

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Escuela Profesional de Agronomía**

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA  
VEGETAL EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN REGIONAL  
VILACOTA MAURE ENTRE LOS AÑOS 1988 – 2018  
MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN**

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. CARLOS ENRIQUE OSCCO COA**

Para optar el título profesional de

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TACNA – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

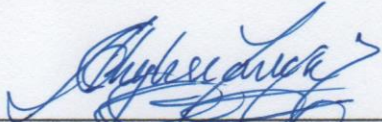
**Escuela Profesional de Agronomía**

**TESIS**

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA  
VEGETAL EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN REGIONAL  
VILACOTA MAURE ENTRE LOS AÑOS 1988 - 2018  
MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN**

**TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 24 DE AGOSTO DEL 2022,  
SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:**

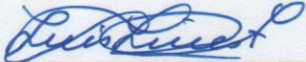
**PRESIDENTE:**

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. ARÍSTIDES CHOQUEHUANCA TINTAYA**

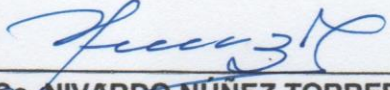
**SECRETARIO:**

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. MAGNO SANTOS ROBLES TELLO**

**VOCAL:**

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. LUIS SABINO LINARES TEJADA**

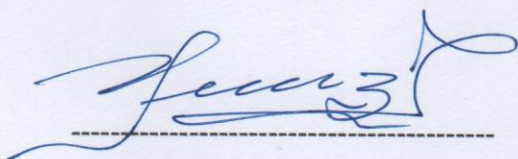
**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. NIVARDO NÚÑEZ TORREBLANCA**

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Nivardo Núñez Torreblanca, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 5530-2019-FCAG de la tesis de investigación titulada: **“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN REGIONAL VILACOTA MAURE ENTRE LOS AÑOS 1988 – 2018 MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN”**. Presentado por el Bachiller **CARLOS ENRIQUE OSCCO COA**, para optar el título de **Ingeniero Agrónomo**. Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 8%. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional. Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título.

Tacna, 17 de noviembre del 2023



Nivardo Núñez Torreblanca

DNI: 01248854

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se la dedico a mis padres María Coa Condori y Teodocio Oscoco Mamani que me apoyaron constantemente y supieron conducirme en mi formación profesional.

Así también a mi esposa Naldy y a mi hijo Obed por su buen ánimo y apoyo emocional en el desempeño de mi profesión.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann por el financiamiento brindado para el desarrollo de la tesis, así también al Ing. Nivardo Núñez Torreblanca por el asesoramiento en la ejecución de la tesis; con lo cual se hizo posible el desarrollo del presente trabajo de investigación.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	2
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. LIMITACIONES.....	5
CAPITULO II MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
2.2. BASES TEÓRICAS .....	13
2.2.1. Cobertura vegetal.....	13
2.2.2. Área de Conservación Regional Vilacota Maure.....	19
2.2.3. Principios básicos de la Teledetección.....	22
2.3. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE TÉRMINOS .....	25
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
3.1. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3.2.1. Ubicación y superficie .....	28
3.2.2. Clima .....	28
3.2.3. Flora y vegetación.....	30
3.2.4. Accesibilidad .....	31
3.2. PROCEDIMIENTO .....	32
3.2.1. Etapa previa de la investigación .....	33
3.2.2. Etapa de trabajo de campo.....	37
3.2.3. Etapa de gabinete .....	39

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	41
3.3.1. Población.....	41
3.3.2. Muestra.....	41
3.4. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	43
3.4.1. Materiales y/o herramientas.....	43
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	44
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
4.1. RESULTADOS.....	48
4.1.1. Definición de categorías de cobertura vegetal .....	48
4.1.2. Cobertura vegetal de los años 1988, 2003 y 2018.....	58
4.1.3. Análisis de los cambios de cobertura vegetal .....	62
4.1.4. Elaboración de mapas de cobertura vegetal .....	67
4.1.5. Tasa promedio anual de cambio de cobertura vegetal .....	71
4.1.6. Cálculo de la matriz de confusión.....	71
4.2. DISCUSIÓN.....	73
CONCLUSIONES.....	77
RECOMENDACIONES .....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
ANEXOS.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 01 : Especificaciones de las imágenes satelitales
- Tabla 02 : Convalidación entre la cobertura del ACR Vilacota Maure y el Sistema de Clasificación Corine Land Cover
- Tabla 03 : Valoración de Coeficiente Kappa (Ladin y Koch, 1977)
- Tabla 04 : Categorías de cobertura identificadas en el área de estudio
- Tabla 05 : Superficie calculada de cobertura vegetal en el ACR Vilacota Maure
- Tabla 06 : Persistencias y cambios de la cobertura vegetal en el ACR Vilacota Maure
- Tabla 07 : Tasa promedio anual de cambio de cobertura en el ACR Vilacota Maure
- Tabla 08 : Matriz de Confusión de la Clasificación 1988
- Tabla 09 : Matriz de Confusión de la Clasificación 2003
- Tabla 10 : Matriz de Confusión de la Clasificación 2018

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 01 : Espectro electromagnético
- Figura 02 : Mapa de ubicación del área de estudio
- Figura 03 : Diagrama de flujo del procedimiento de investigación
- Figura 04 : Cobertura del ACR Vilacota Maure, años 1988, 2003 y 2018.
- Figura 05 : Representación de las clases de cobertura vegetal del ACR Vilacota Maure, años 1988, 2003 y 2018.
- Figura 06 : Superficie de cobertura vegetal según categorías, años 1988, 2003 y 2018.
- Figura 07 : Análisis de cambios de cobertura vegetal por categoría, en los períodos 1988-2003 y 2003-2018.
- Figura 08 : Cambio de cobertura de la categoría “Cultivos permanentes herbáceos”.
- Figura 09 : Cambio de cobertura de la categoría “Bosque denso bajo”.
- Figura 10 : Cambio de cobertura de la categoría “Herbazal”.
- Figura 11 : Cambio de cobertura de la categoría “Arbustal”.
- Figura 12 : Cambio de cobertura de la categoría “Turberas y bofedales”.
- Figura 13 : Mapa de cobertura del ACR Vilacota Maure, año 1988
- Figura 14 : Mapa de cobertura del ACR Vilacota Maure, año 2003
- Figura 15 : Mapa de cobertura del ACR Vilacota Maure, año 2018

## 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 en base al 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 05 categorías de cobertura vegetal según la clasificación Corine Land Cover para el ACR Vilacota Maure: *Cultivos permanentes herbáceos* 42.70 has (0.03%), *Bosque denso bajo* 3,026.66 ha (2.43%), *Herbazal* 94,127.66 ha (75.72%), *Arbustal* 1,545.43 ha (1.24%), y *Turberas y bofedales* 4,670.90 ha (3.76%); y 03 clases de cobertura no vegetal: *Tierras desnudas* 16,418.93 ha (13.21%), *Glaciares* 2,766.63 (2.23%), y *Lagunas, lagos y ciénagas* 1,714.27 has (1.38%). El área cubierta por vegetación en el año 1988 fue de 102,396.95 ha, mientras que en el año 2018 fue de 103,413.36 ha, con un ligero aumento de 1,016.41 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%.

**Palabras clave:** cobertura vegetal, Área de Conservación Regional Vilacota Maure, imágenes satelitales.

## 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 124,313 hectares, where 05 categories of vegetation cover were identified according to the Corine Land Cover classification for the ACR Vilacota Maure: Permanent herbaceous crops 42.70 hectares (0.03%), Dense low forest 3,026.66 hectares. (2.43%), Grassland 94,127.66 ha (75.72%), Shrubland 1,545.43 ha (1.24%), and Peatlands and wetlands 4,670.90 ha (3.76%); and 03 types of non-vegetative cover: Bare lands 16,418.93 ha (13.21%), Glaciers 2,766.63 (2.23%), and Lagoons, lakes and swamps 1,714.27 ha (1.38%). The area covered by vegetation in 1988 was 102,396.95 ha, while in 2018 it was 103,413.36 ha, with a slight increase of 1,016.41 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%.

**Keywords:** vegetation cover, Vilacota Maure Regional Conservation Area, satellite images.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar el cambio de cobertura vegetal en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure durante 30 años de período de evaluación, mediante el análisis e interpretación de imágenes de satélite empleando técnicas de teledetección.

La cobertura vegetal es uno de los componentes del medio físico más importante para el equilibrio del medio ambiente. Se trata de un recurso de alto valor en la superficie terrestre que se mantiene en función de la agricultura, pastos y bosques. Así mismo, la cobertura vegetal realiza una función importante en el mantenimiento de otros recursos como la fauna, suelos y paisaje.

La teledetección o percepción remota, facilita el mapeo de los recursos agrícolas y forestales. 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. Con estos datos es posible establecer mecanismos de evaluación y conservación de ecosistemas.

Mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales de un período de tiempo, es factible realizar el seguimiento y monitoreo de las distintas comunidades vegetales.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

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.

El cambio climático y los procesos de desertificación se han ido acrecentando, alterando y disminuyendo el área que ocupa la cobertura vegetal, y por lo tanto acelerando los procesos de erosión del suelo.

La cobertura vegetal en ecosistemas altoandinos del departamento de Tacna, especialmente del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, constituyen matorrales, tolares, yaretales, pajonales, bofedales y bosques, que actúan como protectores naturales frente a procesos de erosión del suelo.

Sin embargo, existen vacíos de información sobre el estado actual e histórico de la superficie con cubierta vegetal o formaciones vegetales del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, que permita al gobierno regional y municipios que la conforman, tomar decisiones adecuadas para

el establecimiento de acciones tendientes a un manejo sostenible de los recursos naturales, y restauración de las áreas degradadas.

Por las razones expuestas, se propone el problema de investigación siguiente: “Desconocimiento del cambio de cobertura vegetal en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure durante el período de 1988 - 2018”

¿Cuál es el cambio ocurrido de cobertura vegetal en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure durante el período de 1988 - 2018?

## **1.2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS**

### **Objetivo General:**

Evaluar el cambio de cobertura vegetal en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure, durante el período de 1988 – 2018, mediante técnicas de teledetección.

### **Objetivos Específicos:**

- Determinar la cobertura vegetal de las diferentes formaciones vegetales del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, mediante la aplicación de técnicas de teledetección.
- Determinar la tasa de cambio de la cobertura vegetal en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure durante el período de 1988 – 2018, mediante el uso de técnicas de teledetección.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El trabajo de investigación realizado se justifica en razón del valor que tiene la cobertura vegetal en ecosistemas altoandinos de la región de Tacna, específicamente en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure, donde constituyen matorrales, tolares, yaretales, pajonales, bofedales y bosques, que actúan como protectores naturales frente a procesos de erosión del suelo.

Así mismo, los resultados obtenidos en la presente investigación referido a la determinación del cambio de cobertura vegetal en el ACR Vilacota Maure desde el año 1988 hasta el año 2018, y la descripción del comportamiento de las diferentes formaciones vegetales durante este período; ayudará a establecer medidas de protección y conservación de los recursos naturales, fortaleciendo la toma de decisiones acertadas a los actores involucrados en el manejo de los recursos naturales del área de conservación regional, así como en la elaboración de planes de conservación y alternativas de restauración de áreas degradadas.

El uso de herramientas de percepción remota ayudará a adoptar técnicas sencillas en el análisis y monitoreo de los recursos naturales, con el ahorro económico y tiempo, y con la obtención de resultados de calidad.

La población de las comunidades existentes en el área natural protegida son los beneficiarios directos de los resultados de la presente investigación,

siendo los beneficiarios indirectos toda la población del departamento de Tacna, que lo constituyen los diferentes sectores sociales y la comunidad científica.

#### **1.4. LIMITACIONES**

Las limitaciones durante el desarrollo de la investigación están referidos al aspecto de la accesibilidad al Área de Conservación Regional Vilacota Maure, ya que no se puede hacer el recorrido en algunas zonas del ACR, por las difíciles condiciones que presentan las vías de comunicación, y el clima adverso en ciertas épocas del año.

El trabajo de investigación se limita a la evaluación de las diferentes clases de cobertura vegetal en el ámbito geográfico del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, durante el período de 1988 - 2018, utilizando imágenes satelitales.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Laurente (2011), utilizando dos imágenes de satélite Landsat TM-5 en el período de 1990 - 2005, y mediante técnicas de teledetección y SIG, logró determinar la disminución de 521.9 hectáreas de bosque en un período de 15 años, con una tasa de deforestación de 34.8 hectáreas por año, en la microcuenca del río Supte San Jorge (Tingo María - Perú). Así mismo, un incremento de suelos degradados en 720.6 ha, llegando a un total de 1,723.4 ha en el 2005.

Zorogastúa et al (2011), determinaron durante el período de evaluación de 1999 al 2001 que el 38% de la superficie del bosque seco no tuvo variación, el 13% mejoró su condición y el 23% tiende a la disminución de su cobertura vegetal. Mediante el procesamiento de imágenes satelitales Landsat, y realizando la clasificación supervisada en el estudio del bosque seco de la región de Piura - Perú.

Pavón (2011), logró determinar cuatro clases de cobertura forestal en las comunidades del territorio Awá de la región biogeográfica del Chocó en Ecuador: (a) Bosque natural, (b) bosque natural intervenido, (c) suelo descubierto, y (d) área sin información; con la evaluación de imágenes

Landsat en los años 1986, 2000 y 2011. Los resultados del análisis muestran una disminución de los bosques, así como ocurre en el resto del chocó ecuatoriano; y un incremento de las clases de bosque natural intervenido y suelo descubierto, contrario a la disminución del bosque natural en el año 2011.

Hernández (2012), con la evaluación de dos imágenes Landsat de los años 1987 y 2006, en la cobertura vegetal del Municipio Central en Honduras; logró identificar las principales coberturas del suelo existente para ambos años, siendo el Bosque Latifoliado, Bosque de Coníferas, Bosque mixto, Matorrales, Suelo desnudo, Cuerpos de agua y Urbano; mostrando durante el periodo de estudio, pérdidas en su extensión de más del 50% de las clases identificadas. La tasa anual de cambio del área total asignada a la cobertura vegetal fue de -0.30% indicando pérdida del área.

Britos y Barchuk (2013), realizaron la caracterización de los patrones espaciales y temporales de la cubierta vegetal en referencia a los usos del suelo, de una superficie de la cuenca Salinas Grandes, Chaco Árido (Argentina), utilizando imágenes Landsat TM con valores de NDVI de una serie de tiempo de 1984 - 2010. Las prácticas de manejo son los principales mecanismos causales de la desertificación, y los factores abióticos juegan un papel importante cuando aumenta la intensidad de las perturbaciones. En los patrones espacio-temporales de la vegetación y de su resiliencia,

juegan un papel importante las sequías periódicas, el suelo y la geomorfología.

Quispe (2014), realizó una investigación en la región denominada Los Yungas de la colonia Siempre Unidos de Bolivia, con la finalidad de determinar el incremento o disminución de la cubierta vegetal entre los años 1999 y 2013, y la relación entre los factores sociales y económicos, mediante la evaluación de imágenes satelitales Landsat del período de 1999, 2005 y 2013. Los resultados mostraron que la cobertura vegetal disminuyó de 856.4 hectáreas en el año 1999 a 850.8 hectáreas en el año 2013, durante el período de 14 años.

García y Otto (2015), realizaron un análisis multitemporal de los bofedales en la parte alta de la cuenca del río Santa (Ancash - Perú) durante el período 2000 - 2009, usando imágenes de satélite y datos de precipitación. Mediante el cálculo del NDVI lograron delimitar los humedales altoandinos dentro del área de estudio, determinando una superficie cubierta del 25% del territorio de la cuenca, de las cuales el 66% son perennes y el 34% temporales. Demostraron la dependencia que existe entre la superficie de los humedales altoandinos perennes y los humedales altoandinos temporales en el área de estudio con la acumulación de nieve en época seca y lluvia acumulada en época húmeda respectivamente.

Morales et al (2016), mediante el análisis de series temporales de cambio de cobertura, logró determinar tres tipos de cobertura vegetal en la región

Bahía de Banderas en México: (a) Selva baja caducifolia, (b) selva mediana caducifolia, y 3) zona de bosque; siendo los usos del suelo: 1) Suelos urbanos y 2) zonas agrícolas. Los resultados han demostrado el proceso de cambio y reposición de coberturas y usos de suelos, observando mayor incremento en los usos asociados a la agricultura, con mayor deforestación en fechas recientes.

Miyasiro y Ortiz (2016), lograron estimar zonas potenciales para cubrirse con vegetación de lomas, denominadas “normal” y “extraordinaria” en el distrito de Villa María del Triunfo (Lima - Perú), mediante la evaluación de imágenes de satélite y fotografías aéreas durante el período de 1986 al 2014, usando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y según la presencia e intensidad del fenómeno El Niño. Los resultados demuestran una acelerada disminución entre los años 1986 y 2014 de 660.50 has y 1,492.20 has para las lomas normal y extraordinaria respectivamente.

Oblitas (2017), identificó tres clases de cobertura: 1) Bosque abierto bajo, 2) arbustal y 3) vegetación arbustiva/herbácea, dentro del área de estudio que corresponde al Bosque Tropical Estacionalmente Seco de la cuenca Amojú - Jaén; empleando el sistema de clasificación internacional Corine Land Cover, e imágenes satelitales. Mediante el análisis de índices de vegetación, aplicando segmentación y clasificación supervisada de Random Forest, determinó la clase bosque abierto bajo con 4,561.782 ha, arbustal con 324.7954 ha y vegetación arbustiva/herbácea con 11,679.3469 ha que

representan el 10.68%, 0.76% y 27.33% del área total de la cuenca Amojú respectivamente. El área de estudio en el año 2001 tuvo una extensión de 18,718.67 hectáreas con un descenso de 2,152.75 hectáreas en el año 2013, siendo la tasa de deforestación en el período del 2001 al 2013 de 179.4 ha/año.

Chóez (2018), mediante el análisis de cobertura de uso del suelo, entre los años 1998 – 2017 en el territorio del canal Azúcar - Río Verde, utilizando imágenes de satélite Landsat de los años 1998, 2008 y 2017, y mediante clasificación supervisada; determinó la tasa anual de cambio con incrementos en zona de tierra agropecuaria de 5.55%, en zona antrópica de 1.86% y en otras tierras de 0.81%, y con descensos en cuerpos de agua de -3.08%, y en cobertura vegetal de -1.87%. Los resultados concluyen en un crecimiento de zonas agrícolas desde la operación del canal Azúcar - Río Verde en el año 1998, dando lugar a un incremento del área urbana y descenso del recurso hídrico.

Campos (2018), mediante la fotointerpretación de imágenes satelitales Landsat y clasificación supervisada, aplicando el sistema de clasificación Corine Land Cover; determinó doce categorías del nivel III en el distrito de Los Baños del Inca (Cajamarca - Perú). La evaluación del cambio de cobertura y usos del suelo durante el período de 1990 - 2018, determinó que el 43.09% del distrito sufrieron un cambio al encontrarse cerca de la ciudad

de Cajamarca conllevando a un crecimiento urbano y modificación de otras categorías.

Paula et al (2018), realizaron un estudio para determinar el cambio de vegetación en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (Ecuador), aplicando la clasificación supervisada y el Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) utilizando imágenes satelitales Landsat, ortofotos y fotografías aéreas desde el año 1962 - 1966 hasta el 2010. Los resultados muestran que la actividad antrópica determina un 0.26% y la nieve un 10.30% en el período de 1962-1966, mientras que en el período 2010-2011 la intervención aumenta a un 9.54% y la nieve disminuye a un 4.46%, evidenciando la pérdida de nieve.

Maquera (2020), realizando un análisis de las imágenes Landsat y aplicando la clasificación supervisada de diferentes clases de cobertura y uso del suelo de la región Tacna, y mediante la clasificación internacional Corine Land Cover; diferenció cinco categorías del nivel I, 12 del nivel II, 31 del nivel III, y 17 del nivel IV. La evaluación del cambio de cobertura y uso del suelo durante un período de 10 años (2007 - 2017), determinó la tendencia al incremento de las áreas dedicadas a actividades humanas, con porcentaje de cambio de 3.10% para áreas agrícolas y 9.71% para áreas artificializadas; y tasa anual de -0.21% para superficies de cobertura de bosques y áreas mayormente naturales, especialmente áreas con poca vegetación.

Pauca-Tanco et al (2020), realizaron una evaluación espacial, temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca en la provincia de Caylloma (Arequipa - Perú) durante el período 1986 - 2016, utilizando imágenes Landsat y aplicando técnicas de percepción remota para calcular la superficie y el NDVI del área de humedales, y datos climáticos de precipitación y temperatura. Lograron determinar un incremento de 12 ha/año en el período evaluado, con un aumento de los valores promedio de NDVI; así mismo, las variables climáticas presentan un incremento en el mismo período, siendo significativas sólo la temperatura máxima y mínima.

Chavarría y Lanuza (2021), lograron identificar cambios en el vigor y densidad de la vegetación en el ámbito de estudio correspondiente a la Reserva Ecológica El Bajo localizado en el municipio El Crucero (Managua - Nicaragua), usando imágenes satelitales Landsat de los años 1986, 2000 y 2020; y aplicando clasificación supervisada, lograron determinar 05 clases de uso del suelo, siendo el (a) bosque latifoliado denso, (b) bosque latifoliado ralo, (c) tacotal, (d) cultivo-pastizal, y (e) zona sin vegetación. Los resultados indicaron un incremento del vigor, densidad y humedad de la vegetación en forma gradual. La tasa anual de cambio indica un incremento en la clase bosque latifoliado denso, bosque latifoliado ralo y tacotal, y un descenso en la clase cultivo-pastizal y zona sin vegetación. La evaluación realizada permitió distinguir un proceso de regeneración natural en el transcurso de los años; sin embargo, el grado de fragmentación en la reserva El Bajo continúa en la categoría altamente fragmentado.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Cobertura vegetal

La capa de vegetación natural y aquellas inducidas por la acción humana que protegen la superficie de la tierra, se denomina cobertura vegetal, y abarcan diversas biomasas con particularidades fisonómicas y ambientales diferentes que comprende desde bosques hasta pastizales. ([www.geoinstitutos.com/art\\_03\\_cober2.asp](http://www.geoinstitutos.com/art_03_cober2.asp)).

En el año 2015, el Ministerio del Ambiente dispone la publicación del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, elaborado en base a la jerarquización de las unidades de cobertura vegetal basado en criterios geográficos, climáticos, fisonómicos y fisiográficos (MINAM, 2015). En base a esta clasificación, la zona altoandina de Tacna se encuentra localizado en la región natural Andina con macroprovincias de humedad Semiárido, Subhúmedo-Superhúmedo, y Árido-Superhúmedo, donde se reconocen los siguientes tipos de cobertura vegetal: *Bosque relictos altoandino* (Br-al), *Pajonal andino* (Pj), *Bofedal* (Bo) y *Matorral arbustivo* (Ma).

El *Bosque relictos altoandino* (Br-al) considerado así por la escasa representatividad (área disminuida), creciente fragmentación y limitado acceso; está constituido por especies del género *Polylepis* vulgarmente conocido como “queñoal”, “quinual” o “quenual”, y se localiza entre los 3,500 y 4,900 m.s.n.m.; se encuentra distribuido sobre terrenos

montañosos con pendiente pronunciada, de difícil accesibilidad y excepcionalmente acompañando a la vegetación ribereña de ciertos ríos y quebradas, distribuidos como pequeños parches en la región altoandina del país. (MINAM, 2015).

La cobertura vegetal *Pajonal andino* (Pj) mayormente conformado por herbazales está ubicado entre los 3,800 y 4,800 metros de altitud, en la parte alta de la cordillera de los andes, en terrenos casi planos o altiplanicies o terrenos empinados en el fondo de valles, glaciares y depresiones. El pajonal andino está integrado por tres subunidades como son: *Pajonal* compuesta por especies de hasta 80 cm de alto y dispuestas en forma de manojos, *Césped* compuesta por especies de porte bajo de 15 cm de altura sobre el suelo, y *Tolar* compuesta por arbustos que pueden llegar a tamaños de 120 cm de alto. (MINAM, 2015).

El *Bofedal* (Bo) conocido también como “oconal” o “turbera”, es un ecosistema hidromórfico que se distribuye entre los 3,800 m.s.n.m., en la región altoandina del sur y centro del país principalmente. El bofedal se localiza en la parte basal del valle fluvial glacial, conos volcánicos, piedemonte, planicies lacustres y terrazas fluviales. Se mantienen gracias a la precipitación pluvial, deshielo de glaciares y afloramiento de agua subterránea que proveen de agua. (MINAM, 2015).

La formación vegetal *Matorral arbustivo* (Ma) tiene una extensa distribución en la región andina del país, ubicándose desde los 1,500 hasta los 3,800 m.s.n.m. en la zona sur y central del país. (MINAM, 2015).

En el año 2018 el Ministerio del Ambiente a través de la R.M N° 440-2018-MINAM, dispuso la publicación del Mapa Nacional de Ecosistemas elaborado en base a unidades establecidas en el mapa tomando como base a los ecosistemas naturales terrestres. El Mapa de Ecosistemas se sustenta principalmente en la cubierta vegetal como elemento principal, sin excluir a otros tipos de cobertura como los humedales y ríos. (MINAM, 2019). De acuerdo a esta clasificación, la zona altoandina de Tacna se encuentra localizado en la región natural Andina, donde se reconocen ecosistemas como el *Pajonal de puna seca*, *Bofedal*, *Zona periglacial y glaciar*, *Bosque relictó altoandino*, y *Matorral andino*.

El *Pajonal de puna seca* está constituido por vegetación herbácea, generalmente *Césped* dominado por hierbas gramíneas de pequeño tamaño y *Pajonales* constituidos por gramíneas xeromórficas, amacolladas y robustas, de hojas rígidas, duras y punzantes, con alturas de hasta 1,5 m y cobertura de suelo inferior al 35%. Este ecosistema se extiende en superficies planas u onduladas, hasta colinas con laderas de pendiente ligera a moderada, presenta suelos de textura arenosa - limosa, y con escaso contenido de materia orgánica. El clima es notoriamente estacional,

siendo la época seca muy marcada, acentuándose hacia el sur y oeste. (MINAM, 2019).

El *Bofedal* está constituido por vegetación hidrófila de tipo herbácea, de porte almohadillado de 0.1 a 0.5 metros, en forma de cojín, siempre verde y saturada de agua corriente. Se distribuye en los Andes peruanos sobre terrenos planos o ligeramente inclinados, en depresiones; con suelos orgánicos profundos. (MINAM, 2019).

La *Zona periglacial y glaciar* se encuentra ubicado por encima de los 4,500 m.s.n.m. con presencia de suelos crioturbados y descubiertos como producto de deshielos, donde se presenta vegetación crioturbada y dinámica en determinadas áreas. (MINAM, 2019).

El *Bosque relicto altoandino* está constituido y dominado por especies del género *Polylepis spp.*, conocido como “queñua” que abarca superficies mayores a 0.5 hectáreas, con tamaño de árboles por encima de los 2 m y cobertura del suelo mayor al 10%. Se encuentran distribuidos a manera de parches de vegetación, restringidos a laderas rocosas o quebradas. (MINAM, 2019).

El *Matorral andino* está constituido por vegetación leñosa y arbustiva de composición y estructura variable, representado por tres tipos de matorrales: Matorral montano, matorral de puna seca y matorral andino; que no superan los 4 m de altura. Se encuentra ubicado desde los 1,500 a

4,500 m.s.n.m. y se extiende por más de 0.5 hectáreas, con cobertura de suelo mayor al 10%. El matorral de puna seca está constituido por “tola” del género *Parastrephia spp.*, *Lepidophyllum quadrangulare*, *Baccharis spp.*, y otras especies. (MINAM, 2019).

A nivel regional y de acuerdo al Estudio Especializado de “Servicios Ecosistémicos del Departamento de Tacna” realizado por el Gobierno Regional de Tacna durante el proceso de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE); se ha identificado las siguientes unidades funcionales que comparten las provincias de Candarave y Tarata, y son los *Matorrales Semidensos Asociados a Herbazales Erguidos Montano*, *Cuerpos de Agua*, *Bofedales*, *Glaciares*, *Nival*, *Zonas con Escasa Vegetación* y *Queñoales*. (GORET, 2015).

El *Matorral semidenso asociado a herbazales erguidos montano* en la región Tacna, abarca una extensión de 327,298.11 ha que representa el 20.41%. Está compuesta por la asociación tolar-pajonal siendo las especies más representativas de matorrales (Tolares) *Parastrephia lepidophylla*, *P. quadrangularis*, *Baccharis tricuneata*, entre otros; y entre las especies que conforman el Pajonal están *Festuca orthophylla*, *Stipa ichu*, *Calamagrostis vicunarum* entre las más representativas. (GORET, 2015).

Los *Cuerpos de agua* en la región Tacna, ocupan una extensión de 5,103.63 ha que representa el 0.32%; entre ellos se encuentra la laguna Suches localizada en el distrito de Candarave, la laguna Vilacota localizada

en el distrito de Susapaya, Jarumas en el distrito de Ticaco, Casiri en Tarata, Paucarani, Condorpico y laguna Blanca en el distrito de Palca, Aricota ubicado entre los distritos de Quilahuani y Curibaya. (GORET, 2015).

Los *Bofedales* en la región Tacna, ocupan una extensión de 12,822.02 ha que representa el 0.80%; se localizan en la zona altoandina entre los distritos de Cairani, Camilaca, Candarave, Ticaco, Susapaya, Tarata y Palca. Las especies presentes son *Distichia muscoides*, *Calamagrostis ovata*, *Hypsela reniformes*, *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea*, *Oxychloe andina*, entre otros. (GORET, 2015).

Los *Glaciares* en la región Tacna, ocupan una extensión de 5,355.39 ha que representa el 0.33%. La mayor extensión se localiza en el distrito de Palca colindante con los distritos de Tarata, Estique, Tarucachi y Pachía, continuando con los distritos de Candarave, Camilaca y Cairani. La vegetación es escasa o nula. (GORET, 2015).

El *Nival* en la región Tacna, ocupa una extensión de 35,595.54 ha que representa el 2.22%, se localiza entre los distritos de Candarave, Camilaca, Cairani, Ticaco, Susapaya, Tarucachi, Estique, Tarata y Palca. Presenta una escasa vegetación. (GORET, 2015).

Las *Zonas con escasa vegetación* en montaña ocupan una superficie de 18,169.58 ha que representa el 1.13% de la región Tacna, se localizan en

la zona altoandina entre los distritos de Cairani, Camilaca, Candarave, Ticaco, Susapaya y Tarata. La flora de estas zonas se debe principalmente a una vegetación saxícola resaltando los líquenes de diferentes especies. (GORET, 2015).

Los *Queñoales* en la región Tacna, ocupan una extensión de 26,912.39 ha que representa el 1.68%, y se localizan entre los distritos de Candarave, Camilaca, Tarata, Sitajara, Susapaya, Tarucachi, Ticaco, Estique Pueblo, Pachía y Palca. Existen tres especies del género *Polylepis* que forman esta comunidad de queñoales entre ellas; *Polylepis subtusalbida*, *P. tarapacana* y *P. rugulosa*. Los bosques de Queñoales se muestran acompañadas de pequeñas plantas arbustivas y gramíneas propias de zonas alto andinas. (GORET, 2015).

### **2.2.2. Área de Conservación Regional Vilacota Maure**

Mediante Decreto Supremo N° 015-2009-MINAM de fecha 27 de agosto del 2009, fue creado el Área de Conservación Regional Vilacota Maure, ocupando una extensión territorial de 124,313 hectáreas, localizado entre los 3,450 y 5,700 m.s.n.m., con el objetivo principal de conservar los recursos naturales, la biodiversidad y el patrimonio cultural, que existe en la zona altoandina de Tacna. (GORET, 2018).

En el espacio geográfico del Área de Conservación Regional Vilacota Maure se registra una gran diversidad de flora y fauna, y un mosaico de

paisajes característicos del ecosistema altoandino de la región de Tacna, con bosques de queñuales, bofedales, yaretales, pajonales y tolares, así como nevados, lagunas y ríos. El ACR Vilacota Maure alberga también especies que se encuentran en situación amenazada como *Rhea pennata* “suri”, *Vicugna vicugna* “vicuña”, *Vultur gryphus* “condor”, y flamencos altoandinos. Los pobladores que se encuentran asentadas en el ACR, se dedican principalmente a la crianza de camélidos sudamericanos. (GORET, 2018).

Los humedales altoandinos conocidos como “Bofedales” pertenecen al sistema hidrológico alimentado por los deshielos de las altas montañas y lluvias, y está conformado por comunidades vegetales de baja altura y alta densidad, y por especies palatables como *Alchemilla diplophylla*, *Distichia muscoides*, *Lilaeopsis macloviana*, etc., que sirven de alimento y abrevadero de animales domésticos y silvestres. Ocupa una extensión superficial de 4,692.74 hectáreas. (GORET, 2018).

La formación de relictos de bosques altoandinos representado por “Queñuales” está conformado por árboles pequeños y/o arbustos de las especies *Polylepis rugulosa*, *P. subtusalbida* y *P. tarapacana*; y ocupan una extensión superficial de 5,251.14 hectáreas. (GORET, 2018).

Las especies de los géneros *Parastrephia* y *Baccharis* conforman los “Tolares”, que se encuentran acompañadas por especies de *Festuca* y *Stipa*, y a mayores altitudes también asociadas con *Azorella compacta*

“Yareta”. Las gramíneas conocidas como “ischu”, “ichu” o “paja” conforman los “Pajonales” ocupando grandes extensiones en zona de laderas de suelo pedregoso o planicies en la zona altoandina de Tacna. La asociación Tolar - Pajonal ocupa la mayor extensión superficial del ACR Vilacota Maure, con 72,847.88 hectáreas. (GORET, 2018).

Entre los 3,800 a 4,900 m.s.n.m., se encuentra la formación vegetal “Yareta” representada por plantas en forma de cojín de la especie *Azorella compacta*, ocupando una extensión superficial de 8,065.48 hectáreas, en laderas suaves a abruptas, con suelos arenosos y drenados, pedregosos a rocosos. Entre las especies asociadas a la yareta, están *Pycnophyllum bryoides*, *P. molle*, *Belloa sp.*, *Nototriche spp.*, *Senecio nutans*, etc. (GORET, 2018).

En el ACR Vilacota Maure, también se encuentran ubicadas las lagunas Vilacota, Casiri, Ñeque, Tacjata y Ancoccota, que por su tamaño y volumen son las más importantes. Estas lagunas sufren cambios del nivel de agua, afectadas directamente por las bajas precipitaciones debido a variaciones climáticas. Ocupan una extensión superficial de 1,162.28 hectáreas. (GORET, 2018).

### **2.2.3. Principios básicos de la Teledetección**

#### **Definición de Teledetección**

La teledetección, también llamada percepción remota es la ciencia que posibilita la adquisición de imágenes de la superficie de la tierra desde sensores aéreos o espaciales, así como el tratamiento de las mismas y su interpretación. (Chuvieco, 2010).

El sistema de teledetección espacial está integrado por los elementos siguientes: 1) Una fuente de energía, donde se origina la radiación electromagnética detectada por el sensor. 2) La cobertura terrestre, que se forma a partir de diferentes parches de vegetación, suelo, cuerpos de agua, edificaciones humanas. 3) El sistema sensor, comprendido por el mismo sensor, y por la plataforma que sirve de soporte. 4) El sistema de recepción - comercialización, que recibe los datos transmitidos por la plataforma, graba y reparte a los usuarios. 5) El intérprete, que modifica los datos en información temática de interés. 6) El usuario final, que analiza los resultados de la interpretación. (Chuvieco, 2010).

#### **El espectro electromagnético**

La teledetección o percepción remota permite la obtención de datos o información sobre objetos que se encuentran localizados a distancia sobre la superficie de la tierra. La superficie terrestre al ser iluminada por el sol,

en respuesta del tipo de cobertura que se encuentra sobre ella, refleja esa energía que el sensor recoge y luego lo transmite a las estaciones que la reciben. El espacio existente entre la superficie terrestre y el sensor está ocupado por la atmósfera, que puede absorber y dispersar una parte de la señal de origen. La observación remota consiste en la emisión de energía por la cobertura propia, o desde un sensor con capacidad de generación de su propio flujo de energía, y luego recibir su reflexión sobre la superficie de la tierra. (Chuvienco, 2010).

Las bandas espectrales más utilizadas en teledetección (Chuvienco, 2010), se mencionan a continuación:

- Espectro visible (0.4 a 0.7  $\mu m$ ). Esta región del espectro electromagnético puede percibirse con el ojo humano, y coincide con longitudes de onda mayor de la radiación solar. En el espectro visible puede distinguirse tres bandas que son los colores primarios; el color azul (0.4 - 0.5  $\mu m$ ), el color verde (0.5 - 0.6  $\mu m$ ), y el color rojo (0.6 – 0.7  $\mu m$ ).
- Infrarrojo. Entre 0.7 y 100  $\mu m$ , que se subdivide en 02 categorías: IR Reflejado empleado en teledetección que es idéntico al espectro visible, y el IR Emitido o térmico que es distinto al espectro visible e IR reflejado, y proviene de la radiación emitida por la superficie terrestre en forma de calor.

- Infrarrojo cercano (IRC: 0.7 - 1.3  $\mu m$ ). También se denominada Infrarrojo próximo, fotográfico o reflejado, debido a que una sección de él puede detectarse mediante películas con soluciones especiales.
- Infrarrojo medio (IRM: 1.3 a 8  $\mu m$ ). Cuando la reflexión de la luz solar y la emisión de la superficie de la tierra, se entremezclan. La primera región correspondiente al infrarrojo de onda corta *Short Wave Infrared* (SWIR), situado entre 1.3 y 2.5  $\mu m$ , se utiliza en la estimación del contenido de humedad en cobertura vegetal o suelo. La segunda región correspondiente al infrarrojo medio (IRM), está situada entre 3 y 5  $\mu m$ , y es ideal para la detección de focos de temperatura elevada como volcanes activos o incendios.
- Infrarrojo lejano o térmico (IRT: 8 a 14  $\mu m$ ), detecta el calor que proviene de la mayor parte de la cobertura de la tierra.

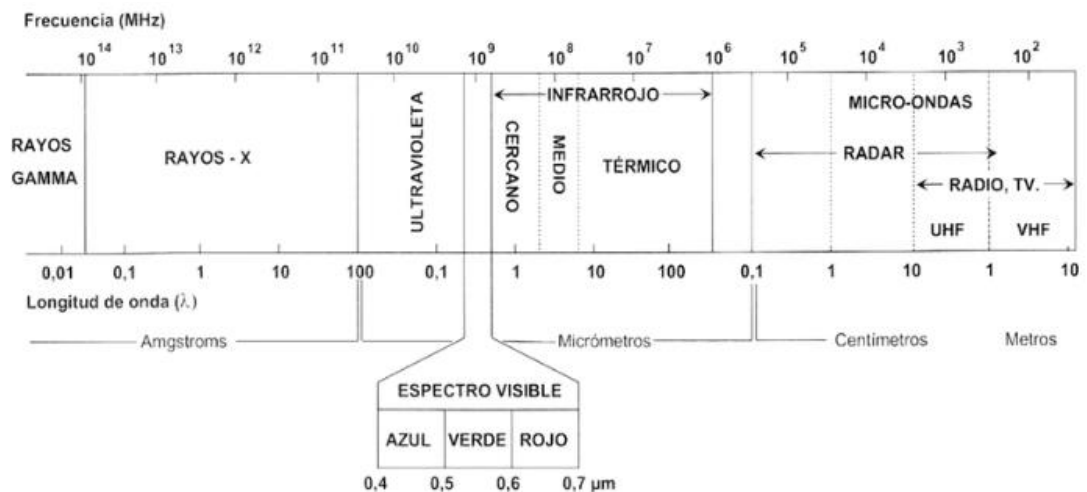


Figura N° 01: Espectro electromagnético. Fuente: Chuvieco (2010)

- Microondas (M), es una forma de radiación electromagnética, está situada por encima de 1 mm, siendo una energía transparente a la porción de cielo cubierto por nubes. (Chuvieco, 2010).

### **2.3. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE TÉRMINOS**

Absorción atmosférica. - Se refiere cuando la atmósfera actúa a manera de un filtro selectivo eliminando la posibilidad de observación remota en ciertas bandas del espectro. La absorción es causada principalmente por el oxígeno atómico ( $O_2$ ), el ozono ( $O_3$ ), el vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), y los aerosoles atmosféricos. (Chuvieco, 2010).

Clasificación digital. - Cuando a una clase o categoría de la leyenda, se le asigna un píxel de una imagen multiespectral, sobre el sustento de las similitudes entre los valores numéricos que las definen. (Chuvieco, 2010).

Dispersión atmosférica. - Se refiere cuando se dispersa la radiación electromagnética debido a la interacción entre ésta y las partículas atmosféricas que se encuentran suspendidas. Los aerosoles y las gotas de agua son las principales causantes de la dispersión atmosférica. (Chuvieco, 2010).

Emisión atmosférica. - Se refiere cuando la atmósfera emite energía similar a cualquier otro cuerpo por encima del cero absoluto; por lo cual debe considerarse separar ese parámetro de la emitancia espectral que proviene

del suelo. Es importante tener en consideración la emisión atmosférica cuando se quiere trabajar en el infrarrojo térmico, en la obtención de mediciones de temperatura desde las imágenes espaciales. (Chuvienco, 2010).

Firma espectral. - Se refiere al comportamiento diferencial que tiene la radiación reflejada llamada "reflectancia" o emitida "emitancia" desde alguna forma o tipo de superficie u objeto terrestre en los diferentes rangos del espectro electromagnético. Cuando la energía electromagnética llega a la superficie de la tierra, interactúa con diversos tipos de objetos por reflexión, absorción o transmisión, según el patrón de respuesta espectral individual. (Hernández, 2011).

Landsat. - Es una serie de satélites construida por la NASA que se dedican especialmente a la detección de recursos naturales. (Chuvienco, 2010).

Resolución Espacial. - Este término se usa para designar la medición de un objeto más diminuto que se puede distinguir sobre una imagen. Puede explicarse como la mínima separación o distanciamiento donde los objetos pueden diferenciarse en una fotografía. Se mide en mm sobre una foto, o en metros sobre una superficie de terreno. (Chuvienco, 2010).

Resolución Espectral. - Este término se utiliza para indicar el número y ancho que tienen las bandas espectrales y que pueden distinguirse con un sensor. Mientras mayor es el número de bandas presentes, el sensor es más

idóneo, porque favorece la descripción de las diversas coberturas. (Chuvieco, 2010).

Resolución Radiométrica. - Este término está referido a la sensibilidad que tiene el sensor, así como a su cualidad de percibir variantes en la radiancia espectral que receptiona. La resolución radiométrica del sensor en un sistema fotográfico, se determina mediante el número de niveles de gris diversos presentes en una fotografía. (Chuvieco, 2010).

Resolución Temporal. - Este término se refiere a la frecuencia o periodicidad con que se adquieren las imágenes satelitales de la misma sección superficial de la tierra, a través del sensor. El ciclo de cobertura de la superficie terrestre está en función de las propiedades orbitales de la plataforma tales como la altitud, velocidad, inclinación, así también como del diseño del sensor, fundamentalmente del ángulo total de abertura. (Chuvieco, 2010).

Teledetección. - Llamada también percepción remota, es la técnica que posibilita la obtención de información sobre una superficie, objeto o fenómeno mediante el análisis de datos que se adquieren a través de un aparato sin estar en contacto con la superficie, objeto o fenómeno en estudio. (Chuvieco, 2010).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

El trabajo de investigación desarrollada fue de tipo descriptiva.

#### **3.2. ÁREA DE ESTUDIO**

##### **3.2.1. Ubicación y superficie**

El Área de Conservación Regional Vilacota Maure se encuentra ubicado entre los 3,500 y 5,700 m.s.n.m. en la zona altoandina de la región Tacna, entre los distritos de Candarave, Susapaya, Ticaco, Tarata y Palca; ocupando un área superficial de 124,313 hectáreas. (Ver Figura 02).

##### **3.2.2. Clima**

La zona altoandina de la región Tacna por encima de los 3,800 metros de altitud presenta bajas temperaturas, con fluctuaciones marcadas entre el día y la noche. Durante los meses de enero a marzo las lluvias son frecuentes, con precipitaciones moderadas o fuertes, generalmente de tipo sólido como granizadas y nevadas cerca de la cordillera, con acumulación de nieve en la cima de las montañas que se producen entre los meses de enero a marzo. Los vientos son fuertes durante todo el año, con humedad

relativa baja. La temperatura media anual oscila desde los 3°C hasta 8°C, con mínima absoluta de -12°C en promedio; siendo los meses más cálidos octubre y noviembre, y los meses de junio y julio los más fríos. Las heladas se presentan en casi todos los meses del año, disminuyendo su intensidad en los meses de enero a marzo, donde se presenta mayor precipitación. (GORET, 2016).

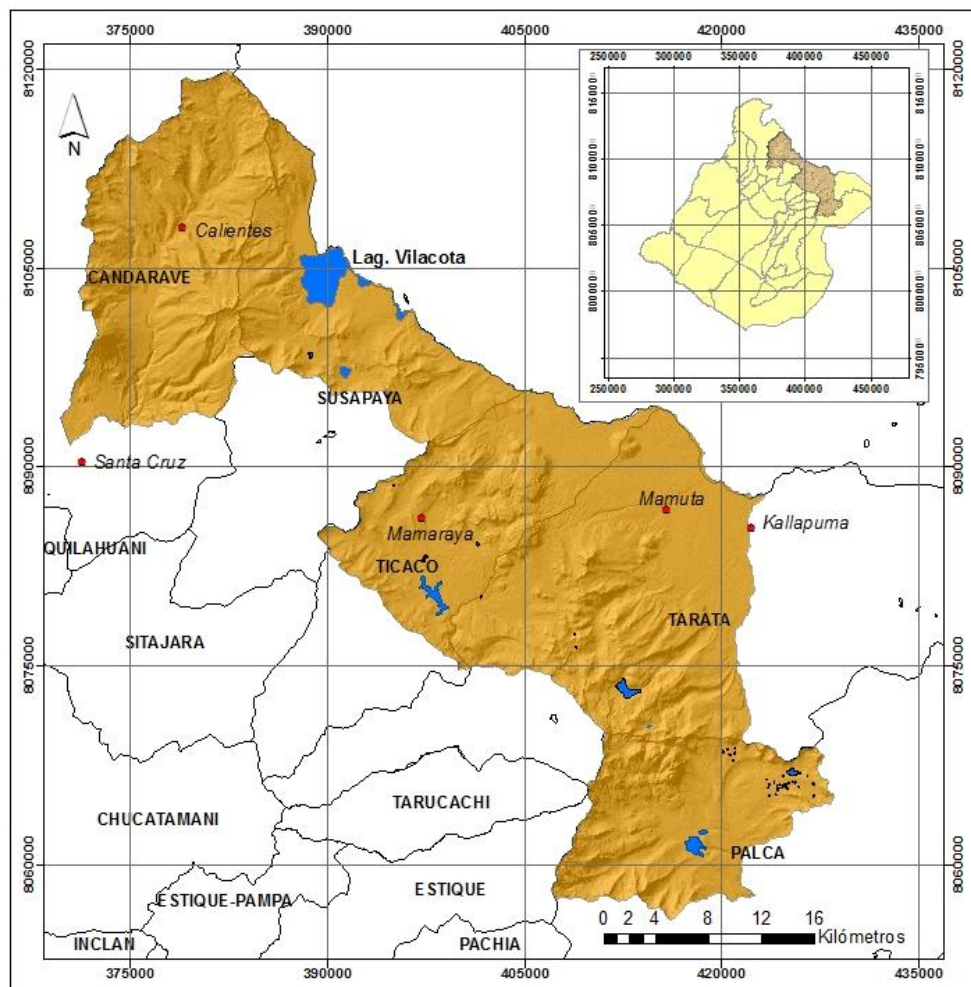


Figura N° 02: Mapa de ubicación del área de estudio

### 3.2.3. Flora y vegetación

La cobertura vegetal que se presenta en el área de estudio son las siguientes:

- a. Matorral mixto: Conformado por vegetación de tipo arbustiva espinoso, con mosaicos de especies gramíneas y tolares; donde predominan *Lepidophyllum quadrangulare*, *Festuca ortophylla*, *Poa anua*, *Stipa ichu*, así como especies de *Polylepis*.
- b. Pajonal: Se encuentra sobre los 4,200 m.s.n.m. ocupando la mayor superficie territorial del ACR Vilacota Maure, con especies dominantes como *Festuca ortophylla* y *Festuca. sp.*, con parches de *Stipa ichu*.
- c. Tolar: Constituido por vegetación de tipo arbustiva con los géneros *Parastrephia* y *Baccharis* conocidos como “tola” que los lugareños emplean como leña. Esta cobertura se presenta entre las altitudes de 3,800 a 4,500 m.s.n.m. en suelo planos o casi planos y laderas de suave pendiente.
- d. Bofedal: Corresponde al humedal altoandino constituido por vegetación hidrófila con especies herbáceas y de forma almohadillada como *Distichia muscoides*, *Oxychloe andina*, *Plantago rigida* y plantas acuáticas, que se extienden entre los 3,900 y 4,800 m.s.n.m. en depresiones de planicies altoandinas.
- e. Yaretal: Está representado por la especie *Azorella compacta* que se caracteriza por su forma almohadillada, se extiende por encima de los

4,000 metros de altitud en pendientes o laderas rocosas y suelos con baja fertilidad, arenoso arcilloso, pedregoso a rocoso.

- f. Queñoal: Corresponde a los bosques relictos altoandinos de la región Tacna, que se extienden por encima de los 3,800 m.s.n.m. sobre cerros con laderas rocosas, quebradas y taludes, siendo la especie *Polylepis rugulosa* la más predominante.

#### **3.2.4. Accesibilidad**

La accesibilidad hacia el ámbito del ACR Vilacota Maure, se realiza desde la ciudad de Tacna, vía terrestre por tres carreteras que se dirigen hacia el área natural protegida. A través del distrito de Palca, por la vía Tacna – Palca – Alto Perú – Kallapuma; a través de la provincia de Tarata, por la vía Tacna – Tarata – Ticaco – Mamaraya; y a través de la provincia de Candarave, por la vía Tacna – Tarata – Candarave – Santa Cruz. Las vías de acceso se encuentran asfaltadas y en regular estado de conservación. Luego del punto de llegada por la carretera, las vías son afirmadas hasta culminar en trochas carrozables que unen diversos centros poblados y anexos en el ACR Vilacota Maure.

El acceso hacia el ACR Vilacota Maure, también se realiza desde las regiones de Moquegua y Puno.

### 3.2. PROCEDIMIENTO

La evaluación de los cambios de cobertura vegetal en el ACR Vilacota Maure, se ha realizado utilizando técnicas basadas en el análisis e interpretación de imágenes Landsat correspondiente a los años 1988, 2003 y 2018. La clasificación de la cobertura vegetal se estableció de acuerdo a la leyenda Corine Land Cover (CLC) adaptado por el Ministerio del Ambiente hasta el nivel III. (MINAM, 2014).

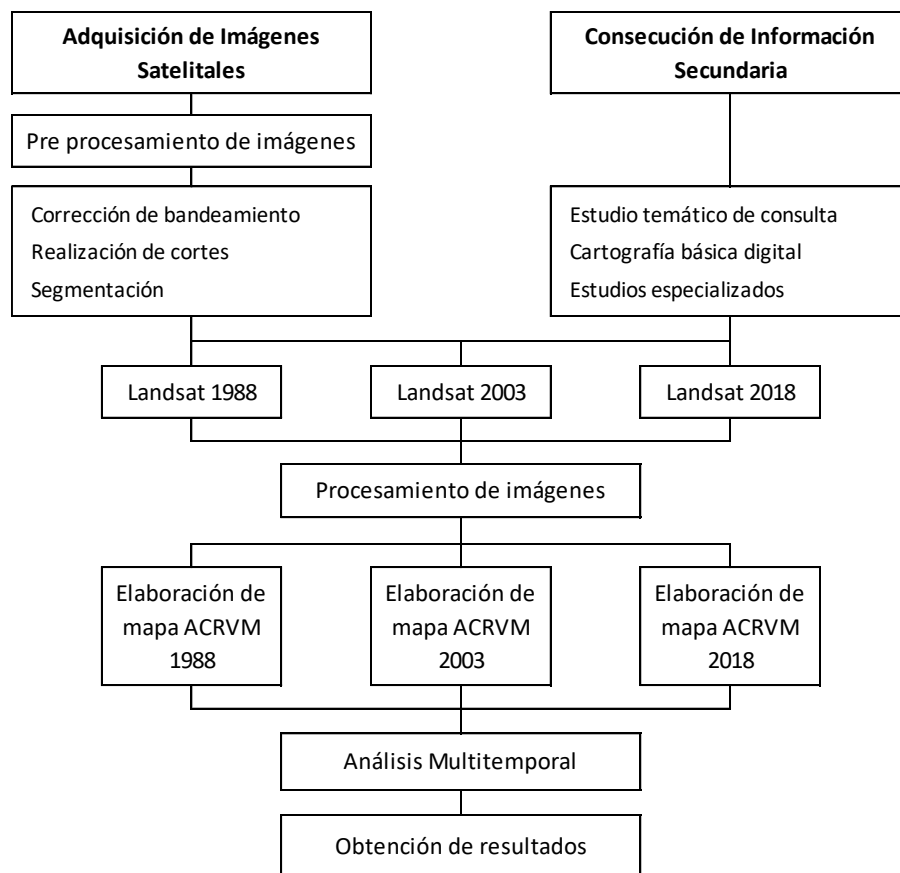


Figura N° 03: Diagrama de flujo del procedimiento de investigación

La figura 03 señala los procesos desarrollados para la clasificación de la cobertura vegetal utilizando técnicas de percepción remota, que requieren un conjunto de datos para su análisis.

La investigación se desarrolló en tres fases o etapas: 1) etapa previa de la investigación, 2) etapa de trabajo de campo, y 3) etapa de gabinete.

### **3.2.1. Etapa previa de la investigación**

La fase o etapa previa de la investigación comprende la adquisición de imágenes satelitales, el pre procesamiento y generación de clases de cobertura.

#### **3.2.1.1. Adquisición de imágenes satelitales**

La obtención de las imágenes satelitales se realizó a partir del servidor [www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov) de libre acceso vía internet, descargando imágenes de 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.

Se utilizaron imágenes Landsat 5 TM del año 1988, con escenas de tamaño 185 x 185 km; y Landsat 7 ETM+ del año 2003 y 2018, con escenas de 170 x 183 km; con las siguientes especificaciones:

**Tabla N° 1: Especificaciones de las imágenes satelitales**

Imagen Landsat	Fecha	Path/Row	Fuente
LT05_L1TP_002072_19881201_20170205_01_T1	01/12/1988	002/072	USGS
LE07_L1TP_002072_20031203_20170123_01_T1	03/12/2003	002/072	USGS
LE07_L1TP_002072_20180907_20181003_01_T1	07/09/2018	002/072	USGS

### **3.2.1.2. Pre procesamiento de imágenes satelitales**

Consistió en realizar el tratamiento de las imágenes satelitales Landsat adquiridas vía internet, mediante la calibración radiométrica, corrección atmosférica y corrección del bandeo aplicando el software ENVI 5.3.

#### **a) Calibración radiométrica**

La calibración o corrección radiométrica es necesario cuando se pretende hacer comparaciones entre las imágenes adquiridas por distintos sensores o de fechas diferentes. Este proceso consistió en la conversión de los valores digitales (ND) de la imagen a unidades de radiancia y reflectancia.

Para el proceso de corrección radiométrica se utilizó el software ENVI 5.3, y mediante la herramienta *Radiometric Calibration* se seleccionó la imagen multiespectral en archivo MTL.txt, y se guardó en archivo "dat".

## **b) Corrección atmosférica**

Consistió en convertir los valores de radiancia obtenidos en el proceso de calibración radiométrica, a valores de reflectancia; mediante el módulo *FLAASH Atmospheric Correction* del software ENVI 5.3, con el fin disminuir o borrar la distorsión de la radiancia captada por el sensor.

Mediante el módulo *FLAASH Atmospheric Correction* se obtiene de manera automática la altitud del sensor y el tamaño del pixel. A partir del metadato de la imagen se obtienen datos de la fecha y hora en que fue adquirida la imagen. Se ingresa la elevación del terreno calculado en 2.8 km para el ámbito geográfico del ACR Vilacota Maure.

## **c) Corrección del bandeo**

El bandeo de imágenes se presenta a manera de varias líneas más oscuras o claras que las demás, por la mala calibración de los detectores que forman el sensor, y se observa como franjas de datos inválidos llamados “gaps” en todas las escenas de imágenes Landsat 7 desde el 14 de julio del 2003, debido a un desperfecto del instrumento que corrige las líneas escaneadas.

Para la corrección del bandeo, se utilizó la herramienta *gapfill* de Tool Box del software ENVI 5.3.

### 3.2.1.3. Generación de categorías de cobertura

Las categorías o clases de cobertura del ACR Vilacota Maure, se realizó tomando en consideración el sistema de clasificación internacional Corine Land Cover (CLC).

**Tabla N° 02: Convalidación entre la 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 relictos altoandino	2. Queñoales
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	3. Pajonal andino	3. Matorral semiduro asociado 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 periglacial	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

Fuente: Ministerio del Ambiente (2014)

Se revisaron los mapas de cobertura vegetal de la región Tacna, que fueron 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 internacional de clasificación de Cobertura de la Tierra Corine Land Cover, y se muestra en la tabla 02.

Según la tabla 02, las categorías o clases de cobertura que se establecieron en el presente estudio, de acuerdo al sistema de clasificación de cobertura Corine Land Cover, son: Cultivos permanentes herbáceos, Bosque denso bajo, Herbazal, Arbustal, Tierras desnudas, Glaciares, Turberas y bofedales, y Lagunas, lagos y ciénagas.

### **3.2.2. Etapa de trabajo de campo**

La fase o etapa de trabajo de campo, comprende la extracción de firmas espectrales y verificación de campo.

El trabajo de campo se realizó con la intención de verificar las clases de cobertura que fueron estimados a partir de mapas existentes de la zona o área de estudio; y la toma de datos de coordenadas UTM e información adicional de cada clase de cobertura para realizar la clasificación.

Para ello fue necesario contar con vehículo de transporte, GPS, cámara fotográfica digital, cuaderno de campo, cartografía básica digital (vías de acceso, red hidrográfica, centros poblados, curvas de nivel, entre otros) del área de estudio. Se realizó la evaluación del acceso y seguridad de la zona,

y áreas de entrenamiento; con lo cual se programó el recorrido de la zona de muestreo para la verificación posterior.

Se tomó un registro de la localización (coordenadas UTM) y caracterización de los tipos de cobertura presente en el ámbito geográfico del ACR Vilacota Maure, y se logró identificar las áreas representativas de cada clase. De esta manera, se identificaron las siguientes clases:

— Cultivos permanentes herb.	“Actividad agropecuaria”
— Bosque denso bajo	“Queñoales”
— Herbazal	“Pajonal andino”
— Arbustal	“Matorral arbustivo”
— Tierras desnudas	“Zona con escasa o nula vegetación”
— Glaciares	“Glaciares y nivales”
— Turberas y bofedales	“Bofedales”
— Lagunas, lagos y ciénagas	“Cuerpos de agua”

#### **a) Generación de áreas de entrenamiento**

Se identificaron 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).

Estas áreas o espacios representados por polígonos generados en ArcMap, constituyen una muestra representativa de las clases de cobertura

existente en el área de estudio, y forman parte de la información de la tabla de base de datos que sirve para la clasificación.

#### **b) Verificación de campo**

Se realizó un recorrido general del área de estudio, con ayuda de una camioneta en zonas lejanas con rutas accesibles, y luego con recorrido más detallado a pie en lugares de difícil acceso. Se tomaron registros de coordenadas UTM con un navegador GPS, en áreas de control localizadas en parches o zonas homogéneas para cada tipo de cobertura. (Ver Anexo 01).

#### **3.2.3. Etapa de gabinete**

La fase o etapa de gabinete comprende el cálculo de los índices espectrales a partir de *ToolBox* del software ENVI 5.3, que sirvieron de insumo para la clasificación.

##### **a) Tasseled Cap**

Utilizando la transformación *Tasseled Cap* de *ToolBox* del software ENVI 5.3, se generaron tres nuevas bandas a partir de las imágenes Landsat calibradas y corregidas previamente, que expresan índices de brillo, verdor y humedad.

La banda de brillo *Brightness* permitió discriminar suelos desnudos y contrastar cuerpos de agua que fueron seleccionados con *Edit Color Slices* y exportados en archivo Shapefile.

#### **b) NDVI**

Con el índice de vegetación *Normalized Difference Vegetation Index* de *ToolBox* de ENVI 5.3, donde los valores están entre -1 y 1; se logró determinar presencia de vegetación en el área de estudio, obteniendo una clara clasificación de la cobertura de bofedales.

#### **c) SAVI**

El cálculo del índice SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) de *ToolBox* de ENVI 5.3, permitió distinguir formaciones de queñua, pajonal y vegetación arbustiva, así como suelo desnudo o con escasa vegetación.

#### **d) NDSI**

El índice NDSI *Normalized Difference Snow Index*, ha permitido distinguir el área de glaciar y periglaciar del área de estudio.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1. Población**

La población objeto de estudio está representada por el número total de unidades espaciales de 900 m<sup>2</sup>, que es el tamaño del píxel (30 m x 30 m) de una imagen Landsat, que conforman el área de estudio.

#### **3.3.2. Muestra**

La muestra se representa por el área o superficie donde se toman datos o información para la extracción de firmas espectrales.

##### **Diseño del muestreo:**

**Unidad de muestreo.-** Corresponde a cada una de las unidades espaciales de 900 m<sup>2</sup>, tamaño de píxel de una imagen Landsat, que conforman las distintas categorías o clases de cobertura del área de estudio.

**Tipo de muestreo.-** El tipo de muestreo es el aleatorio estratificado, donde se selecciona la muestra clasificando el área total de estudio en regiones o estratos, de acuerdo a la categoría o clase de cobertura.

**Tamaño de la muestra.-** Se determinó aplicando la fórmula siguiente:

$$n = \frac{(Z^2 * p * q * N)}{(N * e^2 + Z^2 * p * q)}$$

Donde:

- $n$  : Tamaño de la muestra
- $Z$  : Nivel de probabilidad (valor 1.96 a un 95% de confianza)
- $p$  : Porcentaje estimado de aciertos
- $q$  : Porcentaje estimado de errores
- $N$  : Universo
- $e$  : Error de estimación

**Cálculo del tamaño de muestra:**

- Área del ACR Vilacota Maure = 124,313 Has o 1,243,130,000 m<sup>2</sup>
- Tamaño del píxel (30m x 30m) = 900 m<sup>2</sup>
- N° total de unidades espaciales =  $\frac{1,243,130,000 \text{ m}^2}{900 \text{ m}^2} = 1,381.256$
- Aplicación de la fórmula de tamaño de muestra:

$Z$	1.96
$p$	0.95
$q$	0.05
$N$	1,381,256
$e$	0.05

$$n = \frac{(1.96^2 * 0.95 * 0.05 * 1,381,256)}{(1,381,256 * 0.05^2 + 1.96^2 * 0.95 * 0.05)} = 72.99$$

- Tamaño de muestra = 73

Para una población de 1'381,256 unidades aplicando un margen de error del 5%, se determina 73 unidades espaciales como tamaño de muestra, teniendo un nivel de confianza del 95%.

### **3.4. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.4.1. Materiales y/o herramientas**

##### **a) Material de estudio**

El material de estudio está conformado por las diferentes formaciones vegetales del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, las mismas cuya cobertura vegetal fueron determinados mediante técnicas de percepción remota.

##### **b) Material de campo**

###### **Material digital.-** Imágenes satelitales

Imagen Landsat 5 TM del año 1988, e imagen Landsat 7 ETM+ de los años 2003 y 2018.

###### **Material cartográfico.-** Carta Nacional

Carta nacional digital, escala 1:100000

###### **Software.-**

ArcGis 10.2

ENVI 5.3

**Materiales.-**

Cinta métrica, marcadores (cinta reflectiva), libreta de apuntes, lapiceros, USB.

**Instrumentos y equipos.-**

GPS, cámara fotográfica digital, laptop

**c) Material de gabinete****Materiales de escritorio.-**

Papel bond A4 80 gramos, lapiceros, cuaderno de apuntes, USB.

**Equipos.-**

Computadora de escritorio, impresora a color, scanner, disco duro externo.

**3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Comprende la generación de los mapas de cobertura vegetal de los años 1988, 2003 y 2018 según la clasificación Corine Land Cover, el cálculo de la matriz de confusión e índice Kappa.

**a) Generación de mapas de cobertura**

Se generaron mapas de cobertura vegetal para los años 1988, 2003 y 2018, según resultados de los cálculos de índices espectrales para cada categoría o clase de cobertura vegetal.

## **b) Matriz de confusión**

La matriz de confusión o matriz de error, es una tabla de contingencia calculada a partir del ordenamiento de las clases reales (terreno observado) en columnas, y las unidades cartográficas (mapa elaborado) en filas de la tabla. Los elementos resultantes ordenados en diagonal corresponden al número de clasificaciones realizadas en forma correcta, y los que se encuentran fuera son fugas o migraciones.

La matriz de confusión ha permitido determinar la exactitud de la clasificación mediante el establecimiento de puntos de verificación de cada clase de cobertura, y validación de campo.

## **c) Índice Kappa (k)**

El Índice Kappa se ha obtenido mediante el cálculo de la proporción de coincidencias entre la clasificación y la realidad en el terreno del área de estudio; y sus valores oscilan entre el 0 (que no representa ningún acuerdo) y 1 (que representa la concordancia perfecta). La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$k = \frac{Po - Pc}{1 - Pc}$$

Po - Pc, resta entre las sumatorias de las coincidencias observadas y la sumatoria de las coincidencias que se atribuyen a la aleatoriedad.

$1 - P_c$ , resta entre el número total de observaciones y la sumatoria de coincidencias que se atribuyen al azar  $P_c$ .

**Tabla N° 03: Valoración de Coeficiente kappa (Landis y Koch, 1977)**

<b>Estadística Kappa</b>	<b>Fuerza de Acuerdo</b>
<0.00	Pobre
0.00 - 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 - 0.60	Moderado
0.61 - 0.80	Sustancial
0.81 - 1.00	Casi Perfecta

Fuente: Abraira (2001)

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Definición de categorías de cobertura vegetal

La metodología empleada para la clasificación de la cobertura vegetal 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 N° 04: Categorías de cobertura identificadas en el área de estudio**

Categorías de Cobertura de la Tierra			
Nivel I	Nivel II	Nivel III	
2. Áreas agrícolas	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	
		3.3.2. Arbustal	
	3.4. Área sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	
3.4.5. Glaciares			
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.2. Turberas y bofedales	
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas	

### **A. Cultivos permanentes herbáceos (2.2.1)**

Comprende áreas agrícolas donde se presentan principalmente cultivos polianuales como la papa, maíz y habas. Esta categoría ocupa una extensión superficial de 42.70 has en el área de estudio.



Foto N° 01: Cultivo de maíz en el C.P Santa Cruz de Candarave

### **B. Bosque denso bajo (3.1.1)**

Comprende áreas o superficies cubierta por una comunidad vegetal donde predominan especies de *Polylepis spp.* “queñua”, de características arbóreas y distribución regular, conformando una capa discontinua de copas, con altura de dosel por encima de dos metros y debajo de cinco metros. El bosque denso bajo ocupa una extensión de 3,026.66 ha en el área de estudio. (Foto 02 y 03).



Foto N° 02: Vegetación arbórea compuesta por *Polylepis spp* (Queñua) en ladera ubicada en Anexo de Huiltavira en el ACRVM



Foto N° 03: *Polylepis spp* (Queñua) asociado a vegetación de porte bajo con especies de *Ichu* en el ACR Vilacota Maure

### C. Herbazal (3.3.1)

Comprende superficies cubierta por vegetación de pajonal andino que se desarrollan en forma natural sobre diversos sustratos y a diferentes densidades. Está representado por especies de Ichu de los géneros *Calamagrostis*, *Festuca* y *Stipa*, alcanzando tamaños de 0.1 a 0.5 metros, con fuerte ramificación en la base y con copa indefinida. Esta categoría ocupa una extensión territorial de 94,127.66 has. (Foto 04 y 05).



Foto N° 04: Vegetación de Herbazal compuesta por pajonal andino en el ACR Vilacota Maure



Foto N° 05: Vegetación de Herbazal compuesta por Ichu, Tola y vegetación de porte bajo en el ACR Vilacota Maure

#### **D. Arbustal (3.3.2)**

Comprende superficies cubierta por una comunidad vegetal típica arbustiva, que se desarrolla en forma natural sobre diversos sustratos y a diferentes densidades. El tamaño de la planta arbustiva es de 0.5 a 2 m., con fuerte ramificación en la base y con copa indefinida. Esta categoría ocupa una extensión territorial de 1,545.43 has (Foto 06 y 07).



Foto N° 06: Vegetación arbustal de porte mediano en el Anexo de Huiltavira del ACR Vilacota Maure



Foto N° 07: Vegetación arbustal en el Anexo de Huiltavira del ACR Vilacota Maure

### **E. Tierras desnudas (3.4.3)**

Comprende áreas erosionadas naturales y degradadas, sin vegetación o con escasa cubierta vegetal, debido a procesos de erosión y condiciones climáticas extremas, naturales o causados por la acción humana; incluyen así mismo tierras salinizadas. Ocupa una extensión de 16,418.93 ha en el área de estudio. (Foto 08 y 09).



Foto N° 08: Áreas arenosas naturales en el ACR Vilacota Maure



Foto N° 09: Áreas degradadas sin vegetación en el ACR Vilacota  
Maure

#### **F. Glaciares (3.4.5)**

Esta categoría comprende zona de glaciares y nivales en el área de estudio, ocupando zonas extremas y pendientes pronunciadas donde hay ausencia de vegetación, o áreas cubiertas temporalmente con neblina. Ocupa una extensión territorial de 2,766.63 ha en el área de estudio.



Foto N° 10: Vista del nevado Barroso en el ACR Vilacota Maure

#### **G. Turberas y bofedales (4.1.2)**

Comprende superficies cubiertas con vegetación de bofedal, llamado también humedal altoandino, ocupando terrenos pantanosos distribuidos junto a las quebradas, bordes de ríos, lagunas, manantiales, y agua proveniente de deshielos. Se encuentran ubicados sobre los 3,800 m.s.n.m. Ocupa una extensión territorial de 4,670.90 ha. (Foto 11 y 12).



Foto N° 11: Bofedal altoandino en el ACR Vilacota Maure



Foto N° 12: Bofedal altoandino en el ACR Vilacota Maure

## **H. Lagunas, lagos y ciénagas (5.1.2)**

Corresponde a los cuerpos de agua que se ubican en el ámbito geográfico del área de estudio, como son las lagunas naturales y represas, entre las más representativas se encuentran la laguna Vilacota, Paucarani, Casiri, Jarumas, entre otros. Esta categoría ocupa una superficie territorial de 1,714.27 ha.



Foto N° 13: Represa de Paucarani en el ACR Vilacota Maure

### **4.1.2. Cobertura vegetal de los años 1988, 2003 y 2018**

Según la leyenda de la clasificación Corine Land Cover, se tiene identificado ocho (08) categorías o clases de cobertura en el ACR Vilacota Maure, para los años 1988, 2003 y 2018; las mismas se muestran en la tabla 04 y figura 04.

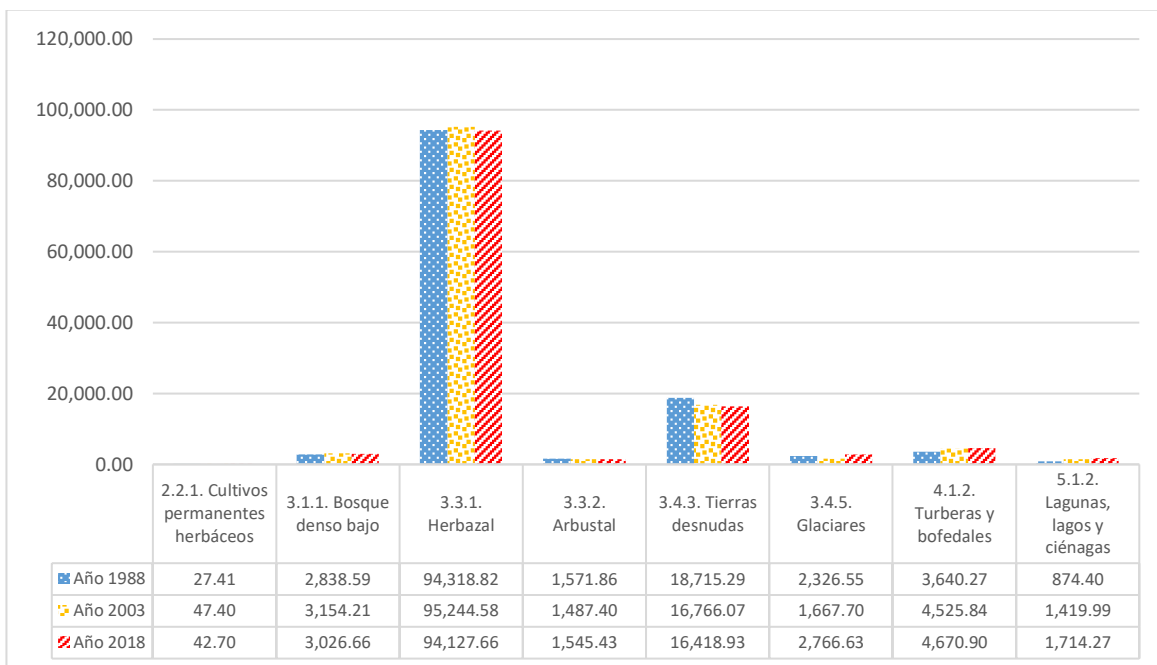


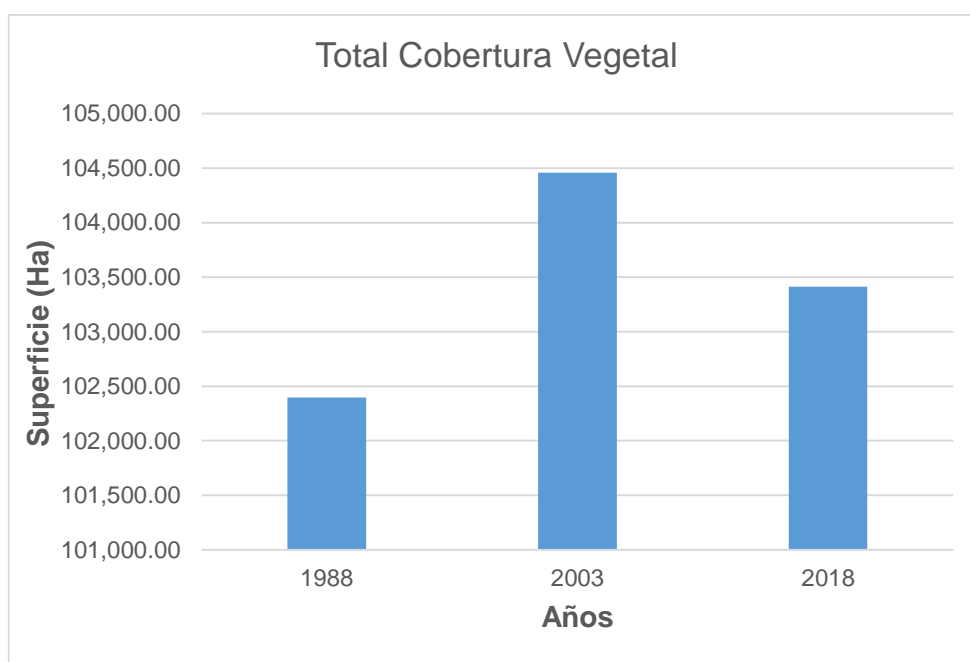
Figura N° 04: Cobertura del ACR Vilacota Maure, años 1988, 2003 y 2018

La superficie territorial del área de estudio cubierta con vegetación o cobertura vegetal, alcanza una extensión de 102,396.95 has 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 05 y figura 05.

**Tabla N° 05: 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	2,838.59	2.77	3,154.21	3.02	3,026.66	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	1,571.86	1.54	1,487.40	1.42	1,545.43	1.49
4.1.2. Turberas y bofedales	3,640.27	3.56	4,525.84	4.33	4,670.90	4.52
<b>Total Cobertura Vegetal</b>	<b>102,396.95</b>	<b>100.00</b>	<b>104,459.43</b>	<b>100.00</b>	<b>103,413.36</b>	<b>100.00</b>



**Figura N° 05: Representación de las clases de cobertura vegetal del ACR**

Vilacota Maure, años 1988, 2003 y 2018

La cobertura vegetal en el área de estudio está representada por las categorías o clases siguientes: Cultivos permanentes herbáceos (2.2.1), Bosque denso bajo (3.1.1), Herbazal (3.3.1), Arbustal (3.3.2), Turberas y bofedales (4.1.2); denominadas según la clasificación Corine Land Cover. (Tabla 05 y figura 06).

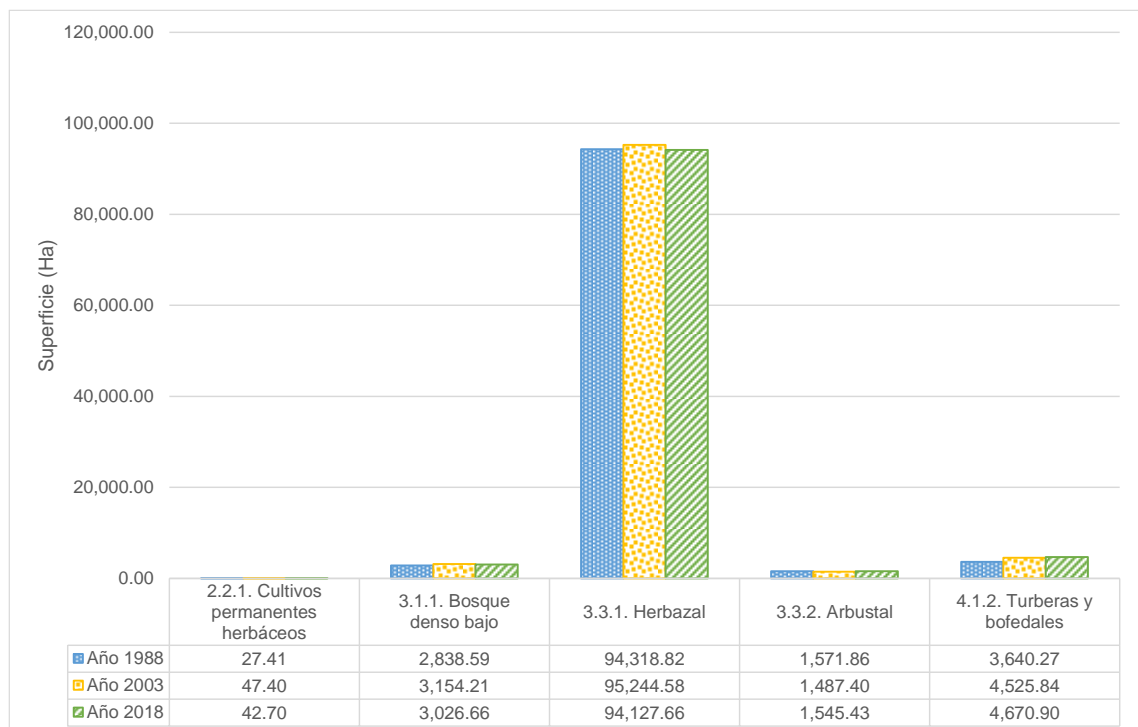


Figura N° 06: Superficie de cobertura vegetal según categorías, años 1988, 2003 y 2018

En el área de estudio, la categoría o clase de cobertura vegetal predominante en los años 1988 - 2018 es el “Herbazal”, compuesta por pajonal andino representado por especies de Ichu. (Figura 06).

#### 4.1.3. 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 2,062.48 ha en el periodo de 1988 al 2003, y un descenso de 1,046.06 ha en el periodo 2003 al 2018, totalizando un incremento promedio de 1,016.41 ha desde el año 1988 al 2018. (Tabla 06 y figura 07).

La tabla 06 muestra 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 N° 06: 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	2,838.59	3,154.21	315.62	3,154.21	3,026.66	-127.54	3,026.66
3.3.1. Herbazal	94,318.82	95,244.58	925.76	95,244.58	94,127.66	-1,116.92	94,127.66
3.3.2. Arbustal	1,571.86	1,487.40	-84.45	1,487.40	1,545.43	58.03	1,545.43
4.1.2. Turberas y bofedales	3,640.27	4,525.84	885.57	4,525.84	4,670.90	145.06	4,670.90
<b>Total Cobertura Vegetal</b>	<b>102,396.95</b>	<b>104,459.43</b>	<b>2,062.48</b>	<b>104,459.43</b>	<b>103,413.36</b>	<b>-1,046.06</b>	<b>103,413.36</b>
<b>Porcentaje (%)</b>	<b>82.37</b>			<b>84.03</b>			<b>83.19</b>

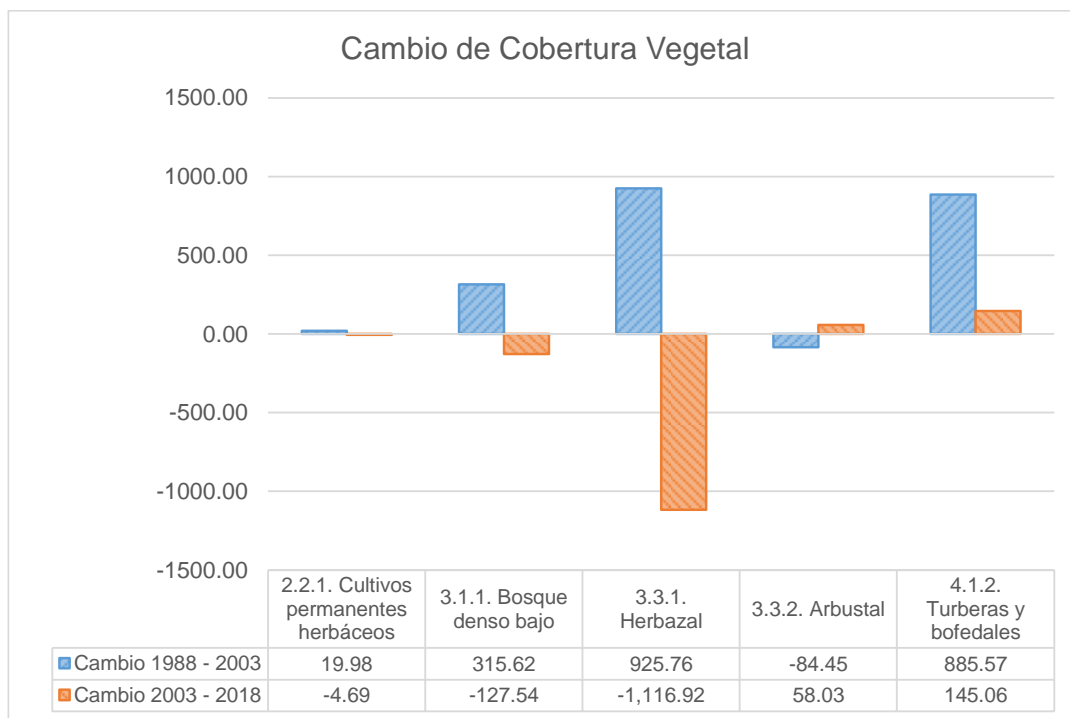


Figura N° 07: Análisis de cambios de cobertura vegetal por categoría, en los periodos 1988-2003 y 2003-2018.

#### **A. Cultivos permanentes herbáceos (2.2.1)**

La categoría o clase de cobertura “Cultivos permanentes herbáceos” se ha incrementado en 19.98 has entre los años de 1988 al 2003, y tuvo un descenso de 4.69 has entre los años de 2003 al 2018, como se muestra en la figura 07 y 08.

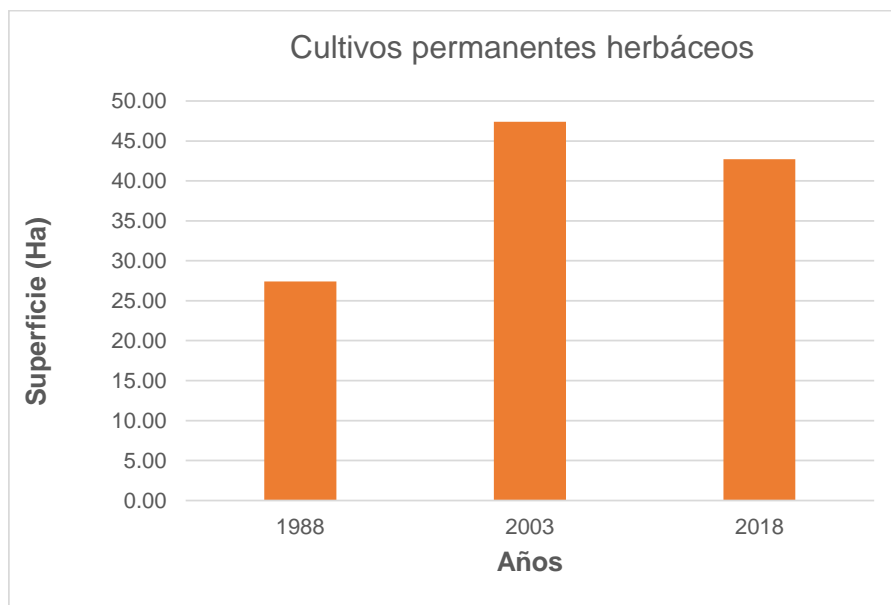


Figura N° 08: Cambio de cobertura de la categoría “Cultivos permanentes herbáceos”

### **B. Bosque denso bajo (3.1.1)**

La superficie de la categoría “Bosque denso bajo” se ha incrementado en 315.62 has entre los años 1988 al 2003, y ha disminuido en 127.54 has entre los años 2003 al 2018, tal como se muestra en la figura 07 y 09.

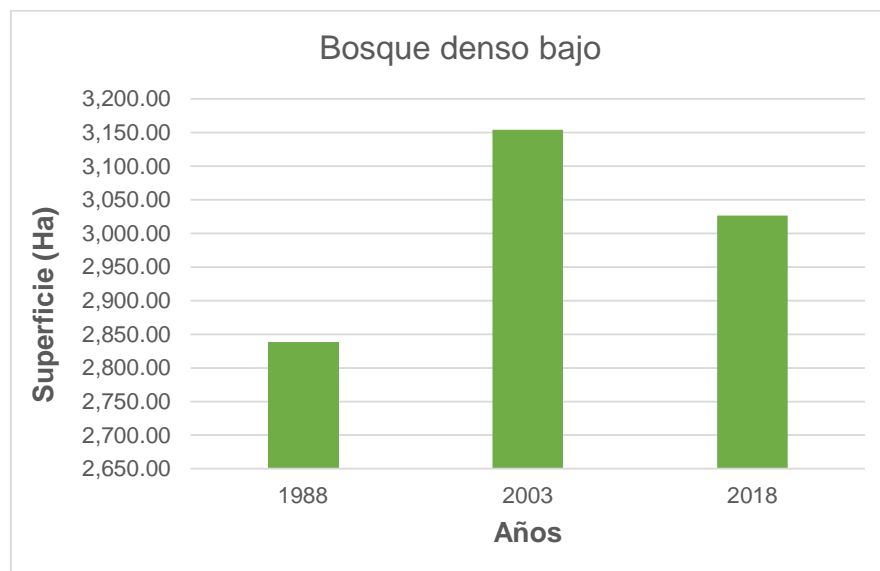


Figura N° 09: Cambio de cobertura de la categoría “Bosque denso bajo”

### C. Herbazal (3.3.1)

La superficie de la categoría “Herbazal” se ha incrementado en 925.76 has entre los años 1988 al 2003, y ha descendido en 1,116.92 has entre los años 2003 al 2018, como se muestra en la figura 07 y 10.

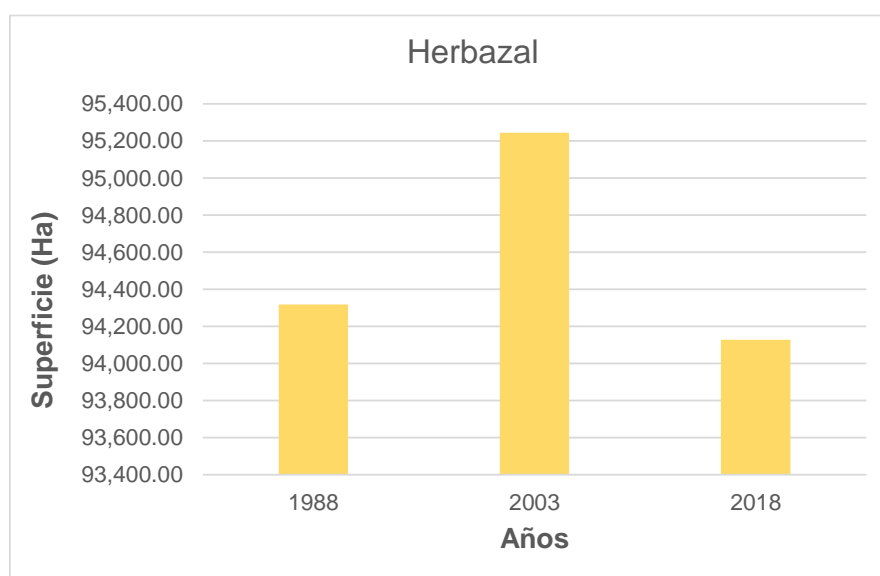


Figura N° 10: Cambio de cobertura de la categoría “Herbazal”

#### D. Arbustal (3.3.2)

La superficie de la categoría “Arbustal” ha descendido en 94.45 has entre los años 1988 al 2003, y se ha incrementado en 58.03 has entre los años 2003 al 2018, como se observa en la figura 07 y 11.

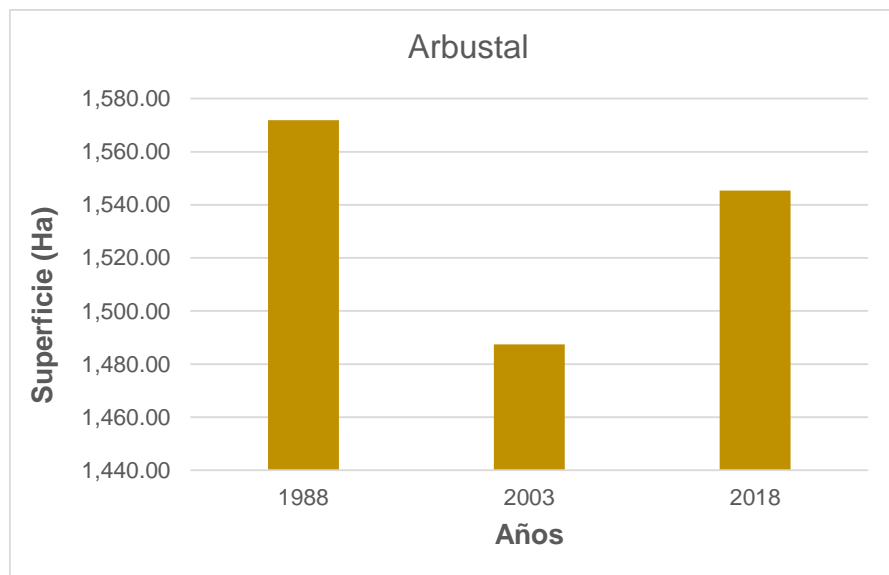


Figura N° 11: Cambio de cobertura de la categoría “Arbustal”

#### E. Turberas y bofedales (4.1.2)

La superficie de esta categoría representada principalmente por vegetación de bofedal, se ha incrementado en 885.57 has entre los años 1988 al 2003, y entre los años 2003 al 2018 en 145.06 has. Como se observa en la figura 07 y 12.

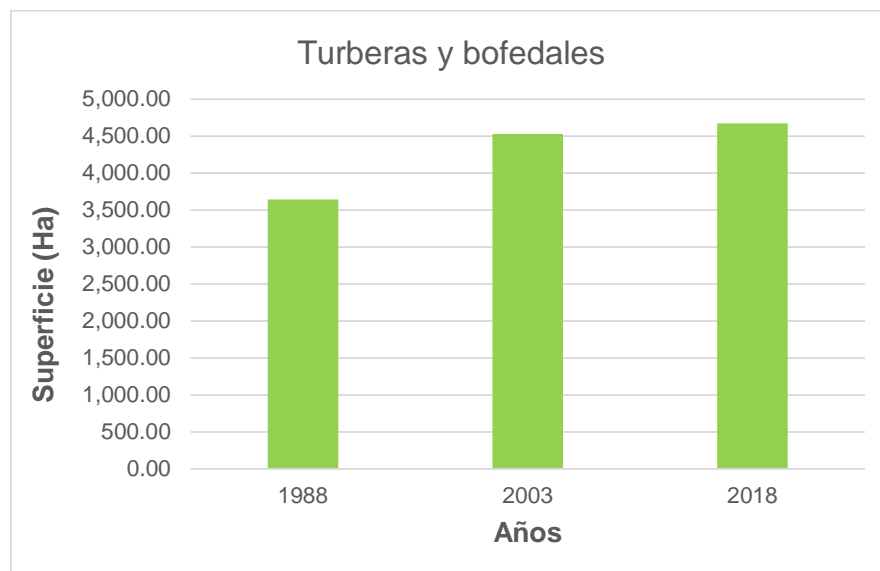


Figura N° 12: Cambio de cobertura de la categoría “Turberas y bofedales”

#### 4.1.4. 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 13, 14 y 15).

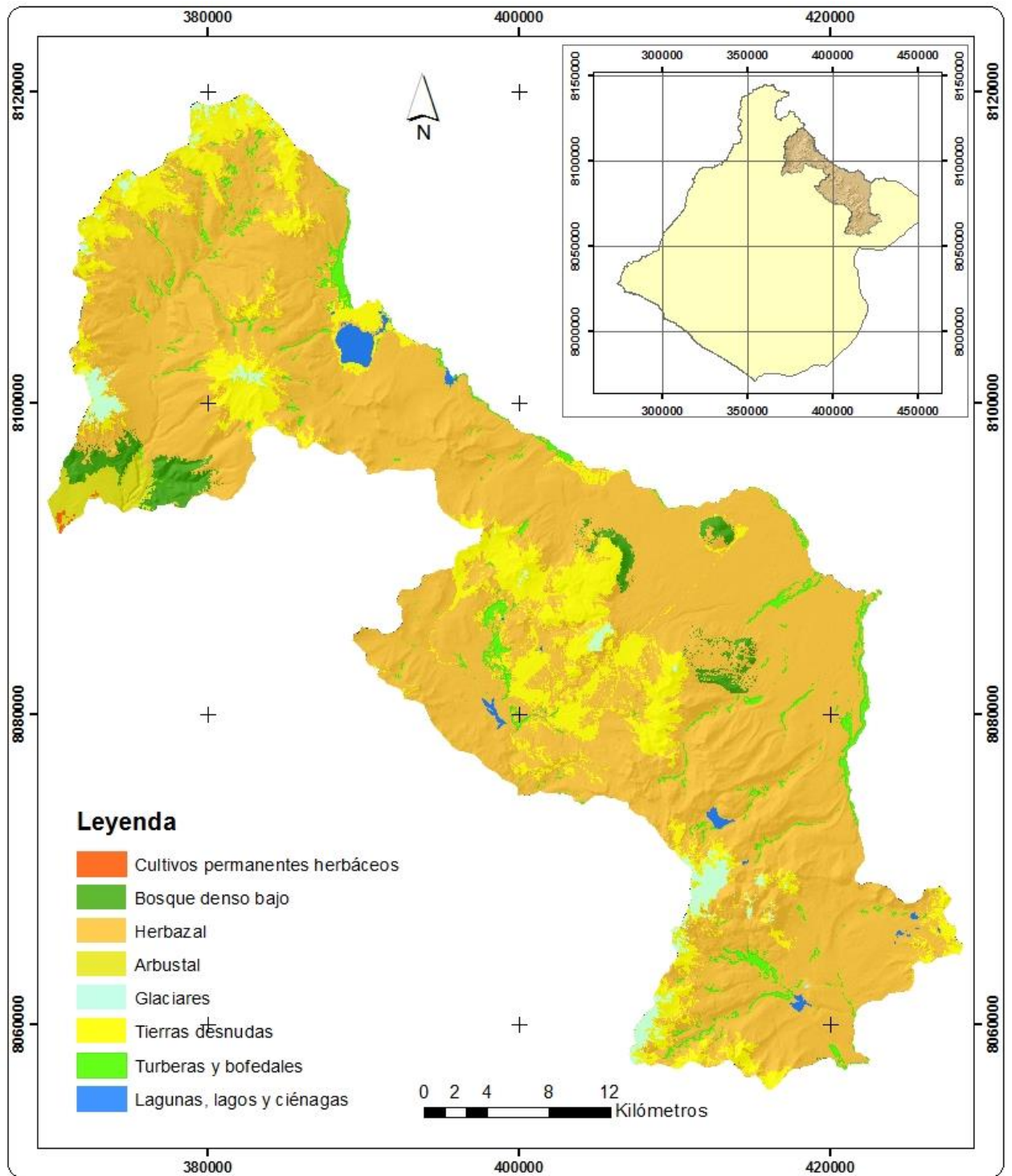


Figura N° 13: Mapa de Cobertura del ACR Vilacota Maure, año 1988

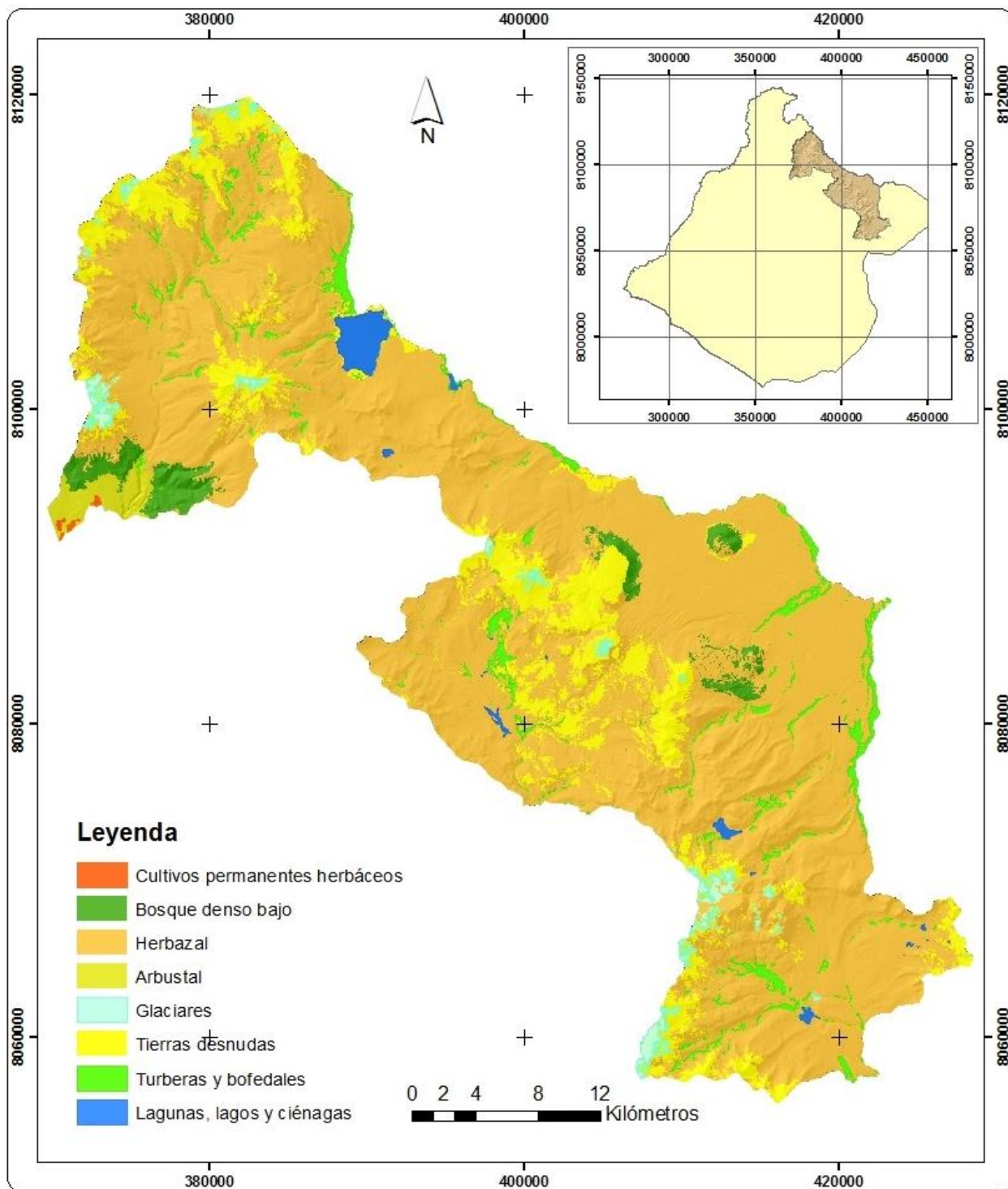


Figura N° 14: Mapa de Cobertura del ACR Vilacota Maure, año 2003

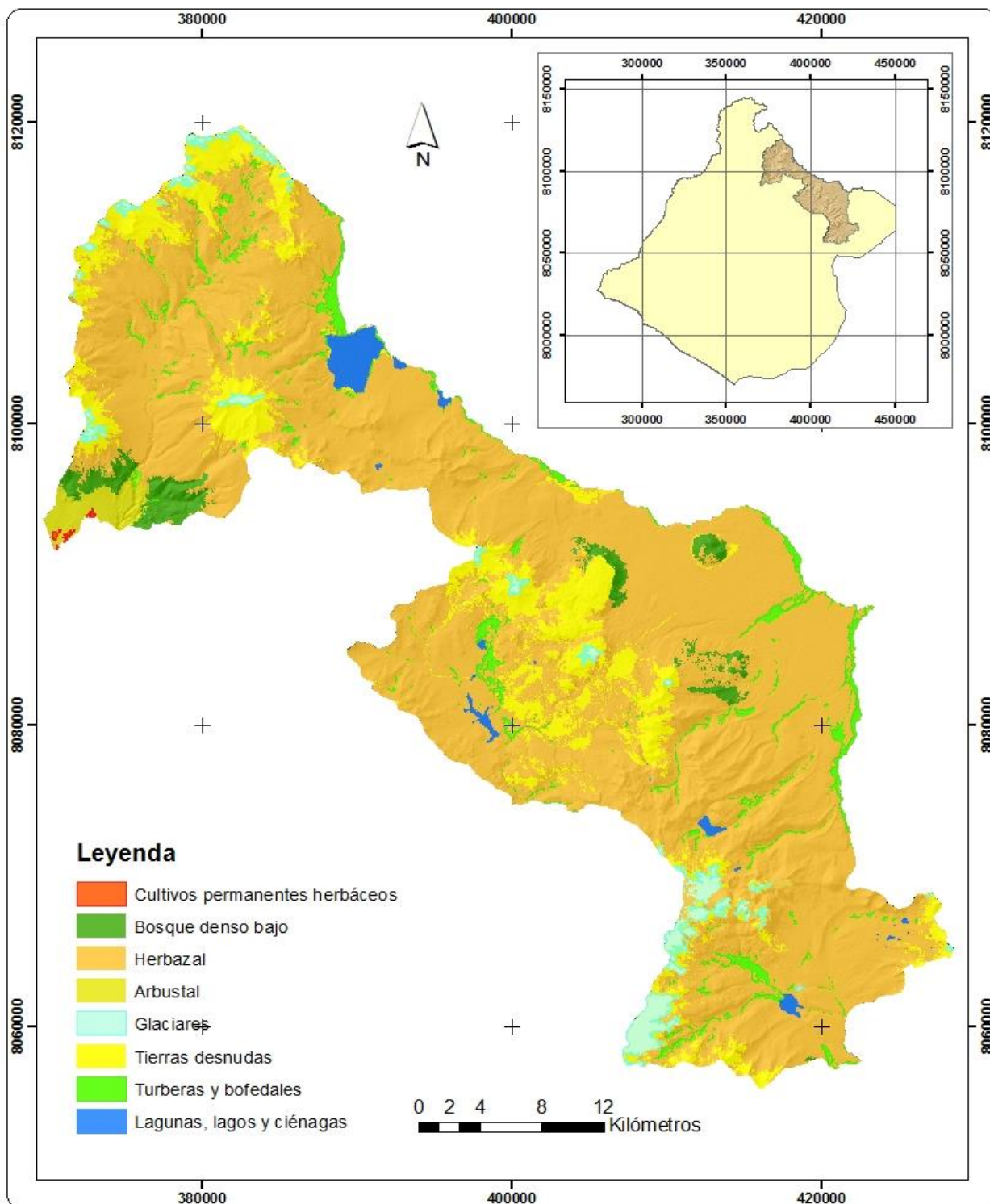


Figura N° 15: Mapa de Cobertura del ACR Vilacota Maure, año 2018

#### 4.1.5. 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 07).

**Tabla N° 07: 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
3.4. Área sin o con poca vegetación	-0.88	0.27	-0.31
4.1.2. Turberas y bofedales	1.46	0.21	0.83
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas	3.29	1.26	2.27

#### 4.1.6. Cálculo de la matriz de confusión

La matriz de confusión calculada para la clasificación del año 1988 indica un porcentaje de acuerdos de 83.56%, en donde 61 puntos de verificación de 73 en total fueron aciertos. Ver Tabla 08 donde se indica además un índice Kappa de 0.80 coincidiendo con una clasificación “sustancial” del valor de concordancia.

**Tabla N° 08: Matriz de Confusión de la Clasificación 1988**

	Bosque denso bajo	Herbazal	Arbustal	Tierras desnudas	Glaciares	Turberas y bofedales	Lagunas, lagos y ciénagas	Total
Bosque denso bajo	6	0	0	0	0	0	0	6
Herbazal	0	16	0	5	0	0	0	21
Arbustal	0	0	8	0	0	0	0	8
Tierras desnudas	0	2	0	5	0	0	0	7
Glaciares	0	1	0	4	6	0	0	11
Turberas y bofedales	0	0	0	0	0	11	0	11
Lagunas, lagos y ciénagas	0	0	0	0	0	0	9	9
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>73</b>
							<b>Precisión</b>	<b>83.56%</b>

**Tabla N° 09: Matriz de Confusión de la Clasificación 2003**

	Bosque denso bajo	Herbazal	Arbustal	Tierras desnudas	Glaciares	Turberas y bofedales	Lagunas, lagos y ciénagas	Total
Bosque denso bajo	6	0	0	0	0	0	0	6
Herbazal	0	16	0	5	0	0	0	21
Arbustal	0	0	8	0	0	0	0	8
Tierras desnudas	0	2	0	5	0	0	0	7
Glaciares	0	1	0	4	6	0	0	11
Turberas y bofedales	0	1	0	0	0	10	0	11
Lagunas, lagos y ciénagas	0	0	0	0	0	0	9	9
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>73</b>
							<b>Precisión</b>	<b>82.19%</b>

La matriz de confusión calculada para la clasificación del año 2003 indica un porcentaje de acuerdos de 82.19%, en donde 60 puntos de verificación de 73 en total fueron aciertos. Ver Tabla 09 donde se indica además un

índice Kappa de 0.79 coincidiendo con una clasificación “sustancial” del valor de concordancia.

Con respecto a la matriz de confusión calculada para la clasificación del año 2018 indica un porcentaje de acuerdos de 83.56%, en donde 61 puntos de verificación de 73 en total fueron aciertos. Ver Tabla 10 donde se indica además un índice Kappa de 0.80 coincidiendo con una clasificación “sustancial” del valor de concordancia.

**Tabla N° 10: Matriz de Confusión de la Clasificación 2018**

	Bosque denso bajo	Herbazal	Arbustal	Tierras desnudas	Glaciares	Turberas y bofedales	Lagunas, lagos y ciénagas	<b>Total</b>
Bosque denso bajo	6	0	0	0	0	0	0	<b>6</b>
Herbazal	0	17	0	4	0	0	0	<b>21</b>
Arbustal	0	0	8	0	0	0	0	<b>8</b>
Tierras desnudas	0	2	0	5	0	0	0	<b>7</b>
Glaciares	0	1	0	5	5	0	0	<b>11</b>
Turberas y bofedales	0	0	0	0	0	11	0	<b>11</b>
Lagunas, lagos y ciénagas	0	0	0	0	0	0	9	<b>9</b>
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>73</b>
							<b>Precisión</b>	<b>83.56%</b>

## 4.2. DISCUSIÓN

De acuerdo a la clasificación internacional Corine Land Cover CLC se han determinado ocho (08) categorías o clases de cobertura del nivel III en el área de estudio, de las cuales cinco (05) 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.

La categoría de *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 descrito como *Bosque relictado 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).

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 tres subunidades que se diferencian entre ellos por la fisonomía y flora como el “pajonal” que está

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”.

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 de tamaño corto dispuestas en forma de céspedes, y pajonales donde predominan especies de gramíneas amacolladas, robustas y xeromórficas de hojas punzantes, rígidas y duras.

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.

La categoría de *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).

La evaluación multitemporal de cobertura vegetal mediante técnicas de teledetección, ha permitido determinar la variación de superficies territoriales o áreas de las distintas categorías o clases de cobertura en el ACR Vilacota Maure (Tabla 05), estableciendo cinco clases de nivel III del sistema de clasificación Corine Land Cover (CLC) que hacen referencia a los tipos de cobertura vegetal.

En el año 1988 el área de cobertura vegetal del ACR Vilacota Maure, fue de 102,396.95 has (82.37% de la superficie total del ACR), siendo la categoría o clase *Herbazal* la más extensa con 94,318.82 has representando el 75.87% del territorio, y en menor proporción las categorías *Turberas y bofedales*, *Bosque denso bajo*, *Arbustal*, y *Cultivos permanentes herbáceos*, que representan el 6.50% del área natural protegida.

Para el año 2003 el área de cobertura vegetal fue de 104,459.43 has (84.03% de la superficie total del ACR), ocupando la categoría o clase

*Herbazal* el 76.62% del territorio con 95,244.58 has, y en menor extensión las categorías *Turberas y bofedales*, *Bosque denso bajo*, *Arbustal*, y *Cultivos permanentes herbáceos* con el 7.41% del área natural protegida.

En el año 2018 el área de cobertura vegetal fue de 103,413.36 has (83.19% de la superficie total del ACR), siendo de mayor extensión la categoría o clase *Herbazal*, que representa el 75.72% del territorio con 94,127.66 has, y en menor proporción las categorías *Turberas y bofedales*, *Bosque denso bajo*, *Arbustal*, y *Cultivos permanentes herbáceos* con el 7.47% del área natural protegida.

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 el ecosistema altoandino sobre los 3,900 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).

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 1,016.41 has, para un intervalo de 30 años. Así mismo, mediante términos de ganancia y pérdida de cada clase, nos permite determinar que la categoría *Herbazal* con ligeras variaciones de superficie, ocupa la mayor extensión en el ACR Vilacota Maure, que por su ubicación geográfica en la

región andina sobre los 3,900 m.s.n.m. encuentra las condiciones favorables para su desarrollo.

La diferencia encontrada de superficie de *Cultivos permanentes herbáceos* entre los años 1988 y 2003 es de 19.98 has que demuestra un incremento del 0.02% del área total para un intervalo de 15 años. Entre los años 2003 y 2018 es de -4.69 ha que demuestra una disminución del -0.004%.

En la clase *Bosque denso bajo*, se encontró la diferencia de superficie de 315.62 has entre los años 1988 y 2003 que demuestra un incremento del 0.25% del área total para un intervalo de 15 años. Entre los años 2003 y 2018 es de -127.54 ha que demuestra una disminución del -0.10%.

La clase *Herbazal* muestra una diferencia de superficie de 925.76 has entre los años 1988 y 2003 que indica un incremento de 0.74% del área total para un intervalo de 15 años. Entre los años 2003 y 2018 es de -1,116.92 ha que indica una disminución del -0.90%.

La diferencia de superficie de la clase *Arbustal* entre los años 1988 y 2003 es de -84.45 has que demuestra una disminución del -0.07% del área total para un intervalo de 15 años. Entre los años 2003 y 2018 es de 58.03 ha que demuestra un incremento del 0.05%.

En la clase *Turberas y bofedales*, se encontró la diferencia de superficie de 885.57 has entre los años 1988 y 2003 que demuestra un incremento del

0.71% del área total para un intervalo de 15 años. Entre los años 2003 y 2018 es de 145.06 ha que demuestra un incremento del 0.12% del área total con respecto al año 2003.

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%.

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 has. En relación a la tasa anual de cambio por cada clase de cobertura vegetal, se tiene que la categoría *Cultivos permanentes herbáceos* es de 1.49%, *Bosque denso bajo* 0.21%, *Turberas y bofedales* 0.83%, *Herbazal* -0.01%, y *Arbustal* -0.06%.

Por otro lado, la tasa anual de cambio para las clases asignadas a la cobertura no vegetal, mostró un valor negativo de -0.16%, distribuido en las clases: Área sin o con poca vegetación con -0.31% (tierras arenosas, tierras desnudas incluye suelos degradados, y glaciares), Cuerpos de agua con un incremento de 2.27% (lagunas, lagos y ciénagas).

## CONCLUSIONES

1. 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*. Donde se ha determinado que la categoría *Cultivos permanentes herbáceos* tuvo un incremento desde el año 1988 con valores de 27.41 has hasta el 2018 con 42.70 has. La categoría *Bosque denso bajo* se incrementó en el año 2003 con 3,154.21 Has en comparación con el año 1988 donde registraba 2,838.59 has, y disminuyó en el año 2018 con 3,026.66 has. La categoría *Herbazal* disminuyó ligeramente desde el año 1988 hasta el 2018, con valores de 94,318.82 Has y 94,127.66 Has respectivamente. La categoría *Arbustal* disminuyó entre los años 1988 y 2003 con valores de 1,571.86 Has, y 1,487.40 Has respectivamente, y se incrementó en el año 2018 con 1,545.43 Has. Así mismo, se ha observado incremento del área de *Turberas y bofedales*, desde 3,640.27 Has, 4,525.84 Has y 4,670.90 Has en los años 1988, 2003 y 2018 respectivamente.
2. 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.

## **RECOMENDACIONES**

1. Establecer un protocolo de seguimiento y monitoreo de los cambios de cobertura vegetal en el ámbito de estudio, mediante el uso de técnicas de teledetección que permitan tomar decisiones acertadas en la conservación de los ecosistemas altoandinos.
2. Realizar este tipo de estudios a nivel regional, dada la importancia de la información que proporciona para la formulación de planes de ordenamiento territorial, y planificación de estrategias de manejo de los recursos naturales en las cuencas ubicadas en el departamento de Tacna.
3. Mejorar el análisis e interpretación de imágenes satelitales, promoviendo el uso de imágenes con mayor resolución espacial, que permitan obtener resultados a mayor detalle y menor margen de error.
4. Difundir las bondades del uso de técnicas de teledetección y el uso de herramientas SIG, mediante el fortalecimiento de capacidades en los centros de educación superior.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAIRA, V. 2001. El Índice Kappa. Notas Estadísticas. SEMERGEN: 2000; Volumen 27; Número 5: 247-249.

BRITOS, A.H. y BARCHUK A.H. 2013. “Dinámica de la cobertura vegetal y los usos de la tierra a través de modelos de no-equilibrio”. Revista de Teledetección 40, 5-26.

CAMPOS, J. 2018. “Análisis de Cambios de Cobertura y Uso de la Tierra con Imágenes Satelitales del Distrito de Los Baños del Inca periodo 1990 – 2018”. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca, Jaén - Perú.

CERVANTES, R., SÁNCHEZ J.M., ALEGRE, J., RENDÓN E., BAIKER, J.R., LOCATELLI, B., y BONNESOEUR, V. 2021. “Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica”. Ecología Aplicada, 20(2).

CHAVARRÍA, E. y LANUZA, D. 2021. “Evaluación Multitemporal del Cambio de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal mediante Teledetección Espacial en la Reserva Ecológica El Bajo, en el Período 1986 - 2020”. Monografía de titulación. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León.

CHÓEZ, I. 2018. "Análisis de la Cobertura Vegetal y Cambio de Uso de Suelo en el Área de Influencia del Canal Azúcar-Río Verde mediante Teledetección". Trabajo de titulación. Universidad de Guayaquil, Guayaquil - Ecuador.

CHUVIECO, E. 2010. Teledetección Ambiental "La observación de la tierra desde el espacio". Nueva edición actualizada, Editorial Ariel, España.

GARCÍA, E. y OTTO, M. 2015. "Caracterización ecohidrológica de humedales alto andinos usando imágenes de satélite multitemporales en la cabecera de cuenca del Río Santa, Ancash, Perú". Ecología Aplicada, 14 (2) 115-125.

GOBIERNO REGIONAL DE TACNA. 2015. "Servicios Ecosistémicos de la Región de Tacna". Estudio Especializado. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, GORET.

GOBIERNO REGIONAL DE TACNA. 2016. "Diagnóstico de Diversidad Biológica en la Región Tacna". Proyecto Mejoramiento del Servicio de Monitoreo e Información Ambiental. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, GORET.

GOBIERNO REGIONAL DE TACNA. 2018. Plan Maestro del Área de Conservación Regional Vilacota Maure 2017 – 2021. Administración del Área de Conservación Regional Vilacota Maure, GORET.

HERNÁNDEZ, J. 2011. Procesamiento Digital de Imágenes. Apuntes de clase. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile.

HERNÁNDEZ, O. 2012. “Análisis Multitemporal de la Cobertura Vegetal del Municipio del Distrito Central años 1987 y 2006”. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa - Honduras.

LAURENTE, M. A. 2011. “Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María - Perú”. GeoFocus (Informes) 11, 1-15.

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.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. 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

MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2015. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal - Memoria descriptiva. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima: MINAM.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2019. Mapa Nacional de Ecosistemas - Memoria descriptiva. Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental. Lima: MINAM.

MIYASIRO, M. & ORTIZ, M. 2016. "Estimación mediante la Teledetección de la Variación de la Cobertura Vegetal en las Lomas del Distrito de Villa María del Triunfo por la expansión Urbana y Minera (1986-2014)". Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú.

MORALES-HERNÁNDEZ, J.C., CARRILLO-GONZÁLEZ F.M., FARFÁN MOLINA L.M., y CORNEJO LÓPEZ V.M. 2016. "Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México". *Caldasia* 38(1): 17:29.

OBLITAS, C. 2017. "Determinación de cambio de cobertura 2001 - 2013 del Bosque Tropical Estacionalmente Seco de la Cuenca Amojú - Jaén, utilizando imágenes satelitales". Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca, Jaén - Perú.

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. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13325>.

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, vol. 9, núm. 2, pp. 125-137, 2018.

PAVÓN, F. 2011. "Evaluación de los Cambios en la Cobertura Vegetal en las Comunidades del Territorio Awá en el Ecuador a través de Sensores Remotos". Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito 2011.

QUISPE, A. 2014. "Evaluación Multitemporal del Cambio de la Cobertura Vegetal mediante el Uso de Técnicas de Teledetección y S.I.G. en la Colonia Siempre Unidos del Municipio de Caranavi, La Paz". Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz - Bolivia.

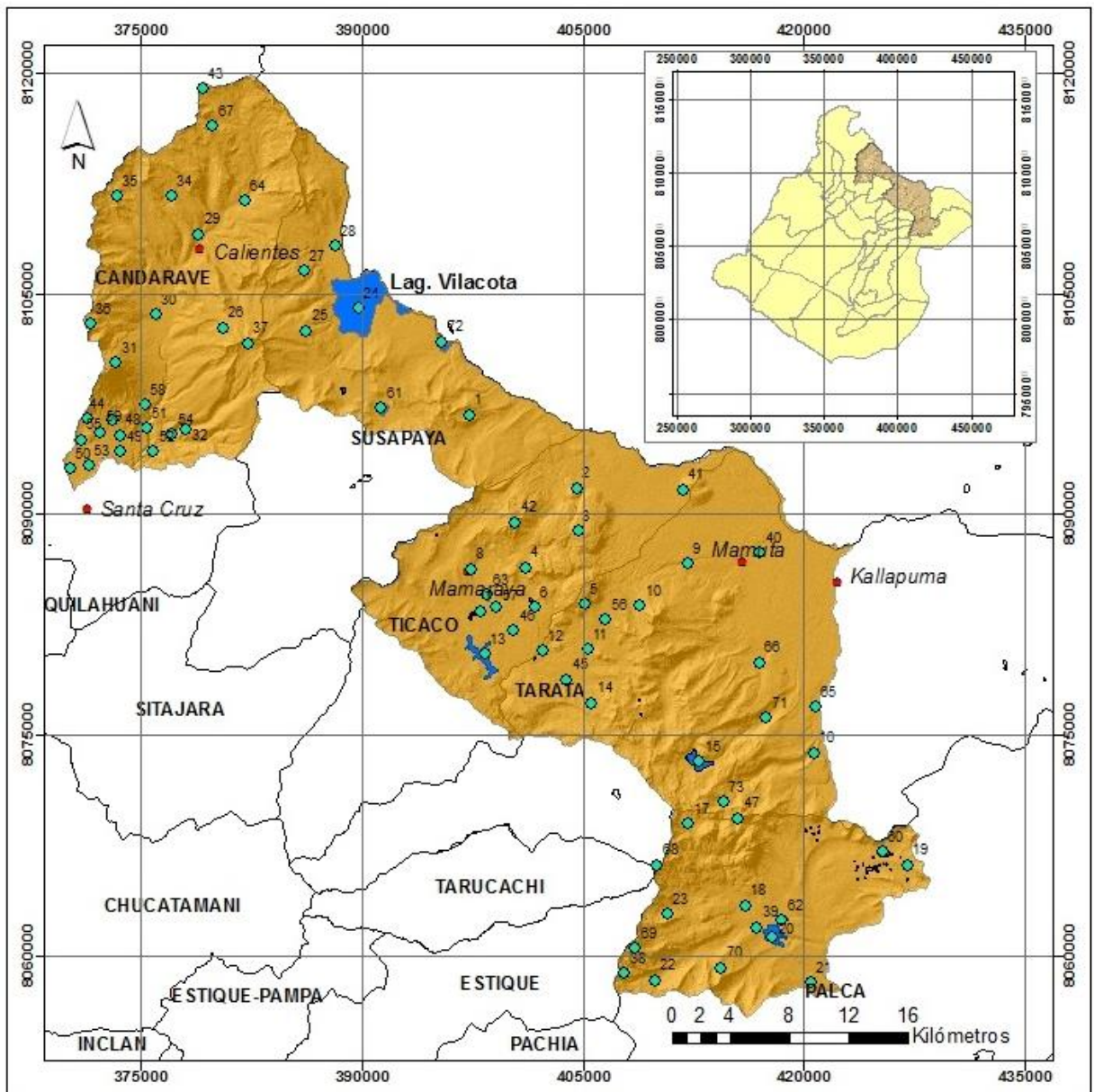
ZOROGASTÚA, P., QUIROZ, G., GARATUZA, J. 2011. "Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales en Piura - Perú". Ecología Aplicada, 10(1), 13-22. 2011.

## ANEXOS

### Anexo N° 01: Puntos de verificación del ACR Vilacota Maure

N°	COORD_X	COORD_Y	N°	COORD_X	COORD_Y
1	397321.49	8096724.98	38	407856.72	8058790.55
2	404690.61	8091775.57	39	416839.13	8061931.64
3	404718.11	8088833.42	40	417087.11	8087349.64
4	401143.53	8086358.71	41	411838.19	8091661.75
5	405240.54	8083856.51	42	400444.86	8089429.92
6	401803.45	8083636.54	43	379242.52	8118925.83
7	398146.39	8083334.07	44	371472.47	8096483.59
8	397513.96	8086248.72	45	403971.69	8078739.21
9	412197.22	8086661.18	46	400362.20	8082114.50
10	408897.61	8083774.02	47	415580.87	8069343.53
11	405405.52	8080804.37	48	373650.52	8095357.71
12	402325.89	8080694.39	49	373663.75	8094233.23
13	398366.36	8080501.91	50	370263.84	8093055.83
14	405625.50	8077147.31	51	375423.23	8095820.73
15	412967.12	8073215.28	52	375893.42	8094220.00
16	420721.20	8073792.71	53	371491.51	8093312.48
17	412224.71	8068980.78	54	377162.98	8095413.18
18	416074.25	8063398.94	55	370986.88	8095033.03
19	427045.45	8066148.62	56	406585.18	8082793.85
20	417916.53	8061281.70	57	399167.37	8083741.23
21	420501.23	8058147.07	58	375345.83	8097397.25
22	409942.48	8058312.05	59	372285.00	8095585.00
23	410794.88	8062821.51	60	425394.43	8067059.69
24	389814.88	8104011.61	61	391332.97	8097209.55
25	386267.80	8102444.30	62	418575.00	8062435.00
26	380630.97	8102664.27	63	398554.44	8084546.69
27	386102.82	8106541.31	64	382097.85	8111263.84
28	388247.57	8108218.61	65	420801.18	8076934.09
29	378953.67	8109016.01	66	416994.24	8079929.38
30	376039.02	8103544.17	67	379913.22	8116380.15
31	373344.34	8100272.06	68	410104.22	8066168.72
32	378101.27	8095762.59	69	408599.26	8060518.27
33	373124.37	8096422.51	70	414401.06	8059167.31
34	377138.89	8111600.71	71	417479.10	8076191.81
35	373426.83	8111600.71	72	395470.82	8101717.06
36	371596.46	8102931.08	73	414556.84	8070459.02
37	382300.95	8101622.30			

Anexo N° 02: Ubicación de los puntos de verificación en el área de estudio



**Anexo N° 03: Imágenes fotográficas del desarrollo del trabajo de tesis**



Foto N° 14: Recopilación de datos de campo en bofedales del ACR Vilacota Maure



Foto N° 15: Recopilación de datos de campo en el bosque de queñoa en laderas del volcán Yucamane en el ACRVM



Foto N° 16: Bosque de relictos altoandino localizado en las laderas del volcán Yucamane en el ACRVM



Foto N° 17: Pajonal andino en el ACR Vilacota Maure



Foto N° 18: Recopilación de información de la especie *Polylepis spp.* en el ACR Vilacota Maure



Foto N° 19: Recopilación de información de bofedales localizados en el área de influencia de la laguna Vilacota



Foto N° 20: Recopilación de datos de campo en zonas de *Pajonal andino* en el ACR Vilacota Maure