



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i4.3662>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río Cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Delimitation and prioritization of water protection areas in the Cebadas River micro-basin, province of Chimborazo, Ecuador, using geographic information systems

Delimitação e priorização de áreas de proteção hídrica na microbacia do rio Cebadas, província de Chimborazo, Equador, utilizando sistemas de informação geográfica

David Francisco Lara-Vásconez ^I
francisco.lara@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-3982-3069>

Guicela Margoth Ati-Cutiupala ^{II}
guicela.ati@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9779-2758>

Martha Marisol Vasco-Lucio ^{III}
martha1995vasco@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1377-7305>

Diego Francisco Cushquicullma-Colcha ^{IV}
diego.cushquiculma@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6265-8164>

Correspondencia: francisco.lara@esPOCH.edu.ec

***Recibido:** 29 de agosto de 2023 ***Aceptado:** 20 de septiembre de 2023 * **Publicado:** 27 de octubre de 2023

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- III. Investigadora Independiente, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Resumen

Los páramos son ecosistemas valiosos por su biodiversidad, paisajismo, ecología y ambiente, así mismo, el principal servicio ecosistémico que brinda es el abastecimiento de agua dulce y por ende es prioritario su conservación; por lo que el presente trabajo presenta la aplicación de la metodología para la delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río Cebadas (CODIGO Pfastetter 499689) en la provincia de Chimborazo. Para la ejecución del proceso de delimitación se procedió a descargar insumos cartográficos de plataformas virtuales como: Geo portal Ecuador, MAATE, SIGTIERRAS, GEOARCA junto a la guía para la delimitación de áreas de protección hídrica de la SENAGUA a la par de procesos cartográficos ejecutados en el programa ArcGIS. Se delimitaron 204 áreas de protección hídrica las cuales presentaron extensiones que oscilan de 0.16 a 1666.05 hectáreas, respecto a los los tipos de erosión según la pendiente, en la microcuenca hay pendientes planas a suaves abarcaron una extensión de 22 310.81ha, (32.25%) interpretándose como un riesgo de erosión Muy bajo, mientras que la pendiente Muy acusada abarcó una extensión de 6 916.29 ha (10.00%) interpretándose como un riesgo de erosión Muy alto. Entre los niveles de riesgo potencial de degradación Medio a Muy alto se observó 37 648.54 ha (54.42%). El riesgo potencial de degradación del suelo del páramo entre los niveles de degradación (Medio a Muy alto) mostró una extensión de 26 880.5 ha (62.96%). En el mapa de evaluación de uso de tierras se identificaron 10 zonas con extensiones oscilantes de 451.7 ha a 17 745.64 ha. Finalmente, las 10 áreas de protección hídrica cubren una superficie de 9 851.44 hectáreas que representa el 14% de la microcuenca.

Palabras Claves: Senagua; Microcuenca; Erosión; Degradación; Páramo.

Abstract

The moors are valuable ecosystems for their biodiversity, landscaping, ecology and environment. Likewise, the main ecosystem service they provide is the supply of fresh water and therefore their conservation is a priority; Therefore, this work presents the application of the methodology for the delimitation and prioritization of water protection areas in the micro-basin of the Cebadas River (Pfastetter CODE 499689) in the province of Chimborazo. To carry out the delimitation process, cartographic inputs were downloaded from virtual platforms such as: Geo portal Ecuador, MAATE, SIGTIERRAS, GEOARCA along with the guide for the delimitation of water protection areas of the

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

SENAGUA along with cartographic processes executed in the ArcGIS program. 204 water protection areas were delimited, which presented extensions ranging from 0.16 to 1666.05 hectares, with respect to the types of erosion according to the slope, in the micro-basin there are flat to gentle slopes, they covered an extension of 22,310.81ha, (32.25%). interpreted as a Very low risk of erosion, while the Very steep slope covered an area of 6 916.29 ha (10.00%), interpreted as a Very high risk of erosion. Between the levels of potential risk of degradation Medium to Very high, 37,648.54 ha (54.42%) were observed. The potential risk of soil degradation of the páramo between the levels of degradation (Medium to Very high) showed an extension of 26,880.5 ha (62.96%). In the land use evaluation map, 10 zones were identified with extensions ranging from 451.7 ha to 17,745.64 ha. Finally, the 10 water protection areas cover an area of 9,851.44 hectares, which represents 14% of the micro-basin.

Keywords: Senagua; Microbasin; Erosion; Degradation; Paramo.

Resumo

As charnecas são ecossistemas valiosos pela sua biodiversidade, paisagismo, ecologia e ambiente. Da mesma forma, o principal serviço ecossistêmico que prestam é o abastecimento de água doce e, portanto, a sua conservação é uma prioridade; Portanto, este trabalho apresenta a aplicação da metodologia de delimitação e priorização de áreas de proteção hídrica na microbacia do rio Cebadas (Pfastetter CÓDIGO 499689) na província de Chimborazo. Para realizar o processo de delimitação, foram baixados insumos cartográficos de plataformas virtuais como: Geo portal Equador, MAATE, SIGTIERRAS, GEOARCA juntamente com o guia para a delimitação de áreas de proteção hídrica do SENAGUA juntamente com processos cartográficos executados no programa ArcGIS. Foram delimitadas 204 áreas de proteção hídrica, que apresentaram extensões variando de 0,16 a 1.666,05 hectares, no que diz respeito aos tipos de erosão de acordo com a declividade, na microbacia existem declives planos a suaves, abrangeram uma extensão de 22.310,81ha, (32,25%) interpretado como um risco de erosão muito baixo, enquanto o declive muito acentuado cobria uma área de 6 916,29 ha (10,00%), interpretado como um risco de erosão muito elevado. Entre os níveis de risco potencial de degradação Médio a Muito Alto foram observados 37.648,54 ha (54,42%). O risco potencial de degradação do solo do páramo entre os níveis de degradação (Médio a Muito Alto) apresentou uma extensão de 26.880,5 ha (62,96%). No mapa de avaliação do uso do solo foram identificadas 10 zonas

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

com extensões que variam de 451,7 ha a 17.745,64 ha. Por fim, as 10 áreas de proteção hídrica abrangem uma área de 9.851,44 hectares, o que representa 14% da microbacia.

Palavras-chave: Senágua; Microbacia; Erosão; Degradação; Páramo.

Introducción

El agua es un recurso único e insustituible que constituye la base fundamental para el desarrollo económico y social (Valle Melendo, 2017). El 70% de la superficie de la tierra está cubierta de agua, menos del 3 % de este recurso es agua dulce y apenas el 13 % es apta para el consumo humano (Cardona Aguilar, 2011). La falta de acceso al agua ha conllevado a problemas graves de salud, higiene y epidemias obstruyendo el desarrollo en todas las áreas de la sociedad (Orr et al., 2010).

Durante las últimas décadas el ser humano ha mantenido una desequilibrada relación con este recurso, favoreciendo a que los niveles de agua aprovechable disminuyan (Chuncho Morocho & Chuncho, 2019). Blanco de la Torre (2017) menciona que la escasez de agua podría generar conflictos a nivel local, regional e incluso internacional.

En función al párrafo anterior es importante destacar que los páramos del mundo son ecosistemas muy valiosos por su biodiversidad, paisajismo, ecología, ambiente (Hofstede et al., 2003) y socioeconómica al ser hábitats básicos para la regulación hídrica natural lo cual permite el abastamiento de agua a sus diferentes ciudades (Díaz-Granados Ortiz et al., 2005).

Vale mencionar que estos gozan a nivel global de especial protección a través de diferentes tratados (Bustamante & Espejar, 2019). Ofreciendo servicios ambientales básicos los cuales son sometidos a una fuerte influencia humana con un régimen de disturbios naturales como antrópicos (Aguilar Garavito et al., 2021); (Vargas Ríos, 2013).

Por otro lado, los páramos son de gran importancia hidrológica, lo cual es un factor que permite el desarrollo y conservación de estos a través del tiempo (Uvidia Zambrano, 2020). Chuncho Morocho & Chuncho (2019) menciona que en el Ecuador los páramos cubren el 7% de su territorio, con suelos que favorecen la retención de agua lo cual permite el desarrollo de plantas endémicas y la diversidad faunística.

Cabe mencionar que en vista de que estas áreas suelen ser extensas, para su monitoreos hídricos se implementan técnicas de teledetección a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Imbaquingo Castelo, 2021). Con los que se puede monitorear grandes extensiones de terreno en

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

periodos de tiempo determinados (Matovelle et al., 2019) y con la ayuda de criterios ambientales e investigativos se delimitan zonas en las que se establecerán mecanismos de defensa y conservación. Además con los SIG es posible monitorear grandes extensiones de terreno en periodos de tiempo determinados (Matovelle et al., 2019). Estableciendo y generando mapas temáticos que involucran variables antrópicas y naturales propias del sector como el tipo de suelo, pendiente, red de drenaje, entre otros, que en su conjunto sirven para un análisis integrador y asertivo frente a la problemática que se ha planteado (García González, 2014).

En base a lo dicho las áreas de protección hídrica son zonas geográficas que se han identificado como críticas para la conservación y protección de los recursos hídricos, incluyendo ríos, lagos, acuíferos y otros cuerpos de agua (CAF, 2014). Son importantes porque contribuyen a la disponibilidad y calidad del agua, lo que a su vez es fundamental para la supervivencia de los ecosistemas y actividades económicas humanas (Caribe, 1998).

Cabe indicar que el deterioro y contaminación de las zonas de recarga hídrica debido a la intervención del hombre ha causado una reducción en la disponibilidad del recurso hídrico, a través de actividades agrícolas, pecuarias, deforestación, mala planificación del territorio, y manejo inadecuado de tierras (Jaramillo Loayza & Merchán Rosero, 2018).

Por lo que la “Guía técnica para la delimitación de áreas de protección hídrica” facilita un por la (SENAGUA et al., 2018) proporciona un procedimiento estandarizado para la identificación y priorización de áreas de protección hídrica en el Ecuador.

La protección de las cuencas hidrográficas es una responsabilidad que involucra a todos sus habitantes (Hesperian Health Guides, 2011). Para ello es necesario conservar el páramo, implementar la agricultura de conservación, no usar agroquímicos y construir obras de control para evitar la erosión, permitiendo que el agua no se escurra y se quede en la tierra (Silva Garnica, 2004).

Con estos antecedentes esta investigación tiene como objetivo la delimitación y priorización de diez áreas de protección hídrica, salvaguardando y conservado los recursos hídricos como: ríos, lagos, acuíferos fomentando y defendiendo la conservación de estas áreas de protección hídrica también conocidas como áreas protegidas o zonas de conservación de agua, las cuales han sido degradadas debido a la sobreexplotación, contaminación, cambio climático y agentes naturales que ha azotado al ecosistema páramo en los últimos años.

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Metodología

Localización

El área de estudio está localizada en el callejón interandino al sur de la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, parroquia rural Cebadas en la zona central del Ecuador. La unidad hidrográfica tiene una superficie de 691,88 km², ubicada en las coordenadas (780159,4; 9769592,0) UTM WGS84.

Dentro de las formaciones ecológicas, la microcuenca del río Cebadas presenta: Matorral húmedo montano, Bosque siempre verde montano alto o Ceja de Montaña, Páramo herbáceo, Páramo de almohadilla (Sierra, 1999).

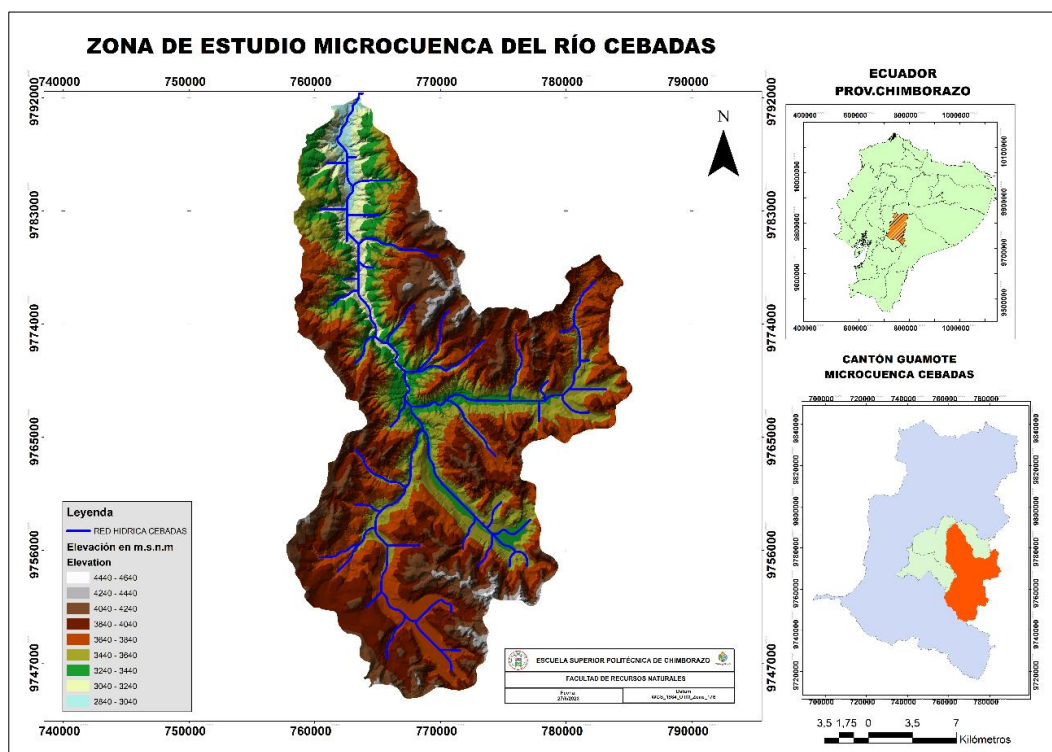


Fig. 1: Mapa de la microcuenca del río Cebadas

Métodos

La delimitación de las áreas de protección hídrica (APH) de la microcuenca del río Cebadas, se efectuó en dos pasos: a) obtención de una base de datos SIG (puntos de uso y aprovechamiento de agua, profundidad de suelo, uso de suelo, curvas de nivel cortadas previamente al área de estudio)

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

facilitados por los siguientes geoportales: Geoportal Ecuador (2013), MAATE (2023), SIGTIERRAS (2020), GEOARCA, (2013) y b) obtención de la guía técnica digital de la SENAGUA (2018) la cual nos permitió delimitar y evaluar los parámetros de las APH para posteriormente priorizarlas mediante el procesamiento en ArcGIS utilizando la proyección UTM, zona 17 SUR, Datum WGS84.

Delimitación áreas de protección hídrica (APH)

A través de las curvas de nivel se generó un TIN (red irregular de triángulos) con un ancho de celda de 10 metros, el cual facilitó la generación de un DEM (Modelo Digital de Elevación) con un ancho de celda de 15 metros, que fue depurado con la herramienta *Fill*, luego a través de la herramienta *Flow Direction* se generó el insumo flujo de dirección, necesario para determinar el flujo de acumulación de escorrentía de agua de la microcuenca.

Con el insumo flujo de acumulación y la herramienta *flow acumúlate* se logró identificar toda la red hídrica a través de la herramienta *Con*. Posterior a esto con la herramienta *Whartershed* y los shapes de puntos de uso y aprovechamiento de agua se delimitaron las Áreas de Protección Hídrica.

Priorización de las Áreas de Protección Hídrica

Para la priorización se realizaron los siguientes procedimientos:

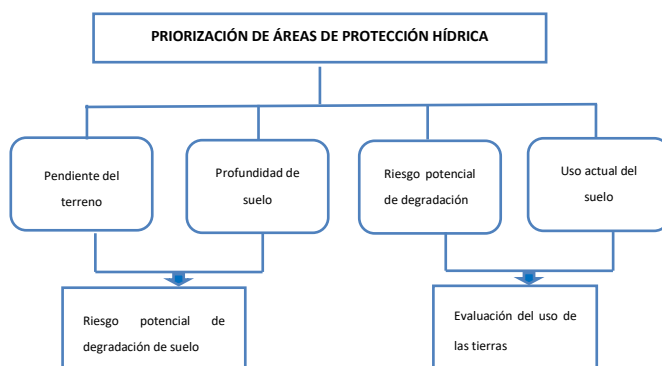


Fig. 2: Diagrama de flujo para la delimitación y priorización de áreas de protección hídrica

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Mapa de riesgo potencial de degradación de suelo

Para la generación de este mapa, se tomó la capa vectorial del mapa de riesgo de erosión según la pendiente y la capa del mapa de riesgo de pérdida de suelo según la profundidad, luego con la herramienta *Intersect* se unió las dos capas y por medio de un proceso geoestadístico basado en la Tabla III se obtuvo como resultado un nuevo atributo llamado mapa de riesgo potencial de degradación de suelo Fig 4.

Tabla III: Elaboración del mapa de riesgo potencial de degradación del suelo

	PENDIENTE	Sueve	Moderado	Fuerte	Muy fuerte	Acusada	Muy acusada
PROFUNDIDAD	Riesgo de Erosión / Riesgo de Pérdida de Suelo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio alto	Alto	Muy alto
Profundo	Bajo	MB	B	PB	M	A	MA
Medianamente Profundo	Medio	MB	B	PB	M	A	MA
Somero	Alto	MB	B	PB	PA	MA	MA
Muy somero	Muy alto	PA	PA	PA	PA	MA	MA

Fuente: Guía técnica para la delimitación de áreas de protección hídrica, (SENAGUA, 2018)

Tabla IV: Color y código del riesgo potencial de pérdida de suelo

RIESGO	CÓDIGO	COLOR
Muy bajo	MB	Verde
Bajo	B	Azul
Poco bajo	PC	Púrpura
Medio	M	Amarillo
Poco alto	PA	Marrón
Alto	A	Rosa
Muy alto	MA	Rojo

Fuente: Guía técnica para la delimitación de áreas de protección hídrica, (SENAGUA, 2018)

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Para la obtención de este mapa se utilizaron los siguientes capas vectoriales

Mapa de riesgo de erosión según la pendiente

Para la creación de la pendiente se partió del DEM el cual fue transformado por la herramienta *Slope* en una pendiente raster, obteniendo como resultado el riesgo de erosión según la pendiente con una clasificación establecida por defecto. Luego se procedió a asignar un nuevo valor a la pendiente con la herramienta *Reclassify* en base a la Tabla I. De esta manera se obtuvo el mapa de riesgo de erosión según la pendiente Fig 3.

Tabla I: Riesgo de erosión según la pendiente

PENDIENTE		TIPO	RIESGO DE EROSIÓN
GRADOS (°)	PORCENTAJE (%)		TIPO
< 7	<12	Plana suave	Muy bajo
7-15	20-27	Moderada	Bajo
15-20	27-36	Fuerte	Medio
20-25	36-47	Muy fuerte	Medio alto
25-30	47-58	Acusada	Alto
>30	58	Muy acusada	Muy alto

Fuente: Guía técnica para la delimitación de áreas de protección hídrica, (SENAGUA, 2018)

Mapa de riesgo de pérdida de suelo según la profundidad

Para la generación de este insumo se tomó de (SIGTIERRAS, 2020), la capa vectorial del mapa de profundidad efectiva de Ecuador, esta fue reclasificada con la herramienta *Reclassify* asignándole así un nuevo valor en función de la Tabla II. De esta manera se obtuvo el riesgo de pérdida de suelo según la profundidad.

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Tabla II: Riesgo de pérdida de suelo según la profundidad

PROFUNDIDAD	TIPO	RIESGO DE PERDIDA DE SUELO
< 20 cm	Muy someros	Muy alto
20-50 cm	Someros	Medio alto
50-90 cm	Moderadamente Profundos	Medio
> 90cm	Profundos	Bajo

Fuente: Guía técnica para la delimitación de áreas de protección hídrica, (SENAGUA, 2018)

Mapa de Evaluación del Uso de las Tierras para su Priorización

Para generar este nuevo insumo se trabajó con dos categorías (NIVEL I, NVEL II) vectoriales según la guía de la (SENAGUA et al., 2018). Posterior a esto se tomó la capa vectorial del mapa de riesgo potencial de degradación del suelo generado con anterioridad en el programa ArcGIS y la capa vectorial de mapa de uso de suelo (MAATE, 2023), luego con la herramienta *Intersec* fueron unidas, obteniendo por medio de un proceso geoestadístico basado en la Tabla V el mapa de evaluación del uso de las tierras para su priorización Fig 6.

Tabla V: Elaboración del mapa de evaluación del uso de tierras para su priorización

USO DE SUELO	NIVEL I	RIESGO POTENCIAL DE DEGRADACIÓN DEL SUELO						
		Muy bajo	Bajo	Poco Bajo	Medio	Poco Alto	Alto	Muy Alto
Bosque Nativo	BOSQUE	10	10	10	9	9	8	8
Plantación Forestal								
Vegetación Arbustiva	VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBÁCEA	7	7	7	6	6	5	5
Páramo								
Vegetación Herbácea								
Cultivo Anual		4	4	3	3	2	2	1

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Cultivo Semipermanente	TIERRA AGROPECUARIA	
Cultivo Permanente		
Pastizal		
Mosaico Agropecuario		

Fuente: Guía técnica para la delimitación de áreas de protección hídrica, (SENAGUA, 2018)

Resultados y discusión

Delimitación de Áreas de Protección hídrica

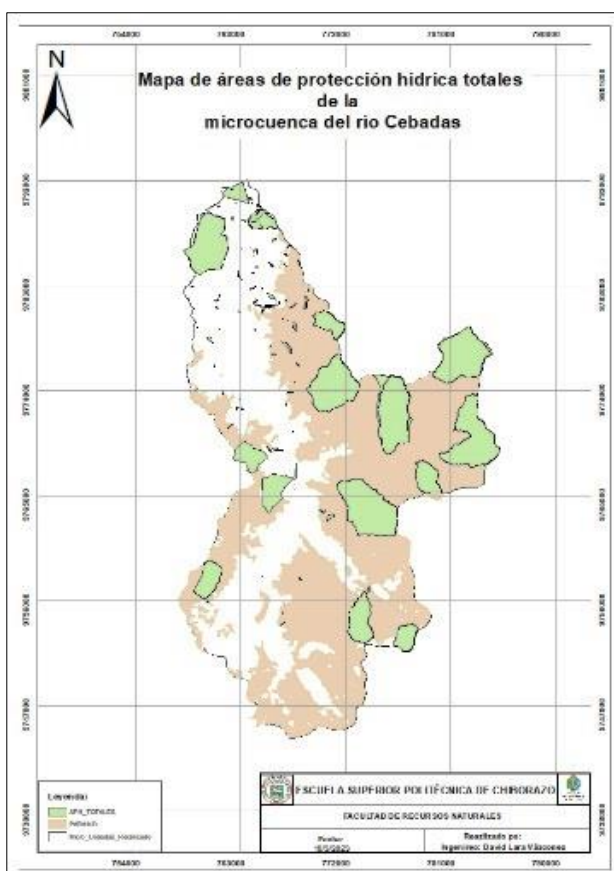


Fig. 3: Mapa de áreas de protección hídrica de Cebadas

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Luego del geo proceso se delimitaron 204 áreas de protección hídrica las cuales presentaron extensiones que oscilan de 0.16 a 1666.05 hectáreas, la mayoría localizada en los páramos del margen oriental de la microcuenca del río Cebadas.

Riesgo de erosión según la pendiente de la microcuenca

En la Tabla VI se detalla el riesgo de erosión según la pendiente de la microcuenca del río Cebadas la cual muestra seis tipologías de pendientes con 6 riesgos de erosión. Las pendiente Plana a Suave (22 311.10 ha) y Moderada (12 359.82 ha) cubren 34 670.63 ha (50.11% de la unidad hidrográfica); por otro lado la pendiente Muy acusada cubre 6 916.29 ha (10% de la unidad hidrográfica) estas se presentan como las áreas que exhiben mayor inclinación, por lo que la velocidad de las aguas de lluvia que se escurren sobre estas presentan una alta velocidad conllevando a la disminución de su capacidad de infiltración (Matus et al., 2008); (Kadam et al., 2020) y por ende aumentando la erosión de sus suelos, ya que según (Tayupanta, 1993) el agua es uno de los principales agente erosivos. Lo cual con llevado a una degradación erosiva del páramo.

Tabla VI: Riesgo de erosión según la pendiente de la microcuenca del rio Cebadas

TIPO	RIESGO DE EROSIÓN	Grados	%	Ha	%
Plana a suave	Muy bajo	<7	<12	22 310.81	32.25
Moderada	Bajo	7-15	12-27	12 359.82	17.86
Fuerte	Medio	15-20	27-36	10 744.87	15.53
Muy fuerte	Medio alto	20-25	36-47	11 244.84	16.25
Acusada	Alto	25-30	47-58	5 611.87	8.11
Muy acusada	Muy alto	>30	58	6 916.29	10.00
TOTAL				69 188.50	100%

Fuente: Guía técnica para la delimitación de áreas de protección hídrica, (SENAGUA, 2018)

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

En la figura 4 se puede observar el mapa de riesgo de erosión según la pendiente de la microcuenca, simbolizado por 6 colores los cuales muestran los niveles de riesgos de erosión.

En el estudio realizado por (Sánchez Chacaguasay, 2021) se expone que las amenazas por erosión hídrica en la parroquia Cebadas se debe a la presencia de pendientes fuertes que van desde el 25 % hasta el 70 % de inclinación, sumado a suelos con textura arenosa, arcillosa y franco arcillosa

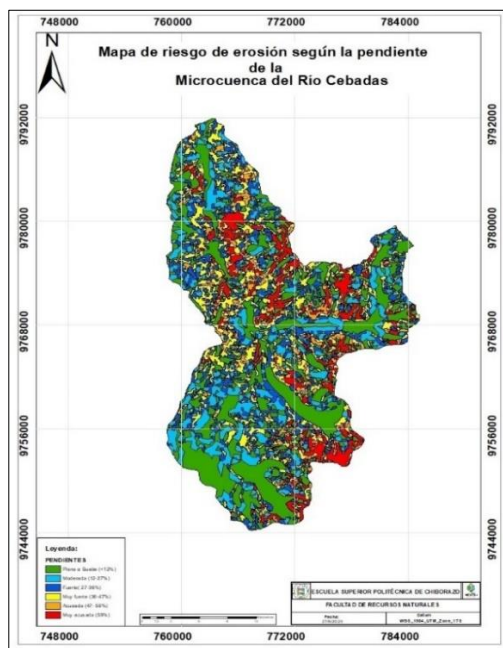


Fig.4: Mapa de riesgo de erosión según la pendiente

Riesgo potencial de degradación de suelo de la microcuenca

De acuerdo con los resultados puntualizados en la Tabla VII se exhibe el riesgo potencial de degradación del suelo de la microcuenca del río Cebadas el cual expone siete niveles de erosión. Este riesgo abarca 37 648.54 ha (54.42% de la unidad hidrográfica) entre los niveles de riesgo Medio a Muy alto; por otro lado, el nivel muy alto, cubre 9 919. 53 ha (14.34% de la unidad hidrográfica). De acuerdo a la (SENAGUA et al., 2018b) la pendiente está estrechamente relacionada con el riesgo potencial de degradación. (Calderón Castillo, 2019a) basándose en la descripción de las clases de capacidad agrícola de los suelos (Klingebiel & Montgomery, 1961) expone que los suelos de este sector presentan limitaciones que son inapropiadas para cualquier fin agropecuario o de explotación forestal; según (Matovelle et al., 2019) las zonas que se hallan en el nivel de degradación Muy bajo son los lugares estables e ideales para realizar actividades antrópicas.

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Tabla VII: Riesgo potencial de erosión del suelo de la microcuenca

Nivel de riesgo	Ha	%
Muy bajo	15 119.79	21.85
Bajo	9 185.39	13.28
Poco bajo	7 234.79	10.46
Medio	59 72.98	8.63
Poco alto	19 142.72	27.67
Alto	26 13.31	3.78
Muy alto	9 919.53	14.34
Total	69 188.53	100

En la figura 5 se observa el mapa de riesgo potencial de degradación del suelo de la microcuenca, simbolizado por 7 colores los cuales exponen los niveles de riesgo potencial Siendo las comunidades más degradadas según los resultados realizados en los SIG: Guargualla Grande, Cooperativa Yasipan, Reten Samborondon, Guargualla San Eduardo

Según el (GAD Cebadas, 2015) el avance de la frontera agrícola junto a la incorporación de tierras de páramo a actividades agropecuarias, quema indiscriminada de pajonales y condiciones climáticas fomentan la degradación de los suelos de la microcuenca lo cual influye de manera directa en la escasez de agua.

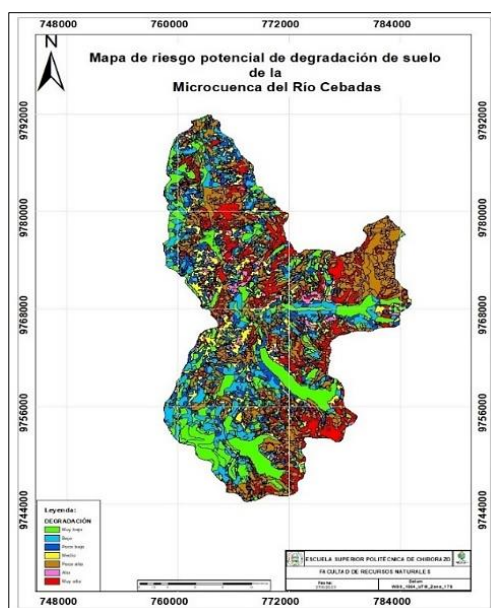


Fig. 5: Mapa de riesgo de potencial de degradación del suelo de la microcuenca

Riesgo potencial de degradación del suelo del páramo de la microcuenca

De acuerdo a los resultados detallados en la Tabla VIII se exhibe el riesgo potencial de degradación del suelo del páramo de la microcuenca del río Cebadas el cual presenta siete niveles de erosión los cuales abarcan 26 880.5 ha (62.96% del páramo de la unidad hidrográfica) entre los niveles de riesgo Medio a Muy alto; por otro lado el nivel alto cubre 7 786.59 ha (18.24 del páramo de la unidad hidrográfica). De acuerdo a (Matus et al., 2008), la labranza en los páramos, la ausencia de una cobertura protectora, las pendientes fuertes y otros aspectos negativos de las prácticas agrícolas han provocado la degradación del suelo de estos ecosistemas (Camacho, 2014) junto a las quemadas asociadas, a la agricultura y ganadería extensiva (Quichimbo et al., 2012). Siendo las comunidades más degradadas según los resultados realizados en los SIG: Guargualla Grande, Cooperativa Yasipan, Reten Samborondon, Guargualla San Eduardo.

Hofstede et al., (2002), manifiesta que los páramos del centro y parte del sur del país son más degradados que los ubicados en los extremos norte, sur y sobre los flancos orientales de la Cordillera Oriental.

Tabla VIII: Riesgo de erosión del suelo del páramo de la microcuenca

Nivel de riesgo	Ha	%
Muy bajo	7 336.20	17.18%
Bajo	4 469.76	10.47%
Poco bajo	4 011.63	9.40%
Medio	3 800.41	8.90%
Poco alto	13 433.07	31.46%
Alto	1 860.43	4.36%
Muy alto	7 786.59	18.24%
Total	42 698.09	100%

Según (Calderón Castillo, 2019), Cebadas es la parroquia con más extensión de páramo a nivel del cantón Guamote siendo 14 comunidades asentadas en este las cuales ejercen presión por medio de la agricultura y ganadería. (Mena Vásconez et al., 2000), manifiesta que la degradación del suelo de

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

los páramos ha sido provocada por la erosión natural, y según (Hofstede et al., 2002) por la intervención humana.

En la figura 6 se observa el mapa de riesgo potencial de degradación del páramo de la microcuenca simbolizado por siete colores los cuales exponen los niveles de riesgo potencial de degradación de suelo.

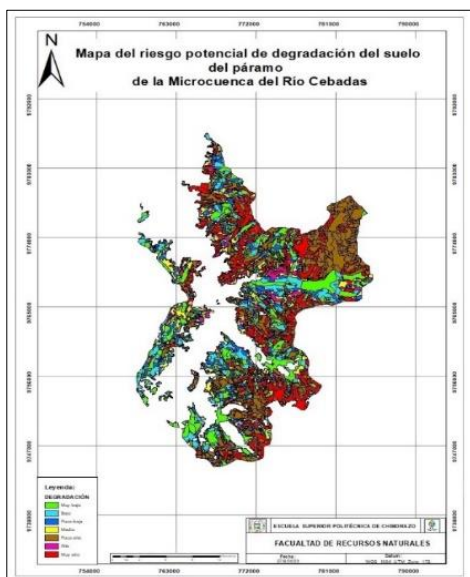


Fig.6: Mapa de riesgo de potencial de degradación del suelo del páramo de la microcuenca

Evaluación de uso de tierras para su priorización de la microcuenca

De acuerdo a los resultados expuestos en la Tabla V se presenta la evaluación de uso de tierras para su priorización de la microcuenca del río Cebadas la cual esta simbolizada por 11 colores que representan 11 zonas de priorización con extensiones, que oscilan desde los 416.46 ha (1% de la unidad hidrográfica) a 17 745.64 ha (26% de la unidad hidrográfica).

Las áreas Sin Cobertura Vegetal (zona de prioridad 0) presentan una extensión de 1 872.93 (3% de la unidad hidrográfica). Las áreas Tierra Agropecuaria (zonas de priorización 1,2,3,4) muestra una extensión de 21 769.43 ha (31% de la unidad hidrográfica) las cuales según (SENAGUA et al., 2018a) se hallan relacionadas de manera directa con la economía de la microcuenca. (Guambo Lema, 2016), asevera este resultado al exponer al exponer que la actividad económica de esta unidad hidrográfica se halla enmarcada en un 80 % en la agricultura.

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Siendo las comunidades más degradadas en el ecosistema páramo según los resultados realizados en los SIG: Guargualla Grande, Cooperativa Yasipan, Reten Samborondon, Guargualla San Eduardo

Las zonas de priorización Tierra agropecuaria (zonas 1,2,3,4) muestran una extensión de 21 769.43 ha (32% de la unidad hidrográfica). (SENAGUA et al., 2018) indica que estas áreas deberán mayor prioridad para la aplican de acciones de restauración.

Las zonas de priorización Vegetación Arbustiva y Herbácea, Bosque (zonas 5,6,7,8,9,10) muestran una extensión de 45 546.18 ha (66% de la unidad hidrográfica). (SENAGUA et al., 2018) indica que estas áreas tendrán menos prioridad para aplicación de acciones de restauración.

Tabla IX: Evaluación de uso de tierras para su para su priorización

USO DE SUELO	RIESGO POTENCIAL DE DEGRADACIÓN DEL SUELO				
	NIVEL I	NIVEL II	Zonas de Priorización	ha	%
Áreas Sin Cobertura Vegetal	Cuerpos de agua, otras tierras	0	1 872.93		3
Tierra Agropecuaria	Mosaico Agropecuario	1	1 107.19		2
	Pastizal	2	5 208.85		8
	Cultivo Permanente	3	4 815.14		7
	Cultivo Semipermanente	4	10		
	Cultivo anual		638.25		15
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Herbácea	5	10		15
	Páramo	6	052.87		
			745.64		26

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

	Vegetación Arbustiva	7	16	
			312.85	24
Bosque	Plantación forestal	8	566.66	1
		9	416.46	1
	Bosque Nativo	10	451.7	1
TOTAL			69 188.53	100%

En la figura 6 se observa el mapa de evaluación de uso de tierras para la priorización de la microcuenca del río Cebadas, el cual representado por 10 zonas de evaluación cada una simbolizada por 10 colores diferentes que representan las zonas asignadas a la microcuenca como: Tierra Agropecuaria, Vegetación Arbustiva y Herbácea y Bosques. Este mapa nos permite tener una comprensión visual rápida de la zona en estudio, facilitando la interpretación de este para una acertada toma de decisiones por parte de las autoridades y habitantes de estos sectores lo cual permite una acertada toma de decisiones en la delimitación y priorización de áreas protección hídrica.

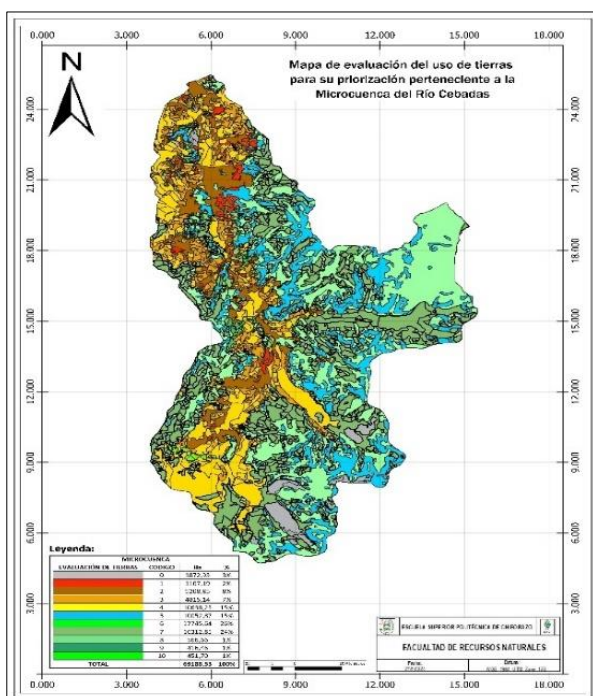


Fig.7: Mapa de evaluación del uso de tierras para su priorización

5. Priorización de 10 área de protección hídrica de la microcuenca

En la figura 8 se observa el mapa de priorización de 10 áreas de protección hídrica de la microcuenca del río Cebadas representadas de color azul. Ente proyecto se ha tomado en consideración al páramo para el establecimiento de 10 áreas de protección hidrica al ser considerado según la (SENAGUA et al., 2018a), un ecosistema frágil apto para la conservación. La gran mayoría de áreas priorizadas fue ubicada en la parte sureste del mismo atravesando la Cabecera Parroquial y las comunidades Pancun Ichubamba, Guargualla Grande, Guargualla San Eduardo, Reten Sanborondon, Cooperativa Yasipan

En las áreas priorizadas se mostró un riesgo de erosión según la pendiente en los niveles de riesgo potencial de degradación del suelo Medio, Medio alto, Alto, Muy alto los cuales oscilan de Poco alto a Muy alto. En lo que se refiere a la evaluación de uso de tierras para su priorización, estas áreas fueron identificadas en las zonas de prioridad 5,6,7,8,9,10 las cuales según la (SENAGUA et al., 2018) tienen menos prioridad para la aplicación de acciones de recuperación o restauración y se orientan más hacia la protección y conservación del estado de los territorios o el mantenimiento de la cobertura vegetal.

Basados en la Ley Orgánica de recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA) y a la SENAGUA. En la Tabla X podemos observar las extensiones de 10 potenciales áreas de protección hídrica establecidas en el páramo de la microcuenca del río Cebadas las cuales presentaron en su totalidad 9 851.44 ha las cuales oscilan de 337.17 ha (3%) a 1 666.05 ha (17%) las cuales representan el 14.23% de la unidad hidrográfica. Estas fueron priorizadas a partir de los puntos de uso y aprovechamiento de agua predefinidos por la autoridad competente (SENAGUA), riesgo de erosión según la pendiente, riesgo potencial de degradación del suelo, y la evaluación de uso de tierras para su priorización de acuerdo con las zonas 5,6,7,8,9,10.

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Tabla X: Evaluación y Priorización de 10 áreas de protección hídrica

AREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA	ha	%
1	354.32	4%
2	1 454.41	15%
3	1 323.25	13%
4	1 379.71	14%
5	1 567.49	16%
6	512.5	5%
7	1 666.05	17%
8	611.3	6%
9	645.24	7%
10	337.17	3%

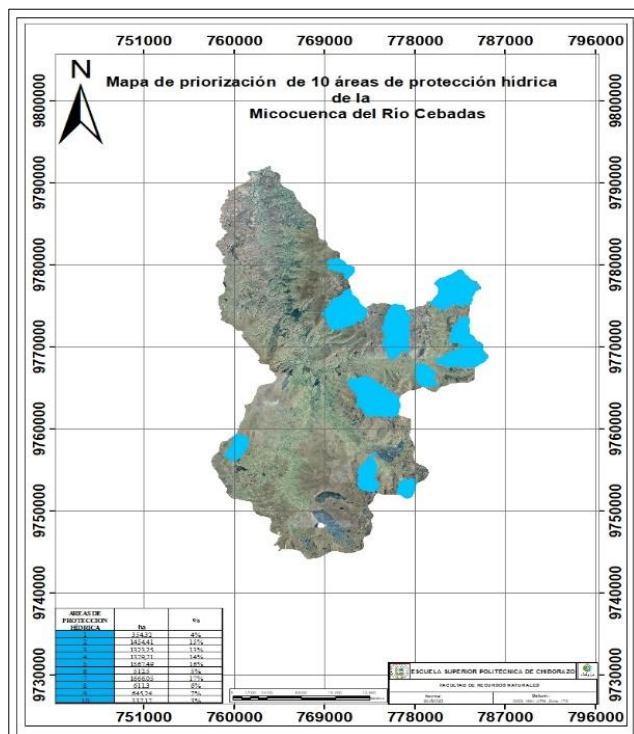


Fig. 8: Mapa de priorización de áreas de protección hídrica

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

Finalmente, la LORHUyA, (2014) manifiesta que la priorización de áreas de protección hídrica son indispensables para la protección, conservación y mantenimiento de las fuentes de agua que abastezcan el consumo humano y garanticen la soberanía alimentaria.

Conclusiones

Los resultados del estudio demostraron que los SIG son una herramienta versátil y muy útil para la delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río Cebadas al mostrar con precisión y confiabilidad una cartografía digital porcentual del riesgo de erosión según la pendiente en los Tipos: Plana a suave y Moderada del 50,11% y Muy acusada de 10%, riesgo potencial de degradación del suelo en los niveles Medio a Muy alto 54.42% y riesgo potencial de degradación del suelo del páramo en los niveles Medio a Muy alto del 62.96%.

Con la obtención de todo los insumos cartográficos y por medio de un análisis profesional según los criterios establecidos por la SENAGUA se evaluó los suelos del páramo de la microcuenca del río Cebadas los cuales se orientan a la protección y conservación de estos según la autoridad competente logrando priorizar 10 áreas de protección hídrica las cuales presentaron 9 851.44 ha de sus totalidad 14% de la unidad hidrográfica.

Referencias

- Aguilar Garavito, M., Avella Rodríguez, C., Cabrera, M., De Lima Niebles, V., Franco Morales, M. A., Hernández Palma, A. M., Herrera Varón, Y., León, O. A., Londoño, M. C., Pinzón Arias, M., Ramírez Hernández, W. A., Sánchez Clavijo, L. M., Rojas, S. L., & Vargas Ríos, O. (2021). Evaluación y seguimiento de la restauración ecológica en el páramo Andino. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35916>
- Blanco de la Torre, F. (2017). Los recursos hídricos en el mundo: Cuantificación y distribución. Cuadernos de estrategia, 186, 21-70.
- Bustamante, A. E. G., & Espear, Y. E. L. (2019). Análisis a la protección del Estado a los ecosistemas de páramo. Justicia, 24(35), Article 35. <https://doi.org/10.17081/just.24.35.3400>
- CAF. (2014). Guía para la gestión de recursos hídricos en cuencas de montaña bajo el efecto del cambio climático. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/544>

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

- Calderón Castillo, J. L. (2019a). La presión antrópica y sus consecuencias en el páramo del cantón Guamote provincia de Chimborazo [BachelorThesis, PUCE - Quito].
<http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/17617>
- Calderón Castillo, J. L. (2019b). La presión antrópica y sus consecuencias en el páramo del cantón Guamote provincia de Chimborazo [BachelorThesis, PUCE - Quito].
<http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/17617>
- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: Caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, 1(372), 77-92.
<https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>
- Cardona Aguilar, D. C. (2011). Caracterización del agua cruda del Río la Vieja como fuente superficial para el proceso de potabilización de EMCARTAGO S.A. E.S.P.
<https://hdl.handle.net/11059/2570>
- Caribe, C. E. para A. L. y el. (1998). Manejo integrado del recurso agua, con la perspectiva de los Principios de Dublín. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/12088-manejo-integrado-recurso-agua-la-perspectiva-principios-dublin>
- Chuncho Morocho, C., & Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), Article 2.
- Díaz-Granados Ortiz, M. A., Navarrete González, J. D., & Suárez López, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 22, 64-75.
- GAD Cebadas, C. (2015). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIA.
[file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/0660818930001_PDyOT%20Consolidado_final_29-10-2015_23-07-05%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/0660818930001_PDyOT%20Consolidado_final_29-10-2015_23-07-05%20(2).pdf)
- García González, N. (2014). Aplicación de herramientas SIG al estudio de la cuenca del Río Nalón.
<https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/28025>
- Gearca. (2013). <https://www.gearca.gob.ec/>
- Geoportal Ecuador. (2013). <https://www.geoportalmg.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- Guambo Lema, A. V. G. (2016). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
[file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/20T00722%20\(10\).pdf](file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/20T00722%20(10).pdf)

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

- Hesperian Health Guides. (2011). Protección de las cuencas hidrográficas -. https://es.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Cap%C3%A1tulo_9:_Protecci%C3%B3n_de_las_cuencas_hidrogr%C3%A1ficas
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena Vásconez, P. (2003). FlacsoAndes | Los páramos del mundo. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/101372-opac>
- Imbaquingo Castelo, J. I. (2021). Monitoreo de bofedales en la subcuenca del río Chambo mediante el análisis multicriterio usando imágenes satelitales Landsat 8 para el periodo 2013-2020. <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/16096>
- Jaramillo Loayza, M. L., & Merchán Rosero, T. L. (2018). Evaluación de las zonas de recarga hídrica en relación a las formaciones vegetales en la parroquia Anghochagua. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8654>
- Kadam, A. K., Umrikar, B. N., & Sankhua, R. N. (2020). Assessment of recharge potential zones for groundwater development and management using geospatial and MCDA technologies in semiarid region of Western India. *SN Applied Sciences*, 2(2), 312. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2079-7>
- Klingebiel, & Montgomery. (1961). CLASES DE CAPACIDAD DE USO DEL USDA. file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/clases_de_capacidad_de_uso_del_usda.pdf
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA). (2014). <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC165480/>
- MAATE. (2023). <http://ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/>
- Matovelle, C., Martínez, A., & Astudillo, L. (2019). Sistemas de Información Geográfica en la protección del recurso hídrico en la microcuenca del río Tabacay, Ecuador. *Killkana Técnica*, 3, 1-10. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i1.256
- Matus, O., Faustino, J., & Jiménez Otárola, F. (2008). Metodología para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. Validación en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6573>
- Mena Vásconez, P., Josse M., C., & Medina, G. (Eds.). (2000). Los suelos del Páramo. GTP, Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador. <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglcfindmkaj/https://es-static.zdn.net/files/d5c/a9751b4293c82c26ef428db85b953254.pdf>

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

- Orr, S., Cartwright, A., & Tickner, D. (2010). Guía sobre las consecuencias de la escasez de agua para el gobierno y las empresas. [file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/WWF_QueSonLosRiesgosHidricos%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/WWF_QueSonLosRiesgosHidricos%20(1).pdf)
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Céleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42, 138-156.
- Sánchez Chacaguasay, N. F. (2021). Diseño de medidas de conservación para las zonas de recarga hídrica potencial en los ecosistemas frágiles de la parroquia Cebadas, cantón Guamote, provincia de Chimborazo. <http://dspace.espe.edu.ec/handle/123456789/15871>
- SÁNCHEZ, J., DOMÍNGUEZ, R., LEÓN, M., SAMANIEGO, J., & SUNKEL, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/S1900378_es.pdf
- SENAGUA, Aguilar Andrade, A. E., & Yáñez González, L. E. (2018a). GUÍA TÉCNICA PARA LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA. <file:///C:/Users/Inspiron%20P66F/Downloads/GUIA-Area-de-proteccion-hidrica%20SENAGUA.pdf>
- SENAGUA, Aguilar Andrade, A. E., & Yáñez González, L. E. (2018b). GUÍA TÉCNICA PARA LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA. MAE. <https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/download/guia-tecnica-para-la-delimitacion-de-areas-de-proteccion-hidrica/>
- Sierra, R. (1999). Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. <https://doi.org/10.13140/2.1.4520.9287>
- SIGTIERRAS. (2020). GEOPORTAL | Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. <http://www.sigtierras.gob.ec/geoportal/>
- Silva Garnica, D. (2004). Guía ambiental para la conservación y protección de nuestras fuentes hídricas. <chrome-extension://efaidnbmninnkagpcjclpbfkmlngjhttp://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/33656/03883.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Delimitación y priorización de áreas de protección hídrica en la microcuenca del río cebadas, provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante sistemas de información geográfica

- Tayupanta, J. (1993). La erosión hídrica: Proceso, factores y formas. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/271>
- Uvidia Zambrano, K. Y. (2020). “Análisis de la dinámica espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (ndvi) y su relación con patrones climáticos globales en el páramo ecuatorial entre el año 2001 y 2018”. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21251>
- Valle Melendo, J. del. (2017). El agua, un recurso cada vez más estratégico. Cuadernos de estrategia, 186, 71-118.
- Vargas Ríos, O. (2013). Disturbios en los páramos andinos (pp. 39-57). https://www.researchgate.net/publication/260438569_Disturbios_en_los_paramos_andinos

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).