Ecología Aplicada, 24(1), 2025
ISSN 1726-2216 Versión impresa / ISSN 1993-9507 Versión electrónica.
Depósito legal 2002-5474
© Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
Presentado: 25/11/2024
Aceptado: 13/06/2025
Publicado en línea: 31/07/2025
ARTICULO ORIGINAL
DOI: https://doi.org/10.21704/rea.v24i1.2273

# CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES ABIÓTICAS DEL ECOSISTEMA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES: APLICACIÓN EN LA QUEBRADA CUCHIMACHAY EN SAN JERÓNIMO DE SURCO

# CHARACTERIZATION OF THE ABIOTIC CONDITIONS OF THE ECOSYSTEM USING SATELLITE IMAGES: APPLICATION IN THE CUCHIMACHAY RAVINE IN SAN JERONIMO DE SURCO

Jorge León[1,2], Brandon Ortiz[1,3], Yarisel Rojas[1,4] y Luis Santillán[1,5]

**Resumen**

La caracterización de los factores bióticos y abióticos es un procedimiento necesario para el manejo del ecosistema. En ese contexto se realizó la caracterización del biotopo de la quebrada Cuchimachay en San Jerónimo de Surco, Lima. Se seleccionaron imágenes satelitales de índice de humedad y de estrés de humedad del área de estudio del 8 de junio de 2024 a través del satélite Sentinel-2 a nivel L2A. A partir de ASTER Global Digital Elevation Model se obtuvieron imágenes en formato Aster versión 003 que proporcionaron un modelo digital de elevación. El área de estudio fluctúa entre 2 075 y 2 400 msnm. La ladera oriental tiene mayor número de pisos altitudinales. El mapa de pendientes se hizo con el modelo digital de elevación de la zona con correcciones y la herramienta Slope de Surface. Para la realización del mapa de radiación se hizo uso de la herramienta encontrada en Spatial Analyst tools, Solar Radiation, Área Solar Radiation. El modelo de pendientes muestra que las zonas más planas se ubican hacia el noroeste de la quebrada, específicamente en el fondo de quebrada y en las zonas más próximas al centro poblado. La ladera occidental es la que se presenta pendiente extremadamente inclinada, asimismo es la que presenta los niveles más altos de radiación, por sobre los 4 500 Kwh/m$^2$. El mayor estrés de humedad también se presenta en la ladera occidental. Se delimitaron seis biotopos, árido, semiárido, húmedo, agricultura, quebrada seca y quebrada sin agua, siendo el biotopo árido el de mayor extensión.
**Palabras clave:** ecosistema, humedad, estrés de humedad, pendiente, radiación.

**Abstract**

Characterization of biotic and abiotic factors is a necessary procedure for ecosystem management. In this context, we developed a characterization of the biotope of the Cuchimachay ravine in San Jeronimo de Surco, Lima. Satellite images of moisture index and moisture stress of the study area from June 8, 2024 were obtained through the Sentinel-2 satellite at L2A level. Images in Aster version 003 format were obtained from the ASTER Global Digital Elevation Model, images, providing a digital elevation model. The study area fluctuates between 2 075 and 2 400 meters above sea level. The eastern slope has a greater number of altitudinal levels. The slope map was made with the digital elevation model of the area with corrections and the Slope tool from Surface. For the radiation map, the tool found in Spatial Analyst tools, Solar Radiation, Area Solar Radiation was used. The slope model shows that the flattest areas are located towards the northwest of the ravine, specifically at the bottom and in the areas closest to the populated center. The western slope is the one that presents an extremely steep slope, and it also presents the highest levels of radiation, above 4 500 Kwh/m$^2$. The highest moisture stress is also present on the western slope. Six biotopes were delineated: arid, semi-arid, humid, agriculture, dry brook, and brook without water, with the arid one being the largest in extent.
**Key words:** ecosystem, moisture, moisture stress, slope, radiation.

## Introducción

La preservación y manejo de biotopos valiosos ocurren dentro de un entorno cultural, social, político y económico, y cada vez más, a nivel paisajístico (Käyhkö & Skånes, 2006). El estudio de biotopos en un ecosistema permite caracterizar las condiciones físicas donde se establecen las comunidades bióticas, lo cual resulta de importancia para el análisis de las perturbaciones. Los factores abióticos como el clima, la topografía y el suelo afectan al hábitat y a la estructuración de las comunidades vegetales (Hong *et al.,* 2004). Una descripción detallada del biotopo puede proveer mejor información sobre los tipos de comunidades vegetales y su cobertura proporcional; también se hace posible evaluar las particularidades del hábitat que los hacen más especiales para alguna especie, en particular aquellas con algún tipo de amenaza (Vihervaara, *et al.,* 2012). La alteración de las comunidades naturales es la resultante de las interacciones complejas de los factores ambientales, esto en consecuencia, genera los diferentes patrones que se manifiestan en el paisaje (Käyhkö & Skånes,

2006). Las perturbaciones se presentan de manera regular en los sistemas naturales siendo su propagación directamente proporcional a la heterogeneidad del paisaje cuando se propagan entre comunidades, pero inversamente proporcional al propagarse dentro de la misma comunidad (Turner *et al.,* 1989).

La caracterización del biotopo mediante el uso de mapas que delimiten las condiciones físicas del ambiente, ha pasado de ser una herramienta de protección de un ecosistema o de una especie rara, a ser una estrategia moderna de conservación (Qiu *et al.,* 2010). Evaluar el biotopo en su totalidad, mediante el mapeo de sus características relevantes para la biota, se convierte en un marco básico para el manejo de los ecosistemas ecológicamente importantes (Silvar & Giraldo, 2018) y la consecuente conservación de la vida silvestre (Hong *et al.*, 2004; García-Alzate *et al.,* 2007), siendo una medida más eficiente que el hacer seguimiento a una sola especie (Chytrý *et al.,* 2020). El mapeo de biotopos es una herramienta empleada en otros países para su investigación con fines de planificación urbana y ordenamiento del territorio (Hong *et al.,* 2005; Mansuroglu *et al.,* 2006; Córdoba, 2022). Sin embargo, también ha sido una herramienta de importancia para el manejo de especies (Gavashelishvili & Lukarevskiy, 2008; Harvey *et al.,* 2011; Vélez-Liendo *et al.,* 2013; Baker *et al.,* 2016; Hosseini *et al.,* 2024). Al evaluarse el biotopo de manera específica para algún organismo en particular, el enfoque se centra en la especie más que en las condiciones físicas de su hábitat, esto mayormente ocurre en animales debido a que el organismo se distribuye principalmente dónde está su alimento (Vélez-Liendo *et al.,* 2013). Por su parte, los aspectos físicos resultan más relevantes cuando se trata de evaluar la relevancia del hábitat para un organismo vegetal (Hosseini *et al.*, 2024). Precisamente, el estudio de Hosseini *et al.* (2024) muestra la relevancia de la elevación entre todos los parámetros físicos evaluados, para la presencia de tres especies del género *Thymus* en Irán.

La quebrada Cuchimachay se ubica en el distrito de San Jerónimo de Surco, el cual se encuentra en la parte media de la cuenca del río Rímac. San Jerónimo pertenece a la provincia de Huarochirí, departamento de Lima, su elevación fluctúa entre 1 800 y 4 000 msnm (Buendía *et al.*, 2001). La zona donde se ubica Cuchimachay corresponde al ecosistema matorral andino según lo establecido por el Ministerio de Ambiente (MINAM, 2018). De acuerdo al mapa ecológico del Perú (INRENA, 1995) en Surco hay 4 zonas de vida, cada una con especies particulares de flora y fauna; por debajo de los 2 000 msnm se presenta una zona árida parecida a la costa con presencia de distintas especies de cactus y con árboles adaptados a la aridez como huarangos, a mayor elevación está la zona de estepa herbácea, donde el tamaño de los árboles es reducido, así como una mayor presencia de arbustos. El mapeo del biotopo de Cuchimachay permitirá determinar la situación actual de este ecosistema y las alteraciones a las que está expuesto por efecto de las actividades antrópicas. En el presente estudio se realiza una caracterización del biotopo de la quebrada Cuchimachay en San Jerónimo de Surco con el fin de conocer sus características naturales y de desarrollar una herramienta que pueda ser empleada para el adecuado ordenamiento del territorio. El área de estudio se delimitó previamente *in situ* en el mismo terreno del área de estudio para luego realizar la caracterización del biotopo mediante el análisis de imágenes satelitales y el modelamiento físico.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de estudio es el tramo de la quebrada de Cuchimachay desde la salida del centro poblado de San Jerónimo de Surco hasta la catarata de Cuchimachay, Provincia Huarochirí, Departamento de Lima, Perú, incluyendo a las dos laderas adyacentes a la quebrada. El clima es semiárido con invierno seco y verano templado según la clasificación climática de Koopen (Buendía *et al.*, 2001). Se encuentran campos de cultivos y distintas comunidades vegetales que incluyen cactáceas, arbustos y árboles de valle (Buendía *et al.*, 2001). En la Figura 1 se presenta el área establecida para el estudio.

### Evaluación de campo

Se realizaron dos visitas a campo en otoño 2024, la primera para establecer el área de trabajo y en la segunda, realizada el 9 de junio, se llevó a cabo la evaluación y diferenciación de las zonas encontradas en el área de estudio. Para llevar a cabo esto se recorrió la quebrada en la parte baja, siguiendo el sendero establecido por la comunidad de San Jerónimo. A lo largo del recorrido se realizaron paradas cada 20 minutos y dos observadores llevaron a cabo la determinación de las características visibles del ambiente mediante el registro de la ubicación geográfica y el registro fotográfico.

### Imágenes satelitales

Se consideró como área de estudio una extensión de 44.67 has. Se usó Google Earth Pro para obtener una imagen satelital de la zona de trabajo. Se utilizó la imagen de junio de 2020 debido a ser la que tenía mayor claridad para reconocer las características del terreno desde una vista aérea y por ser la misma época a la de la evaluación de campo, la resolución espacial fue de 2 m, lo cual permitió distinguir detalles.

Se seleccionaron imágenes satelitales de índice de humedad (Normalized Difference Moisture Index - NDMI) y de estrés hídrico (NDMI for moisture stress) del área de estudio del 8 de junio de 2024 a través del satélite Sentinel-2 a nivel L2A que se encuentran en la página web de Copernicus. El índice de humedad estima el contenido de agua en la vegetación combinando el infrarrojo cercano (NIR), sensible a la

estructura interna de las hojas, y el infrarrojo de onda corta (SWIR), asociado directamente con la humedad. La banda B08A (NIR) tiene una longitud de onda de 865 nm y un ancho de banda de 20 nm, mientras que la banda B11 (SWIR) posee una longitud de onda de 1 610 nm y un ancho de banda de 90 nm; ambas con una resolución espacial de 20 m. El estrés hídrico se basa en el NDMI y se visualiza en 4 clases, determinando si se ha realizado riego mediante las bandas B08 (NIR, 842 nm, 115 nm) y B11 de Sentinel-2 con 10 m de resolución.

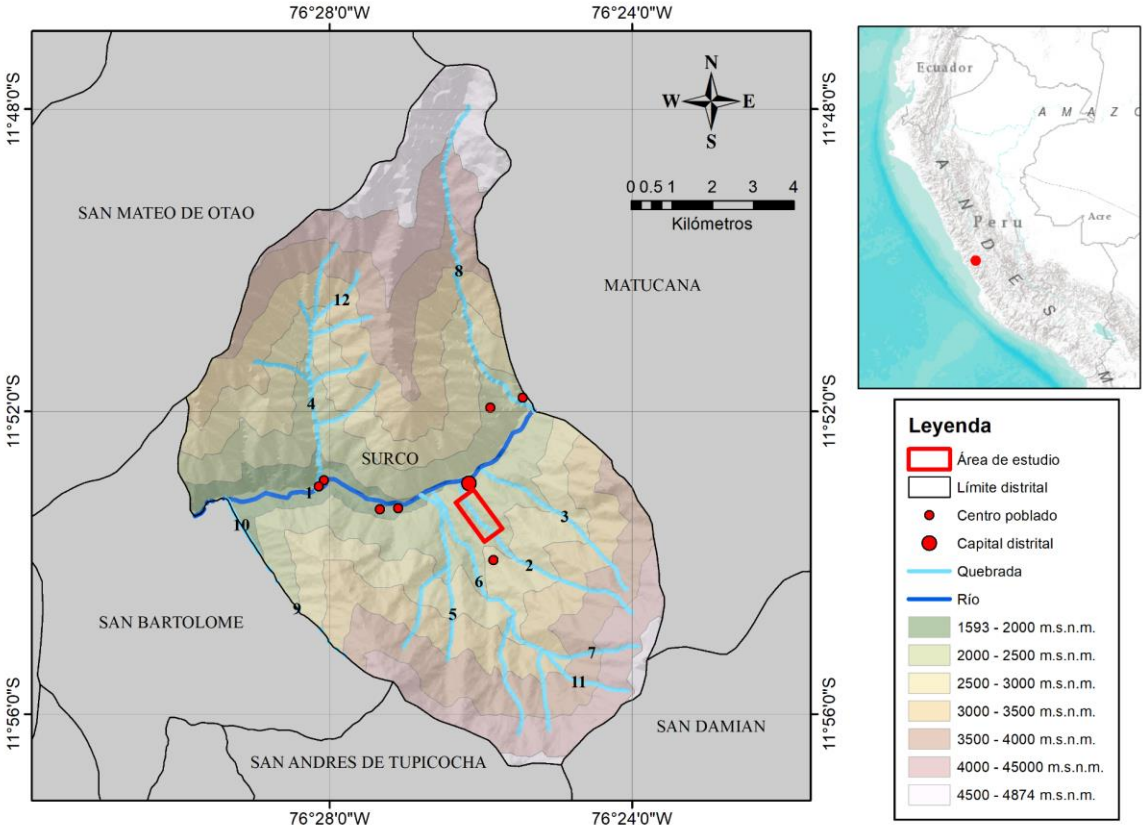


**Figura 1.** Área de estudio con elevación y distribución de cuerpos de agua. Cuerpos de agua: 1. Río Rímac; 2. Quebrada Cuchimachay; 3. Quebrada Chacamaza; 4. Quebrada Linday; 5. Quebrada Huacre; 6. Quebrada Matala; 7. Quebrada Cantón; 8. Quebrada Yamajune; 9. Quebrada Yacarhuaya; 10. Quebrada Verrugas; 11. Quebrada Santa Rosa; 12. Quebrada Tres Cruces.

Aplicación de sistemas de información geográfica y modelamiento físico

Se obtuvieron imágenes a partir de ASTER Global Digital Elevation Model, imágenes en formato Aster versión 003 que proporcionaron un modelo digital de elevación basado en píxeles con una resolución espacial de aproximadamente 30 metros de longitud por lado, la obtención del mismo se hizo a través de la página de la NASA llamada EarthData en el apartado EarthData Search, siendo ASTGTMV003_S12W077_dem la imagen utilizada debido a que contiene el área de estudio. Esta fue elaborada entre 1/3/2000 y 30/11/2013.

Para la realización del mapa de pendientes se hizo uso de herramientas propias del ArcGIS como “Fill”, la cual corrigió defectos producidos por sumideros del modelo digital de elevación de la zona proveniente de EarthData Search, y “Slope” de Surface, que se utilizó para generar el modelo de pendientes en porcentajes a partir del modelo digital de elevación de la zona corregido, y se le hizo una reclasificación con las normas dispuestas por el MINAGRI (DECRETO SUPREMO N° 005-2022-MIDAGRI) para la clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. Este mapa cuenta con una resolución de 30.67 m por pixel (tamaño obtenido en formato TIFF 16-bit antes de convertirse a shapefile).

Para la realización del mapa de radiación se hizo nuevamente uso de herramientas propias del ArcGIS “Area Solar Radiation”, siendo encontrada en Solar Radiation, Spatial Analyst tools, la cual deriva la radiación solar entrante de una superficie de ráster (Esri, 2025); a continuación, se configuró de tal manera que en las opciones dadas se incluyó el modelo de elevación de la zona corregido y el programa pudo determinar la latitud a la que se trabajaría. Se configuró

el tiempo a solo un día determinado, seleccionando el 9 de junio de 2024 y colocando en el intervalo de horas desde las 9:00 horas hasta las 13:00 horas. Entre los demás datos requeridos se aplicaron las limitaciones acorde a la evaluación de campo, siendo un día generalmente despejado con una baja presencia de nubes, obteniéndose una definición de 31.00343874 m por pixel en un formato TIFF 32-bit float point como resultado.

Delimitación de biotopos

Se delimitaron los distintos biotopos del área de estudio tomando aspectos comunes de ciertas zonas de la quebrada, haciendo uso de la información obtenida de las imágenes satelitales, evaluación de campo y los mapas obtenidos en ArcMap.

**Resultados**

La determinación de biotopos se realizó según su ubicación, además de su condición natural o artificial, y de la disponibilidad de agua o pérdida de humedad. Con ayuda de las imágenes satelitales a color verdadero de Google Earth Pro y de los índices de humedad y de estrés de humedad se realizó la delimitación de los biotopos con mayor precisión (Figura 2). A continuación, se describen los parámetros ambientales analizados para la determinación de los biotopos y posteriormente se realiza la descripción de estos.

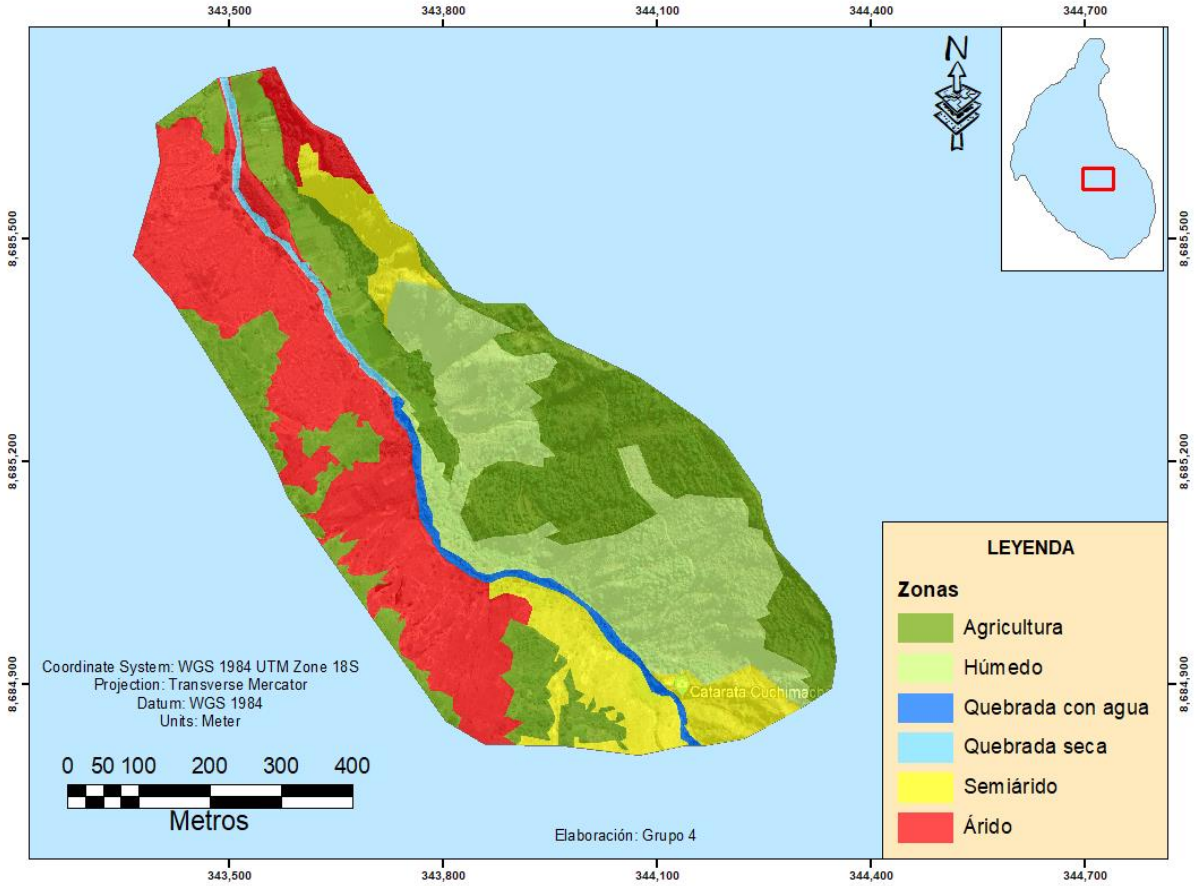


**Figura 2.** Mapa con las delimitaciones de zonas.

Pendiente

La Figura 3 muestra la distribución de las pendientes, desde plana o ligeramente inclinada hasta extremadamente empinada. Las zonas más planas se ubican hacia el noroeste de la quebrada, específicamente en el fondo de quebrada y en las zonas más próximas al centro poblado. El cambio es abrupto de plana hacia moderadamente inclinada, siendo esta característica la que predomina en la mayor parte del fondo de quebrada. Las áreas con pendientes extremadamente empinadas son amplias en ambos lados de la quebrada, sin embargo, la ladera occidental es la que presenta mayor extensión de las zonas extremadamente empinadas.

Radiación

En la Figura 4 se aprecia la distribución de la radiación. En general, la ladera occidental y el fondo de quebrada presentan niveles altos de radiación, por sobre los 4 500 Kwh/m$^2$. La ladera occidental es la que está sometida a mayor radiación, alcanzando valores de hasta 5 399 Kwh/m$^2$, mientras que la ladera oriental presenta el otro extremo de los niveles de radiación con

2 087 Kwh/m$^2$. Toda la ladera oriental en su totalidad presenta niveles de radiación menores a 3 500 En general, la ladera occidental y el fondo de quebrada presentan niveles altos de radiación, por sobre los 4 500 Kwh/m$^2$. Las zonas con pendientes más altas son las que se relacionan directamente con la mayor radiación, es decir la ladera occidental representa un biotopo de alta radiación solar en un relieve extremadamente empinado.

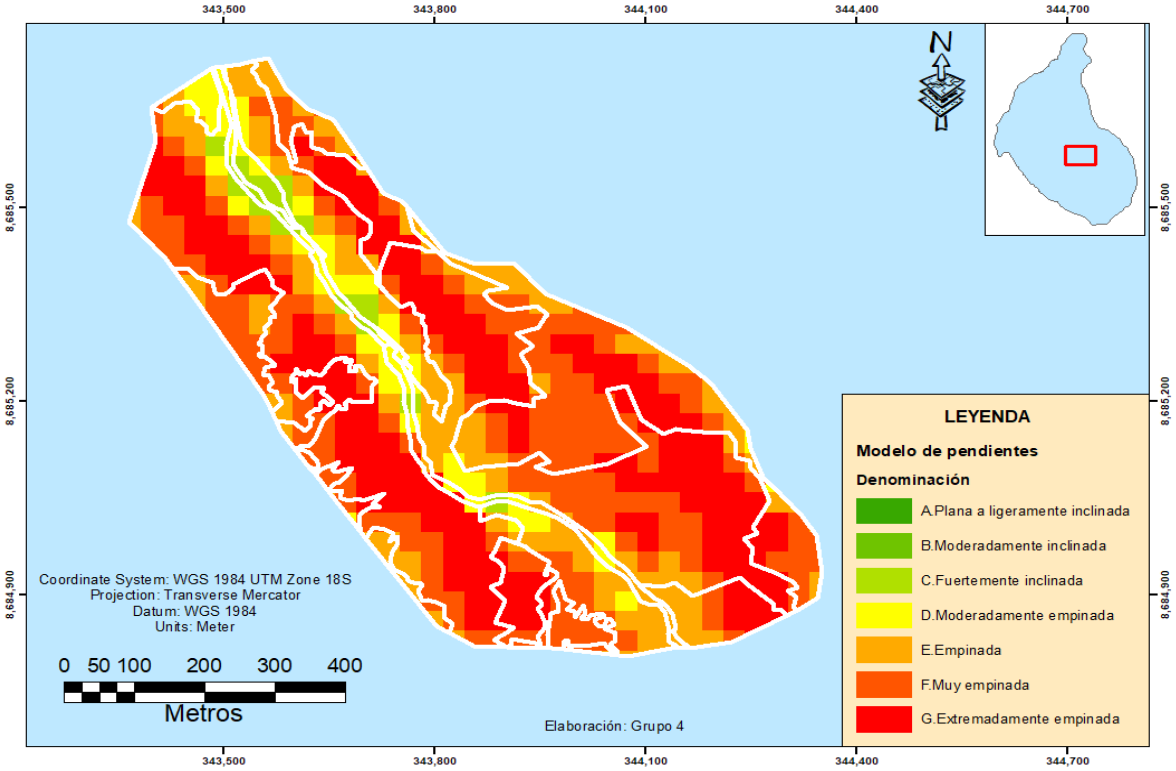


**Figura 3.** Mapa de pendientes del área de estudio.

Humedad

En la Figura 5 se observa cómo la ladera occidental está expuesta a un estrés de humedad extremo, a punto de estar seca y esto ocurre en la mayor parte de su extensión, con excepción de las zonas de agricultura, las sub quebradas y en la zona más cercana a la quebrada. Esto se refleja en su menor índice de humedad. Por otro lado, la ladera oriental presenta un menor estrés hídrico con una consecuente alta humedad. La ladera occidental representa una parte del ecosistema con un biotopo expuesto a mayor radiación solar en un relieve extremadamente empinado y seco.

Elevación

En la Figura 6 se observan las curvas de nivel de la zona. El área de estudio fluctúa entre 2 075 y 2 400 msnm. La ladera oriental tiene mayor número de pisos altitudinales. Asimismo, esta ladera presenta un menor índice de humedad por tener menor exposición a la radiación, un estrés hídrico menor (Figura 5) y un índice de humedad más alto (Figura 7).

Delimitación de biotopos

Se delimitaron seis biotopos en función a características físicas similares de los parámetros modelados en toda la quebrada (Tabla 1). A continuación, se describe cada uno de los biotopos delimitados.

ÁRIDO

Abarca 12.68 ha o el 28.39% del área de la cuenca, se ubica principalmente en la ladera occidental que tiene orientación al este. Se encuentra en menor medida en la parte más baja de la ladera oriental, tiene una pendiente del 68.17% que es considerada muy empinada. La radiación es de 4 695 Kwh/m², un valor de estrés de humedad de -0.05 que es considerado seco y un índice de humedad de -0.08 que indica baja humedad. Se observan acantilados y suelo descubierto, cactus dispersos pertenecientes a las especies *Haageocereus acranthus, Loxanthocereus acanthurus, Armatocereus matucanensis*, etc., arbustos completamente secos, árboles mayormente en zonas aledañas a la quebrada principal y a quebradas secundarias.

SEMIÁRIDO

Abarca 4.95 ha o el 11.07% del área total. Presenta una orientación mixta para el suroeste con una pendiente del 59.29%, que expresa un valor muy empinado. Dentro de la zona se halla una radiación en promedio de 4 068 Kwh/m², tiene un estrés de humedad moderado de 0.03, un índice de humedad de 0.067. A

mayor elevación que la zona árida, presencia de arbustos verdes, cerca de la quebrada, el terreno es más accidentado con una gran densidad de cactus *Trichocereus macrogonus* ssp. *peruvianus* y de *Puya ferruginea*.

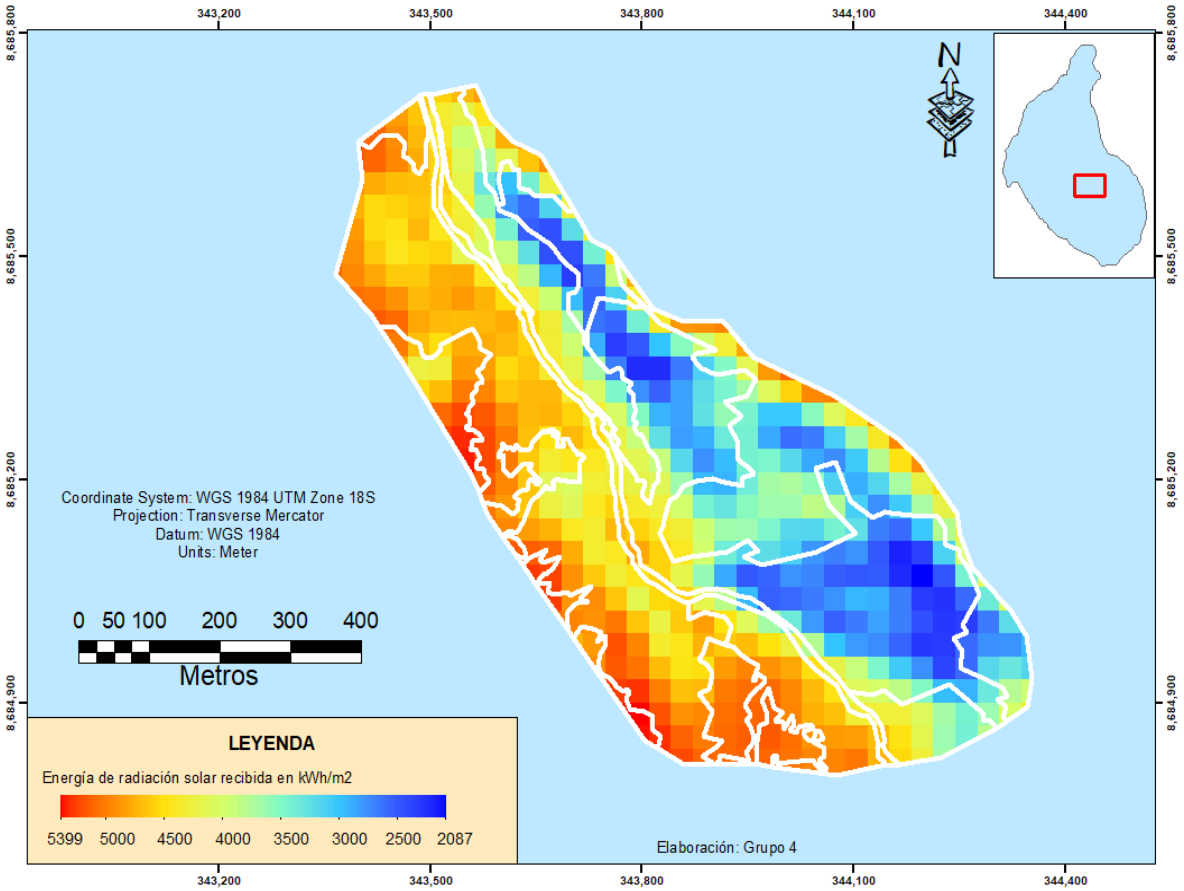


**Figura 4.** Mapa de radiación del área de estudio.

**Tabla 1**. Delimitación de biotopos en función a la pendiente, radiación, índice de humedad y estrés de humedad.

| Biotopo | Área (%) | Área (ha) | Orientación | Pendiente | Radiación | Índice de humedad | Estrés de humedad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Árida | 28.39% | 12.68 | East (67.5-112.5) | 68.17% | 4 695.35 Kwh/m² | -0.05 | -0.08 |
| Semiárido | 11.07% | 4.95 | Southwest (202.5-247.5) | 59.29% | 4 068.18 Kwh/m² | 0.07 | 0.03 |
| Húmedo | 23.60% | 10.54 | Southwest (202.5-247.5) | 73.54% | 3 062.14 Kwh/m² | 0.11 | 0.08 |
| Agricultura | 34.01% | 15.19 | Southwest (202.5-247.5) | 57.68% | 4 008.72 Kwh/m² | 0.07 | 0.04 |
| Quebrada seca | 1.16% | 0.52 | Northwest (292.5-337.5) | 16.28% | 4 452.98 Kwh/m² | 0.04 | 0.01 |
| Quebrada con agua | 1.77% | 0.79 | West (247.5-292.5) | 24.76% | 4 451.13 Kwh/m² | 0.11 | 0.06 |

Elaboración propia, datos obtenidos por zonas.

HÚMEDO

Abarca 10.54 ha o el 23.6% de toda el área, consta de una pendiente muy empinada de 73.54%. La orientación es hacia el oeste y relacionada a la radiación baja 3 062 Kwh/m², dentro de la zona se halla un bajo estrés de humedad 0.079 con un alto índice de humedad 0.11. En la zona se vio la presencia de distintos tipos de vegetación leñosa, arbustiva, y una mayor densidad de cactus.

AGRICULTURA

Cuenta con un área total de 15.19 ha, o un 34% de toda la delimitación. Se subdivide en dos secciones que

es la baja y la de montaña, la baja tiene pendiente relativamente empinada mientras que la montaña tiene una pendiente que va desde muy empinada a extremadamente empinada, se vio un índice de humedad positivo de 0.074 con valores de estrés bajos en humedad de 0.042. Ambas cuentan con agua para el riego suministrada a través de canales de riego que movilizan el agua de las quebradas o reservorios hasta los cultivos.

QUEBRADA SECA

Su extensión es de 1.16% o 0.52 ha del área total. En la parte baja de la quebrada, la pendiente es de 16.28% siendo considerada moderadamente empinada. La radiación es de 4 452 Kwh/m², el índice de humedad es 0.04 y el estrés de humedad 0.0078. En esta parte hay zonas con presencia de árboles y otras zonas con terreno expuesto.

QUEBRADA CON AGUA

El área que ocupa es del 1.77% o 0.79 ha de toda el área. El terreno es más accidentado que la quebrada seca con 24.76%, la radiación es de 4 451 Kwh/m², presencia de agua torrentosa, el índice de humedad es de 0.11 y el estrés hídrico 0.064. Existe mayor cantidad de vegetación alrededor de la quebrada que llega a generar sombra; a presencia de agua constante favorece a la presencia de animales acuáticos, así como mayor densidad de plantas.

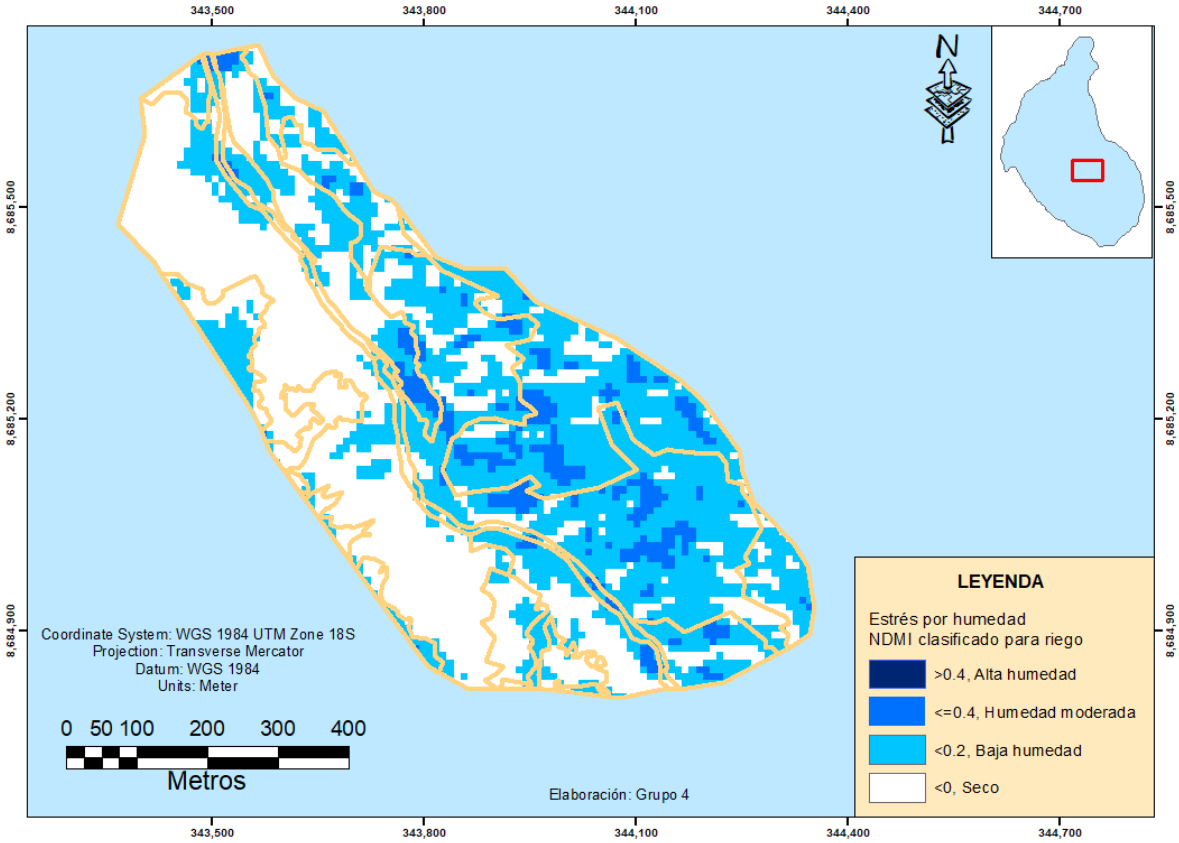


**Figura 5.** Mapa de estrés de humedad del área de estudio.

## Discusión

En este estudio utilizamos imágenes satelitales y modelamiento físico a partir de un sistema de información geográfica. Como consecuencia, se ha logrado caracterizar y determinar los biotopos en la quebrada Cuchimachay en función a sus características físicas. Encontramos seis biotopos con distintas características y cobertura vegetal. Las condiciones ambientales definen la idoneidad de un área para ser un biotopo y cualquier área puede albergar más de un biotopo (Rubanschi *et al.*, 2023). En un ecosistema, la vegetación es el factor biótico más importante para el establecimiento del hábitat (Ashcroft *et al.*, 2014). Sin embargo, la variación de la cobertura vegetal está en función a las características físicas del ecosistema (Wang *et al.,* 2015), es así que la descripción de las características físicas del ecosistema resulta de gran relevancia en la determinación de los ecosistemas e incluso en la valoración de los mismos mediante su clasificación con fines de protección (Stevens *et al.,* 2021). La descripción del biotopo en la quebrada Cuchimachay se basó en evaluar algunos parámetros ambientales, de los cuales dos fueron de gran relevancia por la estructura observada en campo, estos parámetros

fueron la pendiente y la radiación. De acuerdo con el análisis, ambos serían de gran relevancia para la oferta y estrés de la humedad y, en consecuencia, para la generación de hábitat. Rubanschi *et al.* (2023) determinan que, para muchos biotopos, las variables climáticas son más importantes que la variabilidad del suelo. Estudios en bosques han determinado que tanto la topografía como la radiación tienen relaciones con el establecimiento de la vegetación, siendo factores ambientales relevantes (Hong, 2004; Wang *et al.*, 2015).

En Cuchimachay describimos un biotopo de agricultura que es el que presenta mayor perturbación humana, además de ser uno de los biotopos más extensos y que presenta mejor humedad disponible debido a la infraestructura de riego que posee. En ese sentido, en ecosistemas alterados o con gran nivel de perturbación, la diversidad orográfica tiene una clara vinculación con la variabilidad microclimática, variaciones significativas en temperatura y radiación solar generan variaciones entre los biotopos individualmente (Raška *et al.*, 2017).

Las variables usadas para la modelación del ecosistema de Hong (2004) incluyen el tipo de vegetación, radiación solar topográfica, el índice de vegetación NDVI ("Normalized Difference Vegetation Index"), elevación, ríos y caminos de las áreas de la montaña Sorak en Corea del Sur. En la evaluación realizada en Cuchimachay, la radiación solar topográfica es el factor de coincidencia con el trabajo de Hong (2004), en nuestro estudio empleamos imágenes satelitales del Sentinel 2 para conseguir los índices de humedad en lugar de los de vegetación, mientras que la elevación no es tomada en cuenta debido a la poca extensión del área de la quebrada.

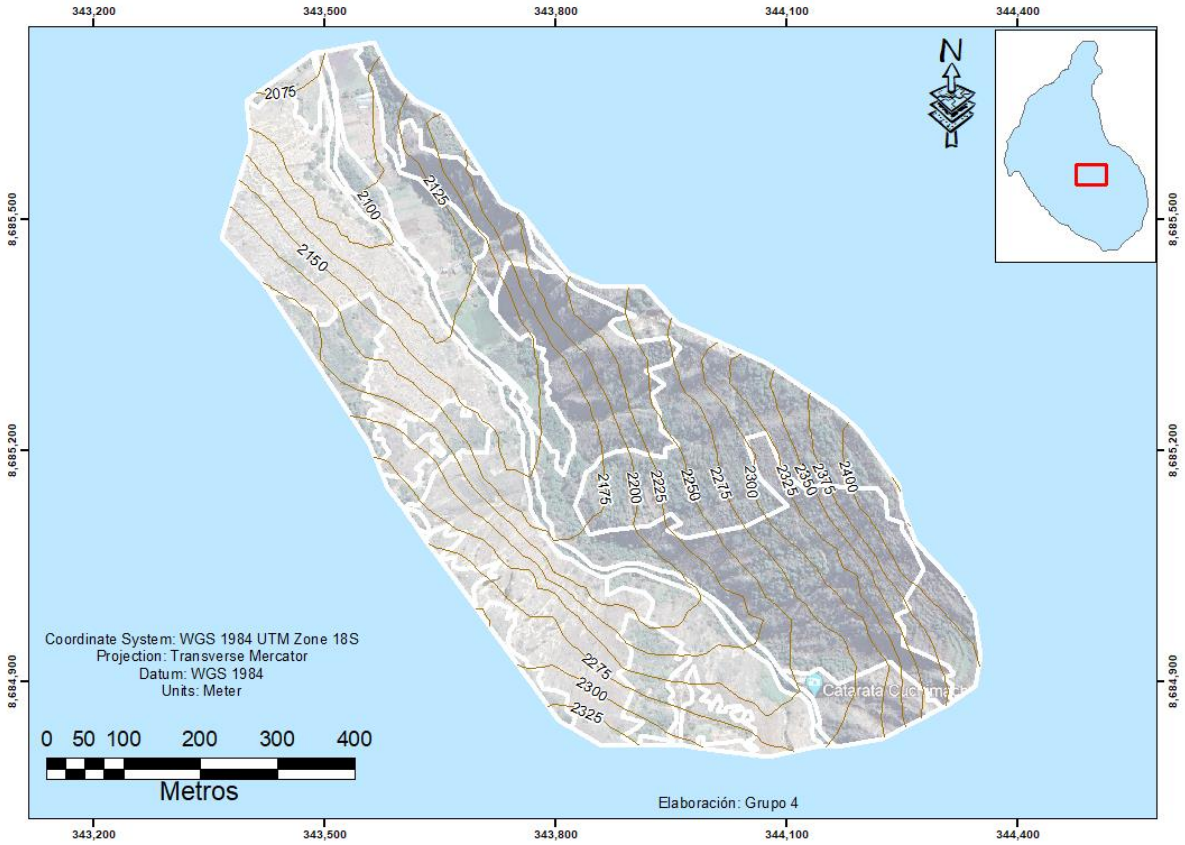


**Figura 6.** Mapa de relieve (elevaciones) del área de estudio.

El mapeo de biotopos es una herramienta empleada en otros países para su investigación con fines de planificación urbana (Hong *et al.,* 2005; Mansuroglu *et al.,* 2006). Sin embargo, también ha sido una herramienta de importancia para el manejo de especies (Gavashelishvili & Lukarevskiy, 2008; Harvey *et al.,* 2011; Vélez-Liendo *et al.,* 2013; Baker *et al.,* 2016; Hosseini *et al.,* 2024). El análisis del biotopo con una visión específica se vincula a evaluar algún organismo en particular, siendo en este caso un enfoque centrado en la especie más que en las condiciones físicas de su hábitat (Vélez-Liendo *et al.,* 2013). En nuestro trabajo el análisis es holístico, no se centra en alguna especie en particular, por tanto, los parámetros que podamos considerar más determinantes para la estructura del biotopo de Cuchimachay lo son bajo una mirada general. Esto se volvería referencial cuando el enfoque se centre en alguna especie en particular.

En los ecosistemas fluviales, como el fondo de quebrada de Cuchimachay, las comunidades de macroinvertebrados son excelentes indicadores de calidad ambiental. Estos biotopos reflejan la combinación del sustrato de fondo, la profundidad y velocidad del flujo de agua, así como la influencia de la diversidad de macroinvertebrados (Baker *et al.,* 2016). Las zonas de pozas y rápidos son las que presentan mayor agregación de macroinvertebrados según Baker *et al.* (2016). En el estudio en Cuchimachay, el biotopo de quebrada húmeda está asociado a zonas torrentosas con flujos regulares (Padmore, 1998). Nuestro estudio no incluyó la evaluación de la comunidad de macroinvertebrados, sin embargo, la caracterización del biotopo de quebrada húmeda provee una base para futuras evaluaciones hidrobiológicas.

El cambio de uso de suelo, el desarrollo urbano y el cambio climático son aspectos que alteran la estructura de los ecosistemas, sin embargo, el escaso conocimiento que tenemos sobre muchos de estos, hace que muchos esfuerzos de manejo sean relevantes (Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández, 2018). Realizar descripciones de aspectos básicos de la estructura de los ecosistemas es de gran importancia. Los estudios en Quebrada Cuchimachay son escasos, así como en toda el área de San Jerónimo, sin embargo, su presión de uso se hace mayor debido a su valor turístico y cercanía a la ciudad de Lima. Los resultados de nuestro trabajo proveen una herramienta de gran utilidad para implementar en modelos de la gestión del área con fines de lograr un uso más sostenible.

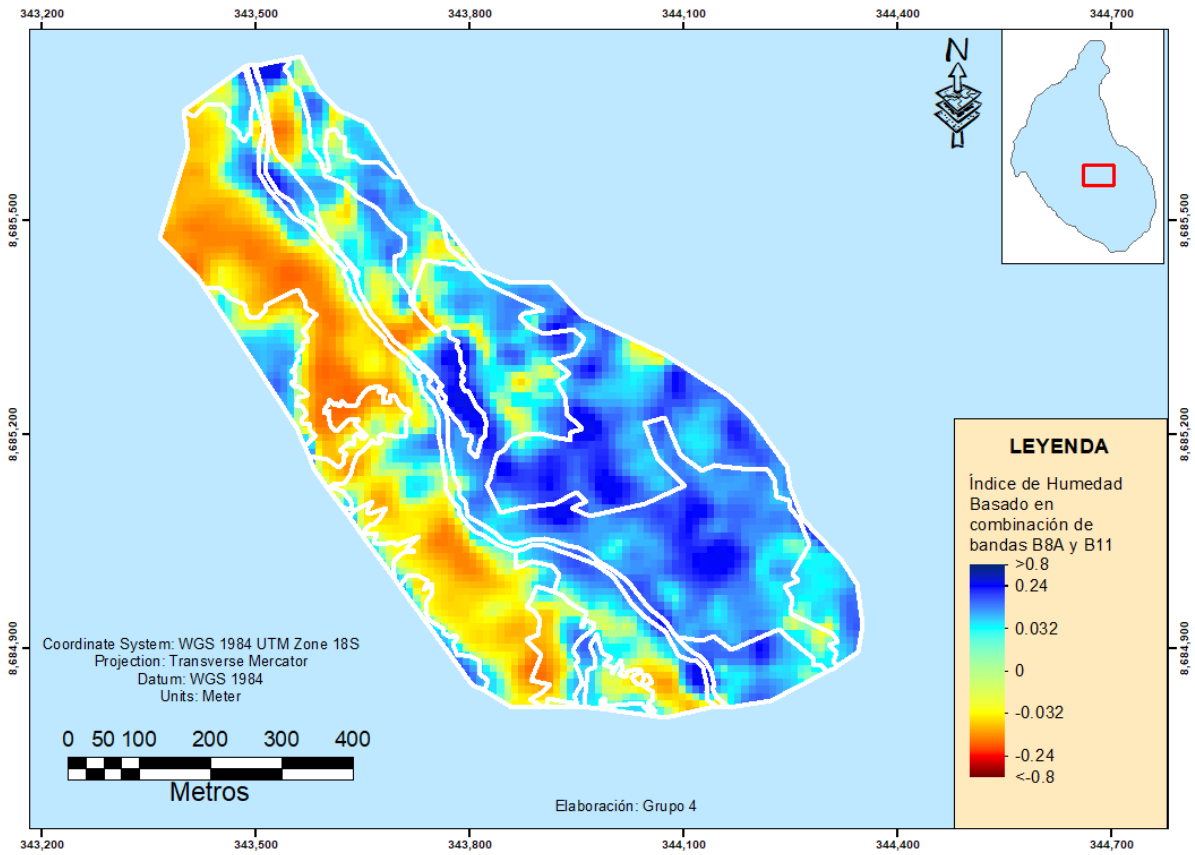


**Figura 7.** Mapa de índice de humedad del área de estudio.

Madrigal-Martínez *et al*. (2022) usaron imágenes Landsat corregidas atmosféricamente (Tier 1 TOA) con resolución de 30 m, provenientes de Landsat 5 (primeros tres años) y Landsat 8 (2019), utilizando 11 bandas: seis del satélite, tres de índices y dos topográficas. Estos autores mencionan que el procesamiento de imágenes satelitales puede presentar limitaciones en la representación del bioma, debido a la definición de clases de bioma, limitaciones del sensor Landsat, uso de variables auxiliares y datos validados sin claridad en el entrenamiento.

Johansen *et al*. (2007) utilizaron el satélite QuickBird con cuatro bandas multiespectrales a 2.8 m y una pancromática a 0.7 m de resolución espacial. Los datos se convirtieron a radiancia de tope atmosférico usando coeficientes de calibración previos al lanzamiento según ENVI, sin corrección atmosférica debido a que no se requería análisis de series temporales ni había datos atmosféricos disponibles. Se

calcularon dos índices de vegetación, NDVI y EVI ("Enhanced Vegetation Index"), y dos transformaciones de fusión de datos: el primer componente principal y la transformación iluminación/albedo, esta última basada en la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las bandas azul, verde, rojo y NIR. Para evitar errores en la evaluación de precisión causados por desalineaciones geométricas entre las coberturas espaciales y la imagen clasificada de QuickBird, se eliminó una franja de 15 m alrededor de los bordes de cada clase estructural de vegetación en los datos de validación.

Warren *et al*. (2014) accedieron a imágenes del satélite IKONOS, con cuatro bandas espectrales a 4 m de resolución espacial: azul (0.45 – 0.53 µm), verde (0.52 – 0.61 µm), rojo (0.64 – 0.72 µm) y cercano al infrarrojo (0.77 – 0.88 µm). La imagen, adquirida de Space Imaging, Inc., fue procesada con dos pasos opcionales: compensación de la función de transferencia de modulación (MTFC) para corregir movimiento del sensor, geometría y dispersión atmosférica, y ajuste del rango dinámico (DRA) que estira los valores de gris para mejorar la interpretación visual. La imagen IKONOS se compró con DRA, que mejora la visualización, pero puede afectar la precisión radiométrica y generar errores. Algunos expertos recomiendan evitar DRA para análisis multiespectrales, aunque otros lo aceptan para imágenes individuales. La resolución de 4 m ofrece más detalle, pero aumenta la variabilidad interna, dificultando la clasificación. Las sombras reducen la información radiométrica; su enmascaramiento disminuye el ruido, pero en exceso puede afectar los datos.

Leckie *et al*. (2005) mencionan que la interpretación de teledetección puede sufrir errores e inconsistencias del intérprete y una interpretación pobre o ausente en áreas de sombra proyectada por árboles o terreno adyacente, además de ser un proceso que consume mucho tiempo, especialmente si se requiere un alto nivel de detalle espacial o temporal.

Este estudio presenta la caracterización del biotopo en quebrada Cuchimachay considerando las condiciones de otoño y en particular del mes de junio. Sin embargo, es referencial para parámetros que pueden ser determinantes de las características físicas ambientales.

Para este estudio se utilizó la información del Mapa Ecológico del Perú de INRENA (1995) por ser bastante utilizado en estudios ambientales en el Perú a pesar de su antigüedad.

Se debe ampliar la caracterización del biotopo considerando el factor de la estacionalidad. Asimismo, considerando también la estacionalidad, se debería modelar cada parámetro evaluado acá con el fin de determinar si pese a los cambios estacionales, siguen o no siendo de alta relevancia para determinar las condiciones del biotopo.

**Conclusiones**

La ladera occidental de la quebrada Cuchimachay presenta una mayor pendiente, así como un mayor nivel de radiación. El estrés de humedad es extremo en esta ladera haciendo que su índice de humedad sea el más bajo. Con estas características, las mejores condiciones de hábitat se encontrarían en la ladera oriental.

Las características que determinan que la ladera oriental se encuentra en mejores condiciones son (i) la menor extensión de zonas con pendientes empinadas (en comparación a la ladera occidental), (ii) niveles menores de radiación solar, (iii) menor estrés hídrico, (iv) mayor número de pisos altitudinales.

Por otro lado, la quebrada Cuchimachay presenta seis biotopos determinados en función a características físicas similares a los modelados en toda la quebrada, estos biotopos son: árido, semiárido, húmedo, agricultura, quebrada seca y quebrada con agua.

El biotopo de agricultura es el más extenso, con 34% de toda la delimitación. El segundo más extenso es el biotopo árido, ubicado en la ladera occidental de la quebrada, y abarca el 28.39% del área de la cuenca.

**Agradecimientos**

El trabajo de campo se realizó con el apoyo de transporte de la Universidad San Ignacio de Loyola. Los autores agradecen al Decano de Ingeniería Javier Morán, a la Directora de Ingeniería Ambiental Johanna Poggi y a la Coordinadora Administrativa de la carrera Liliana Delgadillo, por las gestiones realizadas para el trabajo de campo.

**Literatura citada**

Ashcroft M.B., Gollan J.R. & Ramp D. 2014. Creating vegetation density profiles for a diverse range of ecological habitats using terrestrial laser scanning. Methods in Ecology and Evolution, 5(3): 263-272. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12157.

Baker K., Chadwick M.A., Kahar R., Sulaiman Z.H. & Wahab R.A. 2016. Fluvial biotopes influence macroinvertebrate biodiversity in South-East Asian tropical streams. Ecosphere, 7(12): e01479. https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecs2.1479.

Buendía H., Rojas T. & Pérez N. 2001. Propuesta de ordenamiento territorial del sector San Jerónimo de Surco-Huarochirí-Dpto. de Lima. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas (Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal Cienc. Geogr.), 4(7): 33-45. https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/3064. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v04_n7/prop_ordena.htm.

Chytrý M., Tichý L., Hennekens S.M., Knollová I., Janssen J.A.M., Rodwell J.S., Peterka T., *et al*. & Schaminée J.H.J. 2020. EUNIS Habitat Classification: Expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats. Applied Vegetation Science, 23(4): 648–675. https://doi.org/10.1111/avsc.12519.

Córdoba R. 2022. La importancia de la mapificación de los ecosistemas y sus servicios para la planificación urbana. Cuaderno de Investigación Urbanística nº 145, DOI: 10.20868/ciur.2022.145.

Esri. 2025. Radiación Solar de Área (Spatial Analyst). ArcMap 10.8. [Página web]. https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/area-solar-radiation.htm.

García-Alzate C.A., Román-Valencia C., Vanegas-Ríos J.A. & Arcila-Mesa D.K. 2007. Análisis Fisicoquímico y Biológico Comparado en Dos Quebradas de Alta Montaña Neotropical. Revista de Investigaciones Universidad del Quindío, 17: 57-80. Consultado el 24 de junio de 2024, de: https://www.researchgate.net/publication/258844353_Analisis_Fisicoquimico_y_Biologico_Comparado_en_Dos_Quebradas_de_Alta_Montana_Neotropical.

Gavashelishvili A. & Lukarevskiy V. 2008. Modelling the habitat requirements of leopard *Panthera pardus* in west and central Asia. Journal of Applied Ecology, 45: 579-588. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2007.01432.x.

Harvey M.G., Winger B.M., Seeholzer G.F. & Cáceres D. 2011. Avifauna of the Gran Pajonal and southern cerros del Sira, Peru. The Wilson Journal of Ornithology, 123(2): 289-315. https://doi.org/10.1676/10-066.1. http://www.bioone.org/doi/full/10.1676/10-066.1. https://www.wingerlab.org/uploads/3/7/0/9/37099457/harveyetal2011.pdf.

Hong S.-K., Kim S., Cho K.-H., Kim J.-E., Kang S. & Lee D. 2004. Ecotope mapping for landscape ecological assessment of habitat and ecosystem. Ecological Research, 19(1): 131–139. DOI: 10.1111/j.1440-1703.2003.00603.x.

Hong S.-K., Song I.-J., Byun B., Yoo S. & Nakagoshi N. 2005. Application of biotope mapping for spatial environmental planning and policy: case studies in urban ecosystems in Korea. Landscape Ecological and Engineering, 1: 101–112. DOI: 10.1007/s11355-005-0026-9.

Hosseini N., Ghorbanpour M. & Mostafavi H. 2024. Habitat potential modelling and the effect of climate change on the current and future distribution of three *Thymus* species in Iran using MaxEnt. Scientific Reports, 14: 3641. DOI: 10.1038/s41598-024-53405-5.

INRENA. 1995. Mapa Ecológico del Perú: Guía explicativa. INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales / Ministerio de Agricultura). Lima, Perú. https://tinyurl.com/rEA-UNALM-18.

Johansen K., Coops N.C., Gergel S.E. & Stange Y. 2007. Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification. Remote sensing of Environment, 110(1): 29-44. DOI: 10.1016/j.rse.2007.02.014.

Käyhkö N. & Skånes H. 2006. Change trajectories and key biotopes—Assessing landscape dynamics and sustainability. Landscape and Urban Planning, 75(3-4): 300–321. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2005.02. https://www.utupub.fi/handle/10024/170864.

Leckie D.G., Cloney E., Jay C. & Paradine D. 2005. Automated mapping of stream features with high-resolution multispectral imagery: An Example of the Capabilities. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 71(2): 145-155. DOI: 10.14358/PERS.71.2.145.

Löfvenhaft K., Runborg S. & Sjögren-Gulve P. 2004. Biotope patterns and amphibian distribution as assessment tools in urban landscape planning. Landscape and Urban Planning, 68(4): 403–427. DOI: 10.1016/s0169-2046(03)00154-3.

Madrigal-Martínez S., Puga-Calderón R.J., Bustínza V. & Vilca Ó. 2022. Spatiotemporal changes in land use and ecosystem service values under the influence of glacier retreat in a high-Andean environment. Frontiers in Environmental Science, 10: 941887.

Mansuroglu S., Ortacesme V. & Karaguzel O. 2006. Biotope mapping in an urban environment and its implications for urban management in Turkey. Journal of Environmental Management, 81(3): 175–187. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.10.008.

MIDAGRI. 2022. DECRETO SUPREMO N° 005-2022-MIDAGRI: Decreto Supremo que Aprueba el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor. El Peruano, 39(16583): Separata Especial (SE). https://busquedas.elperuano.pe/cuadernillo/NL/20220424. https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/SE/2060758-1. https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2060758-1.

MINAM. 2018. Definiciones Conceptuales de los Ecosistemas del Perú. MINAM (Ministerio de Ambiente). https://bit.ly/rEA-UNALM-36.

Padmore C.L. 1998. The role of physical biotopes in determining the conservation status and flow requirements of British rivers. Aquatic Ecosystem Health & Management, 1(1): 25-35. DOI: 10.1080/14634989808657003.

Qiu L., Gao T., Gunnarsson A., Hammer M. & von Bothmer R. 2010. A methodological study of biotope mapping in nature conservation. Urban Forestry & Urban Greening, 9(2): 161–166. DOI: 10.1016/j.ufug.2010.01.003.

Raška P., Riezner J., Pokorný R., Holec M. & Raška M. 2017. Relations between Biotic and Abiotic Diversity in Abandoned Basalt Quarry and Its Relevance for Ecological Restoration (Radobýl Hill, Northern Czechia). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 65(1): 0151–0166. https://doi.org/10.11118/actaun201765010151.

Rubanschi S., Meyer S.T., Hof C. & Weisser W.W. 2023. Modelling potential biotope composition on a regional scale revealed that climate variables are stronger drivers than soil variables. Diversity and Distributions, 29: 492–508. https://doi.org/10.1111/ddi.13675.

Sahagún-Sánchez F.J. & Reyes-Hernández H. 2018. Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. CienciaUAT, 12(2): 6-21. https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/831.

Silvar P. & Giraldo A. 2018. Mapeo del hábitat costero de bahía Aguacate y bahía Cupica, costa norte del Pacífico colombiano || Coastal habitat mapping of Bahia Aguacate and bahia Cupica, northern Colombian Pacific coast. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras || Bulletin of Marine and Coastal Research, 47 (1): 9-23. DOI: 10.25268/bimc.invemar.2018.47.1.735.

Stevens L.E., Schenk E.R & Springer A.E. 2021. Springs ecosystem classification. Ecological Applications, 3(1): e02218. DOI: 10.1002/eap.2218.

Turner M.G., Gardner R.H., Dale V.H. & O'Neill R.V. 1989. Predicting the Spread of Disturbance across Heterogeneous Landscapes. Oikos, 55(1): 121-129. DOI: 10.2307/3565881. https://www.jstor.org/stable/3565881.

Velez-Liendo X., Strubbe D. & Matthysen E. 2013. Effects of variable selection on modelling habitat and potential distribution of the Andean bear in Bolivia. Ursus, 24(2):127-138. http://www.jstor.org/stable/24643808.

Vihervaara P., Kumpula T., Ruokolainen A., Tanskanen A. & Burkhard. 2012. The use of detailed biotope data for linking biodiversity with ecosystem services in Finland. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management, 8(1-2): 169-185. DOI: 10.1080/21513732.2012.686120.

Wang B., Zhang G. & Duan J. 2015. Relationship between topography and the distribution of understory vegetation in a *Pinus massoniana* forest in Southern China. International Soil and Water Conservation Research, 3(4): 291-304. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.10.002.

Warren S.D., Alt M., Olson K.D., Irl S.D.H., Steinbauer M.J. & Jentsch A. 2014. The relationship between the spectral diversity of satellite imagery, habitat heterogeneity, and plant species richness. Ecological Informatics, 24: 160-168. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2014.08.006.

[1] Universidad San Ignacio de Loyola \ Facultad de Ingeniería \ Carrera de Ingeniería Ambiental \ Grupo de Investigación BIOMAS (Biodiversidad, medio ambiente y sociedad). Avenida La Fontana 550, La Molina, Lima, Perú.

[2] jorge.leona@usil.pe. ORCID: 0009-0005-8526-8114.

[3] brandon.ortiz@usil.pe. ORCID: 0009-0006-2101-8498.

[4] yarisel.rojas@usil.pe. ORCID: 0009-0007-7284-9387.

[5] Autor corresponsal. lsantillan@usil.edu.pe. ORCID: 0000-0002-1542-4151.