

# EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS ÁREAS AMBIENTALMENTE SENSIBLES A LA DEGRADACIÓN DE LOS HÁBITATS DE DOS AVES ENDÉMICAS DEL NOROESTE DEL PERÚ: EL COLIBRÍ COLA DE ESPÁTULA (*Loddigesia mirabilis*) Y LECHUCITA BIGOTONA (*Xenoglaux loweryi*)

*Assessment of the state of environmentally sensitive areas to habitat degradation for two endemic birds of northwestern Peru: the spatuletail hummingbird (*Loddigesia mirabilis*) and the whiskered owl (*Xenoglaux loweryi*)*

Gerson Meza-Mori <sup>1\*</sup>, Cristóbal Torres Guzmán<sup>1</sup>, Elver Coronel-Castro<sup>1</sup>, Manuel Oliva-Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, 01001, Perú.

Identificador ORCID de los autores y e-mail

Gerson Meza Mori: <https://orcid.org/0000-0002-9754-6725>. E-mail: [gmeza@indes-ces.edu.pe](mailto:gmeza@indes-ces.edu.pe)  
Cristóbal Torres Guzmán: <https://orcid.org/0000-0002-0932-7224>. E-mail: [cristobal.torres@untrm.edu.pe](mailto:cristobal.torres@untrm.edu.pe)  
Elver Coronel Castro: <https://orcid.org/0000-0002-6260-6580>. E-mail: [elver.coronel@untrm.edu.pe](mailto:elver.coronel@untrm.edu.pe)  
Manuel Oliva Cruz: <https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>. E-mail: [soliva@indes-ces.edu.pe](mailto:soliva@indes-ces.edu.pe)

\*Autor corresponsal: [gmeza@indes-ces.edu.pe](mailto:gmeza@indes-ces.edu.pe)

**Recibido:** 25-09-2022. **Aceptado:** 7-03-2023. **Fecha de publicación on-line:** 25-07-2023

**Citation/Cómo citar este artículo:** Meza-Mori, G., Torres Guzmán, C., Coronel-Castro, E., Oliva-Cruz, M., (2023). Evaluación del estado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación de los hábitats de dos aves endémicas del noroeste del Perú: el colibrí cola de espátula (*Loddigesia mirabilis*) y lechucita bigotona (*Xenoglaux loweryi*). *Pirineos*, 178 e078. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2023.178004>

**RESUMEN:** La degradación de los hábitats de especies endémicas con rangos de distribuciones restringidas, se han acelerado en los últimos años, aún más si se encuentran en peligro de extinción. En este estudio se evaluó el estado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación de los hábitats de dos especies de aves endémicas, *Loddigesia mirabilis* y *Xenoglaux loweryi* al noroeste de Perú. El análisis se basó en determinar un mapa de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación de la tierra del área de estudio, utilizando el método Desertificación del Mediterráneo y uso de la tierra (MEDALUS) y como rangos de hábitat de las dos especies se superpusieron los mapas de distribución de la IUCN. El estado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación del hábitat de *Loddigesia mirabilis* estuvo

representada el 78,40 % de la superficie en riesgo moderado, seguido por un alto riesgo (13,52 %), bajo (7,77 %), y grave (0,31%). Por otro lado, el estado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación del hábitat de *Xenoglaux loweryi*, se encontró que el 87,84 % estaba en riesgo moderado, seguido por un riesgo bajo (10,81 %), alto (1,35 %) y grave (0,01 %). Los resultados pueden contribuir como información de referencia para los tomadores de decisiones para la recuperación de hábitats a través de la conservación de ambas especies.

**PALABRAS CLAVE:** MEDALUS; biodiversidad; análisis espacial; restauración; IUCN.

**ABSTRACT:** Habitat degradation of endemic species with restricted ranges has accelerated in recent years, even more so if they are in danger of extinction. This study evaluated the status of environmentally sensitive areas of habitat degradation for two endemic bird species, *Loddigesia mirabilis* and *Xenoglaux loweryi* in northwestern Peru. The analysis was based on determining a map of the environmentally sensitive areas to land degradation of the study area, using the Mediterranean Desertification and Land Use (MEDALUS) method and as habitat ranges of the two species the IUCN distribution maps were superimposed. The status of the areas environmentally sensitive to habitat degradation of *Loddigesia mirabilis* was represented by 78.40 % of the area at moderate risk, followed by high risk (13.52 %), low risk (7.77 %), and severe risk (0.31 %). On the other hand, the status of environmentally sensitive areas for *Xenoglaux loweryi* habitat degradation, 87.84 % were found to be at moderate risk, followed by low (10.81 %), high (1.35 %), and severe (0.01 %) risk. The results can contribute as reference information for decision makers for habitat recovery through the conservation of both species.

**KEYWORDS:** MEDALUS; biodiversity; spatial analysis; restoration; IUCN.

## 1. Introducción

El Perú ocupa el diecisieteavo lugar entre los países megadiversos, por poseer más del 70 % de la biodiversidad del planeta en flora y fauna (MINAM, 2014). La Amazonía peruana alberga más de 1000 especies de plantas con potencial comercial y las ventas nacionales de productos naturales derivados de plantas medicinales y aromáticas superan los \$ 400 millones anuales (Friso *et al.*, 2020). Además, al 2021 se han registrado 1351 especies de aves en el territorio peruano (SPDA, 2021). En tal sentido, la naturaleza brinda múltiples servicios ecosistémicos y bienes como sumidero de carbono, alimentos, fibras, polinización a la población de un determinado territorio (Grima & Singh, 2019). Sin embargo, la biodiversidad está siendo afectada a nivel mundial debido a las actividades antrópicas y efectos del cambio climático, ello afecta la provisión de servicios ecosistémicos causando una pérdida masiva de especies de flora y fauna (Brooks *et al.*, 1997; Grima & Singh, 2019). Perú no es la excepción, existe una problemática muy amplia que conduce al deterioro de la biodiversidad a consecuencia del desarrollo de las actividades económicas, cambio de uso del suelo, expansión humana y estructuras políticas no aplicadas adecuadamente (Zinngrebe, 2016). Entre los principales grupos afectados se encuentran las aves, y en los últimos años se ha determinado que la pérdida y la degradación de hábitat reduce la riqueza en especies de aves endémicas y amenazadas (Durães *et al.*, 2013; Heinrichs *et al.*, 2016). Sumado a ello, estudios recientes mencionan que las especies endémicas con distribuciones restringidas a rangos estrechos de altitud en los andes se encuentran entre las aves tropicales menos conocidas y son las más vulnerables a las presiones antropogénicas de la fragmentación del hábitat y efectos del cambio climático (David *et al.*, 2018; Lane & Angulo, 2018).

El colibrí cola de espátula (*Loddigesia mirabilis*), es endémico y con registros únicos al norte de Perú, específicamente en el departamento de Amazonas (BirdLife International, 1992; Plenge *et al.*, 2004). Actualmente, está catalogada como en peligro de extinción (EN) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (BirdLife International, 2016) y de la misma manera a nivel nacional en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (MINAM, 2018a). El rango de distribución de esta especie es muy pequeño y se extiende por una franja altitudinal entre ~ 2100 y 2900 m.s.n.m (BirdLife International, 1992; 2021). Se caracteriza por habitar en zonas al borde de los bosques, matorrales montanos, vegetación secundaria, áreas de campo abierto con prados, pastos y arbustos y en sistemas de valles y quebradas, pero principalmente prefieren los matorrales impenetrables de *Rubus* espinoso, entremezclados con pocos árboles de *Alnus* (BirdLife International, 1992). El tamaño poblacional de esta especie se estima entre ~ 250 y 999 individuos, con una tendencia decreciente en los próximos años (BirdLife International, 2021). Se ha relacionado la disminución del tamaño poblacional de la especie por la caza realizada por los pobladores locales (Garrigues, 2000). Sumado a ello, la tala del bosque para la obtención de madera, el establecimiento de nuevas parcelas de pastos y cultivos, minería e incendios forestales que conllevan a la degradación del hábitat de *L. mirabilis* (Davies *et al.*, 1997; Monteferri, 2019; SERFOR, 2018; Walentowski *et al.*, 2018). Por lo tanto, conocer el estado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación del hábitat de *L. mirabilis* podría contribuir a mejorar la toma de decisiones para su conservación, ante situaciones tan amenazadoras.

Por otro lado, la lechucita bigotona (*Xenoglaux loweryi*) es un búho neotropical (O'Neill & Graves, 1977) y,

como el colibrí cola de espátula, está afectado por la transformación del paisaje (Davies *et al.*, 1997). Esta ave es endémica de Perú y presenta un rango altitudinal de distribución restringido entre ~ 1890 y 2585 m.s.n.m (Angulo Pratonlongo *et al.*, 2008; Lane & Angulo, 2018; MINAM, 2018a). La especie habita en los bosques montanos húmedos de la cordillera oriental de los Andes, con registros únicos en los departamentos de Amazonas y San Martín al noreste de Perú (Alarcón *et al.*, 2016; Brinkhuizen & Shackelford, 2012; Lane & Angulo, 2018; O'Neill & Graves, 1977). Su dieta está constituida principalmente por insectos (Alarcón *et al.*, 2016). Su población mundial, según estimaciones actuales oscila entre ~ 250 y 999 individuos (BirdLife Internacional, 2020a). Las amenazas antrópicas que reducen su hábitat, se relacionan con la deforestación, incendios forestales, agricultura migratoria, ganadería, concesiones y actividades de minería (Davies *et al.*, 1997; SERFOR, 2018; Walentowski *et al.*, 2018). En tal sentido, los cambios de paisaje, pueden traer consigo la reducción de población en ésta especie y otras aves (Carrara *et al.*, 2015; Van Nieuwenhuysen *et al.*, 2008; Reino *et al.*, 2018). En consecuencia, actualmente *X. loweryi* está catalogada como vulnerable (VU) por la IUCN (BirdLife Internacional, 2020b) y como en peligro de extinción (EN) según el Apéndice II de la CITES de Perú (MINAM, 2018a).

En la última década se han desarrollado varias metodologías para mejorar la conservación de la biodiversidad. Los estudios de campo son uno de los primeros pasos para registrar la flora y fauna endémica (Ghimire *et al.*, 2021; Núñez-Zapata *et al.*, 2016; Torrecilha *et al.*, 2018; Guzman Valqui *et al.*, 2021). Algunos estudios han mapeado áreas de conservación (Dunn *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2020; Shaharum *et al.*, 2018; Vaissi & Sharifi, 2019), utilizando datos satélites de percepción remota para determinar hábitats idóneos de especies (Arenas-Castro & Sillero, 2021). Otros estudios han identificado áreas de endemismo e idoneidad de hábitat a través de modelos de distribución de especies (Escalante *et al.*, 2013; Gauchere *et al.*, 2016; Hussain *et al.*, 2020; Paul *et al.*, 2020). Sin embargo, en los estudios de idoneidad de hábitat de una determinada especie o especies en flora o fauna el principal problema radica en determinar solo la distribución idónea del hábitat, al no evaluar los impactos antrópicos en el área idónea del hábitat, muchas veces esto puede conllevar a una sobreestimación del hábitat de la especie, por lo cual es necesario además evaluar el estado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación de los hábitats de las especies estudiadas. En tal sentido, integrar la distribución idónea de hábitat de una especie o especies y evaluar la degradación de hábitat, puede brindar una mejor comprensión de los riesgos que afronta la especie para mejorar las estrategias de conservación (Brambilla *et al.*, 2017). Este estudio cuantifica la sensibilidad de la degradación de la tierra utilizando el método Mediterranean Desertification and Land Use (MEDALUS), desarrollado dentro del proyecto científico interdisciplinario e internacional de ocho años de duración, ha sido utilizado ampliamente para identificar tierras sensibles a la degra-

dación (Kosmas *et al.*, 1999). La metodología fue validada y aplicada en condiciones mediterráneas (Basso *et al.*, 2000; Lavado Contador *et al.*, 2009; Salvati & Bajocco, 2011). Sin embargo, posteriormente se aplicó en áreas no mediterráneas (De Pina Tavares *et al.*, 2015; Právālie *et al.*, 2017; Vieira *et al.*, 2015). Esta metodología ha sido utilizada ampliamente también en estudios puntuales en determinación de áreas ambientalmente sensibles a la degradación, con resultados favorables (Bouabid *et al.*, 2010; Lahlaoui *et al.*, 2017; Ait Lamqadem *et al.*, 2018; Momirović *et al.*, 2019; Perović *et al.*, 2021; Právālie *et al.*, 2017, 2020a, 2020b; Wijitkosum, 2020). En ese sentido, este estudio sería el primer reporte de la integración de MEDALUS y las áreas de idoneidad de hábitat para evaluar áreas ambientalmente sensibles a la degradación del hábitat de *L. mirabilis* y *X. loweryi* en Perú.

Es por ello, que este estudio tiene como objetivo evaluar el estado del hábitat de *L. mirabilis* y *X. loweryi* integrando la metodología MEDALUS y el área de distribución idónea de hábitat de cada especie. Para ello, en primer lugar, se determinó un mapa de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación a partir de parámetros ambientales impulsores de la degradación de la tierra de acuerdo al área de estudio. Una vez obtenido el mapa de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación de Amazonas y San Martín, éste mapa fue superpuesto espacialmente por los mapas de distribución de idoneidad de los hábitats de ambas especies obtenidos de la IUCN. En consecuencia, i) se evaluaron las áreas ambientalmente sensibles a la degradación en Amazonas y San Martín, ii) se aplicaron cuatro índices principales del método MEDALUS original (Índice de Calidad del Clima (CQI), Índice de Calidad del Suelo (SQI), Índice de Calidad de la Vegetación (VQI) e Índice de calidad de la Manejo (MQI)), iii) se analizaron las posibles causas de la degradación de la tierra en relación al hábitat de cada especie, y iv) se analizaron las áreas ambientalmente sensibles a la degradación de los tipos de ecosistemas y las áreas naturales protegidas, que geográficamente conforman el área idónea de hábitat de cada especie.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio abarca los departamentos Amazonas y San Martín, ubicados al noroeste de Perú entre los paralelos 3° 0' y 9° 0' de latitud Sur y los meridianos 75° 50' y 78° 80' de longitud Oeste. A saber, *L. mirabilis* se ha reportado solo en el departamento de Amazonas y *X. loweryi* en ambos departamentos. El departamento de Amazonas cubre un área estimada de 42.050,32 km<sup>2</sup> de paisaje accidentado, en gran parte cubierto por la selva amazónica (Figura 1). Se caracteriza por su clima “cálido y húmedo”, “seco caliente” y “templado cálido y levemente húmedo”, con temperaturas máximas de 40 °C en el bosque de tierras bajas al norte y temperaturas mínimas

de 2 °C en las sierras al sur. En las zonas más secas la precipitación es de 924 mm/año, mientras que en otras alcanzan hasta 3.000 mm/año (Vargas, 2010). A su vez, el departamento de San Martín tiene un área estimada de 48.307,81 km<sup>2</sup> y se encuentra ubicado en la Amazonía peruana, entre las regiones naturales selva alta y selva baja (Figura 1). Debido a su ubicación geográfica, San Martín tiene un clima cálido, caluroso y húmedo, su temperatura promedio anual es de 24 °C. La precipitación máxima aproximada es de 280 mm los meses de octubre a marzo y experimenta pequeños eventos de precipitación de más de 50 mm durante los meses de julio y agosto (Villegas Mori et al., 2009).

## 2.2. Metodología

La metodología utilizada se basó en el modelo MEDALUS, desarrollado dentro del proyecto científico interdisciplinario e internacional Desertificación y uso de la tierra en el Mediterráneo, 1991-1999 (Kosmas et al., 1999; Momirović et al., 2019). MEDALUS es una herramienta para evaluar, cartografiar e identificar áreas ambientalmente sensibles (ESA), utilizando el índice de áreas ambientalmente sensibles (ESAI) (Momirović et al., 2019; Wijitkosum, 2020). La sencillez y flexibilidad del modelo permite ajustar o cambiar el número de indicadores (parámetros o variables) que se utilizarán para evaluar los índices de calidad (Hosseini et al., 2012; Ait Lamqadem et al., 2018; Lavado Contador et al., 2009; Prāvālie et al., 2017; Prāvālie et al., 2020a; Salvati et al., 2015; Wijitkosum, 2020). En ese sentido, los usuarios pueden agregar y ajustar más parámetros espaciales de acuerdo a las condiciones locales (Momirović et al., 2019; Wijitkosum, 2020). Por lo tanto, este enfoque puede verse como un buen indicador de “alerta temprana” del nivel de sensibilidad del suelo a la degradación y sus cambios a lo largo del tiempo (Salvati & Bajocco, 2011). Se calcula utilizando el valor medio geométrico de los cuatro índices de calidad: Índice de Calidad del Suelo (SQI), Índice de Calidad del Clima (CQI), Índice de Calidad de la Vegetación (VQI) y el Índice de Calidad de Manejo (MQI)

### 2.2.1. Índice de calidad del suelo (SQI)

Para determinar el SQI se consideraron y evaluaron cuatro parámetros. Se utilizaron tres parámetros relacionados con las características del suelo (material parental, textura del suelo y materia orgánica del suelo (SOM)) y otro parámetro topográfico (pendiente) (Tabla 1). El material parental se obtuvo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico a una escala espacial de 1: 100000 (<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>), la textura del suelo se extrajo a una resolución espacial de 250 m del estudio mundial de Hengl (2018) y la SOM se obtuvo del producto del Carbono Orgánico del Suelo en porcentaje (SOC%) y un factor de conversión de 1,72 (Salas López et al., 2020; Pluske et al., 2021).

El % de SOC se obtuvo convirtiendo la capa de Carbono Orgánico en Ton/ha (COS) (ver detalles en Pluske et al. (2021)). El COS se descargó de la plataforma digital global de suelos SoilGrids (<https://soilgrids.org/>), con una resolución espacial de 250 m (Hengl et al., 2017). La pendiente de terreno se derivó del Modelo Digital de Elevación (DEM) de resolución espacial de 90 m descargado del portal CGIAR Consortium for Spatial Information (<http://srtm.csi.cgiar.org/>). El DEM se ha generado a partir de los datos de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Farr et al., 2007). La descripción y los puntajes de calidad para los parámetros de la calidad del suelo fueron asignados de la siguiente manera: el material parental según Kosmas et al. (1999) y Vieira et al. (2015) de acuerdo a las características locales (Suplementario Tabla A1), la pendiente y contenido de MOS por Kosmas et al. (2014) y la clase textural por Kosmas et al. (1999). En consecuencia, el SQI se calculó como el producto de los parámetros mencionados anteriormente utilizando la siguiente ecuación 1:

$$SQI = (\text{Material parental} \times \text{Pendiente} \times \text{Materia orgánica} \times \text{Textura})^{1/4} \quad (1)$$

Tabla 1. Parámetros utilizados para determinar el índice de la calidad del suelo.

Table 1. Parameters used to determine the soil quality index.

Parámetros	Descripción	Clases	Puntajes de calidad
Material parental	1 – 2	Bajo	1,05
	3 – 15	Medio	1,55
	16 – 72		1,60
	73 – 78		1,65
	79 – 84		1,70
	85 – 86	Alto	1,75
	87 – 88		2
Pendiente (%)	<2 Casi nivelado	Bajo	1
	2 – 6 Pendiente suave	Medio	1,2
	6 – 12 Moderadamente inclinado		1,4
	12 – 18 Fuerte pendiente		1,6
	18 – 25 Moderadamente empinada	Alto	1,7
	25 – 35 Empinada		1,8
	35 – 60 Muy empinado		1,9
	>60 Muy empinada		2
Contenido de materia orgánica (%)	> 6,0	Alto	1
	2,1 – 6,0	Medio	1,3
	2,0 – 1,1	Bajo	1,6
	< 1,0	Muy bajo	2
Textura del suelo <sup>2</sup>	L, SCL, SL, LS, CL Bueno	Muy bajo	1
	SC, SiL, SiCL Moderado	Bajo	1,2
	Si, C, SiC Pobre	Medio	1,6
	S Muy pobre	Alto	2

<sup>1</sup> Codificación de las descripciones geológicas.

<sup>1</sup> Codification of geological descriptions.

<sup>2</sup> Arena (S); Arena limosa (LS); Franco arenoso (SL); Franco (L); Franco limoso (SiL); Limoso (Si); franco arcilloso arenoso

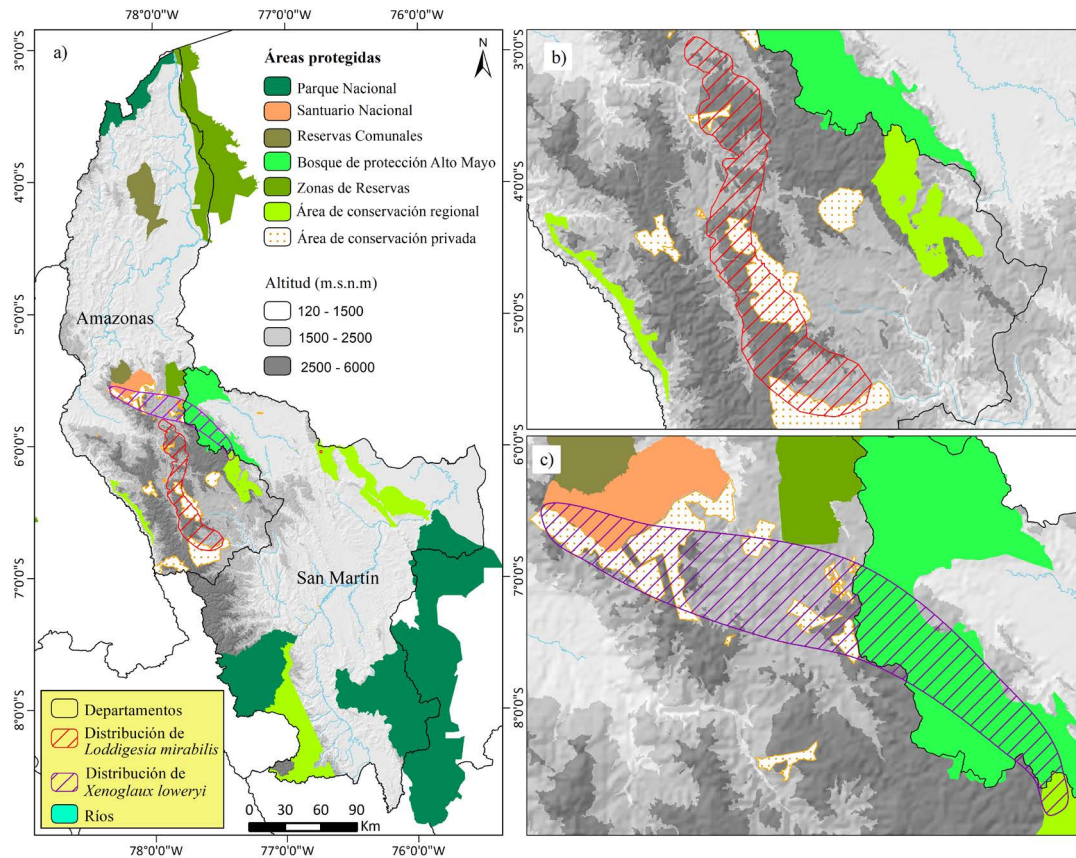


Figura 1. a) Área de estudio y áreas naturales protegidas; b) Distribución de idoneidad de hábitat de *L. mirabilis* en el departamento de Amazonas (Perú) y c) Distribución de idoneidad de hábitat de *X. loweryi* en los departamentos de Amazonas y San Martín (Perú)  
 Figure 1. a) Study area and protected natural areas; b) Habitat suitability distribution of *L. mirabilis* in the department of Amazonas (Peru) and c) Habitat suitability distribution of *X. loweryi* in the departments of Amazonas and San Martín (Peru).

(SCL); Franco arcillo limoso (SiCL); Franco arcilloso (CL); arcillo arenoso (SC); arcillo limoso (SiC); y arcilla (C).  
<sup>2</sup> Sand (S); silty sand (LS); sandy loam (SL); loam (L); silty loam (SiL); silt (Si); sandy clay loam (SCL); silty clay loam (SiCL); clay loam (CL); sandy clay (SC); silty clay (SiC); and clay (C).

2.2.2. Índice de calidad del clima (CQI)

El Índice de Calidad Climática (CQI) está relacionado con el impacto de la variación climática en la degradación y desertificación de la tierra (Perović *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2019) y, en este estudio, se estimó con base en los siguientes cinco parámetros: índice de aridez (IA), erosividad, aspecto, precipitación y velocidad del viento (Tabla 2). El IA se descargó del Consortium for Spatial Information (CSI) con resolución espacial de ~ 1 km<sup>2</sup> (<http://www.cgiar-csi.org>). El CSI es una plataforma del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola a nivel Internacional (CGIAR) (Trabucco & Zomer, 2018). La erosividad se calculó de acuerdo al índice de Fournier modificado (MFI) (Arnoldus 1980) aplicando la ecuación 2:

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} P_i^2 / P \tag{2}$$

donde  $P_i$  es la precipitación mensual (12 bandas, cada una representando un mes) y  $P$  la precipitación anual. Los datos incluyeron la precipitación media mensual para 1970-2000 con resolución espacial de ~ 1 km<sup>2</sup> (Fick & Hijmans, 2017) y disponible en WorldClim (<http://www.worldclim.org>). El mapa de aspecto se calculó de acuerdo al DEM, generado a partir de los datos de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Farr *et al.*, 2007).

Finalmente, la velocidad del viento, un parámetro que se utilizó con éxito en otros estudios (Právělie *et al.*, 2017; Právělie *et al.*, 2020a), por lo tanto, también se consideró en este estudio (datos adquiridos a 100 m de altura sobre la superficie del suelo, de Global Wind Atlas con resolución espacial de ~ 1 km<sup>2</sup>) (GWA, 2017), considerando que un régimen de vientos intensos puede estar directamente asociado con la intensificación de la degradación de la tierra, especialmente en áreas de textura arenosa. El CQI se calculó mediante la ecuación 3:

$$CQI = (\text{Índice de aridez} \times \text{Erosividad} \times \text{Aspecto} \times \text{Precipitación} \times \text{Velocidad del viento})^{1/5} \tag{3}$$

Tabla 2. Parámetros utilizados para determinar el índice de la calidad del clima.  
 Table 2. Parameters used to determine the climate quality index.

Parámetros	Descripción	Clases	Puntajes de calidad
Índice de aridez (mm/mm)	< 0,05 Zona hiperárida	Muy alto	2
	0,05 – 0,2 Árido	Alto	1,8
	0,2 – 0,5 Semiárido	Medio	1,60
	0,5 – 0,65 Subhúmedo seco		1,4
	0,65 – 1 subhúmedo	Bajo	1,2
	> 1 Húmedo	Muy bajo	1
Erosividad (mm)	0 – 60 Muy bajo	Muy bajo	1
	60 – 90 Bajo	Bajo	1,2
	90 – 120 Moderado	Medio	1,5
	120 – 160 Severo	Alto	1,8
	>160 Muy grave	Muy alto	2
Aspecto	N, NW, NE,W, áreas planas	Bajo	1
	S, SW, SE,E	Alto	2
Precipitación (mm)	373 – 1022	Muy bajo	2
	1022 – 1194	Bajo	1,7
	1194 – 1436	Moderado	1,5
	1436 – 1833	Alto	1,3
	1833 – 2592		1,2
	2592 – 3477	Muy alto	1
Velocidad del viento (m/s)	<4,1	Bajo	1
	4,1 – 5	Moderado	1,5
	5 – 16	Alto	2

### 2.2.3. Índice de la calidad de la vegetación (VQI)

El VQI se analizó sobre la base de cuatro parámetros: riesgo de incendio, protección contra la erosión, resistencia a la sequía y cubierta vegetal (Tabla 3). Estos parámetros geográficos se obtuvieron y mapearon procesando las clases de uso / cobertura de la tierra del área de estudio, extraídos de la base de datos de Copernicus Global Land Operations “Vegetation and Energy”, año 2019 con una resolución de 100 m (Buchhorn *et al.*, 2020). Esencialmente, cada parámetro se obtuvo clasificando y ponderando las clases de cobertura de uso de la tierra, de acuerdo con el esquema MEDALUS original y la literatura científica (Momirović *et al.*, 2019; Právālie *et al.*, 2017; Právālie *et al.*, 2020a). Las descripciones y los puntajes de calidad para los cuatro parámetros de la calidad de la vegetación se realizaron en base a Právālie *et al.* (2017; 2020a). El VQI se calculó utilizando la ecuación 4:

$$VQI = (\text{Riesgo de incendio} \times \text{Protección contra la erosión} \times \text{Resistencia a la sequía} \times \text{Cobertura vegetal})^{1/4} \quad (4)$$

Tabla 3. Parámetros utilizados para determinar el índice de la calidad de la vegetación.

Table 3. Parameters used to determine the vegetation quality index.

Parámetros	Descripción	Clases	Puntajes de calidad
Riesgo de incendio*	50, 60, 90	Bajo	1
	30, 40	Medio	1,5
	20, 112, 114, 116, 122, 124, 126	Alto	2
Protección contra la erosión*	112, 114, 116, 122, 124, 126	Muy bajo	1
	20, 30, 60	Medio	1,3
	90	Alto	1,6
	40, 50	Muy alto	2
Resistencia a la sequía*	20, 112, 114, 116, 122, 124, 126	Bajo	1
	30, 90	Medio	1,4
	40, 50, 60	Alto	2
Cobertura vegetal*	20, 30, 112, 114, 116, 122, 124, 126	Bajo	1
	60, 90	Medio	1,8
	40, 50	Alto	2

\*Los códigos son la nomenclatura de la base de datos Copernicus Global Land Operations “Vegetation and Energy”

\*The codes are the nomenclature of the database Copernicus Global Land Operations “Vegetation and Energy”

2.2.4. Índice de la calidad de manejo (MQI)

Una forma de evaluar el estrés antropogénico sobre el medio ambiente es a través del MQI, expresada en términos de intensidad de la actividad antrópica (Perović *et al.*, 2021; Práválie *et al.*, 2017). Las diversas actividades (pastoreo, suministro de agua y una agricultura insostenible) conducen a la degradación de la tierra y la desertificación (Ait Lamqadem *et al.*, 2018). El MQI se calculó mediante la combinación de cuatro parámetros: intensidad agrícola, política de acción, deslizamiento de tierras y densidad poblacional (Tabla 4). Los mapas de la intensidad agrícola y política de acción se generaron a partir de la base de datos de Copernicus Global Land Operations “Vegetation and Energy”, año 2019 con una resolución espacial de 100 m (Buchhorn *et al.*, 2020). El mapa de deslizamiento de tierras (susceptibilidad por movimientos en masa) se extrajo del estudio del Instituto geológico, minero y metalúrgico del Perú con una escala espacial 1: 2000000 (INGENMET) (Fidel *et al.*, 2010). La densidad poblacional se calculó de acuerdo al último censo poblacional realizado por el Instituto de Estadística e Informática (INEI) (INEI, 2018). Las descripciones y los puntajes de calidad para los parámetros del MQI se asignaron de la siguiente manera: para la intensidad agrícola y política de acción, según Práválie *et al.* (2017; 2020a), para el deslizamiento de tierras, según Momirović *et al.* (2019) y para la densidad poblacional, de acuerdo con Kosmas *et al.* (2014). El MQI se calculó con la ecuación 5:

$$MQI = (Intensidad\ agrícola \times Política\ en\ acción \times Deslizamiento \times Densidad\ poblacional)^{1/4} \quad (5)$$

Tabla 4. Parámetros utilizados para determinar el índice de la calidad de la Manejo.

Table 4. Parameters used to determine the management quality index.

Parámetros	Descripción	Clases	Puntajes de calidad
Intensidad agrícola*	20, 90, 112, 114, 116, 122, 124, 126	Bajo	1
	30, 60	Moderado	1,5
	40, 50	Alto	2
Política en acción*	90, 112, 114	Bajo	1
	20, 30, 116, 122, 124, 126	Moderado	1,5
	40, 50, 60	Alto	2
Deslizamiento	Terreno estable	Muy bajo	1
	Pendiente condicionalmente estable	Bajo	1,4
	Deslizamientos de tierra fósiles	Medio	1,5
	Deslizamientos latentes		1,6
	Deslizamientos activos con proceso de deslizamiento latente	Alto	1,8
Deslizamientos activos con proceso de deslizamiento presente	Muy alto	2	
Densidad de población	<50	Bajo	1
	50 – 100	Medio	1,3
	100 – 300	Alto	1,7
	>300	Muy alto	2

\*Los códigos son la nomenclatura de la base de datos Copernicus Global Land Operations “Vegetation and Energy”

\* The codes are the nomenclature of the database Copernicus Global Land Operations “Vegetation and Energy”

2.2.5. Áreas ambientalmente sensibles (ESA)

Las áreas ambientalmente sensibles a la degradación (ESA) se determinaron utilizando los cuatro índices de calidad (SQI, CQI, VQI y MQI), que se integraron en la calculadora de raster de QGIS ver 3.12. El índice de áreas ambientalmente sensibles (ESAI) de la zona estudiada se calculó a partir de la ecuación (6), basada en el enfoque MEDALUS (Kosmas *et al.*, 1999):

$$ESAI = (SQI \times CQI \times VQI \times MQI)^{1/4} \quad (6)$$

Con base en los valores estimados del ESAI, las clases, rangos de puntuación y los riesgos/ condiciones de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación en el área de estudio se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. Clases, rangos y riesgos/condiciones del índice de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación.

Table 5. Classes, ranges and risks/conditions of the index of environmentally sensitive areas to degradation.

Clases	Rango de puntuación	Riesgo/ Condición
Bajo	1,00 – 1,22	Bajo
Medio	1,23 – 1,37	Moderado
Alto	1,38 – 1,53	Alto
Muy Alto	1,54 – 2,00	Grave

2.2.6 Estado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación del hábitat de *L. mirabilis* y *X. loweryi* para la conservación

Para determinar el estado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación de los hábitats de cada especie. Los mapas de las distribuciones idóneas de los hábitats de *L. mirabilis* (BirdLife International, 2016) y *X. loweryi* (BirdLife International, 2020b), se descargaron de la IUCN (<https://www.iucnredlist.org/>). Luego una vez descargadas se superpusieron al mapa del ESAI y de esta manera se obtuvieron las áreas ambientalmente sensibles a la degradación del hábitat de *L. mirabilis* y *X. loweryi*. De la misma forma se evaluaron el estado de degradación de los ecosistemas y las áreas naturales protegidas, que geográficamente conforman el área idónea de hábitat de cada especie. El Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú se obtuvo del geoservidor del Ministerio del Ambiente (<https://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-de-datos/>) (MINAM, 2018b), y las áreas naturales protegidas se descargaron del geoportal del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP,

<https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/>). En general, esto permitió analizar de una manera integrada el estado de hábitat de cada especie en relación a cada ecosistema y área natural protegida.

### 3. Resultados

#### 3.1. Sobre los parámetros constitutivos de los índices de calidad

Con base en los 17 parámetros geográficos procesados (Figura 2), se obtuvieron cuatro indicadores de ca-

lidad (SQI, CQI, VQI y MQI) (Figura 3) que resaltan diferencias espaciales significativas en términos de sensibilidad de la tierra a la degradación en el área de estudio. De acuerdo con los parámetros constitutivos del SQI, en lo que respecta al material parental predomina la calidad media en el área de estudio, representando un 63,82% del territorio. La calidad media del material parental cubre principalmente áreas de montañas, que aún no son intervenidas por el hombre. El material parental del área estudiada presenta formaciones geológicas complejas, predominando las areniscas (Figura 2a) (más detalle suplementario Tabla A1). Por otro lado, las pendientes del terreno van desde casi niveladas a mayores al 60% de inclinación (Figura 2b). En lo que respecta al conteni-

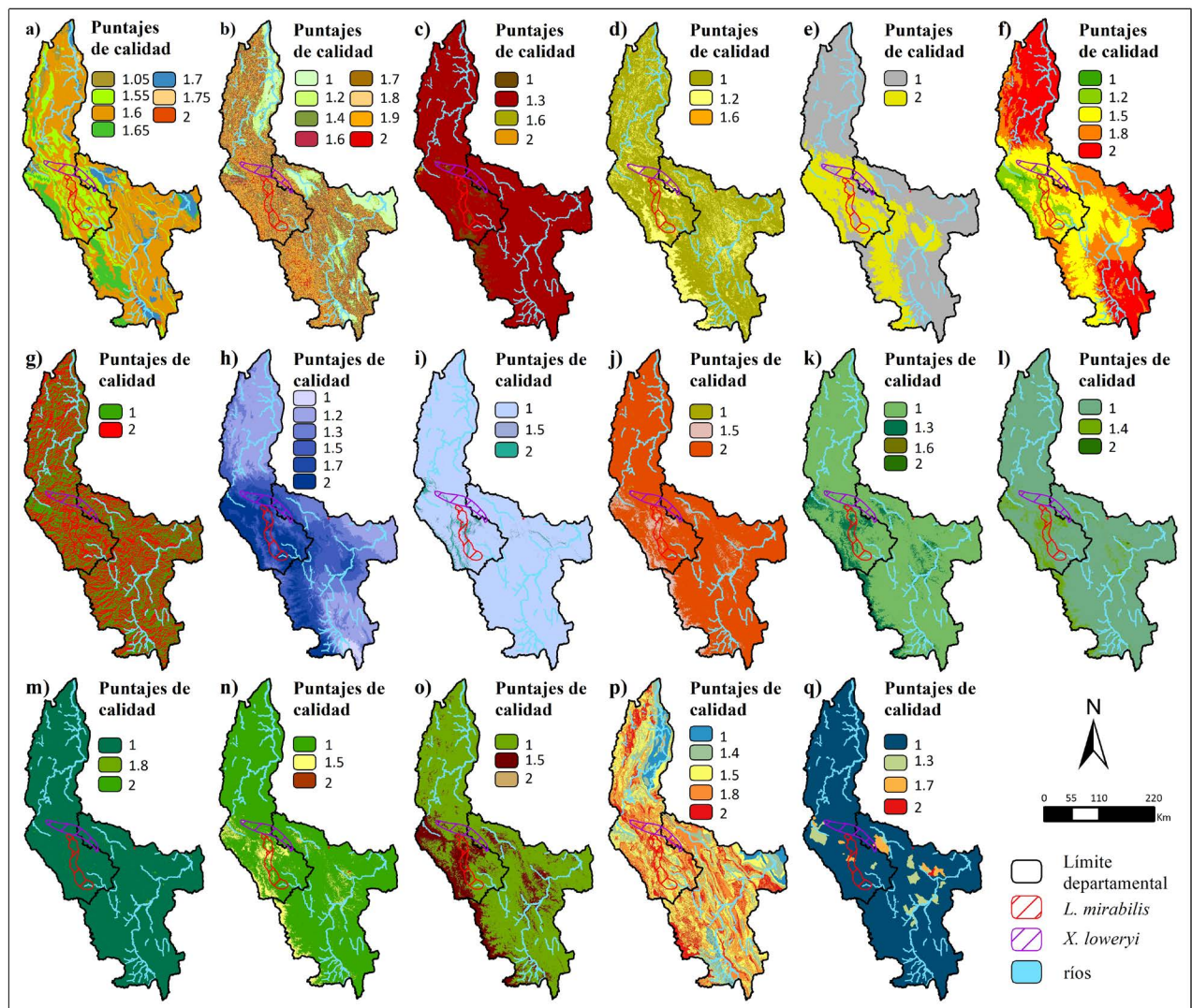


Figura 2. Distribución espacial de los parámetros constitutivos SQI: a) Material parental, b) Pendiente, c) Materia orgánica del suelo y d) Textura; CQI: e) Aridez, f) Erosividad, g) Aspecto, h) Precipitación y i) Velocidad del viento; VQI: j) Riesgo de incendio, k) Protección contra la erosión, l) Resistencia a la sequía y m) Cobertura vegetal; y MQI: n) Intensidad agrícola, o) Política en acción, p) Deslizamiento y q) Densidad poblacional.

Figure 2. Spatial distribution of the constituent parameters SQI: a) Parent material, b) Slope, c) Soil organic matter and d) Texture; CQI: e) Aridity, f) Erosivity, g) Aspect, h) Precipitation and i) Wind speed; VQI: j) Fire risk, k) Erosion protection, l) Drought resistance and m) Vegetation cover; and MQI: n) Agricultural intensity, o) Policy in action, p) Landslide and q) Population density.



do de materia orgánica en el área de estudio, predomina la calidad media, lo cual contribuye a que los suelos no sean muy pobres en nutrientes para los cultivos de la zona (Figura 2c). Particularmente las clases texturales del suelo que predominan en el área de estudio son: los francos arcillosos, francos arcillosos limosos y francos arenosos (Figura 2d), y presentan características de estructura granular fina y permeabilidad moderadamente lenta.

En lo que respecta a los parámetros constitutivos del CQI, el índice de aridez, las tierras más áridas se localizan al Oeste y representan el 32,77 % del territorio, con presencia de bosques estacionalmente secos interandinos y lo que resta del territorio el 67,23 % son tierras húmedas, distribuidas al Este y están conformadas por bosques montanos y basimontanos de Yunga (Figura 2e). El área de estudio está sujeta a una erosividad de muy baja a muy alta (Figura 2f) y la erosividad tiende aumentar en pendientes altas. En cuanto al aspecto del terreno, el rango de clasificación va desde bajo a alto, esto favorece el crecimiento de la vegetación en los diferentes gradientes en el área de estudio, pero también facilita el proceso de erosión del suelo (Figura 2g). Las precipitaciones oscilan entre 300 mm a 3.000 mm que conducen a una mayor erosión del suelo (Figura 2h). Además, otro factor como el viento, con velocidades mayores a los 10 m/s, favorece este proceso (Figura 2i).

En tanto, los parámetros constitutivos del VQI, en lo que respecta al parámetro riesgo de incendio un total del 91,45 % del territorio se califica en calidad de alto riesgo (Figura 2j). Un total del 10 % del área de estudio se califica en calidad media a muy alta de deficiencias de protección contra la erosión del suelo (Figura 2k). En el área de estudio existe aún una buena resistencia a la sequía mayor al 90 % del territorio (Figura 2l) y

más del 80 % de las coberturas vegetales se califican en buena calidad (Figura 2m)

Finalmente, los parámetros constitutivos del MQI, la intensidad agrícola es calificada como intensidad baja en gran parte del territorio (Figura 2n), y existe una política de acción moderada (Figura 2o). En cuanto al parámetro deslizamiento, el área presenta terrenos estables y deslizamientos latentes (Figura 2p). La densidad poblacional no es predominante geográficamente en el área de estudio (Figura 2q).

### 3.2. Evaluación espacial de índices de calidad

En cuanto al primer indicador, SQI, del área total reporta que el 93,88 % (84.832,67 km<sup>2</sup>) se encuentra en calidad moderada, seguida por una calidad baja de 3,83 % (3.457,24 km<sup>2</sup>) y calidad alta de 2,29 % (2.068,23 km<sup>2</sup>) (Tabla 6). La calidad moderada, es la más representativa y cubre principalmente áreas agrícolas (sembríos de café, cacao, arroz, papas, maíz), pastos para la crianza de ganadería extensiva, como también bosques frágiles (bosques intervenidos antrópicamente) (Figura 3a). Mientras que la calidad baja, abarca áreas que un principio eran bosques (bosques altimontanos, bosques montanos y basimontano de Yunga, bosques secos) y que han sido transformadas a otros usos de suelos para desarrollar una agricultura más intensiva (Figura 3a). Los espacios de la calidad alta son comparativamente pequeños, con muy poca representatividad en el área de estudio (Figura 3a).

El análisis del CQI, reveló que, del área de estudio, el 99,05 % (89.497,41 km<sup>2</sup>) es de calidad moderada, el 0,84 % (756,31km<sup>2</sup>) de calidad alta y el 0,12 % (104,41 km<sup>2</sup>) de calidad baja con respecto al área total (Tabla 6).

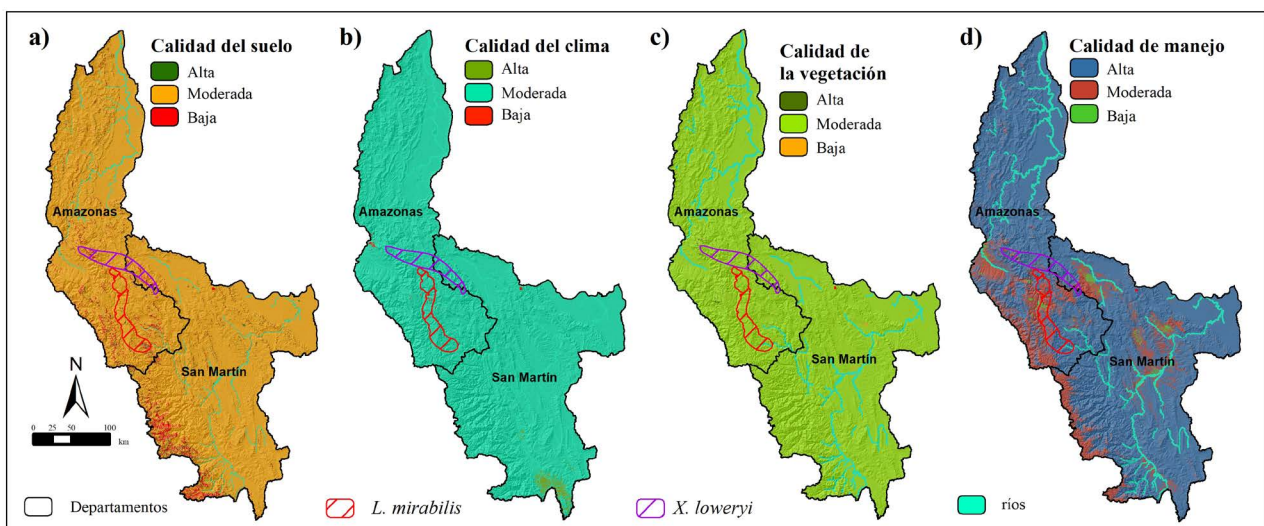


Figura 3. Distribución espacial de los indicadores de calidad: a) índice de calidad del suelo; b) índice de calidad del clima; c) índice de calidad de la vegetación y d) índice de calidad de manejo.

Figure 3. Spatial distribution of quality indicators: a) soil quality index; b) climate quality index; c) vegetation quality index and d) management quality index.

Tabla 6. Cantidad de superficie, expresada en km<sup>2</sup> y porcentajes (% del área total de estudio), que corresponde a los 4 indicadores de calidad calculados en Amazonas y San Martín (Perú).

Table 6. Amount of surface area, expressed in km<sup>2</sup> and percentages (% of the total study area), corresponding to the 4 quality indicators calculated in Amazonas and San Martín (Peru).

Indicador	Descripción de calidad	Rango de puntuación	Área total (km <sup>2</sup> )	Área total (%)
SQI	Alto	<1,13	2.068,23	2,29
	Moderado	1,13 – 1,45	84.832,67	93,88
	Bajo	>1,46	3.457,24	3,83
CQI	Alto	<1,15	756,31	0,84
	Moderado	1,15 – 1,81	89.497,41	99,05
	Bajo	>1,81	104,41	0,12
VQI	Alto	<1,13	213,34	0,24
	Moderado	1,13 – 1,38	89.437,97	98,98
	Bajo	>1,38	706,82	0,78
MQI	Alto	1 – 1,25	76.410,62	84,56
	Moderado	1,26 – 1,50	13.179,67	14,59
	Bajo	>1,51	767,85	0,85

El mapa ilustra las tres calidades del CQI desde la calidad baja hasta a alta. Las áreas de la calidad moderada, se distribuyen geográficamente en todo el territorio (Figura 3b). La calidad baja del clima abarca la parte central y la calidad alta el Sur del área de estudio (Figura 3b).

Los resultados del VQI (Figura 3c), muestran que el 98,98 % (89.437,97 km<sup>2</sup>) del área de estudio se encuentra en calidad moderada, el 0,78% (706,82 km<sup>2</sup>) en calidad baja y el 0,24 % (213,34 km<sup>2</sup>) en calidad alta con respecto al área total (Tabla 6). La calidad moderada, está expuesta constantemente a la degradación, en su mayoría estas áreas están conformadas por tierras de agricultura, extensiones de pastos para la crianza de ganadería y bosques que cada día son deforestados. La alta calidad vegetativa, aún no son intervenidas de forma antrópica. La calidad moderada de la vegetación se extiende en toda el área de Sur a Norte y la calidad alta y baja, no tiene visibilidad en el mapa, por ser áreas pequeñas (Figura 3c).

El MQI, indica que el 84,56 % (76.410,62 km<sup>2</sup>) del área de estudio se caracteriza por una calidad alta que se distribuye por zonas con poca intervención humana, bosques que están conservados bajo diversas modalidades de Áreas Naturales Protegidas (ANP), establecidas por el gobierno nacional, regional y local (Figura 3d). El 14,59 % (13.179,67 km<sup>2</sup>) del territorio presenta una gestión moderada y se localiza generalmente una agricultura más intensiva

y centros urbanos (Figura 3d). Por otro lado, solo el 0,85 % (767,85 km<sup>2</sup>) reporta una baja calidad de gestión y se localiza en suelos desnudos y cultivos urbanos.

### 3.3. Índice de áreas ambientalmente sensibles (ESAI)

De la evaluación del ESAI del área de estudio, se encontró que el 62,14 % del área total está en riesgo moderado a la degradación, seguida de las áreas de riesgo bajo (34,33 %), alto (3,45 %) y grave (0,08 %) (Tabla 7). El mapa presenta las cuatro categorías de riesgos, a saber, el riesgo moderado se distribuye por toda el área de estudio en donde se encuentran tierras de cultivos agrícolas, bosques primarios (Bosque montano, basimontano, altimontano de Yunga, bosques de colina baja y alta, bosques estacionalmente secos interandino y oriental), matorrales andinos, pastizales/Herbazales, jalca y vegetación secundaria (Figura 4a). Los riesgos de las clases alta y grave están en zonas céntricas del área de estudio, donde se encuentran centros urbanos. El crecimiento urbano ha sido la causa principal de la pérdida de bosques primarios y la degradación del suelo en el área de estudio (Figura 4a). El riesgo bajo de degradación se localiza mayormente al Este del territorio, son áreas alejadas con poca intervención humana.

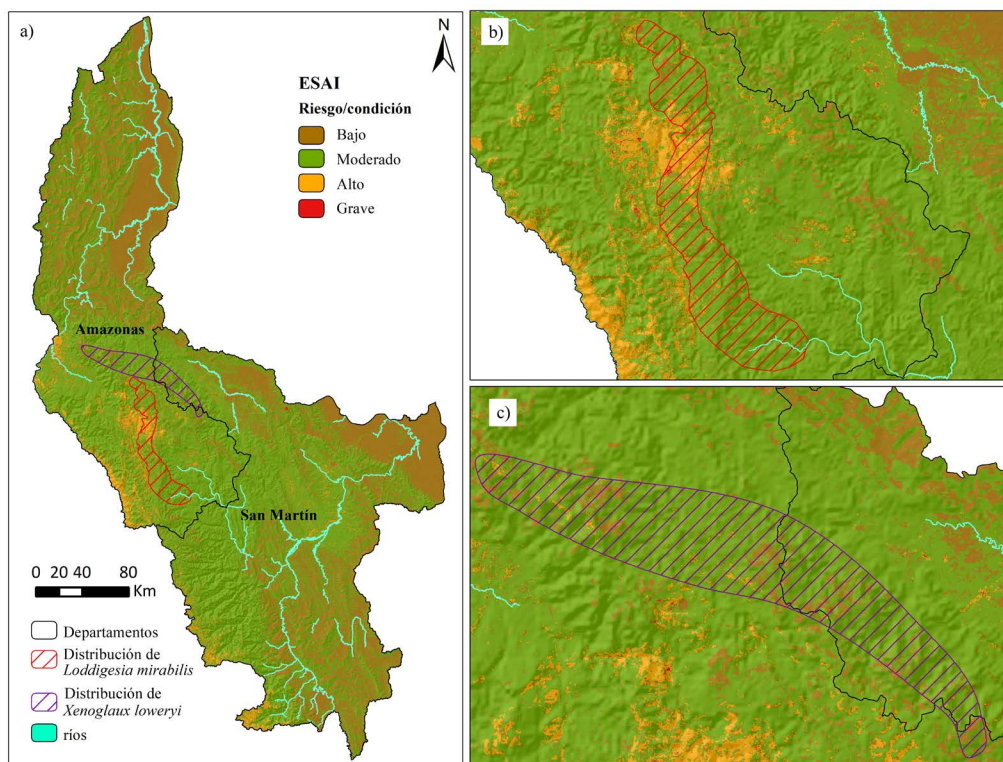


Figura 4: a) Índice de áreas ambientalmente sensibles a la degradación (ESAI) en Amazonas y San Martín (Perú); b) Distribución de *L. mirabilis* superpuesta al ESAI y c) Distribución de *X. loweryi* superpuesta a ESAI.  
 Figure 4: a) Index of Environmentally Sensitive Areas to Degradation (ESAI) in Amazonas and San Martín (Peru); b) Distribution of *L. mirabilis* superimposed on ESAI and c) Distribution of *X. loweryi* superimposed on ESAI.

Tabla 7. Cantidad de superficie del ESAI, expresada en km<sup>2</sup> y porcentajes (% del área total de estudio), para los departamentos de Amazonas y San Martín (Perú).  
 Table 7. Amount of area of the ESAI, expressed in km<sup>2</sup> and percentages (% of the total study area), for the departments of Amazonas and San Martín (Peru).

Índice	Riesgo/Condición	Área total (km <sup>2</sup> )	Área total (%)
ESAI	Baja	31.022,07	34,33
	Moderada	56.148,76	62,14
	Alta	3.115,16	3,45
	Grave	72,14	0,08

3.4. Estado actual de la distribución idónea del hábitat de *L. mirabilis* y *X. loweryi* para la conservación

La distribución idónea de hábitat de *L. mirabilis* en el área de estudio fue de 1.775, 57 km<sup>2</sup>. El 78,40 % de la superficie idónea del hábitat presenta una degradación de riesgo moderado, el 13,52 % degradación de alto riesgo, el 7,77% degradación de bajo riesgo y el 0,31 % degra-

dación grave del hábitat (Tabla 8). Por otro lado, la distribución idónea de hábitat de *X. loweryi* en el área de estudio fue de 1. 627,02 km<sup>2</sup>, de ello, se encontró que la degradación del hábitat de la especie el 87,84% presenta un riesgo moderado, seguida por un riesgo bajo (10,81%), alto (1,35%) y grave (0,01%) (Tabla 8).

Tabla 8. Superficies degradadas de *L. mirabilis* y *X. loweryi*, expresadas en km<sup>2</sup> y porcentajes (% del área total de estudio), en los departamentos de Amazonas y San Martín (Perú).  
 Table 8. Degraded areas of *L. mirabilis* and *X. loweryi*, expressed in km<sup>2</sup> and percentages (% of total study area), in the departments of Amazonas and San Martín (Peru).

Riesgo/Condición	<i>Loddigesia mirabilis</i>		<i>Xenoglaux loweryi</i>	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Baja	137,90	7,77	175,82	10,81
Moderada	1392,12	78,40	1429,16	87,84
Alta	240,08	13,52	21,90	1,35
Grave	5,47	0,31	0,13	0,01

El ecosistema de *L. mirabilis* está conformado por unidades funcionales de Bosque altimontano (Pluvial) de

Yunga (B-aY), Bosque basimontano de Yunga (B-bY), Bosque montano de Yunga (B-mY), Jalca (Jal), Pastizales/Herbazales (P/H), Vegetación Secundaria (Vsec), Zonas agrícolas (Agri), lagos y lagunas (L). Sin embargo, las diversas actividades antrópicas insostenibles en el área de estudio, son causantes de que las unidades funcionales sean más susceptibles al proceso de degradación, por tanto, el B-mY (25,07 %), B-aY (23,10 %) y Jal (12,52 %) son las unidades funcionales con mayores porcentajes de áreas de degradación en riesgo moderado. El B-aY (3,90 %), los P/H (1,34 %) y la Vsec (1,04 %), tienen una mayor representatividad de áreas degradadas calificadas como riesgo bajo. Los P/H (7,40 %) y la Vsec (3,23 %), contienen las mayores áreas degradadas calificadas como alto riesgo. Finalmente, las áreas graves aun no son representativas en las unidades funcionales del ecosistema de *L. mirabilis* (Figura 5a).

Por otro lado, los ecosistemas de las áreas de distribución de *X. loweryi* están conformadas por las mismas unidades funcionales que el ave *L. mirabilis*, a diferencia no presenta lagos y lagunas (L). Por lo tanto, el B-mY (54,66 %) y B-aY (24,80 %) son las unidades funcionales de mayor degradación en riesgo moderado. Asimismo, los B-aY (8,39 %) y B-mY (1,68 %), tienen una mayor representatividad de áreas degradadas calificadas como riesgo bajo. La Ja (0,59 %), P/H (0,28 %), B-mY (0,27 %) y la Vsec (0,13 %), contienen las mayores áreas de degradación de alto riesgo. Finalmente, las áreas graves aun no son representativas en las unidades funcionales del ecosistema de *X. loweryi* (Figura 5b).

La distribución idónea de hábitat de *L. mirabilis*, abarca 365,47 Km<sup>2</sup> la modalidad de Áreas de Conservación Privadas (ACP), de las cuales, el 86,99 % de las superficies están en riesgo moderado de degradación, seguida por un riesgo bajo de degradación (7,48 %) y por último un riesgo alto de degradación (5,53 %) (Figura 6). Mientras que, la distribución idónea de hábitat de *X. loweryi* abarca Bosques de protección (BP), Santuario Nacional (SN), Áreas de Conservación Regional (ACR) y Áreas de Conservación Privadas (ACP) con superficies de 568,20 km<sup>2</sup>,

82,12 km<sup>2</sup>, 33,97 km<sup>2</sup>, y 271,72 km<sup>2</sup>, respectivamente. En las superficies de conservación de *X. loweryi*, predomina el riesgo moderado de degradación principalmente en los BP (89,56 %), SN (86,41 %), ACR (65,72 %) y ACP (79,80 %). Así mismo, las áreas naturales protegidas que tienen los mayores porcentajes de riesgo bajo de degradación son los BP (10,19 %), SN (10,02 %), ACR (34,28 %) y ACP (18,03 %). Las áreas clasificadas como riesgo alto y grave de degradación, no son muy representativas en las áreas de conservación de *X. loweryi* (Figura 6).

#### 4. Discusión

Los resultados de este estudio en su conjunto muestran que, entre las áreas ambientalmente sensibles analizadas, más del 60 % del territorio se clasifica como sensible a una degradación moderada. Esta clasificación puede ser debido a que las áreas de los cuatro índices de calidad (SQI, CQI, VQI y MQI) que conforman al ESAI están también en gran medida bajo esta clasificación. Este hallazgo confirma el papel positivo de los bosques y otras tierras boscosas para prevenir el proceso de degradación en el área de estudio, pero al mismo tiempo es un indicador de alerta temprana para aplicar un manejo adecuado de los bosques y pastizales (Salvati *et al.*, 2015). Por otro lado, utilizar los índices de calidad que a la vez derivan de los parámetros, ayudan a entender cuáles son los parámetros desencadenantes a la degradación en un determinado momento (Ait Lamqadem *et al.* 2018). Por lo tanto, si analizamos los parámetros que constituyen a los índices de calidad, en cuanto al SQI, el parámetro más desencadenante y posiblemente el más importante de la degradación de este índice es la pendiente que se clasifica de baja a alta, debido a que el área de estudio presenta pendientes desde llanas a muy empinadas. Otros estudios sostienen también que las pendientes muy empinadas contribuyen al proceso de la degradación del suelo, la erosión y deslizamientos de tierras (Bouabid *et al.*, 2010; Kosmas *et al.*, 2014; Práválie *et al.*, 2020a).

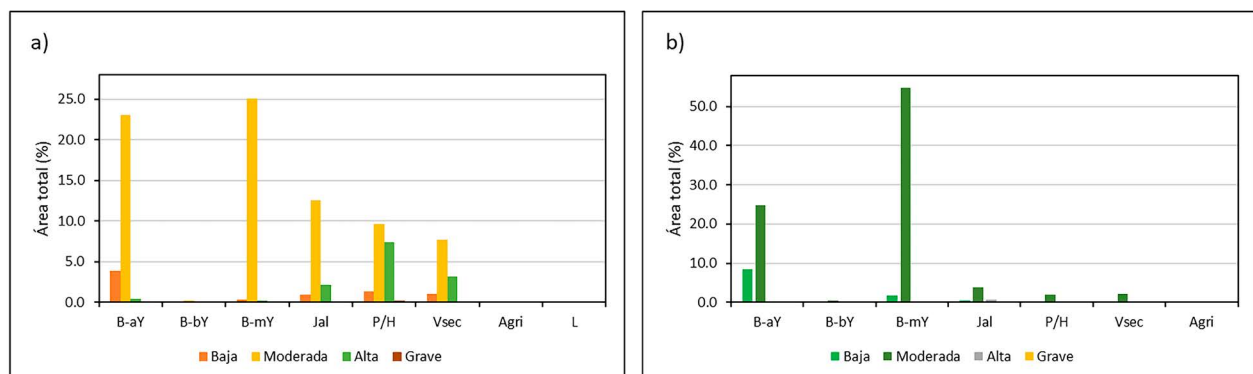


Figura 5. a) Áreas ambientalmente sensibles a la degradación de las unidades funcionales de *L. mirabilis* y b) áreas ambientalmente sensibles a la degradación de las unidades funcionales de *X. loweryi*.

Figure 5. a) Environmentally sensitive areas to degradation of *L. mirabilis* functional units and b) Environmentally sensitive areas to degradation of *X. loweryi* functional units.

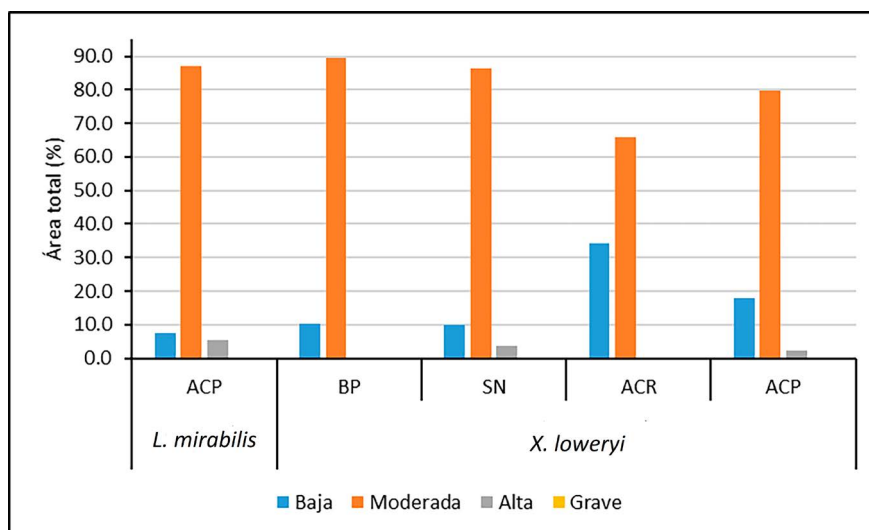


Figura 6. Áreas ambientalmente sensibles a la degradación en áreas de conservación de *L. mirabilis* y *X. loweryi*  
 Figure 6. Environmentally sensitive areas to degradation in *L. mirabilis* and *X. loweryi* conservation areas.

En lo que respecta al CQI, el parámetro que constituye a este índice y el que posiblemente contribuye más a la degradación en el área de estudio, es la erosividad clasificada desde muy baja a muy alta, sumado a las precipitaciones constantes (Kosmas *et al.*, 2014; Lahlaoui *et al.*, 2017). En ese sentido, la precipitación es considerado el parámetro más importante que afecta la degradación de la tierra y la desertificación, ya que controla el drenaje y la capacidad hídrica del suelo (Kosmas *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2019). En lo referente al VQI, el área de estudio más del 80% de superficie aún mantiene la cubierta vegetal, sin embargo, las actividades antrópicas las vuelve más vulnerable a la degradación. Específicamente, la actividad principal en el área de estudio está representada por la agricultura tradicional (sembríos de papa, cacao, café, arroz) (Leiva-Espinoza *et al.*, 2021; Salas López *et al.*, 2020; Oliva *et al.*, 2020; Iliquin Trigo *et al.*, 2020), y migratoria (Oliva *et al.*, 2017). Otra problemática de la actividad agrícola peruana esta se realiza con una delimitada planificación del territorio sin considerar su capacidad de uso mayor del suelo, lo que provoca conflictos de uso (Salas López *et al.*, 2020; Rojas Briceño *et al.*, 2019; Iliquin Trigo *et al.*, 2020). En ese sentido, es importante la priorización de las áreas menos degradadas mediante proyectos y programas, para seguir preservando su calidad, debido a que implica menos gastos económicos en la restauración (Bouabid *et al.*, 2010).

Por otro lado, de la totalidad de la idoneidad del hábitat de *L. mirabilis*, más del 70% se encuentra en riesgo moderado de degradación. Asimismo, las unidades funcionales de los ecosistemas que conforman el hábitat de la especie están en proceso de degradación, principalmente los P/H y la Vsec. De igual manera, para *X. loweryi*, más del 80 % de la superficie de la idoneidad de hábitat de la especie predomina el riesgo moderado de degradación. La Ja, P/H, B-mY y la Vsec, contienen los mayores porcentajes de áreas de degradación de riesgo

alto para *X. loweryi*. Por lo tanto, estas zonas de pastizales/herbazales, de vegetación secundaria “purma”, áreas que fueron deforestadas y convertidas a pastos cultivados, las personas no intervienen con actividades en estas áreas por un determinado número de años hasta que el suelo retorne la fertilidad natural, para ser nuevamente integradas a la actividad agropecuaria (MINAM, 2019). Por lo que, los hábitats de las dos especies se encuentran fragmentadas y degradadas y esto las expone a un mayor riesgo de extinción, además por ser especies endémicas con distribuciones restringidas a rangos altitudinales estrechos (David *et al.*, 2018; Lane & Angulo, 2018). Asimismo, la pérdida de los bosques produce reducciones en la riqueza, cambios profundos en la composición de la comunidad y pérdida de especies de interés para la conservación (Durães *et al.*, 2013).

Como parte de intervención del gobierno y ONGs, para la conservación de hábitats críticos para aves amenazadas, como *L. mirabilis* y *X. loweryi*, se crearon ANP (Lo & Monteferri, 2014; Monteferri, 2019). Sin embargo, se encontró que estas ANP que actualmente protegen territorialmente a *L. mirabilis* y *X. loweryi*, están en proceso de degradación y predomina el riesgo moderado de degradación. Si bien no predominan los riesgos de alta y grave degradación, los resultados de este estudio podrían funcionar como una alerta temprana para ayudar en la gestión de la conservación de estas ANP y la biodiversidad que se encuentra en ella. Es importante mencionar que la representación de todas las especies y hábitats en un sistema de áreas protegidas no garantiza la viabilidad a largo plazo cuando se desconocen los tamaños mínimos viables de las poblaciones y los patrones demográficos, y cuando los riesgos e impactos de las perturbaciones humanas persistentes, como la minería, la tala y la caza, están aumentando (Thiollay, 2002). Como estrategia de conservación, sobre las ANP se deben superponer patrones espaciales de prioridades de conservación para asegurar su persistencia a lo largo

del tiempo y minimizar los conflictos con las actividades humanas como estrategia de conservación útil (Cristaldi *et al.*, 2019).

Estudios futuros se recomienda evaluar el estado del hábitat de las especies mediante la instalación de parcelas permanentes y ser monitoreadas periódicamente, así mismo incorporar más especies endémicas que contribuyan de una forma más integra para la toma de decisiones para la conservación de la fauna.

## 5. Conclusiones

De la evaluación del ESAI en los departamentos de Amazonas y San Martín, se encontró que predomina el riesgo moderado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación. La distribución idónea del hábitat actual de *L. mirabilis* y *X. loweryi*, también predomina el riesgo moderado de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación. Asimismo, el riesgo moderado predomina a las unidades funcionales de los ecosistemas y las ANP las que se superponen geográficamente al hábitat de ambas especies. Por lo tanto, estos hallazgos son una alerta temprana, pero hacemos hincapié en que se efectúe una agricultura más sostenible en el área de estudio, conjuntamente apoyado de asesoramiento técnico del gobierno, para mitigar el deterioro de las tierras agrícolas y a la vez controlar el establecimiento de nuevas parcelas pastos y cultivos, que esto conlleva a la deforestación de bosques y la pérdida del hábitat de *L. mirabilis* y *X. loweryi*. La conservación de las áreas ambientalmente sensibles a la degradación de los hábitats en riesgo bajo y moderado, dependerá de las actividades que desarrollen las personas y las acciones que se tomen por parte del gobierno como la restauración, para mitigar el deterioro del hábitat y de esta manera las áreas de riesgo alto y grave no aumenten.

## Financiamiento

Este trabajo fue ejecutado con el apoyo del proyecto “Creación de los Servicios de un laboratorio de biodiversidad y conservación de recursos genéticos de especies silvestres en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - Región Amazonas”- BIODIVERSIDAD CUI 2261386, ejecutado por el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES).

## Agradecimientos

Los autores reconocen y agradecen el apoyo del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM). Finalmente, agradecemos al trabajo minucioso de dos revisores anónimos y a Elgar Barboza por la revisión final, que permitió mejorar la calidad de este manuscrito.

## Referencias

- Ait Lamqadem, A., Pradhan, B., Saber, H. & Rahimi, A., 2018. Desertification sensitivity analysis using MEDALUS model and GIS: A case study of the oases of middle Draa Valley, Morocco. *Sensors*, 18: 2230. <https://doi.org/10.3390/s18072230>
- Alarcón, A., Shanee, S., Huaman, G. & Shanee, N., 2016. Nota sobre la dieta de la Lechucita Bigotona, *Xenoglaux Loweryi* en Yamborasbamba, Amazonas. *Revista Peruana de Biología*, 23(3): 335–338. <https://doi.org/10.15381/rpb.v23i3.12872>
- Angulo, F., Palomino, W.C., Arnal-Delgado, H., Auca, C. & Uchofen, O., 2008. *Corredor de conservación de aves Marañón – Alto Mayo: Análisis de distribución de aves de alta prioridad de conservación e identificación de propuestas de áreas para su conservación*. Cusco, Perú: Asociación Ecosistemas Andinos, American Bird Conservancy.
- Arenas-Castro, S. & Sillero, N., 2021. Cross-scale monitoring of habitat suitability changes using satellite time series and ecological niche models. *Science of the Total Environment*, 784: 147172. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147172>
- Arnoldus, H.M.J., 1980. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In: M. De Boodt, & D. Gabriels (eds.), *Assessment of Erosion*. New York, USA: John Wiley and Sons. 127-132.
- Basso, F., Bove, E., Dumontet, S., Ferrara, A., Pisante, M., Quaranta, G. & Taberner, M., 2000. Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: An example covering the Agri basin (Southern Italy). *Catena*, 40(1): 19–35. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00062-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00062-4)
- BirdLife International, 1992. *Aves amenazadas de las américas (Libro Rojo IUCN)*. Cambridge, UK: BirdLife International.
- BirdLife International, 2016. *Loddigesia Mirabilis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*: E.T22688130A93183168. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22688130A93183168.en>
- BirdLife International, 2020a. *Species factsheet: Xenoglaux Loweryi*. [Data set] (<http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/long-whiskered-owl-xenoglaux-loweryi>).
- BirdLife International, 2020b. *Xenoglaux Loweryi*. *The IUCN Red List of Threatened Species*: E.T22689320A180768478. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22689320A180768478>
- BirdLife International, 2021. *Species factsheet: Loddigesia Mirabilis*. <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/marvelous-spatuletail-loddigesia>.
- Bouabid, R., Rouchdi, M., Badraoui, M., Diab, A. & Louafi, S., 2010. Assessment of land desertification based on the MEDALUS approach and elaboration of an action plan: the case study of the Souss river basin, Morocco. In: Zdruli P., Pagliai M., Kapur S., Faz Cano, A. (eds.), *Land degradation and desertification: assessment, mitigation and remediation*, Dordrecht, Netherlands: Springer. 131–145 pp. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0_10)
- Brambilla, M., Ilahiane, L., Assandri, G., Ronchi, S. & Bogliani, G., 2017. Combining habitat requirements of endemic bird species and other ecosystem services may synergistically enhance conservation efforts. *Science of the Total Environment*, 586: 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.203>
- Brinkhuizen, D.M., Shackelford, D. & Altamirano, J.O., 2012. The Long-whiskered Owlets *Xenoglaux Loweryi* of Abra Patricia. *Neotropical Birding*, 10: 39-46.
- Brooks, T.M., Pimm, S.L. & Collar, N.J., 1997. Deforestation predicts the number of threatened birds in insular southeast Asia. *Conservation Biology*, 11(2): 382–394. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.95493.x>

- Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N.E., Herold, M. & Fritz, S., 2020. Copernicus global land service: land cover 100m: collection 3, epoch 2019. Globe. [Data set]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939050>
- Carrara, E., Arroyo-Rodríguez, V., Vega-Rivera, J.H., Schon-dube, J.E., de Freitas, S.M. & Fahrig, L., 2015. Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico. *Biological Conservation*, 184: 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.014>
- Cristaldi, M.A., Sarquis, J.A., Arzamendia, V., Bellini, G.P. & Giraud, A.R., 2019. Human activity and climate change as determinants of spatial prioritization for the conservation of globally threatened birds in the southern neotropical (Santa Fe, Argentina). *Biodiversity and Conservation*, 28(10): 2531–2553. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01774-z>
- David, S., Jankowski, J.E. & Londoño, G.A. 2018. Combining multiple sources of data to uncover the natural history of an endemic andean hummingbird, the peruvian Piedtail (*Phlogophilus Harterti*). *Journal of Field Ornithology*, 89(4): 315–325. <https://doi.org/10.1111/jof.12275>
- Davies, C.W.N., Barnes, R., Butchart, S.H.M., Fernandez, M. & Seddon, N., 1997. The conservation status of birds on the Cordillera de Colán, Peru. *Bird Conservation International*, 7(2): 181–195. <https://doi.org/10.1017/S0959270900001490>
- De Pina Tavares, J., Baptista, I., Ferreira, A.J.D., Amiotte-Suchet, F., Coelho, C., Gomes, S., Amoros, R., Dos Reis, E.A., Furtado Mendes, A., Costa, L., Bentub, J. & Varela, L., 2015. Assessment and mapping the sensitive areas to desertification in an insular sahelian mountain region case study of the Ribeira Seca watershed, Santiago island, Cabo Verde. *Catena*, 128: 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.005>
- Dunn, J.C., Buchanan, G.M., Stein, R.W., Whittingham, M.J. & McGowan, P.J.K., 2016. Optimising different types of biodiversity coverage of protected areas with a case study using Himalayan Galliformes. *Biological Conservation*, 196: 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.01.015>
- Durães, R., Carrasco, L., Smith, T.B. & Karubian, J., 2013. Effects of forest disturbance and habitat loss on avian communities in a Neotropical biodiversity hotspot. *Biological Conservation*, 166: 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.07.007>
- Escalante, T., Rodríguez-Tapia, G., Linaje, M., Illoldi-Rangel, P. & González-López, R., 2013. Identification of areas of endemism from species distribution models: threshold selection and Nearctic mammals. *Tip*, 16(1): 5–17. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(13\)72073-4](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(13)72073-4)
- Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., David, S., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D. & Alsdorf, D., 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2): 2005RG000183. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Fick, S.E. & Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: New 1 Km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12): 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fidel, L., Villacorta, S., Zavala, B., Vilchez, M., Valderrama, P., Nuñez, S., Luque, G., Rosado, R., Medina, L., Vásquez, J. & Ochoa, M., 2010. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. *XV Congreso Peruano de Geología*, 3(69): 308–311.
- Friso, F., Mendive, F., Soffiato, M., Bombardelli, V., Hesketh, A., Heinrich, M., Menghini, L. & Politi, M., 2020. Implementation of Nagoya protocol on access and benefit-sharing in Peru: implications for researchers. *Journal of Ethnopharmacology*, 259: 112885. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112885>
- Garrigues, R.L., 2000. Is Marvellous Spatuletail *Loddigesia Mirabilis* threatened by hunting?. *Cotinga*, 14: 13.
- Gaucherel, C., Vezy, R., Gontrand, F., Bouchet, D. & Ramesh, B.R., 2016. Spatial analysis of endemism to redefine conservation areas in Western Ghats (India). *Journal for Nature Conservation*, 34: 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2016.09.002>
- Ghimire, A., Rokaya, M.B., Timsina, B., Bilá, K., Shrestha, U.B., Chalise, M.K. & Kindlmann, P., 2021. Diversity of birds recorded at different altitudes in Central Nepal Himalayas. *Ecological Indicators*, 127: 107730. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107730>
- Grima, N. & Singh, S.J., 2019. How the end of armed conflicts influence forest cover and subsequently ecosystem services provision? An analysis of four aase studies in biodiversity hotspots. *Land Use Policy*, 81: 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.056>
- Guzman Valqui, B.K., García-Bravo, A., Allauja Salazar, E.E., Mejía Castillo, I.A., Torres Guzmán, C., & Oliva Cruz, S.M., 2021. Endemism of woody flora and tetrapod fauna, and conservation status of the inter-Andean Seasonally Dry Tropical Forest of the Marañón valley. *Global Ecology and Conservation*, 28: e01639. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01639>
- GWA, 2017. Global wind atlas – Methodology and datasets for processing and obtaining global mean wind speed data at heights 50 m, 100 m, 200 m. [Data set] <https://globalwindatlas.info/about/method>.
- Heinrichs, J.A., Bender, D.B. & Schumaker, N.H., 2016. Habitat degradation and loss as key drivers of regional population extinction. *Ecological Modelling*, 335: 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.05.009>
- Hengl, T., 2018. Soil texture classes (USDA system) for 6 soil depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m [Data set]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2525817>
- Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G.B.M., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., Vargas, R., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Leenaars, J.G.B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S. & Kempen, B., 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, 12(2): e0169748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>
- Hosseini, S.M., Sadrafshari, S. & Fayzolahpour, M., 2012. Desertification hazard zoning in Sistan region, Iran. *Journal of Geographical Sciences*, 22(5): 885–894. <https://doi.org/10.1007/s11442-012-0970-x>
- Huang, Z., Bai, Y., Alatalo, J.M. & Yang, Z., 2020. Mapping biodiversity conservation priorities for protected areas: A case study in Xishuangbanna tropical area, China. *Biological Conservation*, 249: 108741. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108741>
- Hussain A., Tyub, S. & Kamili, A.K., 2020. Ecology, distribution mapping and conservation implications of four critically endangered endemic plants of Kashmir Himalaya. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(9): 2380–2389. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.05.006>
- Iliquin Trigoso, D., Salas López, R., Rojas Briceño, N.B., Silva López, J.O., Gómez Fernández, D., Oliva, M., Quiñones Huatangari, L., Terrones Murga, R.E., Barboza Castillo, E., & Barrera Gurbillón, M.A., 2020. Land suitability analysis for potato crop in the Jucusbamba and Tincas microwatersheds (Amazonas, NW Peru): AHP and RS-GIS approach. *Agronomy*, 10(12): 1898. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121898>

- INEI, 2018. *Peru: crecimiento y distribución de la población total, 2017. Población censada mas población omitida*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Kosmas, C., Ferrara, A., Briassouli, H. & Imeson, A., 1999. Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification. In: C. Kosmas, M. Kirkby & N. Geeson (eds.) *The Medalus project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. Luxemburg, Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities. 31-47pp.
- Kosmas, C., Kairis, O., Karavitis, C. Ritsema, C., Salvati, L., Acikalin, M., Alcalá, M., Alfama, P., Athlipheng, J., Barrera, J., Belgacem, A., Solé-Benet, J., Brito, J., Chaker, M., Chanda, R., Coelho, C., Darkoh, M., Diamantis, I., Ermolaeva, O., Fassouli, V., Fei, W., Feng, J., Fernandez, F., Ferreira, A., Gokceoglu, C., Gonzalez, D., Gungor, H., Hessel, R., Juying, J., Khatteli, H., Khitrov, N., Kounalaki, A., Laouina, A., Lollino, P., Lopes, M., Magole, L., Medina, L., Mendoza, M., Morais, P., Mulale, K., Ocakoglu, F., Ouessar, M., Ovalle, C., Perez, C., Perkins, C., Pliakas, F., Polemio, M., Pozo, A., Prat, C., Qinke, Y., Ramos, A., Ramos, J., Riquelme, J., Romanenkov, V., Rui, L., Santaloia, F., Sebego, M., Sghaier, M., Silva, N., Sizemskaya, M., Soares, J., Sonmez, H., Taamallah, H., Tezcan, L., Torri, D., Ungaro, F., Valente, S., de Vente, J., Zagal, E., Zeiliger, A., Zhonging W. & Zio-gas, A. 2014. Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring: methodological approach. *Environmental Management*, 54(5): 951-970. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0109-6>
- Lahloui, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S. & Moukrim, S., 2017. Desertification Assessment Using MEDALUS Model in Watershed Oued El Maleh, Morocco. *Geosciences*, 7(3): 50. <https://doi.org/10.3390/geosciences7030050>
- Lane, D.F. & Angulo, C.F., 2018. The Distribution, Natural history, and status of the Long-whiskered Owllet (*Xenoglaux Loweryi*). *Wilson Journal of Ornithology*, 130(3): 650-657. <https://doi.org/10.1676/17-061.1>
- Lavado Contador, J.F., Schnabel, S., Gómez Gutiérrez, M. & Pulido Fernández, M., 2009. Mapping sensitivity to land degradation in Extremadura. SW Spain. *Land Degradation & Development*, 607: 591-607. <https://doi.org/10.1002/ldr.884>
- Lee, E.J., Piao, D., Song, C., Kim, J., Lim, C.H., Kim, E., Moon, J., Kafatos, M., Lamchin, M., Jeon, S.W. & Lee, W.K., 2019. Assessing environmentally sensitive land to desertification using MEDALUS method in Mongolia. *Forest Science and Technology*, 15(4): 210-220. <https://doi.org/10.1080/21580103.2019.1667880>
- Leiva-Espinoza, S., Oliva-Cruz, M., Rubio, K. & Milla-Pino, M., 2021. Caracterización de Las Unidades Agropecuarias de la provincia de Rodríguez de Mendoza Amazonas, Perú. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 17(4): 667-678.
- Lo, J. & Monteferrri, B., 2014. *Conservamos por naturaleza. 10 años promoviendo la conservación privada en el Perú*. Lima, Perú: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- MINAM, 2014. *Estrategia nacional de diversidad biológica al 2021 (Plan de acción 2014 - 2018)*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
- MINAM, 2018a. Listado de especies CITES peruanas de fauna silvestre. Lima, Perú: Dirección General de Diversidad Biológica. <https://www.minam.gob.pe/simposio-peruano-de-especies-cites-wp-content/uploads/sites/157/2018/08/Listado-FAUNA-CITES-FINAL.pdf>
- MINAM, 2018b. *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
- MINAM, 2019. *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú - Memoria Descriptiva*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
- Momirović, N., Kadović, R., Perović, V., Marjanović, M. & Baumgertel, A., 2019. Spatial assessment of the areas sensitive to degradation in the rural area of the municipality Čukarica. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1): 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.isw-cr.2018.12.004>
- Monteferrri, B., 2019. *Áreas de conservación privada en el Perú: avances y propuestas a 20 años de su creación*. Lima, Perú: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- Núñez-Zapata, J., Pollack-Velásquez, L.E., Huamán, E., Tiravanti, J. & García, E., 2016. A Compilation of the birds of La Libertad region, Peru. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1): 200-215. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.016>
- O'Neill, J.P. & Graves, G.R., 1977. A new genus and species of Owl (Aves: Strigidae) from Peru. *The Auk*, 94: 409-16.
- Oliva, M., Maicelo, J.L. & Bardales, W., 2017. Propiedades físico-químicas del suelo en diferentes estadios de la agricultura migratoria en el área de conservación privada 'Palmeras de Ocol', distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas (Departamento de Amazonas). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(1): 9-21. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.344>
- Oliva, M., Rubio, K., Epquin, M., Marlo, G. & Leiva, S., 2020. Cadmium uptake in native cacao trees in agricultural lands of Bagua, Peru. *Agronomy*, 10(10): 1551. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101551>
- Paul, S., Sarkar, D., Patil, A., Ghosh, T., Talukdar, G., Kumar, M., Habib, B., Nigam, P., Mohan, D., Pandav, B. & Mondol, S., 2020. Assessment of endemic Northern Swamp Deer (*Rucervus Duvaucelii Duvaucelii*) distribution and identification of priority conservation areas through modeling and field surveys across North India. *Global Ecology and Conservation*, 24: e01263. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01263>
- Perović, V., Kadović, R., Đurđević, V., Pavlović, D., Pavlović, M., Čakmak, D., Mitrović, M. & Pavlović, P., 2021. Major drivers of land degradation risk in Western Serbia: current trends and future scenarios. *Ecological Indicators*, 123: 107377. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107377>
- Plenge, H., Williams, R., Valqui, T., & Altamirano, J., 2004. *Aves de las nubes. Birds of the clouds*. Lima, Perú: Agencia de Cooperación Técnica Alemana.
- Pluske, W., Murphy, D., & Sheppard, J., 2021. Total organic carbon, Fact Sheets. [http://www.soilquality.org.au/factsheets/organic-carbon?fbclid=IwAR10mwXc9X0OI-HodN7ptpSD1PiLjsfU0X0ZPwBy3\\_Eo2E2dViqSR\\_G2s1zQ](http://www.soilquality.org.au/factsheets/organic-carbon?fbclid=IwAR10mwXc9X0OI-HodN7ptpSD1PiLjsfU0X0ZPwBy3_Eo2E2dViqSR_G2s1zQ).
- Prăvălie, R., Săvulescu, I., Patriche, C., Dumitrașcu, M. & Bandoc, G., 2017. Spatial assessment of land degradation sensitive areas in southwestern Romania using modified MEDALUS method. *Catena*, 153: 114-30. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.011>
- Prăvălie, R., Patriche, C., Săvulescu, I., Sîrodoev, I., Bandoc, G. & Sfîcă, L., 2020a. Spatial assessment of land sensitivity to degradation across Romania. A quantitative approach based on the modified MEDALUS methodology. *Catena*, 187: 104407. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104407>
- Prăvălie, R., Patriche, C., Țișcovschi, A., Dumitrașcu, M., Săvulescu, I., Sîrodoev, I. & Bandoc, G., 2020b. Recent spatio-temporal changes of land sensitivity to degradation in Romania due to climate change and human activities: an approach based on multiple environmental quality indicators. *Ecological Indicators*, 118: 106755. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106755>
- Reino, L., Triviño, M., Beja, P., Araújo, M.B., Figueira, R. & Segurado, P., 2018. Modelling landscape constraints on farmland bird species range shifts under climate change. *Scien-*



- ce of the Total Environment, 625: 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.007>
- Rojas Briceño, N. B., Barboza Castillo, E., Maicelo Quintana, J. L., Oliva Cruz, S.M. & Salas López, R., 2019. Deforestación en la Amazonía peruana : índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 2538: 1–34. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Salas López, R., Gómez Fernández, D., Silva López, J.O., Rojas Briceño, N.B., Oliva, M., Terrones Murga, R.E., Iliquin Trigoso, D., Barboza Castillo, E. Barrena Gurbillón, M.A., 2020. Land suitability for coffee (*Coffea Arabica*) growing in Amazonas, Peru: integrated use of AHP, GIS and RS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11): 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110673>
- Salvati, L. & Bajocco, S., 2011. Land sensitivity to desertification across Italy: Past, Present, and Future. *Applied Geography*, 31(1): 223–31. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.04.006>
- Salvati, R., Salvati, L., Corona, P., Barbati, A. & Ferrara, A., 2015. Estimating the sensitivity to desertification of Italian forests. *IForest*, 8: 287–294. <https://doi.org/10.3832/ifor1111-008>
- SERFOR, 2018. *Libro rojo de la fauna silvestre amenazada del Perú*. Lima, Perú: Servicio Forestal y de Fauna Silvestre.
- Shaharum, N.S.N., Shafri, H.Z.M., Gambo, J. & Abidin, FAZ., 2018. Mapping of Krau Wildlife Reserve (KWR) protected area using Landsat 8 and supervised classification algorithms. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10: 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.01.002>
- SPDA, 2021. Por tercera vez: Perú logra el primer puesto en el Global Big Day. <https://www.actualidadambiental.pe/por-tercera-vez-peru-logra-el-primer-puesto-en-el-global-big-day/>.
- Thiollay, J.M., 2002. Bird diversity and selection of protected areas in a large Neotropical forest tract. *Biodiversity and Conservation*, 11(8): 1377–1395. <https://doi.org/10.1023/A:1016269813160>
- Torreilha, S., Ochoa-Quintero, J.M., Laps, R.R. & Ribeiro, D.B., 2018. Records of threatened bird and mammal species in Mato Grosso Do Sul state, Brazil. *Data in Brief*, 17: 1326–1330. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.02.052>
- Trabucco, A., & Zomer, R.J., 2018. Global Aridity Index and Potential Evapo-Transpiration ( ET0 ) Climate Database v2 Methodology and Dataset Description. [Data set] <https://cgiarcsi.community/2019/01/24/global-aridity-index-and-potential-evapotranspiration-climate-database-v2/>.
- Vaissi, S., & Sharifi, M., 2019. Integrating multi-criteria decision analysis with a GIS-based siting procedure to select a protected area for the Kaiser’s mountain newt, *Neurergus kaiseri* (Caudata: Salamandridae). *Global Ecology and Conservation*, 20: e00738. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00738>
- Van Nieuwenhuysse, D, Genot, J.C., & Johnson, D.H. 2008. *The Little Owl: Conservation, Ecology and Behavior of Athene Noctua*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Vargas, J., 2010. *Clima, Informe Temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Amazonas*. Convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos, Perú. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-santo-toribio-de-mogrovejo/bioecologia/informe-de-arquitectura-sostenible/21981422>
- Vieira, R.M.S.P., Tomasella, J., Alvalá, R.C.S., Sestini, M.F., Affonso, A.G., Rodriguez, D.A., Barbosa, A.A., Cunha, A.P.M.A., Valles, G.F., Crepani, E., de Oliveira, S.B.P., de Souza, M.S.B., Calil, P.M., de Carvalho, M.A., Valeriano, D.M., Campello, F.C.B. & Santana, M.O., 2015. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, 6(1): 347–360. <https://doi.org/10.5194/se-6-347-2015>
- Villegas Mori, E.M., Pérez Vilca, W. & Altamirano, O., 2009. *Resultados de la zonificación ecológica y económica del departamento de San Martín*. Vol. 1982. Lima, Perú: Gobierno regional de San Martín.
- Walentowski, H., Heinrichs, S., Hohnwald, S., Wiegand, A., Heinen, H., Thren, M., Gamarra Torres, O.A., Sabogal, A.B. & Zerbe, S., 2018. Vegetation succession on degraded sites in the Pomacochas basin (Amazonas, N Peru) - Ecological options for forest restoration. *Sustainability*, 10(3): 1–17. <https://doi.org/10.3390/su10030609>
- Wijitkosum, S., 2020. Reducing vulnerability to desertification by using the spatial measures in a degraded area in Thailand. *Land*, 9(2): 49. <https://doi.org/10.3390/land9020049>
- Xu, D., You, X. & Xia, C., 2019. Assessing the spatial-temporal pattern and evolution of areas sensitive to land desertification in north China. *Ecological Indicators*, 97: 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.005>
- Zinngrebe, Y., 2016. Learning from local knowledge in Peru - Ideas for more effective biodiversity conservation. *Journal for Nature Conservation*, 32: 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2016.03.006>

**Material Suplementario**

Tabla A1. Descripción del material parental en los departamentos de Amazonas y San Martín

	<b>peso</b>	<b>código</b>
Laguna	0	0
Río	0	0
Andesitas afaníticas a porfíricas de color gris a gris oscura, brecha volcánicas clastos angulosos a sub angulosos andesíticos y areniscas rojas	1,05	1
Latitas, porfidos riolíticos, tobas traquíticas.	1,05	2
Calizas arenosas negras, bituminosas con olor fetido, capas delgadas, areniscas calcareas parduzcas.	1,55	3
Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige.	1,55	4
Calizas arenosas, areniscas calcareas. Lutitas grises a negras, calizas bituminosas nodulares	1,55	5
Calizas bioclásticas, areniscas y lutitas negras	1,55	6
Calizas blancas en bancos medianos a gruesos, calizas arenosas y areniscas calcáreas con limoarcillitas.	1,55	7
Calizas compactas de color gris a beige, calizas arcillosas a negras	1,55	8
Calizas en capas medianas, calizas nodulares, margas y areniscas calcareas	1,55	9
Calizas gris azulinas en bancos medios a gruesos con nódulos de chert.	1,55	10
Calizas gris claras y oscuras en estratos gruesos, calcoarenitas amarillentas.	1,55	11
Calizas gris oscuras a gris azuladas asociados a secuencias margosas verdosas.	1,55	12
Calizas micríticas y calizas margosas con nódulos calcáreos	1,55	13
Calizas microlíticas y bioclásticas, margas y limoarcillitas	1,55	14
Constituida por bloques rocosos heterométricos y homogéneos angulosos a sub angulosos.	1,55	15
Arenas semiconsolidadas en bancos medianos a gruesos, de color pardo amarillenta a rojo marrón.	1,6	16
Arenisca cuarzosa blanco - amarillenta, estratificación oblicua, limolita gris	1,6	17
Arenisca gris de grano fino - medio, limonita y arcillas grises y areniscas conglomerádicas.	1,6	18
Areniscas blancas	1,6	19
Areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y calizas arenosas	1,6	20
Areniscas conglomerados, brechas, lavas y tobas de cenizas	1,6	21
Areniscas cuarzosas blancas	1,6	22
Areniscas cuarzosas blancas a gris claro, microconglomerados cuarzosos, en la parte media a inferior presenta intercalaciones de lutita y algunos lentes de carbón	1,6	23
Areniscas cuarzosas blancas, lutitas en la base	1,6	24
Areniscas cuarzosas blanquecinas, limoarcillitas grises y niveles de carbón.	1,6	25
Areniscas cuarzosas de color blanquecinos granulometría media a gruesa.	1,6	26
Areniscas cuarzosas limolitas y lutitas con contenido de materia orgánica.	1,6	27
Areniscas cuarzosas y lutitas grises.	1,6	28
Areniscas de grano fino a grueso de color rojizo, limolitas rojizas	1,6	29
Areniscas de grano fino de color rojizo, areniscas conglomerádicas, niveles tobáceos, limolitas rojizas y gris blanquecinas.	1,6	30
Areniscas de grano fino, gris blanquesinas, lodolitas y limolitas arcillosas.	1,6	31
Areniscas de grano grueso a medio, lutitas y margas grises	1,6	32
Areniscas de grano grueso y conglomerados rojizos arcillitas, lodolitas y margas	1,6	33
Areniscas de grano medio a grueso de color rojizo a pardo amarillento, conglomerados	1,6	34
Areniscas feldespáticas de grano medio a grueso, rojizas, conglomerados y limolitas rojizas.	1,6	35
Areniscas grises y blanquecinas en bancos gruesos, arcillitas amarillentas y verdosas en bancos con niveles de carofitas.	1,6	36
Areniscas limosas, gris a rojizos, arcillitas calcáreas, margas y conglomerados de guijarros.	1,6	37

Tabla A1. Descripción del material parental en los departamentos de Amazonas y San Martín

Areniscas, calcarenitas de coloraciones pardas a rojizas, arcillitas y areniscas limosas de coloraciones rojizas a beige.	1,6	38
Areniscas, conglomerados y lutitas grises	1,6	39
Areniscas, limolitas rojizas a rosadas pardo grises, conglomerados	1,6	40
Brechas y conglomerados, brechas mal seleccionadas oligomícticas, limoarcillitas rojizas	1,6	41
Conglomerado, cuarcitas, lutitas intercaladas con areniscas.	1,6	42
Conglomerados de clastos de rocas intrusivas, areniscas cuarzosas rojas y areniscas feldespáticas.	1,6	43
Conglomerados de clastos de rocas intrusivas, areniscas cuarzosas rojas, areniscas feldespáticas con matriz limosa de color amarillo y limoarcillas rojas.	1,6	44
Conglomerados de clastos de rocas intrusivas, areniscas cuarzosas rojas, areniscas feldespáticas con matriz limosa de color amarillo y lentes de limoarcillas rojas.	1,6	45
Conglomerados polimícticos con rodados de roca intrusiva, matriz arenosa de grano medio.	1,6	46
Conglomerados, arenas, limos.	1,6	47
Conglomerados, areniscas con bloques de roca, areniscas tobáceas, limolitas y flujos piroclásticos dacíticos	1,6	48
Diabasa	1,6	49
Diorita	1,6	50
Diorita, granodiorita	1,6	51
Diorita, tonalita	1,6	52
Domo de Sal	1,6	53
Domo de yeso	1,6	54
Gneis	1,6	55
Granito	1,6	56
Granito, granodiorita	1,6	57
Granito, tonalita	1,6	58
Granodiorita, monzogranito	1,6	59
Granodiorita, tonalita	1,6	60
Lutitas bituminosas a limoarcillitas	1,6	61
Lutitas calcareas a silíceas, calizas grises	1,6	62
Lutitas grises, caliza grisácea.	1,6	63
Lutitas negras, arcillitas margosas y limolitas con restos de fauna marina.	1,6	64
Lutitas oscuras, arcillas margosas, limolitas, areniscas finas	1,6	65
Lutitas verdes azuladas, limoarcillitas verdes parduscas y niveles de carbón	1,6	66
Monzogranito, sienogranito	1,6	67
Pórfido riolítico	1,6	68
Riolita	1,6	69
Tonalita, granodiorita	1,6	70
Tonalita, granodiorita, diorita	1,6	71
Tufos dacíticos riolíticos, brechas, tufos andesíticos.	1,6	72
Arcillas fosilíferas y calizas margosas delgadas.	1,65	73
Esquisto	1,65	74
Esquisto, gneis	1,65	75
Lodolitas, arcillas, arenas gruesas, limos y conglomerados.	1,65	76
Margas, arcillitas, niveles de caliza y areniscas tobáceas	1,65	77
Metasedimento	1,65	78

Tabla A1. Descripción del material parental en los departamentos de Amazonas y San Martín

Acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición.	1,7	79
Acumulación de grava, arena, limo y arcillas con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición.	1,7	80
Acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas transportadas en el cauce de río y quebradas.	1,7	81
Ciudad / Pueblo	1,7	82
Gravas y arenas en matriz limoarenosa, incluye conos aluviales.	1,7	83
Gravas, arenas en matriz limoarenosas. Arenas y materiales residuales no consolidados.	1,7	84
Arcillitas rojo ladrillo, limolitas de color gris púrpura a gris verdosas amarillento, areniscas de grano fino	1,75	85
Limos, arenas y niveles orgánicos.	1,75	86
Depósitos de material fluvio-aluvial semiconsolidados de conglomerados de rocas intrusivas.	2	87
Depósitos morrénicos, bloques angulosos rellenos con arcillas, limos y arenas.	2	88