

Aspectos ecológicos de la distribución de *Ismene amancaes* en el área de conservación privada (ACP) Santuario de Amancay, 2023

Ecological aspects of the distribution of *Ismene amancaes* in the Amancay Sanctuary private conservation area (ACP), 2023

Sebastian Guillén-Chávez^{1*} , Alicia Chinguel-Chinguel¹  y Emilio Fuentes-García² 

1 Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
2 Asociación UNACEM. Lima, Perú.



Citar como: Guillén-Chávez, S. *et al.* (2025). «Aspectos ecológicos de la distribución de *Ismene amancaes* en el área de conservación privada (ACP) Santuario de Amancay, 2023». *South Sustainability*, 6(1), e115.
DOI: 10.21142/SS-0601-2025-e115

Artículo recibido: 5/10/2024
Revisado por pares
Artículo aceptado: 17/12/2024



© Los autores, 2025. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

* E-mail de correspondencia:
sebasgch5@gmail.com

RESUMEN

Este estudio se centra en el monitoreo de *Ismene amancaes*, una planta endémica de las lomas costeras de Lima, dentro del Área de Conservación Privada (ACP) Lomas Quebrada Río Seco, conocida como Santuario del Amancay. Mediante la integración de técnicas de sistemas de información geográfica (SIG) y aprendizaje automático, se evaluó la distribución, las características morfológicas de la especie y las condiciones ambientales que influyen en su hábitat. El monitoreo de campo, junto con una clasificación supervisada, alcanzó una precisión del 86 % en la identificación de coberturas vegetales, según el índice de Kappa. Los resultados revelan que *I. amancaes* ocupa una superficie de 2,96 hectáreas, con una densidad de 18 a 26 individuos por metro cuadrado. La especie se distribuye principalmente en suelos y caminos (58,19 %), seguida de espacios descubiertos (23,43 %), cobertura vegetal somera (14,26 %) y cobertura vegetal densa (4,12 %). La metodología aplicada demuestra la eficacia de las herramientas de aprendizaje automático para el monitoreo de biodiversidad en desiertos de difícil acceso. Estos hallazgos no solo amplían el conocimiento ecológico de la especie, sino que subrayan la necesidad urgente de conservar y gestionar adecuadamente su hábitat para la gestión de caminos y rutas en favor de la conservación de la especie. Además, proporcionan una base sólida para desarrollar estrategias de conservación futuras en las lomas costeras, con el fin de beneficiar tanto a los ecosistemas como a las comunidades locales.

Palabras clave: *Ismene amancaes*, conservación de biodiversidad, teledetección, aprendizaje automático, lomas costeras

ABSTRACT

This study focuses on the monitoring of *Ismene amancaes*, a plant endemic to the coastal hills of Lima, within the Lomas Quebrada Río Seco Private Conservation Area, also known as the Amancay Sanctuary. By integrating geographic information systems (GIS) and machine learning techniques, the distribution and morphological characteristics of the species, together with the environmental conditions influencing its habitat, were evaluated. Field monitoring, combined with supervised classification, achieved an accuracy of 86% in identifying vegetation cover, in accordance with the Kappa index. The results reveal that *I. amancaes* occupies an area of 2.96 hectares, with a density of between 18 and 26 individuals per square meter. The species is primarily distributed across soils and roads (58.19%), followed by open spaces (23.43%), light vegetation cover (14.26%), and dense vegetation cover (4.12%). The methodology applied demonstrates the effectiveness of machine learning tools for biodiversity monitoring in hard-to-reach desert regions. These findings not only expand ecological knowledge of the species, but also underscore the urgent need to conserve and properly manage its habitat, particularly in relation to road and route management, in favor of the conservation of the species. Additionally, the findings provide a solid foundation for the development of future conservation strategies in the coastal hill ecosystem, thereby benefiting both the ecosystem and local communities.

Keywords: *Ismene amancaes*, biodiversity conservation, remote sensing, machine learning, coastal lomas



Introducción

Ismene amancaes, conocida como amancay, es una planta endémica de las costas peruanas, perteneciente a la familia Amaryllidaceae, conocida por sus flores distintivas y bulbos perennes. Su hábitat principal son las lomas costeras, donde las nubes bajas invernales crean el microclima esencial para su desarrollo (Carrillo, 2020). Estos hábitats se destacan por su gran importancia ecológica y social, ya que ofrecen múltiples servicios ecosistémicos, como la provisión de recursos genéticos, la regulación climática, el soporte a actividades recreativas como el turismo y poseen un significativo valor cultural, ya que muchas comunidades les atribuyen un carácter místico (Kato, 2018). La importancia ecológica de la especie radica en sus etapas reproductivas; durante la fase vegetativa, acumula la mayor cantidad de reservas necesarias para su transición a la fase reproductiva (figura 1). En esta etapa, y dependiendo de las condiciones ambientales y las reservas acumuladas, la planta produce semillas que, en meses, comienzan a transformarse en pequeños bulbos (Vallejo, 2017). Además, se destaca por su resiliencia, ya que su desarrollo está adaptado a la estacionalidad marcada por la condensación de neblinas invernales, las cuales generan el hábitat óptimo para su crecimiento vegetativo principalmente, ya que la presencia de neblina es el estímulo para activar a la especie de la dormancia de verano (Bulnes, 2023). Adicionalmente, el amancay tiene un profundo significado cultural en el Perú, donde simboliza la riqueza natural y el patrimonio de la región; su belleza, junto con su vulnerabilidad frente a crecientes amenazas ambientales, resalta su valor.

La conservación del amancay enfrenta serios desafíos debido a factores como el cambio climático y la expansión urbana desordenada, que han fragmentado y degradado su hábitat natural. Las fluctuaciones extremas en temperatura y precipitación han mostrado reducir la tasa de propagación de la especie hasta en un 30 % en condiciones desfavorables (Suni *et al.*, 2011). A pesar de su importancia, existe una notable carencia de investigaciones sobre su fisiología y métodos de propagación, lo que complica aún más su conservación (Pascual, 2007). El ciclo de vida de *la especie* se caracteriza por dos estadios: vegetativo y reproductivo, ambos condicionados por factores ambientales como la humedad y la temperatura. Comprender estas etapas fenológicas es esencial para la implementación de estrategias de conservación adecuadas (Palacios, 2017).

En este contexto, el ACP Lomas de Quebrada Río Seco, conocida como el Santuario del Amancay, administrada por la Unión Andina de Cementos (UNACEM), se presenta como un espacio crucial para la protección de esta especie. Si bien se ha registrado la presencia del amancay en diversas lomas costeras, es en este santuario donde se centrará esta investigación. La teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se presentan

como herramientas clave para monitorear las condiciones ambientales y la distribución espacial de *I. amancaes*, lo que facilita la identificación de áreas críticas para su conservación.

Este estudio tiene como objetivo principal determinar el tipo de cobertura preferida por *I. amancaes* dentro del Santuario del Amancay, con la hipótesis de que la especie muestra mayor afinidad hacia suelos rocosos y caminos. Utilizando técnicas avanzadas de teledetección y SIG, se pretende no solo mapear la distribución actual de la especie, sino también analizar su ecología y las condiciones necesarias para su conservación efectiva.

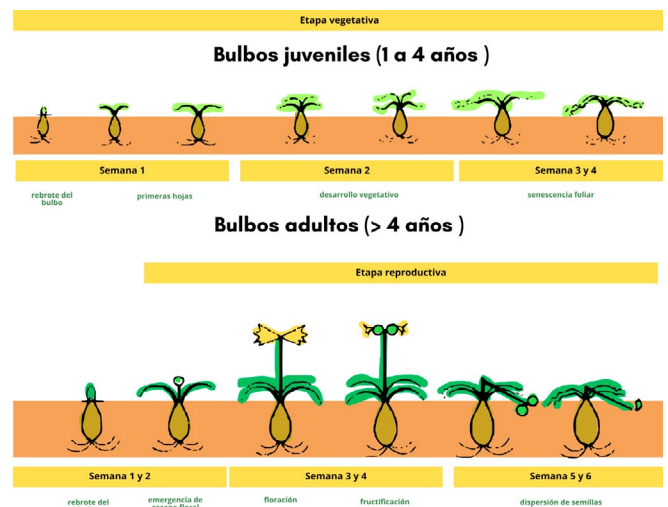


Figura 1. Etapas vegetativas del *I. amancaes* evaluadas en el ACP Santuario del Amancay (junio-julio de 2023).

Metodología

Área de estudio

El ACP Lomas de Quebrada Río Seco, conocida actualmente como Santuario del Amancay, se ubica entre los distritos de Pachacámac y Lurín (12°12' 1.29" S, 76°48' 57.19") con un rango altitudinal de 300 a 800 m s. n. m. (figura 2). Fue reconocida oficialmente por el Ministerio del Ambiente en julio de 2021. Abarca 787,82 hectáreas y es la primera ACP de Lima Metropolitana promovida por la empresa UNACEM. Este ecosistema es hogar de una biodiversidad significativa, incluyendo la flor de Amancaes (*I. amancaes*), una especie endémica de las lomas costeras del Perú. En julio de 2024, se realizó un monitoreo de *I. amancaes* en el ACP Santuario del Amancay y se establecieron parcelas de 1 m² en sectores estratégicos del área de conservación. Estas parcelas permitieron analizar la morfología de la especie en diferentes microhábitats, ya que se enfocaron en aspectos como el desarrollo de hojas y la dinámica estacional durante el periodo de senescencia y estado vegetativo.

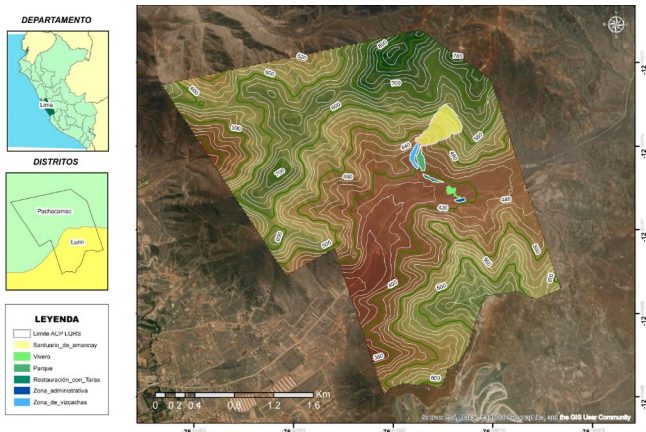


Figura 2. Mapa de ubicación del ACP Santuario del Amancay.

Análisis de cobertura vegetal y monitoreo de parcelas

Se aplicó una clasificación supervisada utilizando Google Earth Engine (GEE) para identificar y analizar los tipos de cobertura vegetal en el área de estudio. La metodología combinó datos de teledetección con información recopilada durante el trabajo de campo, donde se registraron las ubicaciones y áreas de aparición de *Ismene amancaes*. Para garantizar la calidad del análisis, se seleccionó una imagen satelital óptima con una nubosidad inferior al 20 %. Las parcelas de muestreo (1 × 1 m²) monitoreadas utilizaron equipos GPS para garantizar una correcta georreferenciación de cada punto de observación (figura 3). El estudio se realizó en julio, etapa crítica para el desarrollo de *I. amancaes*, debido a la influencia determinante de las condiciones climáticas en su ciclo de vida. En esta etapa, las plántulas de la especie se encontraban en su fase vegetativa (figura 1), caracterizada por hojas frondosas que predominaban en toda la extensión del ACP. Estas características permitieron evaluar la viabilidad de enfocar el monitoreo exclusivamente en esta especie.

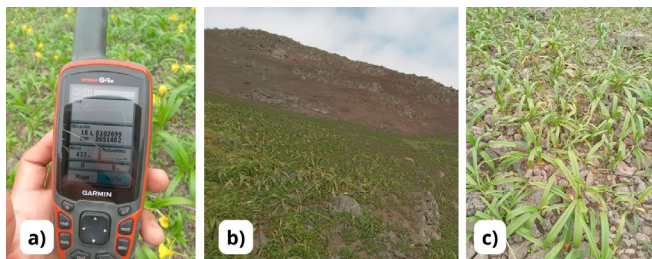


Figura 3. Monitoreo de *I. amancaes* en el ACP Santuario del Amancay. Se ilustra (a) el monitoreo de *I. amancaes* realizado en el ACP Santuario del Amancay mediante el uso de equipos GPS; (b) así como la cobertura vegetal de la especie sin flor, la cual mantiene sus hojas desarrollándose por más de un mes; y (c) se detalla la parcela de un metro cuadrado utilizada para el monitoreo, y se proporciona una representación visual de cómo se llevó a cabo la recolección de datos en el área de conservación.

Por otro lado, se llevó a cabo una caracterización de las zonas de estudio para identificar las diferentes

coberturas presentes y su relación con el crecimiento de *I. amancaes*, dado que esta especie tiene la capacidad de desarrollarse en una diversidad de hábitats, desde áreas con suelos arenosos hasta laderas rocosas y zonas con cobertura de matorrales bajos. Debido a esta versatilidad, se realizó un monitoreo en campo con el objetivo de determinar en qué tipos de cobertura vegetal *I. amancaes* es más predominante durante su periodo vegetativo. Esta caracterización permite entender mejor las condiciones óptimas para su desarrollo y contribuye a identificar áreas prioritarias para su conservación y monitoreo continuo.

Análisis estadístico y aprendizaje automático

El proceso de clasificación se llevó a cabo mediante un algoritmo supervisado por aprendizaje automático (*machine learning*), optimizado a través de pruebas de validación y cálculo de precisión. Se emplearon muestras representativas (n = 410) obtenidas en campo para entrenar y validar el modelo, lo que asegura una identificación precisa de las diferentes coberturas vegetales presentes en el área de estudio (figura 4). Esta combinación de datos satelitales y verificación en campo permitió fortalecer la fiabilidad del análisis y mejorar la resolución de la clasificación.

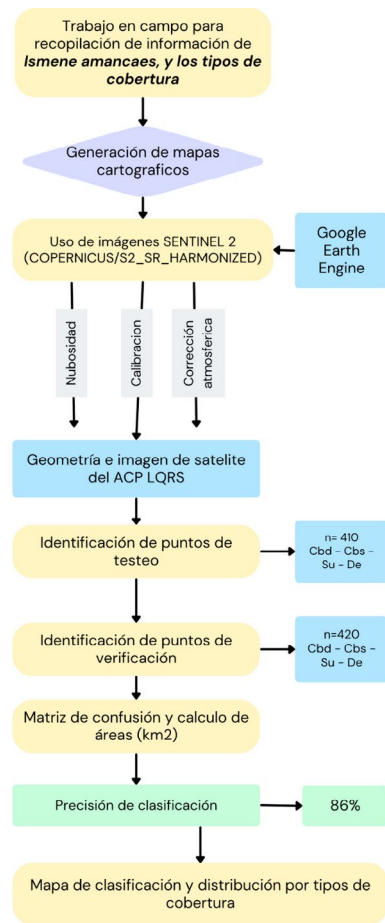


Figura 4. Diagrama de flujo sobre el procesamiento de datos en teledetección.



Asimismo, con este método se identificaron firmas espectrales específicas para clasificar las diferentes coberturas vegetales presentes en el ACP. Una firma espectral en una clasificación supervisada es el patrón característico de reflexión electromagnética de una superficie específica o clase de cobertura (como vegetación, agua, suelo, etc.) a lo largo de diferentes longitudes de onda en nanómetros (nm) del espectro electromagnético. Es fundamental en el proceso de clasificación de imágenes satelitales o aéreas mediante técnicas de teledetección. Estas fueron obtenidas mediante un sistema de observación por satélite de GEE, que capturó datos en distintas bandas del espectro electromagnético. Estas bandas incluyeron la Banda 1 (Costera/Azul) a 443 nm, las Bandas de Borde Rojo (B5, B6, B7, B8A) que varían de 705 nm a 865 nm, la Banda 8 correspondiente al Infrarrojo Cercano (NIR) a 842 nm, y las Bandas SWIR (Infrarrojo de Onda Corta 1 y 2) a 1610 nm y 2190 nm respectivamente.

Resultados

Caracterización de la cobertura vegetal de la zona de estudio

Durante julio de 2023 se llevaron a cabo los trabajos de campo para evaluar la distribución y el estado morfológico de la especie *I. amancaes*. Se determinó que la especie ocupa una superficie aproximada de 2,9637 hectáreas del total del ACP, lo que evidencia una notable dominancia en cobertura foliar (figura 5) en estas áreas durante el periodo de muestreo. Durante este periodo, se observó que las plantas se encontraban en su fase de senescencia, caracterizada por una reducción progresiva de la actividad fisiológica y el inicio del marchitamiento de las hojas, lo que marca el final del ciclo vegetativo.

La cobertura foliar predominante en estas zonas indica que *I. amancaes* tiene una alta capacidad de adaptación y propagación en distintos microhábitats dentro del área de estudio. Además, se identificaron variaciones en la densidad de las poblaciones según las condiciones de suelo, pendiente y grado de exposición solar. Esta información es crucial para establecer patrones de distribución espacial

y entender los factores ambientales que influyen en el desarrollo de la especie.

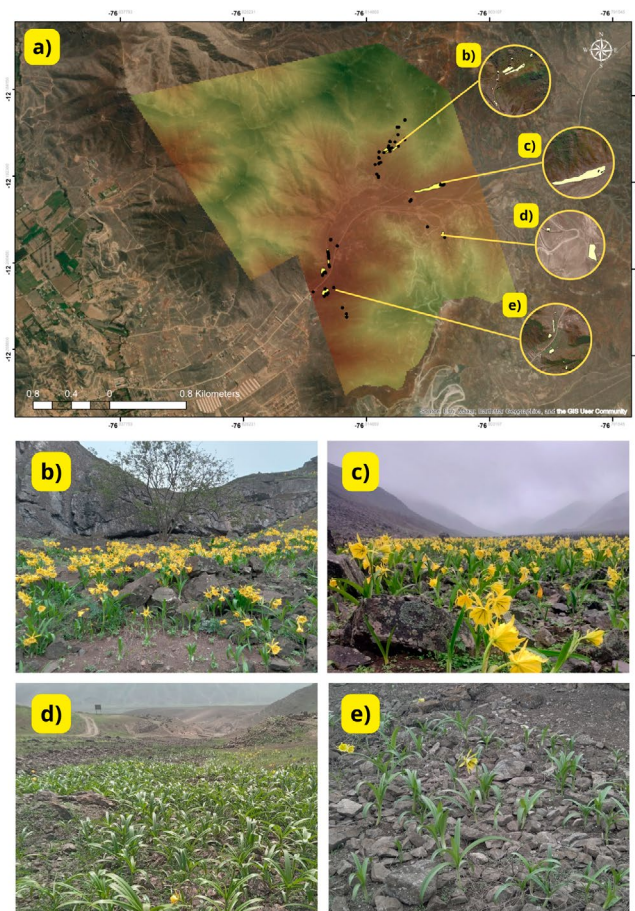


Figura 5. Mapa de ubicación de puntos de monitoreo del ACP Santuario del Amancay. En la sección (a) se presenta un mapa satelital del ACP, con sombreado de elevación que resalta los distintos microhábitats y la ubicación estratégica de las parcelas de monitoreo. En las fotografías asociadas, se observan: (b) áreas con laderas rocosas y pendientes más pronunciadas, donde la cobertura de *I. amancaes* es más visible; (c) zonas de crecimiento en la parte baja y llana de la loma, con densidad de plantas concentrada en áreas planas; (d) sectores abiertos con pendientes menos pronunciadas y vegetación uniforme; y (e) suelos áridos con baja densidad de plantas. Estas variaciones reflejan la adaptabilidad de la especie a las condiciones heterogéneas del ACP, y muestran cómo la topografía influye en la distribución y cobertura de *I. amancaes*.

Tabla 1. Descripción de los tipos de coberturas y clasificaciones

Cod	Tipo	Descripción
Cvd	Cobertura vegetal densa	Esta categoría abarca las plantas anuales herbáceas predominantes en el área de conservación. Estas especies, durante el periodo de evaluación, pueden experimentar el desprendimiento de sus flores, pero mantienen sus hojas durante aproximadamente dos o tres semanas.
Cvs	Cobertura vegetal somera	Esta clasificación es específica para aquellas especies de bajo crecimiento o de crecimiento limitado, como la especie <i>I. amancaes</i> , una planta importante dentro del área de estudio. Su identificación y monitoreo son cruciales para comprender su distribución, estado de conservación y respuesta a las variaciones ambientales, especialmente en el contexto del cambio climático.
Su	Suelos y caminos	Esta categoría incluye los caminos y senderos dentro del área de conservación, así como los suelos con alta carga orgánica. Estos suelos son generalmente ricos en materia orgánica derivada de la descomposición vegetal y pueden influir significativamente en la distribución y el crecimiento de la vegetación local.
De	Espacio descubierto	Esta categoría se enfoca en las áreas sin cobertura vegetal, como los arenales y otras zonas desprovistas de vegetación. Estos espacios, a menudo habitados por líquenes y otras formas de vida adaptadas a condiciones extremas, son importantes para entender la ecología y la biodiversidad del área.

La tabla 1 ofrece una descripción detallada de los tipos de cobertura identificados en el área de conservación. La cobertura vegetal densa se caracteriza por la presencia de múltiples especies que, durante el periodo de evaluación, mantienen sus hojas durante aproximadamente dos o tres semanas, a pesar del desprendimiento de flores. Este tipo de cobertura es esencial para describir el hábitat preferido por *I. amancaes*.

Características morfológicas y densidad de plántulas por parcelas

Los resultados obtenidos a partir del monitoreo y análisis de *I. amancaes* en el ACP Santuario del Amancay revelan una notable variabilidad en las características morfológicas de las plantas, así como en la distribución espacial de la especie dentro del área de estudio. Por ello se utilizará la codificación de la figura 5 para el nombre de las parcelas (b, c, d, e). A continuación, se detallan los principales hallazgos, incluyendo las diferencias observadas en las parcelas monitoreadas, los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas, y la distribución de *I. amancaes* en relación con los tipos de cobertura vegetal identificados.

El análisis comparativo de las parcelas revela diferencias en los atributos morfológicos de las plántulas a través del análisis de hojas y tallos (figura 6) y estructuras reproductivas (pistilos) (figura 7). En cuanto a la altura de la plántula, las parcelas b y c presentan individuos con mayor crecimiento, en los que destacan valores cercanos a los 40 cm, mientras que la parcela muestra plántulas considerablemente más bajas, con una mediana alrededor de los 20 cm y una mayor dispersión reflejada en valores atípicos. Respecto al ancho del tallo, se observa una consistencia general entre parcelas, con rangos de 1 a 2 cm; no obstante, la parcela e presenta una mayor variabilidad en este parámetro. En términos del número de hojas, las parcelas d y e exhiben un desarrollo foliar más pronunciado, con medianas cercanas a 5 hojas y máximos de hasta 7, lo que sugiere condiciones favorables para el desarrollo vegetativo en estos sitios. Finalmente, el ancho de la hoja refleja patrones diferenciados, y es más homogéneo en las parcelas b, c y d, mientras que en la parcela e se detecta una mayor variabilidad, con valores que oscilan entre 2 y 5,5 cm. Estos resultados sugieren una influencia de factores ambientales o edáficos específicos en el crecimiento y desarrollo de las plántulas, lo cual podría orientar estrategias de manejo o conservación diferenciadas para cada parcela.

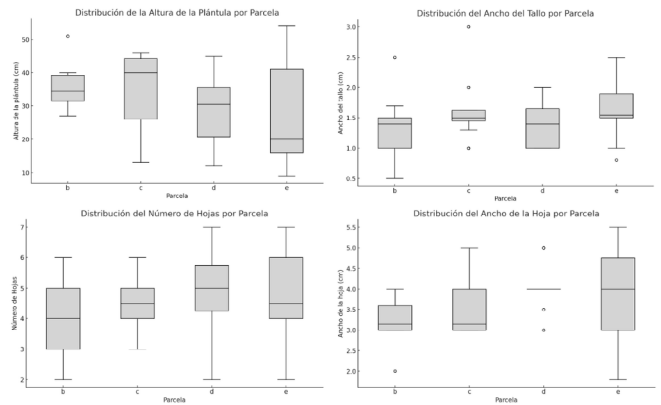


Figura 6. Características morfológicas de hojas y tallo del *I. amancaes*.

El análisis de las flores de *I. amancaes* revela patrones morfológicos (figura 7) diferenciados en cuanto al número de flores y la orientación del pistilo, factores críticos para comprender su madurez reproductiva. Las parcelas muestran una variabilidad notable, con la parcela b presentando una distribución más constante del número de flores, y las parcelas c, d y e mostrando mayor dispersión y presencia de valores atípicos. Durante el monitoreo, se observó que estos indicadores son relevantes para la especie, particularmente la torsión del pistilo, que se manifiesta en algunas plantas y está asociada a su grado de madurez reproductiva. La parcela c destaca por una prevalencia de pistilos erectos, lo que podría indicar una fase reproductiva avanzada o una estrategia para optimizar la polinización. En contraste, las parcelas d y e presentan una mayor proporción de pistilos orientados hacia abajo, lo que podría sugerir una etapa reproductiva menos avanzada o adaptaciones a condiciones microambientales particulares. Estos hallazgos subrayan la necesidad de considerar estos indicadores morfológicos en el monitoreo de *I. amancaes* para evaluar su estado reproductivo y aplicar estrategias de conservación más precisas.

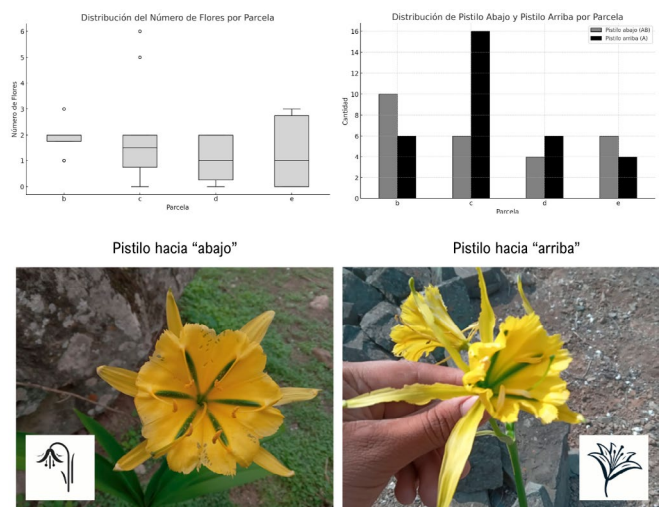


Figura 7. Características de la morfología reproductiva del *I. amancaes*.



Tabla 2. Pruebas estadísticas de características morfológicas de las plántulas por parcela

Tipo de prueba	Tallo		Hojas			Flores	
	Altura de la plántula (cm)	Ancho del tallo (cm)	# Hojas	Ancho de la hoja (cm)	Número de flores	Ubicación del pistilo	
						Pistilo abajo (AB)	Pistilo arriba (A)
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk	0,031	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000
Prueba de Levene de homocedasticidad de varianza	0,008	0,503	0,597	0,039	0,015	0,038	0,074
Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis	0,322	0,421	0,632	0,616	0,347	0,119	0,279

La tabla 2 presenta los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas a las características morfológicas de *I. amancaes*, incluyendo la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, la prueba de homocedasticidad de Levene y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los análisis indican que las características fisiológicas, como altura de la plántula, ancho del tallo, número de hojas, número de flores y ubicación del pistilo, no siguen una distribución normal y presentan varianzas homogéneas en algunas variables, según las pruebas de Levene. Además, la prueba de Kruskal-Wallis revela que no hay diferencias significativas entre las parcelas en la mayoría de estas características, lo que sugiere una uniformidad en las condiciones morfológicas de *I. amancaes* en las áreas evaluadas.

Clasificación supervisada para la determinación de coberturas

La relación entre la longitud de onda y la reflectancia es fundamental para caracterizar los distintos tipos de cobertura vegetal y de suelo. El eje X representa la longitud de onda y el eje Y refleja la reflectancia asociada, lo que permite observar cómo estas variables se comportan de manera diferenciada en función de la composición y estructura de los elementos en el terreno (figura 8). Se evidencia que la vegetación densa (Cvd) presenta una alta reflectancia en las bandas infrarrojas y una baja reflectancia en las bandas visibles, lo cual está asociado a la presencia de clorofila y a la estructura celular de las hojas. Por el contrario, los suelos (Su) y los espacios descubiertos (De) exhiben patrones espectrales divergentes, con una mayor reflectancia tanto en las bandas visibles como en las infrarrojas cercanas. La calibración y validación de estas firmas espectrales se realizaron rigurosamente para garantizar una identificación precisa y diferenciada de los tipos de cobertura presentes en el área de estudio.

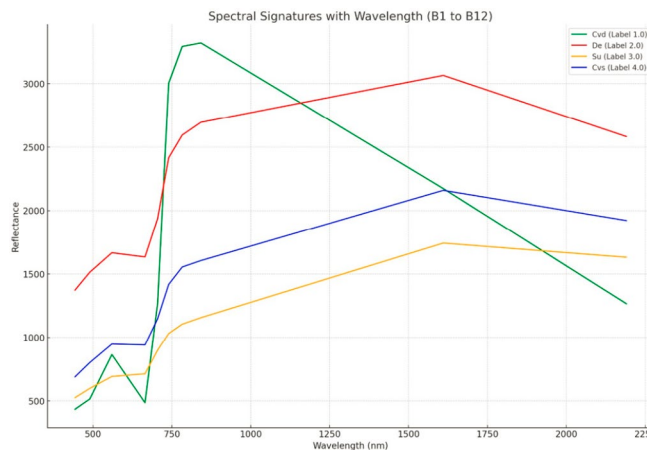


Figura 8. Firmas espectrales en imágenes de los elementos seleccionados.

La clasificación supervisada revela una distribución equilibrada de los distintos tipos de cobertura vegetal característicos de las lomas costeras en el ACP Santuario del Amancay, y ello refleja el mosaico heterogéneo típico de estos ecosistemas, donde la vegetación no cubre de manera uniforme toda la superficie (figura 9). Las coberturas vegetales someras y densas, que ocupan el 28,9 % (228,6 ha) y el 28,3 % (224,1 ha) del área total, respectivamente, predominan en el paisaje, señalando zonas donde la vegetación inicia su desarrollo con la llegada de la temporada de lomas. En estos espacios, *Ismene amancaes* es una de las especies pioneras en emerger y dominar. Por otro lado, los suelos y caminos representan el 14,9 % (118,1 ha) del área, mientras que los espacios descubiertos comprenden el 27,8 % (220,1 ha). Estas áreas reflejan regiones donde la vegetación aún no se ha establecido por completo o ha sido removida, una condición característica del inicio del ciclo estacional de las lomas. Este patrón espacial de cobertura evidencia la dinámica estacional de las lomas costeras, donde la vegetación se distribuye en parches, dejando zonas descubiertas que pueden funcionar como reservorios de biodiversidad o reflejar intervenciones humanas en el paisaje.

En cuanto a la distribución de *Ismene amancaes*, el análisis mediante clasificación supervisada estima una cobertura total de 2,9637 ha para esta especie en el ACP Lomas Quebrada Río Seco. Se observa que la mayoría de los individuos se concentran en áreas clasificadas

como suelos y caminos (58,19 %), seguidos por espacios descubiertos (23,43%), cobertura vegetal somera (14,26 %) y cobertura vegetal densa (4,12 %). Estos resultados sugieren una preferencia específica de *I. amancaes* por ciertos tipos de cobertura, lo cual es fundamental para diseñar estrategias efectivas de conservación y manejo de esta especie en su hábitat natural.

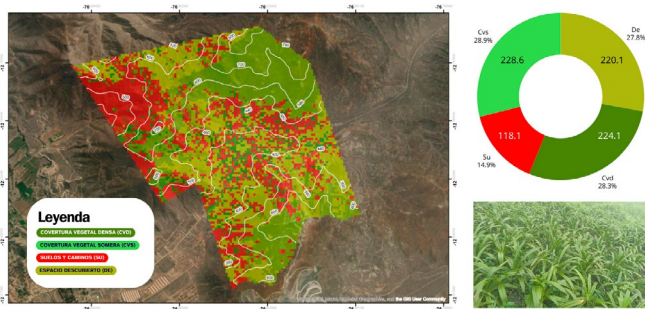


Figura 9. Mapa de clasificación supervisada de la cobertura vegetal enfocada a la especie *Ismene amancaes* en el ACP Santuario del Amancay.

Tabla 3. Matriz de confusión de los resultados de clasificación supervisada de cobertura de *I. amancaes*

	Cvd	Cvs	Su	De	Índice de Kappa
Cvd	30	0	1	2	91
Cvs	5	84	6	0	88
Su	0	21	146	2	86
De	2	8	0	92	90
Total	37	113	147	96	86

La tabla 3 presenta la matriz de confusión de los resultados de los tipos de coberturas registradas para la clasificación supervisada (tabla 1). El índice de Kappa global de 86 demuestra que el modelo de clasificación supervisada es robusto y confiable para determinar los tipos de cobertura en el área estudiada, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos en este estudio.

Discusión

El objetivo principal de este estudio es determinar el tipo de cobertura preferida por *I. amancaes* dentro del Santuario del Amancay, utilizando técnicas avanzadas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). Partiendo de la hipótesis de que la especie muestra mayor afinidad hacia suelos rocosos y caminos, se desarrolló una metodología que no solo permite mapear su distribución actual, sino también analizar las condiciones ecológicas necesarias para su conservación efectiva. Este enfoque metodológico destaca por superar las limitaciones impuestas por el terreno, proporcionando datos precisos y detallados que facilitan la toma de decisiones informadas para la gestión y conservación de la biodiversidad. Aunque el estudio está enfocado en *I. amancaes*, la

metodología desarrollada tiene el potencial de adaptarse para monitorear otras especies en diversos ecosistemas, al promover un enfoque sistemático e integral en la conservación de flora a nivel global.

La distribución específica de *I. amancaes* en las lomas costeras no ha sido ampliamente estudiada, dado que la mayoría de las investigaciones sobre esta especie se han centrado en su perfil de alcaloides y actividades biológicas. Sin embargo, estudios sobre la familia Amaryllidaceae indican que estas plantas muestran adaptaciones a una variedad de hábitats, que van desde bosques hasta zonas abiertas, lo cual proporciona una base comparativa útil para entender mejor la ecología de esta especie en su entorno natural en Latinoamérica (Baeza *et al.*, 2012; Alzate *et al.*, 2019). En este contexto, nuestros hallazgos sobre la preferencia de *I. amancaes* por ciertos tipos de cobertura vegetal, como suelos y caminos, aporta y refuerza nuevas perspectivas sobre su ecología y distribución. Esto sugiere que la especie tiene adaptaciones específicas que le permiten prosperar en las condiciones microclimáticas y edáficas de las lomas costeras.

La fragmentación del hábitat es una preocupación significativa en áreas con especies de Amaryllidaceae. Estudiosos de *Pancratium maritimum* han demostrado cómo la destrucción del hábitat y la recolección excesiva afectan negativamente su distribución y conectividad genética, un fenómeno que también podría extrapolarse a *I. amancaes* en las lomas costeras (Sanaa *et al.*, 2010). En nuestro estudio, la predominancia de coberturas vegetales someras y suelos/caminos podría indicar una tendencia hacia la fragmentación del hábitat, lo que podría comprometer la viabilidad a largo plazo de las poblaciones de *I. amancaes*. Este hallazgo subraya la importancia de implementar estrategias de manejo que minimicen la fragmentación y promuevan la restauración de hábitats degradados para asegurar la conectividad ecológica y genética de la especie.

La estacionalidad es un factor crucial en la ecología de *I. amancaes*, especialmente en el contexto de las lomas costeras, que dependen de neblinas y lluvias estacionales para sostener su vegetación. Aunque no existen estudios específicos sobre la estacionalidad de la especie, investigaciones sobre otras especies de Amaryllidaceae, como *Cyrtanthus*, han revelado adaptaciones notables a los cambios estacionales en humedad y temperatura. La especie logró adaptarse a suelos arenosos sin rocas en valles fluviales, pues su nicho ancestral eran tierras altas y pedregosas (Snijman y Meerow, 2010). Esto sugiere que la especie podría tener mecanismos similares de adaptación, lo cual es fundamental para entender cómo las variaciones estacionales afectan su distribución y desarrollo en las lomas costeras. Nuestro hallazgo de que la especie aparece de manera prematura en la temporada de lomas refuerza esta idea y señala su potencial como un indicador ecológico de la salud del ecosistema.



Para la conservación efectiva de *I. amancaes* en el ACP Santuario del Amancay es esencial mantener la conectividad entre sus poblaciones. Investigaciones sobre otras especies de Amaryllidaceae, como *Phaedranassa schizantha*, han demostrado la importancia de conectar poblaciones aisladas para preservar la diversidad genética (Oleas et al., 2016). Nuestros resultados sugieren que la creación de corredores ecológicos y la restauración de áreas degradadas podrían ser medidas cruciales para asegurar la viabilidad a largo plazo de *I. amancaes*. Además, la implementación de estas estrategias no solo protegería la especie, sino que también contribuiría al mantenimiento de la biodiversidad en las lomas costeras.

Aunque la relevancia cultural de *I. amancaes* no ha sido ampliamente documentada, esta especie es emblemática de las lomas costeras peruanas y posee un potencial significativo para convertirse en un símbolo de conservación local. A nivel medicinal, se ha demostrado que contiene una alta concentración de alcaloides con propiedades beneficiosas para el tratamiento de enfermedades como el Alzheimer (Nair y Van Staden, 2013; Soto-Vásquez et al., 2022). Investigaciones sobre la conservación de otras especies endémicas han evidenciado que su inclusión en programas educativos puede aumentar la conciencia y participación comunitaria en su preservación (Campos-Rocha et al., 2019).

Asimismo, nuestra investigación se suma al creciente cuerpo de literatura que destaca la relevancia de la teledetección en el monitoreo ambiental. Como Wang et al. (2023) señalan, el análisis de la cobertura vegetal es crucial para comprender los cambios ecológicos. Nuestro trabajo profundiza en este aspecto y ofrece un enfoque dual que permite no solo la identificación de la cobertura vegetal, sino también la evaluación precisa de los cambios a lo largo del tiempo. Esta metodología dual fortalece la capacidad de detección de cambios sutiles en la cobertura vegetal, lo cual es esencial en la era del cambio climático. Asimismo, en el estudio de Xu et al. (2023) se resalta la sensibilidad de las tierras secas a los efectos del cambio climático. Alineándose con esta perspectiva, nuestra investigación contribuye al entendimiento de cómo la teledetección puede ser utilizada para distinguir los impactos del cambio climático de otros factores ambientales.

Comparando nuestra metodología con estudios previos, como el trabajo de Khatami et al. (2016) sobre los avances en la clasificación supervisada de imágenes de teledetección, nuestro estudio aborda desafíos clave relacionados con la precisión de la clasificación y la integración de diferentes conjuntos de datos. Hemos desarrollado un método que mejora significativamente la precisión en la clasificación de coberturas terrestres, ya que supera limitaciones identificadas en investigaciones anteriores, como la presencia de nubosidad en imágenes satelitales (Moat et al., 2021). En este contexto,

coincidimos con Royimani et al. (2019) en la relevancia de aplicar la teledetección para el monitoreo de fenómenos específicos. Nuestros resultados presentan una metodología detallada y robusta que permite la detección temprana de cambios en ecosistemas particulares, lo cual resulta fundamental para la gestión y conservación ambiental.

De manera similar, integrar a *I. amancaes* en iniciativas de conservación comunitaria podría ser una estrategia eficaz para proteger tanto la biodiversidad como el patrimonio cultural asociado a esta especie. El monitoreo inicial reveló que esta planta no solo destaca por su belleza y singularidad, sino que, al igual que otras especies de la familia Amaryllidaceae, sus inflorescencias podrían favorecer la polinización por insectos (Deble et al., 2024). Además, algunas especies del género Hieronymiella, que crecen en suelos áridos del Perú, podrían depender de polinizadores adaptados a estos entornos secos (Huaylla et al., 2024).

Una de las principales limitaciones de este estudio es la dependencia de datos obtenidos en una sola temporada, lo que podría no capturar completamente la dinámica de distribución de *I. amancaes*. Esta limitación es común en estudios de teledetección de especies vegetales, especialmente dentro de la familia Amaryllidaceae, donde la resolución espacial y temporal puede influir significativamente en los resultados (Scobeyeva et al., 2021). Para superar estas limitaciones, estudios futuros deberían considerar un análisis multitemporal, que incluya datos de varias temporadas, para obtener una visión más completa de cómo la distribución de *I. amancaes* varía a lo largo del tiempo y en respuesta a cambios ambientales.

Nuestra metodología representa un enfoque innovador al aplicar teledetección, sistemas de información geográfica (SIG) y aprendizaje automático para monitorear *Ismene amancaes* en las lomas costeras del Perú, un ecosistema semiárido influenciado por neblinas estacionales. A diferencia de estudios previos como el de Abdullah et al. (2023), que se centraron en plantas desérticas en suelos contaminados por hidrocarburos en Kuwait, o el de Yang y Du (2021), que clasificaron especies en la estepa desértica de Mongolia Interior con imágenes hiperespectrales, nuestra investigación aborda la conservación de una especie endémica en su hábitat natural no contaminado. Asimismo, aunque Mikulane et al. (2022) mapeó la distribución de *Tillandsia landbeckii* en el desierto de Atacama utilizando aprendizaje profundo, su estudio se enfoca en un ecosistema de niebla extrema. En este contexto, nuestro trabajo llena una brecha en el monitoreo de especies vegetales en ecosistemas áridos y estacionales mediante una combinación efectiva de tecnologías de teledetección, lo que proporciona una base sólida para estrategias de conservación y restauración en áreas de difícil acceso.

Otra ventaja significativa de esta investigación es que abre las puertas para realizar análisis de carbono como sumidero. La precisión y el detalle de los datos obtenidos mediante teledetección y SIG permiten evaluar no solo la distribución y salud de las especies, sino también estimar su capacidad para actuar como sumideros de carbono. Esto es particularmente relevante en el contexto del cambio climático, donde la identificación y protección de sumideros de carbono naturales pueden desempeñar un papel crucial en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la metodología desarrollada en este estudio tiene el potencial de contribuir no solo a la conservación de la biodiversidad, sino también a los esfuerzos globales para combatir los efectos del cambio climático.

Conclusión

Este estudio demuestra la efectividad de las técnicas de teledetección y aprendizaje automático para el monitoreo de *I. amancaes* en el ACP Santuario del Amancay, al alcanzar una precisión del 86 % en la clasificación supervisada. Se identificó que esta especie endémica se distribuye predominantemente en suelos y caminos (58,19 %), con menor presencia en coberturas vegetales densas y someras. La metodología utilizada permite monitorear e identificar patrones de crecimiento en zonas poco accesibles, y es especialmente viable para especies que se distribuyen de manera homogénea. A diferencia de los métodos de monitoreo basados en transectos, que no representan adecuadamente el crecimiento y desarrollo de plántulas dispersas en el desierto costero, esta técnica ofrece una evaluación más precisa y representativa. Sin embargo, se determinó que no es adecuada para ecosistemas densos, como bosques tropicales, pero sí donde hay pocas especies en un solo punto. Además, este

estudio formula un modelo integral para el monitoreo de biodiversidad en los desiertos, que puede aplicarse a otras especies y regiones similares. Asimismo, parte de los ingresos de las áreas naturales protegidas provienen del turismo y las actividades deportivas. Por ello, es necesario que la gestión de rutas y áreas recreativas sean ubicadas pensando en minimizar el impacto en la biodiversidad. La investigación destaca las zonas clave para el desarrollo de *I. amancaes*, y ayuda a evitar que estas áreas se vean perjudicadas a largo plazo debido a actividades humanas.

Contribución de autoría

SGC: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Investigación, Redacción del manuscrito original, Administración del Proyecto

AChCh: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Investigación, Redacción del manuscrito original, Administración del Proyecto

EFG: Investigación, Recursos, Revisión y edición del manuscrito, Supervisión

Fuente de financiamiento

Autofinanciado.

Potenciales conflictos de interés

Ninguno.

Agradecimientos

Agradecemos a la Asociación UNACEM por brindarnos el espacio y las disposiciones para la elaboración de este proyecto. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a los auxiliares de conservación Daniel Ccapa y Alfredo Huisa, quienes fueron nuestros mentores en este camino del monitoreo de la especie *Ismene amancaes*, al brindarnos apoyo y sus conocimientos en botánica para asegurar la supervivencia en propagación de las especies.



Referencias bibliográficas

- Abdullah, M., Al-Ali, Z., Abulibdeh, A., Mohan, M., Srinivasan, S. y Al-Awadhi, T. (2023).** «Investigating the succession process of native desert plants over hydrocarbon-contaminated soils using remote sensing techniques». *Environmental Research*, 219, 114955. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114955>
- Alzate, F., Lesmes, M., Cortés, N., Varela, S. y Osorio, E. (2019).** «Sinopsis de la familia Amaryllidaceae en Colombia». *Biota Colombiana*, 20(1). <https://doi.org/10.21068/C2019.V20N01A01>
- Bulnes, G. (2023).** *Flora y nivel de acogida de los caminos de las Lomas de Lúcmo, Pachacamac, como contribución a su gestión ecoturística*. [Tesis de maestría en Ecología Aplicada, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/6057>
- Carrillo, R. (2020).** «Apuntes de la flor de Amancaes». *The Biologist*, 2(2). Disponible en: <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/591/527>
- Campos-Rocha, A., Meerow, A., Lopes, E., Semir, J., Mayer, J. y Dutilh, J. (2019).** «New and reassessed species of *Griffinia* (Amaryllidaceae) from the Brazilian Atlantic Forest». *Systematic Botany*, 44, pp. 310-318. Disponible en: <https://doi.org/10.1600/036364419X15562052252199>
- Deble, L., Moreira, B. y Keller, H. (2024).** «Three new species of *Nothoscordum* (Amaryllidaceae) from the Campos eco-region of the Grassland Ecosystems of Río de la Plata, Southeast South America». *Bonplandia*, 33, pp. 239-255. Disponible en: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/bon/article/view/7697/7351>
- Huaylla, H., Slanis, A. y Lllalla-Cordova, O. (2024).** «*Hieronymiella peruviana* (Amaryllidaceae, Amaryllidoideae): a new species and a new generic record for the flora of Peru». *Darwiniana, nueva serie*, 12(1), pp. 149-155. Disponible en: <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2024.121.1209>
- Kato, A. (2018).** «Detrás de la neblina: lomas de Lima». *Agenda Viva*, (002), pp. 9-15. <https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/AgendaViva/article/view/2808>
- Khatami, R., Mountrakis, G. y Stehman, S. V. (2016).** «A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research». *Remote Sensing of Environment*, 177, pp. 89-100. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.028>
- Mikulane, S., Siegmund, A., Río, C. del, Koch, M. A., Osses, P. y García, J.-L. (2022).** «Remote sensing based mapping of *Tillandsia* fields - A semi-automatic detection approach in the hyperarid coastal Atacama Desert, northern Chile». *Journal of Arid Environments*, 205, 104821. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104821>
- Moat, J., Orellana-García, A., Tovar, C., Arakaki, M., Arana, C., Cano, A., Faundez, L., Gardner, M., Hechenleitner, P., Hepp, J., Lewis, G., Mamani, J.-M., Miyasiro, M. y Whaley, O. Q. (2021).** «Seeing through the clouds - Mapping desert fog oasis ecosystems using 20 years of MODIS imagery over Peru and Chile». *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103, 102468. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102468>
- Nair, J. y Van Staden, J. (2013).** «Pharmacological and toxicological insights to the South African Amaryllidaceae». *Food and Chemical Toxicology*, 62, pp. 262-275. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.08.042>
- Palacios, J. A. (2017).** «Momento de riego y tamaño de bulbo en el rebrote y floración del Amancaes (*Ismene amancaes*. Ruiz & Pavón)». *Anales Científicos*, 78(1), pp. 1-10. Disponible en: https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/873/pdf_42
- Pascual M., E. P. (2007).** *Propagación in vitro de Ismene amancaes (R. & P.) Herbert «Amancaes» (Amaryllidaceae)*. [Tesis de grado en Biología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/0d3111b7-0d07-487b-a08b-9872225e5b2c/content>
- Royimani, L., Mutanga, O., Odindi, J., Dube, T. y Matongera, T. N. (2019).** «Advancements in satellite remote sensing for mapping and monitoring of alien invasive plant species (AIPs)». *Physics and Chemistry of the Earth (2002)*, 112, pp. 237-245. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.12.004>
- Sanaa, A., Zouaghi, O., Boussaid, M. y Fadhel, N. (2010).** «Genetic diversity and population structure of Tunisian *Pancratium maritimum* L. (Amaryllidaceae)». *Acta Horticulturae*, 853, pp. 61-68. Disponible en: <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2010.853.6>
- Scobeyeva, V., Artyushin, I., Krinitsina, A., Nikitin, P., Antipin, M., Kuptsov, S., Belenikin, M., Omelchenko, D., Logacheva, M., Konorov, E., Samoilov, A. y Speranskaya, A. (2021).** «Gene loss, pseudogenization in plastomes of genus *Allium* (Amaryllidaceae), and putative selection for adaptation to environmental conditions». *Frontiers in Genetics*, 12. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.674783>
- Snijman, D. y Meerow, A. (2010).** «Floral and macroecological evolution within *Cyrtanthus* (Amaryllidaceae): Inferences from combined analyses of plastid *ndhF* and nrDNA ITS sequences». *South African Journal of Botany*, 76, pp. 217-238. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2009.10.010>
- Soto-Vásquez, M. R., Rodríguez-Muñoz, C. A., Tallini, L. R. y Bastida, J. (2022).** «Alkaloid composition and biological activities of the Amaryllidaceae species *Ismene amancaes* (Ker Gawl.) Herb». *Plants*, 11(15), 1906. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants11151906>
- Suni, M. L., Pascual, E. y Jara, E. (2011).** «Desarrollo reproductivo del "amancaes" *Ismene amancaes* (Amaryllidaceae) en su ambiente natural». *Revista Peruana de Biología*, 18(3), pp. 293-297. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rpb.v18i3.440>
- Wang, H., Gui, D., Liu, Q., Feng, X., Qu, J., Zhao, J., Wang, G. y Wei, G. (2024).** «Vegetation coverage precisely extracting and driving factors analysis in drylands». *Ecological Informatics*, 79, 102409. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102409>
- Xu, L., Gao, G., Wang, X. y Fu, B. (2023).** «Distinguishing the effects of climate change and vegetation greening on soil moisture variability along aridity gradient in the drylands of northern China». *Agricultural and Forest Meteorology*, 343, 109786. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109786>
- Yang, H. y Du, J. (2021).** «Classification of desert steppe species based on unmanned aerial vehicle hyperspectral remote sensing and continuum removal vegetation indices». *Optik*, 247, 167877. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.167877>