

# Mapeo de turberas: una herramienta de información para la conservación de los paisajes altoandinos en el norte del Perú

**SPDA**



CONSERVAMOS POR  
NATURALEZA

# Mapeo de turberas: una herramienta de información para la conservación de los paisajes altoandinos en el norte del Perú

**SPDA**



CONSERVAMOS POR  
NATURALEZA

**Edición:**

Sociedad Peruana de Derecho Ambiental

**Autores:**

Giulia F. Curatola Fernández<sup>1,2</sup>, Sandro Makowski Giannoni<sup>3,4</sup>, Ellen Delgado Florián<sup>5</sup>, Piero Rengifo<sup>2</sup>, Jesús Rascón<sup>6</sup>, Elder Chichipe Vela<sup>6</sup>, Carolina Butrich<sup>2</sup>, Rolando Salas López<sup>6</sup>, Manuel Oliva-Cruz<sup>6</sup> y Christel Scheske<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Landsysteme und Nachhaltige Ressourcennutzung (LNR), Geographisches Institut, Universität Bern, Bern, Switzerland; <sup>2</sup>Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), Lima, Perú; <sup>3</sup>Centre de Compétences en Durabilité, Université de Lausanne (UNIL), Lausanne, Switzerland; <sup>4</sup>Especialidad de Geografía y Medio Ambiente, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Lima, Perú; <sup>5</sup>Centro de Investigación Geoespacial, Departamento de Geografía, Universidad de Georgia, Athens, GA, USA; <sup>6</sup>Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú

**Corrección de estilo:**

Cristian Díaz, Christel Scheske  
Giulia Curatola, Sandro Makowski

**Foto de portada:**

Walter H. Wust

**Elaboración de mapas:**

Piero Rengifo, Juan Ignacio Sarmiento

**Traducción:**

Elsa Ugarte

**Cita sugerida:**

Curatola Fernández GF et al. (2023) Mapping high-altitude peatlands to inform a landscape conservation strategy in the Andes of northern Peru. *Environmental Conservation* page 1 of 8. doi: [10.1017/S0376892923000267](https://doi.org/10.1017/S0376892923000267)

*Se prohíbe la venta total o parcial de esta publicación, sin embargo, puede hacer uso de ella siempre y cuando cite correctamente a los autores.*

**Sociedad Peruana de Derecho Ambiental**

Presidente: Jorge Caillaux  
Directora ejecutiva: Isabel Calle  
Director de Conservamos por Naturaleza: Bruno Monteferrri  
Av. Prolongación Arenales 437, San Isidro, Lima, Perú  
Teléfono: (+51) 612-4700  
[www.spda.org.pe](http://www.spda.org.pe)

Libro electrónico de acceso abierto en:

[www.spda.org.pe/publicaciones](http://www.spda.org.pe/publicaciones)

**Conservamos por Naturaleza** es una iniciativa de la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA) que tiene como fin principal promover, facilitar y empoderar el involucramiento de la ciudadanía en acciones estratégicas para la conservación de la naturaleza.

## Resumen

Los humedales de la ecorregión de jalca, en los Andes del norte de Perú, forman turba y desempeñan un papel fundamental en los servicios ecosistémicos hidrológicos de la ecorregión. Aunque la turba es mundialmente valorada por el secuestro y almacenamiento de carbono, aún no se han mapeado las turberas en la jalca. En esta región, la catarata de Gocta, una de las 20 más altas del mundo, depende del ecosistema de humedales de la jalca. La población local depende del turismo que visita la catarata y está preocupada por preservar su área de drenaje.

Para plantear estrategias de conservación, en este estudio delimitamos el área de drenaje de la catarata de Gocta e identificamos la tenencia de la tierra mediante técnicas de Sistema de Información Geográfica (SIG), teledetección y mapeo participativo. Luego, basándonos en la clasificación de datos ópticos, de radar y de modelos digitales de elevación, mapeamos las turberas de la jalca en el área de drenaje de Gocta con una precisión general del 97.1%.

Nuestros resultados plantearán la estrategia de conservación en esta zona de complejos sistemas de tenencia de la tierra comunales, privados e informales. A escala regional, este es el primer intento de mapear turberas mediante imágenes de teledetección en la ecorregión de jalca, y representa un hito para futuros esfuerzos de mapeo y conservación de turberas en otras zonas montañosas tropicales del mundo.

# Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>3</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>8</b>
Área de estudio .....	8
Teledetección y datos especiales .....	11
Datos de campo .....	12
Delimitación del área de drenaje de la catarata y detección de turberas..	13
<b>Resultados .....</b>	<b>15</b>
Discusión .....	16
Reconocimientos.....	19
Contribuciones de autores.....	20
Apoyo económico.....	20
Conflicto de interés .....	20
Norma ética .....	20
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>21</b>

## Introducción

La jalca es un ecosistema de transición de los Andes del norte del Perú entre el páramo de los Andes del norte y la puna de los Andes centrales y del sur (Sánchez-Vega & Dillon 2006, Britto 2017). Aquí, los Andes se ven interrumpidos por la Depresión de Huancabamba, una zona de menor altitud. Los paisajes de jalca se encuentran a altitudes de 3100-4200 m (Sánchez-Vega & Dillon 2006, Britto 2017) y se extienden por cinco de los departamentos políticos del norte de Perú: Amazonas, Lambayeque, Piura, Cajamarca y San Martín, cubriendo c. 1 340 320.57 ha (MINAM 2019). A pesar de formar parte del Hotspot de Biodiversidad de los Andes Tropicales (Myers et al. 2000), las jalcas siguen estando muy poco estudiadas en comparación con sus contrapartes, los páramos y las punas (Sánchez-Vega & Dillon 2006, Ochoa-Tocachi et al. 2016, Britto 2017, Mosquera et al. 2022).

Los paisajes de jalca son áreas herbáceas dominadas por pajonales, intercalados con arbustos y humedales (Sánchez-Vega & Dillon 2006, Cooper et al. 2010). La diversidad vegetal se considera igual o superior a la del páramo y superior a la de la puna más al sur (Sánchez-Vega & Dillon 2006). Los pajonales de jalca y páramo poseen la flora tropical de montaña más rica del mundo (Bremer et al. 2019). A falta de glaciares en esta zona, estos paisajes montañosos se consideran las fuentes de agua más importantes del norte de Perú (Buytaert et al. 2006, Mosquera et al. 2015). Sin embargo, las funciones hidrológicas de la jalca siguen estando poco estudiadas (Mosquera et al. 2015).

Desde su descubrimiento internacional en 2006 (BBC Mundo 2006), la catarata de Gocta, de 771 metros de altura y dos caídas, ha contribuido a transformar el remoto departamento de Amazonas en el norte de Perú, en uno de los destinos turísticos más importantes del país. En 2019, antes de la pandemia de COVID-19, la catarata de Gocta atrajo a más de 59 000 turistas (MINCETUR/VMT/DGIETA – DIAITA 2020). Los miembros de las comunidades cercanas de San Pablo de Valera y Cocachimba consideran que los humedales del paisaje de la jalca desempeñan un papel importante para garantizar el flujo de agua a la catarata durante todo el año.

En los ecosistemas de páramo de Ecuador, las cuencas con una mayor cobertura de humedales tienen un mayor rendimiento hídrico, y los histosoles (suelos de turba) son los responsables de mantener los caudales a lo largo del año (Mosquera et al. 2015, 2016). Comúnmente denominados bofedales en los Andes, estos incluyen una serie de tipos de humedales como turberas y praderas húmedas (Sánchez-Vega & Dillon 2006, Cooper et al. 2010, Maldonado Fonkén

2014, Chimner et al. 2019) que se encuentran entre los 3000 y 5500 m de altitud (INAIGEM 2023).

Chimner et al. (2023) compararon las reservas de carbono en humedales de los Andes centrales peruanos, diferenciando entre las turberas y praderas húmedas. Descubrieron que las turberas almacenan mucho más carbono (media de 1092 MgC ha<sup>-1</sup>) que las praderas húmedas (media de 30 MgC ha<sup>-1</sup>), concluyendo que los esfuerzos para calcular las reservas de carbono en los humedales de los Andes deberían centrarse en las turberas y no en otros tipos de humedales. En la selva baja de la Amazonía peruana, las turberas almacenan cerca de 5.4 PgC, casi tanto como todo el carbono almacenado en la superficie de Perú, a pesar de que solo cubren el 5% de la superficie del país (Hastie et al. 2022). Aunque la turba solo cubre el 3% de la superficie mundial, almacena cerca de un tercio del carbono del suelo. (Harenda et al. 2018).

Los efectos antropogénicos sobre los ecosistemas de jalca son complejos; gran parte de la información al respecto procede de investigaciones sobre páramos y punas. López Gonzales et al. (2020) enumeran el sobrepastoreo, el drenaje y la extracción de turba como las principales amenazas para la degradación de las turberas en los Andes peruanos. Los páramos andinos han sido objeto del uso históricamente generalizado de quemas para fomentar el crecimiento de nuevos pastos para la ganadería (Buytaert et al. 2006, Borrelli et al. 2015, White-Nockleby et al. 2021). La interacción entre la quema deliberada de jalca y el cambio climático es crítica: aunque los servicios hidrológicos del ecosistema de los humedales de jalca no se ven muy amenazados por las quemas poco frecuentes debido a su alto contenido en agua, el cambio climático podría provocar su secado gradual, aumentando así los daños potenciales de las quemas y amenazando los servicios del ecosistema de los humedales (Buytaert et al. 2011).

Los efectos del pastoreo de ganado en los servicios hidrológicos del ecosistema de la jalca aún no se conocen en su totalidad. El principal tipo de ganado doméstico en la ecorregión de jalca es el vacuno (INEI 2012). Ochoa-Tocachi et al. (2016) demostraron que el sobrepastoreo en la jalca tiene un impacto inquietante sobre la capacidad de regulación hidrológica de una cuenca, mientras que el pastoreo de baja intensidad parece tener poco impacto.

Los humedales andinos en general, incluidas las turberas, solo se han estudiado y mapeado recientemente (Otto et al. 2011, Ochoa-Tocachi et al. 2016, Otto & Gibbons 2017, Chimner et al. 2019, 2023, Ross et al. 2023), y están evidentemente ausentes de las bases de datos mundiales sobre humedales y turberas, como PEATMAP y PEAT-ML (Xu et al. 2018, Melton et al. 2022), la

CIFOR Global Wetlands Database (Chimner et al. 2019) o el mapa mundial de turberas de Leifeld y Menichetti (2018). Solo el Mapa Mundial de Turberas 2.0 (Global Peatlands Initiative 2022) incluyó algunas zonas de turberas en los Andes, pero ninguna en la ecorregión de la jalca. La topografía compleja, la lejanía, los altos niveles de nubosidad y la distribución irregular de las turberas andinas constituyen desafíos para su detección (Curatola Fernández et al. 2015, Chimner et al. 2019).

Las actuales estrategias de conservación en torno a Gocta pretenden proteger el caudal de agua de Gocta para preservar este monumento natural y garantizar ingresos alternativos a las comunidades cercanas, que podrían financiar los esfuerzos locales de conservación y así proteger sitios de biodiversidad prioritarios, como la jalca y los bosques nublados montanos. Sin embargo, es necesario conocer el sistema socioecológico corriente-arriba de la catarata para fundamentar la planificación de la conservación. El presente estudio pretendía: (1) identificar el área de drenaje que sustenta el caudal de la catarata; y (2) identificar la tenencia de la tierra y las turberas dentro del área de drenaje dominada por la jalca. A nivel regional/mundial, este estudio contribuye a mapear y conservar las turberas de la jalca andina de otras zonas montañosas tropicales del mundo.



## Metodología

### Área de estudio

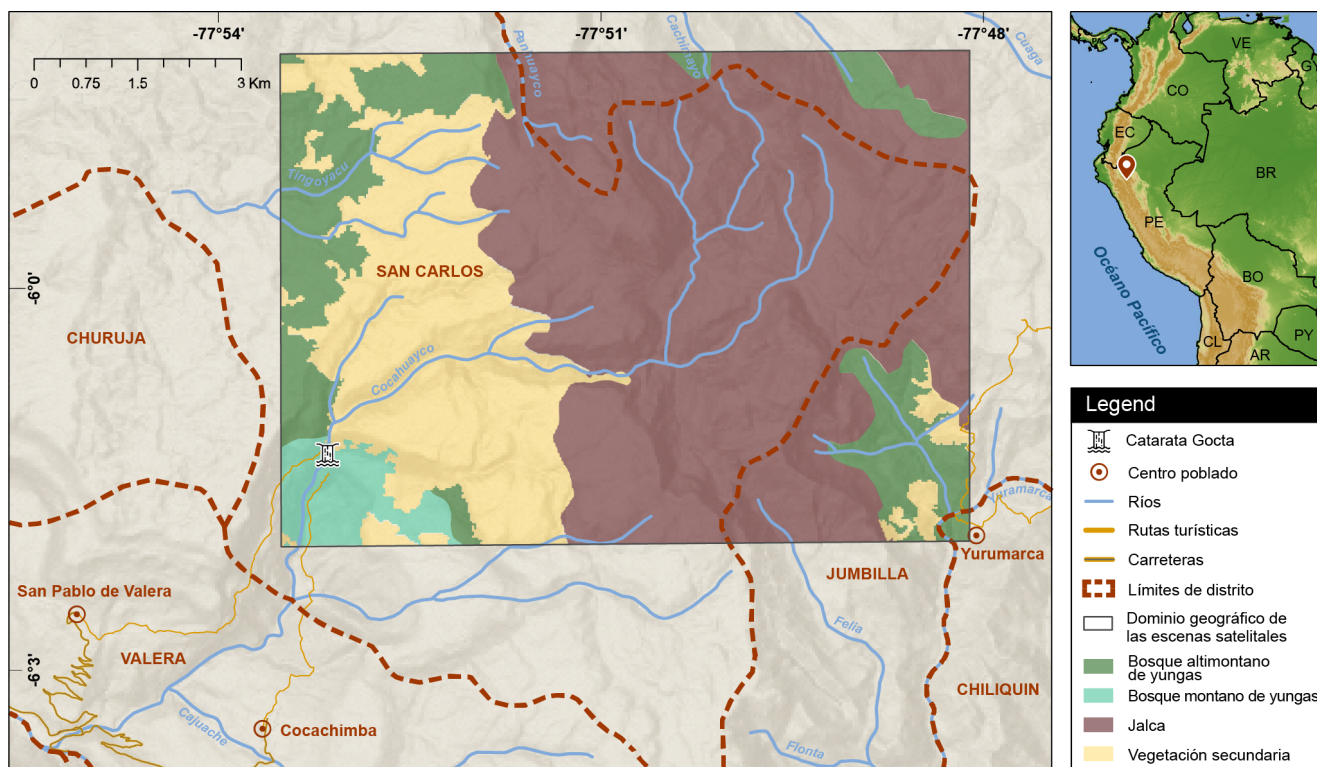
La catarata de Gocta se encuentra en las vertientes orientales de los Andes norperuanos (Fig. 1) a 2500 m sobre el nivel del mar (cima de la catarata) en el departamento de Amazonas. Está formada por el río Cocahuayco, afluente del río Uctubamba. La geología está representada por el grupo Pucará (formaciones Goyllarisquizga y Chonta), con una geomorfología de altas montañas calcáreas mesozoicas (Oliva et al. 2017). El clima es semihúmedo y templado cálido (Yalta Meza et al. 2014). Hay dos estaciones principales: la estación húmeda (aproximadamente noviembre-abril, con mayores precipitaciones de enero a marzo) y la estación seca (aproximadamente mayo-octubre, con menores precipitaciones de junio a agosto; Rascón et al. 2021, Leiva-Tafur et al. 2022).

La catarata y su cuenca están dominadas por dos ecosistemas: bosques nublados montanos y jalca de altura por encima de la catarata (>2800 m de altitud; Fig. 2).

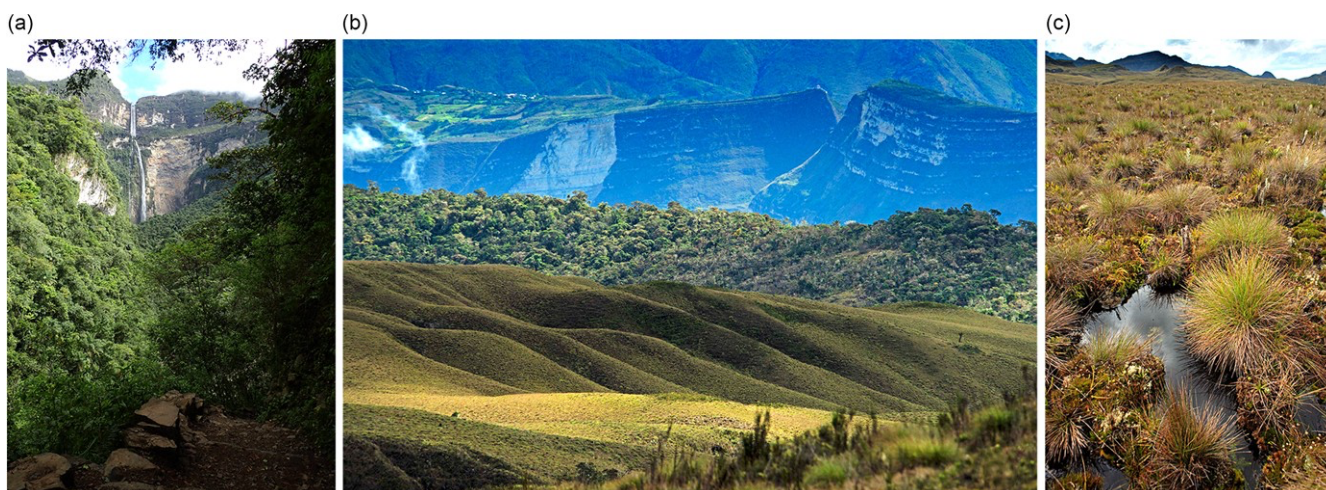
El paisaje de jalca que domina la meseta por encima de la catarata se caracteriza por especies de gramíneas en racimo, incluyendo los géneros *Calamagrostis*, *Poa*, *Festuca*, plantas en roseta de *Puya*, especies leñosas de *Senecio* y *Asteraceae* (Cooper et al. 2010). Entre los grandes mamíferos destacan el oso de anteojos *Tremarctos ornatus* y el ciervo de cola blanca *Odocoileus virginianus* (Gobierno Regional de Amazonas 2013, Meza Mori et al. 2020).

Existen varios tipos de bosques montanos a 1800-2900 m de altitud, los cuales albergan la mayor diversidad de fauna de la zona (Gobierno Regional de Amazonas 2013, Cervera 2020), como el mono choro de cola amarilla *Lagothrix flavicauda* (Shanee et al. 2019) y el colibrí de cola espátula en peligro de extinción *Loddigesia mirabilis* (Gobierno Regional de Amazonas 2013, BirdLife International 2016). Se encuentran presentes 36 especies endémicas, entre ellas 12 anfibios, 6 reptiles, 12 aves y 6 mamíferos. (Torres Guzmán et al. 2022). Entre 1800 y 2200 m, también hay abundantes bosques secundarios y matorrales. (Oliva et al. 2017), intercalados con plantaciones de pinos, zonas urbanas y matorrales (sucesión de la vegetación tras el abandono de las tierras agrícolas). Los bosques más intactos son los cercanos a la catarata, pero la deforestación está aumentando debido a la precaria regulación del desarrollo urbano y la agricultura.

La catarata se puede acceder desde Cocachimba y San Pablo de Valera (Fig. 1). Desde 2006, Cocachimba en particular ha dependido en gran medida del turismo en comparación con las fuentes tradicionales de ingresos procedentes de la agricultura y la ganadería, y esto ha conducido a un rápido desarrollo urbano, en el que la población local ha vendido terrenos para generar ingresos y así financiar el desarrollo de negocios relacionados con el turismo.



**Figura 1.** Zona de estudio en el norte de los Andes peruanos. El mapa representa el dominio geográfico de las imágenes satelitales utilizadas para la clasificación de las turberas. Dentro de esta área se representan las clases de vegetación del Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM 2019). En el Perú, yunga es el nombre que recibe la vertiente oriental de los Andes entre 600 y 3200 m de altitud. La clase "vegetación secundaria" designa las zonas deforestadas que son pastizales o barbechos.



**Figura 2.** Imágenes de la zona de estudio. (a) Catarata de Gocta rodeada de bosques nublados montanos (foto: GF Curatola Fernández). (b) Paisaje del área de drenaje de la catarata de Gocta compuesto por vegetación de jalca y bosques nublados montanos (foto: Walter H. Wust). (c) Turberas en el área de drenaje de la catarata de Gocta (foto: Walter H. Wust).

En San Pablo de Valera, el terreno alrededor de la catarata, incluida parte del área de drenaje de la catarata, es propiedad comunal de la comunidad campesina, responsable de tomar decisiones colectivas sobre el uso de la tierra. Se han vendido muy pocos terrenos a constructoras privadas, lo que ha frenado el crecimiento del turismo y permitió que la comunidad creara el Área de Conservación Privada (ACP) Comunal San Pablo – Catarata Gocta de 2 603.57 hectáreas en 2019.

Las principales perturbaciones humanas en el área de drenaje de Gocta son la tala de bosques en las zonas de bosque nublado montano para crear pastos para caballos o tierras agrícolas y, en el paisaje de jalca más alto, la quema de pajonales para fomentar un nuevo crecimiento para el pastoreo de ganado. Se han realizado algunas actividades de reforestación con pinos no autóctonos en la zona montañosa. Estas amenazas también se han identificado en estudios más amplios de los pastizales andinos (Buytaert et al. 2006, Ochoa-Tocachi et al. 2016).

**Tabla 1.** Características de las imágenes satelitales utilizadas en este estudio.

Sensor	Resolución	Bandas espectrales	Nivel de corrección	Fecha
Landsat 8	30 m	Azul, verde, rojo, NIR, SWIR-1, SWIR-2, TIR-1, TIR-2	T1	5 de diciembre 2018
Sentinel 1B	20m x 22m	C-band SAR	L1 GRD IW	26 de diciembre 2018
PeruSat-1	0.7 m	Banda Panchromatic	-	14 de noviembre 2016
ALOS PALSAR	2.8 m	Azul, verde, rojo, IR	-	-
ASTER v2	12.5 m	Producto MDE	-	-
	30 m	Producto MDE	-	-

MDE= modelo digital de elevación; L1 GRD IW = nivel 1 de alcance terrestre detectado interferométrico de barrido ancho; IR = infrarrojo; NIR = infrarrojo cercano; SAR = radar de apertura sintética; SWIR = infrarrojo de onda corta; T1 = nivel uno; TIR = infrarrojo térmico.

## Teledetección y datos especiales

Utilizamos subconjuntos de datos satelitales que abarcaban un área de 7132.86 ha, comprendidas entre c. 6.0° y 5.9°S y entre 77.9° y 77.8°O (Fig. 1). Se adquirieron dos Modelos Digitales de Elevación (MDE) de libre acceso (Tabla 1). Las imágenes ASTER GDEM v2 se preprocesaron con QGIS 3.16.9 y se utilizaron posteriormente para la delimitación de las cuencas. Se calculó un índice de posición topográfica (TPI) utilizando la herramienta "TPI Based Landform Classification" con base en el MDE ALOS PALSAR. El TPI clasifica la forma del terreno según su grado de concavidad o convexidad. Estas morfologías del terreno son determinantes para la formación de turberas.

Utilizamos una imagen Landsat 8 (Tabla 1), ya que está libre de nubes y se tomó cerca de la primera fecha de recopilación de datos de campo (agosto de 2019). Para preprocesar los datos Landsat, seguimos la metodología de Chimner et al.'s (2019). El Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que proporciona información sobre el estado del verdor y la biomasa de la vegetación, se calculó utilizando las bandas del rojo y del infrarrojo cercano, según Rouse et al. (1974).

Utilizamos una imagen de radar del satélite Sentinel 1B, que preprocesamos usando el software SNAP 8.0 (Leskovec & Sosic 2016), siguiendo parcialmente la metodología de Filipponi (2019). Aplicamos el archivo de órbita para mejorar la información sobre la posición y la velocidad del satélite, seguido de la eliminación del ruido térmico y la calibración de la escena. A continuación, aplicamos una corrección por multimirada, bajando la resolución de 10 a 30 m (resolución de las imágenes Landsat y MDE). Para corregir la variabilidad radiométrica en relación con la topografía, realizamos una interpolación bilineal. A continuación, aplicamos un filtro de puntos para mejorar la calidad de la imagen y reducir el ruido granular causado por la interferencia de las ondas reflejadas procedentes de diversos elementos dispersores. Por último, utilizamos el "Range Doppler Terrain Correction Operator" para la corrección topográfica.

Como apoyo visual, utilizamos una imagen de alta resolución sin nubes de PeruSat-1 (Tabla 1). Para mejorar la calidad visual de la imagen de PeruSat-1, realizamos un refinado pancromático de intensidad-tono-saturación.

También recopilamos los siguientes datos vectoriales: (1) red hídrica de la cuenca del río Cocahuayco (Yalta Meza et al., 2014); (2) límites de la ACP San Pablo de Valera (SERNANP 2023); (3) límites de las propiedades del pueblo de Cocachimba (solicitados a la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP)); (4) áreas de comunidades campesinas (COFOPRI 2023); y (5) centros de población humana (MED 2023).

## Datos de campo

Realizamos dos expediciones de campo en agosto de 2019 y 2021. Para delimitar las zonas de uso de la tierra de las comunidades/propietarios, se recopilaron datos cartográficos mediante mapeo participativo. Tomamos muestras de núcleos de suelo para identificar la presencia/ausencia de turba en el sitio de estudio.

Antes de las expediciones de campo, presentamos el proyecto a los representantes de la comunidad campesina de San Pablo de Valera y de la

comunidad de Yurumarca. Ambas comunidades dieron permiso para recoger muestras de suelo en sus territorios y eligieron representantes para participar en la expedición. Los mapas A1 impresos se utilizaron en el campo y se mostraron a los representantes de las comunidades. Estos mapas incluían una imagen de fondo, curvas de nivel, red hídrica, centros poblados, límites de comunidades campesinas y propiedades privadas. A través de la inspección visual de una imagen pancromática de PeruSat y de las curvas de nivel derivadas de ASTER GDEM v2, se identificaron áreas de turba potenciales y se cargaron a un GPS para guiar la recopilación de muestras de suelo. Durante la expedición, registramos las coordenadas GPS de los límites de tenencia y uso de la tierra reconocidos por los representantes de las autoridades comunitarias.

Se recolectaron 33 muestras de suelo de 40 cm de profundidad en lugares con una cubierta vegetal homogénea en un radio mínimo de 30 m desde el punto de muestreo. Cada muestra se guardó en una bolsa de plástico con cierre hermético numerada. En cada lugar, también registramos las coordenadas GPS y tomamos fotos en los cuatro puntos cardinales utilizando la aplicación para teléfonos inteligentes EpiCollect 5 (2009). Las muestras de suelo se analizaron en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM) en Amazonas. Como las muestras se procesaron al día siguiente de las expediciones de campo, no fue necesario refrigerarlas. Para calcular el porcentaje de materia orgánica, que determina la presencia o ausencia de turba en los puntos de muestreo, seguimos la metodología de Chambers et al. (2011). Las muestras se secaron a 40 °C durante 1 semana y, a continuación, se extrajeron muestras de 0.5 g que se homogeneizaron y se incineraron a 500 °C durante 4 h. Todas las muestras tenían 40 cm de materia orgánica continua. Sin embargo, se consideraron turbas aquellas con al menos un 24% de materia orgánica (>12% de carbono orgánico), siguiendo la definición del United States Soil Taxonomy Staff (2014) que utilizaron Chimner et al. (2019) para clasificar turberas en los Andes centrales peruanos.

## Delimitación del área de drenaje de la catarata y detección de turberas

Delimitamos la cuenca del río Cocahuayco y luego el área de drenaje de la catarata de Gocta en QGIS, con base en el ASTER GDEM v2 preprocesado. La validación se realizó mediante inspección visual utilizando las curvas de nivel derivadas del MDE y de la red hídrica. Fueron necesarias algunas correcciones que digitalizamos manualmente. Debido a la naturaleza cárstica de la zona, la delimitación morfológica del área de drenaje de la catarata puede diferir ligeramente de la cuenca hidrológica.

Clasificamos las turberas utilizando el clasificador "Random Forest" con ayuda de los paquetes "caret" y "randomForest" del software R (v.3.6.3). Los datos espectrales para la definición de las clases temáticas se obtuvieron a partir de imágenes satelitales Landsat 8, Sentinel 1 y ALOS PALSAR. El algoritmo se ejecutó utilizando 500 árboles de decisión (ntree) y tres variables muestreadas aleatoriamente en cada división (mtry) porque estos eran los valores de los parámetros que ofrecían los resultados más precisos según la parametrización de la herramienta. La clasificación se realizó en dos etapas: en primer lugar, se separaron las áreas cubiertas por vegetación baja (turberas, praderas húmedas y pastizales) de otros tipos de cobertura del suelo, como bosques, cuerpos de agua y suelo desnudo (precisión general = 99.57%; sombrero Kappa = 0.99); y en segundo lugar, en base a los resultados de la primera etapa, se aplicó una máscara espacial a las capas espectrales de entrada antes de realizar una segunda clasificación, de modo que los píxeles de turberas y no-turberas se clasificaran exclusivamente en la zona cubierta por vegetación baja.

Para la clasificación de turberas y no turberas, creamos sitios de muestreo partiendo de los datos reales sobre el terreno (observación de campo y análisis de suelos en laboratorio) y de la interpretación visual de imágenes satelitales. En primer lugar, se generaron polígonos de muestreo de 60 × 60 m centrados en los puntos GPS tomados durante las expediciones de campo; estas dimensiones corresponden al doble de la resolución espacial de los datos satelitales. Dada la gran extensión del área, la irregularidad del relieve y el escaso tiempo disponible en el campo, no se abarcaron todas las áreas en las escenas satelitales utilizadas en el estudio durante el muestreo de campo. Entonces, en segundo lugar y para llenar este vacío, digitalizamos más sitios de muestreo mediante interpretación visual respaldada por observaciones de campo, e incluimos ubicaciones subrepresentadas del área de estudio. Por último, todas las áreas de muestreo se parcelaron en polígonos cuadrados de 30 × 30 m (1049 en total). Aproximadamente el 20% (210 polígonos) de los datos de muestreo se omitieron para la validación. Para cada clase, calculamos la precisión de usuario, de productor y la precisión general. También calculamos el intervalo de confianza del 95% para la tasa de precisión general y estimamos el error de área de turbera en el intervalo de confianza del 95% utilizando la matriz de confusión, con el área de predicción como medida de incertidumbre, siguiendo a Oloffson et al. (2013).

Basándonos en el mapa de turberas validado a 30 m de resolución espacial, calculamos el área de turberas contenida dentro de los territorios de cada terrateniente y comunidad campesina, superponiendo las turberas mapeadas y la capa SIG de límites de tenencia de la tierra.

## Resultados

El área de drenaje de la microcuenca del Gocta se estimó en 3152 ha, de las cuales las turberas cubrían 398 ha (c. 18% del área total de drenaje). Encontramos turberas en altitudes entre 2800 y 3200 m. y delimitamos la tenencia informal de la tierra de la comunidad Yurumarca dentro de la subcuenca de Gocta (ver Fig. 3).

La tenencia de la tierra en la zona estudiada es compleja (ver Fig. 3). La parte occidental del área de drenaje pertenece a la comunidad campesina de San Pablo de Valera e incluye su ACP comunal. Una parte más pequeña, en el extremo sur de la meseta, es propiedad de una familia de Cocachimba. La sección oriental es utilizada como pastizal por la comunidad Yurumarca careciendo de una tenencia formal de la tierra. En el norte y noreste del área de drenaje de Gocta, pequeñas áreas son propiedad de las comunidades campesinas Cuispes y San Carlos.

La ACP de San Pablo de Valera cubre el 34% del área de drenaje de Gocta y contiene el 46% de las turberas; la propiedad de la familia de Cocachimba ocupa el 10% del área, pero contiene el 23% del total de turberas. Una pequeña zona en el noroeste de la subcuenca contiene el 3% del área de drenaje y el 6% de las turberas y pertenece a la comunidad campesina de San Carlos. La propiedad de la comunidad campesina de Cuispes contiene el 2% de la superficie y el 0.5% de las turberas. El 49% restante no tiene propietario formal, y los procesos de mapeo participativo mostraron que esta área es utilizada principalmente por la comunidad de Yurumarca (47% del área de drenaje y c. 24% de la turbera). El 4% restante del área de drenaje consiste en una franja de terreno sin propiedad ni uso informal conocido en una ladera entre la ACP y la propiedad de la familia Quintana, que contiene el 0.5% de la turbera.

La precisión general fue del 97.14% (intervalo de confianza del 95% = 93.89-98.94%), con precisiones del productor y del usuario del 95.75% y el 97.27% para la clase "turberas" y del 99.36% y el 99.00% para la clase "no turberas", respectivamente. La superficie total de turbera clasificada fue de 859.14 ha; sin embargo, la estimación ajustada al error de la superficie de turbera ( $\pm 95\%$  intervalo de confianza) según el método de Oloffson et al. (2013) fue de  $872.6 \pm 78.8$  ha.



## Discusión

Hasta donde sabemos, este es el primer mapa de turberas dentro de la ecorregión de jalca obtenido mediante teledetección. El enfoque metodológico desarrollado inicialmente por Chimner et al. (2019), pero utilizando solo una escena de datos Sentinel, demostró ser preciso y fácilmente reproducible para mapear estas turberas.

Nuestros resultados tienen tres implicaciones clave para las estrategias de conservación en el área de drenaje de Gocta, ofreciendo un uso generalmente relevante de la teledetección para plantear la conservación comunitaria en un entorno donde la tenencia de la tierra es compleja.

Primero, hace una década, la Asociación de Turismo de Cocachimba intentó un esquema de pago por servicios ambientales (PSA) con la comunidad de Yurumarca (Daniel Quintana, comunicación personal, 19 de octubre de 2021). El acuerdo fracasó debido a la falta de parámetros precisos, como el área que debía protegerse y los procesos de monitoreo (Daniel Quintana, comunicación personal, 19 de octubre de 2021). De hecho, en una revisión general de los PSA, Wunder et al. (2020) señalaron los problemas de condicionalidad, y, por lo tanto, de incumplimiento, como algunos de los principales obstáculos para el éxito de los sistemas de PSA.

Nuestros resultados sugieren que una estrategia de conservación más eficaz sería un acuerdo entre la Asociación Turística de Cocachimba, que recibe la mayor parte de los ingresos del turismo de cataratas, pero no posee tierras en el área de drenaje, y la comunidad campesina de San Pablo de Valera para apoyar la protección de las turberas dentro de su ACP. Nuestros resultados subrayan la importancia de fortalecer la ACP de San Pablo de Valera. Los hallazgos complementan la zonificación inicial, que no distinguía los humedales que contienen turba dentro de la jalca. La falta de delimitación de los humedales y turberas de otros ecosistemas dentro de un paisaje de jalca dificulta la planificación de los esfuerzos de protección dentro de las áreas protegidas, incluidas las ACP (López Gonzales et al. 2020). Ahora, nuestros resultados permiten a la comunidad excluir con más cuidado al ganado de las zonas de turberas.

En segundo lugar, mostramos que aproximadamente una quinta parte de la turbera se encuentra dentro de una propiedad privada actualmente utilizada para el pastoreo de ganado (Daniel Quintana, comunicación personal, 19 de octubre de 2021). Esta zona de 90 ha podría conservarse mediante un mecanismo de conservación privado.

En tercer lugar, la Municipalidad de Valera ya ha utilizado los datos para su plan de desarrollo urbano, un proceso de planificación espacial esencial que apuntalará el desarrollo sostenible del distrito. Sobre la base de nuestros datos y de otros, la municipalidad ha propuesto priorizar 10 276 ha en el distrito de Valera y en el distrito vecino de San Carlos, a fin de conservar la biodiversidad y proteger los servicios ecosistémicos hidrológicos. La municipalidad es pionera en materia de planificación en Amazonas: de los 1874 distritos de Perú, menos del 10% tienen un plan de desarrollo urbano. (Requena Calderón & Absi Drobkova 2021).

Nuestro estudio demuestra un enfoque metodológico accesible que emplea imágenes de satélite de libre acceso, muestreo de campo y modelos estadísticos de código abierto, que se puede reproducir en otros paisajes de jalca y utilizar para crear un mapa regional de las turberas de esta parte de Perú. Según Maldonado Fonkén (2014), las turberas de jalca están poco documentadas y, de hecho, las turberas de jalca se omitieron en el reciente Inventario Nacional de Bofedales (INAIGEM 2023). Las zonas donde aparecen fueron filtradas por los criterios utilizados para las macrozonas de clasificación bofedal (INAIGEM 2023), que eran todas las zonas por debajo de los 3000 m de altitud, mientras que encontramos zonas dominadas por turberas por encima de los 2800 m.

La metodología que aplicamos arrojó resultados muy precisos para el mapeo de turberas a escala de cuenca (precisión general del 97.14%). La combinación de varias covariables, como recomendaron Minasny et al. (2019) incluidas covariables ópticas, de radar y topográficas, entrenó positivamente el algoritmo de aprendizaje automático de "Random Forest". Una metodología similar se utilizó con éxito para mapear humedales y turberas en los Andes (Hribljan et al. 2017, Chimner et al. 2019, Ross et al. 2023) e Indonesia (Rudiyanto et al. 2018). La necesidad de tales métodos es relevante a escala internacional. En una revisión de los retos que plantea el seguimiento de la biodiversidad de los humedales en África, donde la disponibilidad de datos plantea un problema similar al de nuestra zona de estudio, Stephenson et al. (2020) resaltan el potencial de ampliar las soluciones de teledetección para apoyar la conservación de los humedales.

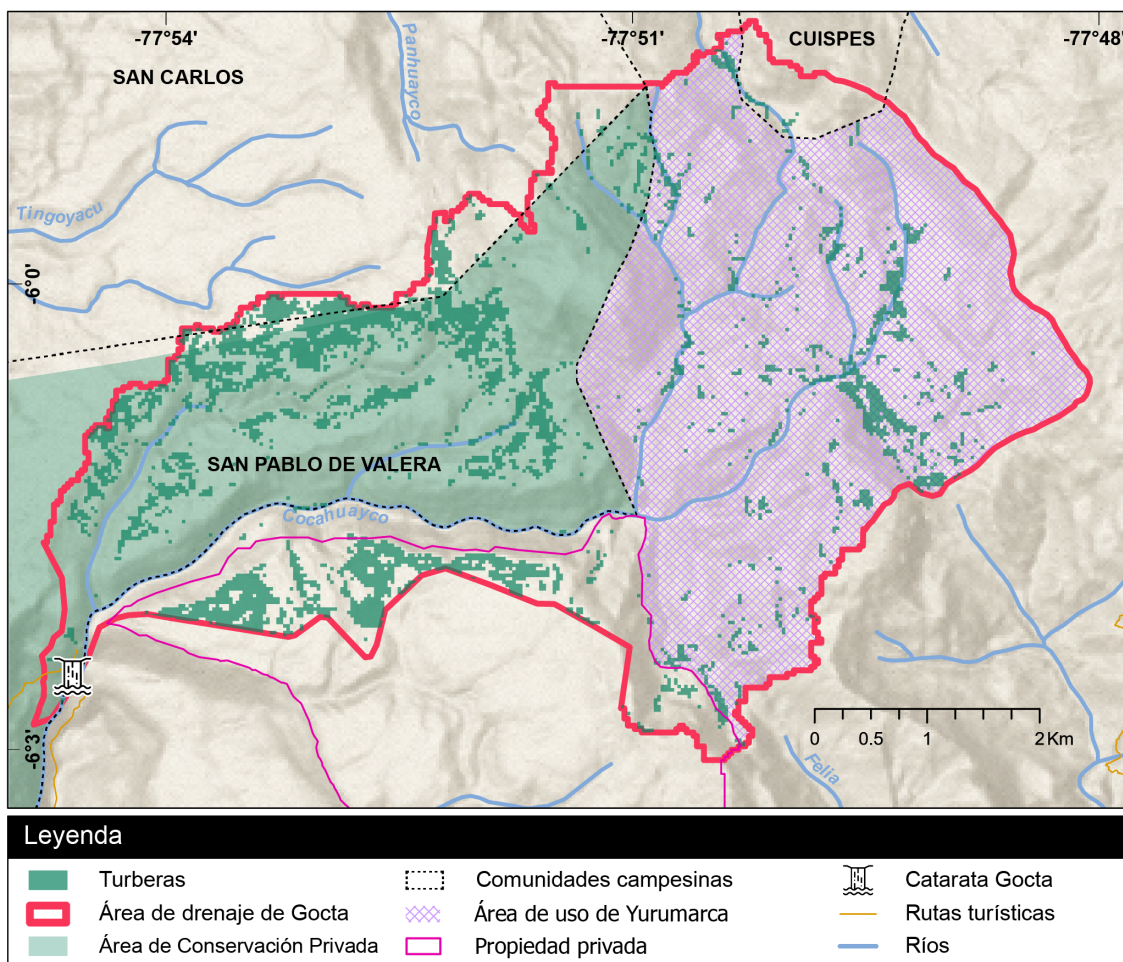
El mapa de turberas resultante también es de importancia mundial, ya que los mapas de turberas a escala gruesa no captan las turberas locales, dada su distribución irregular y su pequeña superficie (Minasny et al. 2019). Esto es especialmente cierto en la Depresión de Huancabamba, donde la geografía carece de punas y los valles glaciares de la cordillera central de Perú (Chimner et al. 2019).

Comprender la distribución y la superficie de las turberas y otros humedales de la ecorregión de Jalca crearía oportunidades a escala nacional e internacional.

Permitiría a las autoridades mejorar la planificación de nuevas áreas protegidas centradas en los servicios ecosistémicos e hidrológicos o en el secuestro de carbono, dada la importancia de las turberas a este respecto (Buytaert et al. 2006, Mosquera et al. 2022). Actualmente, solo el 0.139% de la jalca (178 992.99 ha) está protegida a nivel nacional, y aún menos en Amazonas (0.027%, 34 542.7 ha); SERNANP 2023). Además, las turberas de la ecorregión jalca son esenciales para mitigar el cambio climático. Aunque cada vez se conoce mejor a nivel mundial la importancia de las turberas para el almacenamiento de carbono (Harenda et al. 2018), Perú aún no ha integrado las turberas en sus estrategias nacionales para reducir y compensar las emisiones de gases de efecto invernadero a través de sistemas de créditos de carbono (López Gonzales et al. 2020). Esto es relevante para las ACP de Perú en particular.

Perú es uno de los pocos países sudamericanos que permite a comunidades campesinas como las de San Pablo de Valera crear áreas de conservación privadas (ACP). Sin embargo, las ACP carecen de apoyo tangible del gobierno a pesar de sus éxitos en materia de conservación (Shanee et al. 2015, Delgado et al. 2021, López de la Lama et al. 2023). La integración de las ACP en las estrategias climáticas de Perú, centrándose no solo en los bosques, sino también en las turberas y otros humedales, podría ampliar los medios del país para hacer frente a la crisis climática, contribuyendo a la lucha contra el calentamiento global.

Las turberas andinas han recibido hasta ahora menos atención que las de la Amazonía. Nuestro estudio ha intentado subsanar algunas de estas carencias en la ecorregión de la jalca, contribuyendo así a los esfuerzos de conservación locales, nacionales e internacionales en esta parte del Hotspot de Biodiversidad de los Andes Tropicales.



**Figura 3.** Mapa de las turberas y del régimen de tenencia/uso de la tierra del área de drenaje de la catarata de Gocta. Las turberas (verde oscuro) se detectaron mediante el algoritmo de “Random Forest”, entrenado con datos multiespectrales, de radar y derivados de modelos digitales del terreno. La tenencia/uso de la tierra se delimitó combinando información de bases de datos públicas y mapeo participativo durante el trabajo de campo.

## Reconocimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a las comunidades campesinas de San Pablo de Valera y Yurumarca y a la Asociación de Turismo de Cocachimba por facilitarnos el acceso y la información sobre la zona de estudio. Un agradecimiento especial a Andrés Ramos Vargas, Luis Sopla Ramos, Alex Vargas Pinedo, Daniel Quintana, Linder Torrejón, Giulio Sangiorgi, Walter Wust, Francisco Meléndez y Nacho Sarmiento por su apoyo logístico y técnico adicional, y al profesor Rodney A Chimner, Bruno Monteferri, Caroline Meyer y al equipo de Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) en Chachapoyas por su valioso asesoramiento.

Expresamos también nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas por facilitarnos el acceso a su laboratorio. Damos las gracias especialmente a los revisores anónimos y a los editores de la revista por sus excelentes comentarios, que nos han permitido mejorar notablemente nuestro manuscrito.

## Contribuciones de autores

Diseño del estudio: GFCF, SMG, CS. Trabajo de campo: GFCF, SMG, EDF, ECV, CB, CS. Análisis de muestras de suelo: JR, EDF, ECV. Análisis de datos: GFCF, SMG, EDF, PR, ECV. Redacción: GFCF, SMG, RSL, MO-C, CS. Mapas y tablas: GFCF, EDF, PR.

## Apoyo económico

Este estudio se financió mediante una beca Global Forest Watch Tech Fellowship a Christel Scheske y subvenciones a la SPDA del US Fish and Wildlife Service y la Fondation Ensemble.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ninguno.

## Norma ética

Todas las expediciones de campo a la cuenca de drenaje de Gocta se realizaron con el consentimiento expreso de la comunidad campesina de San Pablo de Valera y de la comunidad de Yurumarca. Líderes de ambas comunidades acompañaron las expediciones. Los resultados del estudio se han compartido con ambas comunidades y con la Asociación Turística de Cocachimba.

## Referencias bibliográficas

**Aanensen DM, Huntley DM, Feil EJ, Al-Own F, Spratt BG (2009)** EpiCollect: linking smartphones to web applications for epidemiology, ecology and community data collection. *PLoS ONE* 4: e6968.

**BBC Mundo (2006)** Hallan colosal catarata en Perú. BBC Mundo [www document]. URL [news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid\\_4795000/4795174.stm](https://www.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_4795000/4795174.stm)

**BirdLife International (2016)** *Loddigesia mirabilis*. In *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016. [dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22688130A93183168.en](https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22688130A93183168.en).

**Borrelli P, Armenteras D, Panagos P, Modugno S, Schütt B (2015)** The implications of fire management in the Andean paramo: a preliminary assessment using satellite remote sensing. *Remote Sensing* 7: 11061–11082.

**Bremer LL, Farley KA, DeMaagd N, Suárez E, Cárate Tandalla D, Vasco Tapia S, Mena Vásquez P (2019)** Biodiversity outcomes of payment for ecosystem services: lessons from páramo grasslands. *Biodiversity and Conservation* 28:885–908.

**Britto B (2017)** Actualización de las Ecorregiones Terrestres de Perú propuestas en el Libro Rojo de Plantas Endémicas del Perú. *Gayana-Botánica* 74: 15–29.

**Buytaert W, Célleri R, De Bièvre B, Cisneros F, Wyseure G, Deckers J, Hofstede R (2006)** Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79: 53–72.

**Buytaert W, Cuesta-Camacho F, Tobón C (2011)** Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions: climate change and environmental services. *Global Ecology and Biogeography* 20: 19–33.

**Cervera LSC (2020)** Plantas vasculares de las cabeceras de las cataratas Gocta, Chinata y Yumbilla, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa* 27: 459–496.

**Chambers FM, Beilman DW, Yu Z (2011)** Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat* 7: 1–10.

**Chimner RA, Bourgeau-Chavez L, Grelik S, Hribljan JA, Clarke AMP, Polk MH, et al. (2019)** Mapping Mountain peatlands and wet meadows using multi-date, multi-sensor remote sensing in the Cordillera Blanca, Peru. *Wetlands* 39: 1057–1067.

**Chimner RA, Resh SC, Hribljan JA, Battaglia M, Bourgeau-Chavez L, Bowser G, Lilleskov EA. (2023)** Mountain wetland soil carbon stocks of Huascarán National Park, Peru. *Frontiers in Plant Science* 14: 1048609.

**COFOPRI (2023)** Geollaqta [www document]. URL: [catastro.cofopri.gob.pe/geollaqta/](http://catastro.cofopri.gob.pe/geollaqta/)

**Cooper DJ, Wolf EC, Colson C, Vering W, Granda A, Meyer M (2010)** Alpine peatlands of the Andes, Cajamarca, Peru. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 42: 19–33.

**Curatola Fernández GF, Obermeier WA, Gerique A, López Sandoval MF, Lehnert LW, Thies B, et al. (2015)** Land cover change in the Andes of southern Ecuador – patterns and drivers. *Remote Sensing* 7: 2509–2542.

**Delgado E, Meza Mori G, Barboza E, Rojas Briceño NB, Torres Guzmán C, Oliva-Cruz M, et al. (2021)** Efectividad de áreas de conservación privada comunal en bosques montanos nublados del norte de Perú. *Pirineos* 176: e067.

**Filipponi F (2019)** Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. In: *3rd International Electronic Conference on Remote Sensing* (p. 11). Basel, Switzerland: MDPI.

**Global Peatlands Initiative (2022)** *The Global Peatland Map 2.0* [www document]. URL <https://globalpeatlands.org/resource-library/global-peatland-map-20>

**Gobierno Regional de Amazonas (2013)** *Expediente Técnico Área de Conservación Regional: Cataratas de Gocta, Yumbilla y Chinata*. Unpublished report. Chachapoyas, Peru.

**Harendra KM, Lamentowicz M, Samson M, Chojnicki BH (2018)** The role of peatlands and their carbon storage function in the context of climate change. In: T Zielinski, I Sagan, W Surosz (eds), *Interdisciplinary Approaches for Sustainable Development Goals* (pp. 169–187). Berlin, Germany: Springer.

**Hastie A, Honorio Coronado EN, Reyna J, Mitchard ETA, Akesson CM, Baker TR, et al. (2022)** Risks to carbon storage from land-use change revealed by peat thickness maps of Peru. *Nature Geoscience* 15: 369–374.

**Hribljan JA, Suarez E, Bourgeau-Chavez L, Endres S, Lilleskov EA, Chimbolema S, et al. (2017)** Multispectral, multisensory remote sensing reveals high density of carbon-rich mountain peatlands in the *páramo* of Ecuador. *Global Change Biology* 23: 5412–5425.

**INAIGEM (2023)** *Memoria Descriptiva del Inventario Nacional de Bofedales del Perú 2023*. Huaraz, Peru: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).

**INEI (2012)** *IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Lima, Peru: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

**Leifeld J, Menichetti L (2018)** The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications* 9: 1071.

**Leiva-Tafur D, Goñas M, Culqui L, Santa Cruz C, Rascón J, Oliva-Cruz M (2022)** Spatiotemporal distribution of physicochemical parameters and toxic elements in Lake Pomacochas, Amazonas, Peru. *Frontiers in Environmental Science* 10: 885591.

**Leskovec J, Soscic R (2016)** SNAP: A General Purpose Network Analysis and Graph Mining Library. arXiv [www document]. URL [arxiv.org/abs/1606.07550](https://arxiv.org/abs/1606.07550)

**López de la Lama R, Bennet N, Bulkan J, Boyd D, Chan KMA (2023)** A legal assessment of private land conservation in South America. *Conservation Biology* 37: e14068

**López Gonzales M, Hergoualc'h K, Angulo Núñez Ó, Baker T, Chimner R, Del Águila Pasquel J, et al. (2020)** What do we know about Peruvian peatlands? Occasional Paper 210. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR) [www document]. URL [cifor.org/publications/pdf\\_files/OccPapers/OP-210.pdf](https://cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-210.pdf)

**Maldonado Fonkén MSM (2014)** An introduction to the *bofedales* of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat* 15: 1–13.

**MED (2023)** *Descarga la información especial del MED* [www document]. URL [geoidep.gob.pe/ministerio-de-educacion](https://geoidep.gob.pe/ministerio-de-educacion)

**Melton JR, Chan E, Millard K, Fortier M, Winton RS, Martin-Lopez JM, et al. (2022)** A map of global peatland extent created using machine learning (Peat-ML). *Geoscientific Model Development* 15: 4709–4738.



**Meza Mori G, Barboza Castillo E, Torres Guzmán C, Cotrina Sánchez DA, Guzman Valqui BK, Oliva M, et al. (2020)** Predictive modelling of current and future potential distribution of the spectacled bear (*Tremarctos ornatus*) in Amazonas, northeast Peru. *Animals* 10: 1816.

**MINAM (2019)** Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú [www document] URL [sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru](http://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru)

**Minasny B, Berglund Ö, Connolly J, Hedley C, de Vries F, Gimona A, et al. (2019)** Digital mapping of peatlands – a critical review. *Earth-Science Reviews* 196: 102870.

**MINCETUR/VMT/DGIETA – DIAITA (2020)** Reporte Regional de Turismo - Amazonas 2020 [www document]. URL [cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1320640/Reporte\\_Regional\\_Amazons\\_2020\\_.pdf](http://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1320640/Reporte_Regional_Amazons_2020_.pdf)

**Mosquera GM, Lazo PX, Célleri R, Wilcox BP, Crespo P (2015)** Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *CATENA* 125: 120–128.

**Mosquera GM, Marín F, Stern M, Bonnesoeur V, Ochoa-Tocachi BF, Román-Dañobeytia F, Crespo P (2022)** Progress in understanding the hydrology of high-elevation Andean grasslands under changing land use. *Science of the Total Environment* 804: 150112.

**Mosquera GM, Segura C, Vaché KB, Windhorst D, Breuer L, Crespo P (2016)** Insights into the water mean transit time in a high-elevation tropical ecosystem. *Hydrology and Earth System Sciences* 20: 2987–3004.

**Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Da Fonseca GAB, Kent J (2000)** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.

**Ochoa-Tocachi BF, Buytaert W, De Bièvre B, Célleri R, Crespo P, Villacís M, et al. (2016)** Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrological Processes* 30: 4074–4089.

**Oliva M, Pérez R, Salas Lopez R, Gamarra O, Levia S, Collazos R, Maicelo J (2017)** Quantification of the tall grass area of the Gocta and Chinata microbasins and their potential as a carbon stock. *Scientia Agropecuaria* 8: 233–241.

**Olofsson P, Foody GM, Stehman SV, Woodcock CE (2013)** Making better use of accuracy data in land change studies: estimating accuracy and area and

quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment* 129: 122–131.

**Otto M, Gibbons RE (2017)** Potential effects of projected decrease in annual rainfall on spatial distribution of High Andean wetlands in southern Peru. *Wetlands* 37: 647–659.

**Otto M, Scherer D, Richters J (2011)** Hydrological differentiation and spatial distribution of high altitude wetlands in a semi-arid Andean region derived from satellite data. *Hydrology and Earth System Sciences* 15: 1713–1727.

**Rascón J, Coroto F, Tafur DL, Torres OAG (2021)** Variaciones limnológicas espaciotemporales de un lago altoandino tropical al norte de Perú. *Ecología Austral* 31: 343–356.

**Requena Calderón M, Absi Drobkova A (2021)** Ciudades peruanas: sin planificación, con documentos vacíos y crecimiento informal. La República [www document]. URL [data.larepublica.pe/ciudades-peruanas-sin-planificacion-con-documentos-vacios-y-crecimiento-informal/](http://data.larepublica.pe/ciudades-peruanas-sin-planificacion-con-documentos-vacios-y-crecimiento-informal/)

**Ross AC, Mendoza MM, Drenkhan F, Montoya N, Baiker JR, Mackay JD, et al. (2023)** Seasonal water storage and release dynamics of bofedal wetlands in the Central Andes. *Hydrological Processes* 37: e14940.

**Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1974)** Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp., Vol. 1, Sect. A [www document]. URL: [ntrs.nasa.gov/citations/19740022614](https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614)

**Rudiyanto R, Minasny B, Setiawan BI, Saptomo SK, McBratney AB (2018)** Open digital mapping as a cost-effective method for mapping peat thickness and assessing the carbon stock of tropical peatlands. *Geoderma* 313: 25–40.

**Sánchez-Vega I, Dillon MO (2006)** Jalcas. In: R Moraes, B Øllgaard, LP Kvist, F Borchsenius, H Balslev (eds), *Botánica Económica de los Andes Centrales* (pp. 81–94). La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

**SERNANP (2023)** GEO ANP – *Visor de las Áreas Naturales Protegidas* [www document]. URL [geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/](http://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/)

**Shanee S, Cornejo FM, Aquino R, Mittermeier RA, Vermeer J (2019)** *Lagothrix flavicauda*. In The IUCN Red List of Threatened Species 2021. doi:10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T39924A192307818.en.

**Shanee N, Shanee S, Horwich RH (2015)** Effectiveness of locally run conservation initiatives in north-east Peru. *Oryx* 49: 239–247.

**Stephenson PJ, Ntiamoa-Baidu, Y, Simaika JP (2020)** The use of traditional and modern tools for monitoring wetlands biodiversity in Africa: challenges and opportunities. *Frontiers and Environmental Science* 8: 61.

**Torres Guzmán C, García-Bravo A, Chuquizuta LA, et al. (2022)** Rediscovering the richness and endemism of the tetrapod fauna within the Utcubamba River Key Area for Biodiversity, in northwestern Peru. *Biology and Life Sciences Forum* 15: 28.

**United States Soil Taxonomy Staff (2014)** *Keys to Soil Taxonomy*, 12th edition. Washington, DC, USA: United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service.

**White-Nockleby C, Prieto M, Yager K, Meneses RI (2021)** Understanding bofedales as cultural landscapes in the Central Andes. *Wetlands* 41: 102.

**Wunder S, Börner J, Ezzine-de-Blas D, Feder S, Pagiola S (2020)** Payments of environmental services: past performance and pending potentials. *Annual Review of Resource Economics* 12: 209–234.

**Xu J, Morris PJ, Liu J, Holden J (2018)** PEATMAP: refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *CATENA* 160: 134–140.

**Yalta Meza JR, Salas Lopez R, Pérez Torres RJ, Quispe Chacón SA (2014)** Morphometric analysis of the microbasin in the field of Gocta, Chinata and Yumbilla-El Chido waterfall, Amazonas region. *Revista Indes* 2: 60–69.



**SPDA**

[www.spda.org.pe](http://www.spda.org.pe)

(511) 612 4700

[info@spda.org.pe](mailto:info@spda.org.pe)

Prolongación Arenales 437,  
San Isidro, Lima – Perú