

# LOS EFECTOS ECOLÓGICOS DE LA INFRAESTRUCTURA CONVENCIONAL Y SU IMPACTO SOBRE LAS SOCIEDADES ALTOANDINAS DEL DEPARTAMENTO DE TACNA AL EXTREMO SUR PERUANO EN EL AÑO 2023 ¿MITO O REALIDAD CIENTÍFICA?

THE ECOLOGICAL EFFECTS OF CONVENTIONAL INFRASTRUCTURE AND ITS IMPACT ON THE HIGH-ANDEAN SOCIETIES OF SOUTHERN PERU BY THE YEAR 2023: MYTH OR SCIENTIFIC REALITY?

Marco Navarro\* ORCID 0000-0003-0516-5990 Giovanni Aragón\*\* ORCID: 0000-0001-7972-130X  
Eduardo Oyague\*\*\* ORCID 0000-0003-3376-021X Javier Ignacio\*\*\*\* ORCID: 0000-0001-6089-8957  
Pablo Franco\*\*\*\*\* ORCID 0000-0002-5689-9321

## Resumen

La fragmentación de los ecosistemas naturales viene siendo un grave problema mundial, ocasionado por la construcción de infraestructura convencional, que, si bien ha contribuido al desarrollo económico de las grandes ciudades, su instalación y funcionamiento afecta socioeconómicamente a diferentes poblaciones rurales, creando en ellas condiciones y sensaciones de marginalidad y pobreza. Por ello, se ha evaluado mediante la ecología del paisaje y un software especializado, si aquella construida desde el año 1975 en la *puna* del Departamento de Tacna, ha provocado efectos ecológicos sobre sus ecosistemas y sociedades altoandinas, determinándose que 267,3 km<sup>2</sup> de infraestructura convencional (5.51% de la superficie total) ha provocado el efecto *barrera* sobre el Suri y el efecto *área* en diversas especies de flora silvestre, reduciendo su abundancia, diversidad y cobertura, pero también del efecto *borde*, evidenciado por cambios en la humedad relativa y temperaturas del suelo y ambiente encontradas. La interacción del hombre rural con su entorno natural satisface sus necesidades humanas, comprobándose que el reemplazo parcial o total de los ecosistemas, ha limitado las condiciones básicas de desarrollo, como el acceso a recursos y la exclusión en las decisiones sobre ellos, generando un clima de injusticia, provocando reclamos y oposiciones durante los conflictos sociales pasados que aún son latentes, por lo que la implementación de mejores mecanismos de evaluación del impacto ambiental, de gestión territorial, de restauración y desarrollo rural, basado en la conservación de sus ecosistemas y las compensaciones o retribuciones efectivas por servicios ecosistémicos, garantizaran el desarrollo y la paz social en las sociedades altoandinas de la ecorregión Puna.

**Palabras claves:** Impacto ambiental, Desarrollo sostenible, Fragmentación, Ecosistemas de Puna, Tacna, Andes

## Abstract

*The fragmentation of natural ecosystems has become a serious global problem caused by the construction of conventional infrastructure. While this development has contributed to the economic growth of large cities, its installation and operation have socio-economic impacts on various rural populations, creating conditions and feelings of marginalization and poverty among them. Therefore, an evaluation has been conducted using landscape ecology and specialized software to assess whether the infrastructure built since 1975 in the highlands of the Tacna Department has had ecological effects on its ecosystems and high Andean societies. It has been determined that 267.3 km<sup>2</sup> of conventional infrastructure (5.51% of the total surface) has caused a barrier effect on the Suri and an area effect on various wild plant species, reducing their abundance, diversity, and coverage. Additionally, there is evidence of the edge effect, as indicated by changes in relative humidity and soil and ambient temperatures. The interaction of rural people with their natural environment fulfills their human needs, and it has been observed that the partial or total replacement of ecosystems has limited essential development conditions, such as access to resources and exclusion from decision-making about them. This replacements have generated a climate of exclusion and injustice, leading to protests and opposition in past social conflicts that still linger. Therefore, implementing better mechanisms for environmental impact assessment, territorial management, restoration, and rural development based on the conservation of ecosystems and adequate compensation for ecosystem services will ensure the development and social peace in the high Andean societies of the Puna ecoregion.*

**Keywords:** Environmental Impact, Sustainable Development, Fragmentation, Puna Ecosystems, Tacna, Andes

Fecha de recepción: 05-10-2022 Fecha de aceptación: 16-10-2023

\* Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada de Tacna. Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. Correo electrónico: marnavarro@upt.pe

\*\* Colección Zoológica de Tacna, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. Correo electrónico: gioralva@gmail.com

\*\*\* Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central. Correo electrónico: eoyague@uniscjsa.edu.pe

\*\*\*\* Herbario Takana, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. Correo electrónico: jmignacionet@gmail.com

\*\*\*\*\* Grupo de investigación de zonas áridas, desiertos y cambio climático – ARIDESA, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. Correo electrónico: pfranco@unjbg.edu.pe

Los acelerados cambios en el uso de suelo para transformar ecosistemas naturales en sistemas productivos masivos, tierras de cultivo, urbes, minas, entre otros, han modificado parcial o totalmente la estructura natural de gran parte de la superficie de la tierra (Reid et al. 2005), y si bien estos han generado múltiples beneficios económicos a la grandes ciudades, también han provocado fenómenos perjudiciales a las poblaciones rurales, que por tradición, cultura o cosmovisión, son dependientes de su entorno natural y de los recursos, para su subsistencia (Camus et al. 2023). La fragmentación y otras modificaciones del ambiente alteran el funcionamiento normal de la naturaleza y, consecuentemente, generan un grave desequilibrio socio ambiental, que contribuye a la brecha del desarrollo más importante del siglo XXI, la incapacidad continua de las áreas y poblaciones rurales para equipararse en los estándares de calidad de vida, servicios y oportunidades, similares a la de los entornos urbanos (Camarero et al. 2019).

La infraestructura convencional es llamada también gris. Se refiere a las instalaciones y estructuras construidas por el ser humano, como carreteras, puentes, edificios, sistemas de riego, alcantarillado, etc., que son esenciales para el funcionamiento de una sociedad moderna, pero que al superponerse total o parcialmente en un ecosistema natural, lo divide en fragmentos del mismo tipo (Vila et al. 2006), pero con tamaños, formas, complejidad, regularidad y bordes distintos (Arroyo y Mandujano 2009; Rosselló y Lorenzo 2017 y Turner et al. 2001), provocando una serie de cambios en la dinámica ecológica natural, conocidos como efectos ecológicos derivados de la fragmentación (Santos y Tellería 2006), siendo los más comunes, el efecto área, que representa la pérdida del hábitat disponible y la disminución de la densidad poblacional de las especies que lo habitan y el efecto barrera, entendido como el aumento entre la distancia de los fragmentos y dificultad para el intercambio de individuos y el efecto borde, que ocasiona una mayor exposición del hábitat fragmentado a múltiples interferencias ambientales procedentes de los hábitats periféricos.

Si bien todo lo descrito pareciera tener solamente una connotación ambiental o, que desde un punto de vista ecológico, esto puede entenderse únicamente como procesos de degradación, disminución o pérdida de biodiversidad y de su capacidad para producir bienes y servicios ecosistémicos, para finalmente extinguirse (Bocco 2010), esta problemática descrita trasciende aún más allá, especialmente porque las *punas* del territorio sudamericano son espacios que social, cultural y ancestralmente, han sido poblados durante siglos por un conjunto de importantes sociedades y pueblos originarios, cuyos derechos fundamentales han sido vulnerados por el modelo global de desarrollo económico, prioritariamente dominado por el extractivismo (Uribe y Panes 2022). Las limitaciones normativas de acceso a los recursos

y ahora, una menor disponibilidad de los mismos los afecta fuertemente (Rutledge 2003), puesto que la gestión y control de los bienes naturales, son los que han formado sus identidades específicas y cualquier modificación de sus patrones de extracción y disponibilidad de recursos, influye en las transformaciones de su identidad social (Bustos et al. 2019).

Es por ello que, conociéndose que en la *puna* del Departamento de Tacna se ha generado una acelerada transformación de su superficie natural por infraestructura convencional, desde el año 1975, especialmente de aquella que sirve para extraer, acumular y trasladar el recurso hídrico hacia las zonas bajas, motivado por la escasez y demanda hídrica de las grandes ciudades que allí se ubican, o por la construcción de carreteras que responden a las necesidades de las nuevas formas aceleradas de vida, es que se planteó como objetivo, el evaluar el impacto de los efectos ecológicos generados por esta infraestructura instalada hasta el año 2021, mediante la aplicación de los principios de la ecología del paisaje, disciplina científica que nace de la combinación de la geografía y la biología, y que propone el diagnóstico espacial del paisaje y de todos sus componentes, para encontrar alternativas de uso adecuado del territorio, mediante la estrecha convivencia, la cual ha servido también, para la planificación en diversos lugares (Chalfoun et al. 2002; Fahrig 2003), utilizando software especializados, como los sistemas de información geográfica y complementos estadísticos (Rempel et al. 2012). Una agravante adicional es que muchas de estas obras fueron edificadas sin contar con estudios de impacto socio ambiental, debido al retraso en la implementación de la normativa ambiental en el Perú y que rige, obligatoriamente, a partir del año 2009.

Describiendo y entendiendo claramente este problema ecológico, se planteó el relacionamiento con el impacto que estos efectos han provocado sobre las sociedades altoandinas, a través del vínculo ancestral que existe entre sus necesidades básicas y los servicios que solo los brindan los ecosistemas, evaluar su dependencia, evidenciar sus consecuencias y justificar científicamente, las posiciones críticas que las comunidades altoandinas pusieron de manifiesto durante los conflictos sociales que en su momento ocasionó la construcción de infraestructura convencional, principalmente para afianzamiento hídrico (Pino 2021; Proyecto Especial Tacna s.f. y Radio Uno 2016), además de cuestionar las políticas públicas nacionales, como el sistema nacional de evaluación del impacto ambiental [SEIA], que no considera la fragmentación como una variable de evaluación, y la debilidad de este sistema para obligar tajantemente la implementación de mecanismos de integración paisajística entre el desarrollo humano con la conservación de la naturaleza (Little y Lara 2010), proponiendo mecanismos que intenten solucionar lo generado en el pasado, pero principalmente, para que no se repita en el futuro.

## Materiales y Métodos

### Descripción del área de estudio

La ecorregión *puna* se ubica al norte y al sur del Trópico de Capricornio, en el altiplano peruano, chileno, argentino y boliviano, con altitudes de más de 3.000 m, extendiéndose desde San Juan en Argentina (32°) hasta el norte de Cajamarca (10°), en Perú (Rodríguez et al. 2012). En el departamento de Tacna, la ecorregión *puna* representa una superficie de 4.853 km<sup>2</sup> (Centro de Datos para la Conservación de la Universidad Agraria de la Molina, 2006) y está comprendida en las provincias de Candarave, Tarata y Tacna, a más de 3.800 de altitud limitando con los departamentos de Moquegua y Puno por el noreste y con los países de Bolivia y Chile al suroeste (Figura 1a). De acuerdo con el Ministerio del Ambiente [MINAM 2018] en la ecorregión *puna* se distribuyen siete tipos de ecosistemas: bofedal, bosque relicto altoandino, lagunas, matorrales, pajonales de puna seca, zona periglacial y zona agrícola. La densidad humana es muy baja, siendo la principal actividad económica el pastoreo de camélidos sudamericanos para la producción de fibra y carne de llama o alpaca. La ocupación del territorio se da principalmente por comunidades campesinas con extensos predios, pero con alta insatisfacción por la escasa presencia de los organismos públicos o privados que atiendan los problemas y necesidades básicas propias del desarrollo rural.

### Identificación de la infraestructura convencional

Se utilizaron programas o software, conocidos como sistemas de información geográfica, que son complejos y completos sistemas que recopilan, organizan, administran, analizan, comparten y distribuyen información geográfica del territorio, tales como el ArcGIS v10.5 (ESRI 2018) y el QGIS v3.16 (QGIS Development Team 2019), con los que se mapearon (cartografiaron) la infraestructura convencional construida desde el año 1975 al 2021. Parte de ella se obtuvo del estudio de la Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Tacna, el más completo diagnóstico territorial del departamento elaborado durante el proceso de ordenamiento territorial (Ordenanza Regional N° 016-2012-CR/GOB.REG.TACNA 2013), pero principalmente, por información construida durante la identificación, clasificación y georeferenciación con GPS en viajes de campo (Figura 1b), sumado a técnicas de interpretación visual de imágenes satelitales disponibles en internet (Pacheco et al. 2019), a través del software libre *Google Earth Pro* y también con imágenes satelitales Landsat 5 TM o Quickbird de píxel de 2,4 m × 2,4 m descargadas de portales oficiales.

### La fragmentación de los ecosistemas de Puna

Para esto, utilizando el QGIS v3.16, se interceptaron los polígonos del Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú, compendio geográfico actualizado elaborado a escala nacional de la distribución de sus ecosistemas en todo territorio peruano (MINAM 2018), junto a los de los del Mapa de Ecorregiones

del Perú (CDC UNALM 2006) y del límite departamental de Tacna, para finalmente cortarlos, obteniéndose un nuevo polígono con solo los ecosistemas de la ecorregión *puna* del departamento de Tacna, en su estado natural, es decir, aun sin presencia de infraestructura convencional, el que fue grabado con el nombre *EcosistemasSIC.shp*. Como segundo paso, esta capa geográfica fue interceptada con la capa de la infraestructura convencional creada en el proceso anterior, para cortar los ecosistemas en su estado natural, superpuesta la infraestructura y representada la situación de los ecosistemas al año 2021, archivo que fue grabado como *EcosistemasCIC.shp*. Los dos archivos vectoriales (el del estado natural, sin infraestructura, y el segundo, el fragmentado por infraestructura convencional) fueron sometidos al análisis espacial estadístico, que brinda una extensión gratuita del ArcGIS, Patch Analyst Tools v5.2 (Rempel et al. 2012), con el que se calcularon los índices de fragmentación de cada tipo de ecosistema, y con los que generan tablas de sus valores. Para determinar el ecosistema más fragmentado por infraestructura convencional, se evaluó la variación de cinco índices de fragmentación, que Santos y Tellería (2006) consideran como los principales: la disminución del área de clase [CA], el tamaño medio de los fragmentos [MPS] y, simultáneamente, el aumento del número de fragmentos [NumP], del borde total [TE] y de la densidad del borde [ED].

Asimismo, se evaluó el cambio simultáneo de los índices de forma [SI], Relación Perímetro Área [PAR] y la Dimensión Fractal [FD] en el ecosistema más fragmentado, para ubicar zonas donde hayan cambiado radicalmente por la infraestructura convencional, llamadas en adelante Zona 2, pero también aquellos sitios donde aún se mantienen sus condiciones al estado natural, a la que se denominó Zona 1, los cuales se representaron diferenciándolos, utilizando escala de colores, para posteriormente ser utilizados en la determinación de los efectos ecológicos de área y borde.

### Determinación del efecto ecológico de barrera

A cada tipo de infraestructura convencional cartografiada (carretera, puente, canal, represa, etc.) se le asignaron valores de 0 al 4, de acuerdo con el nivel de barrera que vienen provocando a la fauna silvestre, y el resultado fue representado en escala de colores (desde muy bajo, verdes, a muy altos, rojo). Con esta ponderación se evaluó si sucede este efecto en el nicho ecológico del Suri o *Rhea tarapacensis* (papel funcional dentro del hábitat delimitado físicamente por Navarro et al. 2021a). Esta ave no voladora del Ande es emblemática del altiplano Sudamericano, en Perú, Chile, Bolivia y Argentina, y presenta diferentes niveles de categorización, pero solo en Perú se presenta el más alto, en peligro crítico [CR] de extinción, según la lista oficial de especies del Perú (El Peruano 2014). También se utilizaron las coordenadas de ubicación de los individuos que fueron reportados durante el segundo Censo Nacional (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR] 2018).

**Determinación del efecto ecológico de área**

Se realizaron evaluaciones periódicas de la cobertura vegetal y de la abundancia de la flora silvestre, siguiendo la Guía de Evaluación del Ministerio del Ambiente (MINAM 2015) dentro de ocho parcelas de 1m<sup>2</sup>, cuatro en cada zona (zona 1 o 2 de acuerdo a al nivel de fragmentación determinado), y con ayuda de un accesorio de PVC con las dimensiones requeridas (Figura 1c), durante la temporada seca (de agosto a septiembre) y en la húmeda (de noviembre a diciembre), del año 2021. Asimismo, la cobertura vegetal se calculó mediante el porcentaje de área que ocupa el cuerpo de cada planta o grupos de plantas de cada especie, en relación a la superficie total de la parcela.

Además, los índices de biodiversidad se calcularon mediante las siguientes fórmulas:

Shannon-Wiener (H') (MINAM 2015):

$$H' = - \sum_{i=1}^S (Pi)(Pi)$$

Pielou (J):

$$J' = \frac{H'}{H' \max}$$

Donde H' max es el logaritmo natural de S. (Moreno 2001)

Simpson (DSi):

$$Dsi = \sum_{i=1}^S Pi^2$$

Dónde: pi: igual a la proporción entre ni y N y ni: número de individuos de la especie i. (Moreno 2001)

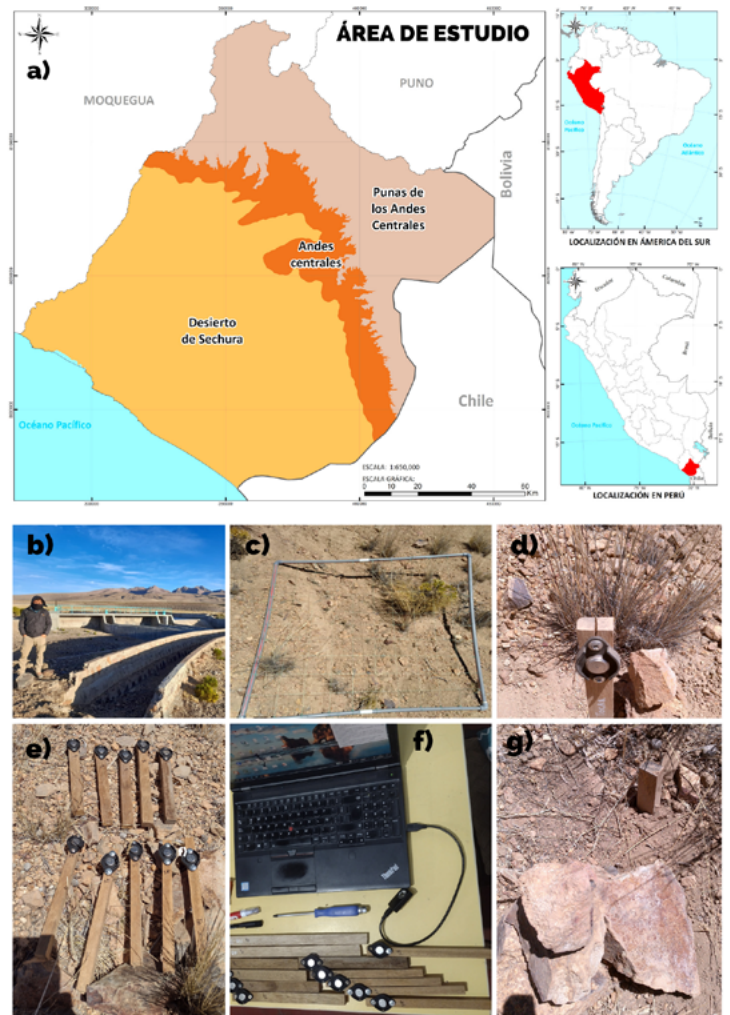
La abundancia absoluta se calculó por el número de individuos/especie, en un área determinada y la abundancia relativa, por la cantidad de individuos de cada especie [n], que se divide a la cantidad total de individuos de todas las especies [N], expresándose en porcentaje (n/N x 100). Se elaboraron gráficos de comparación según las zonas evaluadas.

**Determinación del efecto ecológico de borde**

Se midieron parámetros ambientales, temperatura del suelo, temperatura ambiental y humedad relativa. Para esto, se definieron transectos lineales de 20 m y se instalaron 5 sensores de temperatura (Ibutton TERMOCHRON DS1921G), separados cada 5 m, en cada zona seleccionada, y permanecieron enterrados a 20 cm, debajo de la superficie del suelo (Figura 1d), fijados en un pedazo de madera (Fernández et al. 2016) durante cinco meses, programados para registrar el valor de temperatura cada media hora, información que

fue descargada mensualmente a una laptop, con ayuda de un lector especializado (Figura 1e). La información de la humedad relativa y de la temperatura ambiental se obtuvo mediante sensores del tipo Ibutton HYGROCHROM DS1923G, programados para registrar la información cada 30 minutos, durante cinco meses y descargados cada mes; los cuales se dispusieron sujetos a una estaca de madera a 20 cm encima de la superficie del suelo (Figura 1f). Los sensores se ubicaron en los mismos transectos seleccionados georreferenciados con GPS y señalizados con pircas de piedras para una rápida ubicación en el momento de las lecturas. (Figura 1g).

FIGURA 1



a) Ubicación geográfica del área de estudio b) Identificación de la infraestructura convencional en evaluaciones de campo c) Accesorio de PVC de 1m<sup>2</sup> para evaluación de flora d) Sensor ibutton Hygrochrom instalado para medir la temperatura ambiental y la humedad relativa e) Conjunto de sensores utilizados para evaluar variables ambientales f) Laptop y demás accesorios para la descarga de la información contenida en los sensores g) Sensor ibutton Termochron para lectura de la temperatura del suelo, enterrado cerca a la vegetación y a una pirca de piedra para ser ubicarlos rápidamente.

**Impactos de los efectos ecológicos a las sociedades altoandinas**

Para representar la relación que existe entre los efectos ecológicos evaluados y el bienestar de las sociedades altoandinas, se elaboró una matriz de doble entrada, cuyas filas fueron ocupadas por las necesidades humanas definidas en la Pirámide de Maslow (ETECÉ s.f.) y en las columnas, a los bienes y servicios que otorgan los ecosistemas, los que se encuentran legalmente identificados, clasificados y reconocidos a nivel nacional, mediante la ley de retribución por servicio ecosistémico (Ley 30215, 2014), aquella que permite gestionarlos adecuadamente.

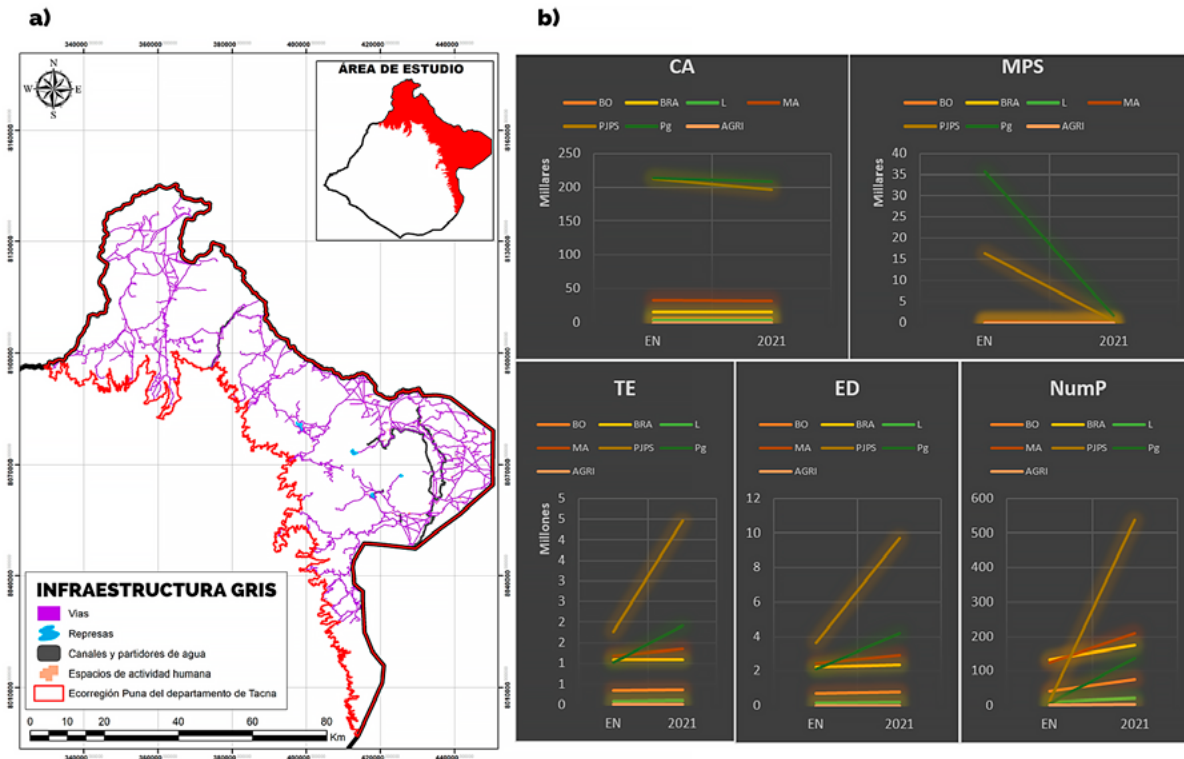
Esta matriz fue analizada y completada por los investigadores en función al tipo de ecosistema encontrado, sus servicios ecosistémicos que brindan y al conocimiento permanente que se tiene sobre la ecorregión, basada principalmente en su amplia experiencia laboral en entidades públicas, encargadas de la gestión de estos ecosistemas altoandinos y por la práctica de campo obtenida en la ejecución

de investigaciones previas, resaltándose con colores amarillo, verde y azul al efecto ecológico que los viene afectando (área, barrera y borde respectivamente).

**Resultados y discusión**

Se mapeo toda la infraestructura gris de la ecorregión *puna* al año 2021 (Figura 2a), observándose el predominio de la superficie de las vías o carreteras (90,4%), luego los canales (5,4%), seguido de otras actividades humanas (2,4%) y, finalmente, las represas (1,8%), ocupando una superficie total de 267,3 km<sup>2</sup> y un perímetro de 4.458,64 km como se observa en la Tabla 1, representando el 5,5% de la superficie total de la ecorregión. Este resultado complementa lo determinado por Navarro et al. (2021b), quienes calcularon 58,7 km<sup>2</sup> de infraestructura en el año 1975. Treinta y siete años después, en el 2012, encontraron un incremento exponencial de la actividad antropogénica de 218,8 km<sup>2</sup> debido al impulso acelerado de las construcciones de vías y canales en la época de mayor crecimiento poblacional del departamento (INEI s.f.).

FIGURA 2



a) Mapa de ubicación geográfica de la infraestructura convencional b) Variación y tendencias de los índices de fragmentación de los ecosistemas de Puna.

Se ha comprobado que la infraestructura convencional ha fragmentado los siete tipos de ecosistemas, mediante la variación de los valores normales de sus índices de fragmentación, pero también se demostró que en el Pajonal de Puna Seca es mucho más intensa la disminución del CA (área de cada ecosistema) y del MPS (valor medio de los fragmentos), junto al incremento simultáneo de NumP (número de fragmentos), TE (borde total) y ED (densidad del borde), mostrado en la Figura 2b, lo que lo convierte en el ecosistema más fragmentado según Santos y Tellería (2006). Este análisis también fue realizado por Galindo et al. (2019), De León et al. (2013) y Correa et al. (2012) en sus respectivas investigaciones. A pesar de ello, mediante el análisis vectorial del SI (índice de forma), PAR (relación perímetro área) y FD (dimensión fractal), se logró encontrar algunas dos zonas de pajonal que aún mantienen los valores de sus índices similares a los de su estado natural, delimitadas como Zona 1 y varias de las que ya están fragmentadas (Zona 2), diferenciadas en la Figura 3a por los colores lila y morado, respectivamente.

**Tabla 1.**  
**Base cartográfica de la infraestructura artificial al año 2021**

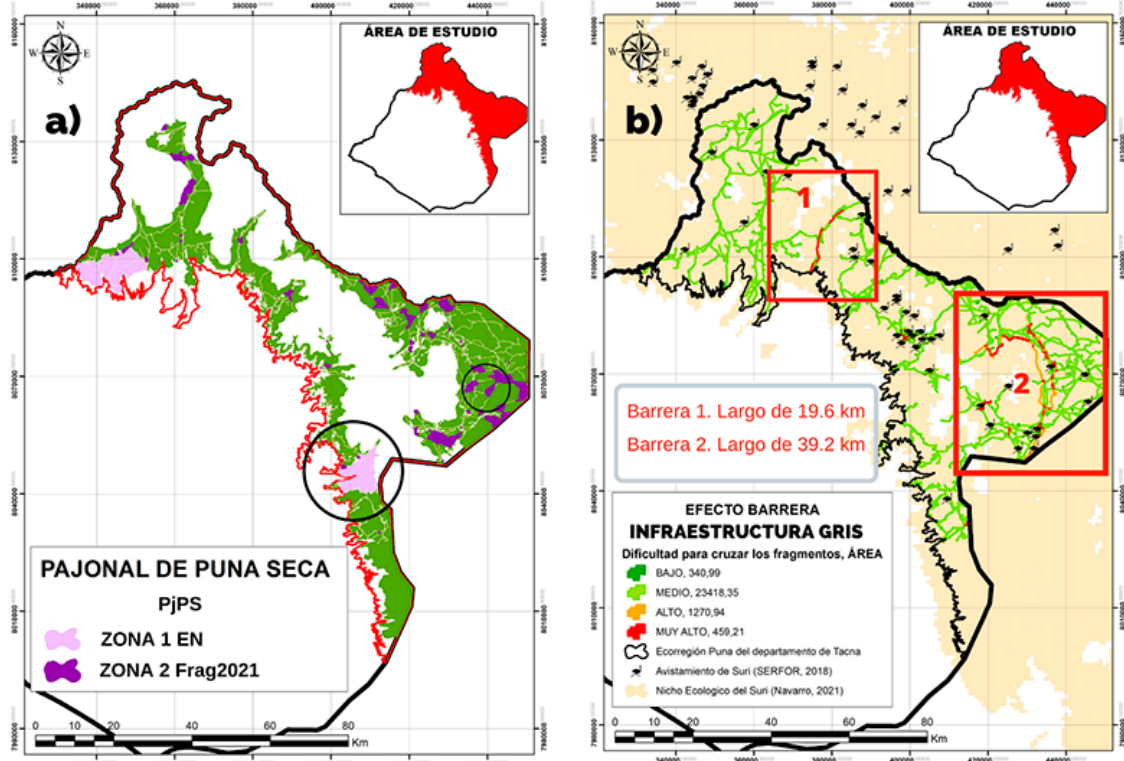
INFRAESTRUCTURA	ÁREA (HA)	(%)	PERÍMETRO (KM)
Vía Departamental	2 158.83	8.08	374.35
Vía Nacional	2 379.75	8.90	402.95
Vía Vecinal	19 616.58	73.39	3 274.82
VÍAS	24 155.16	90.37	4 052.13
Represa Casiri	141.79	0.53	5.63
Represa Condorpico	44.20	0.17	2.83
Represa Jarumas I	179.35	0.67	10.83
Represa Paucarani	143.44	0.54	5.75
REPRESAS	508.79	1.90	25.03
Canal Calachaca Tramo II	462.65	1.73	91.51
Canal Calientes	222.64	0.83	44.38
Canal Patapujo Tramo II	486.12	1.82	96.32
Canal Queñuta	22.98	0.09	4.74
Canal Uchusuma Alto	207.41	0.78	40.79
Canal Uncalluta	32.78	0.12	6.70
CANALES	1 434.57	5.37	284.44
OTRAS ACTIVIDADES HUMANAS	631.70	2.36	97.04
TOTAL	26 730.22	100	4 458.64

Además, se constata la presencia del efecto barrera en toda la zona de estudio y como ejemplo, se ha demostrado que

la infraestructura gris genera limitaciones sobre el suri o *Rhea tarapacensis* para desplazarse por los ecosistemas que conforman su nicho ecológico, que puede estar causando un aislamiento de algunas poblaciones y con alto probabilidad de ser causante de su grave estado de conservación (El Peruano 2014). Si bien es cierto, de acuerdo a la ponderación realizada por los investigadores, la gran mayoría de infraestructura gris tiene un efecto barrera medio o bajo, la cual está representada por líneas de color verde claro en la Figura 3b, también existe infraestructura gris que genera niveles altos y muy altos de barrera (de color anaranjado y rojo, respectivamente) y se encuentran alineados y posicionados de tal forma que cortan casi por completo el ancho de la ecorregión al interior del departamento de Tacna. En el análisis, se encontró que un tramo de la infraestructura enmarcada de rojo y llamada barrera 1, de la Figura 3b, tiene 19,6 km de largo y, el otro tramo, en un cuadro llamado barrera 2, presenta una longitud de 39,2 km, que estarían perjudicando enormemente el paso de la especie por su hábitat y su nicho ecológico con mayor libertad. En la Figura 3c, se observa las consecuencias del efecto barrera sobre la especie suri, un individuo caído en el canal, representa la imposibilidad de realizar las funciones ecológicas vitales, el intercambio genético, la dispersión de semillas, entre otros, el cual sucedió y fue registrado fotográficamente en una infraestructura gris ponderada en el nivel medio (verde claro), es decir que, si para algunas especies el efecto barrera de una infraestructura gris puede resultar muy bajo (fauna voladora), para otros, esta puede resultar mucho más alto (fauna no voladora).

Este resultado se relaciona con lo señalado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España (2010), al asegurar que las vías o carreteras son las que mayormente provocan el efecto barrera y también con los resultados de Fahrig y Rytwinski (2009), Tinajero y Rodríguez (2012)- quienes utilizaron animales grandes y muy móviles para demostrar su presencia-, aunque Mader et al. (1990), Oxley (1974); Wolff et al. (1997) y Sillero (2008) lo demostraron, pero evaluando organismos pequeños con escasa capacidad de dispersión, considerándose como un efecto muy grave que tiene que atenderse urgentemente, más aún si la especie ya tiene un alto nivel de categorización (El Peruano 2014) por la reducción progresiva de sus poblaciones comprobada en sus censos nacionales (SERFOR 2018), y también por lo señalado por Eigenbrod et al. (2009), quienes indicaron que la barrera no siempre es física, sino que se constituye como tal, por el propio comportamiento del animal, que evita ruidos u otras molestias, limitando su desplazamiento habitual y sus funciones ecológicas.

FIGURA 3



a) Delimitación del pajonal de puna seca en pocas áreas (2) que aún mantienen su estado natural, marcados de color lila y clasificados como Zona 1, junto a áreas altamente fragmentadas con infraestructura convencional, de color morado identificados como Zona 2. b) Las líneas rojas, anaranjadas y verdes indican el nivel de impedimento que se ha ocasionado para el desplazamiento del suri sobre su nicho ecológico c) Registro fotográfico de un individuo la especie suri que ha caído al canal de agua que evidencia el efecto barrera.

También se ha demostrado la presencia del efecto área, mediante la variación de los indicadores de la composición florística silvestre del pajonal de puna seca, tanto en su estado natural (Zona 1) como al instalarse infraestructura gris (Zona 2) y en diferentes temporadas climáticas (seca y húmeda), como se muestra en el consolidado de la Tabla 2. La cobertura vegetal, los índices de diversidad y la abundancia (absoluta y relativa), cambiaron entre zonas de un mismo ecosistema, como se observa en la Figura 4, donde la cobertura vegetal cambió en 14% y los índices de diversidad Shannon en -18,9%, Simpson en -15,4% y Pielou en -9,3%, mientras que la abundancia en 46,7%, tal y como también lo demostró Condori (2012), quien concluyó que la diversidad de la flora silvestre en zonas fragmentadas disminuye, que la fragmentación influye en el cambio de la distribución espacial de las especies y que la superficie de la cobertura vegetal disminuye significativamente, posiblemente siendo la responsable de las categorías de peligro de extinción que tienen las especies de flora características de la puna (El Peruano 2006). La misma tendencia obtuvo Carvajal et al. (1993), al determinar que se reduce la composición florística y la diversidad, en comparación con bosques no fragmentados. Para este mismo efecto, otros investigadores utilizaron frutos o semillas, como Verga et al. (2018), quienes determinaron que la abundancia de frutos no se afecta por la reducción del área y la abundancia de semillas aumentó al reducirse el área. Del mismo modo, Chacoff et al. (2004) determinaron que la proporción de semillas abortadas de *Acacia aroma* aumentó al disminuir el tamaño del fragmento y la depredación de estas fue de un 14% menor en fragmentos pequeños y que, al fragmentarse, aumentó la proporción de semillas sanas en un 20%.

Asimismo, se comprobó la presencia del efecto borde dentro de las zonas de pajonal de puna seca, diferenciada por la presencia/ausencia de infraestructura gris (Zona 1 versus Zona 2), obteniéndose la Tabla 3, donde se muestran los valores obtenidos y la variación de estos por zona. Asimismo, en la Figura 5 se demuestra que los valores promedios no siempre son significativos para estos tipos de análisis, por ello se analizaron los valores máximos (o picos) de temperatura del suelo, los cuales están en la Zona 1, mientras que los mínimos se midieron en la Zona 2, contrariamente a lo que sucede con la temperatura ambiental. Entonces, al demostrarse que los valores de temperatura del suelo (valores mínimos MÍN, máximos MÁX, el promedio PRO y la desviación estándar DS) son mayores en las zonas en su estado natural que en las ya fragmentadas, se evidencia la influencia del efecto borde de la infraestructura gris en las condiciones ambientales, de los que dependen diferentes organismos vivos. Los resultados obtenidos demostraron lo que Peña et al. (2005) señalaron sobre el efecto borde, que se manifiesta en los ecosistemas a través de cambios en las condiciones ambientales, incrementando la tasa evaporativa, abatimien-

to de temperatura y mayor incidencia de radiación solar, que ecológicamente influye sobre los bancos de semillas, en los hongos micorrizógenos que mejoran la calidad del suelo y dispersores de propágulos, entre otros. Es por ello que diversos autores como Didham y Lawton (1999) y Turton y Freiburger (1997), señalan que la fragmentación incrementa la insolación, la exposición al viento, las lluvias y heladas dentro de los fragmentos, y Lovejoy et al. (1986) determinaron que los regímenes de humedad y temperatura también se ven alterados, influyendo en la flora y consecuentemente, en la fauna (Báldi 1999).

FIGURA 4



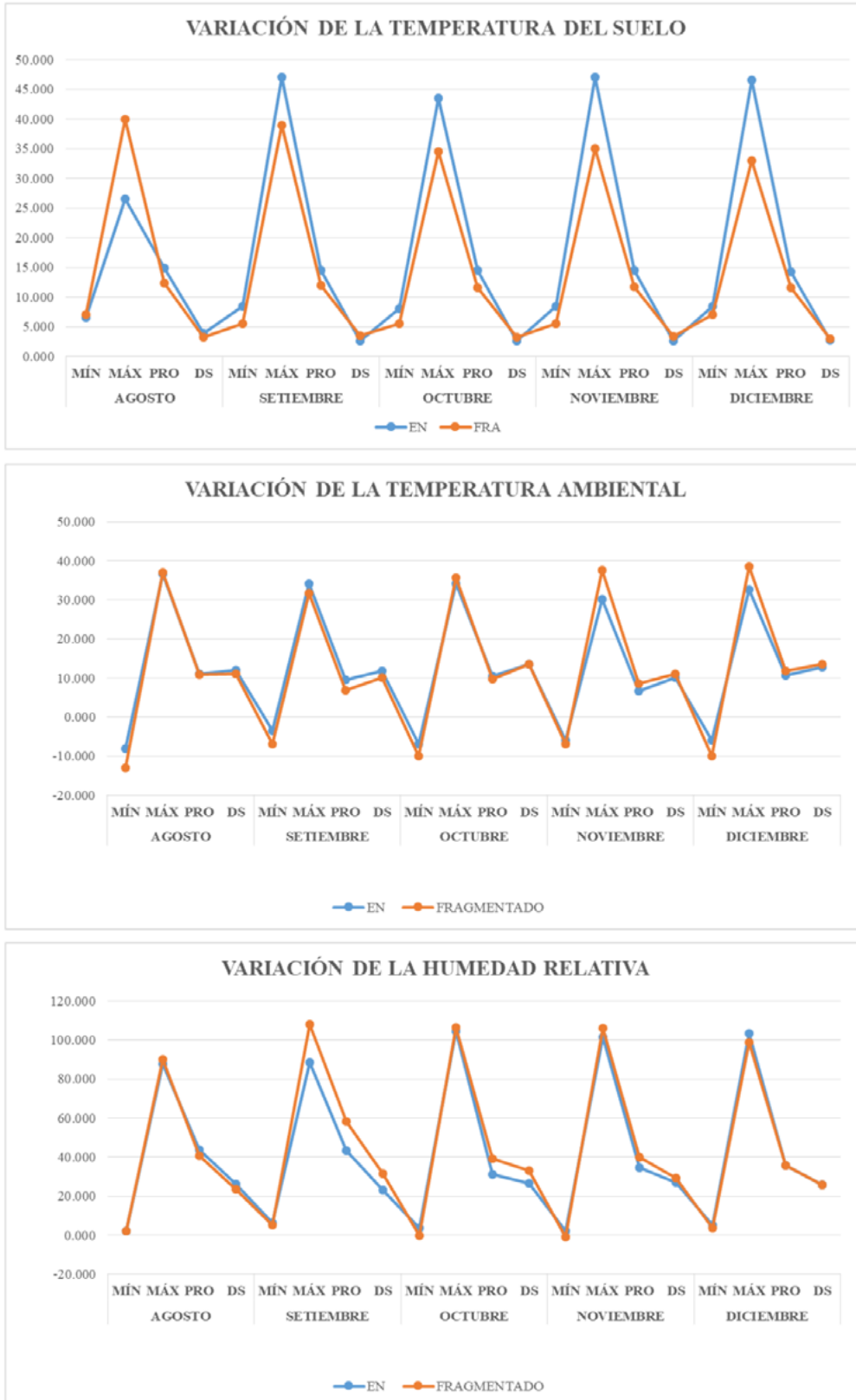
Variación de la cobertura vegetal, diversidad y abundancia provocada por el efecto área.



**Tabla 2**  
**Resultados de la evaluación de vegetación para determinar el efecto área.**

Especie	TEMPORADA SECA						TEMPORADA HÚMEDA					
	Zona 1				Abundancia Total	Densidad relativa %	Zona 2				Abundancia Total	Densidad relativa %
	P1-1	P1-2	P1-3	P1-4			P2-1	P2-2	P2-3	P2-4		
<i>Asplenium peruvianum</i>	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Baccharis incarum</i>	4	0	0	3	7	5.83	0	0	0	0	0	0.00
<i>Belloa piptolepis</i>	2	1	0	2	5	4.17	0	0	0	0	0	0.00
<i>Chersodoma jodopappa</i>	0	0	1	0	1	0.83	0	0	0	0	0	0.00
<i>Hypochaeris meyeniana</i>	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Parastrephia quadrangularis</i>	0	0	0	0	0	0.00	9	6	0	0	15	8.52
<i>Perezia sublyrata</i>	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Tagetes multiflora</i>	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Pycnophyllum bryoides</i>	0	0	0	0	0	0.00	0	12	5	0	17	9.66
<i>Nototriche</i> sp	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Plantago</i> sp	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Tetraglochin cristatum</i>	0	0	0	0	0	0.00	2	0	0	1	3	1.70
<i>Galium corymbosum</i>	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Anthochloa lepidula</i>	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Dielsiochloa</i> sp	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Jarava ichu</i>	23	9	0	10	42	35.00	0	0	0	0	0	0.00
<i>Calamagrostis</i> sp	11	11	4	4	30	25.00	0	0	0	38	38	21.59
<i>Festuca</i> sp	0	0	0	0	0	0.00	25	8	30	2	65	36.93
Poaceae1	1	0	0	0	1	0.83	0	0	0	0	0	0.00
Poaceae2	0	3	0	0	3	2.50	0	0	0	0	0	0.00
Poaceae3	0	12	16	3	31	25.83	0	0	0	0	0	0.00
Poaceae4	0	0	0	0	0	0.00	12	21	5	0	38	21.59
Abundancia	41	36	21	22	120	100.00 %	48	47	40	41	176	100.00 %
Riqueza de especie	5	5	3	5			4	4	3	3		
Índice de Shannon-Wiener	1.142	1.382	0.668	1.43			1.133	1.273	0.7356	0.3083		
Índice de Simpson	0.6008	0.7253	0.381	0.7149			0.6293	0.69	0.4063	0.138		
Índice de Pielou (J)	0.7097	0.8585	0.6081	0.8883			0.817	0.918	0.6696	0.2807		

FIGURA 5



Variación de la temperatura del suelo, temperatura ambiental y humedad relativa provocada por el efecto borde.

TABLA 3

**Cuadro comparativo de los valores calculados para la temperatura del suelo, temperatura ambiental y la humedad relativa por cada mes evaluado.**

1. Temperatura del Suelo																				
	AGOSTO				SETIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS
Zona 1	6.5	26.5	14.9	3.9	8.5	47.0	14.5	2.6	8.0	43.5	14.5	2.7	8.5	47.0	14.5	2.6	8.5	46.5	14.3	2.7
Zona 2	7.0	40.0	12.4	3.3	5.5	39.0	12.0	3.5	5.5	34.5	11.6	3.3	5.5	35.0	11.8	3.4	7.0	33.0	11.6	3.0
Diferencia (%)	7.7	50.9	-17.3	-16.7	-35.3	-17.0	-17.5	31.7	-31.3	-20.7	-20.0	24.1	-35.3	-25.5	-19.0	27.3	-17.6	-29.0	-18.6	11.1
2. Temperatura Ambiental																				
	AGOSTO				SETIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS
Zona 1	-8.0	36.6	11.1	12.1	-3.4	34.1	9.5	11.7	-7.0	34.1	10.6	13.6	-5.9	30.2	6.6	10.1	-5.9	32.6	10.6	12.7
Zona 2	-13.0	37.1	10.9	11.1	-7.0	31.6	6.9	10.1	-10.0	35.6	9.7	13.6	-7.0	37.6	8.5	11.1	-10.0	38.6	11.9	13.5
Diferencia (%)	63.3	1.4	-1.5	-8.6	102.7	-7.3	-27.3	-13.9	43.5	4.4	-8.5	0.4	16.9	24.8	29.3	9.9	67.7	18.3	12.4	6.0
3. Humedad Relativa																				
	AGOSTO				SETIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS	MIN	MAX	PRO	DS
Zona 1	2.0	87.9	43.8	26.3	6.5	88.4	43.3	23.3	3.5	104.5	31.1	26.5	2.0	101.5	34.6	27.0	5.0	103.5	35.9	25.9
Zona 2	2.1	90.1	40.9	23.7	5.1	108.1	58.2	31.4	-0.1	106.4	39.2	33.1	-0.9	105.9	40.1	29.5	3.6	99.0	35.8	25.8
Diferencia (%)	7.0	2.5	-6.6	-10.1	-22.0	22.3	34.3	34.9	-103.8	1.8	25.9	24.9	-144.8	4.3	16.0	9.1	-28.1	-4.4	-0.3	-0.4

Toda la información ecológica y ambiental generada en la presente investigación, debería ser de amplio conocimiento y manejo al interior de las demás ciencias que involucran el desarrollo humano, las sociales, económicas, geográficas, y de obligatoria aplicación en las entidades públicas y sus áreas de planificación territorial, entre otras, ya que los progresos teóricos y prácticos del conocimiento territorial, así sean de hechos que ocurrieron en el pasado, capacitan a los profesionales en desarrollar mecanismos para reconocer, documentar, medir y valorar el patrimonio, sea cultural o ambiental, para así poder emprender acciones futuras destinadas a su protección activa, debiendo enmarcarse dentro de un sistema de gobierno adaptable, que ponga énfasis en la participación de la población (Manríquez et al. 2019), el cual es, evidentemente necesario, poner en práctica dentro de las comunidades rurales aymaras de nuestros territorios, en función a los hechos demostrados, que en su momento significaron una oposición cerrada de parte de sus poblaciones, exigiendo mayores elementos de participación y de cuidado ambiental, por ejemplo, a las formas de extracción de agua y en contra las grandes infraestructuras para su trasvase, durante el proceso de afianzamiento hídrico de la ciudad de Tacna (Radio Uno 2009 y Diario Correo 2015), el mismo que no aún no ha cumplido con su objetivo.

Es evidente que los pueblos altoandinos tuvieron razón en sus reclamos y temores, a pesar de no contar con el fundamento técnico descrito en la presente investigación. Sus planteamientos (a manera de protestas) para intentar mejorar los alcances de los proyectos de inversión de instalación de infraestructura artificial y no alterar fuertemente los ecosistemas de sus territorios comunales, fueron cuestionados, ignorados o llamados irracionales, sus argumentos no escuchados e incluso pasaron a ser considerados como “mitos” o creencias populares, que no podían predominar sobre estudios técnicos considerados serios sobre la demanda hídrica insatisfecha, diagnosticada en el Plan de Gestión de Recursos hídricos en las cuencas de Tacna (ANA 2013) de la escasez de lluvias o sequías prolongadas, de las pérdidas económicas en la agricultura, o de los cortes del servicio de agua en zonas urbanas, o el consumo “no saludable” de camiones cisterna, que finalmente predominaron y justificaron la necesidad pública de construir estas infraestructuras para el desarrollo exclusivo de la ciudad, ubicada a casi 200 km de distancia desde donde se extrae y canaliza el recurso hídrico, cuyo impacto es resumido en una frase común de escuchar en la zona altoandina “el beneficio se va por esos canales, pero el perjuicio queda”, una clara muestra de injusticia y marginación.

Con estos y más argumentos, se ha logrado construir esta red conectada de infraestructura gris mapeada en la presente investigación, que se inició desde 1975 en adelante, muchos de ellos sin estudios de impacto ambiental, y peor aún,

sin considerar los efectos ecológicos que la fragmentación produce, evidenciándose lo que sucede comúnmente en muchas regiones de América Latina, en las que se da prioridad a las directrices que impulsan el crecimiento económico, en lugar de modificar ese crecimiento acorde a las necesidades ecológicas y sociales que lo sustentan (Lehnert y Carrasco 2020). Asimismo, el desarrollo de esta investigación solo ha considerado una parte del problema, el impacto ambiental de la infraestructura gris asociado al reemplazo de un ecosistema natural del que depende una sociedad, pero no se ha profundizado en el significado ancestral del agua para las comunidades indígenas aymaras, ni de qué forma será necesario tomar medidas de reparación y reconocimiento de la cosmovisión indígena andina y de la cultura propia del agua (Díaz 2020).

Entonces, el paso de los años, ha evidenciado los efectos de las malas decisiones del pasado, y es notorio, incluso a simple vista, cómo las alteraciones ecológicas afectan los servicios de los ecosistemas que sustentan el bienestar humano de las sociedades altoandinas (Tabla 4), y más aún, el efecto barrera, que no solo influye en la fauna silvestre, como ha quedado demostrado, sino que sigue siendo un problema constante y un peligro “económico” para las poblaciones altoandinas, perjudicando directamente su principal actividad, la ganadería de camélidos sudamericanos domésticos (Radio Uno 2017). Por ello, es común percibir la sensación de marginalidad y exclusión de la gente, que constantemente pregunta ¿quién es el responsable? ¿Quién compensa las pérdidas económicas generadas? ¿Por qué las autoridades de Tacna no nos ayudan a tapar esos canales si nosotros damos el agua para su desarrollo? Hasta la fecha, después de más de 50 años, todo sigue igual, incluso, los planes de desarrollo de Tacna y sus autoridades políticas, proyectan para los próximos años nuevas obras de extracción y trasvase de agua para Tacna desde los ecosistemas de *puna*, entonces ahí continuará un conflicto latente y una insatisfacción permanente.

Con todas estas limitaciones y problemática expuesta, aún existen voluntades propias de desarrollo por parte de las sociedades rurales altoandinas, por ejemplo, la población del anexo de Mamaraya, provincia de Tarata, que habita a más de 4.000 m de altitud, intenta implementar un proyecto de conservación del suri para aprovechamiento mediante el uso turístico, el mismo que está siendo financiado por el PNUD y el Ministerio del Ambiente del Perú (PPD s.f.), pero que a partir de todo lo señalado, genera algunas inquietudes, tales como si la influencia del efecto barrera les permitirá lograr o no sus fines y objetivos o si será posible la sostenibilidad de esta actividad basada en un recurso (de fauna silvestre) altamente afectado por la fragmentación, pero de mucho interés mundial por su conservación y conocimiento.

**Tabla 4**  
**Relación entre las necesidades de las personas con los servicios ecosistémicos y cuáles son los efectos ecológicos que los están perjudicando (amarillo el de área, verde el de barrera y azul el de borde).**

NECESIDADES HUMANAS/SERVICIO ECOSISTÉMICO	DE SOPORTE BASE		DE PROVISIÓN							DE REGULACIÓN							CULTURALES					
	Formación de suelos	Producción primaria	Mantenimiento la biodiversidad	Alimentos	Fibra y resinas	Los recursos genéticos	Variedad de combustibles	Medicinas naturales	Agua	Calidad del aire	Del clima	Hídrica	Control de la erosión	Purificación del agua y tratamiento de aguas de desecho	Enfermedades	Polinización	De riesgos naturales	Secuestro de carbono	Valores espirituales y religiosos	Valores estéticos, belleza paisajística.	Recreación y ecoturismo.	Sentido de identidad y pertenencia.
Básicas	Aire puro									X												
	Agua potable								X			X	X									
	Alimento				X																	
	Salud física								X						X		X	X				
	SS.HH								X					X								
De seguridad	Vivienda digna	X			X				X				X			X						X
	Medicinas			X	X	X	X	X	X	X				X	X		X		X	X	X	X
	Trabajo digno	X	X	X	X	X	X	X	X				X			X		X	X	X	X	X
	Calefacción							X			X											
Sociales	Afecto														X				X			X
	Asociación		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X		X	X	X	X
	Aceptación																		X		X	X
	Educación		X	X					X				X				X		X	X		X
	Participación	X	X	X	X						X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
De estima	Confianza																		X	X	X	X
	Competencia		X	X	X	X	X	X	X	X										X	X	X
	Logros			X										X					X	X	X	X
	Independencia																		X	X	X	X
	Amor propio																		X	X	X	X
	Respeto mutuo																		X	X	X	X
Autorrealización	Desarrollo potencial	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Asimismo, el efecto área, demostrado por la pérdida de la abundancia, cobertura y diversidad de la flora silvestre, también es parte del problema económico de las sociedades altoandinas, ya que de ella depende la alimentación del ganado doméstico mediante sus áreas de pastoreo, los cuales vienen perdiendo progresivamente su capacidad de carga, y los animales que los pastorean se encuentran cada vez más

flacos y poco productivos, respecto a la calidad de la carne y fibra que otorgan (Espezua et al. 2022), formando sociedades propietarias de grandes extensiones de tierras, con disponibilidad de un conjunto enorme de recursos, pero económicamente débiles e insatisfechas. Asimismo, está pérdida de recursos limita las oportunidades de aprovechamiento forestal que la ley peruana contempla, y la adopción de nuevas

actividades económicas, como el ecoturismo en los bosques de *Polylepis* o queñoa, que a la vez, otorgan fuente energética ancestral, como leña y productos de subsistencia; el aprovechamiento de frutos de los cactus; de semillas como del ayrampo, flora medicinal que satisface a toda la población altoandina; fauna silvestre como fibra de vicuña o de carne de animales menores (fuente proteica), como de la vizcacha, entre otros. La extinción de las especies de flora y fauna, sin duda afecta y afectará a las sociedades humanas.

También, el efecto borde evidenciado a través de los cambios en las condiciones ambientales al interior de los ecosistemas es cada vez más preocupante, porque de por sí, las sociedades altoandinas ya soportan climas extremos y por ello, las actividades económicas como la agricultura se ven limitadas. La poca información climática de la zona, debido a la también baja investigación e intervención de los organismos gubernamentales, hace que normalmente los fenómenos climáticos extremos se atiendan solo cuando estos ya sucedieron (TV Perú 2018), por ende, deben ser considerados como poblaciones altamente vulnerables en el contexto del cambio climático y la actuación al interior de ellas, debe ser más preventiva que reactiva.

Finalmente, el análisis realizado en esta investigación se basa en una nueva estrategia para la conservación de la biodiversidad y de los recursos naturales, primeramente, implementada en Europa desde el año 2010, que determina la íntima relación de los servicios de los ecosistemas con las necesidades sociales, los que vienen siendo sus actuales pilares, surgiendo la urgencia de crear políticas multisectoriales y descentralizadas, que permitan gestionar adecuadamente los sistemas socio ecológicos (Áreas Naturales sumadas a sus poblaciones) con la finalidad de mantener la provisión permanente de los servicios ecosistémicos, para lograr la integridad como base del desarrollo rural (Haslett J. et al. 2010).

### Conclusiones

Se ha demostrado que la infraestructura convencional ha fragmentado los ecosistemas de la ecorregión *puna*, en especial al extenso pajonal de puna seca, disminuyendo sus características ecológicas, como la complejidad e irregularidad, que redundan en la limitada disponibilidad de recursos naturales, que afectan a toda la cadena alimenticia, incluido al hombre.

Se ha evidenciado la presencia de los efectos ecológicos de barrera, área y borde en los ecosistemas de *puna*, por lo que se espera que esta información científica sirva para que

los ciudadanos, pero principalmente sus autoridades, cambien urgentemente el inadecuado y desactualizado enfoque de gestión territorial regional (Muñoz y Gómez 2017), que incluya planes, programas y proyectos sectoriales a nivel de cuenca hidrográfica, en el que se permita conectar las necesidades de las ciudades con las necesidades de las zonas rurales que los proveen, mediante un objetivo común, la conservación de los recursos naturales y de los servicios ecosistémicos para el futuro.

Asimismo, estos efectos ecológicos están directamente relacionados con las deficiencias que presentan las actividades económicas propias de la población rural, como la ganadería (alpacas, llamas, corderos, entre otros), por lo que es importante adoptar mecanismos de restauración de la conectividad de los ecosistemas generados por la infraestructura gris, con participación de los comuneros y su conocimiento ancestral, que en un momento dado fue considerado como un mito.

Se extiende un llamado de atención hacia el futuro planeado por las autoridades en los documentos de planificación futura, que enfoca a la zona altoandina de Tacna y a sus sociedades, como solo una fuente permanente de recurso hídrico a la que hay que extraer y perforar cuando hace falta agua en las grandes ciudades. Esta investigación es una lección de lo sucedido en el pasado con los ecosistemas de *puna* del departamento de Tacna, y tiene que servir para planificar un futuro más justo y equilibrado, con múltiples y más sostenibles opciones para el abastecimiento de agua de las grandes ciudades (desalinización, reutilización, etc.) con un firme propósito de recuperar los ecosistemas para las sociedades rurales, que incluso se extiende también hacia otros países vecinos, como Chile y Bolivia. Un buen inicio sería la inmediata instalación de los pasos de fauna o el tapado de los canales o carreteras con alto efecto barrera, por parte de las autoridades locales. (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente 2015).

### Agradecimientos

Los autores queremos manifestar nuestra gratitud a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, por los fondos destinados para la ejecución de la presente investigación provenientes del canon sobre canon y regalías mineras, otorgados mediante concurso de proyectos de investigación aprobado por RESOLUCIÓN RECTORAL No 8520-2021-UNJBG. Asimismo, agradecer a los señores Francisco Capacuti Ordoñez y Amadeo Tapia Flores, pobladores altoandinos que apoyaron la presente investigación en la etapa de campo.

## Referencias Citadas

- Autoridad Nacional de Agua (ANA).  
2013. Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la cuenca Caplina Locumba. Repositorio de la Autoridad Nacional de Agua. (24 de febrero de 2024) <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/11>
- Arroyo, V. y Mandujano, S.  
2009. Conceptualization and measurement of habitat fragmentation from the primates' perspective. *International Journal of Primatology* 30:497–514.
- Báldi, A.  
1999. Microclimate and vegetation edge effects in a reedbed in Hungary. *Biodiversity and Conservation* 8:1697–1706.
- Bocco, G.  
2010. Carl Troll y la ecología del paisaje. *Investigación Ambiental* 92-93.
- Bustos, B., Bridge, G. y Prieto, M.  
2021. Harvesting Lithium: water, brine and the industrial dynamics of production in the Salar de Atacama. *Geoforum* 119:177–189.
- Camarero, L., Oliva, J., y Querol, V.  
2023. Retos de cambio para la vida rural: Procesos, dinámicas y políticas públicas. *RECERCA. Revista De Pensament I Anàlisi* 28(1).
- Camus P.; Elgueta, G. y Castillo, S.  
nte: transformaciones ecológicas, económicas y sociales en la cuenca de Santiago de Chile. S.XVI-XIX. *Diálogo Andino* 70:232–249
- Carvajal, F., Leal, R. y Molina, L.  
1993. Estructura y composición florística del bosque primario y consideraciones sobre su estado actual. En *Aspectos Ambientales para el Ordenamiento Territorial del Occidente del Departamento del Caquetá*, editado por D. Malagon, D. Diazgranados, J.G. Saldarriaga y U. Rinaudo, pp. 402–531. Estudios sobre la Amazonia Colombiana, IGAC – Fundación Tropenbos, Bogotá
- Centro de Datos para la Conservación de la Universidad Agraria de La Molina.  
2006. Análisis del Recubrimiento Ecológico del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Lima: CDC-UNALM/TNC. (24 de febrero de 2024) <http://sis.sernanp.gob.pe/biblioteca/downloadPublicacionAdjunto.action?strIdInter-no=90997759952601664082706845058069081691>
- Chacoff, N., Morales, J. y Vaquera M.  
2004. Efectos de la Fragmentación Sobre la Absorción y Depredación de Semillas en el Chaco Serrano. *Biotropica* 36:109–117.
- Chalfoun, A.D., Thompson, F.R., y Ratnaswamy, M.J.  
2002. Nest Predators and Fragmentation: a Review and Meta-Analysis. *Conservation Biology* 16:306–318.
- Condori, G.  
2012. Influencia de la Fragmentación en la Diversidad de la Flora Silvestre y en los Cambios de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal en Huerta Huaraya, Puno. *Ecosistemas* 21:230–234.
- Correa, J. J., Volante, J. y Seghezzi, L.  
2012. Análisis de la fragmentación y la estructura del paisaje en bosques nativos del norte argentino. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 16:97–103.
- Decreto Supremo N°004-2014-MINAGRI.  
2014. Aprueban la actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 08 de abril del 2014. (24 de febrero de 2024) <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossumpremos/2014/ds04-2014-minagri.pdf>
- Decreto Supremo N° 043-2006-AG  
13 de julio del 2006. Aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú. (24 de febrero de 2024) <https://www.sena-ce.gob.pe/wp-content/uploads/2016/10/NAT-3-3-03-DS-043-2006-AG.pdf>
- De León, G. D., Pinedo, A. y Martínez, J. H.  
2013. Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en cuchillas de la Zarca, México. *Investigaciones Geográficas* 84:42–53.
- Diario Correo  
12 de enero del 2015. Comuneros se oponen a perforación de pozos en El Ayro. PrenSMART SAC. (24 de febrero de 2024) <https://diariocorreo.pe/edicion/tacna/comuneros-se-oponen-a-perforacion-de-pozos-en-el-ayro-556985/?ref=dcr>
- Díaz, K.  
2020. Crisis del agua en el norte de Chile. Derecho y cultura en los andes. Sobre los efectos irracionales del derecho. *Diálogo Andino* 61:67–79.
- Didham R.K. Y Lawton, J.H.  
1999 «Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation in tropical forest fragments». *Biotropica* 31:17–30.
- Eigenbrod, F., Hecnar, S. J., y Fahrig, L.  
2009. Quantifying the Road-Effect Zone: Threshold Effects of a Motorway on Anuran Populations in Ontario, Canada. *Ecology and Society* 14(1).

- Espezua, D., Quispe, A., Iquise, A., Edith A., Bobadilla, R. y Coaquira, J.  
2022. Características textiles de la fibra de alpacas Huacaya en comunidades altoandinas de la región Tacna, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 33(5).
- ESRI.  
2018. ArcGIS Desktop Help 10.5 Geostatistical Analyst. (24 de febrero de 2024) <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html>
- ETECÉ  
(s.f.). Pirámide de Maslow". Argentina. Para: Concepto de. Disponible en: <https://concepto.de/piramide-de-maslow/>. Última edición: 5 de agosto de 2021. Consultado: 18 de febrero del 2022.
- Fahrig, L.  
2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34:487–515.
- Fahrig, L., y Rytwinski, T.  
2009. Effects of Roads on Animal Abundance. *An Empirical Review and Synthesis. Ecology and Society* 14,21.
- Fernández, J., Digoncelli, P.A., Medina, M., Pérez S. y Leggio, M. F.  
2016. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). (24 de febrero de 2024) [https://www.researchgate.net/publication/301356952\\_ANALISIS\\_DE\\_LA\\_TEMPERATURA\\_DEL\\_SUELO\\_EN\\_UN\\_CICLO\\_COMPLETO\\_DE\\_CANA\\_DE\\_AZUCAR\\_CON\\_DOS\\_SISTEMAS\\_DE\\_MANEJO\\_DE\\_LA\\_COBERTURA/related](https://www.researchgate.net/publication/301356952_ANALISIS_DE_LA_TEMPERATURA_DEL_SUELO_EN_UN_CICLO_COMPLETO_DE_CANA_DE_AZUCAR_CON_DOS_SISTEMAS_DE_MANEJO_DE_LA_COBERTURA/related)
- Galindo, R., Pérez, M., Reynoso, R., Rosas, O. y González, C.  
2019. Cambio de uso de suelo, fragmentación del paisaje y la conservación de *Leopardus pardalis* Linnaeus, 1758. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 10(52):149–169.
- Haslett, J., Berry, P, Bela, G., Jongman, R., Pataki, G., Samways, M., Zobel, M.  
2010 Changing conservation strategies in Europe: a framework integrating ecosystem services and dynamics. *Biodivers Conserv* 19:2963–2977.
- INEI. Censos Nacionales de Población y Vivienda, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2005 y 2007. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Ley N° 30215.  
2014. Ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos. Diario oficial El Peruano. Lima, Perú, 29 de junio del 2014.
- Lehnert, Miriam, y Carrasco, Noelia.  
2020. Del vivir bien y del desarrollo sustentable. Extractivismos y construcción de alternativas al desarrollo en Bolivia y Chile. *Diálogo Andino* 63:189–204.
- Little, C., y Lara, A.  
2010. Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque* (Valdivia) 31:175–178.
- Lovejoy, T. E., Bierregaard, R. O., Rylands, A. B., Malcolm, J. R., Quintela, C. E., Harper, L. H. et al.  
1986. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. *Conservation Biology. The science of Scarcity and Diversity* 257–285.
- Mader, H. J., Schell, C. y Kornacker, P.  
1990. Linear barriers to arthropod movements in the landscape. *Biological Conservation* 54:209222.
- Manríquez, Hermann, Mansilla Pablo, y Moreira, Andrés.  
2019. Towards an integrated biogeocultural landscape conservation of Atacama. *Diálogo Andino* 60:141–152.
- Ministerio del Ambiente (MINAM).  
2015. *Guía de inventario de la flora y vegetación / Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM).  
2018. *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria Descriptiva*. Dirección de Monitoreo y de Evaluación de los Recursos Naturales del Territorio. Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.  
2015. *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales* (Segunda edición). Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transportes, número 1. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.  
2010. *Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de transporte*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 4. Madrid.
- Moreno, C. 2001.  
*Métodos para medir la biodiversidad*. La Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza.



- Muñoz, D. A. y Gómez, J.  
2017. Propuesta metodológica para la gestión de los paisajes de páramo en el marco de la Iniciativa Latinoamericana del Paisaje (LALI). *Perspectiva Geográfica* 21(2):225.
- Navarro, M., Franco, P., Oyague, E., Garitano, A., Abarca, J.  
2021a. Importancia del modelamiento del nicho ecológico del Suri Rhea tarapacensis (Chubb 1913) para su conservación en los Andes sudamericanos. En *Tópicos en Biodiversidad Transfronteriza Chile, Perú y Bolivia*, editado por P.Valladares, G. Aragón y A. Garitano, pp. 183–202. Rill Editores.
- Navarro, M. A., Pezo, M. A., Riveros, G. C. y Frisancho, S. N.  
2021b. Fragmentación Antropogénica de los ecosistemas de Puna en el extremo sur del Perú. *Estudios Geográficos* 82(290).
- Ordenanza Regional N° 016-2012-CR/GOB.REG.TACNA.  
2013. Se aprueba la Zonificación Ecológica y Económica de Tacna. Diario Oficial El Peruano, Lima. (18 de enero del 2013) <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/modifican-la-ordenanza-regional-n-016-2012-crgobregtacna-ordenanza-n-018-2013-crgobregtacna-1053975-1/>
- Oxley, D.J., Fenton, M.B. & Carmody, G.R.  
1974. The effects of roads on small mammals. *Journal of Applied Ecology* 11:51–9.
- Pacheco, M., Franco, P., Cáceres, C., Navarro, M., y Jove, C.  
2019. Aplicación de técnicas SIG para la cobertura superficial y distribución del bosque de Polylepis en la zona andina de Moquegua 2018. *Ciencia & Desarrollo* 23:26–32.
- Palik, B.J., y Murphy, P.G.  
1990. Disturbance versus edge effects in sugar-maple/ beech forest fragments. *Forest Ecology and Management* 32:187–202.
- Peña-Becerril, Juan Carlos, Monroy-Ata, Arcadio, Álvarez-Sánchez, Francisco Javier, & Orozco-Almanza, Ma. Socorro.  
2005. Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 8:91–98.
- Pino, E.  
2021. Conflictos por el uso del agua en una región árida: caso Tacna, Perú. *Diálogo Andino* 65:405–415.
- PPD – Programa de pequeñas donaciones.  
(s.f.) Convocatoria de proyectos comunitarios 2022. 18 de octubre del 2023. <https://www.ppdperu.org/wp-content/uploads/2022/04/Resultados-finales-Tacna.pdf>
- Proyecto Especial Tacna  
(s.f.) Proyecto Especial Tacna prevé acciones ante reducción del recurso hídrico. (24 de febrero de 2024) <https://www.gob.pe/institucion/pet/noticias/727972-proyecto-especial-tacna-preve-acciones-ante-reduccion-del-recurso-hidrico>
- QGIS Development Team  
2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. (24 de febrero de 2024) <https://qgis.org>
- Radio Uno Tacna  
16 de mayo del 2017. Canal de Calachaca se transformó en trampa mortal de camélidos en Chiluyo. Cadena Radial Sur Peruana S.A. (24 de febrero de 2024) <https://radiouno.pe/noticias/63092/canal-calachaca-se-transformo-trampa-mortal-camelidos-chiluyo/>
- Radio Uno Tacna  
03 de junio del 2016. PET secó bofedales y ojos de agua en Ancomarca. Cadena Radial Sur Peruana S.A. <https://radiouno.pe/noticias/55310/pet-seco-bofedales-ojos-agua-ancomarca/>
- Radio Uno Tacna  
31 de agosto del 2009. Comuneros de Chiluyo denuncian incumplimiento del PET. Cadena Radial Sur Peruana S.A. <https://radiouno.pe/noticias/11591/comuneros-chiluyo-denuncian-incumplimiento-pet/>
- Reid, W. V.; Mooney, H. A.; Cropper, A.; Capistrano, D.; Carpenter, S. R.; Chopra, K. and Zurek, M. B.  
2005. *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio Informe de Síntesis*. World Resource Institute. Washington DC.
- Rempel, R., Kaukinen, D. y Carr, A.  
2012. *Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources*. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.
- Rodríguez, A., Morello, J. y Matteucci, S.  
2012. *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina.
- Rosselló, R. y Lorenzo, J.  
2017. Natura 2000 network fragmentation caused by road infrastructures in Mallorca. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 43:329–349.
- Rutledge, D.  
2003. *Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?* Department of Conservation PO Box 10-420 Wellington, New Zealand.
- Santos, T. y Tellería, J.  
2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas* 15:3–12.

## SERFOR

2018. *Situación poblacional del Suri en el Perú: Resultados del II Censo Nacional. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. SERFOR, Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI, Lima - Perú.

## Sillero, N.

2008. Amphibian mortality levels on Spanish country roads: descriptive and spatial analysis. *Amphibia-Reptilia* 29:337–347.

## Tinajero, R., y Rodríguez, R.

2012. Efectos de la fragmentación del matorral desértico sobre poblaciones del aguililla cola-roja y el cernícalo americano en Baja California Sur, México. *Acta zoológica Mexicana* 28:427-446.

## Televisión Nacional del Perú.

2018. *Pobladores de zonas altoandinas de Tacna reciben ayuda para hacer frente a las heladas*. Cadena Radio Televisión RTP Perú.

## Turner, Gardner, O'Neill,

2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Primera Edición. Editorial Springer-Verlag New York, EEUU.

## Turton, S. y Freiburger, H.

1997. Edge and aspect effects on the microclimate of a small tropical forest remnant on the Atherton Tableland, Northeastern Australia. In *Tropical forest remnants. Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities*, eds. W.F. Laurance y R.O. Jr. Bierregaard. University of Chicago Press, Chicago.

## Uribe Sierra, Sergio Elías, &amp; Panez Pinto, Alexander.

2022. Continuidades y rupturas del extractivismo en Chile: Análisis sobre sus tendencias en las últimas dos décadas. *Diálogo Andino* 68:151–166.

## Verga, E., Peluc, S., Landi, M. y Galetto, L.

2018. Forest fragmentation effect on potential food sources for birds in Córdoba. *Ecología Austral* 028:339–352.

## Vila, J, Varga, D., Llausàs, A. y Ribs, A. 2006.

Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology): una interpretación desde la geografía. *Documents d'analisi geogràfica* 48:151–166.

## Wolff, J. Schaubert, E. y Edge, D.

1997. Effects of Habitat Loss and Fragmentation on the Behavior and Demography of Gray-Tailed Voles. Efectos de la Pérdida y Fragmentación de Hábitat Sobre el Comportamiento y la Demografía de Ratones de Campo de Cola Gris. *Conservation Biology* 11:945–956.