

El rápido crecimiento poblacional del DMQ al igual que la mayor demanda de recursos por parte de sus habitantes generan cierta presión sobre el recurso agua y el recurso suelo. Con el fin de incrementar el volumen de captación de estos sistemas, se ha optado por aumentar la infraestructura de aprovisionamiento de agua en fuentes cada vez más lejanas, produciéndose así consecuencias ambientales y consecuencias sociales debido a los conflictos de territorios que estas obras implican. Adicionalmente, el promedio de consumo de los habitantes del DMQ es mayor al promedio mundial; de esta manera mientras el promedio mundial es de 150 l/hab/día, el promedio de los habitantes de Quito es de aproximadamente 200 l/hab/día, lo que denota que existe una cultura de uso exagerado del agua, además de las fugas de agua a nivel doméstico y de conducción que representan también parte del consumo y en este caso, desperdicio de agua (El Telégrafo, 2016).

El PNCC es una de las reservas más importantes en lo referente al recurso hídrico dentro del país; existen un total de 13 captaciones de agua dentro del área de estudio, entre estas el embalse Mogotes y el embalse Sucus, las cuales representan aproximadamente un soporte de 6'000.000 de m³ de agua. Sin embargo, el rápido crecimiento del DMQ, así como de las parroquias rurales que conforman el suroccidente del PNCC están haciendo que esta área protegida no sea suficiente para abastecer las crecientes necesidades hídricas de la población, por lo que se ha hecho necesario expandir los horizontes de búsqueda de agua para abastecer primordialmente la demanda de agua potable del DMQ y la demanda de agua de riego de las parroquias que dependen del recurso hídrico que de esta área protegida proviene (PNUMA, FLACSO, & DMQ, 2011).

De las 13 captaciones anteriormente mencionadas, 12 se encuentran en la cuenca del río Chalpi, mientras que la restante se encuentra en la cuenca del río Papallacta; y, aunque el resto del occidente del PNCC no tenga infraestructuras de captación, el agua que de aquí proviene es de importancia fundamental para el caudal la base de toda la cuenca del Guayllabamba, lo que significa el agua que de esta zona proviene abastece a casi la totalidad de proyectos de riego, canales comunales y pobladores de las 11 parroquias rurales que conforman el sur occidente del PNCC.

Del mismo modo, el agua proveniente de esta zona a más de abastecer a decenas de captaciones que se encuentran agua abajo en la cuenca del río Guayllabamba para uso del DMQ, sirve para abastecer a importantes proyectos de riego que significan millonarias ganancias en lo referente a producción tanto agrícola como ganadera, proyectos como el de la acequia Tabacundo de la parroquia de Cangahua el cual provee agua de riego para la producción de flores, ganadería y para pequeños agricultores lo cual significa la forma de vida de alrededor de 30.000 personas (Gobierno Autónomo Descentralizado de Cangahua, 2012)

El proyecto Chalpi Grande ha surgido como la solución a corto plazo más viable para cubrir la necesidad de agua del DMQ; la primera etapa consta de un total de 4 captaciones comprendidas dentro y fuera de las microcuencas de los ríos Chalpi y Papallacta. Se sabe que esta obra tendrá un costo aproximado de 44 millones de dólares y que garantizará agua para el DMQ hasta el 2040 gracias a la voluptuosa cantidad de agua que de aquí provendrá, que se estima será de 2,2 m³/s en su primera fase y se estima que llegue a 10,2 m³/s con la construcción de su segunda y tercera fase (El Telégrafo, 2016).

Las cuatro captaciones de la primera fase del proyecto Chalpi Grande son la “Chalpi A” que proyecta una capacidad de 1,23 m³/s, “Encantado” que proyecta un caudal de 0,64 m³/s, “Chalpi B” 0,27 m³/s y “Chalpi C” que se planea aportará un caudal de 0,07 m³/s. Adicionalmente, en la misma zona de las captaciones anteriormente mencionadas, justo en el límite del sur del PNCC se piensa realizar el proyecto hidroeléctrico “Chalpi Grande” el cual busca aprovechar las capacidades hídricas de la zona para integrar un total de 7,59 MW a la red nacional (FONAG, 2016).

Finalmente, la situación actual de los recursos hídricos en la zona responde a las necesidades de agua potable del DMQ primeramente y luego a los requerimientos para riego por parte de los GADs y las poblaciones rurales. Las características físicas de la zona la hacen una potencia en lo referente a almacenamiento de recursos hídricos y sus difíciles condiciones y clima evitan en cierta medida asentamientos humanos. También, a pesar de que esta zona se encuentra en buenas condiciones en lo referente a conservación del recurso hídrico, y que está resguardada por el estado al ser parte de un área protegida, las presiones sociales directas e indirectas pueden influir en la capacidad de provisión de agua así como de almacenaje del área de estudio la cual depende en gran medida de la administración que se le dé en lo referente a uso de suelo y cuidado y gestión del recurso hídrico.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El Plan de Manejo del PNCC considera que el área de estudio es un área de importancia estratégica con respecto a los recursos hídricos puesto que es esta zona una de las fuentes más importantes de agua dulce para las poblaciones de las zonas aledañas y para el DMQ (MAE, 2009). La recarga de aguas superficiales que tiene lugar en esta zona, se debe a un alto régimen de precipitación en conjunto con la cobertura vegetal, la considerable elevación, entre otros factores; mientras que, la recarga de aguas subterráneas también es un proceso cuya ocurrencia se encuentra reconocida por el Plan de Manejo del PNCC, sin embargo pocos estudios se han realizado al respecto. Adicionalmente, la posibilidad de existencia de cuerpos de agua subterránea es alta debido a que esta zona yace sobre roca base fisurada lo que permite la escorrentía subsuperficial del agua y su posible almacenamiento.

La delimitación de zonas de recarga hídrica en la presente investigación se realizó mediante la técnica de la Evaluación Multicriterio con la cual se integró las capas de isoyetas, cobertura vegetal, pendiente, elevación, textura del suelo y geomorfología para zonificar áreas con una alta, mediana y baja intensidad de recarga hídrica tanto superficial como subterránea. Los resultados obtenidos tienen una alta coherencia con las características reales del territorio y con cada una de las capas integradas en el proceso las cuales permitieron la fácil identificación de las zonas con alto potencial de recarga hídrica. De esta manera, los mapas de zonas de recarga hídrica fueron realizados ponderando las capas anteriormente mencionadas mediante el método de SAATY y pretenden ofrecer un enfoque entre muchos posibles en lo referente a la gestión del recurso hídrico; en donde cabe recalcar, se conoce mucho más sobre los procesos superficiales que los subsuperficiales.

A diferencia de la recarga superficial, la recarga subterránea tiene procesos mucho menos obvios a simple vista y necesita estudios más específicos que expliquen las dinámicas de movimiento del agua que ya se infiltró en el suelo. La finalidad de los mapas de zonas de recarga hídrica de la presente investigación es delimitar las áreas en donde existe mayor probabilidad de recarga de agua tanto superficial como subterránea, sin embargo, en el caso de la recarga subterránea, la presente investigación no puede confirmar ni negar la presencia de acuíferos, sus dimensiones ni sus dinámicas, ya que para conocer esta información se necesitan estudios específicos de sondeos o prospecciones geofísicas los cuales no se han realizado hasta la actualidad en el área de estudio y son estudios de un considerable costo.

Las captaciones que se encuentran en del área de estudio se encuentran en su totalidad comprendidas dentro de las cuencas del río Chalpi y del río Papallacta, con 12 y 1 captaciones en cada cuenca respectivamente. Estas captaciones en conjunto con 6 captaciones más que se encuentran en los alrededores de suroccidente del PNCC representan aproximadamente el 35% del agua que el DMQ consume, sin embargo, a pesar de que esta zona es la de mayor aporte en lo referente a caudal hídrico para consumo del DMQ, se está haciendo insuficiente el caudal que de aquí proviene, y se está comenzado la construcción del proyecto de abastecimiento Chalpi en parroquias cada vez más lejanas. La inversión en estudios de aprovechamiento de aguas subterráneas puede ser una de las alternativas a la búsqueda de fuentes de agua en zonas cada vez más lejanas, sin embargo, por su elevado costo, se ha optado por invertir en estudios y obras de aprovechamiento hídrico superficial. A pesar de esto, el aprovechamiento hídrico subterráneo tiene que verse como una medida de planificación a mediano y largo plazo en lo referente a la gestión del agua, puesto que ésta podría edificarse como una alternativa a la búsqueda de fuentes de agua en locaciones cada vez más alejadas, evitando así ciertos conflictos sociales y ambientales, a más de brindarnos un mejor entendimiento de como el agua fluye subsuperficialmente.

Por otro lado, las potenciales amenazas a las zonas de recarga hídrica que se reconocen en el presente estudio son el tipo de uso del suelo, el crecimiento poblacional parroquial, la densidad poblacional por parroquia, y el porcentaje de la población en actividades pecuarias y agrícolas. El tipo de uso del suelo en el área de estudio muestra que existen relativamente pocas áreas intervenidas por el hombre y que la mayoría de esta zona es una zona de párame herbáceo – pajonal el cual se pensaría que tiene una distribución natural; sin embargo, este tipo de cobertura en el Ecuador se considera que es una de las más intervenidas por el hombre y su amplia distribución se piensa que se debe a una incidencia histórica de la ganadería dentro del PNCC la cual cambió las proporciones de las diferentes coberturas vegetales. De esta manera, aunque en el Plan de Manejo del PNCC se reconozcan potenciales amenazas como el crecimiento poblacional, la agricultura, la explotación de recursos y otros, se debe recalcar que es la ganadería libre la principal práctica que amenaza el potencial hídrico de la zona, puesto que no existen delimitaciones específicas para el pastoreo de ganado y tanto el pisoteo como la disposición de heces fecales en el área causan impactos a corto, mediano y largo plazo, los cuales no se encuentran en su totalidad comprendidos y pueden alterar el potencial hídrico de la zona.

Si bien la Ley de Uso y Ocupación del Suelo del 2016 al igual que la Ley de Aguas del 2014 son marcos legales que pretenden directa o indirectamente el manejo responsable, la protección y el aprovechamiento responsable del recurso hídrico; se deben considerar ciertos aspectos en la claridad de sus artículos los cuales dejan vacíos que pueden ser el origen de erróneas interpretaciones en la aplicación de estas leyes. Los vacíos están principalmente enmarcados en

dos tópicos; por un lado, contradicciones entre ciertos artículos de la misma ley en los cuales, por ejemplo, se prohíben algunos tipos de actividades de uso de suelo así como de aprovechamiento de agua, pero amparan estas mismas acciones en otros artículos bajo ocupaciones especiales; y por otro lado, vacíos generados por ambigüedades dentro de ciertos artículos, en los cuales no se detalla a profundidad los alcances de algunos términos, sus tipos, ni sus limitaciones, por ejemplo, el término “usos espirituales” del agua, lo que deja a la ley en ciertos casos sujeta a posibles subjetivismos.

El PNCC es un área protegida cuya categoría de manejo prohíbe todo tipo de ocupación del territorio, así como todo tipo de explotación, y da al estado la potestad administrativa de la misma; sin embargo, como se menciona anteriormente, es el mismo estado quien mediante la ley de suelos, la ley de aguas y el mismo Plan de Manejo del PNCC, reconoce ciertos tipos de “usos espirituales” los cuales pueden no ir de la mano con los objetivos de conservación de este parque. De esta manera, si se van a permitir ciertas actividades de uso, extractivas, y de aprovechamiento bajo el título de “usos espirituales”, se debería tener por lo menos un inventario de todas estas actividades para a partir de esto estudiar los posibles efectos adversos de éstas y su incidencia dentro del potencial hídrico de la zona, puesto que en la actualidad este término es muy general y no se especifica, limita, ni define el alcance del mismo.

El artículo 117 de la Ley de Aguas del 2014 habla sobre el uso y aprovechamiento de las aguas subterráneas por parte de la población, y se menciona que para cualquier tipo de explotación del recurso hídrico subterráneo SENAGUA deberá brindar una licencia de aprovechamiento hacia los usuarios que intenten hacer uso de estos recursos, siempre y cuando estos cumplan con los estudios necesarios que aseguren primero, que el agua que están aprovechando no interfiera con la calidad ni cantidad del agua de este acuífero, y segundo, que no se produzcan interferencias con la calidad y cantidad de agua de otros acuíferos que pueden tener relación con el acuífero explotado. De todas maneras, este artículo que procura la conservación del recurso hídrico proveniente de acuíferos no es específico con respecto a los requerimientos que garantizan el cuidado del agua proveniente de los mismos; lo que debería ser un tema central. La proposición de una serie de estudios que cumplan con metodologías específicas y que arrojen resultados basados en indicadores e índices deberían presentarse para la entrega de los permisos de explotación de aguas subterráneas, estos índices tienen que ser propuestos por expertos en gestión de aguas subterráneas y al mismo tiempo deben reflejar en indicadores cuantitativamente medibles el estado del acuífero que se pretende aprovechar.

Por otro lado, la Ley de Suelos del 2016 menciona que los GADs tanto cantonales como provinciales deben ser los encargados de satisfacer las necesidades básicas de sus pobladores como agua potable y saneamiento; primero, usando los recursos que se tienen dentro de su unidad

territorial, y en caso de no tenerlos, recurrir a los recursos de otras unidades territoriales; de esta manera, se puede ver que se procura actuar en referencia con los principios de descentralización en los cuales se pretende que cada unidad territorial sea autosuficiente con el uso y aprovechamiento de sus recursos naturales para la satisfacción de las necesidades de sus pobladores. A pesar de esto, aunque los cantones que conforman el suroccidente del PNCC son muy abundantes en recursos hídricos, las principales obras e infraestructura que en esta zona se han construido son en realidad para servir al DMQ, el cual cuenta con un 96% de cobertura de agua potable dentro de su territorio en contraste con coberturas del 79,9% y 73,8% de cantones como Pedro Moncayo y Cayambe respectivamente, que son algunos de los cantones que conforman el sur occidente del PNCC de los cuales el DMQ trae gran cantidad de agua, viéndose que la capital del Ecuador es la prioridad en lo que se refiere a cobertura de agua potable la cual proviene de cantones externos donde se encuentran sus fuentes.

Finalmente, se puede decir que los mapas de zonas de recarga hídrica tanto superficiales como subterráneas constituyen un insumo entre varios otros para la gestión del recurso hídrico en el sur occidente del PNCC para a partir de éste panorama focalizar esfuerzos de conservación en los lugares de mayor potencial de recarga hídrica. De esta manera, las variables físicas utilizadas en forma de capas temáticas, el análisis de la Ley de Aguas del 2014 así como la Ley de Suelos del 2016, y la relación de esta área protegida con el DMQ nos muestran como las zonas de recarga hídrica tienen relación con las poblaciones aledañas al sur occidente del PNCC área protegida que pretende cuidar los recursos naturales y servicios ambientales que esta zona presta a las diferentes urbes del país.

BIBLIOGRAFÍA

- (2010). *Ley de Aguas: Reglamento y Legislación Conexa*. Quito: Departamento Jurídico Editorial de la Corporación de Estudios Públicos.
- (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua*. Quito: Departamento Jurídico Editorial de la Corporación de Estudios y Públicos.
- (2016). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo*. Quito: Departamento Jurídico Editorial de la Corporación de Estudios y Públicos.
- Buytaert, W. C. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 53-72.
- Cañadas, L. (1983). *El mapa bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Quito.
- CEPAL. (2012). *Diagnostico de la Informacion estadística del Agua*. Quito.
- Changoluisa, P. (Junio de 2013). Sistema de manejo de los residuos sólidos peligrosos generados por las florícolas ubicadas en el cantón Pedro Moncayo . Quito, Pichincha, Ecuador.
- Donis, L. (2015). *Identificación de Zonas de Recarga Hídrica en la Microcuenca del Río Negro, Ciudad de Guatemala*. Guatemala de la Asunción: Universidad Rafael Landívar.
- ECOLAP y MAE. (2007). *Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador*. Quito: ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM.
- El Telégrafo. (22 de Marzo de 2016). El Proyecto Chalpi evitará que Quito tenga sed. *El Periódico*, págs. 24-25.
- Embid, A., & Martín, L. (2015). *La experiencia legislativa del decenio 2005-2015 en materia de aguas en América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL.
- EPMAPS. (2011). *Estudio de Actualización del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ*. Quito: EPMAPS.
- EPMAPS. (2016). *Proyecto Chalpi*. Quito: Gerencia técnica de Infraestructura de la EPMAPS.
- FAO. (19 de 06 de 2016). *Conservación de los Recursos Naturales para una Agricultura Sostenible*. Obtenido de http://www.fao.org/ag/ca/Training_Materials/CD27-Spanish/sm/soil_moisture.pdf
- FONAG. (2016). Captaciones. *Shapefile de Captaciones de Agua (actualizado 2016)*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- FONAG. (2016). Centrales Hidroeléctricas. *Shapefile de Centrales Hidroeléctricas (actualizado 2016)*. Quito, Pichincha, Ecuador: FONAG.

- Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento. (2013). *Fondo del Agua*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de <http://www.fondodelagua.aecid.es/es/fcas/donde-trabaja/paises/ecuador.html>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Canguahua. (2012). *Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Canguahua*. Quito: Dirección de Gestión de Desarrollo Comunitario e Inclusión Social.
- Gobierno Autonomo Descentralizado de Pichincha. (2012). Libro 2P: Agropecuario. *Agenda Productiva de la Provincia de Pichincha*.
- Gómez, M., & Barredo, J. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio*. Madrid: RA-MA.
- Hall, M. (1977). *El volcanismo en el Ecuador*. Quito: IPGH.
- INEC. (2012). *Estadística Demográfica en el Ecuador: Diagnóstico y Propuestas*. Quito: INEC.
- Lianyong, W., & Eagles, P. (2009). *Some Theoretical Considerations: From Landscape Ecology to Waterscape Ecology*. Pekin: Elsevier B.V.
- MAE. (2009). *Plan de Manejo del Parque Nacional Cayambe Coca*. Quito: Secretaria del Ministerio del Ambiente.
- Maskrey, A. (1993). *Los Desastres no son Naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*. Turrialba: Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza.
- Molina, P. (19 de Octubre de 2012). Estudio de impacto Ambiental expost de la empresa florícola Floraroma S.A., Cantón Pedro Monacayo Parroquia Tabacundo. Pedro Moncayo, Pichincha, Ecuador.
- Muñoz, V. (2017). *Efectos de la Ley de Aguas de 1972 en el manejo de los Recursos Hídricos de Alta Montaña en el Ecuador*. Quito: Tesis.
- PNUMA, FLACSO, & DMQ, F. A. (2011). *ECCO Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: FLACSO; Fondo Ambiental del DMQ.
- Rodríguez, G. (2011). *Abastecimiento de Agua Potable en Quito ¿Cuáles son las Alternativas en Gestión de Crisis?* Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales.
- Secretaría de Territorio, habitat y vivienda. (2003). *Canteras del DMQ*. Obtenido de http://sthv.quito.gob.ec/spirales/9_mapas_tematicos/9_11_elementos_utiles/9_11_8_3.html
- Tucci, C. (2009). *Plan de Manejo Integrado de los Recursos Hidricos en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba*. Quito: Banco Interamericano de Desarrollo Economico; FONAG .

- UNESCO. (2014). *Agua y Energía: Resumen Ejecutivo*. Perusa, Italia: Secretaría del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.
- Vásconez, M., & Hofstede, R. (2006). Los Páramos Ecuatorianos. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 91-106.
- Vélez, M. (2005). *Métodos para determinar la recarga en acuíferos*. Medellín: Universidad Nacional de Medellín.
- Vera, A. (2014). *Simulación Hidrológica en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba y unidades aportantes de agua para Quito*. Quito: Graphus.
- Werner, J. (1996). *Introducción a la Hidrogeología*. Nuevo León: Facultad de Ciencias de la Tierra de la UANL.
- World Water Council. (2016). *Antecedentes en el Manejo del Agua*. Recuperado el 25 de 05 de 2017, de <http://www.worldwatercouncil.org/es/quienes-somos/antecedentes/>

ANEXOS

Descripción de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo

“Efectos de la Ley de Aguas de 1972 en el Manejo de los Recursos Hídricos de Alta Montaña en el Ecuador”

En la cuenca del Río Guayllabamba de 5524.23 km² de extensión se determinaron 14 clases descritas a continuación. (1) Los *asentamiento humanos*, representan el 8.8% de la superficie de la cuenca, teniendo al Distrito Metropolitano de Quito como la mayor concentración urbana con el 89.1% de la población total. Los cantones Cayambe, Mejía, Pedro Moncayo y Rumiñahui solamente abarca del 1.24 a 3.38% del total de habitantes. Una de las principales características en el área urbana es que las áreas de drenaje, dentro del DMQ, han sido captadas y canalizadas con el fin de facilitar procesos de urbanización, con lo cual se aumenta el escurrimiento debido a la impermeabilización del suelo. Así también, se presentan impactos de contaminación de aguas que afectan directamente a las aguas de abajo, como es el caso actual del Río Machángara (Tucci, 2009).

El (2) *Bosque Natural* abarca una superficie del 8.33% del área total de la cuenca, en el cual se puede encontrar un bosque húmedo montano, bosque muy húmedo montano y bosque muy húmedo sub alpino, los cuales presentan una vegetación predominante de los géneros *Stipa*, *Calamagrostis* y *Festuca*, en asociación con *Romarrillo*, *Hypericum Laricifoto*, *Mortiño*, *Vaccinium Mortinia*, *orejuela*, *Alchemilla Obiculata*, *Sacha chocho*, *lupinus alopecuroides*, *Chuquiragua*, *Chiaquiragua insignis*, *Valeriana sp.* Se encuentran además helechos del género *Blechnum* y vegetación del género *Puya*. Así mismo, se destaca de manera aislada el género *Senecio*, en asociación con rabo de zorro, *Lupinos alopecuroides*, *Loricaria thuyoides*, entre otras (Cañadas, 1983). Se observa una gran fragmentación de los bosques y se encuentran distribuidos de manera dispersa alrededor de la cuenca, en su mayoría rodeados por páramos y localizados en las vertientes de las elevaciones.

La superficie de la clase (3) *canteras* dentro de la cuenca es mínima ya que apenas representa el 0.01% del área total, estas se encuentran localizadas en las afueras de la ciudad al norte del DQM en las parroquias de Guayllabamba, Calderón, y Nayón y en sudoeste de los flancos del Pichincha (Secretaría de Territorio, habitat y vivienda, 2003), así como también en los alrededores del flujo de lava Arenillas. De estas canteras se extraen piedra, arena y arcilla. (Secretaría de Territorio, habitat y vivienda, 2003). Los *cuerpos de Agua* (4) representan el 0.22% del total de superficie de la cuenca, lo cuales se encuentra distribuidos predominantemente en la micro cuenca de río Quijos, en la zona de Papallacta y Chalpi Grande. En los alrededores de estos lagos se puede encontrar vegetación del tipo *Werneria sp.*, *Hypochoeris sp.*, *Lycopodium sp.*, *Lepidophyllum sp.*, y *Azorrella sp.* (Cañadas, 1983).

La superficie destinada a **(5) la agricultura** abarca el 27.42% del área total de la cuenca. En ella se encuentran diferentes tipos de cultivo, entre los que destacan los siguientes por cada cantón de la cuenca: en Quito se pueden encontrar cultivos de maíz suave seco, papa, caña de azúcar, frutilla, frejol tierno; en Mejía, Rumiñahui y Cayambe se produce maíz suave seco, trigo y papa; y, por último, en Pedro Moncayo se encuentran cultivos de palmito, cacao y café; además en todos los cantones se pueden encontrar pastos cultivados (Gobierno Autonomo Descentralizado de Pichincha, 2012). Igualmente se evidencian practicas ancestrales de cultivo como la quema, la cual trae como consecuencias la erosión del suelo por la pérdida de nutrientes y reducción de la productividad del suelo; además, este tipo de prácticas reduce la humedad del suelo y debido a la compactación de las capas del suelo impide la infiltración y pre colación del agua lluvia (FAO, 2016).

El **flujo de lava (6)** que se observa en la ortofotografía corresponde al flujo de lava Antisanilla, que proviene del volcán Antisana, este abarca el 0.15% del área total de la cuenca, ubicado al sur de Pintac, en el Valle de los Chillos, con una dimensión de 2 km de anchura y cerca de 11 km de longitud (Hall, 1977).

La superficie destina a **invernaderos (7)** en la cuenca del Guayllabamba es del 0.42%, los cuales se encuentran localizados principalmente en Cayambe y en Pedro Moncayo. Estos invernaderos están destinados a la producción de flores de los géneros: *Rosa*, *Gypsophilia*, *Limonium* (*Siempreviva Azul*), *Liatris*, *Aster* (*Girasoles*), y *Dianthus* (claveles). Cabe agregar que esta prácticatiene efectos negativos en las agua superficiales debido a las descargas resultantes del riego y la fertilización, las mismas que contaminan ríos y quebradas debido a los fluidos pos cosecha, preparaciones de fumigación y lavados de embaces de agroquímicos. Igualmente las aguas subterráneas se ven afectadas por riego de cultivos con fertilizantes y por filtración del agua de fumigación (Changoluisa, 2013). Es así que, en un estudio de impactos ambientales realizados en el Cantón Pedro Moncayo, se encontró que los ambientes físico-químicos y bióticos de la zona presentan más afecciones negativas, ya que las actividades de captación y uso del agua, cultivo, post cosecha y manejo de residuos afectan directamente a estos elementos (Molina, 2012).

La clase **(8) matorral** en la cuenca representa el 7.95% de su área total, en esta clase se encuentran diferentes tipos como los presentes en el valle de Guayllabamba, que son de tipo xerofítico. Existe un vegetación predominante de *Mosquero*, *Cotón sp*, en asociación con *Chamana*, *Dodonea viscosa*, *Tuna*, *Opuntia Tuna*, entre otras. En otra áreas del DMQ, se pueden encontrar especies como *Chilca*, *Yaloman*, *Sangre de Drago*, *Flor de Quinde*, *Sauco*, entre otras (Cañadas, 1983).

Los **cascos de nieve (9)** cubren una superficie del 0.41% del área total, estos corresponden a una parte del área de los glaciares de los Volcanes Cayambe, Antisana y Cotopaxi. Cabe

mencionar que se encontró una pequeña superficie de *pantano (10)* que corresponde al 0.01% de la cuenca.

El *páramo herbáceo/pajona (11)*, abarca el 42.75% del área de la cuenca y dependiendo de la zona se puede distinguir entre pasto seco en la zona de Guayllabamba y pasto al sur del DMQ. Además, de acuerdo con el Gobierno Autónomo descentralizado de Pichincha, en la provincia hay un gran porcentaje de pasto cultivado así como también pasto natural.

En la cuenca se evidencian áreas de *(12) quema*, las cuales no responden a prácticas ancestrales de agricultura, sin embargo reporta los mismos o mayores perjuicios que la quema para cultivos, ya que pueden afectar las áreas de vegetación nativa, en la cual se pierde esta vegetación, se contamina el agua y se pierde el servicio de retención e infiltración de agua (FAO, 2016). Representando el 0.19% de la Cuenca del Guayllabamba.;

Los *(13) bosques de eucalipto* abarcan el 0.31% de la cuenca y se encuentran localizados generalmente en los alrededores de las zonas urbanas. Por último, la superficie que abarca el *suelo desnudo (14)* es el 3.3% del total de la cuenca, donde se evidencia la falta de vegetación, que facilita la erosión del suelo y la poca o ninguna retención de agua.

Documento de Petición de Información al Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

Facultad de Ciencias Humanas
Escuela de Ciencias Geográficas



Dra. Sheika Aragundi León
Torre 2, Piso 12 Oficina 1208
Campus PUCE
T: 299 1700 ext.1047
@: saragundi@puce.edu.ec

Quito, Jueves 12 de Enero de 2017

Ing. Antonio Bermeo
Director Ejecutivo
SIGTierras
MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA ACUICULTURA Y PESCA
Presente.

Señor Director,

Conocedora de la información trascendental que SIGTierras del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca (MAGAP) ha generado en materia de ortofotos y mosaicos de ortofotos de la cobertura del Ecuador, y acogiéndome como corresponde al convenio que existe entre la prestigiosa institución que usted dirige y la PUCE, me dirijo a usted para solicitarle por favor disponga se nos facilite la información que abajo se detalla para la realización del proyecto de investigación sobre recursos hídricos en el Parque Nacional Cayambe Coca por parte del Sr. Roberto Masache CC 1722441720, estudiante (bajo mi dirección) de la carrera de Geografía y Medio Ambiente de la Escuela de Ciencias Geográficas de la PUCE Quito.

Información requerida:

- Mosaicos de ortofotos de los cantones Pimampiro, el Chaco, Gonzalo Pizarro y Sucumbíos
- Mosaico de los Modelos de Elevación Digital correspondientes a las ortofotos de los mismos cantones
- Tomas satelitales del parque Nacional Cayambe Coca, de sensores de alta resolución espectral si las tuvieron entre 2000 y 2016.

Por su amable consideración anticipo mi agradecimiento,

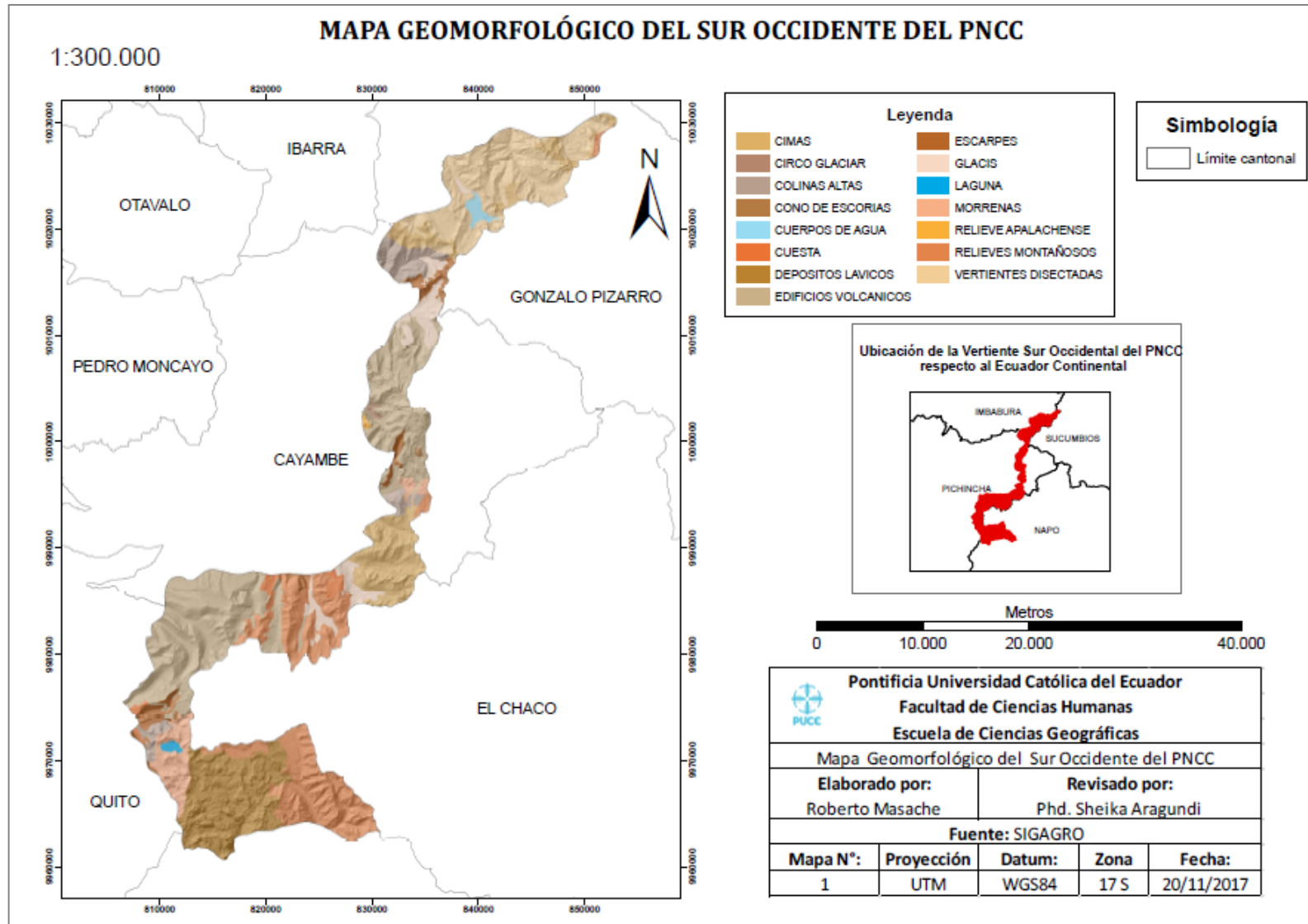
S. ARAGUNDI LEÓN
Dra. Sheika Aragundi León
PROFESORA PRINCIPAL / INVESTIGADORA
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS
PUCE- Quito

Av. 12 de Octubre 1076 y Ramón Roca
Apartado postal 17-01-2184
Telf.: (593) 2 299 17 00 ext. 1164
Quito – Ecuador www.puce.edu.ec

70
ANIVERSARIO
PUCE
FUNDADA EN 1941

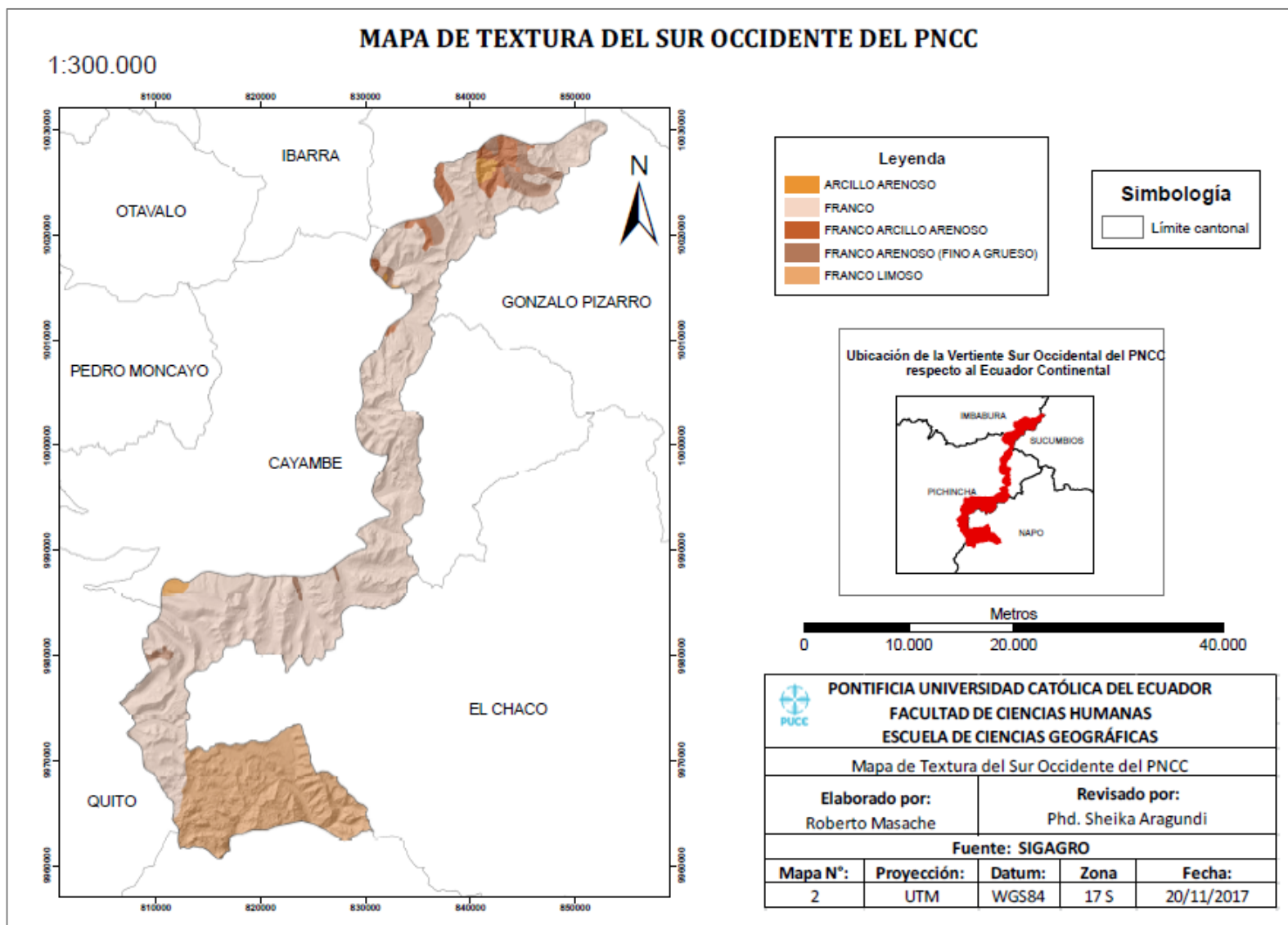


Mapa 1: Geomorfología del Sur occidente del PNCC



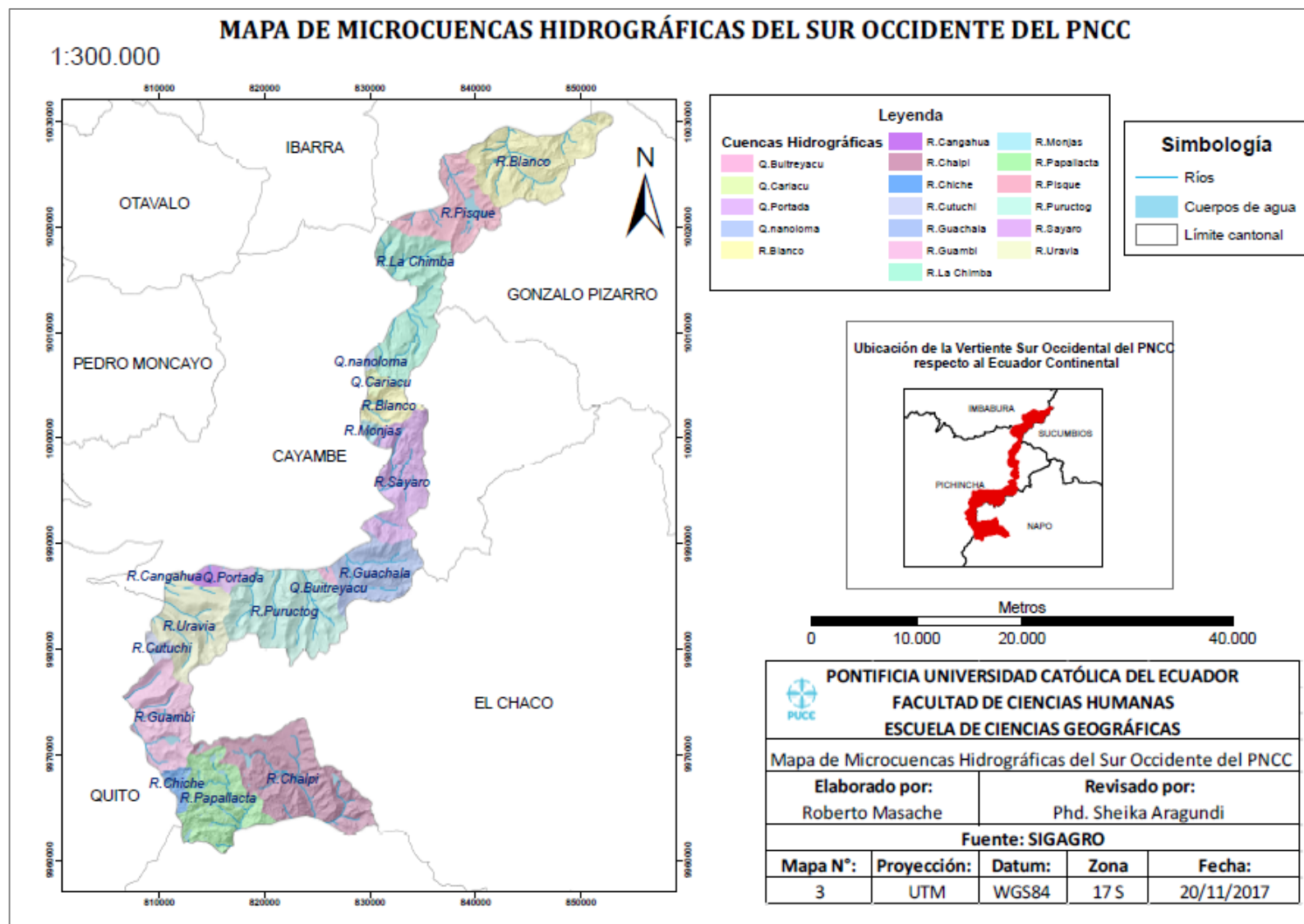
Fuente: SIGAGRO. Elaboración propia.

Mapa 2: Textura del suelo del sur occidente del PNCC



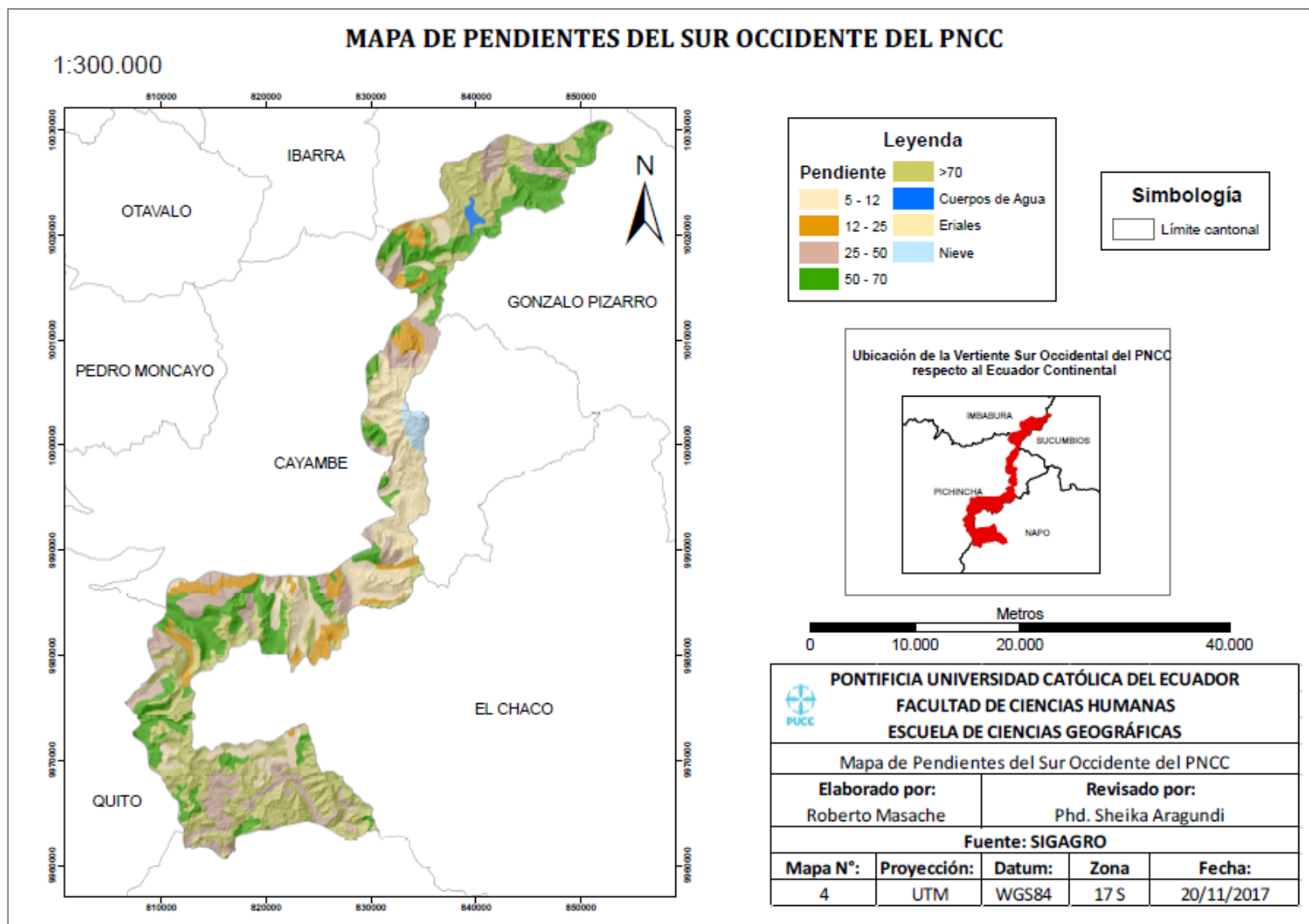
Fuente: SIGAGRO. Elaboración propia.

Mapa 3: Microcuencas del Sur Occidente del PNCC



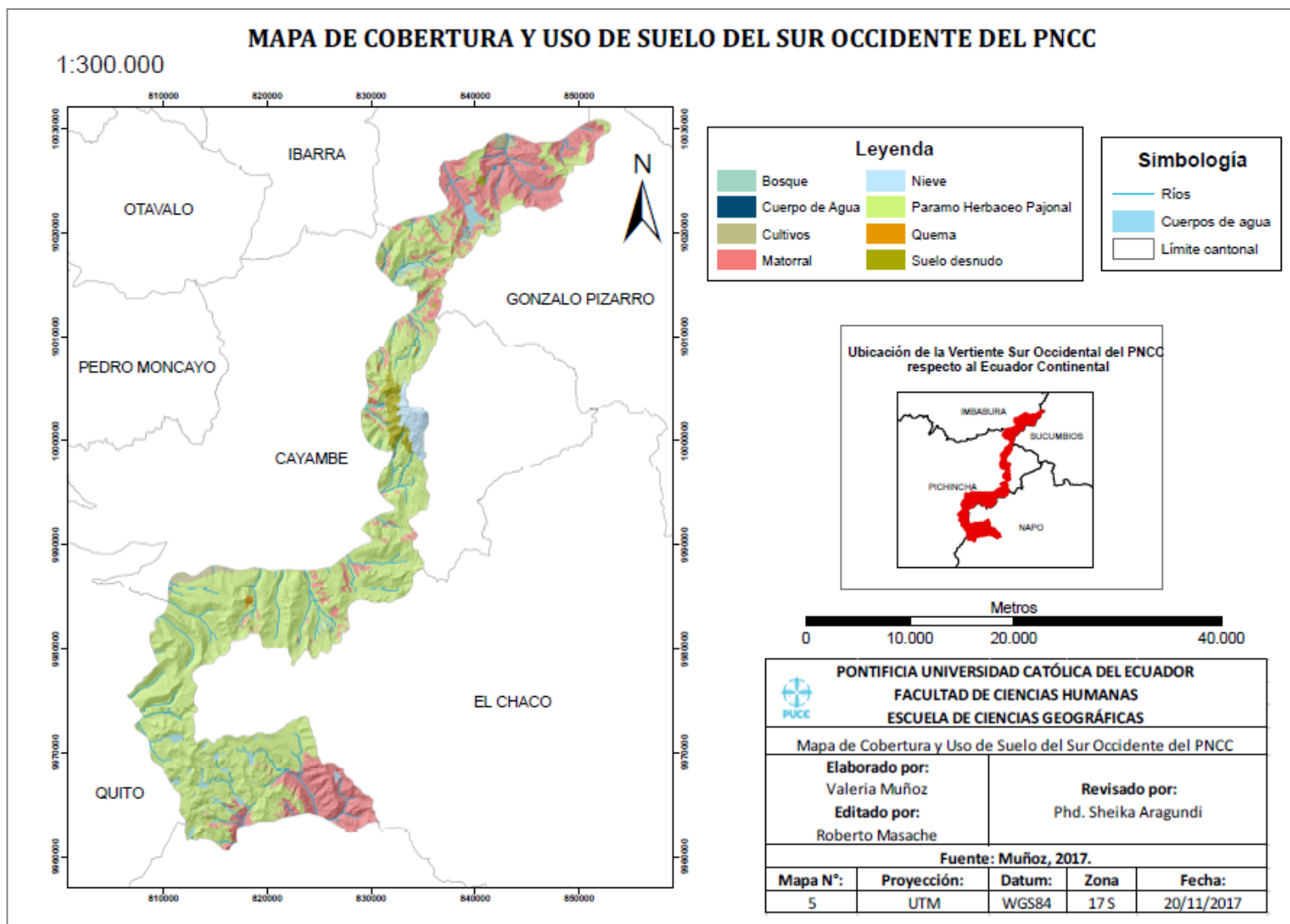
Fuente: SENAGUA. Elaboración Propia.

Mapa 4: Pendientes del sur occidente del PNCC



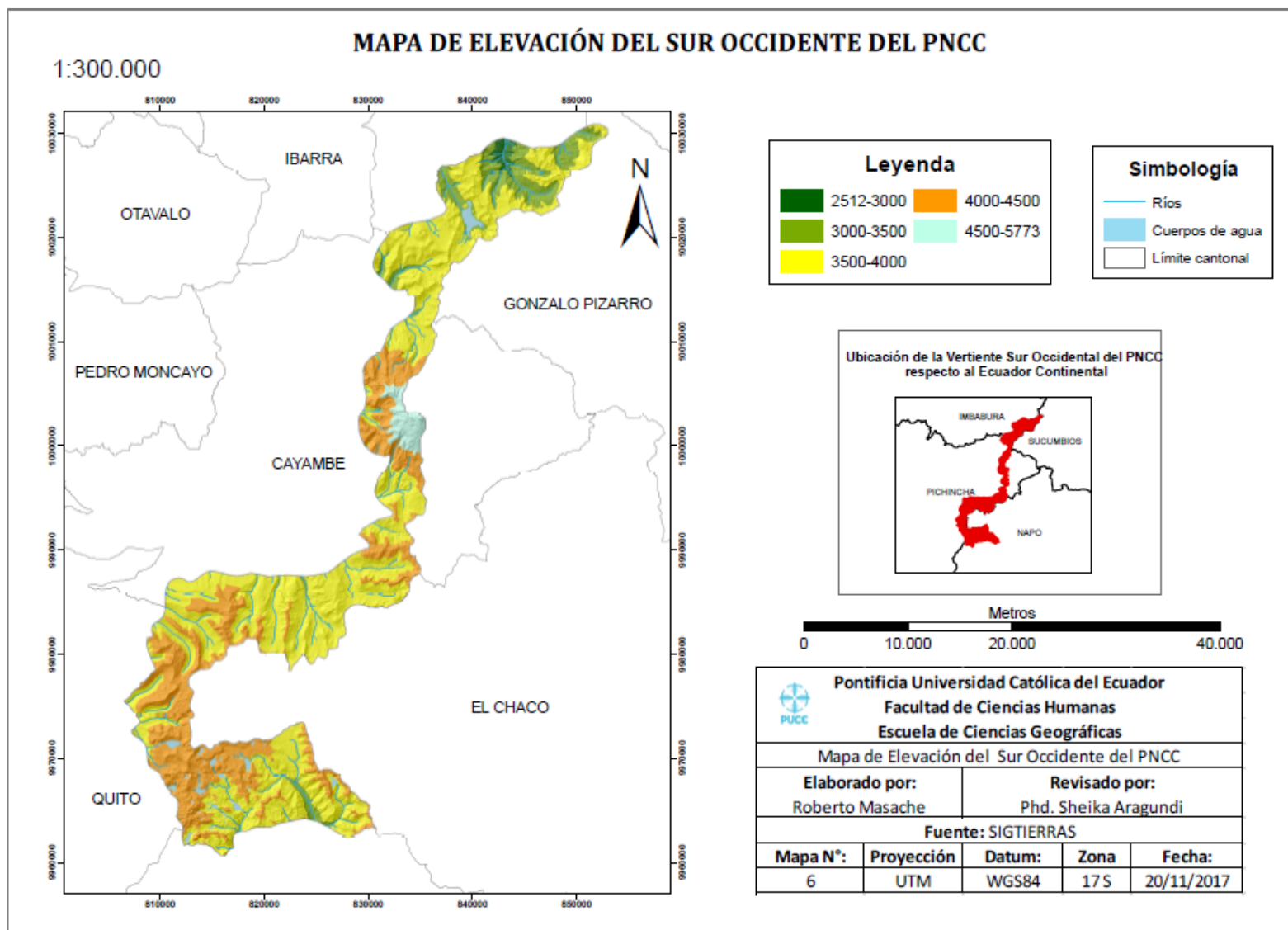
Fuente: SIGAGRO. Elaboración propia.

Mapa 5: Cobertura y uso del suelo del sur occidente del PNCC



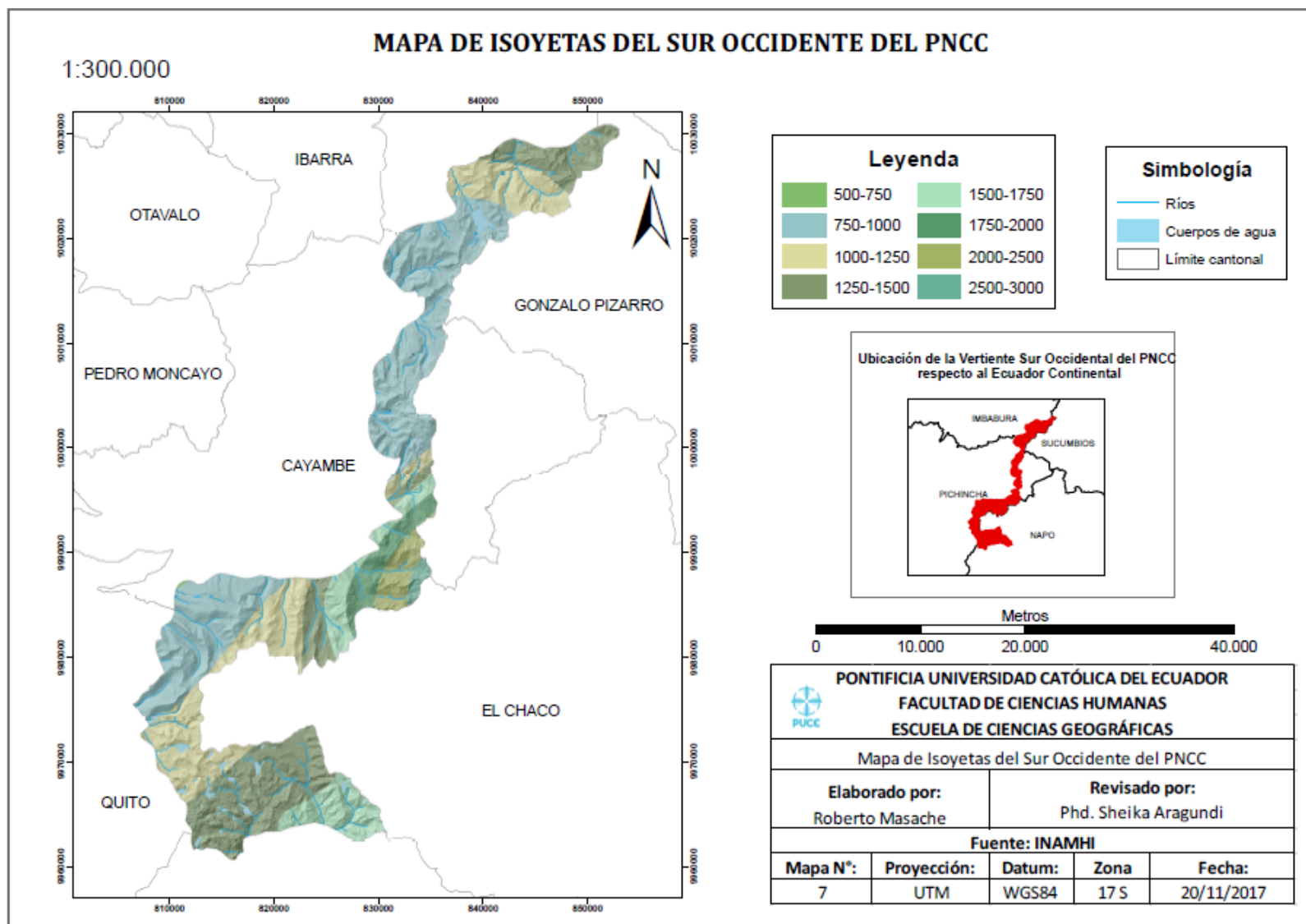
Fuente: Muñoz (2017). Elaboración Propia.

Mapa 6: Elevaciones del sur occidente del PNCC



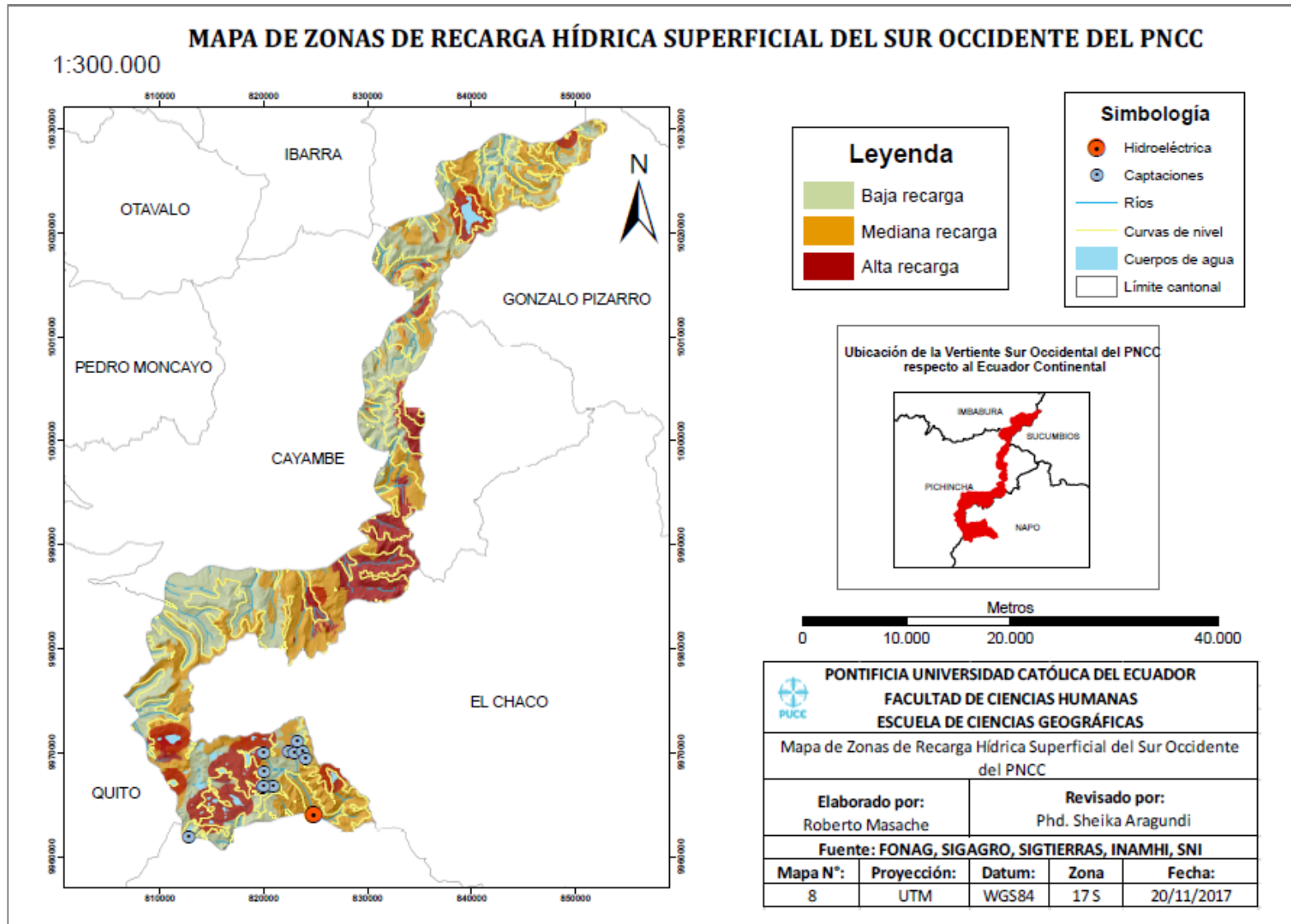
Fuente: SIGTIERRAS. Elaboración Propia

Mapa 7: Isoyetas al sur occidente del PNCC



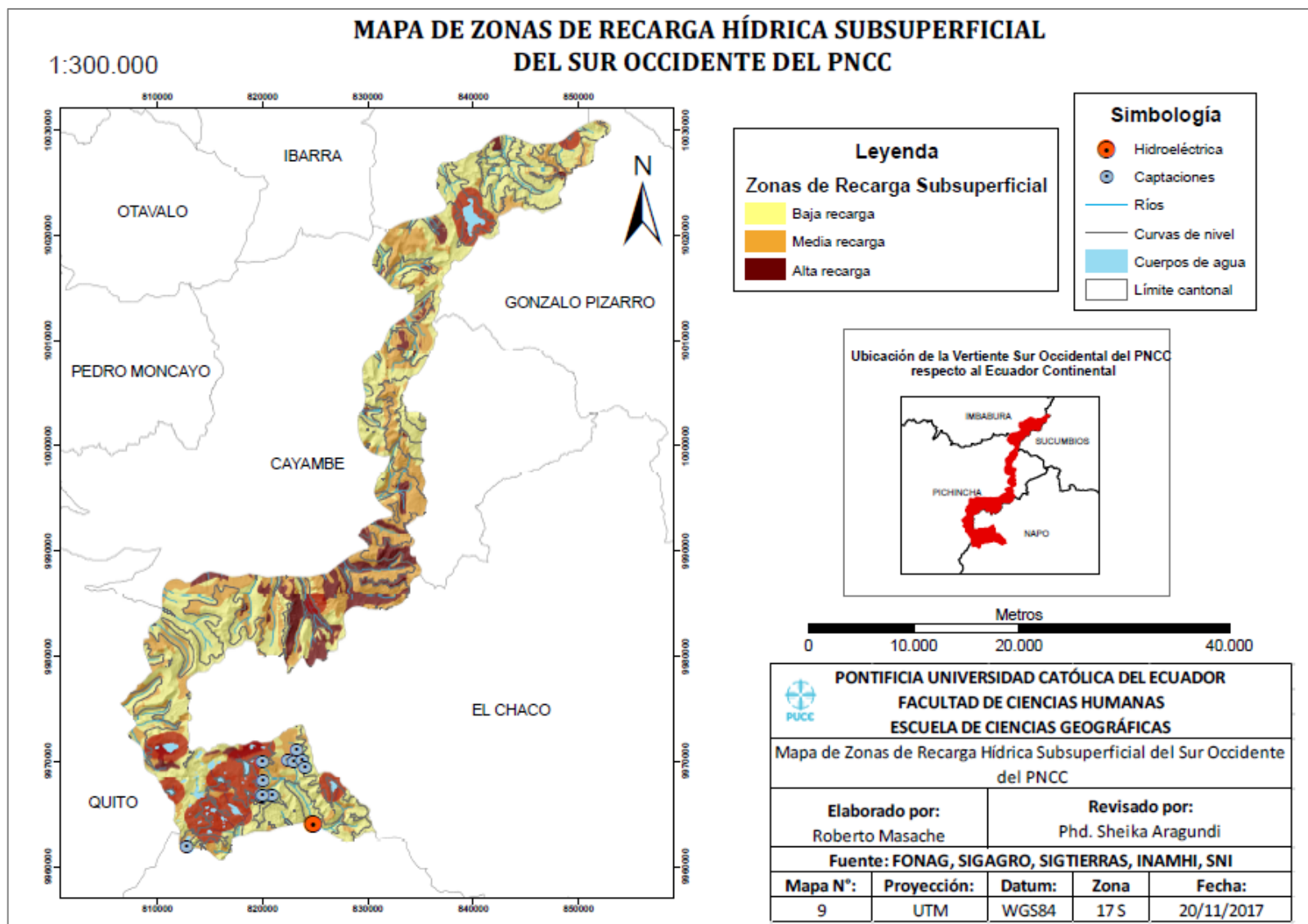
Fuente: INAMHI. Elaboración Propia

Mapa 8: Zonas de Recarga Hídrica Superficial al sur occidente del PNCC



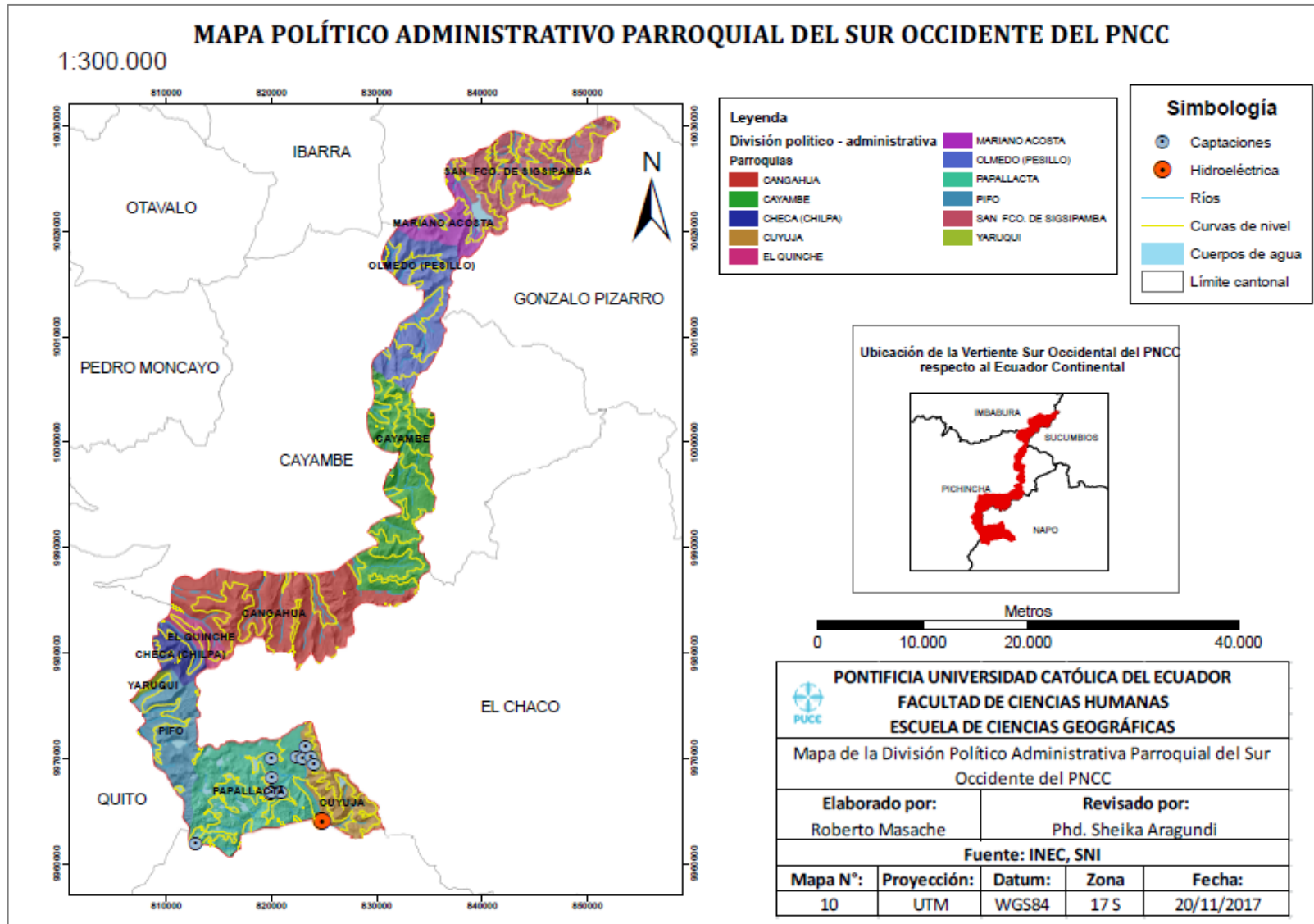
Fuente: FONAG, SIGTIERRAS, SIGAGRO, INAMHI. Elaboración propia.

Mapa 9: Zonas de Recarga hídrica subsuperficial al sur occidente del PNCC



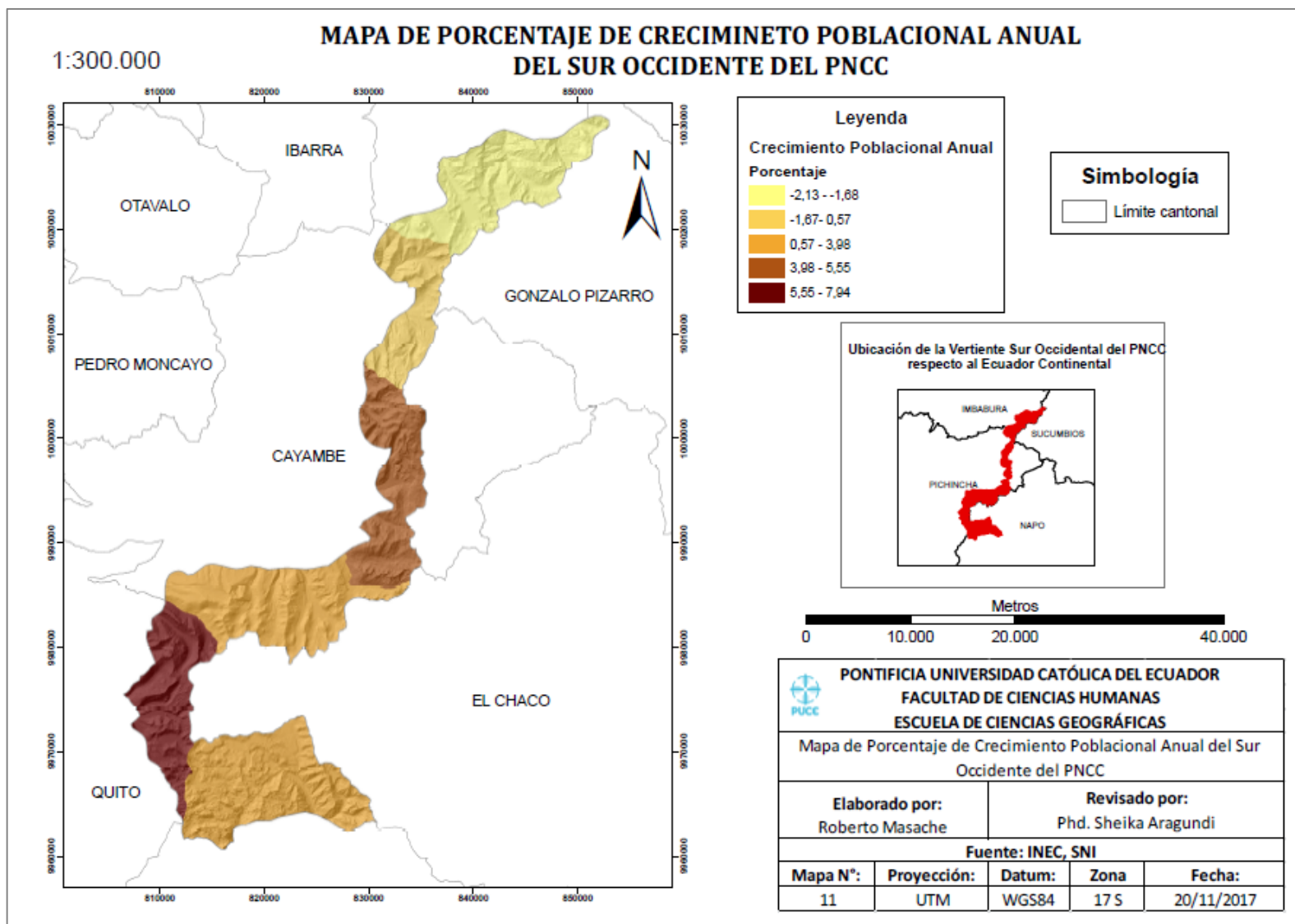
Fuente: FONAG, SIGTIERRAS, SIGAGRO, INAMHI. Elaboración propia.

Mapa 10: División político administrativa parroquial del sur occidente del PNCC



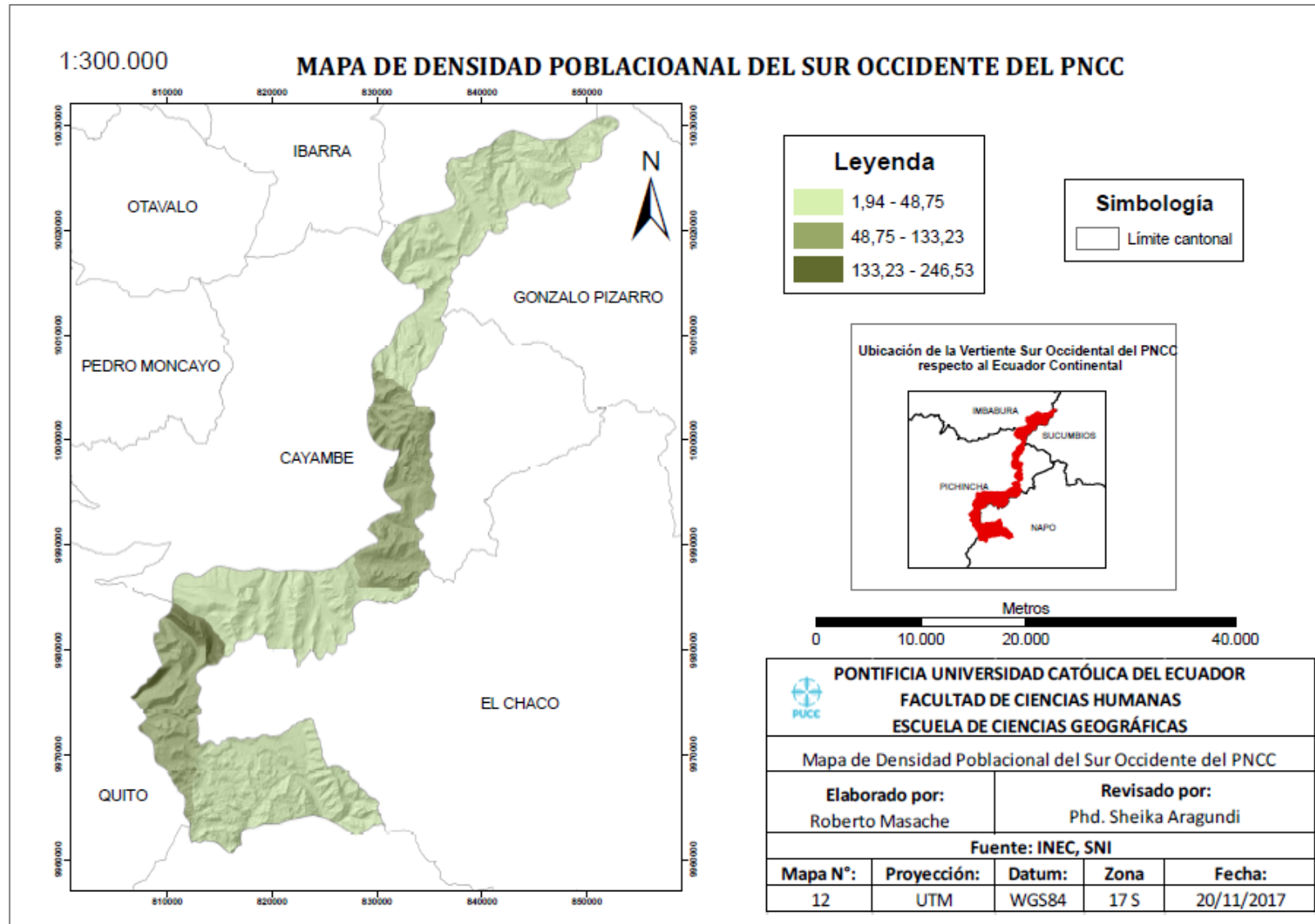
Fuente: SNI, INEC. Elaboración propia.

Mapa 11: Mapa de Porcentajes de Crecimiento Poblacional Anual por Parroquias al Sur Occidente del PNCC



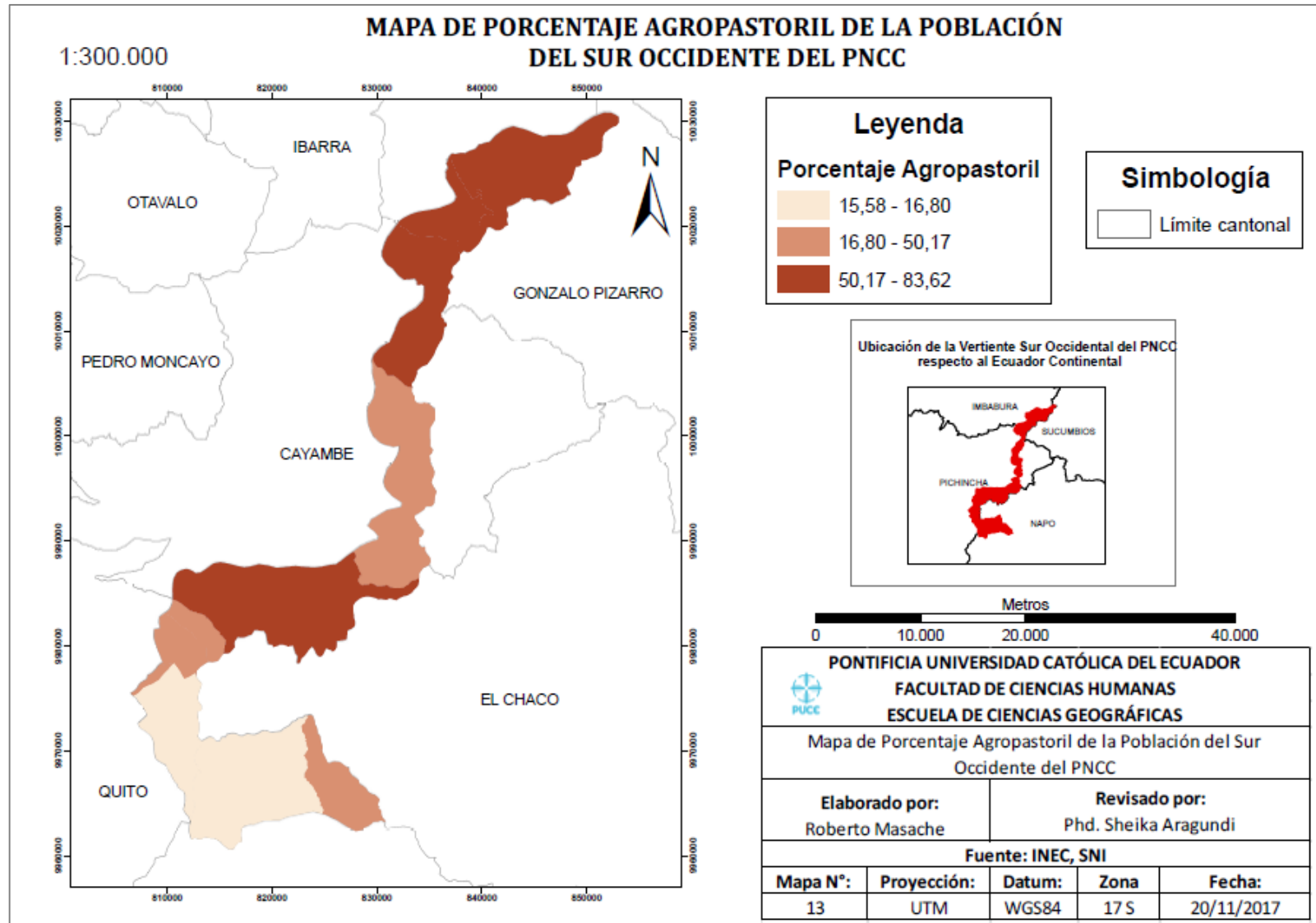
Fuente: SNI & INEC, 2010. Elaboración propia.

Mapa 12: Mapa de Densidad Poblacional por parroquias al Sur Occidente del PNCC



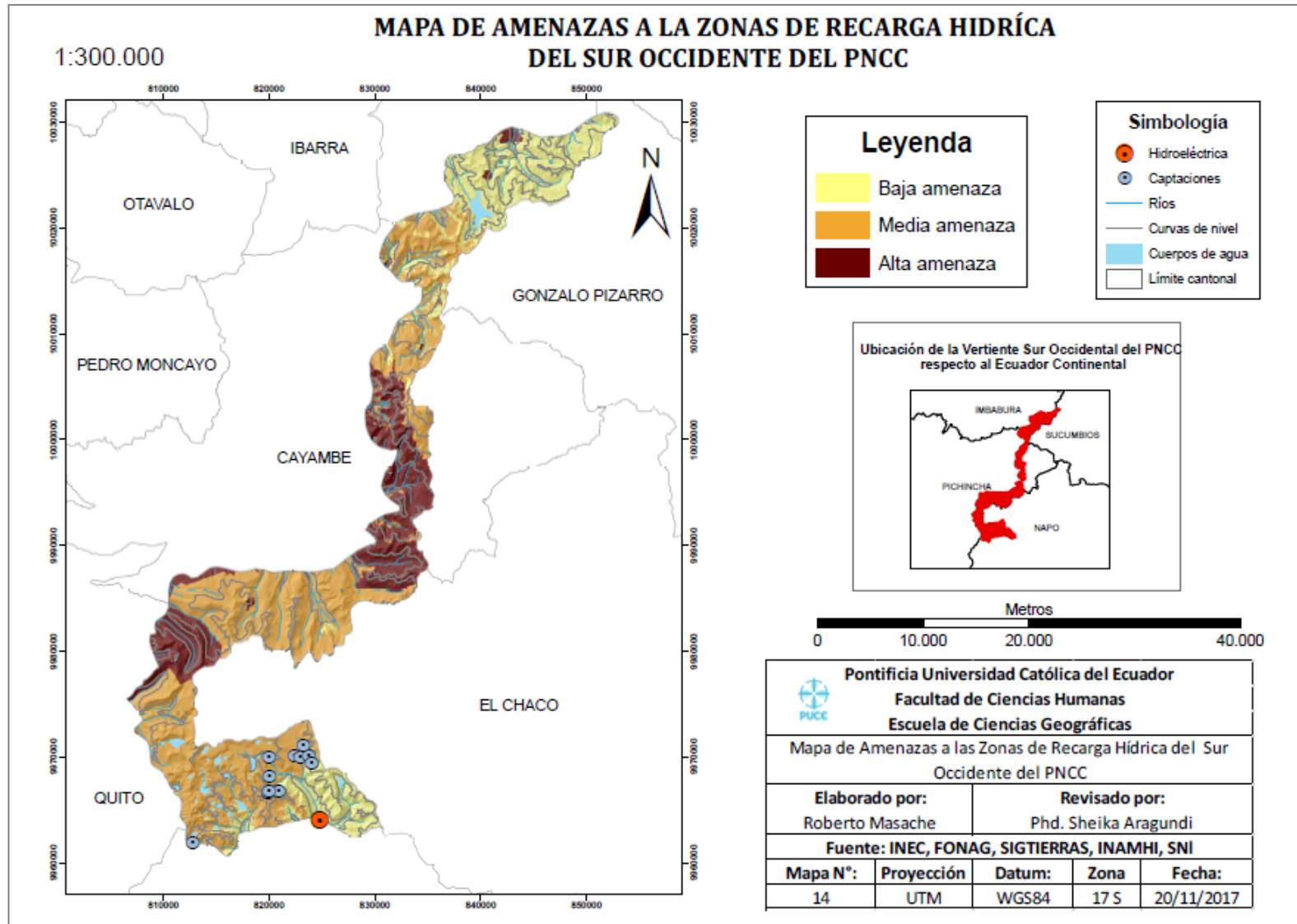
Fuente: INEC, 2010. Elaboración propia.

Mapa 13: Porcentaje Agropastoril de la Población al Sur Occidente del PNCC



Fuente: INEC, 2010. Elaboración propia.

Mapa 14: Mapa de amenazas a las zonas de recarga hídrica del sur occidente del PNCC



Fuente: FONAG, SIGTIERRAS, INEC. Elaboración propia.

