

**ESTADO DEL ARTE SOBRE LAS CONSECUENCIAS DE LA AGRICULTURA
EN RECURSOS HÍDRICOS Y SUELOS EN ECOSISTEMAS DE PÁRAMO
ANDINO**

**ELKIN YESID ANGARITA CORZO
JOSE IGNACIO PASTRANA BLANCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA, SANTANDER**

2016

**ESTADO DEL ARTE SOBRE LAS CONSECUENCIAS DE LA AGRICULTURA
EN RECURSOS HÍDRICOS Y SUELOS EN ECOSISTEMAS DE PÁRAMO
ANDINO**

**ELKIN YESID ANGARITA CORZO
JOSE IGNACIO PASTRANA BLANCO**

**Proyecto de grado en Modalidad de Investigación para optar el título de
Ingeniero Civil**

DIRECTORES

**ISABEL CRISTINA DOMINGUEZ RIVERA
Ingeniera Sanitaria, MSc, PhD.**

**EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA
Ingeniero Sanitario, MSc, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA, SANTANDER**

2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a nuestra familia por brindarnos su apoyo incondicional, a nuestros directores de proyecto, Isabel Cristina Domínguez y Edgar Ricardo Oviedo por su paciencia y dedicación durante el desarrollo del proyecto, y a cada una de las personas que hicieron parte de este proceso.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE	16
1.1. Revisión sistemática de literatura.	16
1.1.1. FASE 1: Búsqueda de información.	16
1.1.2. FASE 2: Filtrado de documentos.....	17
1.1.3. FASE 3: Extracción de datos y síntesis narrativa.....	18
2. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1. Revisión de literatura: Estudios y documentación en los últimos 15 años...19	
2.1.1. Estadísticas de la búsqueda y filtrado.	19
2.1.2. Avances a través del tiempo en materia de investigación.....	20
2.1.3. Discusión acerca del estado actual de la documentación.	22
2.2. Situación presente en los ecosistemas de páramos andinos.	24
2.2.1. Páramo andino.	24
2.2.2. Suelos en los ecosistemas de páramo.....	26
2.2.3. Recursos hídricos en ecosistemas de páramo.....	27
2.2.4. Prácticas agrícolas en ecosistemas de páramo.	29
2.3. Impactos y consecuencias de la agricultura en suelos y recursos hídricos en los páramos.	31
2.3.1. Impactos y consecuencias de la agricultura sobre los suelos de los páramos.	31

2.3.2. Impactos y consecuencias de la agricultura sobre el recurso hídrico de los páramos.....	34
2.4. Metodologías para el estudio de los efectos de las actividades agrícolas en recursos hídricos y suelos en ecosistemas de páramo andino.....	36
2.5. Herramientas de gestión para minimizar el impacto de la agricultura sobre los suelos y recursos hídricos en los páramos.	41
3. CONCLUSIONES.	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metodologías para el estudio de los documentos utilizados en este estado del arte con trabajo directo de campo.....	37
Tabla 2. Información legislativa acerca de los páramos.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resultados estadísticos de la búsqueda y criterios de filtración.	20
Figura 2. Estudios encontrados en todas las bases de datos de acuerdo con año y palabras clave.....	22
Figura 3. Publicaciones encontradas por país en bases de datos por medio del uso de la palabra clave "páramo".	24
Figura 4. Mapa con documentos seleccionados para la revisión por país andino.	24

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Características de los documentos seleccionados al final de la revisión.	58
---	----

RESUMEN

TITULO:

ESTADO DEL ARTE SOBRE LAS CONSECUENCIAS DE LA AGRICULTURA EN RECURSOS HÍDRICOS Y SUELOS EN ECOSISTEMAS DE PÁRAMO ANDINO*

AUTORES:

ELKIN YESID ANGARITA CORZO
JOSE IGNACIO PASTRANA BLANCO**

PALABRAS CLAVE: Páramos andinos, recursos hídricos, suelos, agricultura.

DESCRIPCIÓN:

Este documento fue realizado mediante una revisión sistemática literatura de 1007 artículos publicados entre 2001 y 2016 en bases de datos de texto científico, de donde fueron seleccionadas 28 publicaciones relevantes. Se encontró que la práctica de la agricultura en los páramos: reduce la calidad del agua y cambia las propiedades del suelo, disminuyendo su capacidad de captar y acumular agua. También que en las zonas de páramo reforestadas con pinos se reduce la cantidad de agua en un 50%; mientras que para la reforestación con especies nativas no se tienen evidencias contundentes. En cuanto a estrategias de gestión, países como Colombia, donde el 70% del agua que se consume viene de los páramos, están desarrollando estrategias de conservación, entre ellas la legislación, para lo cual desde el año 1993 se han promulgado un número considerable de leyes, decretos y resoluciones relacionadas con el cuidado de los páramos. Así mismo, se encontró que las metodologías a través de las cuales se ha estudiado el impacto de la agricultura sobre los recursos hídricos y el suelo están relacionadas principalmente con trabajos de campo donde se estudian y comparan las propiedades del suelo y su influencia en el recurso hídrico entre zonas intervenidas, reforestadas y sin intervenir.

*Trabajo de grado. Modalidad investigación.

**Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director(a): DOMÍNGUEZ Rivera Isabel Cristina. Ingeniera Sanitaria, MSc, PhD. Co-director: OVIEDO Ocaña Edgar Ricardo. Ingeniero Sanitario, MSc, PhD.

ABSTRACT

TITLE:

STATE OF THE ART ABOUT THE CONSEQUENCES OF AGRICULTURE IN WATER RESOURCES AND SOILS IN ECOSYSTEMS OF ANDEAN PÁRAMO*

AUTHORS:

ELKIN YESID ANGARITA CORZO
JOSE IGNACIO PASTRANA BLANCO**

KEYWORDS: Andean páramo, water resources, soils, agriculture.

DESCRIPTION:

This document was produced through the systematic literature review of 1007 articles that were published from 2001 to 2016 on scientific text databases, from which 28 relevant publications were selected. It was found that the practice of agriculture in the páramos reduces water quality and it changes soil properties decreasing its ability to capture and store water. As well as the areas with páramos reforested with pines the amount of water is reduced by 50 per cent; in the meantime, reforestation with native species do not have solid evidence. In regard to management strategies, countries like Colombia, in which 70 per cent of the water that is consumed comes from the páramo, they are developing conservation strategies, among them legislation, for which since 1993, there has been enacted a considerable number of laws, decrees and resolutions related to the care of the páramos. In the same way, it was found that the methodologies through which has been studied the impact of agriculture on water resources and the soil, they are for the most part related to field work where there are studied and compared the soil properties and their influence on water resources between intervened areas, reforested and not intervened areas.

*Degree draft. Research mode.

**Faculty of Physics and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: DOMÍNGUEZ Rivera Isabel Cristina. Sanitary Engineer, MSc, PhD. Co director: OVIEDO Ocaña Edgar Ricardo. Sanitary Engineer, MSc, PhD.

INTRODUCCIÓN

En el mundo actual donde el desarrollo humano avanza exponencialmente y las actividades de explotación intervienen los hábitats naturales, es difícil mantener un equilibrio entre los ecosistemas y las culturas humanas sin desencadenar una inestabilidad ambiental. El agua dulce es el recurso más explotado por la humanidad ocupando sólo el 0.8% de la superficie y el 0.01% del volumen total de agua del planeta [1]. Esto crea una problemática entre los intereses socioeconómicos y las normas ambientales, que tienen como prioridad la conservación de los ecosistemas [2]. Según la FAO [3], existen ecosistemas altamente vulnerables a ser afectados por el hombre a corto plazo, debido a la poca capacidad de sus componentes ecológicos de revertir las perturbaciones de su explotación, estos se conocen como ecosistemas frágiles, dentro de los cuales se encuentran los ecosistemas de alta montaña.

Los páramos son ecosistemas de alta montaña situados entre 3000-3800 msnm y 4400-4800 msnm [4]; delimitados en su parte inferior por los bosques altoandinos, y en la parte superior por los glaciares [3]. La mayoría de páramos del mundo se encuentra en Latinoamérica, específicamente en la cordillera de los Andes, en países como Colombia, Perú, Venezuela y Ecuador [5]. Colombia es el mayor poseedor de ecosistemas de páramo del planeta con el 50% de su totalidad, traducidos en 1.925.410 hectáreas [6]. En ellos se genera y nace gran parte de las fuentes de agua que abastecen la red hidrológica nacional [7] y contribuyen con el abastecimiento del 70% de agua de la población del país, además absorben y transforman grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera que es acumulado como parte de la materia orgánica en sus suelos [5], y son sitios donde habitan comunidades campesinas e indígenas desde el periodo prehispánico [4].

Delimitar los ecosistemas de alta montaña no es sencillo, las condiciones climáticas, humedad, exposición a vientos, radiación solar, suelos y geoformas, historia biogeográfica, así como las múltiples trayectorias de uso de ellos en los diferentes sistemas de cordilleras crean una variabilidad en la identificación de bosques alto andinos, bosques andinos, y los páramos [5]. Como consecuencia de esto se han venido desarrollando actividades antrópicas.

Las actividades que se realizan en el páramo pueden poner serios limitantes para su conservación. Estas tienen un impacto directo en el ciclo del agua por medio de cambios en las propiedades del suelo y la vegetación [2]. Por lo tanto, se hace necesario revisar estudios que den cuenta de los efectos y la magnitud del impacto de las actividades de agricultura con base en estudios y documentos de investigación referentes al tema. En este documento se revisará bibliografía seleccionada de forma sistemática en busca de información específica acerca de: impactos de la agricultura en recursos hídricos y suelos en ecosistemas de páramos andinos, metodologías para su estudio y herramientas de gestión para minimizar, prevenir y remediar los efectos de aquellos impactos.

1. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE

1.1. Revisión sistemática de literatura.

1.1.1. FASE 1: Búsqueda de información.

Para contextualizar, clasificar y categorizar cierta cantidad de información acerca de un tema de investigación específico, se abordó un método de trabajo tanto reproducible como repetible. Las revisiones sistemáticas de literatura son una componente fundamental del método científico dado que tienen como fin resumir, compilar, criticar y sintetizar la investigación existente sobre un área temática [8], por ende, esta fue la herramienta seleccionada en el presente estudio para documentar los impactos de la agricultura en recursos hídricos y suelos en los ecosistemas de páramos andinos, las afectaciones derivadas de la realización de dicha actividad, las diferentes estrategias adoptadas para mitigar las consecuencias negativas sobre dicho hábitat, y las metodologías para su estudio. El proceso inició con la búsqueda de información, la cual debe ser auditable y repetible, por lo tanto se realizó mediante el uso de palabras clave [8], entre las que se encuentran: páramos y agua, páramos y suelos, páramos y agricultura, páramos andinos. Las bases de datos que se seleccionaron para llevar a cabo la búsqueda fueron Scopus, librería digital de la Universidad Industrial de Santander y ScienceDirect, así como también los documentos publicados por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, y la organización ecologista internacional Greenpeace.

En respuesta a la necesidad de conocer la problemática actual y con el fin de acotar información, se centró la búsqueda de estudios, documentos, artículos e investigaciones en los últimos 15 años, específicamente entre el año 2001 y 2016.

1.1.2. FASE 2: Filtrado de documentos.

Una vez finalizada la búsqueda de documentos descrita en la fase anterior, se obtuvieron gran cantidad de documentos, muchos de los cuales no contaban en su contenido con información relevante a la problemática de interés, por lo tanto se hizo necesario plantear unos parámetros de inclusión y exclusión [9]. La claridad es obligatoria en la definición de parámetros, con la finalidad de que el proceso pueda ser auditado o reproducido [10]. Los criterios usados para el filtrado de documentos fueron:

- **Identificación de año de publicación:** Acotación de documentos iniciales derivados de la FASE 1 dentro del año 2001 y 2016, y descarte de documentación fuera de este margen.
- **Lectura de títulos:** La lectura título por título permitió excluir de manera superficial la documentación que se desvía del tema de interés, además de descartar artículos repetidos de las diferentes bases de datos.
- **Lectura de resúmenes de documentos:** Este criterio permitió profundizar dentro de la documentación seleccionada, permitiendo identificar de manera precisa la información encontrada sobre el tema de investigación.
- **Relación de citas bibliográficas de documentos ya filtrados:** Teniendo una base sólida de documentos que se relacionan directamente con el tema, se revisó la bibliografía de dichos documentos y se identificaron autores y documentos frecuentemente relacionados en cada bibliografía. Esto facilitó la búsqueda de nuevos documentos ligados con el tema de interés.
- **Análisis del contenido de los documentos:** El criterio final de selección de inclusión o exclusión fue la lectura total del contenido. Mediante esta

lectura se concluyó finalmente sobre el uso o no de la información en el documento final.

1.1.3. FASE 3: Extracción de datos y síntesis narrativa.

El proceso final del filtrado permitió agrupar una cantidad de información importante ya relacionada directamente con el tema de interés [11]. Seguidamente, se llevó a cabo un análisis de calidad de acuerdo a todo lo recolectado, identificando mediante la lectura detallada de todos los documentos los siguientes aspectos: temas en común de cada documento, diferencias entre estudios realizados, conocimiento científico y enfoque de cada autor, conclusiones en común y contrarias, frecuencia con que se hacía alusión a la información, y temas no estudiados a la fecha.

Debido a la previa identificación y clasificación de la información de cada documento, se facilitó realizar un resumen que incluye las características e ideas más importantes que concluye cada autor, soportado con tablas y gráficos. A este resumen se le denomina síntesis narrativa, y representa la realización del estado del arte por medio de la revisión sistemática de literatura [9].

Los resultados de las fases de la metodología determinaron el estado actual con respecto a la cantidad de información y datos respecto a nuestro tema de trabajo, así como también del avance del conocimiento científico alrededor de los impactos de la agricultura en los páramos.

2. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

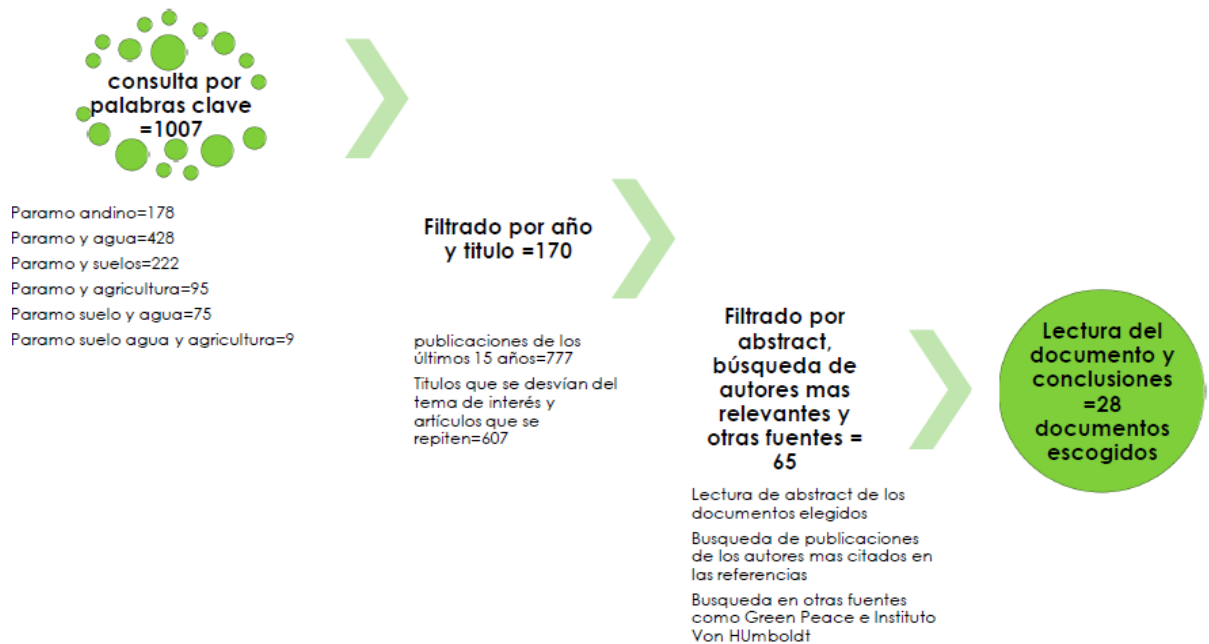
2.1. Revisión de literatura: Estudios y documentación en los últimos 15 años.

2.1.1. Estadísticas de la búsqueda y filtrado.

La búsqueda de información se planteó inicialmente con el uso de la palabra clave más general posible, "páramo". Pero, en vista que la búsqueda en las bases de datos y fuentes propuestas en cuanto a cantidad de publicaciones encontradas fue 17362, cantidad considerable, se realizó una búsqueda menos general usando las palabras claves mostradas en la Figura 1, la cual representa estadísticamente el proceso y pasos que clarificaron la búsqueda, y filtrado de documentos.

La suma total de publicaciones por medio del uso de cada una de las palabras claves arrojó un total de 1007 documentos, sin embargo, sólo 170 tuvieron títulos conectados con el tema de interés publicados dentro del parámetro de filtrado de los últimos 15 años. En definitiva, por medio de la lectura detallada de resúmenes y de documentos en su totalidad se obtuvieron 28 artículos y documentos relevantes, con los cuales se realizó la revisión.

Figura 1. Resultados estadísticos de la búsqueda y criterios de filtración.



2.1.2. Avances a través del tiempo en materia de investigación.

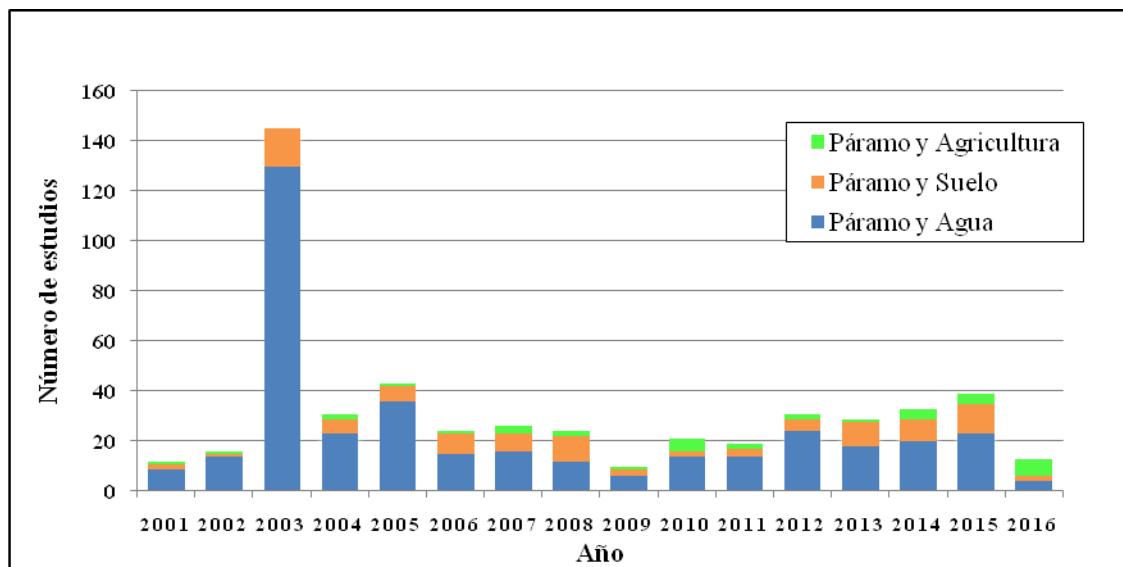
Agrupar y organizar los datos numéricos de la búsqueda de información gráficamente, como se muestra en la Figura 2, facilitó conocer cómo ha evolucionado el conocimiento científico acerca las consecuencias de la agricultura en recursos hídricos y suelos en ecosistemas de páramo andino a través del tiempo en las bases de datos seleccionadas. En lo que respecta a la documentación utilizada para esta revisión es claro que existe una tendencia que destaca, la mayoría de estudios de los autores se basan en el recurso hídrico, y aunque este tema no muestra un crecimiento de documentación publicada con el

paso del tiempo, existen picos como el 2003 donde hubo un número sobresaliente de publicaciones (130) en comparación con los otros años del análisis.

En cuanto a las publicaciones relacionadas con la agricultura en los páramos, se encontró un leve pero marcado crecimiento y evolución del conocimiento científico con el transcurso de los años, en el año 2001 se encontró 1 sola publicación relacionada, en cambio en el 2016 fueron 7. Para los estudios correspondientes a los suelos de páramo estadísticamente se encontraron tendencias de crecimiento y decrecimiento de publicaciones entre años específicos, pero, la irregularidad es una constante en cuanto al crecimiento del conocimiento científico, y esto evidencia que los suelos de los páramos constituyen un área de estudio que requiere desarrollo.

En efecto, los estudios revisados en este estado del arte se encuentran de cierta manera limitados, lo que puede indicar que hasta ahora, la academia se empieza a preocupar por las consecuencias de la explotación desmedida de los recursos en zonas de páramo.

Figura 2. Estudios encontrados en todas las bases de datos de acuerdo con año y palabras clave.



2.1.3. Discusión acerca del estado actual de la documentación.

Para hablar acerca de la documentación actual es necesario denotar el relativo poco conocimiento científico actual respecto al tema, es un campo aún poco explorado, y aunque existen autores como Wouter Buytaert y Rolando Céleri, cuyos artículos se tuvieron muy en cuenta en esta revisión, ellos mismos manifiestan esta situación; la intromisión en los páramos apenas ahora está despertando la conciencia ecológica.

En su mayoría los autores se dedican a describir las propiedades del suelo de páramo basados en bibliografía, alguna incluso con más de 30 años de antigüedad; solo un puñado de autores tiene publicados estudios de campo y conclusiones basadas en estudios actuales acerca del tema. Las entidades importantes están interesándose recientemente en esta área de investigación, si bien sus publicaciones ofrecen información importante y actual, no tratan temas

específicos. Entre estas entidades, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, entidad sin ánimo de lucro que investiga biodiversidad y servicios ecosistémicos para la toma de decisiones estatales, y la Organización No Gubernamental ecologista Greenpeace son un ejemplo.

Gran parte de los estudios que se encontraron en las bases de datos revisadas se realizaron en Ecuador y Colombia. Aunque no se puede obviar que en su mayoría los autores de dichos estudios son extranjeros y migraron desde Europa hacia los países andinos para realizar estas investigaciones.

La figura 3.1 muestra un panorama de la cantidad de documentos existentes referentes a páramos en países andinos, por otro lado la figura 3.2 muestra la cantidad de documentación final seleccionada de cada país andino que posee páramos, y aclara la condición y cantidad del conocimiento científico para este tema en los países sudamericanos respectivamente.

Figura 3. Publicaciones encontradas por país en bases de datos por medio del uso de la palabra clave "páramo".

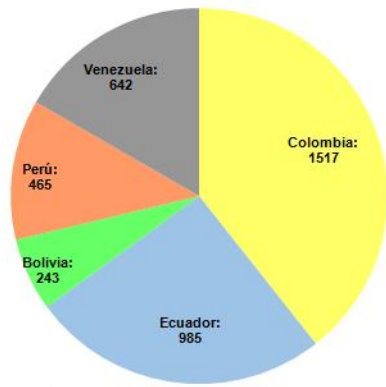
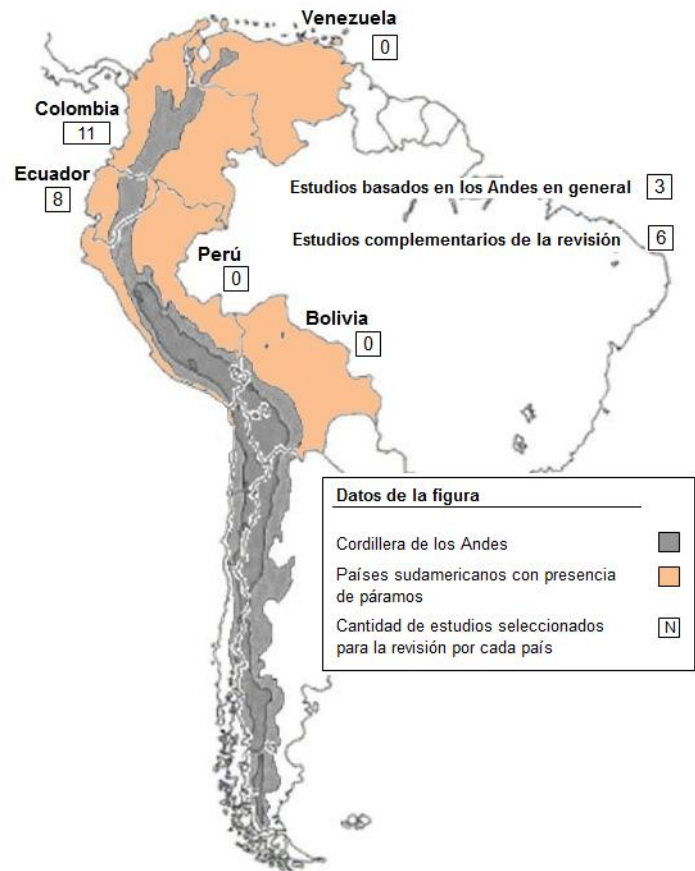


Figura 4. Mapa con documentos seleccionados para la revisión por país andino.



2.2. Situación presente en los ecosistemas de páramos andinos.

2.2.1. Páramo andino.

La orogénesis, proceso por el cual se da la formación de las montañas, en los Andes, tuvo su lugar en los periodos Mioceno, Plioceno y Pleistoceno. En este proceso de formación, la cordillera de los Andes, a lo largo de toda su longitud se

dividió en 3, la cordillera occidental, la cordillera central y la cordillera oriental, esta última alcanzó su máximo desarrollo en Colombia. Como consecuencia del levantamiento, surgieron los páramos andinos, cuando la topografía formada por la actividad glacial dio origen a la estructura de muchos valles de páramo. Por lo tanto, el relieve del páramo va desde valles profundos y empinados hasta llanuras casi planas, con gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas [12].

Actualmente la comunidad Andina tiene presente que el páramo es su principal abastecedor de agua, por esto se le ha categorizado como esencial en el plano socio-económico [2]. En actividades como riego en la agricultura, producción de alimentos y la generación de energía hidroeléctrica, el uso de recursos hídricos provenientes de páramos es primordial [13]. Además, la calidad del agua es excelente, y los ríos que descienden desde el páramo tienen un alto y sostenido flujo base. Debido a que la obtención de agua subterránea es escasa en los países andinos, ya que es costosa y difícil de explotar, la mayoría de grandes ciudades en el norte de los Andes, como Bogotá y Quito dependen del páramo para suministro de agua [2].

Teniendo en cuenta que el páramo andino según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) abastece de agua a más de 100 millones de personas en la región norte de América del sur, es importante mencionar las componentes, características y razones del por qué lo es [12]. Su función de abastecedor no sólo se limita a ello, ya que dentro de este existe un sistema cíclico complejo conformado por diferentes componentes como el suelo, las precipitaciones, y la materia orgánica que trabajan entre sí para permitir que los ecosistemas de páramos andinos sean productores, reguladores, retenedores y abastecedores de gran parte del agua que usan las sociedades humanas andinas.

2.2.2. Suelos en los ecosistemas de páramo.

Los suelos en ecosistemas de páramo poseen características que los diferencian de otros en cualquier región del mundo. El tipo de suelo del ecosistema de páramo andino y las propiedades son principalmente determinadas por dos factores: el clima, que siendo húmedo y frío favorece la acumulación de materia orgánica en el suelo, y la existencia de una capa homogénea de cenizas de erupciones volcánicas del cuaternario, que con el paso de los años le dio al suelo una estructura muy ligera, porosa y esponjosa [2].

Los suelos pertenecientes a los ecosistemas de páramo se pueden clasificar en:

- **Andosoles:** Son de origen volcánico, color oscuro y muy porosos, con alto contenido de materia orgánica, gran capacidad de retención de agua y mucha capacidad de cambio [14].
- **Andisoles:** Caracterizados por una alta retención de fósforo, alta capacidad de agua disponible, y capacidad de intercambio catiónico. La mayoría formados en eyecciones volcánicas o materiales volcanoclásticas [15].
- **Histosoles:** Presentes en áreas más saturadas por agua y zonas con menor influencia volcánica, y caracterizados por un contenido muy alto de materia orgánica en la parte superior de los suelos y sin congelamiento. La cantidad de materia orgánica es de al menos 20% a 30% en más de la mitad de este espesor. Muchos histosoles están bajo turbas que consisten en materia orgánica descompuesta que se acumuló en el agua [15].
- **Inceptisoles:** Ubicados en zonas de clima frío. Poseen acumulación de materiales orgánicos en la superficie debido a condiciones de baja degradación [16]. Presentan un pH ácido, malas condiciones de drenaje y

pueden contener minerales de arcilla amorfa como la alófana. Ocupan gran parte de las laderas de Colombia [15].

- **Regosoles:** Localizados en zonas más empinadas o donde hay afloramientos de roca, no muy habitualmente vistos en los páramos andinos, en donde se desarrollan muy débilmente suelos minerales en materiales no consolidados [2]. Los regosoles son extensos en zonas de erosión, y en tierras y zonas de acumulación, sobre todo en zonas áridas y semiáridas áreas y en terreno montañoso con poca vegetación o materia orgánica. Las faldas de los páramos del Chimborazo, Ecuador son un ejemplo de estos suelos gracias a la erosión eólica [14].

Debido a características como, alto contenido de materia orgánica, alta cantidad de poros, gran cantidad de absorción, baja densidad aparente y almacenamiento de agua; los suelos del páramo, tienen una capacidad de retención de agua muy alta, hasta casi 2 veces su peso seco en agua, entre 80-90% de saturación [2], esto se evidencia de manera que en los primeros 30 cm de profundidad el agua ocupa el 61.7% del volumen total del suelo. Además facilitan el proceso de infiltración y recarga de acuíferos [6]. Por estas razones, la literatura en general cataloga los suelos de páramos como reguladores de agua. La estructura del suelo confirma la habilidad del suelo para una buena regulación de agua. Muchos ríos de páramo proveen un flujo base sostenido a lo largo de todo el año y este es atribuido principalmente a la topografía, el clima y las condiciones del suelo [12].

2.2.3. Recursos hídricos en ecosistemas de páramo.

Los páramos pueden considerarse productores de agua, existen autores que les atribuyen ese calificativo, pero, su verdadera función es ser puente entre precipitaciones, niebla y rocío, de las cuales se origina el agua, y salidas como ríos, quebradas y reservas subterráneas [17].

El agua entra directamente a los páramos de dos maneras, a través de las precipitaciones verticales, lluvias o nieve, y las llamadas precipitaciones horizontales, aguas obtenidas por medio de niebla, rocío e interceptación de la materia orgánica [17].

Las lluvias verticales en los páramos andinos son generalmente de moderadas a altas. Al contrario que las condiciones climáticas estables, las precipitaciones se comportan variablemente, con intensidades por lo general bajas y con duraciones largas. Las precipitaciones se pueden dividir por sus actuantes y particularidades en: pequeña y gran escala. La lluvia a pequeña escala está principalmente determinada por variaciones en la velocidad y dirección del viento, el viento es diferente en cuanto a intensidad, dirección y humedad dependiendo del tipo de pendientes, topografía accidentada y lugar de actuación. En cambio, la lluvia a gran escala está determinada por un efecto altitudinal y un efecto latitudinal [12].

Las lluvias horizontales añaden de un 5 a 20 % de lluvia normal. Sin embargo, no existen muchos estudios que cuantifiquen de manera precisa estos valores [12].

En los páramos andinos la vegetación predominante evita que se pierda agua por evapotranspiración [17], y el consumo natural de agua es muy bajo. Las pocas estimaciones existentes de la evapotranspiración actual en el páramo están en el rango de cerca de 1 mm/día hasta cerca de 1.5 mm/día, este caso representa un estudio realizado en la Sierra Nevada del Cocuy [12]. Considerando que la captación de agua en los páramos andinos es alta, hay un gran excedente de agua, aproximadamente cada metro cuadrado de páramo produce 1 litro de agua por día [5], incluso pueden contener las lluvias de las temporadas invernales y liberar el agua lentamente en las estaciones secas.

2.2.4. Prácticas agrícolas en ecosistemas de páramo.

A medida que ha pasado el tiempo el uso de los páramos andinos para distintas actividades humanas ha cambiado de acuerdo a la evolución de las tecnologías y las necesidades humanas. Vale la pena mencionar que desde antes de las formaciones de las grandes culturas pre-colombinas ya había intervenciones humanas en estos hábitats [13].

La siguiente clasificación propuesta por Llambí *et al.* [17], se basa en intervenciones humanas relacionadas con actividades agropecuarias a través del tiempo en los páramos andinos:

- **Periodo pre-incaico:** Existe muy poca información pero se cree que se le daba al páramo un uso ceremonial y de cacería de forma temporal y circunstancial.
- **Periodo incaico:** Se dio la primera transformación antrópica del páramo, mediante la llegada de los Incas a los páramos de Ecuador y al sur de Colombia y se inició el cultivo de papa.
- **Periodo Colonial:** La frontera agrícola crece con el cultivo sostenido de trigo, además la llegada de los españoles introduce cultivos de cereales (cebada, trigo y avena).
- **Periodo Moderno:** Comienza el uso de sistemas de producción intensivos, así como de fertilizantes y pesticidas, y se da la expansión agrícola con cultivos como papa y hortalizas con el fin de llevar la producción a mercados nacionales. Zonas de producción intensivas coexisten con las modalidades de producción tradicionales que mantienen estrategias de conservación y reutilización de suelos que permiten recuperar parcialmente

la materia orgánica, ejemplo: producción con descansos largos y sin uso de insumos agroindustriales.

La literatura publicada indica que los principales cultivos existentes en los páramos andinos son la papa, la amapola, el maíz, habas, trigo, cebada y judías [5], y que el cultivo de papa a pequeña escala es el cultivo tradicional más importante [16]. En países como Colombia el proceso de intervención humana se da en la mayoría de los páramos y de los bosques altoandinos, exceptuando algunos ecosistemas de la Cordillera Occidental que han logrado conservarse gracias a su difícil acceso [5].

En el caso del cultivo de papa a pequeña escala, el método de uso del suelo es la creación de pequeñas parcelas con requerimientos moderados de insumos, como fertilizantes y pesticidas, y uso limitado de maquinaria. Además, el suelo se administra con periodos de descansos largos, que varían de 10 a 30 años, alternando con periodos cortos de cultivo, de 1 a 4 años. Las propiedades de los suelos, el clima, la altitud, la temperatura determinan el tiempo de los descansos, también la distancia entre las viviendas y parcelas cultivadas [16].

El ciclo de agricultura muchas veces inicia con la quema total de la materia orgánica de las parcelas, con el fin de limpiar el terreno antes de una siembra [17].

Continúa con la etapa de cultivo, la configuración de parcelado, descansos y tiempo de cultivo, al concluir la cosecha la tierra se deja en descanso, luego prosigue con el pastoreo durante unos meses y luego de una manera rotativa se deja descansar la tierra para conseguir que esta no pierda fertilidad [16].

Con el avance de la frontera agrícola se han transformado extensas áreas de páramo. Adicionalmente, los ciclos de recuperación de las parcelas no se están respetando, todo esto pone en riesgo la integridad ecológica del ecosistema [16].

2.3. Impactos y consecuencias de la agricultura en suelos y recursos hídricos en los páramos.

2.3.1. Impactos y consecuencias de la agricultura sobre los suelos de los páramos.

Las prácticas agrícolas han provocado la disminución progresiva de las condiciones naturales de los ecosistemas de montaña [5]. Para los suelos de páramo que durante miles de años se han adaptado a condiciones muy particulares y en algunos casos extremas del ecosistema, las características que los hacen tan únicos son la causa de su alta vulnerabilidad, como su capacidad de retención y regulación de agua, su contenido de materia orgánica y la estructura de sus suelos [17].

Teniendo en cuenta las prácticas que hacen parte del ciclo de la agricultura en los páramos andinos, las consecuencias para los suelos de páramo andino y para con sus características únicas reportadas en la literatura son las siguientes:

- **Quemas:** Los suelos de páramo siempre permanecen húmedos lo que implica que no estén adaptados a condiciones de secamiento. Las quemas pueden producir los siguientes estados en suelos húmedos y en condiciones naturales: alto valor de deshidratación irreversible, alta susceptibilidad a la erosión, alta fragilidad a los agregados, estado polvoso, baja densidad y flotamiento de los agregados [17], además generan agregados del suelo hidrofóbicos y alta repelencia al agua.
- **Compactación de suelos:** Los suelos juegan un papel clave en la determinación de si la precipitación es absorbida o arrojada del sitio; estos también cumplen el papel de almacenar y liberar agua. La estructura de los suelos de páramo, conformada en general por suelos andosoles, histosoles

o inceptisoles es mecánicamente baja, el simple hecho de ser compactados destruye sus características primarias [2].

Las actividades humanas causan la compactación del suelo, y esta a su vez reduce el espacio de poros disponible en el suelo y por lo tanto se reduce la capacidad del suelo para almacenar agua [18]. El laboreo excesivo, pulveriza los agregados del suelo, disgregándolos y deteriorando toda la estructura; la disgregación de agregados desencadena la disminución de la red de poros, así como de la aireación del suelo y de la capacidad de infiltración de agua, y en consecuencia, se da un aumento significativo de la escorrentía y, por tanto, de la erosión [19].

- **Técnicas de cultivos como labranza:** La labranza altera las condiciones iniciales de los suelos y transforma toda la capa superficial de ellos, ocasionando la degradación irreversible de la estructura. La compactación, amoldamiento, reducción de la materia orgánica y minerales, y alteración completa de los suelos, para ser reemplazados por estructuras de bloques angulares y sub-angulares es el evento más común durante el cultivo por labrado [17]. Los resultados son la disminución de la retención de agua y aumento de la hidrofobicidad, además de la pérdida irreversible de las características estructurales como se mencionó anteriormente [2].
- **Productos químicos para amoldar las condiciones del suelo a las que los cultivos necesitan:** La disparidad de contenido de nutrientes del suelo a causa de la diversidad de terrenos que conforman la cordillera de los Andes suponen el empleo de diferentes tipos de fertilizantes de acuerdo al cultivo que se pretende obtener, igualmente para los pesticidas. El problema principal se presenta cuando los residuos de cultivos a los que se les aplicó fertilizantes y pesticidas son empleados como alimento de ganado, ya que el suelo afectado con la aplicación de los productos

químicos pierde toda capacidad de recargar nutrientes a causa del bajo contenido de materia orgánica [19].

Con respecto al cultivo de papa, por tradición el más importante de los páramos andinos, en Colombia, es el cultivo con mayor cantidad de fertilizantes compuestos consumidos (aproximadamente 30-40% del total del consumo nacional) y el de mayor demanda de insecticidas y de fungicidas y el segundo después del café, en uso de fertilizantes.

- **Erosión:** El principal efecto de retirar la materia orgánica superficial de los suelos es la erosión, debido al secado con aire, y como consecuencia de los vientos. Este secado produce contracción y reacomodación de los agregados del suelo, lo que hace que la permeabilidad se reduzca y la erosión por agua y por viento aumente [20].

En el caso de la erosión por agua o recurso hídrico, el principal factor a tener en cuenta son los movimientos en masa generados por los materiales ubicados en fuertes pendientes que al no tener una capa superficial de materia orgánica protectora son afectados por el clima y pierden su estabilidad natural. En cambio en ciertas zonas, como los páramos de Chimborazo, Cotopaxi, e Illinizas, en Ecuador, se presenta erosión eólica gracias a los vientos fuertes de la Amazonía; al perder la cobertura vegetal herbácea natural, los suelos de tipo vítrico y sin cohesión interna están sometidos a fuertes vientos que deshacen las capas superficiales y convierten los suelos en partículas finas. Las partículas finas transportadas con fuerzas eólicas dan lugar a acumulaciones como dunas y depósitos dispersos en la superficie de los relieves [20].

2.3.2. Impactos y consecuencias de la agricultura sobre el recurso hídrico de los páramos.

En los páramos, las actividades que afectan directamente las características únicas de los suelos también afectan las funciones hídricas. Siguiendo la clasificación usada para el caso de los suelos, a continuación se describen similarmente el conjunto prácticas que hacen parte del ciclo de agricultura, pero, teniendo en cuenta los impactos y consecuencias sobre los recursos hídricos en los páramos andinos:

- **Quemas:** Los efectos primarios de las quemas son la escorrentía rápida y la erosión del suelo, pues eliminar la materia orgánica y someter el terreno a pendientes fuertes desata escorrentía con arrastre de fracciones de suelo. En los suelos de páramos andinos cuando la estructura se rompe y el suelo se seca, las partículas son fácilmente transportadas por la escorrentía, por lo cual las altas tasas de erosión en páramos sometidos a agricultura son explicables [17]. No obstante, hay otra consecuencia aún más relevante, puesto que dejar el suelo expuesto directamente al lavado de lluvias e infiltración seguidamente afecta directamente la calidad del agua infiltrada.

Aunque la materia orgánica de los suelos de páramo presenta poco nitrógeno disponible, los suelos sí que tienen un mayor contenido. El problema más importante relativo al ciclo del Nitrógeno es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, se pueden incorporar a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados [19]. El consumo de aguas contaminadas por nitratos y nitritos, son perjudiciales para el hombre en general, debido a que por la acción de estos compuestos con bacterias intestinales, pueden formarse nitrosaminas, algunas de las cuales son carcinógenas. Aún mayor perjuicio en la población infantil tiene el consumo de aguas contaminadas directamente por nitrito; sobre todo para los lactantes, cuando su concentración en el agua es mayor de 45mg/L, pues al

reducirse a nitritos, puede provocar la enfermedad conocida como metahemoglobinemia, que es una intoxicación de la sangre, pudiendo alcanzar consecuencias fatales en muchos casos [21].

- **Compactación de suelos:** Después de la pérdida de las características únicas de los suelos por compactación como infiltración, porosidad y la totalidad de su estructura, el suelo no poseerá las propiedades que le permiten retener, almacenar y dar flujo al agua proveniente de las precipitaciones. Por lo tanto, la compactación dentro las prácticas agrícolas destruye las capacidades naturales de aportación hídrica y de flujo hídrico que poseen los páramos [17].
- **Técnicas de cultivo como Labranza:** Como consecuencia de prácticas agrícolas como labranza, los suelos permanecen descubiertos o en barbecho por algunos periodos de tiempo durante el año. Esta exposición directa a la radiación solar produce secamiento del suelo y pérdidas irreversibles de hasta el 40% de la capacidad de retención de agua [22]. Además, luego de períodos secos en suelos afectados, los suelos sufren una reducción de su volumen, formando pequeños grumos endurecidos, que han perdido su capacidad de retención de agua [17].
- **Productos químicos para amoldar las condiciones del suelo a las que los cultivos necesitan:** Las fertilizaciones incluyen prácticas de abonado orgánico, gallinaza, urea, abonos químicos y también cal como medida para contrarrestar la alta acidez típica de los suelos de páramo andino. Aunque no es habitual el análisis de suelos de páramo, es indudable que el uso de productos químicos trae como resultado una sobredosificación de nutrientes, desbalance catiónico, pérdidas por lavado, modificación de la composición microbiana del suelo, y como efecto secundario final la contaminación de los recursos de agua [16].

- **Erosión:** Como consecuencia de la desaparición de la materia orgánica superficial, el suelo es constantemente sometido a condiciones a las cuales no está preparado, como la radiación directa del sol, las constantes precipitaciones y el aumento de la escorrentía superficial, que antes era controlada e infiltrada lentamente directamente por la acción de la vegetación edáficas, desencadenando la erosión del suelo. Un suelo de páramo erosionado puede tener un alto rendimiento hídrico, ya que superficialmente la escorrentía ha aumentado drásticamente, pero tiene una bajísima regulación, pues la cuenca no puede almacenar agua en épocas de lluvia ni abastecer en épocas de sequía [17].

2.4. Metodologías para el estudio de los efectos de las actividades agrícolas en recursos hídricos y suelos en ecosistemas de páramo andino.

Es importante tener en cuenta como los documentos usados en este estado del arte abordan el tema propuesto, ya que esto proporciona una mejor comprensión de como éste se ha estudiado. Ciertamente el conocimiento científico tiene sus bases en conclusiones de estudios anteriores o análisis de temas similares, de la misma manera que otro tiene las suyas en los análisis de campo. La Tabla 1 sintetiza cómo algunos documentos utilizados en esta revisión disponen de diferentes estrategias para recolectar y analizar datos por medio de trabajos de campo, en los que principalmente se miden parámetros de: ciclos hidrológicos en diferentes cuencas, usando aparatos de apoyo como pluviómetros; propiedades de diferentes áreas de suelo separadas por barracas ó descapote de la superficie, empleando penetrógrafos; y zonas cultivadas, con vegetación nativa o en estado de descanso, llevando muestras de suelo al laboratorio.

Tabla 1. Metodologías para el estudio de los documentos utilizados en este estado del arte con trabajo directo de campo.

Tema	Lugar de investigación y título del artículo	Metodología	Conclusiones
Recurso hídrico, herramientas de gestión.	Cuenca del río Paute, Ecuador. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo.	Toma de datos: División en 4 microcuencas y medición de caudal en cada una, se obtuvieron datos por medio de pluviómetros.	La forestación con pino Patula reduce la producción de agua en un 50% o en un promedio de 242mm al año [23].
		Análisis de datos: Se comparan los datos de caudal de los pluviómetros para hallar el caudal de descarga.	
Recurso hídrico.	Cuenca río Paute, Ecuador. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian	Toma de datos: Se analizaron patrones en los datos de precipitación diaria, usando datos de 14 pluviómetros.	Se presentan precipitaciones constantes de bajo volumen, las más altas entre las 14h y 19h. Se necesita red de monitoreo más densa; la variabilidad estacional es débil en comparación con páramos de
Análisis de datos: Estudio de datos SIG de curvas de nivel, análisis de varianza,			

	Andes.	interpolación, polígonos de Thiessen y Kriging.	Colombia y Venezuela [24].
Recurso hídrico, suelo.	Páramos en el norte y sur de Ecuador. Effects of Land-Use Change on Water in Andean Páramo Grassland Soils.	Toma de datos: Midieron las propiedades suelo-agua para identificar cambios con el uso del suelo en el ciclo hidrológico. Análisis de datos: Separación del suelo en barrancas y descapote de la superficie para medir la humedad edáfica en las excavaciones; estudios de rastreo del movimiento suelo-agua; cálculo de densidad y tamaño de partículas.	Según los resultados encontrados solo la reforestación de páramos afecta significativamente la producción de agua [25].

Suelo, Agricultura	Páramo el Granizo, Colombia. Efecto de Actividades Agropecuarias en las Características del suelo en el páramo El Granizo (Cundinamarca - Colombia)	Toma de datos: División del área en 5 zonas dependiendo de la presencia de cultivos como patata, zonas de descanso y vegetación nativa. Se determinó: materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico, calcio; magnesio, sodio, aluminio y saturación de bases y penetración mediante penetrógrafo.	La ampliación de la frontera agrícola y agropecuaria en el páramo hace que el suelo se compacte en algunos casos y se erosione en otros; y que la retención de agua, su principal función, disminuya con las consecuencias negativas bien conocidas [19].
		Análisis de datos: Las muestras del suelo son llevadas al laboratorio, y se determinan las características de este. Se mide la resistencia a la penetración del suelo y se tabulan resultados.	

Recurso hídrico, herramientas de gestión.	Dos microcuencas ubicadas al noroeste de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas de paramo.	<p>Toma de datos: Mediante dos pluviógrafos, uno en cada cuenca, y vertederos triangulares de cresta delgada para medir el caudal cada uno con transductor de presión para medir el nivel aguas arriba.</p> <p>Análisis de datos: Se mide la respuesta hidrológica a la precipitación con los datos obtenidos mediante el concepto de reservorio lineal, basado en el análisis de las curvas de recesión de los hidrogramas de drenaje.</p>	El coeficiente de escorrentía con pajonal=0.5, con pino=0.22. El Caudal específico mínimo con pajonal es tres veces mayor a la cuenca con pinos. Los pinos provocan una disminución en el índice volumétrico de agua en los páramos.
---	--	---	--

2.5. Herramientas de gestión para minimizar el impacto de la agricultura sobre los suelos y recursos hídricos en los páramos.

En la actualidad, la importancia de los páramos andinos para los gobiernos en el plano socio-económico y ambiental está comenzando a tomar fuerza. Distintas técnicas de conservación y recuperación han venido surgiendo con el tiempo, y aunque no existen muchos estudios al respecto, hay información demostrando que sí se están llevando a cabo procedimientos para lidiar con la conservación de los páramos no explotados y con la recuperación de los ya abusados.

Algunas normativas jurídicas con respecto a la conservación de los páramos andinos aún no explotados han venido surgiendo con el pasar de los años en países como Colombia y Ecuador. De acuerdo con Greenpeace [5], en Colombia, algunas leyes que dictaminan el cuidado de los páramos y que se muestran en la tabla 2 son: la **Ley 99 de 1993**, la **Resolución 0769 de 2002**, la **Resolución 0839 de 2003**, el **Decreto 2372 de 2010** y la **Ley 1450 de 2011**.

También existen directrices para los pagos por servicios ecosistémicos. Definiendo servicio ecosistémico (SE) como el conjunto de beneficios obtenidos por el ser humano de las funciones de ecosistemas naturales y las especies que lo conforman. Un pago por servicios ecosistémicos (PSE) consiste en transferir un pago por parte de un beneficiario de los SE a quien provee este servicio [26].

Este servicio se encuentra establecido en el **Decreto 0953 de 2013**, por el cual se reglamenta el artículo **111 de la ley 99 de 1993**, modificado por el artículo **210 de la ley 1450 de 2011** que tiene como fin promover la conservación y recuperación de las áreas de importancia estratégica para la conservación de los recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas áreas y la financiación de los esquemas de pagos por servicios ambientales.

Tabla 2. Información legislativa acerca de los páramos.

<ul style="list-style-type: none">• Ley 99 de 1993: Establece los principios generales ambientales. Resalta en su artículo 1 que los páramos, los subpáramos, las nacientes de agua y zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial. En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.
<ul style="list-style-type: none">• Resolución 0769 de 2002: Dicta disposiciones para contribuir en la protección, conservación de los páramos, considerando, entre otros aspectos, que los páramos son ecosistemas de una especial riqueza biótica, con un alto grado de especies de flora y fauna endémicas de gran valor, constituyendo un factor determinante para el equilibrio ecosistémico.
<ul style="list-style-type: none">• Resolución 0839 de 2003: Establece los términos de referencia para el desarrollo de los Estudios sobre el Estado Actual de Páramos (EEAP) y del Plan de Manejo Ambiental (PMA) de los páramos. A pesar de lo dictado en las normas el proyecto nunca concluyó, por lo tanto no se cuentan con la totalidad de los EEAP, ni tampoco con los PMA. Esta normativa es luego sustituida por la Ley 1450 de 2011.
<ul style="list-style-type: none">• Decreto 2372 de 2010: Este decreto hace referencia al Sistema Nacional de Áreas Protegidas y dispone que los ecosistemas estratégicos como páramos, gozan de protección especial.
<ul style="list-style-type: none">• Ley 1450 de 2011: Establece el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014: establece la delimitación de páramos y humedales a escala 1:25.000. en base a criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales adoptados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Las Corporaciones Autónomas Regionales, las de Desarrollo Sostenible, los grandes centros urbanos y los establecimientos Públicos Ambientales realizarán el proceso de zonificación, ordenamiento y determinación del régimen de usos de estos ecosistemas, con fundamento en dicha

delimitación. Además, la norma establece que en los ecosistemas de páramos no se podrá adelantar actividades agropecuarias, ni de exploración o explotación de hidrocarburos y minerales, ni construcción de refinerías de hidrocarburos. Para tales efectos se considerará como referencia mínima la cartografía en Altas de Páramos de Colombia del Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, hasta tanto se cuente con cartografía a escala más detallada.

- **Decreto 0953 de 2013:** Por el cual se reglamenta el artículo 111 de la ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la ley 1450 de 2011 que tiene como fin promover la conservación y recuperación de las áreas de importancia estratégica para la conservación de los recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas áreas y la financiación de los esquemas de pagos por servicios ambientales.

Fuente: Constitución Política de Colombia 1991.

Además de la legislación, para la recuperación de páramos explotados están documentadas iniciativas como la reforestación con especies exóticas, como pinos y eucaliptos, y con bosque nativo [17]. Las actividades de reforestación evitan la erosión hídrica y eólica del suelo después de haber perdido su materia orgánica.

Un ejemplo de reforestación con especies exóticas (pinos) se presenta en los páramos de Cuenca, Ecuador. En los que se investigaron las diferencias entre los procesos hidrológicos de dos microcuencas durante el transcurso del año 2004 con diferente cobertura vegetal; pajonal y pino. La conclusión fue que la respuesta a un determinado evento de lluvia es similar en las dos microcuencas, los mismos procesos hidrológicos están presentes y la regulación del agua en el suelo no cambió. Sin embargo, el caudal específico mínimo de la cuenca con pajonal es aproximadamente tres veces más alto con respecto a la cuenca con pinos, debido

al mayor consumo de agua por evapotranspiración por parte de los árboles de pino [27].

La reforestación con bosque nativo también puede ser importante para proteger el suelo. Sin embargo, algunos autores plantean que la reforestación con especies nativas como estrategia para mantener los caudales en épocas de estiaje, es una idea errónea, y que por el contrario, esta estrategia puede producir; efectos desconocidos, probablemente reduciendo la producción hídrica [28], como ha ocurrido en otros países con ecosistemas similares al páramo. El pajonal es probablemente un protector de suelo igualmente bueno y de menos consumo de agua, sin embargo no existen evidencias contundentes [2].

3. CONCLUSIONES.

En esta revisión queda claro que a través del tiempo diferentes factores como, la búsqueda de beneficios socio-económicos a partir de la explotación del medio ambiente, el incremento de la importancia de los ecosistemas de equilibrio ecológico del mundo para la humanidad, la intromisión humana en los ecosistemas de páramo y el conocimiento científico acerca de los páramos están relacionándose cada vez más.

De acuerdo a la búsqueda de material realizada, se puede identificar que la mayoría de documentación encontrada acerca del tema es de origen reciente. Aunque existen investigaciones acerca del páramo andino de antes de este milenio, la información es muy poca, uno de los pocos ejemplos son los documentos de la fundación de la Reserva de Producción de Fauna en el Chimborazo en Ecuador, para el cuidado de los páramos en las provincias de Chimborazo, Bolívar y Tungurahua en el año de 1987.

El uso de fuentes hídricas con caudales constantes y sostenidos que abastecen grandes ciudades de la región andina en la edad moderna ha llevado a preguntarse cómo surge el indispensable recurso del agua. Actualmente está claro que los páramos abastecen muchas de estas ciudades y también que son ecosistemas frágiles de complejo funcionamiento y con diversos componentes, los cuales se han venido adecuando por el paso de muchos años a condiciones particulares, y gracias a ello poseen las cualidades que actualmente tienen. Las condiciones particulares, como el clima, la fauna y los suelos, mantienen el equilibrio en el hábitat, por lo tanto la alteración de estas tiene efectos secundarios para el funcionamiento de este.

Los páramos andinos han estado sometidos a perturbaciones de sus condiciones naturales desde el periodo pre-inca hasta la fecha, este estado del arte demuestra adentrándose con información de literatura actual que las prácticas que incluyen el ciclo de la agricultura interfieren de manera directa con el funcionamiento del páramo andino y afectan las componentes particulares que hacen funcionar al páramo andino como regulador hídrico.

Se hace imposible separar los suelos y el recurso hídrico en el funcionamiento del ciclo hidrológico del páramo andino, ya que tanto uno como el otro están interconectados. Los suelos tienen las condiciones necesarias para regular e infiltrar el agua, y poseen la materia orgánica necesaria para que las precipitaciones sean absorbidas por ellos. De esta manera regulan el recurso hídrico y abastecen ríos, acuíferos, y fuentes hídricas con un caudal de flujo base constante y sostenible a lo largo del año.

Al afectar las condiciones naturales de los suelos por medio de agricultura u otras actividades; el recurso hídrico se verá directamente afectado con efectos secundarios, y aunque no existen actualmente suficientes datos hidrológicos ni aparatos de monitoreo calculando los efectos exactos es evidente que dichos efectos no serán convenientes para el funcionamiento de los páramos.

Retirar la materia orgánica de suelos de páramo aumenta la escorrentía en ellos y disminuye su infiltración. Esto conlleva la pérdida del recurso hídrico, debido a que sin protección de vegetación es mucho más fácil su evaporación. Además el suelo desnudo está sometido a condiciones naturales extremas como precipitaciones, vientos y temperaturas muy bajas que facilitan la erosión rápida de ellos.

Una buena manera de combatir la erosión luego de someter los suelos de páramo a agricultura es la reforestación. Sin embargo, nunca se igualará la condición natural conseguida a lo largo de miles de años, las especies exóticas absorben

hasta 3 veces más agua de los suelos para subsistir. Por otro lado la reforestación especies nativas es un paso inexplorado, en la actualidad hay muy poca literatura o conocimiento científico que hable exactamente de los efectos de esta.

Aunque está creciendo la importancia para la sociedad de los ecosistemas como los de páramo. Todavía hay muchos pasos importantes por dar, en países como Colombia y Ecuador ya hay leyes que protegen la vida del páramo, pero siguen irrespetándose por la búsqueda de un beneficio económico mayor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MONROY, Mario. *Principales impactos antrópicos y sus efectos sobre la comunidad de peces del lago Titicaca*. Universidad de Barcelona, 2014.
- [2] BUYTAERT, W, IÑIGUEZ, V and DE BIÈVRE, B. *Hidrología del páramo Importancia, propiedades y vulnerabilidad*. Ecuador, 2008.
- [3] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Desarrollo sostenible en zonas montañosas. In : *26a Conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe* [online]. Mérida, México : 26a Conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2000. Available from: <http://www.fao.org/3/a-x4442s/index.html>
- [4] AVELLANEDA-TORRES, Lizeth Manuela, ROJAS, Esperanza Torres, ENRIQUE, Tomás and SICARD, León. Alternativas ante el conflicto entre autoridades ambientales y habitantes de áreas protegidas en páramos colombianos. *Mundo Agrario*. 2015. Vol. 16, no. 31, p. 1–27.
- [5] GREENPEACE. *Páramos en Peligro, El caso de la minería de Carbón en Pisba*. www.greenpeace.org/colombia, 2013.
- [6] RIVERA OSPINA, David and RODRÍGUEZ, Camilo. *Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2011.
- [7] PROCURADURÍA DELEGADA PARA ASUNTOS AMBIENTALES Y AGRARIOS. *Situación de los Páramos en Colombia Frente a la Actividad*

Antrópica y el Cambio Climático. Bogotá D.C., 2007.

- [8] VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura Parte 1. *Dyna* [online]. 2015. Vol. 82, no. 189, p. 9–12. Available from: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/48931> http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/48931/pdf_95
- [9] VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura Parte 4. *Dyna* [online]. 2015. Vol. 82, no. 189, p. 9–12. Available from: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/48931> http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/48931/pdf_95
- [10] RANDOLPH, Justus J. A Guide to Writing the Dissertation Literature Review. *Practical Assessment, Research & Evaluation*. 2009. Vol. 14, no. 13, p. 1–13.
- [11] VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura Parte 3. *Dyna* [online]. 2015. Vol. 82, no. 189, p. 9–12. Available from: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/48931> http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/48931/pdf_95
- [12] BUYTAERT, W, CÉLLERI, R, DE BIÈVRE, B and CISNEROS, F. *Hidrología del Páramo Andino: Propiedades, Importancia y Vulnerabilidad*. 2006.
- [13] BUYTAERT, Wouter, CÉLLERI, Rolando, DE BIÈVRE, Bert, CISNEROS, Felipe, WYSEURE, Guido, DECKERS, Jozef and HOFSTEDE, Robert. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science*

Reviews. 2006. Vol. 79, no. 1-2, p. 53–72.

- [14] IUSS WORKING GROUP WRB. *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. 2014.
- [15] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Soil Taxonomy - A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 1999.
- [16] INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIÓLOGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. *Revista páramos* [online]. Adriana Vá. 2011. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24179975>
- [17] LLAMBÍ, Luis Daniel, SOTO-W, Alejandra, CÉLLERI, Rolando, BIÈVRE, Bert De, OCHOA, Boris and BORJA, Pablo. *Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos*. 2012.
- [18] HARDEN, Carol P. Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*. 2006. Vol. 79, no. 3-4, p. 249–263.
- [19] ESTUPIÑÁN, Luis Hernando, GÓMEZ, Jaime Eduardo, BARRANTES, Víctor Javier and LIMAS, Luis Fernando. Efecto de Actividades Agropecuarias En Las Características Del Suelo En El Páramo El Granizo (Cundinamarca - Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*. 2009. Vol. 12, no. 2, p. 79–89.
- [20] MENA, Patricio, JOSSE, Carmen and MEDINA, Galo. *Los Suelos del Páramo*. 2000.

- [21] DE MIGUEL-FERNÁNDEZ, Constantino and VÁZQUES-TASET, Yaniel Misael. *Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas*. 2006.
- [22] BUYTAERT, Wouter, DECKERS, Jozef, DERCON, Gerd, DE BIÈVRE, Bert, POESEN, J and GOVERS, G. Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use and Management*. 2002. P. 94–100.
- [23] BUYTAERT, Wouter, IÑIGUEZ, Vicente and BIÈVRE, Bert De. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 251, no. 1-2, p. 22–30.
- [24] BUYTAERT, Wouter, CELLERI, Rolando, WILLEMS, Patrick, BIÈVRE, Bert De and WYSEURE, Guido. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*. 2006. Vol. 329, no. 3-4, p. 413–421.
- [25] HARDEN, Carol P., HARTSIG, James, FARLEY, Kathleen a., LEE, Jaehoon, BREMER, Leah L., CRESPO, Patricio, CÉLLERI, Rolando, BUYTAERT, Wouter, OCHOA, Boris, CÁRDENAS, Irene, IÑIGUEZ, Vicente, BORJA, Pablo, FEYEN, Jan and COOPER, Mendel. Effects of Land-Use Change on Water in Andean Páramo Grassland Soils. *Annals of the Association of American Geographers* [online]. 2013. Vol. 103, no. 4, p. 375–384. Available from:
<http://jamsb.austms.org.au/courses/CSC2408/semester3/resources/ldp/abs-guide.pdf>
<http://dx.doi.org/10.1080/00045608.2013.754655>
- [26] ROJAS, Jhohnny. El Pago Por Servicios Ambientales Como Alternativa Para El Uso Sostenible De Los Servicios Ecosistémicos De Los Páramos.

Ambiente y Sostenibilidad. 2011. Vol. 2011, no. 1, p. 57–65.

- [27] CÉLLERI, Rolando, DE BIÈVRE, Bert and IÑÍGUEZ, Vicente. Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas de páramo. Informe. *Universidad de Cuenca*. 2004. P. 23.
- [28] HOFSTEDE, Robert. Aspectos Técnicos Ambientales en la Forestación en los Páramos. In : *La Forestación en los Páramos*. GTP/Abya Y. Quito, Ecuador : Comité Holandés para la UICN, 2000. p. 43–58.

BIBLIOGRAFÍA

AVELLANEDA-TORRES, Lizeth Manuela, ROJAS, Esperanza Torres, ENRIQUE, Tomás and SICARD, León. Alternativas ante el conflicto entre autoridades ambientales y habitantes de áreas protegidas en páramos colombianos. *Mundo Agrario*. 2015. Vol. 16, no. 31, p. 1–27.

BUYTAERT, W, CÉLLERI, R, DE BIÈVRE, B and CISNEROS, F. *Hidrología del Páramo Andino: Propiedades, Importancia y Vulnerabilidad*. Universidad de Cuenca, Ecuador. 2006.

BUYTAERT, W, IÑIGUEZ, V and DE BIÈVRE, B. *Hidrología del páramo Importancia, propiedades y vulnerabilidad*. Universidad de Cuenca, Ecuador. 2008.

BUYTAERT, Wouter, CÉLLERI, Rolando, DE BIÈVRE, Bert, CISNEROS, Felipe, WYSEURE, Guido, DECKERS, Jozef and HOFSTEDÉ, Robert. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*. 2006. Vol. 79, no. 1-2, p. 53–72.

BUYTAERT, Wouter, CELLERI, Rolando, WILLEMS, Patrick, BIÈVRE, Bert De and WYSEURE, Guido. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*. 2006. Vol. 329, no. 3-4, p. 413–421.

BUYTAERT, Wouter, DECKERS, Jozef, DERCON, Gerd, DE BIÈVRE, Bert, POESEN, J and GOVERS, G. Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. *Soil Use and Management*. 2002. P. 94–100.

BUYTAERT, Wouter, IÑIGUEZ, Vicente and BIÈVRE, Bert De. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 251, no. 1-2, p. 22–30.

CÉLLERI, Rolando, DE BIÈVRE, Bert and IÑÍGUEZ, Vicente. Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas de páramo. Informe. *Universidad de Cuenca*. 2004. P. 23.

DE MIGUEL-FERNÁNDEZ, Constantino and VÁZQUES-TASET, Yaniel Misael. *Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas*. 2006.

ESTUPIÑÁN, Luis Hernando, GÓMEZ, Jaime Eduardo, BARRANTES, Víctor Javier and LIMAS, Luis Fernando. Efecto de Actividades Agropecuarias En Las Características Del Suelo En El Páramo El Granizo (Cundinamarca -Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*. 2009. Vol. 12, no. 2, p. 79–89.

GREENPEACE. *Páramos en Peligro, El caso de la minería de Carbón en Pisba*. www.greenpeace.org/colombia, 2013.

HARDEN, Carol P. Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*. 2006. Vol. 79, no. 3-4, p. 249–263.

HARDEN, Carol P., HARTSIG, James, FARLEY, Kathleen a., LEE, Jaehoon, BREMER, Leah L., CRESPO, Patricio, CÉLLERI, Rolando, BUYTAERT, Wouter, OCHOA, Boris, CÁRDENAS, Irene, IÑIGUEZ, Vicente, BORJA, Pablo, FEYEN, Jan and COOPER, Mendel. Effects of Land-Use Change on Water in Andean Páramo Grassland Soils. *Annals of the Association of American Geographers* [online]. 2013. Vol. 103, no. 4, p. 375–384. Available from:

<http://jamsb.austms.org.au/courses/CSC2408/semester3/resources/ldp/abs-guide.pdf>
<http://dx.doi.org/10.1080/00045608.2013.754655>

HOFSTEDE, Robert. Aspectos Técnicos Ambientales en la Forestación en los Páramos. In : *La Forestación en los Páramos*. GTP/Abya Y. Quito, Ecuador : Comité Holandés para la UICN, 2000. p. 43–58.

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIÓLOGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. *Revista páramos* [online]. Adriana Vá. 2011. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24179975>

IUSS WORKING GROUP WRB. *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. 2014.

LLAMBÍ, Luis Daniel, SOTO-W, Alejandra, CÉLLERI, Rolando, BIÈVRE, Bert De, OCHOA, Boris and BORJA, Pablo. *Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos*. 2012.

MENA, Patricio, JOSSE, Carmen and MEDINA, Galo. *Los Suelos del Páramo*. 2000.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Desarrollo sostenible en zonas montañosas. In : *26a Conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe* [online]. Mérida, México : 26a Conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2000. Available from: <http://www.fao.org/3/a-x4442s/index.html>

PROCURADURÍA DELEGADA PARA ASUNTOS AMBIENTALES Y AGRARIOS. *Situación de los Páramos en Colombia Frente a la Actividad Antrópica y el Cambio*

Climático. Bogotá D.C., 2007.

RANDOLPH, Justus J. A Guide to Writing the Dissertation Literature Review. *Practical Assessment, Research & Evaluation*. 2009. Vol. 14, no. 13, p. 1–13.

RIVERA OSPINA, David and RODRÍGUEZ, Camilo. *Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2011.

ROJAS, Jhohnny. El Pago Por Servicios Ambientales Como Alternativa Para El Uso Sostenible De Los Servicios Ecosistémicos De Los Páramos. *Ambiente y Sostenibilidad*. 2011. Vol. 2011, no. 1, p. 57–65.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Soil Taxonomy - A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 1999.

VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura Parte 1. *Dyna* [online]. 2015. Vol. 82, no. 189, p. 9–12. Available from:

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/48931>
http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/48931/pdf_95

VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura Parte 4. *Dyna* [online]. 2015. Vol. 82, no. 189, p. 9–12. Available from:

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/48931>
http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/48931/pdf_95

VELÁSQUEZ, Juan David. Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas

de Literatura Parte 3. *Dyna* [online]. 2015. Vol. 82, no. 189, p. 9–12. Available from:

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/48931>\nhttp://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/48931/pdf_95

ANEXOS

Anexo A. Características de los documentos seleccionados al final de la revisión.

N°	Autor (es)	Fecha de publicación	País	Enfoque	Tipo
1	Avellaneda-Torres, Rojas, Enrique y Sicard.	2015	Colombia	Estudios complementarios sobre páramos.	Artículo científico.
2	Buytaert, Céleri, De Bièvre y Cisneros.	2006	Ecuador	Recursos hídricos, suelos y herramientas de gestión	Sección de libro.
3	Buytaert, Iñiguez, De Bièvre.	2008	Ecuador	Recursos hídricos, suelos y herramientas de gestión.	Sección de libro.
4	Buytaert, Céleri, De Bièvre, Cisneros, Wyseure, Deckers, Hofstede	2006	Los Andes en general.	Recursos hídricos.	Artículo científico.
5	Buytaert, Céleri, Willems, De Bièvre, Wyseure.	2006	Los Andes en general.	Recursos hídricos.	Artículo científico.
6	Buytaert, Deckers, Dercon, De Bièvre,	2002	Ecuador.	Recursos hídricos y suelos.	Artículo científico.

	Poesen, Govers.				
7	Buytaert, Iñiguez, De Bièvre.	2007	Ecuador.	Recursos hídricos, suelos y agricultura.	Artículo científico.
8	Célleri, De Bièvre, Iñiguez.	2004	Ecuador	Recursos hídricos, suelos y agricultura.	Artículo científico.
9	De Miguel- Fernández, Vázquez-Taset	2006	Cuba.	Suelos.	Artículo científico.
10	Estupiñán, Gómez, Barrantes, Limas	2009	Colombia	Suelos y agricultura.	Artículo científico.
11	Organización Ecologista Internacional Greenpeace.	2013	Colombia	Estudios complementarios sobre páramos.	Libro.
12	Harden	2006	Los Andes en general.	Recursos hídricos, suelos y agricultura.	Artículo científico.
13	Harden, Hartsig, Farley, Lee, Bremer, Crespo, Célleri, Buytaert, Ochoa, Cárdenas, Iñiguez, Borja, Feyen, Cooper.	2013	Ecuador.	Recursos hídricos, suelos y agricultura.	Artículo científico.
14	Hofstede	2000	Ecuador.	Recursos	Artículo

				hídricos, suelos y agricultura.	científico.
15	Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt	2011	Colombia	Estudios complementarios sobre páramos.	Libro.
16	IUSS WorkingGroup WRB	2014	Estados Unidos	Suelos.	Libro.
17	Llambí, Soto-W, Céleri, De Bièvre, Ochoa, Borja	2012	Colombia	Recursos hídricos, suelos, agricultura y herramientas de gestión.	Libro.
18	Mena, Josse, Medina	2000	Ecuador	Suelos.	Sección de libro.
19	Monroy	2014	España.	Recursos hídricos.	Tesis.
20	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	2000	Organismo internacional.	Estudios complementarios sobre páramos.	Conferencia.
21	Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y	2007	Colombia	Estudios complementarios sobre páramos.	Informe.

	Agrarios				
22	Randolph	2009	Estados Unidos.	Estudios complementarios sobre revisiones.	Artículo de revista.
23	Rivera Ospina, Rodríguez	2011	Colombia	Estudios complementarios sobre páramos.	Libro.
24	Rojas, Jhohnny	2011	Colombia	Herramientas de gestión.	Artículo de revista.
25	United States Department of Agriculture	1999	Estados Unidos.	Suelos.	Libro.
26	Velásquez	2015	Colombia.	Estudios complementarios sobre revisiones.	Artículo científico.
27	Velásquez	2015	Colombia.	Estudios complementarios sobre revisiones.	Artículo científico.
28	Velásquez	2015	Colombia.	Estudios complementarios sobre revisiones.	Artículo científico.