



Evaluación multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure, Tacna

Multi-temporal evaluation of vegetation cover change in the Vilacota Maure Regional Conservation Area, Tacna

^{1a*} Carlos Enrique Oscco Coa

ARTÍCULO ORIGINAL

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

Correspondencia:

*cosccoc@unjbg.edu.pe

^a **ORCID:** 0000-0001-6439-6938

Palabras clave: Área de Conservación Regional Vilacota Maure, Cobertura vegetal, Imágenes satelitales.

Keywords: Vilacota Maure Regional Conservation Area, Vegetation cover, Satellite images.

Información adicional

Presentado: 24/01/2024

Aprobado: 15/03/2024

RESUMEN

La presente investigación tuvo la finalidad de determinar el cambio de cobertura vegetal en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure (ACR Vilacota Maure) ubicada en la zona altoandina de Tacna, utilizando imágenes satelitales Landsat, durante el periodo de 1988 - 2018. La clasificación de cobertura vegetal del área de estudio se realizó con base en el sistema de clasificación internacional Corine Land Cover, con la identificación de clases o categorías de cobertura vegetal para los años 1988, 2003 y 2018, y estimación de la tasa anual de cambio. La superficie total del Área de Conservación Regional Vilacota Maure fue de 124 313 hectáreas, donde se identificaron 5 categorías de cobertura vegetal según la clasificación Corine Land Cover para el ACR Vilacota Maure: *cultivos permanentes herbáceos* con 42,70 ha (0,03%), *bosque denso bajo* con 3026,66 ha (2,43%), *herbazal* con 94 127,66 ha (75,72%), *arbustal* con 1545,43 ha (1,24%) y *turberas y bofedales* con 4670,90 ha (3,76%), y 3 clases de cobertura no vegetal: *tierras desnudas* con 16418,93 ha (13,21%), *glaciares* con 2766,63 (2,23%) y *lagunas, lagos y ciénagas* con 1714,27 ha (1,38%). El área cubierta por vegetación en el año 1988 fue de 102396,95 ha, mientras que en el año 2018 fue de 103413,36 ha, con un ligero aumento de 1016,41 ha. La ganancia promedio de cobertura vegetal en el ACR Vilacota Maure en el periodo 1988 - 2018 fue de 32,91 ha/año, con una tasa anual de 0,03%.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the change in vegetation cover in the Vilacota Maure Regional Conservation Area (ACR Vilacota Maure) located in the high Andean area of Tacna, using Landsat satellite images, during the period 1988 - 2018. The classification of Vegetation coverage of the study area was carried out based on the international Corine Land Cover classification system, with the identification of classes or categories of vegetation cover for the years 1988, 2003 and 2018, and estimation of the annual rate of change. The total surface area of the Vilacota Maure Regional Conservation Area was 124313 hectares, where 5 categories of vegetation cover were identified according to the Corine Land Cover classification for the ACR Vilacota Maure: Permanent herbaceous crops with 42.70 ha (0.03%), Dense low forest with 3026.66 ha (2.43%), Grassland with 94127.66 ha (75.72%), Shrubland with 1545.43 ha (1.24%), and Peatlands and wetlands with 4670.90 ha (3.76%), and 3 types of non-vegetative cover: Bare lands with 16418.93 ha (13.21%), Glaciers with 2766.63 (2.23%), and Lagoons, lakes and swamps with 1714.27 ha (1.38%). The area covered by vegetation in 1988 was 102396.95 ha, while in 2018 it was 103413.36 ha, with a slight increase of 1016.41 ha. The average gain of vegetation cover in the ACR Vilacota Maure in the period 1988 - 2018 was 32.91 ha/year, with an annual rate of 0.03%.

INTRODUCCIÓN

La cobertura vegetal cumple un rol importante en el ámbito geográfico del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, protegiendo el suelo contra la erosión, en la regulación del ciclo hidrológico y en el mejoramiento de la fertilidad del suelo. La pérdida de cobertura vegetal no solo altera el ciclo hidrológico, sino que produce serios problemas de erosión, salinización, pérdida de productividad primaria y disminución de la capacidad de infiltración de agua para la recarga de acuíferos (Rosas *et al.*, 2006).

En ecosistemas altoandinos del departamento de Tacna, especialmente del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, la cobertura vegetal está constituido por matorrales, tolales, yatales, pajonales, bofedales y bosques, que actúan como protectores naturales frente a procesos de erosión del suelo y brindan diversos servicios ecosistémicos. En el ACR Vilacota Maure se han determinado veintitrés servicios ecosistémicos que provee a todo el departamento de Tacna, distribuidos en el servicio de regulación, provisión, culturales y de soporte (Navarro *et al.*, 2020).

La teledetección posibilita la obtención de información sobre una superficie, objeto o fenómeno sin estar en contacto con ello (Chuvienco, 2010). A través del tratamiento, análisis e interpretación de imágenes de satélite, se pueden describir las características del suelo, los tipos de cobertura vegetal y su estado de conservación.

El análisis multitemporal de imágenes de satélite de un período de tiempo permite realizar el seguimiento y monitoreo de las diferentes comunidades vegetales que conforman una región. Un suelo con cobertura vegetal tendrá un patrón de absorción y reflexión de ondas cortas y largas distinto que un suelo erosionado y sin agua, lo que le da un color y una respuesta espectral diferente (Rosas *et al.*, 2006).

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El Área de Conservación Regional Vilacota Maure se encuentra ubicado entre los 3500 y 5700 m s. n. m. en la zona altoandina de la región Tacna, entre los distritos de Candarave, Susapaya, Ticaco, Tarata y Palca; situadas entre las coordenadas geográficas 17° 19' 50,47" LS y 69° 54' 18,1" LW, ocupando un área superficial de 124 313 hectáreas (Figura 1).

Adquisición de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales se descargaron del servidor www.glovis.usgs.gov de libre acceso vía internet para los años 1988, 2003 y 2018, correspondiente a la época seca, con el fin de obtener condiciones climáticas y de vegetación similares u homogéneas entre los años de evaluación.

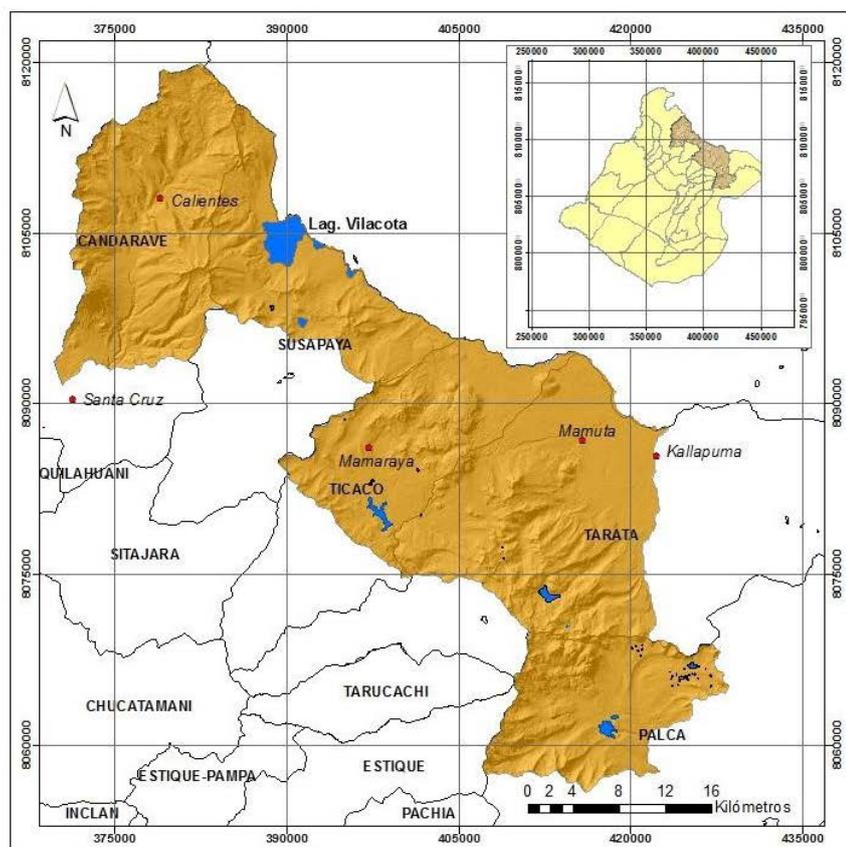
Tabla 1

Características de las imágenes satelitales

Imagen Landsat	Fecha	Path/Row	Fuente
LT05_L1TP_002072_19881201_20170205_01_T1	1/12/1988	002/072	USGS
LE07_L1TP_002072_20031203_20170123_01_T1	3/12/2003	002/072	USGS
LE07_L1TP_002072_20180907_20181003_01_T1	7/9/2018	002/072	USGS

Figura 1

Ubicación del área de estudio



Preprocesamiento de imágenes satelitales

Consistió en realizar el tratamiento de las imágenes satelitales Landsat, mediante la calibración radiométrica, donde los valores digitales (ND) se convierten a unidades de radiancia; la corrección atmosférica, donde los valores de radiancia se convierten a valores de reflectancia y se realiza con el fin de disminuir o borrar los efectos de la dispersión y absorción de la atmósfera, y la corrección del bandeo para eliminar los “gaps” o franjas de datos inválidos que se presentan en las escenas de imágenes Landsat 7, aplicando el software ENVI 5.3.

Generación de categorías de cobertura

Las categorías o clases de cobertura del ACR Vilacota Maure se realizaron de acuerdo al sistema de clasificación internacional Corine Land Cover (CLC) adaptado por el Ministerio del Ambiente hasta el nivel III (MINAM, 2014). Se revisaron los mapas de cobertura vegetal de Tacna, elaborados con anterioridad en el proceso de Zonificación Económica y Ecológica de la región Tacna (GORET, 2015), así como el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015); con lo cual se hizo la convalidación entre la cobertura del ACR Vilacota Maure y el sistema de clasificación de Cobertura de la Tierra Corine Land Cover, y se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Convalidación de categorías de cobertura del ACR Vilacota Maure y el sistema de clasificación Corine Land Cover

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Mapa Nacional de Cobertura Vegetal	Cobertura Vegetal ACR Vilacota Maure
2. Áreas agrícolas	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	1. Agricultura costera y andina	1. Actividad agropecuaria
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	2. Bosque relicto altoandino	2. Queñoales
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	3. Pajonal andino	3. Matorral semidenso asoc. a herbazales erguidos montano
		3.3.2. Arbustal	4. Matorral arbustivo	4. Matorral arbustivo
	3.4. Área sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	5. Área altoandina con escasa y sin vegetación	5. Zona con escasa vegetación
3.4.5. Glaciares		6. Glaciar y periglaciar	6. Glaciares, nival	
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.2. Turberas y bofedales	7. Bofedales	7. Bofedales
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas	8. Lagunas, lagos y cochas	8. Cuerpos de agua

Trabajo de campo

Se realizó la identificación de áreas de entrenamiento o de referencia, asignando a cada uno de ellos la clase o categoría de cobertura respectiva, según la leyenda de la clasificación Corine Land Cover (CLC). La verificación de campo se realizó utilizando un navegador GPS, tomando registros de coordenadas UTM en áreas identificadas con parches o zonas homogéneas para cada tipo de cobertura.

Procesamiento de imágenes satelitales

Utilizando la transformación Tasseled Cap de ToolBox del software ENVI 5.3, se generaron tres nuevas bandas que expresan índices de brillo, verdor y humedad. Estas bandas o capas brindaron información para caracterizar las coberturas y, a partir de su clasificación, se realizaron la delimitación de coberturas y determinaron el comportamiento de las clases (Insaurralde, 2019). La banda de brillo Brightness permitió discriminar suelos desnudos y contrastar cuerpos de agua.

Asimismo, se realizó el cálculo de los índices de vegetación Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) y Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). Con el NDVI se logró determinar la presencia de vegetación en el área de estudio, obteniendo una clara clasificación de la cobertura de bofedales, y el SAVI permitió distinguir formaciones de queñua, pajonal y vegetación arbustiva, así como suelo desnudo o con escasa vegetación.

Procesamiento y análisis de datos

Según los resultados de los cálculos de índices espectrales para cada categoría o clase de cobertura, se generaron los mapas de cobertura vegetal para los años 1988, 2003 y 2018 (Figura 2).

Se realizó el cálculo de la matriz de confusión e índice Kappa (k), lo cual ha permitido determinar la exactitud de la clasificación mediante el establecimiento de puntos de verificación de cada clase de cobertura y la validación de campo.

La tasa anual de cambio de cobertura se determinó mediante la ecuación siguiente:

$$TAC = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \ln \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \times 100$$

Donde A1 y A2 representan las áreas de cobertura en el tiempo 1 y 2, respectivamente, y t₁ y t₂ representan el año de evaluación inicial.

RESULTADOS

Definición de categorías de cobertura de la tierra

La metodología empleada para la clasificación de la cobertura del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, se sustentó en el sistema de clasificación internacional Corine Land Cover (CLC) y se describen hasta el nivel III como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3

Categorías de cobertura identificadas en el área de estudio

Cobertura y uso de la tierra			
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Área (ha)
2. Áreas agrícolas	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	42,70
		3.1.1. Bosque denso bajo	3026,66
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.3.1. Herbazal	94 127,66
		3.3.2. Arbustal	1545,43
	3.4. Área sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	16 418,93
		3.4.5. Glaciares	2766,63
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.2. Turberas y bofedales	4670,90
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas	1714,27
Total			124 313,18

Cobertura vegetal del área de estudio

Según la leyenda de la clasificación Corine Land Cover, se tiene identificado ocho (8) categorías o clases de cobertura en el ACR Vilacota Maure, de las cuales cinco (5) corresponden a cobertura vegetal y se muestran en la Tabla 4, para los años 1988, 2003 y 2018.

La superficie territorial del área de estudio cubierta con vegetación o cobertura vegetal, alcanza una extensión de 102 396,95 ha en el año 1988, que representa el 82,37% del área de estudio. Para el año 2003 y 2018 se nota un ligero incremento de la cobertura vegetal con 104 549,43 ha (84,03 %) y 103 413,36 ha (83,19%), respectivamente, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Superficie calculada de cobertura vegetal en el ACR Vilacota Maure

Clasificación	1988		2003		2018	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	27,41	0,03	47,40	0,05	42,70	0,04
3.1.1. Bosque denso bajo	2838,59	2,77	3154,21	3,02	3026,66	2,93
3.3.1. Herbazal	94 318,82	92,11	95 244,58	91,18	94 127,66	91,02
3.3.2. Arbustal	1571,86	1,54	1487,40	1,42	1545,43	1,49
4.1.2. Turberas y bofedales	3640,27	3,56	4525,84	4,33	4670,90	4,52
Total Cobertura Vegetal	102 396,95	100	104 549,43	100	103 413,36	100

En el área de estudio, la categoría o clase de cobertura vegetal más extensa en los años 1988 - 2018 es el herbazal, compuesta por pajonal andino, representado principalmente por especies de ichu; seguido en menor proporción las categorías turberas y bofedales, bosque denso bajo, arbustal y cultivos permanentes herbáceos.

Análisis de los cambios de cobertura vegetal

Los cambios de cobertura vegetal durante el periodo de evaluación se han realizado mediante el cálculo de áreas o superficies para cada categoría y año de evaluación, utilizando el software ArcGis 10,2. Los resultados del análisis de los cambios ocurridos en el área de estudio en 30 años alternados cada 15 años, muestran un incremento de 2062,48 ha en el periodo de 1988 al 2003 y un descenso de 1046,06 ha en el periodo 2003 al 2018, totalizando un incremento promedio de 1016,41 ha desde el año 1988 al 2018. (Tabla 5).

En la Tabla 5 se observa que la superficie con cubierta vegetal pasó de un 82,37% en el año 1988, a un 83,19% en el 2018, en el área de estudio.

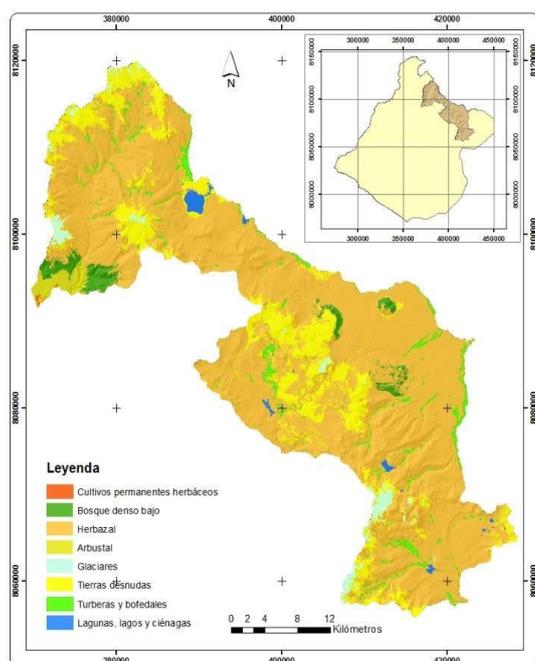
Tabla 5*Persistencias y cambios de la cobertura vegetal en el ACR Vilacota Maure*

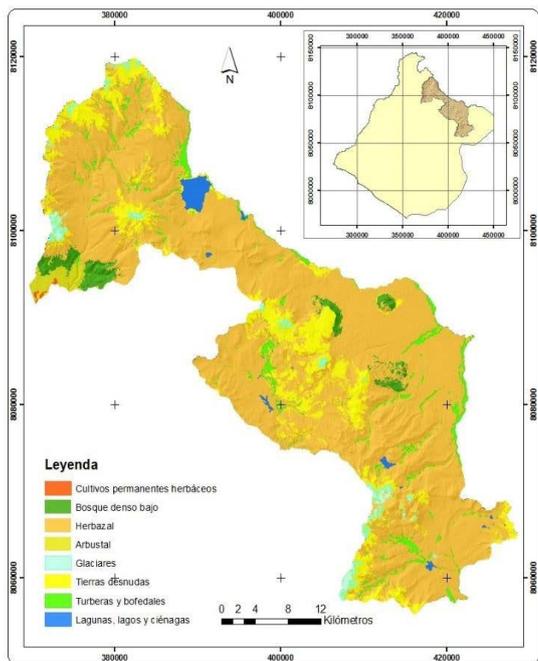
Clasificación	Área (ha) 1988	Persiste	Cambio	Área (ha) 2003	Persiste	Cambio	Área (ha) 2018
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	27,41	47,40	19,98	47,40	42,70	-4,69	42,70
3.1.1. Bosque denso bajo	2838,59	3154,21	315,62	3154,21	3026,66	-127,54	3026,66
3.3.1. Herbazal	94 318,82	95 244,58	925,76	95 244,58	94 127,66	-1116,92	94 127,66
3.3.2. Arbustal	1571,86	1487,40	-84,45	1487,40	1545,43	58,03	1545,43
4.1.2. Turberas y bofedales	3640,27	4525,84	885,57	4525,84	4670,90	145,06	4670,90
Total Cobertura Vegetal	102 396,95	104 459,43	2062,48	104 459,43	103 413,36	-1046,06	103 413,36
Porcentaje (%)	82,37			84,03			83,19

Entre las categorías de cobertura vegetal que han tenido mayor variación en cuanto a superficie territorial en los 30 años del período de evaluación está la clase de turberas y bofedales con 0,83 %, seguido de bosque denso bajo con 0,15 %, herbazal con -0,15 %, arbustal con -0,02 % y cultivos permanentes herbáceos con 0,01 %.

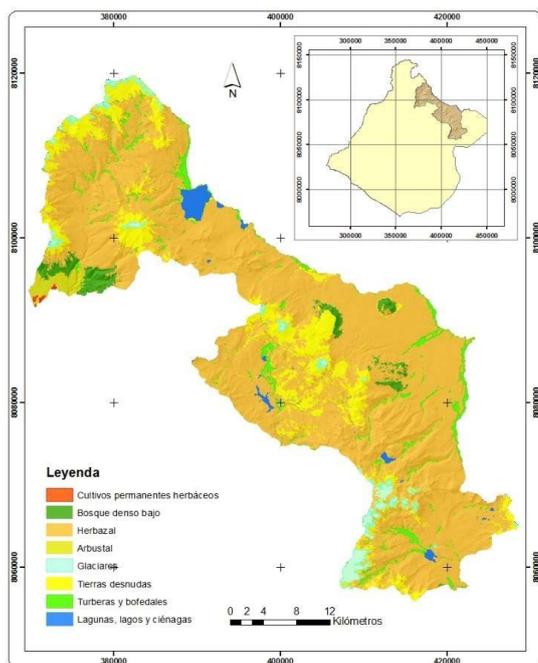
Elaboración de mapas de cobertura vegetal

Mediante el uso del software ArcGis 10,2 se generaron mapas de cobertura vegetal de los años 1988, 2003 y 2018 (Figura 2).

Figura 2*Mapa de Cobertura del ACR Vilacota Maure, año (a) 1988, (b) 2003, y (c) 2018***(a)**



(b)



(c)

La clasificación de 1988 indica una exactitud estimada a partir de su matriz de confusión de 83,56% e índice Kappa de 0,80. Para el año 2003 fue de 82,19% con un índice Kappa de 0,79 y para la clasificación del año 2018 fue de 83,56% con un índice Kappa de 0,80, coincidiendo en todos los casos con una clasificación “sustancial” del valor de concordancia.

Tasa promedio anual de cambio de cobertura vegetal

La tasa promedio anual de cambio de cobertura vegetal, se ha determinado a partir de datos de superficie obtenidos entre los años 1988, 2003 y 2018 (Tabla 6).

Tabla 6*Tasa promedio anual de cambio de cobertura en el ACR Vilacota Maure*

Categorías	Período		
	1988 - 2003	2003 - 2018	1988 - 2018
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3,72	-0,69	1,49
3.1.1. Bosque denso bajo	0,71	-0,27	0,21
3.3.1. Herbazal	0,07	-0,08	-0,01
3.3.2. Arbustal	-0,37	0,26	-0,06
4.1.2. Turberas y bofedales	1,46	0,21	0,83

DISCUSIÓN

De acuerdo con la clasificación internacional Corine Land Cover CLC se han determinado ocho (8) categorías o clases de cobertura del nivel III en el área de estudio, de las cuales cinco (5) corresponden a cobertura vegetal, objeto de la presente investigación. Las categorías identificadas de cobertura vegetal fueron: (2.2.1) cultivos permanentes herbáceos, (3.1.1) bosque denso bajo, (3.3.1) herbazal, (3.3.2) arbustal y (4.1.2) turberas y bofedales.

Los cultivos permanentes herbáceos están representados principalmente por la papa, el maíz, las habas, entre otros cultivos que se desarrollan dentro del ámbito geográfico del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, en el Centro Poblado de Santa Cruz del distrito y provincia de Candarave. Los cultivos se disponen en terrazas de tipo andenería cerca de las faldas del volcán Yucamani, donde además se observan plantaciones de eucalipto y pino.

El bosque denso bajo en el ACR Vilacota Maure está representado por el género *Polylepis* conocido vulgarmente como “queñua”. Según el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015) y el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2019), esta categoría se encuentra descrita como bosque relicto altoandino (queñoal). Los *queñoales* están conformados por árboles de pequeño porte y/o arbustos de las especies *Polylepis rugulosa*, *P. subtusalbida*, y *P. tarapacana* (GORET, 2018; Mendoza & Cano, 2011). El género *Polylepis* forman bosques de hoja perenne con poblaciones muy fragmentadas a lo largo de las alturas de los Andes tropicales y subtropicales (Zutta *et al.*, 2012). La apertura de caminos contribuye a la fragmentación del hábitat y la contaminación de los suelos por residuos sólidos (Morales-Aranibar *et al.*, 2019).

La categoría de herbazal que corresponde al pajonal andino, según el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015), está situado en la parte alta de la cordillera de los Andes e integrado por el “pajonal”, compuesto por especies de tamaño hasta 80 cm, el “césped”, compuesto por especies de porte bajo hasta 15 cm, y el “tolar”, compuesto por arbustos de hasta 120 cm. En el ACR Vilacota Maure se puede distinguir claramente la asociación tolar-pajonal, que son matorrales conformados por especies tolares de los géneros *Parastrephia* y *Baccharis*, acompañado de especies gramíneas del género *Festuca* y *Stipa*, conocidos vulgarmente como “ischu, ichu o paja” (GORET, 2018).

Según el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2019), la clase herbazal corresponde al ecosistema de pajonal de puna seca, perteneciente a la región andina con vegetación de tipo herbácea, ocupando superficies planas u onduladas o colinas con pendiente suave a moderada; conformado por especies de gramíneas amacolladas, robustas y xeromórficas de hojas punzantes, rígidas y duras. Los pajonales en la región andina son los principales proveedores de servicios ecosistémicos hídricos (Mosquera *et al.*, 2022).

La categoría de arbustal del sistema de clasificación Corine Land Cover, según el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015), comprende la homologación con el matorral arbustivo con amplia distribución en la región andina en la zona sur y centro del país, limitando con los pajonales naturales. Según el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2019), la categoría arbustal está descrito como matorral andino caracterizado por vegetación leñosa y arbustiva de composición y estructura variable.

Las turberas y bofedales comprendido entre los ecosistemas de la región andina, según el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2019), como bofedal se presenta en los Andes con vegetación hidrófila de tipo herbácea, siempre verde de porte almohadillado. En el ACR Vilacota Maure los bofedales están conformados por comunidades en cojín, de baja altura y alta densidad y se caracterizan por la presencia de especies palatables como *Alchemilla diplophylla*, *Distichia muscoides*, *Lilaeopsis macloviana*, entre otras. (GORET, 2018). Una de las principales características de los bofedales es la humedad edáfica permanente durante todo el año, así como la presencia de suelo orgánico o turba, y un color verdoso que contrasta con el amarillo de las zonas aledañas (Maldonado, 2014).

La categoría herbazal ocupa gran parte de la superficie territorial del ACR Vilacota Maure, extendiéndose desde el extremo oeste en el distrito y provincia de Candarave hasta el extremo este en el distrito de Palca (provincia de Tacna). Debido a su extensa cobertura en la región andina sobre los 3900 metros de altitud, el pajonal andino o pajonal de puna seca es el ecosistema que más aporta a la regulación hídrica (Cervantes *et al.*, 2021) y requieren conservación y restauración para garantizar la seguridad hídrica (Mosquera *et al.*, 2022).

Los resultados de la evaluación multitemporal de cobertura vegetal durante el período de 1988 al 2018 nos indica un ligero incremento de la superficie vegetal de 1016,41 ha, para un intervalo de 30 años. Asimismo, mediante términos de ganancia y pérdida de cada clase, permite determinar que la categoría herbazal con ligeras variaciones de superficie, ocupa la mayor extensión en el ACR Vilacota Maure. La categoría bosque denso bajo tiene una variación creciente similar al estudio realizado por Paula *et al.* (2018) en bosque del páramo. Con respecto a la categoría turberas y bofedales, se nota un claro incremento que concuerda con los resultados de Pauca-Tanco *et al.* (2020) para humedales altoandinos.

Con respecto a la tasa anual de cambio, la cobertura vegetal del ACR Vilacota Maure registró un valor de 0,032 %, que indica un incremento promedio anual de 32,91 ha. La tasa anual de cambio de las clases bosque denso bajo y turberas y bofedales, indican valores positivos (0,21 y 0,83, respectivamente), que difieren claramente de los obtenidos por Maquera (2020), donde determinó para la región de Tacna valores negativos de tasa anual de cambio para cobertura de bosques y áreas mayormente naturales y para áreas húmedas.

CONCLUSIONES

En la presente investigación, utilizando la clasificación Corine Land Cover CLC, se logró determinar cinco categorías de cobertura vegetal del nivel III constituido por cultivos permanentes herbáceos, bosque denso bajo, herbazal, arbustal, turberas y bofedales. Desde 1988 al 2018, durante un período de evaluación de 30 años, se ha estimado un incremento de la superficie en las categorías cultivos permanentes herbáceos, bosque denso bajo y turberas y bofedales, así como un decrecimiento en las categorías herbazal y arbustal.

En el período evaluado se determinó la tasa anual de cambio de cobertura en las categorías cultivos permanentes herbáceos, bosque denso bajo y turberas y bofedales, con valores positivos de 1,49 %, 0,21 %

y 0,83 %, respectivamente, y un descenso de cobertura en las categorías de herbazal y arbustal, con tasa anual de cambio de -0,01 % y -0,06 %, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es parte del trabajo de tesis para la obtención del título profesional de Ingeniero Agrónomo, la cual fue financiada por fondos de canon, sobrecanon y regalías mineras de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. El autor expresa su agradecimiento por el apoyo financiero para el desarrollo de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cervantes, R., Sánchez, J. M., Alegre, J., Rendón, E., Baiker, J. R., Locatelli, B., & Bonnesoeur, V. (2021). Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Ecología Aplicada*, 20(2).
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental "La observación de la tierra desde el espacio"*. Nueva edición actualizada, Editorial Ariel, España.
- GORET. (2015). *Servicios Ecosistémicos de la Región de Tacna. Estudio Especializado*. Gobierno Regional de Tacna. Perú.
- GORET. (2018). *Plan Maestro del Área de Conservación Regional Vilacota Maure 2017 - 2021*. Administración del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, Gobierno Regional de Tacna. Perú.
- Insaurrealde, J. A. (2019). Aplicación de la transformación Tasseled Cap en la generación de información temática a partir de las imágenes satelitales del Landsat 8 (OLI), GeoFocus, *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (24), 19-35.
- Maldonado, M. S. (2014). Introducción a los bofedales de la región Altoandina Peruana. *Mire and Peat*, 15(2014/15), Article 05, 1-13. <http://www.mires-and-peat.net/>
- Mendoza, W., & Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología* 18(2): 197-200.
- Maquera, E. (2020). *Análisis de los Cambios de Cobertura y Uso del Suelo en el Departamento de Tacna, Período 2007, 2012 y 2017*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Escuela de Posgrado. Tacna - Perú.
- MINAM. (2014). *Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. Componente Nacional Perú – Primera Etapa*. Dirección General de Ordenamiento Territorial. CDC-UNALM, LTAUNALM, DGOT - MINAM, FDA. Lima - Perú. pp. 78.
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal - Memoria descriptiva*. Ministerio del Ambiente. Lima - Perú.
- MINAM. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas - Memoria descriptiva*. Ministerio del Ambiente. Lima

- Perú.

- Morales-Aranibar, L. F., Rojas de la Puente, E. E., & Costa, J. F. (2019). Ecology of *Polylepis* spp Forests, and Proposal for Its Conservation in the Andean Region of Tacna, Peru. *Environment Technology Resources Rezekne, Latvia, I*, 180-186.
- Mosquera, G. M., Marín, F., Stern, M., Bonnesoeur, V., Ochoa-Tocachi, B. F. & Román-Dañobeytia, F. (2022). *Servicios ecosistémicos hídricos de los pajonales altoandinos: ¿Qué sabemos?* Resumen de políticas, Proyecto “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica”. Forest Trends, Lima, Perú.
- Navarro, M., Guillen, C., & Limache, L. (2020). Valoración económica del Área de Conservación Regional Vilacota Maure: Servicios ecosistémicos priorizados al extremo sur del Perú. *Ciencia & Desarrollo*, 27, 65-77.
- Paula, P. A., Zambrano, L., Paula, P. (2018). Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque UTE*, 9(2), 125-137.
- Pauca-Tanco, A., Ramos-Mamani, C., Luque-Fernández, C. R., Talavera-Delgado, C., Villasante-Benavides, J. F., Quispe-Turpo, J. P. & Villegas-Paredes, L. (2020). Análisis espacio temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca (Perú) durante el período 1986-2016. *Revista de Teledetección*, 55, 105-118.
- Rosas Pérez, I., Carranza Ortiz, G., Nava Cruz, Y., & Larqué Saavedra, A. (2006). *La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. “Más allá del cambio climático”*. Universidad Nacional Autónoma de México. pág. 123-140.
- Zutta, B. R., Rundel, P. W., Saatchi, S., Casana, J. D., Gauthier, P., Soto, A., Velazco, Y., & Buermann, W. (2012). Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques andinos vulnerables y cada vez más importantes. *Revista Peruana de Biología* 19(2), 205-212.