UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN LA RESERVA NACIONAL SALINAS Y AGUADA BLANCA – AREQUIPA, MOQUEGUA"

TESIS

PRESENTADO POR:

BACHILLER LEILA GRETEL QUISPETERA CHAMBI

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

ILO – PERÚ

2023

UNAM

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Folio Nº 032

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 073-2023-FACIA-UNAM

Fecha: 01 JUNIO 2023

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

"ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN LA RESERVA NACIONAL SALINAS Y AGUADA BLANCA – AREQUIPA MOQUEGUA"

Bachiller: LEILA GRETEL QUISPETERA CHAMBI

Asesor Principal: M.Sc. OSMAR CUENTAS TOLEDO

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 12:30 horas, del 07 de JUNIO del año 2023 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Dr. Hebert Hernán Soto Gonzales
Presidente

Dr. EDUARDO LUIS FLORES QUISPE
Primer Miembro

Dr. Juan C. Ccamapaza Aguilar
Segundo Miembro

Bachiller

DEDICATORIA

A la memoria de mis abuelitos maternos que desde niña me cuidaron con mucha paciencia y amor e inculcaron buenos valores.

A mis padres y hermano por siempre confiar en mí, apoyarme en todo momento que necesite de su ayuda, inspirándome a ser mejor cada día.

A todos lo que confiaron en mí, que con sus palabras me motivaron a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por ser mi guía y fortaleza en todo momento y no dejarme en los momentos de dificultad.

A la Universidad Nacional de Moquegua, por brindarme experiencias únicas durante mi formación profesional mediante las becas de intercambio. A los docentes de escuela de Ingeniería Ambiental, por compartir sus experiencias y conocimientos durante toda la carrera universitaria.

Al Ing. Osmar Cuentas, por brindarme el apoyo en el asesoramiento, desde el inicio del desarrollo de la tesis, siempre motivándome a seguir adelante.

A todos mis amigos laborales y universitarios que me apoyaron en este proceso, brindándome su apoyo en diferentes gestiones, con su ayuda fue posible cumplir con mi meta profesional.

RESUMEN

La Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB), posee alrededor de seis zonas de vida y es la principal fuente natural de agua para los departamentos de Arequipa y Moquegua. Esta investigación analiza los cambios de cobertura de la tierra en dos periodos 1991-2006 y 2006-2021, valida el modelo del año 2021 y proyecta el modelo de cobertura de la tierra al año 2050; a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8, con metodologías de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). La zona de estudio tiene una extensión de 677 529,99 hectáreas, en la que se identifican nueve categorías: bofedal, vegetación natural, pajonal, área agrícola, área artificial, superficie de agua, área sin o poca vegetación, salares y nevados. Del análisis realizado entre los años 1991 al 2021, se muestra un incremento de tasas de cambio anual en la cobertura de artificial con 7.05% y superficie de agua con 1.81%; mientras las coberturas que sufrieron disminución son los nevados con 4.60%, los salares con 0.86% y pajonales con 0.08% de tasas de cambio anual. Para la proyección al año 2050 se utilizó el módulo de Land Change Modeler (LCM) que se ejecuta mediante el método de Cadenas de Markov, dando como resultado un 75.11% de exactitud. La proyección al año 2050 demuestra un incremento en la categoría artificial con una tasa de cambio anual de 1.86% y un área con poca o sin vegetación con una tasa de cambio anual de 0.36%; mientras que las coberturas en decrecimiento serán las coberturas de nevados con una tasa de cambio anual de 4.89%, bofedales con el 1.22% y pajonales con el 0.48%. Estos resultados indican que el crecimiento de las áreas artificializadas afectará a las coberturas vegetales, debiendo implementarse medidas de planificación para actuar de manera preventiva ante impactos negativos que puedan dañar la reserva.

Palabras clave: Reserva natural, Teledetección, SIG, Modelador de cambios en el terreno

ABSTRACT

The Salinas y Aguada Blanca National Reserve (RNSAB) has about six life zones and is the main natural water source for the departments of Arequipa and Moquegua. This research analyzes land cover changes in two periods 1991-2006 and 2006-2021, validates the model for the year 2021 and projects the land cover model to the year 2050; based on Landsat 5 and Landsat 8 satellite images, with remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) methodologies. The study area covers an area of 677,529.99 hectares, in which nine categories are identified: wetlands, natural vegetation, grasslands, agricultural area, artificial area, water surface, area with little or no vegetation, salt flats and snow-capped mountains. The analysis carried out between 1991 and 2021 shows an increase in the annual rate of change in artificial cover with 7.05% and water surface with 1.81%, while the coverages that suffered a decrease are the snowy areas with 4.60%, salt flats with 0.86% and grasslands with 0.08% of annual change rates. For the projection to the year 2050, the Land Change Modeler (LCM) module was used, which uses the Markov Chains method, resulting in a 75.11% accuracy rate. The projection to 2050 shows an increase in the artificial category with an annual rate of change of 1.86% and an area with little or no vegetation with an annual rate of change of 0.36%; while the decreasing coverages will be the snow cover with an annual rate of change of 4.89%, wetlands with 1.22% and grasslands with 0.48%. These results indicate that the growth of artificialized areas will affect vegetative cover, and planning measures should be implemented to prevent negative impacts that could damage the reserve.

Keywords: Nature Reserve, Remote sensing, GIS, Terrain Change Modeler

ÍNDICE

RESUMEN iii

ABSTRACT iv

ÍNDICE v

INTRODUCCIÓN 1

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3

1.2. OBJETIVOS 4

1.2.1. Objetivo general 4

1.2.2. Objetivos específicos 5

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 5

1.4. HIPÓTESIS 6

1.5. VARIABLES 6

II. MARCO TEÓRICO 8

2.1. ANTECEDENTES 8

2.2. BASES TEÓRICAS 12

2.2.1. Teledetección 12

2.2.2. Sensores remotos 12

2.2.3. Resolución de sensores remotos 13

2.2.4. Programa Landsat 14

2.2.5. Sistemas de información geográfica (SIG) 16

2.2.6. Procesamiento de imágenes satelitales 17

2.2.7. Cobertura de la tierra 19

2.2.8. Validación de la clasificación 24

2.2.9. Modelamiento Dinámico 26

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 27

III. METODOLOGÍA 29

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 29
3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 29
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 36
3.4. INSTRUMENTOS 38
3.5. PROCEDIMIENTOS 40
3.6. ANÁLISIS DE DATOS 49
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 52
4.1. RESULTADOS 52
4.2. DISCUSIÓN 79
V. CONCLUSIONES 84
VI. RECOMENDACIONES 85
VII. REFERENCIAS 86
ANEXOS 93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables 7
Tabla 2. Bandas espectrales de Landsat 5 TM 15
Tabla 3. Bandas Espectrales de Landsat 8 OLI 16
Tabla 4. Matriz de Confusión para un periodo de dos años 25
Tabla 5. Valores del Coeficiente Kappa 26
Tabla 6. Número de puntos aleatorios registrados por coberturas 37
Tabla 7. Información de las imágenes Landsat adquiridas 41
Tabla 8. Categorías de la cobertura de la tierra para la RNSAB 45
Tabla 9. Lista de combinación de bandas 46
Tabla 10. Valores del Coeficiente Kappa 50
Tabla 11. Coberturas de la tierra en la RN.Salinas y Aguada Blanca. 59
Tabla 12. Área de las coberturas, porcentaje y tasas de cambio 61
Tabla 13. Matriz de transición, pérdidas y ganancias del primer periodo 1991-2006 de la RNSAB 64
Tabla 14. Matriz de transición, pérdidas y ganancias del segundo periodo 2006-2021 de la RNSAB 67
Tabla 15. V de Cramer para cada variable explicativa 68
Tabla 16. Comportamiento de las transiciones del Submodelo 71
Tabla 17. Matriz de transición de validación mapa real y mapa proyectado 72
Tabla 18. Proyección de cambios de cobertura al año 2050 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca. 30
Figura 2. Mapa Climático de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca 34
Figura 3. Distribución de puntos aleatorios en el área *de estudio*..... 38
Figura 4. Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación 40
Figura 5. Descarga de imágenes satelitales de la plataforma de la USGS..... 42
Figura 6. Corrección atmosférica y geométrica - imagen satelital Landsat 5 año 1991..... 43
Figura 7. Corrección atmosférica y geométrica - imagen satelital Landsat 8 año 2021..... 43
Figura 8. Recorte de las imágenes satelitales en el programa Erdas Imagine ... 44
Figura 9. Áreas de Entrenamiento Año 2006 48
Figura 10. Mapa de coberturas de la tierra año 1991 53
Figura 11. Porcentaje de cobertura de la tierra en la RNSAB año 1991..... 54
Figura 12. Mapa de cobertura de la tierra año 2006. 55
Figura 13. Porcentaje de cobertura de la tierra en la RNSAB, año 2006. 56
Figura 14. Mapa de cobertura de la tierra año 2021 57
Figura 15. Porcentaje de cobertura de la tierra en la RNSAB año 2021..... 58
Figura 16. Tasa de cambio de coberturas en porcentajes - periodo 1991 al 2006 63
Figura 17. Tasa de cambio de coberturas en porcentajes - periodo 2006-2021. 66
Figura 18. Variables Explicativas para calibrar el modelo prospectivo 69
Figura 19. Transición Potencial del Submodelo 1991 al 2006, para el periodo 2021 70
Figura 20. Porcentaje de la cobertura de la tierra al año 2050..... 73
Figura 21. Mapa de Cobertura de la tierra proyectado para el año 2050..... 76
Figura 22. Tendencia de las Coberturas de la tierra del año 1991 al 2050 en la R.N. Salinas y Aguada Blanca..... 78

INTRODUCCIÓN

Los cambios de cobertura de la tierra se deben principalmente a la influencia que ejercen las actividades antropogénicas, que representan un motor de crecimiento económico, pero a la vez generan problemas ambientales, principalmente en el agotamiento de los recursos de la tierra. Asimismo, los factores climatológicos juegan un papel importante, como el aumento de la temperatura, sequía severa y variabilidad de las precipitaciones, según Samaniego y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2013). Además, la caza, la tala y en menor medida los incendios y el pastoreo ejercen presión dentro de las áreas protegidas, debido a la demarcación de límites y la compensación directa a las comunidades locales (Ortiz et al., 2019).

Mediante la teledetección y sistemas de información geográfica se han analizado de forma efectiva los cambios en las coberturas de la tierra. Los análisis y modelos de cambios de cobertura de la tierra son simplificaciones de la realidad, utilizadas para predecir los cambios de la cubierta terrestre (Hasan et al, 2020). El software de TerrSet en el módulo de *Land Change Modeler* (LCM) permite evaluar en dos periodos diferentes los cambios de coberturas de la tierra a través de simulaciones, permitiendo comprender la dinámica del cambio en el área donde se realiza el análisis (Leta et al., 2021)

Los principales esfuerzos para identificar los cambios en la cobertura terrestre son para prevenir de manera eficaz y sostenible áreas que podrían verse afectadas irreversiblemente en el futuro. En el Perú, existe la política nacional del ambiente, que es un instrumento para la gestión del desarrollo sustentable, donde uno de sus ejes impulsa la ocupación ordenada del territorio con información actualizada del patrimonio y la cubierta naturales. Dicho instrumento sirve también como apoyo para el aprovechamiento de los recursos naturales, implementado como herramienta técnica y orientadora del uso sostenible de un territorio, así como para la zonificación

ecológica y económica, la toma de decisiones y la gestión del territorio por las autoridades competentes (MINAM,2017).

Ante lo expuesto, y considerando un estudio previo que señaló que, los cambios de cobertura producidos en 24 años desde 1986 al 2010 en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca se debieron a la influencia antrópica y natural (Nina,2015), surge la iniciativa de desarrollar esta investigación con el propósito de analizar los cambios en la cobertura de la tierra de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca a partir del año 1991-2021, para luego modelar los posibles cambios al año 2050. Los datos reportados servirán como instrumento de gestión ambiental de planificación para el actuar de manera temprana amenazas detectadas y mitigar impactos negativos que puedan dañar a la RNSAB.

La investigación consta de siete capítulos. En el primer capítulo se aborda el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación e importancia y las variables. El segundo capítulo corresponde al marco teórico que describe los antecedentes de estudio, bases teóricas y definición de términos. El tercer capítulo presenta la metodología, indicando el tipo, nivel de investigación, el ámbito temporal y espacial, población y muestra, así como los instrumentos, procedimientos y análisis de datos en la investigación. El cuarto capítulo comprende los resultados y discusión de resultados producto del análisis comparado con otras investigaciones referidas al área de estudio. El quinto capítulo expone los resultados alcanzados. El sexto capítulo describe las recomendaciones orientadas al tema y a futuras investigaciones. Por último, en el capítulo séptimo se encuentran las referencias que sirvieron como base para el estudio realizado.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial se registran grandes pérdidas de coberturas vegetales ante la presión sobre el recurso del suelo, repercutiendo a largo plazo (FAO, 2022). Los cambios de cobertura de la tierra son un tema de importancia debido a que cada año se degradan y destruyen los ecosistemas a nivel mundial, lo que ha originado diversas investigaciones para determinar las causas directas e indirectas que van ocasionando estos cambios. Muchas de las causas de los cambios de uso de las coberturas de la tierra se atribuyen a las actividades humanas, como la agricultura, ganadería y actividades industriales que no tienen políticas de sostenibilidad, sumado el crecimiento urbano que está transformando espacios rurales a urbanos (Ríos, 2011). Esta creciente presión humana sobre los ecosistemas, la biodiversidad y las áreas naturales son el motivo principal para el fortalecimiento de los pilares de la conservación (Koga et al., 2019). Las áreas naturales protegidas, a pesar de tener una protección legal, no están libres de las presiones de cambio de uso de suelo, ya que las poblaciones aledañas pueden pretender extender sus fronteras agropecuarias, lo que significa un constante riesgo, pues afectaría la cobertura natural que se encuentra dentro de ellas (Chapa & Monzalvo, 2012).

A nivel nacional Vázquez y Rocha (2015) mencionan que, “los cambios de cobertura y uso de la tierra no son una situación ajena a nuestro país”, debido a que los índices de crecimiento poblacional van en aumento, y en gran parte del territorio peruano se cambian los usos de suelo a prácticas agropecuarias tradicionales; involucrando la quema de grandes hectáreas de bosques para convertirlos en pastizales y/o cultivos diversos.

Al no tener políticas claras para los futuros usos de tierra en áreas naturales protegidas se pueden generar problemas como, el incremento de gases de efecto invernadero, erosiones en los suelos, pérdida de biodiversidad, alteración en el ciclo hidrológico y en la temperatura como respuesta a la pérdida y cambio de uso de tierra (Dourojeanni, 2019).

El cambio de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB) a través de los años ha sufrido diferentes procesos de deforestación y degradación en gran parte de sus ecosistemas, según los diferentes reportes de sus planes maestros.

Ante esta problemática surge la presente investigación para identificar los diferentes cambios de cobertura de la tierra a través de los años en una proyección al año 2050 en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, que servirá para localizar diferentes escenarios y actores principales que se relacionan directamente con los procesos de cambio de la tierra y poder brindar información para la sostenibilidad en esta área natural protegida.

Formulación del problema

¿Cuánto variarán los cambios de cobertura de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca - Arequipa Moquegua, durante el periodo 1991 al 2050?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

- Analizar y modelar los cambios de cobertura de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca - Arequipa Moquegua, durante el periodo 1991 al 2050.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar y cuantificar los cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, durante los periodos 1991-2006, 2006 - 2021.
- Modelar y validar los cambios de cobertura de la tierra a partir de los mapas de cobertura de 1991 y 2006 para el año 2021.
- Modelar los cambios de cobertura de la tierra al año 2050 en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB), posee alrededor de seis zonas de vida, es principal fuente natural de agua para las poblaciones de los departamentos de Arequipa y Moquegua. La reserva posee biodiversidad en flora y fauna, dentro de esta habitan comunidades campesinas que usan los recursos naturales como fuente de ingresos económicos. En la RNSAB las amenazas que existen provienen de las poblaciones colindantes que usan los recursos de la reserva para poder subsistir. De igual manera, dentro de la reserva están involucrados proyectos e inversiones, como carreteras y represas hidráulicas. Además, en los últimos años tanto en la zona de amortiguamiento como dentro de la RNSAB, se han registrado varios incendios que han producido pérdidas significativas de pajonales, que es alimento principal de la fauna que habita en esta zona.

Al no existir investigaciones recientes relacionadas al cambio de coberturas en la reserva, se pretende actualizar información de estudios realizados anteriormente y analizar los posibles cambios hacia el año 2050, que servirán como instrumentos de gestión ambiental de planificación para actuar de manera preventiva ante amenazas a la RNSAB.

Esta investigación tiene sustento técnico porque representa un aporte a las herramientas para el cumplimiento de la política nacional del ambiente, en beneficio de la conservación de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; mediante la planificación, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, como lo sugiere el MINAM.

Los resultados contribuyen a nivel institucional con el logro de las metas que se proponen alcanzar el SERNANP en sus planes maestros, como la conservación sostenible de la cobertura vegetal y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales para crear diversos proyectos y programas sostenibles enfocados a la biodiversidad.

1.4. HIPÓTESIS

Existen cambios en las coberturas de la tierra que causan el aumento de la cobertura artificial en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca durante los periodos 1991-2006 y 2006-2021.

1.5. VARIABLES

La Tabla 1 muestra la operacionalización de la variable dependiente y la variable independiente.

Tabla 1. *Operacionalización de Variables*

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA/ UNIDAD
Variable Independiente Cobertura de la tierra en la RNSAB	Coberturas de la tierra	▪ Clasificación de Coberturas de la tierra del año 1991 ▪ Clasificación de Coberturas de la tierra del año 2006 ▪ Clasificación de Coberturas de la tierra del año 2021	Ha, %
Variable Dependiente Cambio de coberturas de la tierra	Variación de coberturas	▪ Tasa de cambio de las coberturas ▪ Porcentaje de cambio y su equivalente en ha	Ha, % Ha, %

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Los estudios sobre los cambios de cobertura de la tierra se han desarrollado a lo largo de los años en diferentes ámbitos del territorio, como bosques, humedales, cuencas, mediante sistemas de información geográfica que permiten estos estudios en grandes extensiones de territorio.

El artículo de investigación presentado por Leta et al. (2021) tuvo como objetivo evaluar la dinámica temporal y espacial de LULC del pasado y predecir el futuro haciendo uso de imágenes Landsat y L*and Change Modeler*, en la cuenca hidrográfica de Nashe de 94.578 hectáreas. Los resultados del LULC histórico muestran que las tierras forestales, las praderas y los pastizales son los tipos de uso de la tierra más afectados. Los hallazgos de esta investigación indicaron un cambio rápido esperado en LULC para años posteriores. Convertir el área forestal, las praderas y los pastizales a otros usos de la tierra, especialmente en tierras agrícolas, es el principal cambio de LULC en el futuro.

Hasan et al. (2020) en su investigación utilizaron el módulo *Land Change Modeler* (LCM) del programa TerrSet con el objetivo de comprender los patrones de cambio de uso de la tierra y cobertura terrestre durante 2005– 2017 y, además, predecir el escenario futuro de los años 2024 y 2031. Los resultados corresponden a un índice Kappa 0.97, el cual indica una muy buena valoración confirmando que el modelo es fiable y se puede utilizar para predecir cambios futuros en la cobertura del suelo en diferentes escenarios. Indicando que el área urbana aumentará a una tasa anual de 4.72% durante 2005-2017 y continuará aumentando de 10.31% (20,228.95 km^2) en 2017 al 16,30% (31.994,55 km^2) en 2031. Este aumento en el área urbana invadirá aún más las tierras de cultivo y los estanques piscícolas. Sin embargo, la cobertura forestal seguirá

aumentando del 45,02% (88.391,98 km^2) en 2017 al 46,88% (92.049,62 km^2) en 2031.

En el estudio de Vallejo y Medina (2020) se plantea generar un modelo de predicción espacial para la simulación de la dinámica ambiental, tomando como insumos los datos históricos de coberturas, agentes predominantes, distancia a centros poblados, polígonos de explotación minera, distancia a vías, pendiente de terreno y modelo de elevación (DEM), usando el Software EGO. Los autores concluyen que, el monitorear históricamente la deforestación con imágenes satelitales hace posible identificar las áreas boscosas que tuvieron intervención antrópica y también los factores condicionantes que hayan podido intervenir; así mismo los pesos de evidencia permitieron describir con alta precisión el comportamiento de cambio de coberturas terrestres. Se resalta la importancia de esta modelación debido a su eficacia para visualizar escenarios futuros y su función como instrumento de Gestión Ambiental de planeación de alertas tempranas de deforestación anual y diseño de estrategias de conservación.

Achicanoy et al. (2018) identificaron cambios en los periodos de tiempo (1985, 1995, 2005, 2015) en la localidad de Suba, Bogotá, aplicando el modelo de cambio de cobertura de la tierra por medio de las cadenas de Markov en el software TerrSet. Sus resultados indicaron que las áreas urbanas acrecentaron en 432%, mientras tanto, la cobertura de árboles y arbustos decrecieron en 56% entre 1885 y 2015. Los resultados reportados por esta investigación resultan muy importantes para el futuro de los recursos naturales, sugiriendo un mecanismo de prevención en estos espacios.

El artículo publicado por Koga et al. (2019) tuvo como objetivo mapear y analizar la dinámica de uso y cobertura del Parque Nacional Sierra del Divisor durante los años 1988 y 2018, utilizando imágenes Landsat para realizar la clasificación supervisada con el algoritmo de Maxver. Esta investigación indicó en sus resultados que, las áreas de pasto y el

mosaico de usos fueron los que se expandieron durante el período de estudio. Concluyó que, la reducción de bosque primario fue menor en el interior (0.8%) que en los alrededores (3.8%) del PNSD en los 30 años evaluados; indicando que estos cambios están influenciados por la estabilidad de la población, restricciones de uso impuesta por la legislación ambiental, haciendo que avance más rápido la deforestación al interior del PNSD, lo que es una alerta para los gestores de esta área.

Zumaeta (2019) analizó con un enfoque multitemporal y predictivo el cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la microcuenca Yuyac. Encontrando en sus resultados que, la mayor superficie que tiene es la cobertura boscosa que sufrió una pérdida de 592.40 hectáreas, durante el periodo 1998 y 2018. En la evaluación de exactitud temática según el índice Kappa obtuve un índice de 0.87, indicando su valoración como muy bueno. En la simulación hacia el año 2030 se registró una pérdida de 129.40 hectáreas en la cobertura boscosa. El análisis de los mapas identificó que los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal están relacionados a la naturaleza agropecuaria de la zona (ganadería y agricultura) y la expansión urbana en relación con la ampliación de vías de acceso.

La investigación de Barba (2018) tuvo como objetivo analizar y modelar el cambio de cobertura en el Sector Pampa - Guacamayo en Madre de Dios para hallar zonas deforestadas durante el periodo de 1999, 2011, 2016 hasta el 2030, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8. Su investigación reportó que los dos primeros años hubo 9187,51 hectáreas deforestadas debido a la actividad agrícola que se acrecentó, el aumento demográfico y la aparición de minería ilegal a causa de la crisis financiera a nivel mundial del 2011 al 2016 hubo 9469,71 hectáreas deforestadas. Para el modelo prospectivo al año 2030 indica que, presentará una mayor conversión de bosque a deforestación de 23 335,40 hectáreas, contribuyendo el incremento de la frontera agrícola y extracción de la minería de oro.

Campos et al. (2018) realizan un estudio en el Parque Nacional Cerros de Amotape en el departamento de Tumbes, con el objetivo de evaluar la evolución en el Parque Nacional a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Sus resultados indicaron presencia de suelo sin cobertura Vegetal, suelo con cobertura mixta y suelo con cobertura poco densa, los que presentaron una tendencia positiva con ciclos irregulares de crecimiento, en tanto que los suelos con cobertura densa, cubiertos por árboles y arbustos evidenciaron una tendencia negativa influenciada por la ausencia de precipitaciones pluviales; además de ser impactado por la agricultura y el pastoreo. Concluye que, los análisis de teledetección y análisis de NDVI ayudan a detectar y orientar estrategias públicas como medidas preventivas de protección del Parque Nacional.

Maquera (2020) analizó los cambios de cobertura y uso de suelo en el departamento de Tacna a través de imágenes Landsat, durante el periodo 2007 al 2017, identificando 5 categorías constituidas por áreas agrícolas, áreas mayormente naturales, áreas artificializadas, bosques, áreas húmedas y superficies de agua; donde sus resultados mediante el análisis de la matriz de transición revelaron una tendencia de incremento en superficies agrícolas con una tasa de cambio de 3.10% y áreas artificializadas con una tasa de cambio de 9.71%, reportando también disminución en coberturas de bosques y áreas mayormente naturales respecto a ares con poca vegetación.

Núñez (2022) generó un modelo de evaluación y monitoreo espacial de áreas degradadas de coberturas de pastizales en la sierra central del Perú, para el análisis de información utilizó el modelo de bosques aleatorios Random Forest para clasificar pastizlaes, concluyendo que la materia orgánica del suelo y biomasa vegetal se pueden espacializar con modelos globales y sensores remotos para predecir la conservación de pajonales y césped de puna.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Teledetección

Conocido también como percepción remota que, según Chuvieco (2008) se define como una técnica que permite obtener imágenes de la superficie terrestre, a partir de objetos situados a grandes distancias de la tierra. Entendiendo que entre los objetos y el sensor exista interacción de energía (radiación electromagnética). Para obtener información a partir de un sensor remoto se puede dar por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión.

Los beneficios del uso de la teledetección según Chuvieco (2008) consisten en las siguientes cualidades:

- “Es global porque puede realizar monitoreos en grandes extensiones, de forma precisa, rápida, homogénea y económica”.
- “Hace posible obtener información de áreas de difícil acceso”.
- “Proporciona una rápida apreciación holística de la situación, posibilitando la medición del riesgo y el daño de la polución, enfermedades y ataques de incendios”.
- “Mediante un formato digital se obtiene una interpretación automática”.
- “Mediciones estandarizadas y controladas en tiempo como en espacio”.

2.2.2. Sensores remotos

Los sensores son dispositivos que transforman la radiación electromagnética en información analizable y perceptible y están instalados en las plataformas de los satélites, pueden ser:

- **Activos**

  Estos sensores generan la radiación directa de una fuente de energía propia que dispara una señal hacia la superficie terrestre. Por lo tanto, la radiación que regresa es medida y proporciona información del objeto observado. Estos sensores son el radar, microondas y láser (Sánchez, 2012).

- **Pasivos**

  Los sensores pasivos registran la radiación electromagnética utilizando fuentes naturales. Las mediciones del espectro electromagnético permiten aportar información a diferentes aspectos del medio ambiente (Sánchez, 2012).

2.2.3. Resolución de sensores remotos

- **Resolución espacial**

  Está determinada por el tamaño del píxel, que es la unidad mínima que conforma una imagen satelital medido en metros sobre el terreno, determinado por la altura del sensor respecto a la tierra, el ángulo de visión y la velocidad de escaneado. La resolución espacial es semejante con el tamaño del objeto a identificar, definiendo la escala de trabajo (Geoservice Peru, 2004). En el caso de las imágenes Landsat TM, la resolución espacial es semejante de 30 x 30 m en las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7.

- **Resolución temporal**

  La resolución temporal es el tiempo que el sensor obtiene una nueva imagen sobre un punto de la superficie terrestre. Este elemento resulta importante para estudiar cambios en el océano o superficie de la tierra. El satélite Landsat toma imágenes de la misma área

cada 16 días; mientras las imágenes SPOT cada 26 días (Chuvieco, 2008).

- **Resolución espectral**

  Es la característica de un sensor para discriminar diferentes objetivos sobre la superficie de la tierra. Esta determinado por el valor de intervalos de longitud de onda y el número de bandas registradas por el sensor. La resolución espectral será mayor cuando el intervalo de ancho de longitud de onda sea menor y mayor el número de bandas (Paulino, 2017).

- **Resolución radiométrica**

  Es la capacidad que tiene el sensor para detectar el número de niveles de grises el cual depende de su sistema de grabación y es expresado en función a números binarios "*bits".* Para el caso del sensor de Landsat TM, posee un sensor de 8 bits de resolución, equivalente a un rango de 2_8 =256 niveles de grises. Mientras que el sensor Landsat OLI, posee un sensor de 12 bits de resolución, equivalente a un rango de 2_{12} =4096 niveles de grises (Paulino, 2017).

2.2.4. Programa Landsat

Fue puesto en órbita desde 1972, con la denominación de ERTS-1, del servicio geológico de la NASA. Este programa revoluciono la forma de ver y estudiar el planeta respecto a la identificación y clasificación de las diferentes cubiertas de la superficie terrestre, dando registros continuos de cambios naturales e inducidos por el hombre en el paisaje global. Proporcionando información desde varios años para ayudar a los administradores de la tierra a tomar decisiones de los recursos naturales y el medio ambiente. Actualmente, el programa cuenta con 8 misiones, siendo la última misión Landsat 9, lanzando el 27 de septiembre del 2021; esta última es la versión mejorada ampliando y

mejorando el registro de imágenes multiespectrales (USGS, 2015). Para la investigación se utiliza Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, que se describen a continuación

a. Satélite Landsat 5 Tm

Fue lanzado el primero de marzo de 1984 y fue retirado en enero del 2013. Entre sus características transportaba los instrumentos *Multispectral Scanner System* (MSS) y *Thematic Mapper* (TM), incluía una resolución espacial de 30 m en las bandas de visible, IR cercano, SWIR y 120 m en la banda IR térmico (Tabla 2). La escena terrestre registrada por este sensor es de 185 km. Sus aplicaciones se extienden a campos como la detección de cambios globales, agricultura, calidad del agua y administración de recursos. (USGS, 2015).

Tabla 2. *Bandas espectrales de Landsat 5 TM*

Sensor	Banda	Resolución Espectral (µm)	Resolución Espacial(m)
TM	Banda 1 - Azul	0,45 - 0,52	30
TM	Band 2 - Vede	0,52 - 0,60	30
TM	Banda 3 - Rojo	0,63 - 0,69	30
TM	Banda 4 -Infrarrojo Cercano	0,76 - 0,90	30
TM	Banda 5 - Infrarrojo de onda corta SWIR 1	1,55 - 1,75	30
TM	Banda 6 - Térmico	10,4 -12,5	60
TM	Band 7 - 2 Infrarrojo de onda corta SWIR 2	2,08 - 2,35	30

Nota. Información obtenida del Servicio Geológico de los Estados *Unidos (USGS, 2015)*

b. Satélite LANDSAT 8 OLI

Fue lanzado el 11 de febrero del 2013, llevando a bordo los sensores Operational *Land Imager* (OLI) y *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Consta de 9 bandas espectrales (OLI) que recopilan datos a una resolución de 30 m regiones de longitud de onda visible, IR cercano y SWIR, y una banda pancromática de 15 metros. También tiene 2 bandas térmicas (TIRS) (USGS, 2015).

Tabla 3. *Bandas Espectrales de Landsat 8 OLI*

Sensor	Banda	Resolución Espectral (µm)	Resolución Espacial (m)
OLI	Banda 1 - Aerosol costero	0,43 - 0,45	30
OLI	Band 2 - Azul	0,45 - 0,51	30
OLI	Banda 3 - Verde	0,53 - 0,59	30
OLI	Banda 4 - Rojo	0,64 - 0,67	30
OLI	Banda 5 -Infrarrojo Cercano	0,85 - 0,88	30
OLI	Banda 6 - 1 Infrarrojo de onda corta SWIR 1	1,57 -1,65	30
OLI	Band 7 - 2 Infrarrojo de onda corta SWIR 2	2,11 – 2,29	30
OLI	Banda 8 - Pancromática	0,50 - 0,68	15
OLI	Banda 9 - Cirro	1,36 - 1,38	30
OLI	Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS)1	10,60 - 11,19	100
OLI	Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50 - 12,51	100

Nota. Información obtenida del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2015)

2.2.5. Sistemas de información geográfica (SIG)

Se define SIG como la unión de información digital y programas informáticos para un análisis de objetivos concretos para la planificación y gestión. La información obtenida de un SIG, da un valor añadido a la

teledetección permitiendo almacenar la información espacial para un análisis, modelado, representación y salida de datos georreferenciados (Alonso Sarría, 2015). Existen diferentes SIG que se especializan en diferentes áreas, por ejemplo, para el caso de TerrSet de *Clark Laboratories* presenta análisis profundo de forma matricial (ráster). Mientras tanto ArcGis presenta avances significativos en análisis vectorial y representación de los datos. Además, también existen otros SIG para la limpieza de las coberturas como el Erdas Imagine-Hexagon AB.

2.2.6. Procesamiento de imágenes satelitales

a. Preprocesamiento

Las imágenes satelitales por su naturaleza multiespectral hacen que estén compuestas por diferentes bandas. Esta información en diferentes colores permite la interpretación. El procesamiento inicial de las imágenes satelitales se realiza para eliminar errores en la localización de los pixeles que la componen detectados en las imágenes (Chuvieco, 2008).

- Corrección radiométrica

  Esta corrección es una técnica que modifica los niveles digitales ND originales, realizando una restauración de líneas o pixeles perdidos o de la mala calibración entre detectores, producto del ruido introducido por la atmosfera al sensor (Chuvieco, 2008).

- Corrección atmosférica

  En la corrección atmosférica se eliminan los efectos atmosféricos como el vapor de agua, aerosoles y otros factores que alteran los valores de los pixeles (Sánchez, 2012).

- Corrección geométrica

  Una imagen satelital, no posee información georreferenciada debido a que cada pixel se encuentra en un sistema de coordenadas arbitrario de tipo de fila y columna. La corrección geométrica a diferencia de la corrección radiométrica no modifica los ND de los pixeles, sino solo su posición y sus coordenadas. Existen dos procedimientos una es la rectificación imagen a imagen y otra es la rectificación imagen a mapa (Duran et al., 2008).

b. Realce

Las imágenes satelitales registran en simultaneo varias regiones del espectro electromagnético y pueden ser estudiadas individualmente en escalas de grises o según el modelo de color RGB. La Unión de bandas ayuda a realzar una imagen multiespectral y potenciar su uso (Arenas et al.,1998, citado por Gamarra, 2021)

c. Procesamiento-Clasificación supervisada

La clasificación supervisada que el técnico que este realizando la tarea, indique al software como debe clasificar cada uno de los pixeles de la imagen de identidad desconocida ubicados dentro de las ares de entrenamiento que tienen pixeles conocidos. Es a partir de esta imagen que se obtiene la cartografía e inventarios temáticos en estadísticas, consta de las siguientes fases:

- Fase de entrenamiento (definición de categorías)
- Fase de asignación (agrupación de los pixeles en categorías)
- Comprobación de resultados (Chuvieco & Salas 1996).

2.2.7. Cobertura de la tierra

La cobertura de la tierra (CT) es la cobertura biofísica que se observa desde la superficie de la tierra (Di Gregorio y Jansen, 2005). Refiriéndose a la descripción de cubiertas vegetales cuerpos de agua, materiales terrestres y elementos antrópicos existentes sobre la superficie terrestre, evidenciando la transformación en la CT, sea por cambios naturales, modificados o artificiales (Gregorio, 2016).

2.2.7.1. Efecto de la cobertura vegetal

La vegetación cumple la función de una capa amortiguadora y protectora entre la atmosfera y el suelo, además de mejorar la retención en la humedad del suelo reduciendo la evaporación. Los componentes aéreos de la vegetación absorben energía del agua en sus diferentes estados presentes en la atmósfera y también del aire disminuyendo los efectos directos en el suelo; mientras el sistema radicular contribuye a la resistencia mecánica del suelo (Morgan & López 1997).

2.2.7.2. Sistema de clasificación de uso de la tierra en el Perú

El sistema de clasificación en Perú hace uso de la metodología *Corine Land Cover* (CLC), que es un proyecto enfocado a la construcción de mapas de cobertura y uso de tierra. Esta metodología emplea una leyenda jerárquica, vinculando diferentes niveles de detalle espacial, con distintos niveles de detalle temático. El MINAM junto a la Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT) ha desarrollado el proyecto de Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de Tierra en la cobertura andina. Cada país tiene la libertad para modificar la leyenda, ampliarla o detallarla, mientras que estas modificaciones no alteren los compromisos de reporte y monitoreo a nivel de los cuatro países de la región (Arnillas et al., 2012).

2.2.7.3. Coberturas de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca

a. Pajonal

Esta formación vegetal abarca gran extensión de la reserva, donde domina la especie de *Festuca,* salpicada de parches de *Stipa,* entre las zonas de Sumbay y Salinas. Es posible encontrar esta vegetación en cuatro de las zonas de vida existentes en la reserva. Los pajonales son considerados por su gran valor forrajero para la alimentación de la ganadería, en camélidos domésticos como las llamas (Quipuscoa y Huamantupa, 2010; Talavera et al., 2010).

b. Bofedal

Los bofedales se forman en las cabeceras de las cuencas, a lo largo de ríos y manantiales. Se componen de especies vegetales que se originan en ambientes húmedos de carácter permanente. Considerándose una de las principales fuentes forrajeas de alimentación del ganado y única reserva de agua dulce para asentamientos humanos aledaños a estos (Quipuscoa y Huamantupa, 2010, Talavera et al., 2010).

c. Queñual

Los queñuales conforman bosques de la especie *Polylepis rugulosa* que pueden llegar a medir 12 m, ubicados en la zona de vida matorral desértico-alpino subtropical. Es posible encontrar estos bosques en las faldas del volcán Chachani y Pichupichu (Quipuscoa & Huamantupa, 2010).

d. Yaretal

Las yaretas son plantas resinosas, que crecen de forma lenta formando grupos arbustivos, se desarrolla entre los 3800 a 5000

m. Antiguamente fueron utilizadas como combustible. (Quipuscoa y Huamantupa, 2010, Talavera et al., 2010)

e. Tolar

Esta formación vegetal comprende las especies *Parastrephia, Lepidophyllum y Baccharis,* arbustos de estatura baja y escasa palatabilidad forrajea. Están presentes en las 6 zonas de vida (Quipuscoa y Huamantupa, 2010, Talavera et al., 2010).

f. Suelo sin o poca vegetación

El área de estudio al estar ubicado en una planicie elevada en pampas de origen volcánico constituidas por suelos con diferentes grados de textura que establecen la calidad como el porcentaje de cobertura vegetal (SERNANP,2010).

g. Superficie de agua

En la reserva se encuentran dos cuencas, la del río Chili y la laguna de Salinas, sitio RAMSAR que tiene poca profundidad y único lugar donde se encuentran los salares. También se han construido obras hidráulicas de gran magnitud para fines agrícolas y producción de energía eléctrica. Se tiene la Represa El Frayle, Represa Pillones, Reserva de Aguada Blanca, Dique de los Españoles, sitio RAMSAR, la central hidroeléctrica de Charcani V y la Represa de Chalhuanca (Sedapar,2018).

h. Nevados

Los nevados se encuentran por encima de los 4 0000 m, son masas de hielo que cubren grandes extensiones de montañas, en la reserva son fundamentales para mantener las dos cuencas hidrográficas. Los nevados que podemos encontrar son: Chachani, Misti, Pichupichu, Ubinas, Chuccura y Huarancante (Nina, 2015).

i. Área artificial

Estas áreas están conformadas por ciudades grandes y pequeñas, poblaciones de comunidades campesinas, áreas periféricas de gradual incorporación a zonas urbanas como para fines industriales, recreativos, comerciales y otros tipos de uso de suelo. También comprenden territorios asociados con actividades mineras, explotación de sal, construcciones destinadas a instalaciones hidráulicas e infraestructura de comunicaciones como carreteras y vías férreas que atraviesan la reserva (IDEAM, 2010).

j. Área agrícola

Son terrenos dedicados a la producción de alimentos que pueden ser áreas de cultivo permanente o de rotación. En la reserva las condiciones climáticas no posibilitan que haya mucha actividad agrícola (IDEAM, 2010) y es posible encontrar Mosaico de Cultivos en la zona de Amortiguamiento.

2.2.7.4. Causas del cambio de cobertura en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca

Según la publicación que realizó PROFONANPE y el SERNANP en el año 2010, indican que las posibles causas del cambio de cobertura en la RNSAB pueden ser las siguientes:

- **El cambio climático:** El incremento de temperaturas a nivel mundial ha ocasionado la desaparición de los glaciares y que la capa de nieve esté disminuyendo en las montañas de la RNSAB. Reduciendo los volúmenes de agua, por lo tanto, afecta la subsistencia de los habitantes de la cuenca del río Chili y también la flora y la fauna que habitan dentro de la reserva.

- **Actividades ganaderas:** Es una de las fuentes de ingresos de la población que vive en los alrededores de esta área natural protegida; dedicada a la crianza de camélidos domésticos como llamas y alpacas. Esta actividad a través de los años va causando el sobrepastoreo. Existe también un programa de manejo de vicuñas para esquilarlas y es actualmente muy aprovechado por esta población con apoyo del SERNANP.

- **Extracción de ccapo o tola:** La tola es una especie de planta resinosa, lo cual hace que sirva de combustible. Siendo un recurso explotado por la población, lo que ocasiona la degradación de varias hectáreas en la reserva.

- **Vías de transporte:** La carretera interoceánica ocasiona fragmentación del habitad natural, por lo tanto, pérdida de biodiversidad en cuanto a flora y fauna.

- **Minería**: En esta reserva se tiene la Laguna de Salinas, donde parte de la población extrae sal común de forma artesanal y una compañía minera que extrae boratos a gran escala. En los últimos años se han encontrado metales preciosos en algunos sectores de la reserva, lo que ha incitado a los pobladores a extraer los minerales en bruto para transportarlo a otras áreas para la purificación del mineral, estando en proceso de formalización de esta actividad.

- **Crecimiento poblacional:** Según INRENA (2007), los primeros pobladores de la RNSAB habitaron la zona hace 8000 años; lo que se afirma debido a las pinturas rupestres encontradas, como las de Sumbay y Mollepunku. A 4 300 m, no es posible la producción agrícola, pero sí la caza y crianza de camélidos. En el plan Maestro de la RNSAB del 2006 al 2011 la reserva tiene una población de 3 205 habitantes donde el 75% vive en los distritos

de San juan de Tarucani (49%) y San Antonio de Chuca (26%) y el otro 25% se distribuye en otros distritos. Mientras en la zona de amortiguamiento existe 3 574 pobladores, sumando un total de 6779 habitantes.

2.2.8. Validación de la clasificación

- **Tasa de cambio de uso y cobertura de la tierra**

La tasa de cambio se cuantificó mediante un análisis de la dinámica de la cubierta vegetal relacionado con el espacio y el tiempo, lo que servirá de indicador de la velocidad que presentan los cambios en la cobertura.

La FAO (1996) propone la fórmula de tasa de cambio de cobertura de la tierra para calcular el cambio en porcentajes y la tasa de cambio en hectáreas por año (Temesgen et al., 2014), calculándose a partir de las ecuaciones 1 y 2, que determinaran la cantidad de cambios experimentados por periodos de cada categoría

$$Tc\ (\%) = \left\{\left[\frac{S2}{S1}\right]^{1/n} - 1\right\} x100 \qquad \textit{Ecuación 1}$$

$$Tc(ha/año) = \frac{S2-S1}{n} \qquad \textit{Ecuación 2}$$

Donde:

Tc = Tasa de Cambio en (%)

S1 = Superficie en la fecha inicial

S2 = Superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

- **Matriz de confusión**

Esta matriz se obtiene al superponer mapas de dos fechas distintas para analizar los datos. De este modo, la matriz muestra que las categorías de la fecha inicial se acomodan en filas y las categorías de la fecha final en columnas, donde la diagonal de la matriz mostrará la cantidad total de transiciones entre la fecha inicial y la fecha final, el resto corresponde a todas las combinaciones posibles que resulta del intercambio de los datos de fechas (Molinero, 2001).

Tabla 4. *Matriz de confusión para un periodo de dos años*

Categorías	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría n	Tota T1	Pérdidas
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{2n}	P_{2+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{3n}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}	P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{nn}$
Tota T2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+2}	P_{+n}	1	
Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{23}$	$P_{+n} - P_{nn}$		

Nota. Adaptado de Molinero (2001)

- **Índice Kappa**

El índice de Kappa es una medida estadística que mide la exactitud entre la clasificación digital y la información de referencia comparada con aquella que se podría generar al azar. Los valores tienen un rango 0 a 1, mientras el valor este más cercano a 1 indica mayor fiabilidad del resultado, habiendo discriminado adecuadamente las categorías alejándose de ser un proceso aleatorio (Cerda y Villaroel, 2008).

Tabla *5.* *Valores del Coeficiente Kappa*

Coeficiente Kappa	Fuerza de Concordancia
<0.20	Pobre
0.21 - 0.40	Débil
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Buena
0.81 - 1.0	Casi Perfecta

Nota. Información tomada de Cerda y Villarroel (2008).

2.2.9. Modelamiento Dinámico

El modelamiento dinámico constituye un modelo basado en expresiones matemáticas que describen relaciones existentes entre las magnitudes característicos del sistema. Se calculan a partir del análisis de asociación entre variables seleccionadas, que sirven para obtener las probabilidades de transición a la fase de calibración y simulación del submodelo (Turpo, 2018).

2.2.9.1. Modelos y Software para modelar los cambios de cobertura de la tierra

- **CA_Markov**

El modelo CA Markov esta implementado en el software TerrSet (ClarkLabs), se fundamenta en las cadenas de Markov combinado con autómatas celulares (CA), que permiten hacer predicciones de coberturas de la tierra en función a pixeles vecinos (Yang et al., 2012). La incorporación de ambos modelos permite la modelación de cambios espaciales y temporales del uso de la tierra de manera eficiente (Guan et al., 2011). De esta forma el módulo de CA_Markov permite realizar predicciones de la cubierta terrestre que suma un elemento de contigüidad espacial, así como también el conocimiento

sobre la distribución espacial probable de las transiciones al análisis de cambio Markov (Eastman, 2012).

- **Modelador de cambios en el terreno (LCM)**

Es un software integrado disponible en TerrSet para analizar los cambios en la cubierta de terreno, proyectar su curso en el futuro y evaluar sus implicaciones en el cambio del hábitat y la biodiversidad. LCM describe, caracteriza y modela transiciones entre las categorías, para ello usa las "variables explicativas de distinta naturaleza (drivers) y las categorías de cobertura de suelo o las transiciones", realizando una evaluación multicriterio o regresión logística en CA_MARKOV y redes neuronales (Eastman, 2012).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Imagen satelital

Una imagen satelital es la información que se obtiene por medio de los sensores ubicados en plataformas que orbitan la Tierra. La imagen de un satélite se encuentra en formato ráster conformados por pixeles y cada uno de estos tiene un valor digital (Amézquita y Pérez, 2009).

2.3.2. Reserva Nacional

Son áreas naturales protegidas por el estado destinadas para la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos de flora y fauna silvestre, mediante planes de manejo donde está permitido el uso y aprovechamiento sostenible de recursos naturales por las poblaciones locales (SERNANP, 2012).

2.3.3. Degradación del suelo

La degradación del suelo constituye la disminución, perdida de la capacidad productiva de la tierra, la cual está relacionada con

factores del clima, geomorfología, factores bióticos y especialmente por la mala gestión del recurso natural, lo que conlleva a la desertificación del suelo (López, 1994).

2.3.4. Clasificación supervisada

La clasificación supervisada tiene como base la identificación de los sitios de entrenamiento (agrupación de pixeles) donde el software realiza un análisis de firmas espectrales que obtiene de las bandas de cada imagen satelital, siendo necesaria la participación activa del analista (Monterroso, 2014).

III. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo cuantitativa con un alcance exploratorio según el alcance y los objetivos planteados (Hernández et al., 2014).

Se desarrolla a partir de información histórica, interpretación de imágenes satelitales Landsat y la verificación de campo, permitiendo describir circunstancias e identificar cambios de cobertura de la tierra en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca al año 2050.

Respecto al nivel de investigación, asume el diseño no experimental y longitudinal porque analiza y cuantifica datos en diferentes periodos de tiempo, para un análisis en la evolución de los cambios de cobertura en el área de estudio (Hernández et al., 2014).

3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

3.2.1. Ámbito Temporal

La temporalidad de las imágenes Landsat 5 fue del 10/07/1991, 17/06/2006 y Landsat 8 fue del 26/06/2021.

La salida de campo se realizó durante el mes de julio del año 2021.

3.2.2. Ámbito Espacial

La Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, esta situando entre los departamentos de Arequipa (90% de territorio) y Moquegua (10% de territorio), tiene una superficie de 366 936 ha y sumado la zona de amortiguamiento de la Reserva hace un total aproximado de 677 529,99 ha. La reserva abarca niveles altitudinales desde los 2800 a más de 6000 m de altitud y su posición geográfica está entre las coordenadas 15°45´ 05” y 16° 22´55” latitud y 71° 34´ 00” y 70° 54´ 40“longitud (Ver Figura 2).

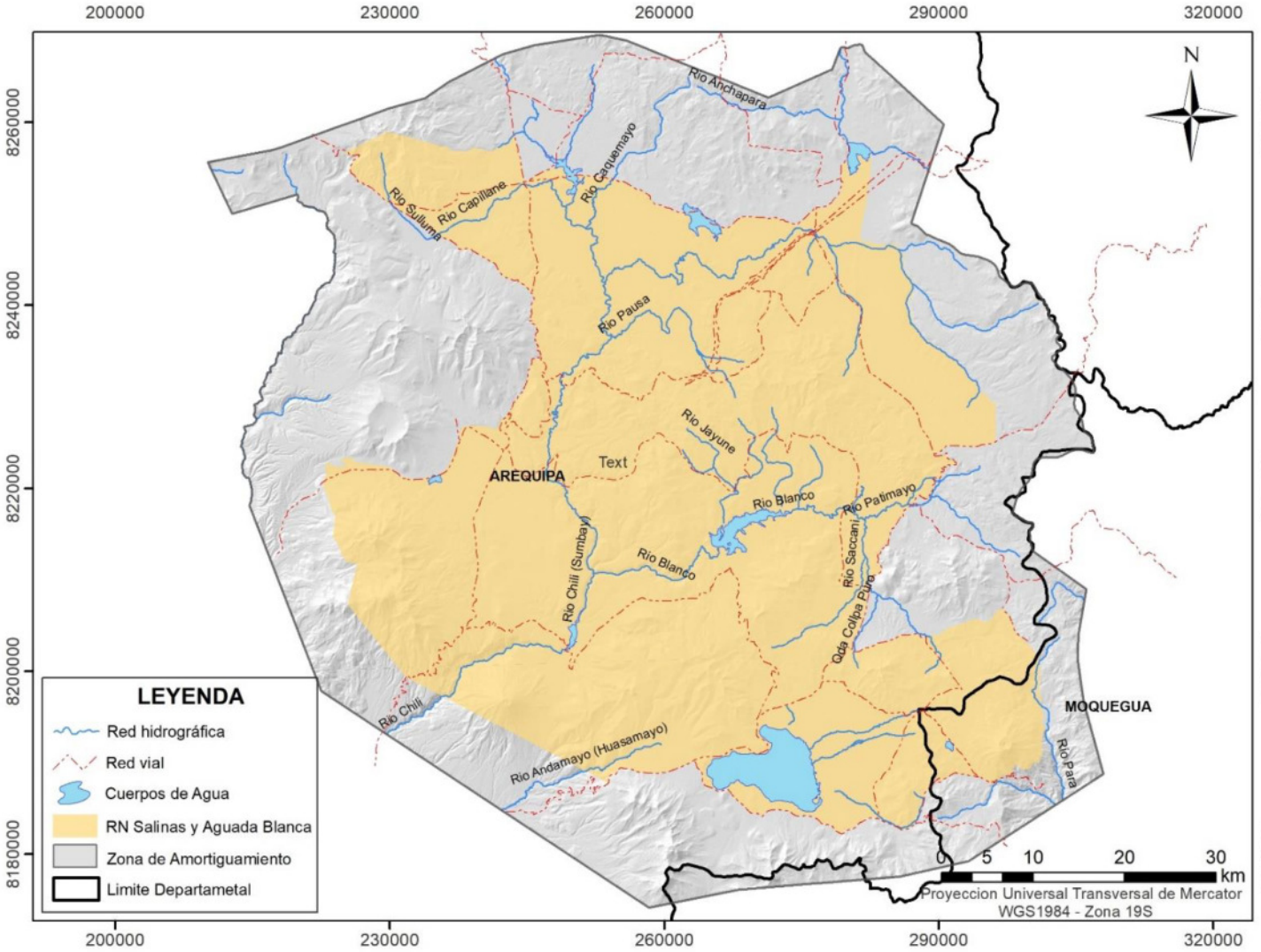


Figura 1. Mapa de Ubicación de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca.

3.2.2.1. Descripción de la zona de estudio

La Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB) fue creada mediante Decreto Supremo Nº 70-79-AA, el 9 de agosto de 1979. Ocupa un área de 366 936 ha y abarca niveles altitudinales que van de los 2800 a más de 6000 m de altitud en los departamentos de Arequipa (provincia de Arequipa y Caylloma) y Moquegua (Provincia General Sánchez Cerro). Su finalidad es promover la conservación de la vicuña y la protección de otras especies de fauna silvestre como flamencos y tarucas. Fue creada con un propósito de recuperación, pero en la actualidad se enfoca en la restauración de sus ecosistemas y la promoción de la belleza paisajística, esencialmente de sus pajonales, tolares, yaretales y queñuales. La reserva tiene clasificación de uso directo, donde es posible las actividades productivas como la crianza de camélidos domésticos, turismo, pesca, extracción de vegetación, explotación de minerales y en menor proporción la agricultura, mediante un aprovechamiento sostenible de los recursos (SERNANP, 2019).

- **Geomorfología**

Según Zeballos et al. (2010) la RNSAB es una meseta donde se encuentra la cadena occidental de volcanes como pampas de origen volcánico, teniendo mucha influencia en los suelos de la reserva, que son considerados en su mayoría de suelos estepa de influencia altiplánica. Asimismo, los suelos pueden ser turbosos donde está la cobertura de bofedales fuente alimenticia de la fauna presente en el lugar, suelos salinos en todo el alrededor de la laguna de salinas, suelos aluvio-coluviales, presentando coberturas herbáceas y en los suelos planos con ligeras ondulaciones se encuentra la cobertura de pajonales. Por último, los suelos sin vegetación, que se sitúan alrededor de los volcanes y/o montañas a gran altura sobre el nivel del mar como también en áreas en donde el suelo presenta problemas edáficos.

- **Hidrología**

La reserva comprende dos cuencas altoandinas. La principal es la cuenca alta del río Chili, que es fuente natural de agua para consumo humano, uso agrícola, minero e industrial, y para la generación de energía mediante hidroeléctricas, abasteciendo a la población de Arequipa y zonas colindantes. La segunda cuenca, es la Laguna de Salinas cuenca clasificada como endorreica está relacionada con los manantiales que abastecen la cuenca oriental de Arequipa, denominada "zona no regulada del Chili" (PROFONANPE – SERNANP, 2010).

- **Climatología**

La reserva posee una variedad de climas determinados por la altura y la sequedad. Estas variaciones son típicas de climas desérticos y de montaña, presentando diversas temperaturas durante el día y la noche (Montenegro et al. 2009). El SENAMHI desarrolló el Mapa Climático de Perú según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - SENAMHI (2020). Identificando 9 climas en el área de estudio, mostradas en la Figura 2.

- ✓ Clima de tipo Semiseco, semi frígido y con invierno seco - **C (i) D'**: Está por encima de los 4500 m.s.n.m. del flanco occidental de la cordillera de los andes, la temperatura máxima es de 15°C y temperatura mínima de -7°C, los acumulados anuales de precipitación alcanzan valores entre los 500 mm a 700 mm aproximadamente, abarcando el 60% de la reserva.

- ✓ Clima de tipo Lluvioso, semifrígido y con invierno seco - **B (i) D'**: Está por encima de los 4800 m.s.n.m. del flanco occidental de la cordillera de los andes, la temperatura máxima es de 15°C y temperatura mínima de -7°C, los acumulados anuales de precipitación alcanzan valores entre los 500 mm a 700 mm aproximadamente, abarcando el 11% de la reserva.

- ✓ Clima de tipo Semiseco, frío y con invierno seco - **C (i) C'**: Está por encima de los 4000 m.s.n.m. del flanco occidental de la cordillera de los andes, la temperatura máxima es de 17°C y temperatura mínima de -7°C, los acumulados anuales de precipitación alcanzan valores desde los 200 mm a 700 mm aproximadamente, abarcando el 17% de la reserva.

- ✓ Clima de tipo Lluvioso, frío con humedad durante todo el año - **B (r) D'**: Está por encima de los 4700 m.s.n.m., la temperatura máxima es de 15°C y temperatura mínima de -3°C, los acumulados anuales de precipitación están entre los valores de 700 mm a 900 mm aproximadamente.

- ✓ Clima de tipo Semiárido, frío con invierno seco - **D (i) C'**: Está por encima de los 2500 m.s.n.m. y 2000 m.s.n.m, la temperatura máxima es de 23°C y temperatura mínima de 1°C, los acumulados anuales de precipitación alcanzan valores entre los 500 mm y 700 mm aproximadamente, abarcando el 11% de la reserva.

- ✓ Clima de tipo Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año, templado - **E (d) B'**: Está por debajo de 1700 m.s.n.m, determinado en gran medida por el Anticiclón del Pacífico Sur, la temperatura máxima es de 19°C y 3°C, los acumulados anuales de precipitación varían desde los 200 mm hasta los 700 mm aproximadamente. Este clima se encuentra en la zona de amortiguamiento.

- ✓ Clima de tipo Semiárido con invierno y primavera secos, Templado - **D (i, p) B':** Ubicado entre las cotas de 2500 m.s.n.m. y 2000 m.s.n.m, la temperatura máxima es de 21°C y temperatura mínima de 3°C, los acumulados anuales de precipitación alcanzan valores desde los 50 mm hasta los 120 mm

aproximadamente este clima se encuentra en la zona de amortiguamiento.

- ✓ Clima de tipo Semiárido, frío, con invierno y primavera secos - **D (i, p) C'**: Ubicado entre las cotas de 2500 m.s.n.m. y 2000 m.s.n.m, la temperatura máxima es de 19°C y temperatura mínima de -1°C, las acumulaciones anuales de precipitación alcanzan valores desde los 50 mm hasta los 120 mm aproximadamente, este clima se encuentra en mayor proporción en la zona de amortiguamiento.

- ✓ **Glaciar:** Está por encima de los 5000 m.s.n.m., la temperatura máxima es de 11°C y temperatura mínima de -1°C, los acumulados anuales de precipitación varían de 900 mm a 1500 mm aproximadamente.

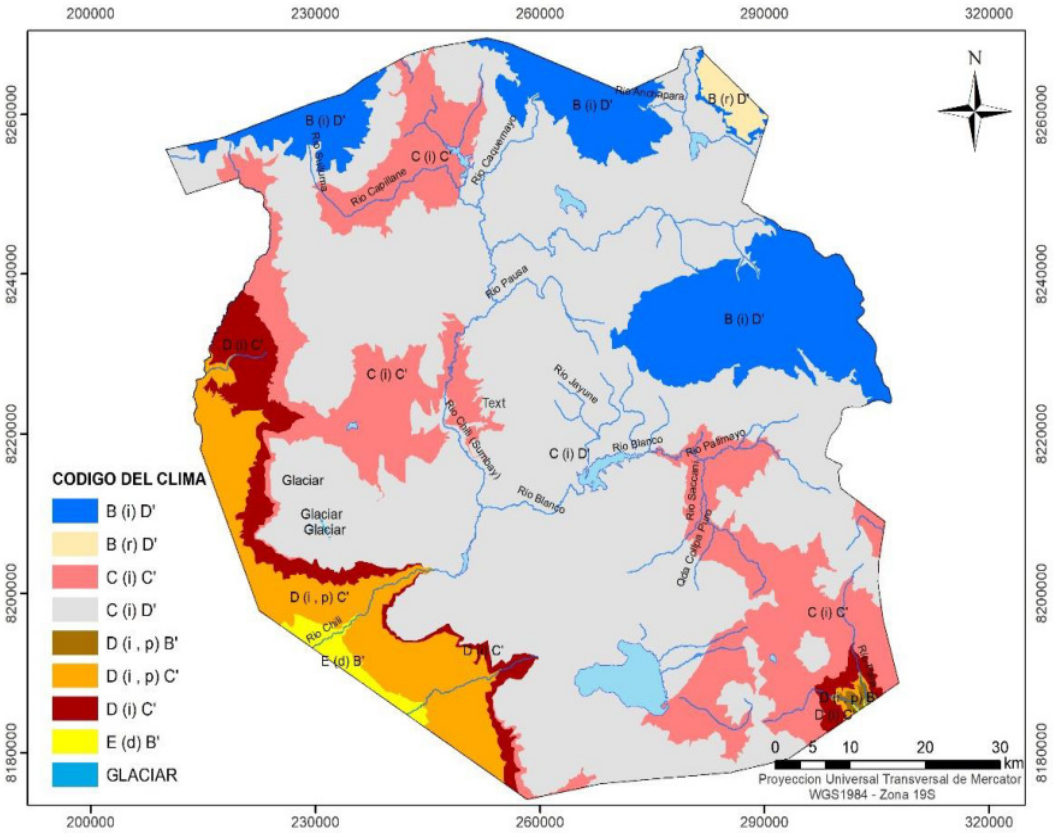


Figura 2. Mapa Climático de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca. Elaboración propia en base al Mapa Climático del Perú del SENAMHI (2020)

- **Clasificación de Zonas de vida**

Según Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1995) fundamentado en las zonas de vida propuesta por Holdrige, que estratifica áreas naturales en base a parámetros como la biotemperatura, precipitación y evapotranspiración potencial. Dentro de la RNSAB, según el ONERN, se identificaron 6 zonas de vida:

- ✓ Matorral desértico-Subalpino Subtropical **(md-SaS):** Su altura va desde los 3950 a 4520 m, la vegetación que se encuentra son gramíneas, asociaciones de tola, queñuales y plantas almohadilladas. En esta zona de vida se encuentran las localidades de pampa Cañahuas, Sumbay, Salinas Huito, Salinas Moche y pampa Aguada Blanca.

- ✓ Matorral desértico-Montano Subtropical **(md-MS)**: Se encuentran asociaciones arbustivas de *Franseria fruticosa*, tolares, y gramíneas *Stipa, Festuca*. Esta zona se encuentra entre los 3500 a 4200 m, ubicando las localidades de Aguada Blanca, El Frayle, pampa de Arrieros, pampa Chilligua, parte alta de Aguada Blanca.

- ✓ Paramo húmedo -Subalpino Subtropical **(ph-SaS):** En esta zona predominan los pajonales de puna, ubicado entre los 4190 y 4700 m. Se encuentran las localidades de pampa y bofedal de Tocra, bosque de piedra de Mauca-Arequipa, alrededores de la laguna del Indio.

- ✓ Tundra húmeda-Alpino Subtropical **(th-AS):** Esta zona se caracteriza por tener un suelo desnudo, de vegetación pobre, la topografía es colinosa accidentada. Ubicado a 4300 m, se encuentra la localidad de Tambo de Ají.

- ✓ Tundra muy húmeda -Alpino Subtropical **(tmh-AS):** La vegetación se encuentra dispersa, con bastante área desnuda, predominando el ichu y *Parastrephia.* La topografía es

accidentada. Se encuentra en alturas entre 4350 a 4700 m. Localidades de Pati, pampa del Confital, Patapampa.

- ✓ Nival Subtropical **(NS):** La vegetación es escasa, conformada por algunas algas en la nieve y líquen. Están por encima de los 5000 m, propio de las cumbres de las montañas

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La presente investigación presenta las siguientes características de población y muestra.

3.3.1. Población

La población abarca los departamentos de Arequipa y Moquegua que conforman la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca y el área de amortiguamiento.

3.3.2. Muestra

La muestra comprende un área de 677 529,99 hectáreas, integrando la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca y el área de amortiguamiento.

Análisis muestral

El análisis muestral se estableció para la salida de campo donde se determinó una muestra representativa para tomar los puntos GPS de reconocimiento de coberturas en base a una muestra aleatoria simple de Chuvieco y Hantson (2010). Calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2(N-1) + Z^2 * p * q}$$ *Ecuación 2*

Donde:

n: Tamaño de la muestra

N: Tamaño de la población (677 529,99 ha)

Z: Valor de la curva normal estandarizada para un nivel determinado de probabilidad, 1.96 (95%).

p: proporción en porcentaje aproximada de aciertos, 50%

q: proporción en porcentaje de errores (q = 1 – p), 50%

e: Error permitido 5% (0.05)

El resultado de la aplicación de la fórmula de la ecuación 2, fue de 384 puntos distribuidos en la totalidad del área de estudio. Posterior a ello, se utilizó el software de ArcGis para la distribución aleatoria de puntos de registro en el área de estudio de acuerdo con las coberturas de la tierra identificadas. En la Tabla 6, se muestra el número de puntos aleatorios registrados por cobertura y la Figura 3 muestra la distribución de puntos aleatorios en el área de estudio.

Tabla 6. *Número de puntos aleatorios registrados por coberturas*

Coberturas	Muestras
Bofedal	50
Vegetación natural	50
Pajonal	114
Área agrícola	20
Área artificial	20
Superficie de agua	10
Área sin o poca vegetación	110
Salares	10

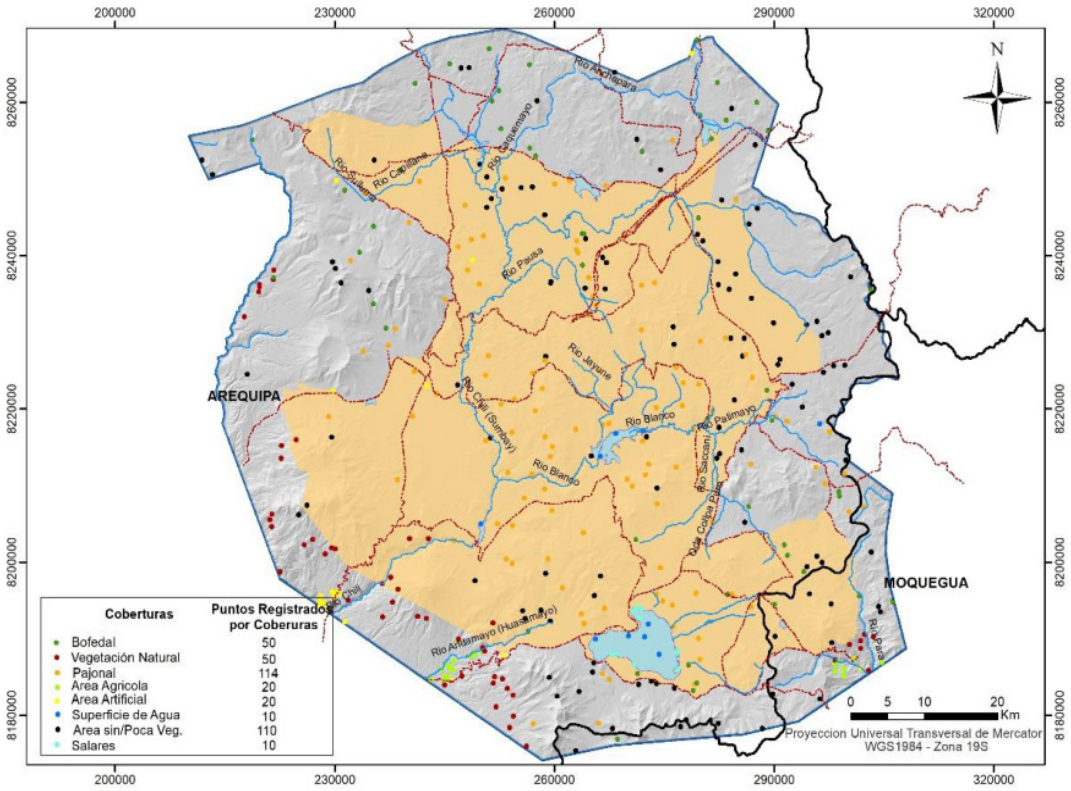


Figura 3. Distribución de puntos aleatorios en el área *de estudio*

3.4. INSTRUMENTOS

Se usaron los siguientes materiales cartográficos:

-Imágenes Satelitales Landsat 5 (2 imágenes) y Landsat 8 (1 imagen).

-Materiales cartográficos como Shapes de límites de la RNSAB, límites distritales y provinciales (Geoservidor), vías primarias y secundarias (MTC), Hidrografía (ANA), centros poblados y/o anexos (INEI).

Respecto a los equipos para desarrollar la investigación en gabinete fueron una Laptop Core i5/8GB Ram, una Memoria USB para guardar los avances y una impresora. También se realizó una salida a campo donde se usó un GPS Garmin 64s y una cámara fotográfica Canon EOS. Para el tratamiento de las imágenes satelitales fue necesario usar softwares como: Erdas, TerrSet - Land Change Modeler LCM, ArcGis, Microsoft Office (Word y Excel) y Google Earth

3.5. PROCEDIMIENTOS

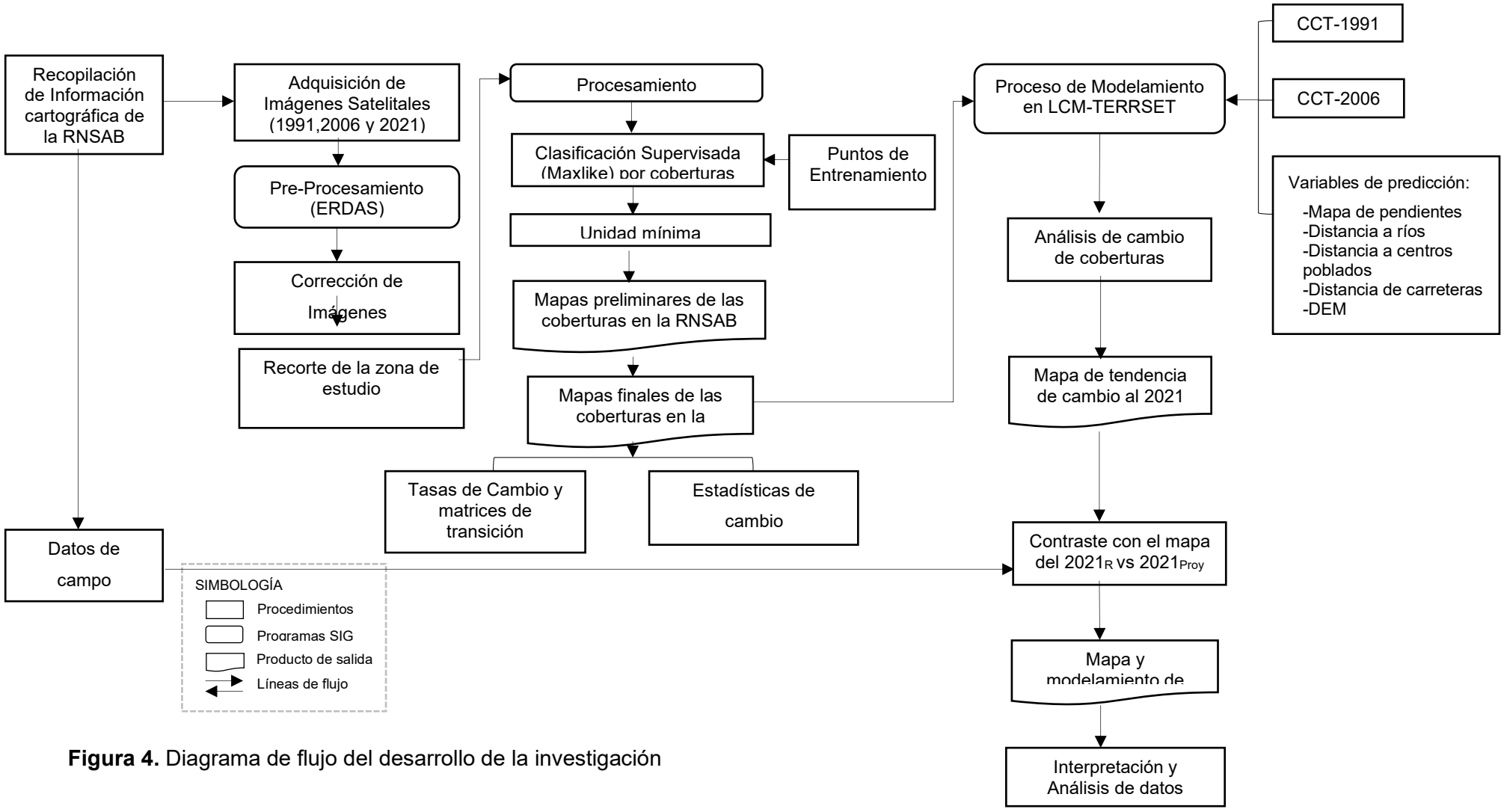


Figura 4. Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación

- **Trabajo preliminar de gabinete**

a. Recopilación de información cartográfica y material satelital

Se recopiló información cartográfica del Geoservidor del MINAM, red vial del MTC, áreas naturales protegidas del SERNANP, división política del Perú elaborado por INEI, información en formato *shape* de: las curvas de nivel y cotas, ríos, lagos y lagunas, centros poblados, carreteras. La importancia de la información cartográfica recolectada radica en comprender la situación de las coberturas de la tierra en los años propuestos.

También se realizó la descarga del modelo de elevación digital (DEM) a través del geoservidor del MINAM, utilizando los siguientes cuadrantes: S16W071, S16W072 y S17W071, S17W072.
En cuanto al material satelital se descargaron de la página de la USGS - Earth Explore, en formato TIFF, teniendo en cuenta los criterios de calidad respecto a la nubosidad esta no sea mayor al 10% para que no cubran el área de estudio escogiendo los meses entre junio y julio. Siguiendo el protocolo de corrección de imágenes satelitales del MINAM, para el tratamiento de imágenes satelitales en un primer plano se utilizó el software Erdas. La información de las imágenes Landsat se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. *Información de las imágenes Landsat adquiridas*

Satélite/Sensor	Pat /Row	Fecha de Imagen	Bandas Espectrales
Landsat 5 TM	003/71	10/07/1991	1,2,3,4,5 y 6
Landsat 5 TM	003/71	17/06/2006	
Landsat 8 OLI	003/71	26/06/2021	2,3,4,5,6 y 7

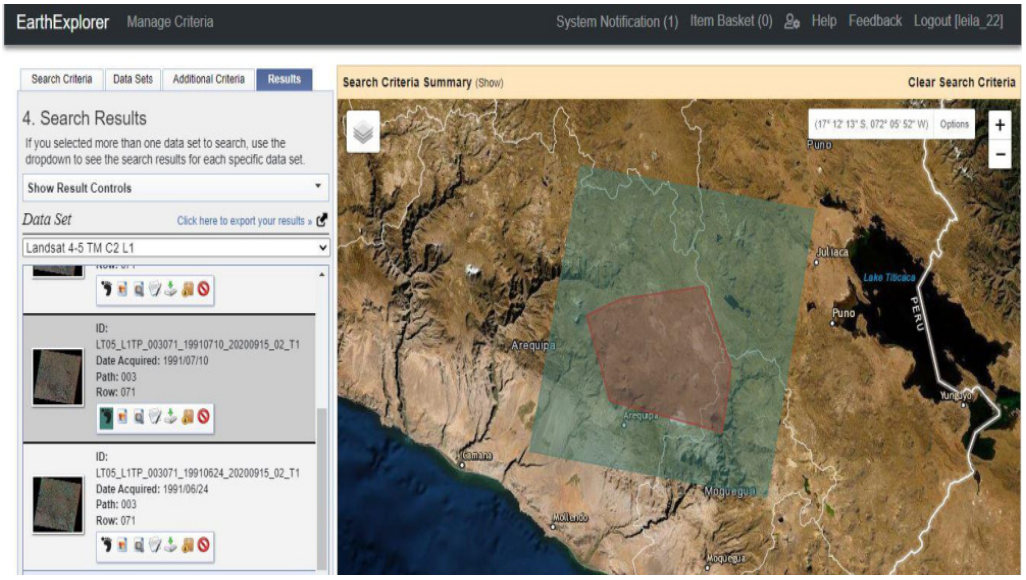


Figura 5. Descarga de imágenes satelitales de la plataforma de la USGS. Tomado de la página de USGS, Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/)

b. Preprocesamiento de imágenes satelitales

Para realizar el preprocesamiento de las imágenes satelitales se utilizó el software ERDAS IMAGINE, aplicando las siguientes correcciones:

- **Corrección atmosférica**

  Con el propósito de corregir y eliminar distorsiones ocasionadas en la atmósfera en este paso nos dirigimos al menú principal de ráster desplegamos el comando *Radiometric* y seleccionamos la opción de *Autonomous Atmospheric Correcction.*

- **Corrección geométrica**

  Se realizó la georreferenciación de las imágenes satelitales con proyección cartográfica UTM zona 19 Sur y sistema WGS 84, corrigiendo las distorsiones y desplazamientos geométricos siendo un

proceso determinante en la posición de los resultados (Cabrera et al., 2011).

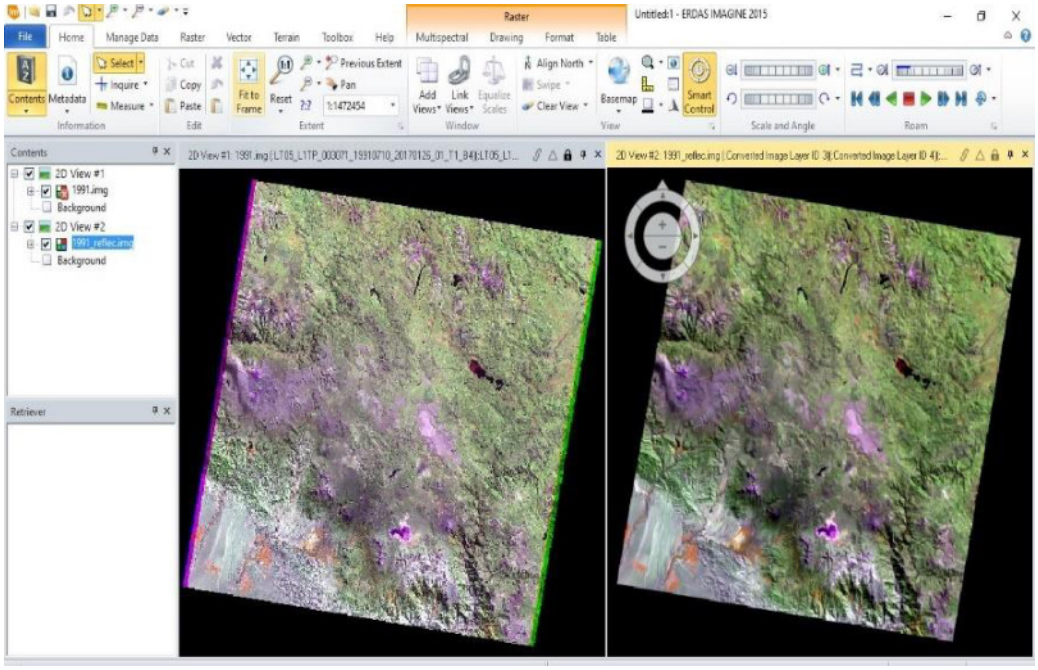


Figura 6. Corrección atmosférica y geométrica - imagen satelital Landsat 5 año 1991

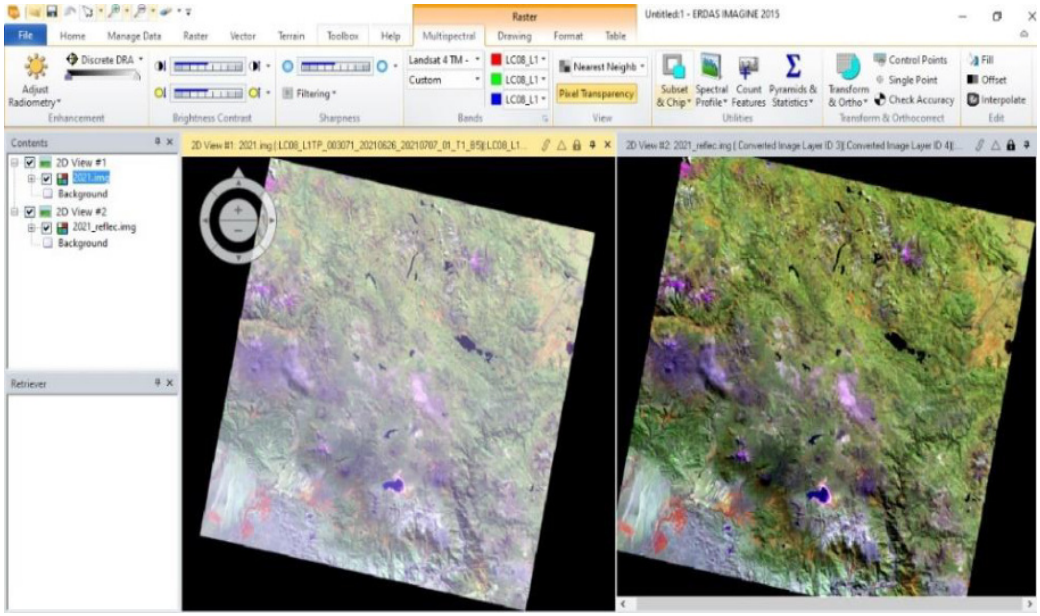


Figura 7. Corrección atmosférica y geométrica - imagen satelital Landsat 8 año 2021

- **Delimitación del área de estudio**

Mediante el programa de ArcGIS se realizó un shapefile del área de estudio para exportarlo al software de ERDAS IMAGINE y realizar el recorte de las imágenes de Landsat 5 y Landsat 8.

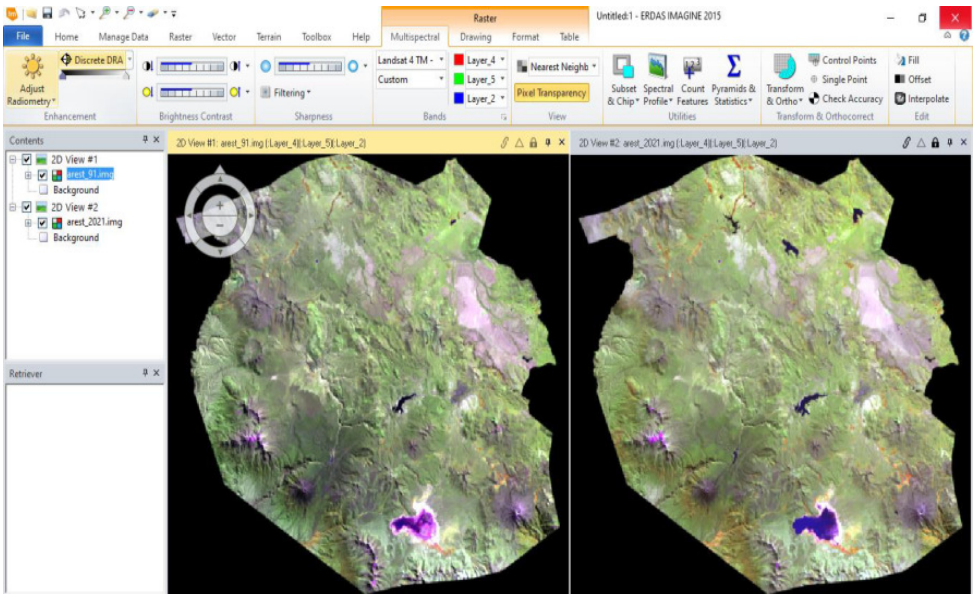


Figura 8. Recorte de las imágenes satelitales en el programa Erdas Imagine.

La imagen de la izquierda es el recorte del área de estudio del año 1991 y la imagen de la derecha es el recorte del área de estudio del año 2021.

c. Identificación de las clases de cobertura y uso de suelo en la RNSAB

Para la identificación de las coberturas se utilizó como referencia la leyenda *Corine Land Cover* adaptada para Perú del MINAM (2016) con el propósito de tener una clasificación estandarizada (Ver Tabla 8).

Tabla *8.* *Categorías de la cobertura de la tierra para la RNSAB*

Niveles	Descripción
Área Agrícola (AAG)	Las condiciones climáticas no posibilitan que haya mucha actividad agrícola; es posible encontrar Mosaico de Cultivos en la zona de Amortiguamiento.
Área Artificial (AAR)	Conformadas por poblaciones de comunidades campesinas, áreas periféricas de gradual incorporación a zonas urbanas. También comprenden territorios asociados con actividades mineras, construcciones hidráulicas y carreteras y vías férreas que atraviesan la reserva.
Bofedales (BO)	Bofedales o tuberas de Distichia, se forman a lo largo de los cursos de agua.
Vegetación natural (VN)	Arbustos, Tolares, Matorral seco, Queñuales, Yaretales.
Pajonales (PA)	Representa la vegetación más representativa especialmente por especies de *Festuca ortophylla y Festuca rigescens.*
Área sin o poca vegetación (ASV)	Tierras desnudas (incluye área erosionadas naturales y también degradadas).
Superficie de agua (SA)	Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes: Lagunas Altoandinas y sitios RAMSAR
Nevados (NE)	A lo largo de la cadena de montañosa y/o volcanes
Salares (SA)	La laguna de salinas considerada sitio RAMSAR en sus alrededores presentan sedimentos de sales.

Nota. La tabla describe las Cobertura de la tierra adaptada para la RNSAB.

- **Trabajo de salida de campo**

La salida de campo se desarrolló con la finalidad de especificar de manera clara las coberturas de la tierra presentes en la reserva para el proceso de clasificación supervisada.

Se utilizó un GPS Garmin 64s para generar datos y colocarlos en las fichas de campo, asimismo fue necesario usar una cámara fotográfica para el registro de las coberturas en fotos.

Los puntos de verificación en campo fueron 384 puntos distribuidos previamente con una red de puntos al azar según las coberturas definidas en toda la reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca.

- **Trabajo en Gabinete**

  - **Combinación de bandas espectrales de Landsat 5 y Landsat 8**

Se realiza la combinación de bandas para reconocimiento de las coberturas.

Tabla 9. *Lista de combinación de bandas*

Sensor	Lista De Combinaciones	R	G	B
Landsat 5 TM	Análisis de Vegetación	5	4	3
Landsat 8 OLI	Análisis de Vegetación	6	5	4

Nota. Tomado de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos- USGS, 2015

  - **Post Proceso**

En esta etapa se trabajó con la resolución espacial mediante los pixeles de imagen satelital multibanda para etiquetar según a la categoría de cobertura de la tierra que existen en la Reserva Nacional

Salinas y Aguada Blanca. A partir de esta imagen se generó la cartografía temática y el inventario estadístico de toda la superficie en estudio (Chuvieco, 1990).

En base en la resolución espacial de las imágenes satelitales Landsat (30 m) el MINAM recomienda trabajar a una escala de mapeo a 1:100000. A partir de lo anterior, el presente estudio utiliza unidades mínimas cartografiables de 25 ha (MINAM, 2011).

- **Áreas de entrenamiento**

  Esta fase comienza con la identificación de categorías. Se pretende clasificar las categorías según los valores numéricos de la imagen Landsat, donde nos apoyaremos de la combinación de bandas 6-5-4 RGB. Se pretende obtener un rango de nivel digital ND por cada categoría de la clasificación para clasificar el resto de los pixeles (Ver Figura 9).

  Las áreas de entrenamiento para el método supervisado requieren previo conocimiento del área de estudio, además de los datos que se recogieron en campo, por lo que se necesitó un GPS para definir con precisión las áreas de entrenamiento, utilizando la metodología de muestreo al azar distribuidos al interior de toda el área de estudio, cerca de las carreteras asfaltadas y/o caminos de herraduras (Chuvieco, 1990).

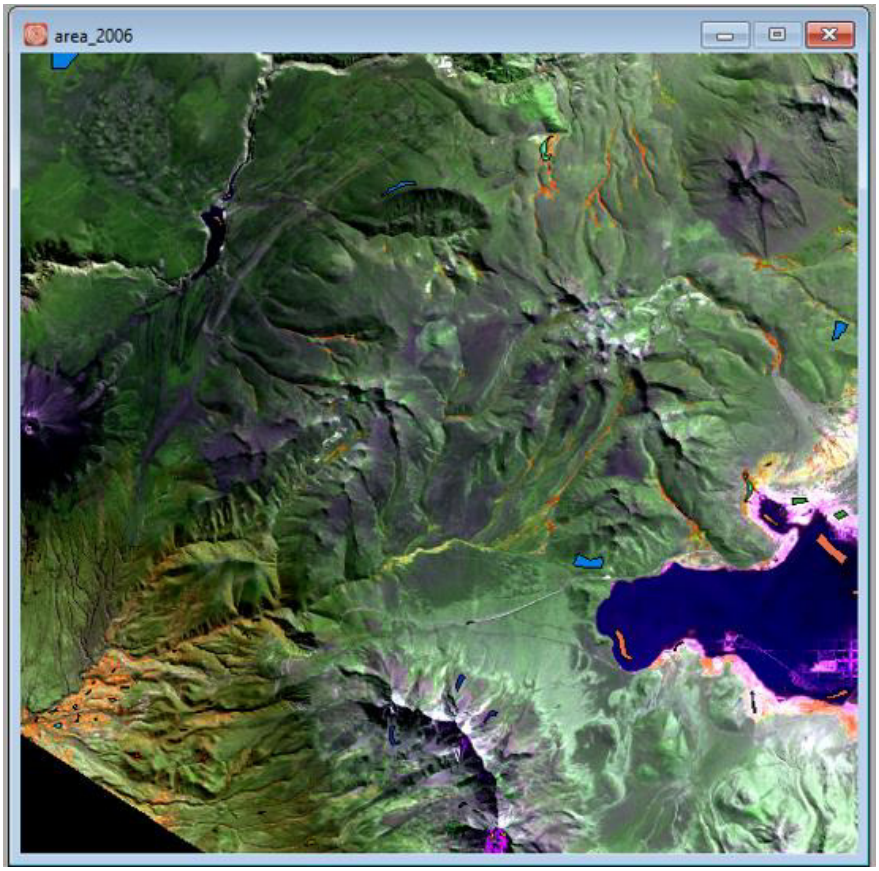


Figura 1. Áreas de Entrenamiento Año 2006. En la figura se aprecia la digitalización de diferentes polígonos por cada categoría como pajonales, bofedales, área agrícola, cuerpos de agua, nevados, área sin o poca vegetación del área de estudio.

- **Clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud**

  Luego de asignar las áreas de entrenamiento, se utilizó el módulo MAKESIG para crear archivos de firmas espectrales basados en los sitios de entrenamiento, donde se incluyó el NDVI, para poder utilizarlo como insumo en el módulo del algoritmo de máxima verosimilitud (MAXLIKE). Este algoritmo genera un mapa preliminar con campos de entrenamiento establecidos.

En adelante se obtienen mapas de cobertura de los años 2021, 2006 y 1991, que servirán de soporte para el modelamiento en el software LCM - *Land Change Modeler (*Modelador de cambios en el terreno) en TerrSet, (Ibañez, 2019). Concluida esta fase, se procede a organizar los resultados en un formato vectorial para su procesamiento (Barba, 2018).

3.6. ANÁLISIS DE DATOS

En esta etapa de la investigación se utilizaron los programas de Microsoft Excel y el módulo *Land Change Modeler* (LCM). Como primer análisis se utilizó:

- **Tasa de cambio de cobertura**

  Se calculó utilizando las ecuaciones 1 y 2, respecto a la tasa de cambio de cobertura, en porcentajes y hectáreas por año, para determinar la cantidad de cambio de cobertura de la tierra de los años 1991, 2006 y 2021, en la RNSAB. Por último, con los valores calculados se hicieron gráficos para plasmar los resultados e interpretar los periodos de estudio.

- **Matriz de confusión**

  Para calcular la transición de los dos periodos de estudio de 1991-2006 y 2006-2021, se utilizó el software TerrSet, comando de CrossTab, donde por cada periodo la diagonal principal de la matriz se muestra el número de pixeles que han sido correctamente clasificados por cada una de las categorías. Por el contrario, los valores fuera de la diagonal indican errores de asignación.

- **Coeficiente Kappa**

  El coeficiente Kappa fue utilizado para indicar la fuerza de concordancia, esta se compone de valores de -1 a +1, mientras más cercano a 1 indica concordancia perfecta, en cambio, si el valor se acerca a 0 indica una concordancia pobre (Cerda y Villarroel, 2008).

Tabla 10. *Valores del Coeficiente Kappa*

Coeficiente Kappa	Fuerza de Concordancia
<0.20	Pobre
0.21 - 0.40	Débil
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Buena
0.81 - 1.0	Casi Perfecta

*Nota. Información t*omada de Cerda y Villarroel (2008).

- **Análisis de validación**

  La validación se realiza únicamente para evaluar la calidad del mapa pronosticado y el mapa real. En esta investigación el análisis de validación se realizó en el módulo de *Land Change Modeler (*LCM) del software TerrSet de *Clark Laboratories,* con apoyo de los cambios históricos de los mapas generados del año 1991 al 2006 para simular la imagen proyectada para el 2021, la cual fue validada con la imagen real del mapa de coberturas del año 2021. El proceso de validación en LCM utiliza el módulo de Cross Tab de tabulación cruzada (Wang et al., 2016). El módulo LCM utiliza redes neuronales, utilizando como insumo las variables explicativas:

  - ✓ Modelo Digital de elevación
  - ✓ Mapa de pendientes
  - ✓ Distancia a redes hidrográficas
  - ✓ Distancia a centros poblados

- ✓ Distancia de carreteras
- ✓ Mapa de cobertura vegetal del año 1991,2006 y 2021.

Las variables mencionadas son necesarias para calibrar el modelo mediante la herramienta de V de Cramer (valoración de 0 a 1), donde los valores >0.15, son útiles para explicar los cambios de cobertura de la tierra (Leta et al., 2021).

Por último, para modelar los cambios de cobertura de la tierra del año 2021 al 2050, fue necesario el método de cadenas de Markov que se encuentra en el panel Change Prediction, “donde es necesario seleccionar las transiciones reales, por eliminación de las transiciones con poca superficie en el conjunto de la imagen o por la mayor o menor probabilidad de que las transiciones tengan lugar en la fase de simulación. Este último es el periodo transcurrido entre la cartografía más reciente de la fase de calibración y la fecha de simulación proyectada” (Li y Yeh, 2002; Parlitz y Merkwirth, 2000).

- **Modelo de regresión por transición**

Mediante el modelo de regresión lineal se puede predecir el valor de una variable según el valor de la otra. En donde la variable x correspondiente al tiempo y la variable y a la superficie de cada cobertura, uniéndose en la fórmula matemática de regresión lineal (y= bx+a), las cuales se ajustan a una línea de tendencia con la proyección para cada cobertura de estudio, esta recta que se traza minimiza las discrepancias entre los valores de salida previstos y reales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los cambios representativos encontrados en las coberturas de la reserva durante los periodos de 1991 al 2006 y 2006 al 2021. A partir de ella, se realizó una proyección de coberturas de la tierra al año 2050. De forma paralela se analizaron las posibles causas de dichos cambios, los cuales sobresalen el incremento de la población, crecimiento agrícola, construcción de áreas artificiales.

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Identificación y cuantificación de los cambios de Coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca.

En esta primera parte de los resultados se muestran los mapas realizados por cada año de estudio mostrados en las Figuras 10,12 y 14. A partir de estas se realizó la identificación de la superficie en hectáreas y porcentajes de las nueve categorías que se consideró para el análisis de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, de los años 1991, 2006 y 2021 tal como se puede observar en la Tabla 10.

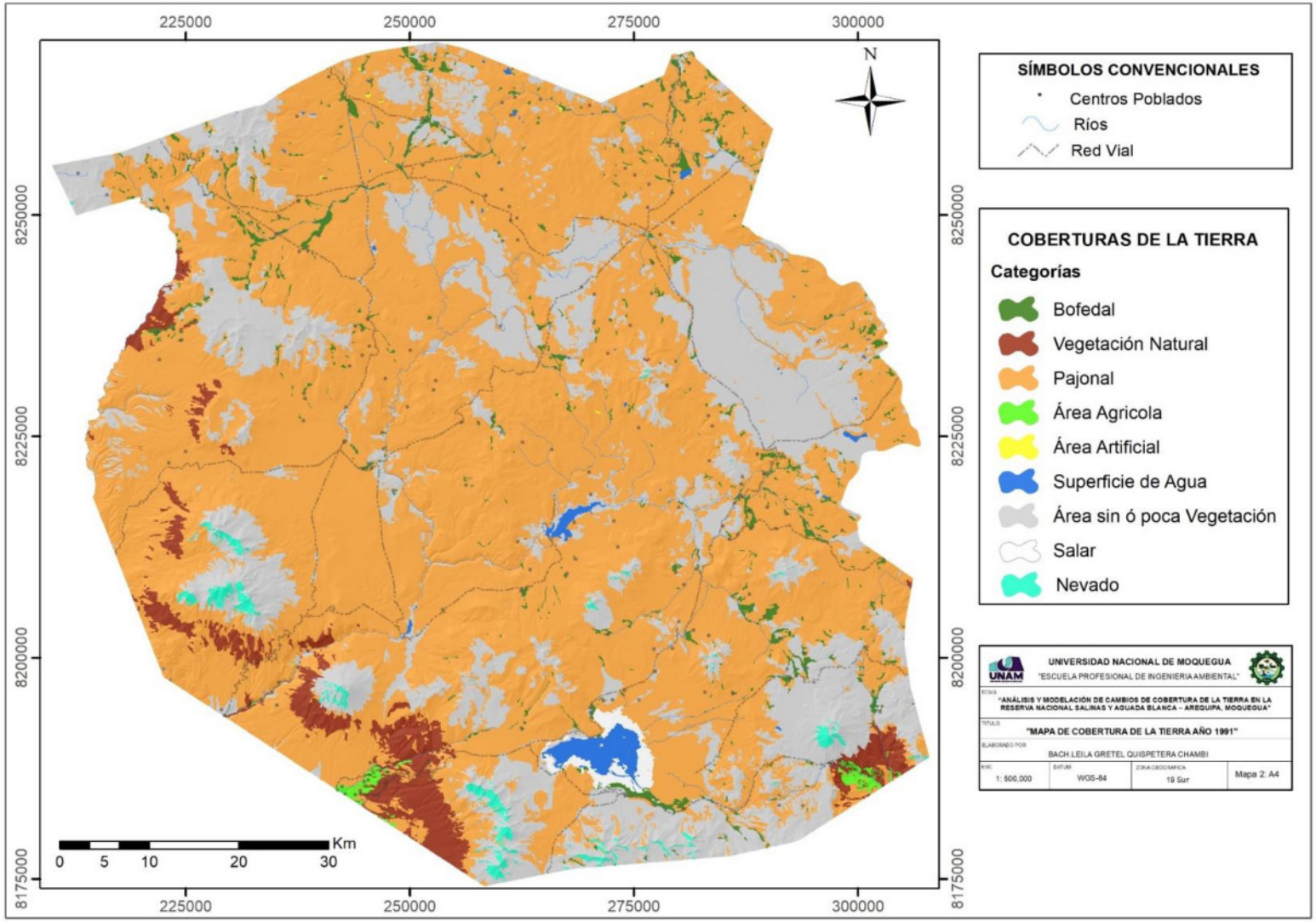


Figura 2. Mapa de coberturas de la tierra año 1991

La Tabla 11 presenta las nueve coberturas de la tierra en la Reserva para el año 1991. Identificando que la cobertura de pajonales es la vegetación que abarca en mayor porcentaje el área de estudio con 459 047.07 hectáreas (67.75%). La segunda categoría predominante corresponde al área sin vegetación o con poca, representando el 168 781.32 hectáreas (24.91%) de la superficie de la Reserva. Continuando con la categoría de vegetación natural compuesta por el 22 184.37 hectáreas (3.27%) de superficie. La categoría de Bofedales en ese año alcanzó el 12959.01 hectáreas (1.91%) de superficie. Respecto a la categoría de superficies de agua en este año llega a 4 769.46 hectáreas (0.70%) considerando hasta este año la existencia de tres presas El Frayle, Aguada Blanca y Dique los Españoles. Las otras coberturas comprenden solo el 1.45 %, siendo los datos anteriores mostrados gráficamente en la Figura 11.

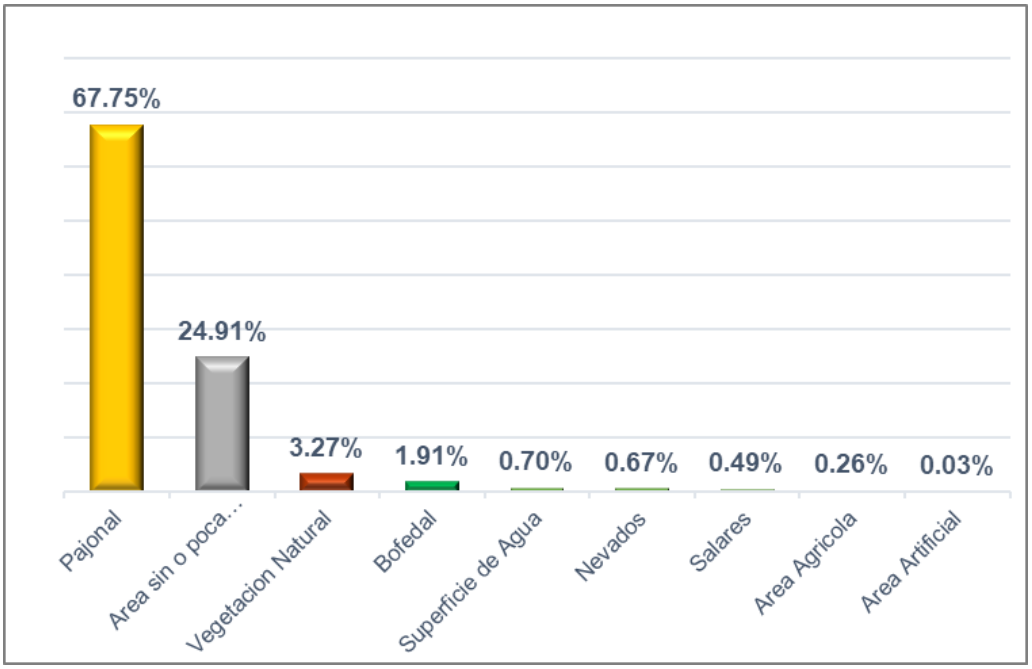


Figura 3. Porcentaje de cobertura de la tierra en la RNSAB año 1991

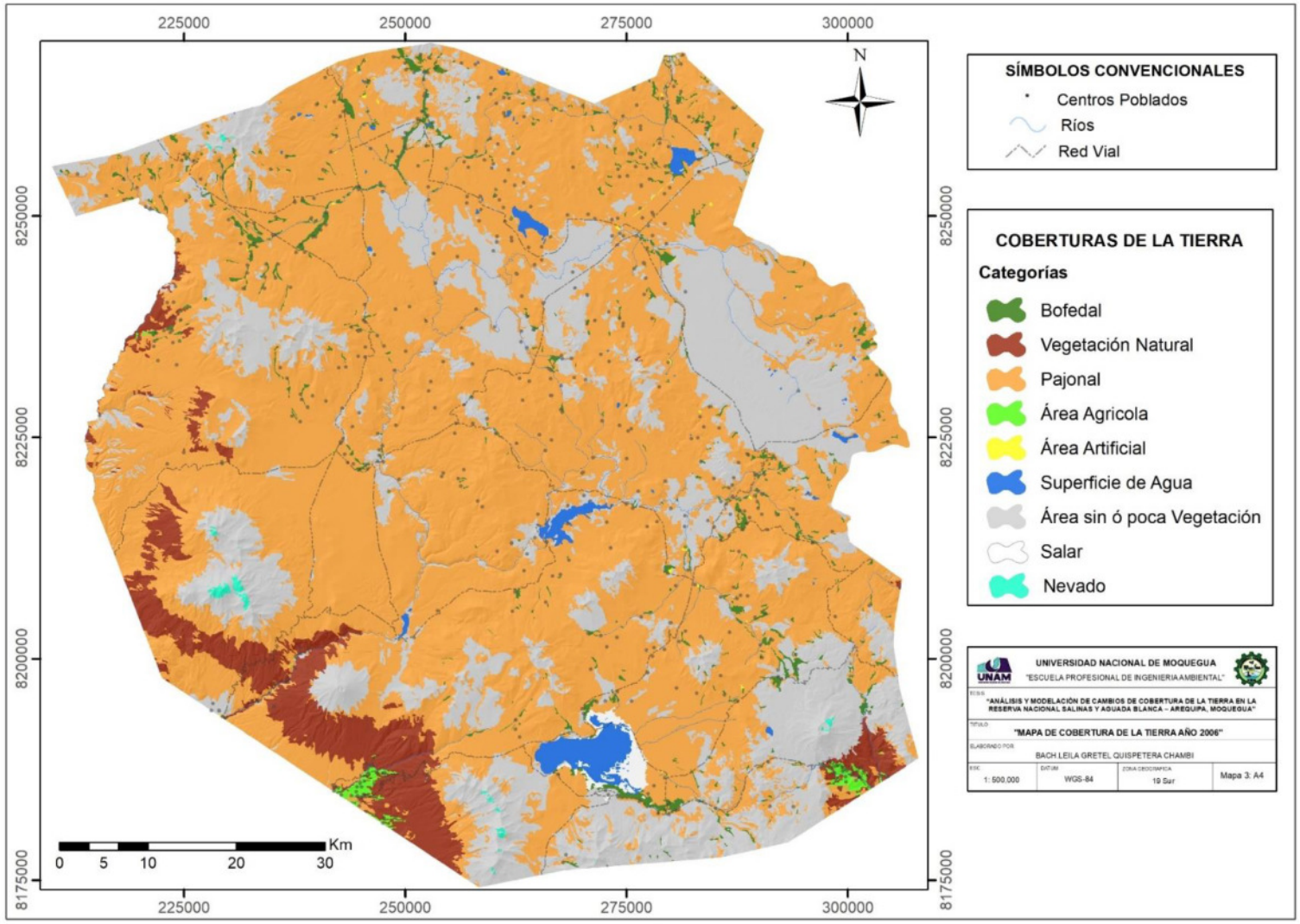


Figura 4. Mapa de cobertura de la tierra año 2006.

La Figura 13 se muestran los resultados obtenidos para el año 2006, observando que, la cobertura de pajonal perdura en mayor superficie con 442 861.29 hectáreas (65.36%), seguido de la categoría de área sin o con poca vegetación, que es una categoría que ocupa gran parte del área de estudio ocupando 174 724.38 hectáreas (25.79%) del total de la superficie. La categoría de vegetación natural ocupa con 35 001 hectáreas (5.17%), notando un aumento considerable en esta categoría. Para el caso de Bofedales, estos abarcan 11408.13 hectáreas (1.68%) de superficie. Respecto a la categoría de superficie de agua aumentó 2 945.88 hectáreas (0.44%), a razón de la construcción de una nueva Represa Pillones. Asimismo, se observa que las categorías de área agrícola y área artificial ganan una superficie de 571.05 hectáreas.

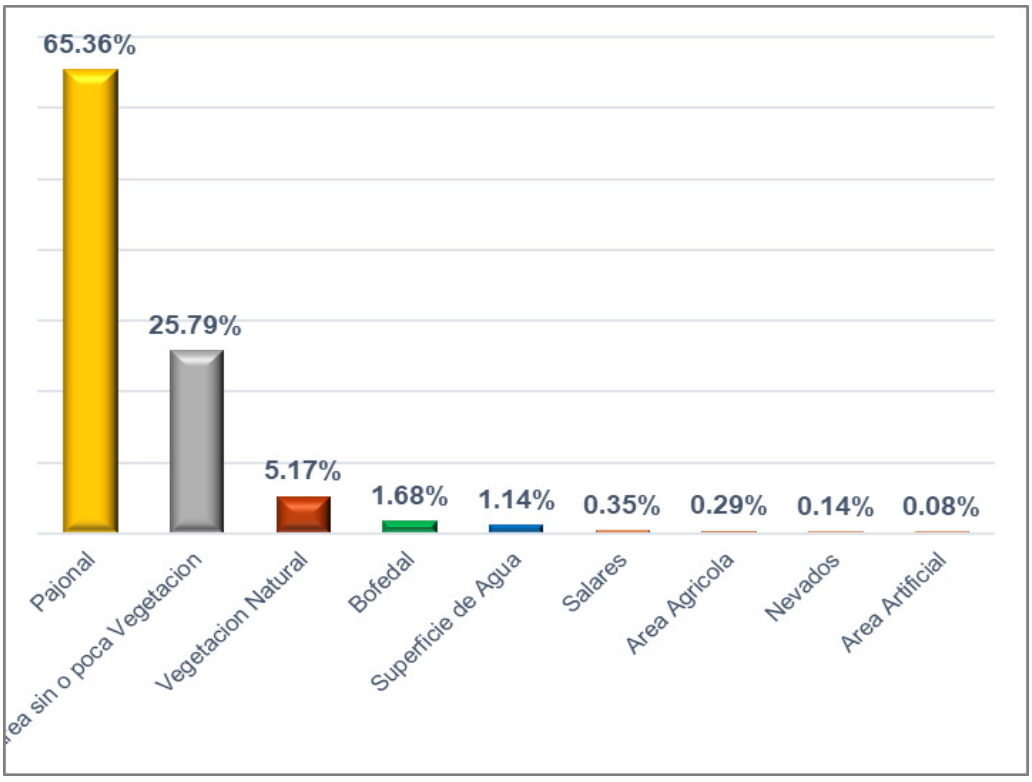


Figura 5. Porcentaje de cobertura de la tierra en la RNSAB, año 2006.

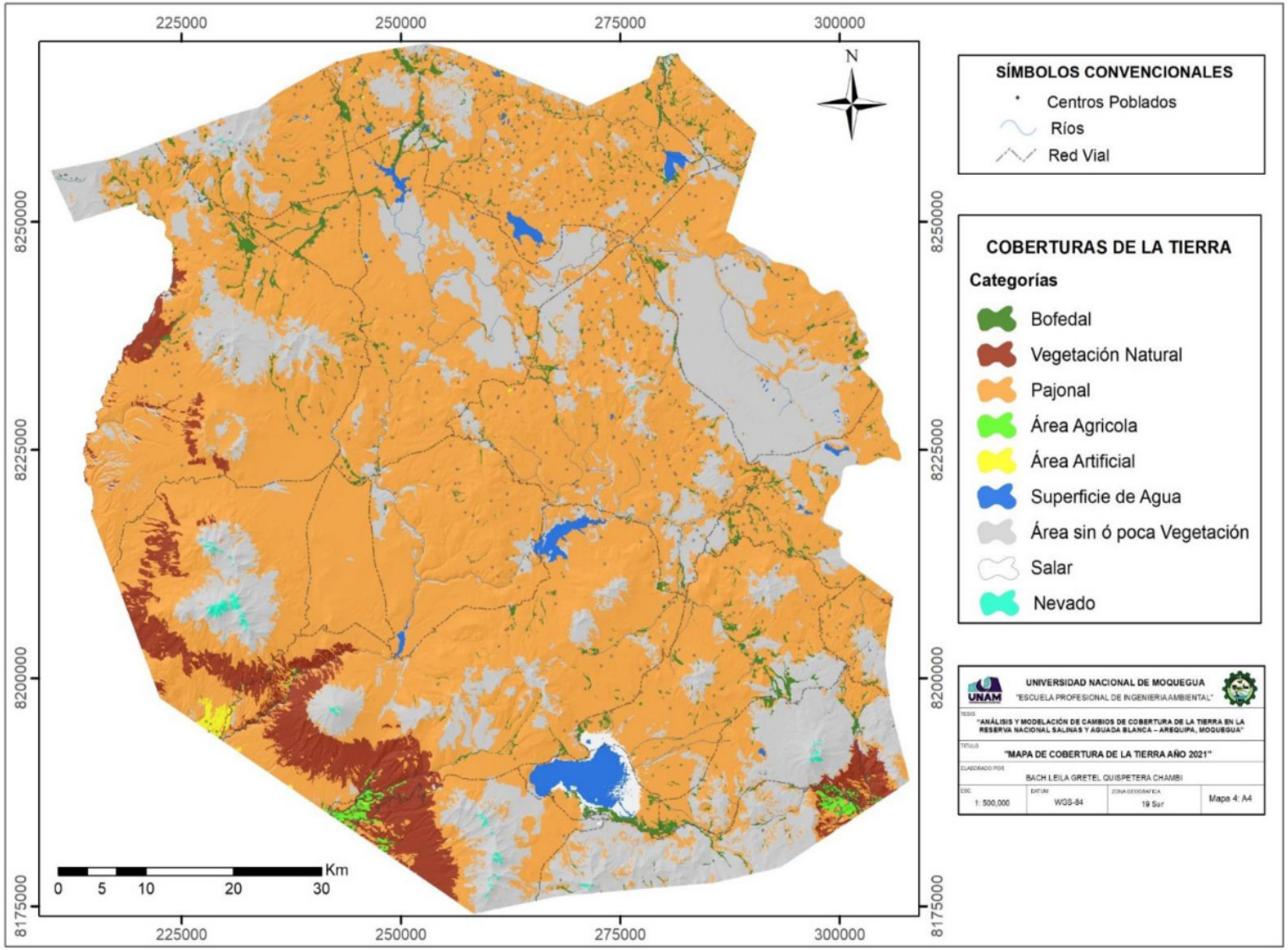


Figura 6. Mapa de cobertura de la tierra año 2021.

Por último, el año 2021, de acuerdo con la Tabla 11, la cobertura de pajonal tuvo 447 746.94 hectáreas (66.09%) manteniendo la vegetación más predominante después de 30 años. Asimismo, la categoría área sin o con poca vegetación prevalece como la segunda categoría en mayor superficie con 165 713.31 hectáreas (24.46%). La tercera categoría sigue siendo vegetación natural llegando a 34016.94 hectáreas (5.02%). Por otra parte, la cobertura de bofedales tiene un ligero aumento en la superficie de 14 671.89 (2.17 %). La categoría de superficie de agua aumenta con 451.53 hectáreas, por la construcción de una nueva Represa Chalhuanca en el 2009. Por último, la categoría de área artificial llega a tener un crecimiento de 0.24%. debido a la constitución de más comunidades campesinas mostrado en el mapa de cobertura del año 2021 (Ver Figura 15).

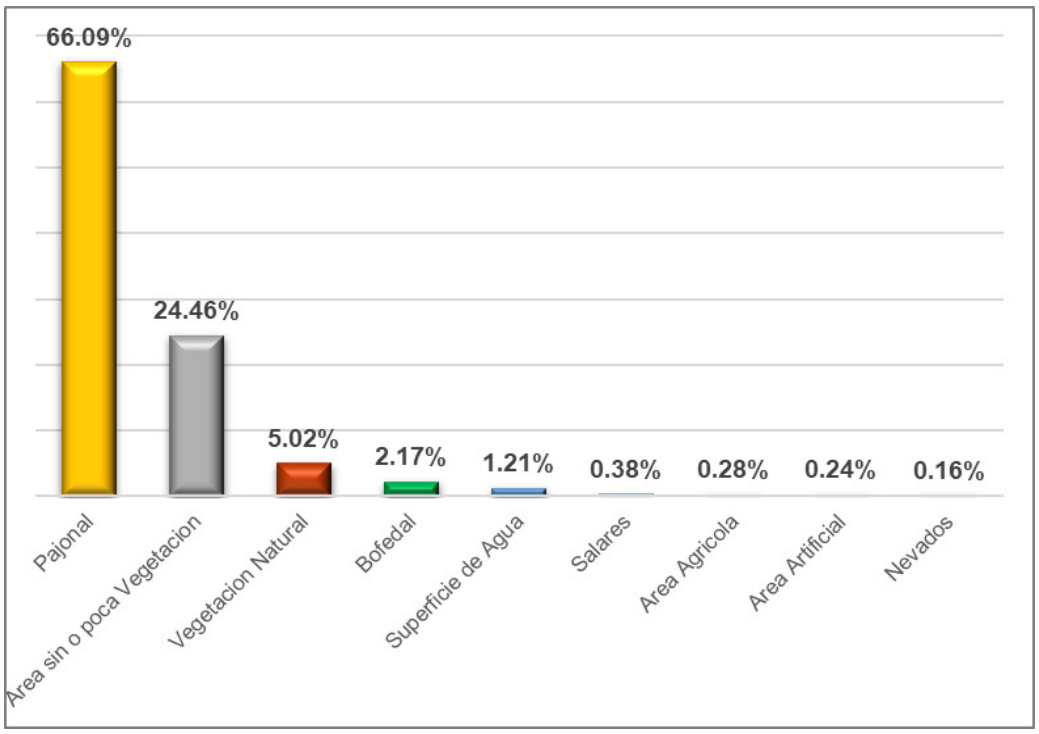


Figura 7. Porcentaje de cobertura de la tierra en la RNSAB año 2021

Tabla 11. *Coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca por años*

Tipos de Coberturas		Año 1991 (ha)	Área %	Año 2006 (ha)	Área %	Año 2021 (ha)	Área %
Bofedal	BO	12959.01	1.91	11408.13	1.68	14671.89	2.17
Vegetación Natural	VN	22184.37	3.27	35001.00	5.17	34016.94	5.02
Pajonal	PA	459047.07	67.75	442861.29	65.36	447746.94	66.09
Área Agrícola	AAG	1738.35	0.26	1960.56	0.29	1908.90	0.28
Área Artificial	AAR	214.20	0.03	563.04	0.08	1652.94	0.24
Superficie de Agua	SPA	4769.46	0.70	7715.34	1.14	8166.87	1.21
Área Sin o Poca Vegetación	SPV	168781.32	24.91	174724.38	25.79	165713.31	24.46
Salares	SA	3302.91	0.49	2364.30	0.35	2548.26	0.38
Nevados	NE	4533.30	0.67	931.95	0.14	1103.94	0.16
Total		**677529.99**	**100**	**677529.99**	**100**	**677529.99**	**100**

En la segunda parte de los resultados, se cuantifica el porcentaje y tasa de cambio anual de las coberturas, obtenidas de la ecuación 1 y 2 (Tabla 11); como las matrices de transición, ganancias y pérdidas de las coberturas de la tierra en el área de estudio durante los periodos 1991-2006 y 2006-2021 (Tabla 12 y Tabla 13).

Tabla 12. *Área de las coberturas, porcentaje y tasas de cambio anual.*

Coberturas	Área			Cambios					
	1991	2006	2021	1991_2006			2006-2021		
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	Tasa de cambio (%)	Tasa de cambio (ha/año)	(ha)	Tasa de cambio (%)	Tasa de cambio (ha/año)
Bofedal	12959.01	11408.13	14671.89	-1550.88	-0.85	-103.39	3263.76	1.69	217.58
Vegetación Natural	22184.37	35001.00	34016.94	12816.63	3.09	854.44	-984.06	-0.19	-65.60
Pajonal	459047.07	442861.29	447746.94	-16185.78	-0.24	-1079.05	4885.65	0.07	325.71
Área Agrícola	1738.35	1960.56	1908.90	222.21	0.81	14.81	-51.66	-0.18	-3.44
Área Artificial	214.20	563.04	1652.94	348.84	6.66	23.26	1089.90	7.44	72.66
Superficie de Agua	4769.46	7715.34	8166.87	2945.88	3.26	196.39	451.53	0.38	30.10
Área Sin o Poca Vegetación	168781.32	174724.38	165713.31	5943.06	0.23	396.20	-9011.07	-0.35	-600.74
Salares	3302.91	2364.30	2548.26	-938.61	-2.20	-62.57	183.96	0.50	12.26
Nevados	4533.30	931.95	1103.94	-3601.35	-10.01	-240.09	171.99	1.14	11.47
Total	**677529.99**	**677529.99**	**677529.99**						

Para el periodo 1991 al 2006, la Tabla 12 y la Figura 16 muestran los cambios en las coberturas de la tierra. Siendo las coberturas que tuvieron porcentajes y tasas anuales positivas en la superficie, las siguientes:

- La categoría de área artificial obtuvo una tasa de cambio anual de 6.66%, es decir 23.26 hectáreas/año, esta categoría ganó superficie debido a que disminuyeron parte de las categorías de pajonales, vegetación natural, área sin o con poca vegetación y bofedales.

- La categoría superficie de agua obtuvo una tasa de cambio anual de 3.26% es decir 196.39 hectáreas/año.

- La categoría de vegetación natural obtuvo una tasa de cambio anual de 3.09%, que equivale a 854.44 hectáreas/año.

- La categoría de área agrícola obtuvo una tasa de cambio anual de 0.81%, igual a 14.81 hectáreas/año. Esta categoría ganó superficie debido a que disminuyeron parte de las categorías de vegetación natural y pajonales.

- La categoría de área sin o con poca vegetación con una tasa de cambio anual de 0.23%, que equivale a 396.20 hectáreas/año.

Las coberturas que tuvieron porcentajes y tasas anuales negativas son: (Ver Figura 16)

- La categoría de nevados obtuvo una tasa de cambio anual de 10.01%, que equivale a 240.09 hectáreas/año. Esta categoría perdió superficie debido a que aumentó parte de las categorías de área sin o poca vegetación.

- La categoría de salares obtuvo una tasa de cambio anual de 2.20%, que equivale a una tasa anual de cambio de 62.57 hectáreas/año.

Esta categoría perdió superficie debido a que aumentó parte de las categorías de área sin o poca vegetación.

- La categoría de bofedales obtuvo una tasa de cambio anual de 0.85%, igual a 103.39 hectáreas/año.

- La categoría de pajonales con una tasa de cambio anual de 0.24%, igual a 1 079.05 hectáreas/año.

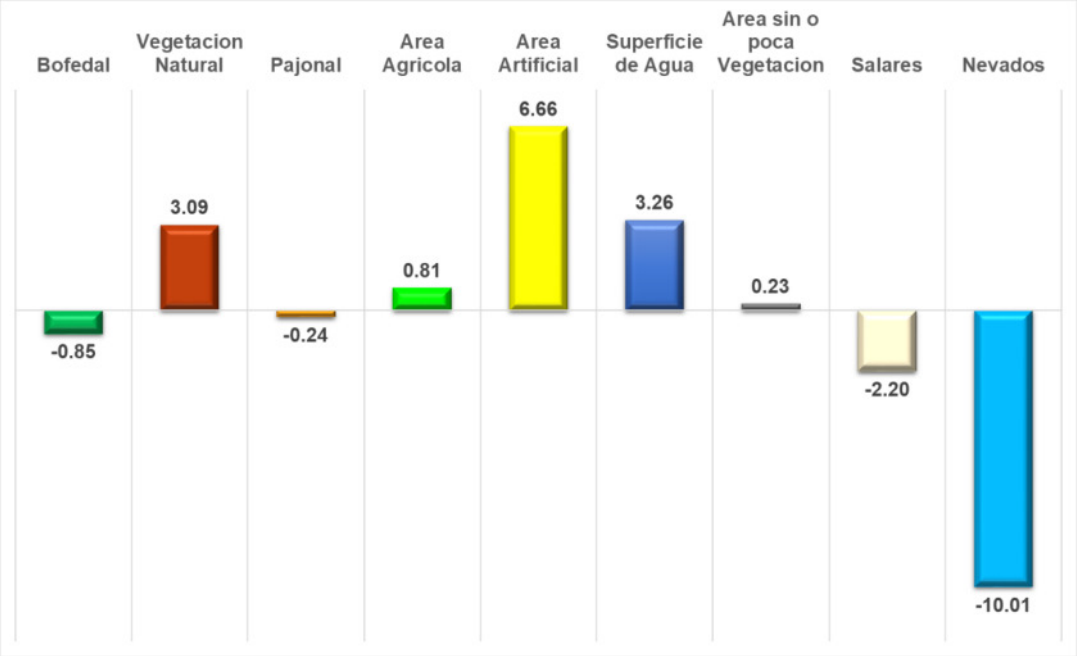


Figura 8. Tasa de cambio de coberturas en porcentajes - periodo 1991 al 2006

Tabla 13. *Matriz de transición, pérdidas y ganancias del primer periodo 1991-2006 de la RNSAB*

COBERTURA DE LA TIERRA 1991(ha)	COBERTURA DE LA TIERRA 2006(ha)									Total 1991	Pérdidas (ha)
	BO	VN	PA	AAG	AAR	SPA	SPV	SA	NE		
BO	7866.18	32.22	4353.93	9.81	14.76	330.12	327.51	24.48	0.00	12959.01	-5093
VN	10.80	19346.04	2288.70	391.41	3.51	0.00	143.91	0.00	0.00	22184.37	-2838
PA	3006.63	15054.21	419650.65	237.33	369.09	1179.54	19456.38	93.24	0.00	459047.07	-39396
AAG	2.52	345.96	64.26	1318.77	6.21	0.00	0.63	0.00	0.00	1738.35	-420
AAR	3.33	7.02	126.90	0.00	69.57	2.34	5.04	0.00	0.00	214.20	-145
SPA	24.75	9.54	55.17	0.00	0.00	4368.60	31.50	279.90	0.00	4769.46	-401
SPV	427.32	197.73	16004.52	3.24	99.90	659.61	151045.83	30.15	313.02	168781.32	-17735
SA	65.61	0.00	87.84	0.00	0.00	1175.13	36.54	1936.53	1.26	3302.91	-1366
NE	0.99	8.28	229.32	0.00	0.00	0.00	3677.04	0.00	617.67	4533.30	-3916
Total 2006	11408.13	35001.00	442861.29	1960.56	563.04	7715.34	174724.38	2364.30	931.95	677529.99	
Ganancias (ha)	3542	15655	23211	642	493	3347	23679	428.00	314		

Para el segundo periodo 2006 al 2021, la Tabla 13 y Figura 17 muestran los cambios en las coberturas de la tierra. Siendo las coberturas que tuvieron porcentajes y tasas anuales positivas en la superficie, las siguientes:

- La categoría de área artificial obtuvo una tasa de cambio anual de 7.44%, que equivale a 72.66 hectáreas/año. Este progresivo incremento causó la pérdida de superficie en las coberturas de pajonales, vegetación natural, áreas sin o poca vegetación y bofedales.

- La categoría de bofedales tuvo una tasa de cambio anual de 1.69%, igual a 217.58 hectáreas/año.

- La categoría de nevados tuvo una tasa de cambio anual de 1.14%, que equivale a 11.47 hectáreas/año. El aumento en esta categoría se debe a las condiciones climáticas como las precipitaciones y temperatura, que provocó disminución en la cobertura de área sin o con poca vegetación.

- La categoría de salares señaló una tasa de cambio anual de 0.50%, que equivale a 12.26 hectáreas/año. Esta categoría se ubica únicamente en la Laguna de Salinas, siendo influenciado por condiciones climáticas como las precipitaciones y temperatura.

- Otra categoría es la superficie de agua, con una tasa de cambio anual de 0.38%, que equivale a 30.10 hectáreas/año. Esta cobertura genera una gradual ganancia por la construcción de la Represa Chalhuanca en el año 2009.

- La categoría de pajonales indicó una tasa de cambio anual de 0.07%, es decir 325.71 hectáreas/año.

Las coberturas que tuvieron porcentajes y tasas anuales negativas más significativas en la superficie de estudio corresponden:

- La categoría de área sin o poca vegetación con una tasa de cambio anual de 0.35%, que equivale 600.74 hectáreas/año.

- La categoría de vegetación natural indicó una tasa de cambio anual de 0.19%, equivalente a 65.60 hectáreas/año y la categoría de área agrícola con una tasa de cambio anual de 0.18%, que equivale a 3.44 hectáreas/año. Esta disminución de cobertura explica la dinámica de ganancia de superficie en la categoría de área artificial.

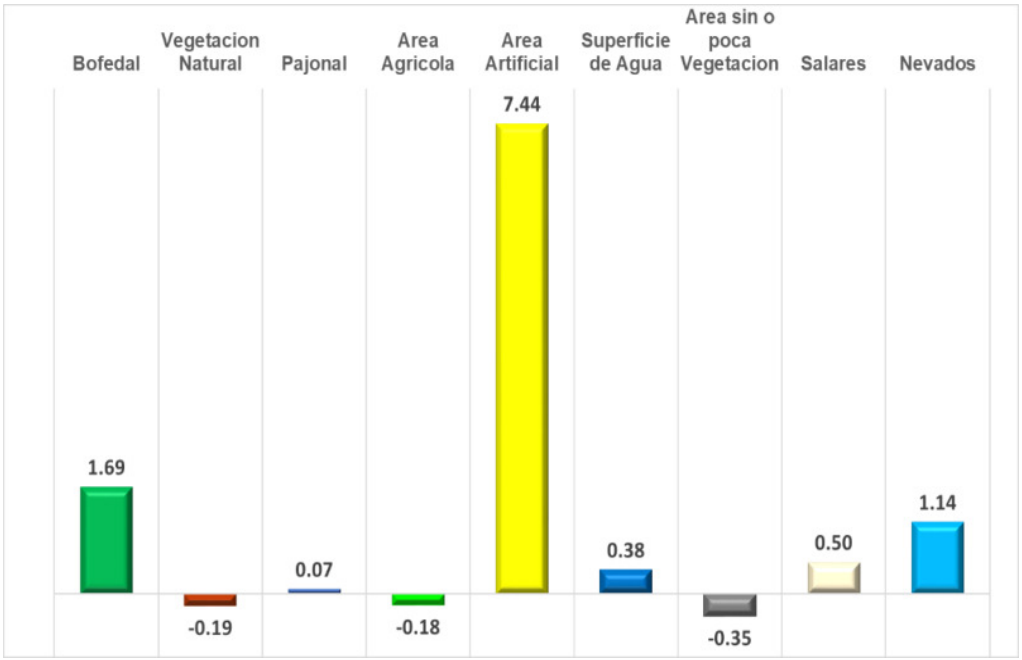


Figura 9. Tasa de cambio de coberturas en porcentajes - periodo 2006-2021

Tabla 14. *Matriz de transición, pérdidas y ganancias del segundo periodo 2006-2021 de la RNSAB*

COBERTURAS DE LA TIERRA 2006 (ha)	COBERTURAS DE LA TIERRA 2021(ha)									Total 2006	Pérdidas (ha)
	BO	VN	PA	AAG	AAR	SPA	SPV	SA	NE		
BO	8687.34	67.41	2256.39	0.27	18.27	116.01	225.36	37.08	0.00	11408.13	-2714
VN	43.29	28907.10	5391.72	455.22	31.23	0.00	152.28	0.00	0.00	34980.84	-6058
PA	5207.85	4111.65	417355.74	105.21	844.56	450.00	14621.76	174.78	9.90	442881.45	-25345
AAG	0.00	471.15	140.85	1326.15	21.06	0.00	1.35	0.00	0.00	1960.56	-628
AAR	29.97	5.31	346.41	4.59	158.76	0.00	18.00	0.00	0.00	563.04	-403
SPA	25.56	0.00	71.73	0.00	1.08	7110.99	118.89	387.09	0.00	7715.34	-604
SPV	629.10	454.32	22116.69	17.46	577.98	149.76	150257.97	44.01	477.09	174724.38	-24337
SA	48.78	0.00	66.96	0.00	0.00	340.11	3.96	1904.49	0.00	2364.30	-460
NE	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	313.74	0.81	616.95	931.95	-315
Total 2021	14671.89	34016.94	447746.94	1908.90	1652.94	8166.87	165713.31	2548.26	1103.94	677529.99	
Ganancias (ha)	5984	4785	30381	583	1494	1056	15450	644	487		

4.1.2. Modelación y validación de los cambios de cobertura de la tierra a partir de los mapas de cobertura de 1991 y 2006 para el año 2021

Mediante el uso del módulo LCM *(Land Change Modeler)* del software *TerrSet,* se preparó los insumos asociados con los mapas de cobertura de la tierra del año 1991 y 2006. Posteriormente, se analizó los cambios potenciales de transición que permiten agrupar el submodelo entre las coberturas estudiadas. Para correr el modelo se consideraron las siguientes variables explicativas (Driver Variables) que corresponden al Modelo Digital de elevación (DEM), y el cambio de coberturas de 1991 al 2006, para predecir el año 2021 (Tabla 13). Estas dos variables presentan un V de Cramer significativo (>0.15), por lo tanto, las transiciones se procesaron bajo estas dos variables para obtener una mejor ocurrencia de las transiciones potenciales, ya que son variables que influyen directamente en la zona de estudio, como lo sugieren Leta et al. (2021)

Tabla 15. *V de Cramer para cada variable explicativa*

Variables Explicativas	V de Cramer
Probabilidad de Evidencia de cambios 1991-2006. *	0.86
Modelo Digital de Elevación*	0.31
Distancia a Centros Poblados**	0.12
Distancia a Carreteras**	0.10
Distancia a ríos**	0.07
Pendientes**	0.02

Nota. Variables consideradas en el modelo Land Change Modeler (*), variables no incluidas en el modelo Land Change Modeler (**).

A manera de distribución espacial, las Driver Variables analizadas para la RNSAB se presentan en la Figura 18, tanto las consideradas en el modelo como las recomendadas para estudios posteriores.

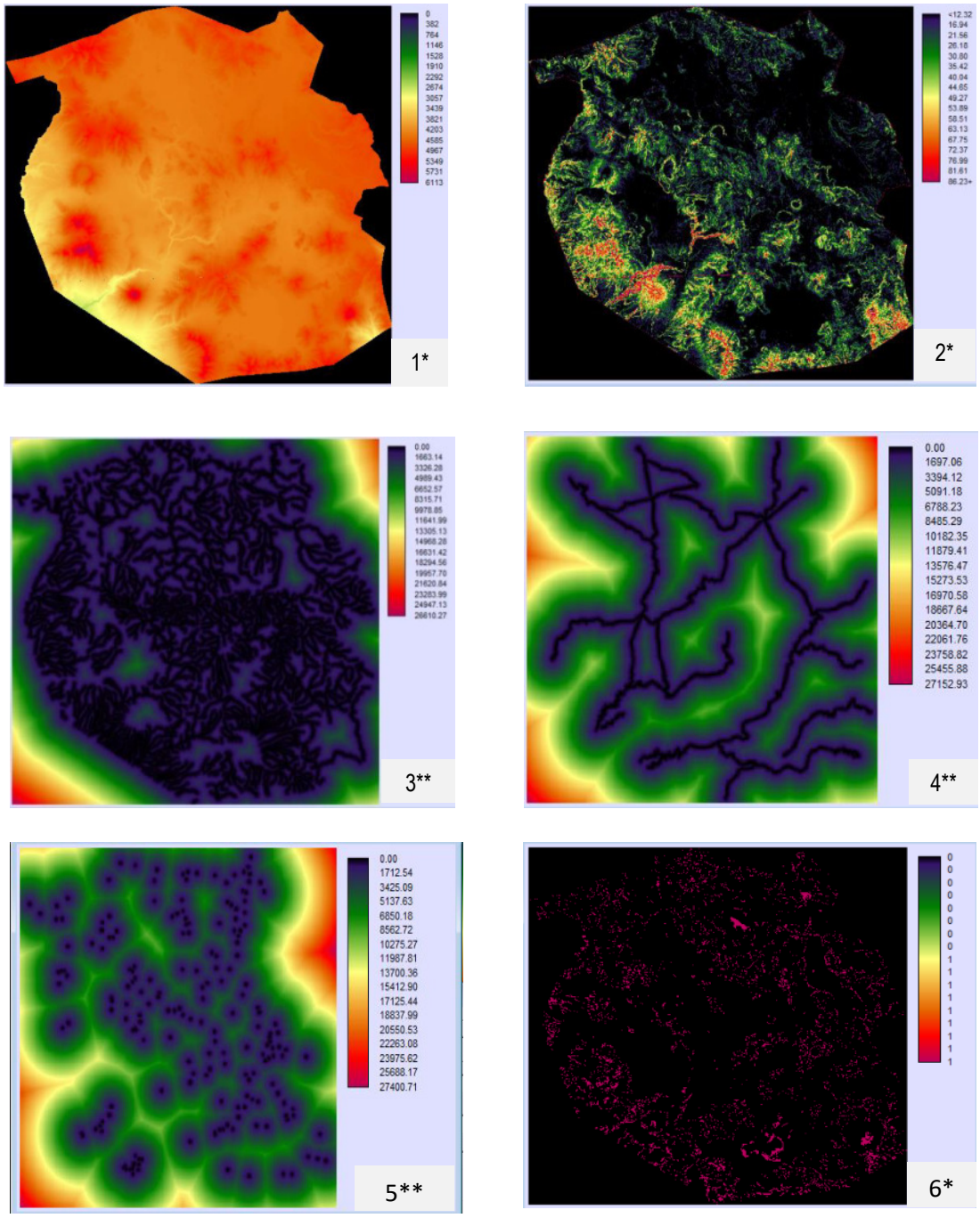


Figura 10. Variables Explicativas para calibrar el modelo prospectivo (1) Elevación de Terreno, (2) Mapa de pendientes, (3) Distancia a río, (4) Distancia de carreteras, (5) Distancia a centros poblados y (6) Cambios de 1991-2006. Nota. Las variables consideradas en el modelo LCM (*), variables no incluidas en el modelo LCM (**).

La corrida de transición del submodelo se realizó mediante Neural Network Parameters MLP, dando como resultado mapas de transición potencial. La exactitud del modelo alcanzó el 75.11% de tasa de precisión, según Eastman (2018) la exactitud de cada modelo debe estar en el 75% o mayor a este, dependiendo de las variables trabajadas.

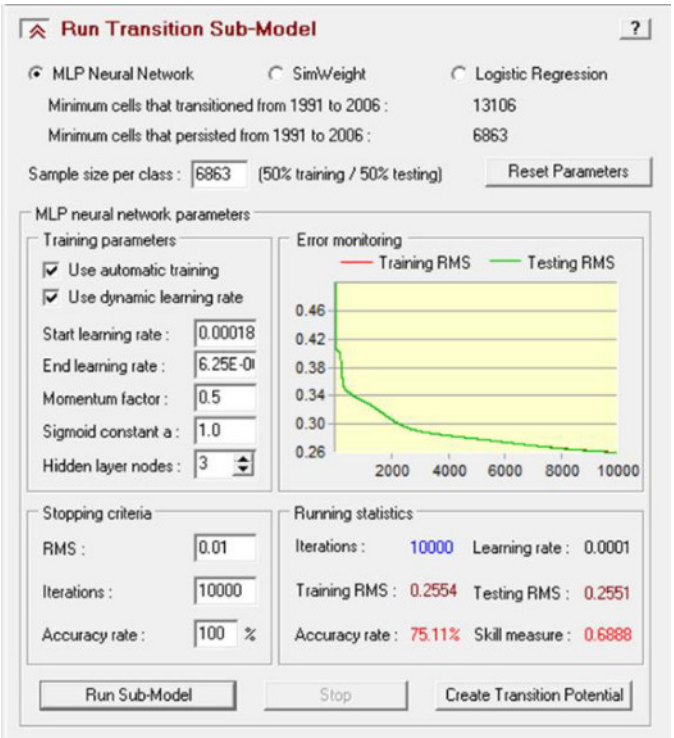


Figura 19. Transición Potencial del Submodelo 1991 al 2006, para el periodo 2021.

El procedimiento anterior proporciona un modelo de desglose de habilidades por transición y persistencia por cada transición que representan los cambios significativos en la superficie de la RNSAB a la cual se le denominó cambio de coberturas. En la Tabla 16 se muestran las transiciones que se realizaron en el submodelo.

Tabla 16. *Comportamiento de las transiciones del Submodelo*

Coberturas	*Skill measure*
Transición: Bofedal a Pajonal	0.3752
Transición: Vegetación Natural a Pajonal	0.0065
Transición: Pajonal a Vegetación Natural	0.8531
Transición: Pajonal a Área sin o poca Veg	0.3217
Transición: Nevado a Área sin o poca Veg	0.9387
Persistencia: Bofedal	1.0000
Persistencia: Vegetación Natural	0.8101
Persistencia: Pajonal	-0.1250
Persistencia: Nevado	1.0000

Para realizar la validación se utilizó el mapa proyectado y el mapa real del año 2021, así mismo se complementó con los puntos de reconocimiento en GPS, tomadas en campo en base al muestreo no probabilístico en julio del 2021. Mediante el módulo de Cross Tab en el software TerrSet, se realizó el cruce de mapas de la cobertura real y proyectada (Ver Tabla 16). A partir de ella, se obtuvo el índice kappa de 0.87, que indica concordancia casi perfecta según la valoración de Cerda y Villarroel (2008).

Tabla 17. *Matriz de transición de validación mapa real y mapa proyectado*

COBERTURAS REALES 2021	COBERTURAS DE LA TIERRA PROYECTADOS PARA EL 2021 (ha)									Total, real
	BO	VN	PA	AAG	AAR	SA	SPV	SA	NE	
BO	5804.19	42.48	7841.07	0.00	29.97	25.56	879.03	48.78	0.00	14671.08
VN	7.20	26476.20	6601.68	471.15	5.31	0.00	471.24	0.00	0.00	34032.78
PA	1565.19	4453.29	400998.78	140.85	346.41	71.73	40093.20	66.96	0.45	447736.86
AAG	0.27	278.73	281.70	1326.15	4.59	0.00	17.46	0.00	0.00	1908.90
AAR	11.16	12.69	853.29	21.06	158.76	1.08	594.90	0.00	0.00	1652.94
SA	10.44	0.00	551.88	0.00	0.00	7110.99	153.45	340.11	0.00	8166.87
SPV	176.58	125.55	14178.96	1.35	18.00	118.89	150967.44	3.96	117.63	165708.36
SA	0.00	0.00	211.86	0.00	0.00	387.09	44.01	1904.49	0.81	2548.26
NE	0.00	0.00	9.90	0.00	0.00	0.00	1036.89	0.00	57.15	1103.94
Total, proyectado	7575.03	31388.94	431529.12	1960.56	563.04	7715.34	194257.62	2364.30	176.04	677529.99

4.1.3. Cambios de coberturas de la tierra al año 2050

Para modelar los cambios de las coberturas al año 2050, se usó el módulo de LCM, compuesto por el submódulo de Change Analysis que creó el mapa de cambios de coberturas de la tierra del periodo 1991 al 2021. Luego se utilizó el submódulo Transitions Potentials que usa el algoritmo de Neural Network Parameters (MLP) para modelar las transiciones de las coberturas. Por último, se usó el submódulo Change Prediction, que hace la evaluación mediante el método de cadenas de Markov, el cual predice los cambios de cobertura al año 2050.

El resultado de la proyección al año 2050 indica que las coberturas de mayor predominancia será la cobertura de pajonal con 43 7667.93 hectáreas (64.63% de la superficie total), continuando con la cobertura de área sin o poca vegetación con 18 3926.88 hectáreas (27.16% de la superficie total), seguido de la vegetación natural con 29619.00 hectáreas (4.37% de la superficie total), bofedales y superficie de agua con el 1.52%

y 1.21% de la superficie total. Las otras categorías no superan el 1%. De forma espacial el mapa proyectado se observa en la (Figura 20).

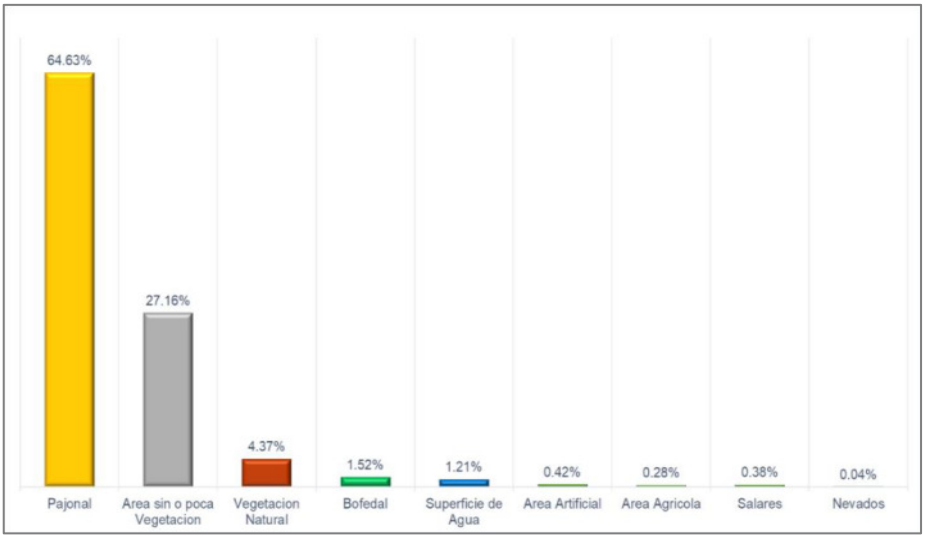


Figura 11. Porcentaje de la cobertura de la tierra al año 2050

La Tabla 18 muestra los cambios que se podrían dar en el año 2050 evaluado a partir de los años 1991 y 2021, entre los datos más significativos se puede evidenciar el incremento en la categoría área artificial con una tasa de cambio anual de 1.86%, indicando a través de los años que coberturas como, vegetación natural y pajonal irían disminuyendo; también se observa que la categoría es el área sin o poca vegetación aumentará 18 213.57 hectáreas, más que el año 2021 obteniendo una tasa de cambio anual de 0.36%. Asimismo, coberturas que tendrán perdidas serán los nevados disminuyendo 29.18 hectáreas por año (4.89% de tasa de cambio anual), lo que indica un aumento en la cobertura de área sin o poca vegetación ya que están relacionadas por influencia del clima; también se observa que la cobertura de bofedales ira disminuyendo 151.51 hectáreas por año (1.22% de tasa de cambio), y la cobertura de vegetación natural con 151.54 hectáreas por año (12.93 % de tasa de cambio).

Tabla 18

Proyección de cambios de cobertura al año 2050

Coberturas	Área			Cambios					
	1991	2021	2050	1991_2021			2021_2050		
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	Tasa de cambio (%)	Tasa de cambio (ha/año)	(ha)	Tasa de cambio (%)	Tasa de cambio (ha/año)
Bofedal	12959.01	14671.89	10277.1	1712.88	0.41	57.10	-4394.79	-1.22	-151.54
Vegetación Natural	22184.37	34016.94	29619	11832.57	1.44	394.42	-4397.94	-0.48	-151.65
Pajonal	459047.07	447746.94	437667.93	-11300.13	-0.08	-376.67	-10079.01	-0.08	-347.55
Área Agrícola	1738.35	1908.90	1908.9	170.55	0.31	5.69	0.00	0.00	0.00
Área Artificial	214.20	1652.94	2817.09	1438.74	7.05	47.96	1164.15	1.86	40.14
Superficie de Agua	4769.46	8166.87	8166.87	3397.41	1.81	113.25	0.00	0.00	0.00
Área Sin o Poca Vegetación	168781.32	165713.31	183926.88	-3068.01	-0.06	-102.27	18213.57	0.36	628.05
Salares	3302.91	2548.26	2548.26	-754.65	-0.86	-25.16	0.00	0.00	0.00
Nevados	4533.30	1103.94	257.58	-3429.36	-4.60	-114.31	-846.36	-4.89	-29.18

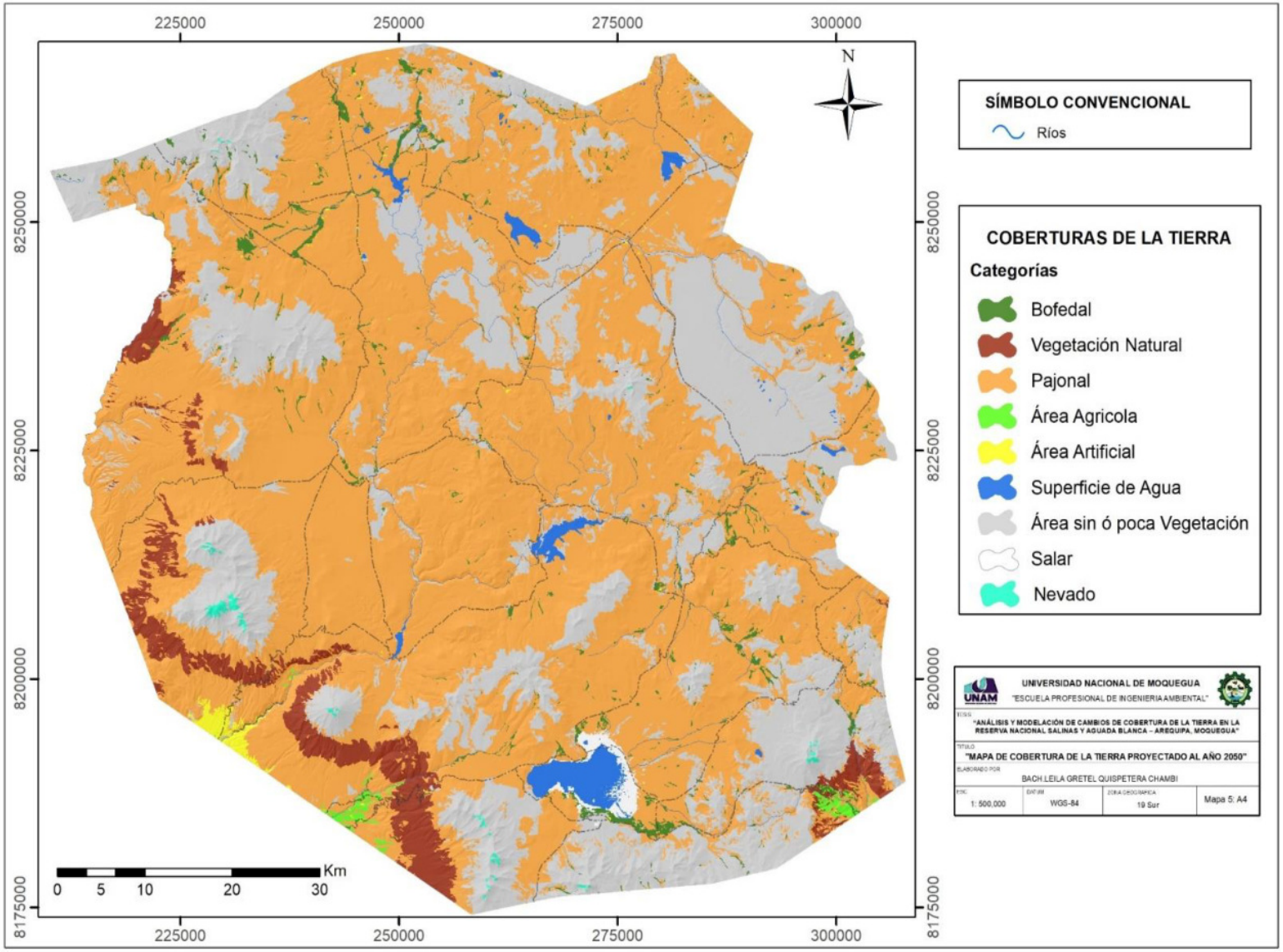


Figura 12. Mapa de Cobertura de la tierra proyectado para el año 2050

El modelo de regresión por transición se realizó de acuerdo con los resultados de la investigación en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, donde se obtuvieron estimaciones en función de las dinámicas de cambios en los periodos estudiados, de las cuales se muestran las tendencias en las coberturas, en modelos de regresión lineal entre los años y el área de cada cobertura (Figura 22).

La cobertura de área artificial marca una tendencia positiva notable a través de los años, en 1991 se evidenció 214.2 hectáreas, el 2021 alcanzó 1652.94 hectáreas, con tendencia al 2050 de 2 817.09 hectáreas (Figura 22 a). Por otro lado, se observa una tendencia de disminución en la cobertura de pajonales, ya que, en 1991 se evidenció 459 047.07 hectáreas, y el 2021 alcanzó 447 746.94 hectáreas, con tendencia al 2050 de 437 667.93 hectáreas (Figura 22 c). Así mimo, la cobertura de nevados en 1991 evidenció 4 533.3 hectáreas, el 2021 alcanzó 1 103.94 hectáreas, con tendencia al 2050 de 257.58 hectáreas (Figura 22 d).

Para las categorías de superficie de agua, área agrícola, vegetación natural y bofedales existe incertidumbre para los futuros años, ya que estas coberturas vegetales están interrelacionadas con factores climáticos como las actividades antrópicas en desarrollo en la Reserva.

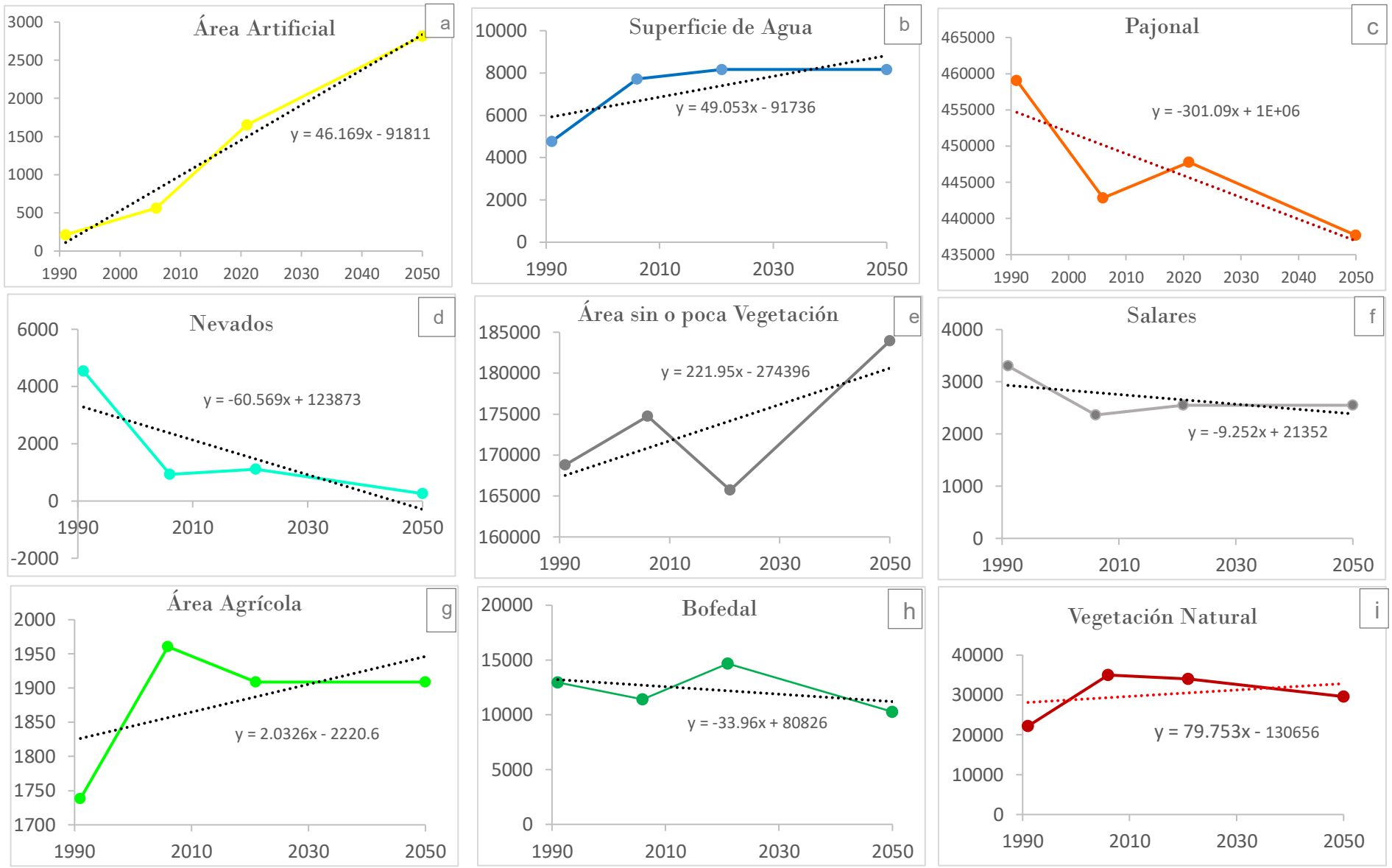


Figura 22. Tendencia de las Coberturas de la tierra del año 1991 al 2050 en la R.N. Salinas y Aguada Blanca. El eje X de cada gráfica corresponde a los años de estudio y el eje Y corresponde a las hectáreas de cada cobertura

4.2. DISCUSIÓN

La investigación llevada a cabo analizó y modeló los cambios de la cobertura de la tierra en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, durante el periodo 1991 al 2021 para proyectar los futuros cambios al año 2050; utilizando imágenes Landsat 5 y Landsat 8, donde se identificaron nueve coberturas de la tierra, que fueron determinadas según la metodología de *Corine Land Cover*, adaptada del MINAM (2016). En relación con estudios similares se encuentran los desarrollados por Achicanoy et al. (2018), Zumaeta (2019) y Maquera (2020) que, analizan coberturas similares. Los años estudiados en esta investigación corresponden a una actualización y proyección de coberturas, ya que se evalúa entre los periodos 1991 y 2050, a diferencia de Maquera (2020), Achicanoy et al. (2018), Vallejo y Medina (2020) y Campos et al. (2018), que estudian periodos cortos de tiempo, a diferencia de uno que hace un análisis hasta el año 2047. De las cuales se tienen los siguientes aumentos en la categoría de área artificial: en el año 1991 se evidenció 214.20 hectáreas y 1652.94 hectáreas en el año 2021, que equivale a una tasa de cambio de 7.05%, considerando que a través de los años fueron constituyéndose más comunidades campesinas y/o anexos según lo reportado por los censos del INEI que indicó un incremento de la población de aproximadamente 22 485 habs. Del censo del 2007 al censo del 2017 se evidenció un aumento aproximado de 41 566 habs. A esto se adiciona las edificaciones que se realizaron en cada represa y empresas de extracción minera de sal y boratos; del mismo modo que Zumaeta (2019) “evidencia la expansión urbana en relación con la ampliación de vías de acceso”.

La categoría de superficie de agua en 1991 abarcó 4 769.46 hectáreas y 8 166.87 hectáreas en el 2021, estos datos indican una tasa de cambio de 1.81% por año, debido a la construcción de la presa Pillones que almacena un volumen de 80 millones de m^3 de agua MMC

(SEDAPAR, 2018). También ampliaron la capacidad de almacenamiento de la presa de Dique los Españoles a 13.5 MMC. Esta obra se realizó para tener un mayor almacenamiento y aprovechamiento del agua para la región de Arequipa, tanto para ampliar la frontera agrícola, como para la central hidroeléctrica de Charcani y la construcción de la Represa Chalhuanca en el año 2009, que almacena 25. 6 MCC de agua.

La tercera categoría, vegetación natural, con 22 184.37 hectáreas en 1991 y 33 694.38 hectáreas en el 2021, indica una tasa de cambio anual de 1.44%, teniendo variaciones a lo largo de los periodos de estudio influenciado por las precipitaciones que llegaron entre 589.9 mm y otros años llegaron hasta 709.3 mm de acuerdo con los reportes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2018). Otro factor desencadenante de estos cambios es la adaptación de la vegetación a la temperatura teniendo en cuenta que dentro de esta categoría se tiene la especie *Polylepis rugulosa* conocida con el nombre común de Queñuales (vegetación Altoandina) que según el DS N° 043-2006-AG se encuentran en la clasificación de vulnerabilidad. Asimismo, esta categoría está en constante vulnerabilidad de ser talado para ser utilizado como leña, como lo indica Maquera (2020), Nina (2015) y Zeballos et al. (2010). La cuarta categoría, área agrícola, tuvo un incremento progresivo en el año 1991 abarcó 1 738.35 hectáreas y 1 908.9 hectáreas en el año 2021, lo que significa 9.81% por año, explicado por la actividad agrícola que se realiza en los alrededores del área de amortiguamiento, además de la influencia antrópica por la actividad ganadera de crianza de camélidos domésticos dentro de la RNSAB, que es la principal fuente de economía en el área. Los datos antes mencionados concuerdan con el incremento de sistemas agrícolas y expansión de áreas urbanas. Estos resultados guardan relación con los hallazgos de Barba (2018) y Zumaeta (2019), quienes indican que, “los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura

vegetal están relacionados a la naturaleza agropecuaria de la zona (ganadería y agricultura)".

La cobertura de bofedales en 1991 ocupó 12 959.01 hectáreas y 14 671.89 hectáreas en el 2021, dando como resultado una tasa de cambio de 13.22% anual de superficie. El incremento que se logra es positivo, ya que esta vegetación es clave por los servicios ecosistémicos que ofrecen (servicio de provisión, regulación, soporte y culturales). Este incremento puede entenderse mediante la explicación que hacen Zeballos et al. (2010) respecto al manejo que ejerce la población involucrada, junto con el SERNANP respecto a la existencia de bofedales artificiales y bofedales naturales como parte de los programas de pastoreo. Con esta ganancia de superficie el SERNANP cumple la meta que se propone en su plan maestro 2016 -2020 de mantener 10 112.97 ha de bofedales, además, que pasen a una condición de regular a buena. No obstante, esta cobertura es vulnerable a sufrir presión de pastoreo para la alimentación de la ganadería de camélidos.

Por otra parte, la cobertura con pérdidas en la superficie del área de estudio detectada fue nevados, teniendo en 1991 la cantidad de 4533.3 hectáreas y 1103.94 hectáreas en el 2021, lo que significa una pérdida de 4.60% anual, identificando la reducción de nevados en los volcanes Misti y Picchu Picchu. Estos cambios se deben al incremento de la temperatura de 3.5° C a 4.2° C*,* efecto del cambio climático basado en Maquera (2020). Por último, la categoría de pajonal presenta una pérdida del 0.08% por año, siendo esta la vegetación más dominante en toda la RNSAB, encontrándose sometida a varios cambios debido a la expansión agrícola mediante parcelas o por ampliar espacios para la ganadería a pequeña escala, pero influyente. Así como la quema de estas especies por negligencia de la población para ampliar la frontera agrícola y el mal turismo que hace fogatas ocasionando pérdidas irreparables que también afectan la vegetación natural en el pie de

monte de los volcanes. Esto también lo señala Núñez (2021) quien atribuye la pérdida de pajonales resultado de la extensión de la agricultura y ganadería como también las quemas inducidas.

La validación del modelo se hizo a partir del mapa real del año 2021 y el modelo prospectivo del año 2021 en el software TerrSet, teniendo el coeficiente Kappa 0.87 que indica una fuerza de concordancia casi perfecta. La investigación realizada por Barba (2018) indica como resultado de índice Kappa 0.96, deduciendo que, “se encuentra ante un modelo prospectivo correcto”. Asimismo, Hasan et al. (2020) indican que la validación del modelo en el módulo de LCM utilizó el índice Kappa, resultando 0.97, lo que indica una valoración muy buena; considerando las afirmaciones de Cerda y Villarroel (2008), quienes señalan que los valores que van de 0.81 a 1.0 indican que la fuerza de concordancia es casi perfecta, es decir si el modelo arroja un valor mayor a 80%, entonces es confiable hacer proyecciones de estimación futura (Araya y Cabral, 2010).

Respecto al modelamiento de coberturas, este estudio utilizó el software de TerSet de Clarrks Labs, módulo de *Land Change Modeler*, mediante el método de cadenas de Markov para predecir los cambios en la cobertura de la tierra durante los próximos 29 años en la Reserva. Los resultados muestran aumento en la categoría de área artificial con 1 164.15 hectáreas más que en el año 2021 que representa una tasa de cambio anual de 1.86 %. Otra categoría es el Área sin o poca vegetación que indica 18 213.57 hectáreas más que el 2021 equivalente a una tasa de cambio anual de 0.36%. También se puede evidenciar que las coberturas que tendrán perdidas serán los nevados disminuyendo 846.36 hectáreas, seguido por la cobertura de bofedales reduciendo 4 394.79 hectáreas y la cobertura de vegetación natural con 4 397.94 hectáreas. Los estudios de simulaciones realizadas con el mismo software por Leta et al. (2021) concluyen que, los principales cambios a futuro implican convertir el área forestal y los pastizales a

otros usos de la tierra, especialmente en tierras agrícolas; del mismo modo Zumaeta (2019) identifica que los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal están relacionados a la naturaleza agropecuaria de la zona. Se pueden contrastar estos resultados con el análisis de tendencia obtenido en los resultados de Achicanoy et al. (2018), encontrando que las coberturas vegetales tendrán tendencia a disminuir y la categoría de áreas urbanas tendrán un incremento en su superficie, haciendo un llamado de atención a las políticas de turno que podrían modificar los usos del suelo

Por lo tanto, las coberturas de área artificial y área sin o con poca vegetación deben ser reguladas para alcanzar el ordenamiento de uso y ocupación del territorio nacional. También se debe evaluar y valorar la cobertura de nevados y bofedales, ya que perderá superficie, lo que significa pérdida de servicios ambientales.

V. CONCLUSIONES

- Se logró identificar y cuantificar nueve coberturas de la tierra en la RNSAB mediante las imágenes satelitales de los años 1991, 2006 y 2021 según la metodología *Corine Land Cover.* Encontrando durante el primer periodo del 1991 al 2006 ganancias en la cobertura de área artificial con 348.84 hectáreas, mientras que para el segundo periodo del 2006 al 2021 se evidenció un aumento progresivo con 1 089.90 hectáreas. Por otra parte, la cobertura con mayor pérdida de superficie en el primer periodo fueron los nevados con 3 601.35 hectáreas; mientras que, para el segundo periodo la categoría de área sin o con poca vegetación tuvo una pérdida de 9 011.07 hectáreas y la vegetación natural con 984.06 hectáreas.

- La validación del modelo se realizó en base a los registros en campo del año 2021 versus el mapa proyectado de los mapas de cobertura de 1991 y 2006, registrando una concordancia adecuada de 0.87 en el índice Kappa.

- El modelamiento de los cambios de cobertura de la tierra al año 2050 registran ganancias en la categoría de área artificial con una tasa de cambio de 1.86% y área sin o con poca vegetación con 0.36%. En cambio, las coberturas que registran pérdidas son los nevados con una tasa de cambio de 4.89%, bofedales con el 1.22% y pajonales con el 0.48%, registrado a partir del año 2021 al año 2050.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las autoridades competentes de la RNSAB tomen en cuenta la presente investigación para la toma de decisiones en la creación de proyectos y programas sostenibles para controlar las actividades de ganadería que se desarrollan dentro de la Reserva y zona de amortiguamiento. Asimismo, es necesario tomar en cuenta el crecimiento urbano acelerado producido en la categoría de área artificial.

- Poner a discusión las investigaciones enfocadas en la RNSAB para complementar los futuros planes de la RNSAB y el primer eje de la política nacional del ambiente del MINAM.

- Se recomienda impulsar más investigaciones respecto al cambio de coberturas de la tierra en áreas protegidas dentro de los departamentos de Arequipa y Moquegua. Este tipo de investigaciones permite identificar zonas vulnerables que podrían ser afectadas, para que las entidades competentes planteen medidas de acción temprana para mitigar cualquier impacto sobre ellas.

- Se recomienda a las universidades la adquisición y uso del software TerrSet de Clark Labs para el desarrollo de asignaturas en modelamientos territoriales de las carreras de ingenierías, ya que es un programa de fácil acceso, diseñado para realizar diferentes investigaciones innovadoras y personalizadas en técnicas geoespaciales asociadas en estudios del ambiente

VII. REFERENCIAS

Achicanoy, J., Robles, R., y, Sanchez, J. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. Gestión y Ambiente, 21(1), 41-58.

Alonso Sarría, F. (2015). Cartografía digital. Introducción a los Sistemas de InformaciónGeográfica.https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf

Amézquita Becerra, G., y Pérez Castillo, J. (2009). Servicio grid para la clasificación no supervisada de imágenes satelitales utilizando autómatas celulares. Ciencia e ingeniería neogranadina, 19(2), 59-76.

Araya, Y., y Cabral, P. (2010). Analysis and Modeling of Urban Land Cover Change in Setúbal and Sesimbra, Portugal. Remote Sensing, 2, 1549-1563. https://doi.org/10.3390/rs2061549

Arnillas, C., Barrena, V., Llactayo, W., Ortíz, H., Regal, F., Rubín de Celis, E., Vásquez, P., Drenkhan, F., Llerena, C., Espino, P., García, V., Gonzáles-Zúñiga, S., Gushiken, E., López, D., y Vásquez, R. (2012). Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. Componente Nacional Perú – Primera Etapa. 02, 56.

Barba, D.(2018). Análisis prospectivo del proceso de deforestación en El sector la pampa – Guacamayo, tambopata – madre de Dios, periodo 1999 al 2030. [Tesis de pregrado,Universidad Nacional Amazonica Madre ded Dios].

Campos, A., Guerrero, E., y Gines, E. (2018). Evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): 2000–2014. Manglar, 15(1), 47-56.

Cerda, J. y Villarroel Del P., L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Revista Chilena de Pediatria, 79(1), 54–58. https://doi.org/10.4067/s0370-41062008000100008.

Chapa-Vargas, L., y Monzalvo-Santos, K. (2012). Natural protected areas of San Luis Potosí, Mexico: Ecological representativeness, risks, and conservation implications across scales. International Journal of

Geographical Information Science, 26(9), 1625–1641. https://doi.org/10.1080/13658816.2011.643801

Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental, 3 edición Actualizada. Barcelona España:Ariel,SA.https://es.scribd.com/document/366409360/Teledeteccion-Ambiental-Chuvieco.

Di Gregorio, A. y Jansen, L. (2005). Land Cover Classification System. Classification concepts and user manual, software version 2. Environment and Natural Resources Service. FAO. Roma, Italy. 190 p

Dourojeanni, M.(2019). Esbozo de una nueva política forestal peruana. © Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. DOI: http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v34i1.1244

Durán-medina, E., Mas, J. y Velázquez, A. (2001). Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales. 267–300.

Durán, O., Rodríguez, N., & Consalter, L. A. (2008). Definición automática de la geometría de herramientas de corte usando algoritmos genéticos. Información tecnológica, 19(2), 51-58.

Eastman, JR, Toledano, J. (2018). Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios. Apuntes de clase en Geoinformación y Cartografía. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3_36

Eastman, J. R.(2020).Manual TerrSet 2020-Geospatial Monitoring and Modeling System Manual. Worcester, MA: Clark University. www.clarklabs.org clarklabs@clarku.edu

Ebrahim, EH; Mohamed, A. (2017) Dinámica del uso/cobertura de la tierra y sus impulsores en la cuenca de Gelda, cuenca del lago Tana, Etiopía. Reinar.6, 1–13.

Esri (2016)- Learn ArcGis. 23 p. Consultado 23 diciembre 2021. Disponihttps://learn.arcgis.com/es/projects/assess-burn-scars-with-satellite

FAO. (1996). Foret resources assement 1990.Survey of tropical forest cover and study of change processes.Number 130, 152pp.Roma.

FAO. (2016). Bosques y el cambio climático documento de trabajo 14. Fao, 147. www.fao.org/publications

Galicia, L. y Rodríguez Bustos, L. (2017). Local causes of landscape transformation in a mountainous region in central Mexico. Acta Universitaria, 26(6), 83–94. https://doi.org/10.15174/au.2016.1168

Gamarra Agama, S. (2017). Análisis de la Cobertura y Uso de la Tierra Utilizando Imágenes de Resolución Espacial media para el distrito de San Ramón -Chanchamayo - Junín - Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina].

Geoservidor del Ministerio Nacional del Ambiete MINAM. (2020). Zonificacion Ecologica y Economica -ZEE. Consultado el 11 de Noviembre de https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/arequipa/.

Geoservice Perú. (2004). Procesamiento de una imagen satelital. Consultado el 10 de Noviembre de 2022 https://geoserviceperu.com/imagenes-satelitales/

Gregorio, A. Di. (2016). Land Cover Classification System. In October (Issue October). http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.htm

Guan, Dongjie, HaiFeng Li, Takuro Inohae, Weici Su, Nagaie Tadashi, y Kazunori Hokao. (2011). “Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model.” Ecological Modelling. doi:10.1016/j.ecol model.2011.09.009.

Hasan, S., Shi, W., Zhu, X., Abbas, S., y Khan, H. U. A. (2020). Future simulation of land use changes in rapidly urbanizing South China based on land change modeler and remote sensing data. Sustainability, 12(11), 4350.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. d. (2014). Metodología de la Investigación. Mexico D.F.: McGraw - Hill / Interamericana Editores S.sanchez

Ibañez, A. (2019). Predicción de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2026 en la cuenca del rio Tocache, San Martin. Facultad De Zootecnia, 94.

IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA. (2007).Plan maestro de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca 2006-2011.Lima 228 pag.

Koga, D. M., Souza, S. y Brown, I. F. (2019). Monitoramento do uso e cobertura da terra no interior e entorno da área norte do parque nacional da serra do divisor / ac entre 1988 e 2018 monitoramento do uso e cobertura da terra no interior e entorno da área norte do parque nacional da serra do divisor / ac entre 1988 e 2018. May, 3–7.

Leta, M. K., Demissie, T. A., & Tränckner, J. (2021). Modeling and prediction of land use land cover change dynamics based on land change modeler (Lcm) in nashe watershed, upper blue nile basin, Ethiopia. Sustainability, 13(7), 3740. https://doi.org/10.3390/su13073740

LI, X. y Yeh, A. G.-O. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. International Journal of Geographical Information Science. 16(4), 323-343.

Maquera, E.(2020). Análisis de los cambios de cobertura uso del suelo en el departamento de Tacna, periodo 2007, 2012 y 2017. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Jorge Basagre Grohmann-Tacna].

Ministerio Nacional del Ambiete MINAM, (2011).Guia de Evaluacion de la Flora Silvestre. Ministerio del Ambiente.Lima-Peru.

Ministerio Nacional del Ambiete MINAM, (2014). Protocolo. Analisis de las dinamicas de cambio de cobertura de la tierra en la comunidad andina. In Ministerio de Ambiente del Perú.

Mas, J.-F. y Flamenco, A. (2011). Modeling of land cover / use changes in a tropical region of Mexico. GeoTrópico, 5(1), 1–24. http://www.geotropico.org/NS_5_1_Mas-Flamenco.pdf

Molinero, L. 2001. Medidas de concordancia para variables cualitativas. Asociación de la Sociedad Española de Hipertensión. (en línea). España. Consultado 15 noviembre 2022. Disponible en http://www.seh-lelha.org/pdf/concor2.pdf

Monterroso Tobar, MF. 2014. Guía práctica: clasificación de imágenes satelitales. Mundo Geo.34p. Consultado 30 Sep.2022.Disponible en: http://arcgeek.com/descargas/ClasImMF.pdf

Nina, J.(2015). Cambios de la cobertura del suelo en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca-Arequipa, Moquegua-Peru, en relacion ala variacion de la temperatura y precipitacion, durante el periodo 1986-2010. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del San Agustin].

Nuñez Delgado, J., Pizarro Carcausto, S., Gutiérrez Tang, M., & Ñaupari Vásquez, J. (2022). Dinámica espacio temporal de la biomasa aérea en pastizales altoandinos basado en NDVI-MODIS validado por espectrometría in situ. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32(3).

Ortiz, S. Y. C., Valencia, K. L. P., & Estacio, J. R. (2019). Presión–Estado–Respuesta en la gestión de las áreas protegidas de la provincia de Esmeraldas. Gestión Ambiental, (17).

Paulino Rojas, C. J. (2017). Identificación y cuantificación de estructuras oceánicas de mesoescala en el sistema de afloramiento peruano a través de sensores remotos.

Pontius, R., Huffaker, D., Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. Ecological Modelling, 179(4), 445-461. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010.

Quipuscoa, V., y Huamantupa, I. (2010). Plantas vasculares de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, Arequipa-Perú. Zevallos, H., Ochoa, A. y López E. Diversidad biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, 63-88.

Ríos, O.(2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. Acta Biologica Colombiana, 16(2), 221–246.

Samaniego, J., De Miguel, C. J., Galindo, L. M., Pereira, M., Martínez, K., y CEPAL. (2013). La economía del cambio climático en el Ecuador, 2012.

Sangermano, F. y J. R. Eastman,A. (2012).GIS framework for the refinement of species geographic ranges. International Journal of Geographical Information Science 26:39–55.

Sedapar (2018).Diagnostico Hídrico. Departamento de control de Calidad de Fuentes. Arequipa. Consultado 30 Sep. De 2022 . https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/Diagnostico-Hidrico-Rapido.pdf.

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP. (2012). Aguada-blanca Obtenido de: http://www.sernanp.gob.pe/de-salinas-y-aguada-blanca

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP. (2016). Plan Maestro de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca 2016-2020.Segun RP Nº 257-2016-SERNANP.Lima 14 de Septiembre.

Temesgen, G.; Amaré, B.; Abraham, M. (2014).Evaluaciones del uso de la tierra/cambios en la cobertura de la tierra y degradación de la tierra en el distrito de Dera, Etiopía: GIS y análisis basados en sensores remotos.En t. J. Ciencia. Res. Reinar. ciencia2014,2, 199–208.

IDRISI Andes. (2009).The Land Change Modeler for Ecological Sustainability. Guide to GIS and Image Processing, 234-256.

Turpo, E.Y.(2018). Modelagem De Mudanças Espaçotemporais De Ambientes Glaciais Dos Andes Do Sul- Perú. Feira de Santana-Bahia: Universidade Estadual De Feira De Santana

USGS. Geological Survey (2015). Landsat—Earth Observation Satellites. Version 1.0: November 25, 2015.

Vallejo, H. y Medina, J. (2020). Generación de un modelo de predicción espacial de la deforestación en la jurisdicción de Corpochivor para el periodo 2017-2047 basado en mapas de cobertura y análisis de variables espaciales con Dinamica EGO. 540–553.

Vázquez, V. H. L. y Rocha, W. P. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. Investigaciones Geograficas, 68, 85–101. https://doi.org/10.14350/rig.18000

Wang, W.; Zhang, C.; Allen, JM; Li, W.; Boyer, MA; Segerson, K.; Silander, JA .(2016). Análisis y predicción de cambios en el uso de la tierra relacionados con especies invasoras y principales fuerzas motrices en el estado de Connecticut.

Yang, Xin, Xin-Qi Zheng, y Na Lv Li. 2012. “A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization,Markov chain and cellular automata.” Ecological Modelling. doi:10.1016/j.ecolmodel.2012. 03.011.

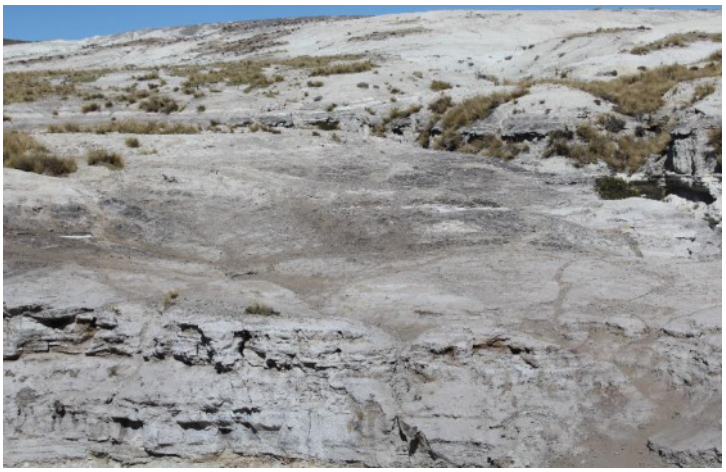
Zeballos, H., Ochoa, J. A. y Cornejo, A. (2010). La Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, una muestra representativa de la puna seca de América del Sur. Diversidad Biológica de La Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca. Arequipa-Moquegua, January, 17–29.

Zumaeta,D. (2019). Análisis multitemporal y predictivo del Cambio de uso del suelo y pérdida de Cobertura vegetal en la microcuenca Yuyac, amazonas, 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mnedoza de Amazonas].

ANEXOS

Anexo 1. Fichas de identificación de coberturas

<table>
<tr><th colspan="4">INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS</th></tr>
<tr><td>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:</td><td colspan="3">Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua</td></tr>
<tr><td>RESPONSABLE:</td><td colspan="3">Leila Gretel Quispetera Chambi</td></tr>
<tr><th colspan="4">I. DATOS GENERALES</th></tr>
<tr><td>DEPARTAMENTO:</td><td>AREQUIPA</td><td>PROVINCIA:</td><td>AREQUIPA</td></tr>
<tr><td>DISTRITO:</td><td>SAN JUAN DE TARUCANI</td><td>N° DE FICHA:</td><td>01</td></tr>
<tr><td>FECHA DE REGISTRO:</td><td>5/07/2021</td><td>CÓDIGO del GPS:</td><td>BT-GPS-01</td></tr>
<tr><th colspan="4">II. DATOS DE LOCALIZACIÓN</th></tr>
<tr><td rowspan="2">COORDENADAS</td><td colspan="2">Este: 277133</td><td rowspan="2">ALTITUD: 4340</td></tr>
<tr><td colspan="2">Norte: 8189280</td></tr>
<tr><td colspan="2">DATUM: WGS 84</td><td colspan="2">ZONA UTM: 19 S</td></tr>
<tr><th colspan="4">III. COBERTURA IDENTIFICADA</th></tr>
<tr><td colspan="4">Pajonal</td></tr>
<tr><th colspan="4">FOTOGRAFÍA 01</th></tr>
<tr><td colspan="4"></td></tr>
<tr><th colspan="4">IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO</th></tr>
<tr><td colspan="4">En la fotografía se muestra la cobertura de pajonal en buen estado</td></tr>
</table>

INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS			
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:	Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua		
RESPONSABLE:	Leila Gretel Quispetera Chambi		
I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	AREQUIPA
DISTRITO:	SAN JUAN DE TARUCANI	N° DE FICHA:	02
FECHA DE REGISTRO:	5/07/2021	CÓDIGO del GPS:	BT-GPS-01
II. DATOS DE LOCALIZACIÓN			
COORDENADAS	Este: 284650 Norte: 8215005	ALTITUD: 4174	
DATUM: WGS 84		ZONA UTM: 19 S	
III. COBERTURA IDENTIFICADA			
Área Sin o Poca Vegetación			
FOTOGRAFÍA 02			
			
IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO			
En la fotografía se muestra la cobertura sin o poca vegetación en la pampa Confital,			

INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS			
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:	Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua		
RESPONSABLE:	Leila Gretel Quispetera Chambi		
I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	AREQUIPA
DISTRITO:	CHIGUATA	N° DE FICHA:	03
FECHA DE REGISTRO:	5/07/2021	CÓDIGO del GPS:	BT-GPS-01
II. DATOS DE LOCALIZACIÓN			
COORDENADAS	Este: 252364 Norte: 8186089	ALTITUD: 4022	
DATUM: WGS 84		ZONA UTM: 19 S	
III. COBERTURA IDENTIFICADA			
Vegetación Natural			
FOTOGRAFÍA 03			
 			
IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO			
En las fotografías se muestran los bosques Altoandinos ubicados en el distrito de Chiguata, cerca de una carretera.			

INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS			
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:	Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua		
RESPONSABLE:	Leila Gretel Quispetera Chambi		
I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	AREQUIPA
DISTRITO:	SAN JUAN DE TARUCANI	N° DE FICHA:	04
FECHA DE REGISTRO:	5/07/2021	CÓDIGO del GPS:	BT-GPS-01
II. DATOS DE LOCALIZACIÓN			
COORDENADAS	Este: 291273 Norte: 8222670	ALTITUD: 4441	
DATUM: WGS 84		ZONA UTM: 19 S	
III. COBERTURA IDENTIFICADA			
Bofedales			
FOTOGRAFÍA 04			



IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO
En la fotografía se observa bofedales cerca al centro poblado Paty

INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS			
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:	Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua		
RESPONSABLE:	Leila Gretel Quispetera Chambi		
I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	AREQUIPA
DISTRITO:	SAN JUAN DE TARUCANI	N° DE FICHA:	05
FECHA DE REGISTRO:	5/07/2021	CÓDIGO del GPS:	BT-GPS-01
II. DATOS DE LOCALIZACIÓN			
COORDENADAS	Este: 266268 Norte: 8190533	ALTITUD: 4314	
DATUM: WGS 84		ZONA UTM: 19 S	
III. COBERTURA IDENTIFICADA			
Superficie de Agua			
FOTOGRAFÍA 05			
 			
IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO			
En la fotografía se muestra la laguna de Salinas en el distrito de San Juan De Tarucani			

<table>
<tr><th colspan="4">INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS</th></tr>
<tr><td>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:</td><td colspan="3">Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua</td></tr>
<tr><td>RESPONSABLE:</td><td colspan="3">Leila Gretel Quispetera Chambi</td></tr>
<tr><th colspan="4">I. DATOS GENERALES</th></tr>
<tr><td>DEPARTAMENTO:</td><td>AREQUIPA</td><td>PROVINCIA:</td><td>AREQUIPA</td></tr>
<tr><td>DISTRITO:</td><td>SAN JUAN DE TARUCANI</td><td>N° DE FICHA:</td><td>06</td></tr>
<tr><td>FECHA DE REGISTRO:</td><td>5/07/2021</td><td>CÓDIGO del GPS:</td><td>BT-GPS-01</td></tr>
<tr><th colspan="4">II. DATOS DE LOCALIZACIÓN</th></tr>
<tr><td rowspan="2">COORDENADAS</td><td colspan="2">Este: 266247</td><td rowspan="2">ALTITUD: 4314</td></tr>
<tr><td colspan="2">Norte: 8190624</td></tr>
<tr><td colspan="2">DATUM: WGS 84</td><td colspan="2">ZONA UTM: 19 S</td></tr>
<tr><th colspan="4">III. COBERTURA IDENTIFICADA</th></tr>
<tr><td colspan="4">Salares</td></tr>
<tr><th colspan="4">FOTOGRAFÍA 06</th></tr>
<tr><td colspan="4"> </td></tr>
<tr><th colspan="4">IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO</th></tr>
<tr><td colspan="4">En la fotografía se observa parte de los salares que se forman alrededor de la laguna de Salinas</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="4">INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS</th></tr>
<tr><td>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:</td><td colspan="3">Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua</td></tr>
<tr><td>RESPONSABLE:</td><td colspan="3">Leila Gretel Quispetera Chambi</td></tr>
<tr><th colspan="4">I. DATOS GENERALES</th></tr>
<tr><td>DEPARTAMENTO:</td><td>AREQUIPA</td><td>PROVINCIA:</td><td>AREQUIPA</td></tr>
<tr><td>DISTRITO:</td><td>SAN JUAN DE TARUCANI</td><td>N° DE FICHA:</td><td>07</td></tr>
<tr><td>FECHA DE REGISTRO:</td><td>5/07/2021</td><td>CÓDIGO del GPS:</td><td>BT-GPS-01</td></tr>
<tr><th colspan="4">II. DATOS DE LOCALIZACIÓN</th></tr>
<tr><td rowspan="2">COORDENADAS</td><td colspan="2">Este: 249354</td><td rowspan="2">ALTITUD: 3456</td></tr>
<tr><td colspan="2">Norte: 8202621</td></tr>
<tr><td colspan="2">DATUM: WGS 84</td><td colspan="2">ZONA UTM: 19 S</td></tr>
<tr><th colspan="4">III. COBERTURA IDENTIFICADA</th></tr>
<tr><td colspan="4">Superficie de Agua</td></tr>
<tr><th colspan="4">FOTOGRAFÍA 07</th></tr>
<tr><td colspan="4"> </td></tr>
<tr><th colspan="4">IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO</th></tr>
<tr><td colspan="4">En la fotografía se muestra el embalse de Aguada Blanca</td></tr>
</table>

INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS			
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:	Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua		
RESPONSABLE:	Leila Gretel Quispetera Chambi		
I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	AREQUIPA
DISTRITO:	SAN JUAN DE TARUCANI	N° DE FICHA:	08
FECHA DE REGISTRO:	5/07/2021	CÓDIGO del GPS:	BT-GPS-01
II. DATOS DE LOCALIZACIÓN			
COORDENADAS	Este: 279563 Norte: 8209645	ALTITUD: 4210	
DATUM: WGS 84		ZONA UTM: 19 S	
III. COBERTURA IDENTIFICADA			
Área Artificial			
FOTOGRAFÍA 8			
			
IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO			
En la fotografía se muestra la plaza del distrito de San Juan De Tarucani			

INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS			
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:	Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua		
RESPONSABLE:	Leila Gretel Quispetera Chambi		
I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	AREQUIPA
DISTRITO:	CHIGUATA	N° DE FICHA:	09
FECHA DE REGISTRO:	5/07/2021	CÓDIGO del GPS:	BT-GPS-01
II. DATOS DE LOCALIZACIÓN			
COORDENADAS	Este: 244438 Norte: 8185194	ALTITUD: 2946	
DATUM: WGS 84		ZONA UTM: 19 S	
III. COBERTURA IDENTIFICADA			
Área Agrícola			
FOTOGRAFÍA 09			
 			
IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO			
En la fotografía se muestra cultivos como el maíz y legumbres en parte de la zona de amortiguamiento			

INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS			
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:	Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua		
RESPONSABLE:	Leila Gretel Quispetera Chambi		
I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	AREQUIPA
DISTRITO:	CHIGUATA	N° DE FICHA:	10
FECHA DE REGISTRO:	5/07/2021	CÓDIGO del GPS:	BT-GPS-01
II. DATOS DE LOCALIZACIÓN			
COORDENADAS	Este: 251440 Norte: 8187754	ALTITUD: 3757	
DATUM: WGS 84		ZONA UTM: 19 S	
III. COBERTURA IDENTIFICADA			
Vegetación Natural			
FOTOGRAFÍA 10			
			
IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO			
En la fotografía podemos observar el arbusto de la Tola			

INSTRUMENTO. FICHA DE CAMPO/VALIDACIÓN DE DATOS			
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:	Análisis y modelación de cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca – Arequipa, Moquegua		
RESPONSABLE:	Leila Gretel Quispetera Chambi		
I. DATOS GENERALES			
DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	AREQUIPA
DISTRITO:	SAN JUAN DE TARUCANI	N° DE FICHA:	11
FECHA DE REGISTRO:	5/07/2021	CÓDIGO del GPS:	BT-GPS-01
II. DATOS DE LOCALIZACIÓN			
COORDENADAS	Este: 270219 Norte: 8193664	ALTITUD:	4327
DATUM: WGS 84		ZONA UTM: 19 S	
III. COBERTURA IDENTIFICADA			
Bofedales			
FOTOGRAFÍA 11			
			
IV. OBSERVACIONES / DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO			
En la fotografía se observan bofedales que crecen alrededor de la laguna de Salinas, así mismo se observó pastoreo de alpacas y llamas			

Anexo 2. Puntos de registros de identificación de coberturas tomados en campo

N°	COBERTURAS	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
1	Pajonal	260018	8249329
2	Pajonal	279334	8195949
3	Pajonal	262037	8249793
4	Pajonal	279673	8190043
5	Pajonal	273668	8236440
6	Pajonal	240831	8224879
7	Pajonal	254179	8216915
8	Pajonal	273858	8220169
9	Pajonal	263208	8240355
10	Pajonal	286892	8194138
11	Pajonal	240619	8219030
12	Pajonal	257097	8178903
13	Pajonal	296959	8210248
14	Pajonal	237357	8228257
15	Pajonal	238269	8230450
16	Pajonal	248138	8238084
17	Pajonal	262926	8217318
18	Pajonal	246256	8202796
19	Pajonal	274003	8207617
20	Pajonal	264701	8232252
21	Pajonal	267536	8184650
22	Pajonal	253642	8211672
23	Pajonal	295717	8212346
24	Pajonal	279951	8228798
25	Pajonal	253291	8250128
26	Pajonal	265643	8233485
27	Pajonal	258740	8216349
28	Pajonal	245062	8234273
29	Pajonal	263682	8193219
30	Pajonal	250970	8226938
31	Pajonal	284217	8195821
32	Pajonal	271880	8236095
33	Pajonal	279850	8187295
34	Pajonal	266132	8224991
35	Pajonal	233917	8227472
36	Pajonal	256941	8211506
37	Pajonal	277452	8220391
38	Pajonal	286152	8227032
39	Pajonal	283377	8229257
40	Pajonal	255866	8208342
41	Pajonal	243942	8221982
42	Pajonal	258667	8226318
43	Pajonal	266060	8178962
44	Pajonal	258664	8209531
45	Pajonal	253409	8200409
46	Pajonal	276614	8225389
47	Pajonal	250613	8224370

N°	COBERTURAS	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
48	Pajonal	267453	8218057
49	Pajonal	252218	8204997
50	Pajonal	302256	8207199
51	Pajonal	259635	8206712
52	Pajonal	263048	8241901
53	Pajonal	276109	8194402
54	Pajonal	254260	8204727
55	Pajonal	254245	8199824
56	Pajonal	284740	8247343
57	Pajonal	291759	8218360
58	Pajonal	266579	8185425
59	Pajonal	259729	8215073
60	Pajonal	266603	8217908
61	Pajonal	272053	8215800
62	Pajonal	262978	8240706
63	Pajonal	247775	8246586
64	Pajonal	250273	8242538
65	Pajonal	271893	8230294
66	Pajonal	273906	8195792
67	Pajonal	232155	8239315
68	Pajonal	259455	8213742
69	Pajonal	286839	8212791
70	Pajonal	276059	8255029
71	Pajonal	276613	8212404
72	Pajonal	229186	8218980
73	Pajonal	240118	8244288
74	Pajonal	264046	8191982
75	Pajonal	261082	8196635
76	Pajonal	279861	8251140
77	Pajonal	254547	8221248
78	Pajonal	266840	8193927
79	Pajonal	250636	8215817
80	Pajonal	265267	8234689
81	Pajonal	249749	8236289
82	Pajonal	300221	8206575
83	Pajonal	278963	8217302
84	Pajonal	279187	8184088
85	Pajonal	276215	8191555
86	Pajonal	290279	8218950
87	Pajonal	234063	8248109
88	Pajonal	259116	8200400
89	Pajonal	270607	8209911
90	Pajonal	272454	8211400
91	Pajonal	246846	8241157
92	Pajonal	248654	8242100
93	Pajonal	252720	8220560
94	Pajonal	287043	8224098
95	Pajonal	269940	8210831
96	Pajonal	257086	8224618

N°	COBERTURAS	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
97	Pajonal	257406	8219732
98	Pajonal	277610	8223425
99	Pajonal	279659	8211662
100	Pajonal	272861	8212782
101	Pajonal	241580	8249644
102	Pajonal	279702	8223203
103	Pajonal	274803	8194903
104	Pajonal	297536	8217026
105	Pajonal	258354	8222629
106	Pajonal	281600	8205239
107	Pajonal	238575	8210761
108	Pajonal	267023	8249154
109	Pajonal	264691	8237129
110	Pajonal	263959	8203838
111	Pajonal	274472	8199261
112	Pajonal	281577	8219710
113	Pajonal	299621	8211504
114	Pajonal	280095	8202442
115	Bofedal	270219	8193664
116	Bofedal	291273	8222670
117	Bofedal	289792	8220885
118	Bofedal	279627	8209787
119	Bofedal	281326	8237503
120	Bofedal	294031	8198703
121	Bofedal	279440	8268099
122	Bofedal	256571	8264911
123	Bofedal	233357	8240414
124	Bofedal	298887	8208593
125	Bofedal	286512	8207185
126	Bofedal	218654	8255073
127	Bofedal	238961	8251135
128	Bofedal	271302	8185428
129	Bofedal	252354	8261506
130	Bofedal	278908	8183247
131	Bofedal	279648	8244857
132	Bofedal	263819	8238742
133	Bofedal	279900	8258256
134	Bofedal	231309	8248534
135	Bofedal	301616	8195556
136	Bofedal	251055	8266990
137	Bofedal	251448	8260150
138	Bofedal	278277	8186591
139	Bofedal	289667	8218508
140	Bofedal	235256	8243762
141	Bofedal	306193	8194786
142	Bofedal	279400	8184180
143	Bofedal	291781	8200877
144	Bofedal	298809	8209150
145	Bofedal	263761	8242830

N°	COBERTURAS	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
146	Bofedal	271103	8202907
147	Bofedal	271915	8253559
148	Bofedal	287614	8259945
149	Bofedal	283398	8257652
150	Bofedal	288990	8222389
151	Bofedal	240931	8262382
152	Bofedal	221638	8237098
153	Bofedal	290063	8194494
154	Bofedal	245684	8264987
155	Bofedal	280920	8218659
156	Bofedal	252684	8256500
157	Bofedal	257428	8252963
158	Bofedal	303195	8235561
159	Bofedal	264020	8242860
160	Bofedal	281430	8255239
161	Bofedal	289181	8256260
162	Bofedal	256587	8254023
163	Bofedal	283614	8195746
164	Bofedal	282231	8262567
165	Vegetación natural	250226	8188830
166	Vegetación natural	236549	8192835
167	Vegetación natural	252364	8186089
168	Vegetación natural	221398	8206240
169	Vegetación natural	252926	8184748
170	Vegetación natural	251831	8185047
171	Vegetación natural	244986	8183959
172	Vegetación natural	222527	8198705
173	Vegetación natural	246845	8185051
174	Vegetación natural	221128	8205534
175	Vegetación natural	251630	8184186
176	Vegetación natural	221688	8238119
177	Vegetación natural	251601	8192095
178	Vegetación natural	241326	8192905
179	Vegetación natural	250449	8188387
180	Vegetación natural	222714	8215193
181	Vegetación natural	222670	8213562
182	Vegetación natural	237637	8197987
183	Vegetación natural	219708	8235878
184	Vegetación natural	254350	8182625
185	Vegetación natural	236476	8197212
186	Vegetación natural	246899	8189929
187	Vegetación natural	251440	8187754
188	Vegetación natural	226980	8202945
189	Vegetación natural	253564	8183505
190	Vegetación natural	253901	8178395
191	Vegetación natural	230051	8201735
192	Vegetación natural	242501	8192656
193	Vegetación natural	235710	8201250
194	Vegetación natural	221584	8236868

N°	COBERTURAS	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
195	Vegetación natural	221366	8204590
196	Vegetación natural	229587	8201864
197	Vegetación natural	217668	8231991
198	Vegetación natural	224716	8215937
199	Vegetación natural	219705	8236192
200	Vegetación natural	228687	8201049
201	Vegetación natural	231856	8199722
202	Vegetación natural	302369	8190561
203	Vegetación natural	252049	8181102
204	Vegetación natural	237895	8194775
205	Vegetación natural	225830	8202219
206	Vegetación natural	231823	8194985
207	Vegetación natural	254408	8179893
208	Vegetación natural	298291	8187259
209	Vegetación natural	219585	8235267
210	Vegetación natural	240238	8203055
211	Vegetación natural	242790	8203039
212	Vegetación natural	256162	8175924
213	Vegetación natural	238644	8196456
214	Vegetación natural	247372	8185149
215	Área agrícola	298217	8186736
216	Área agrícola	298780	8186908
217	Área agrícola	245398	8186492
218	Área agrícola	248502	8187759
219	Área agrícola	250026	8188359
220	Área agrícola	299555	8186010
221	Área agrícola	300905	8187364
222	Área agrícola	304688	8186892
223	Área agrícola	246274	8187078
224	Área agrícola	298351	8185754
225	Área agrícola	246153	8185931
226	Área agrícola	243131	8184665
227	Área agrícola	244539	8185963
228	Área agrícola	245802	8186050
229	Área agrícola	246765	8189600
230	Área agrícola	245006	8184503
231	Área agrícola	244438	8185194
232	Área agrícola	243220	8184705
233	Área agrícola	244362	8184867
234	Área agrícola	244431	8185179
235	Área Artificial	278737	8266397
236	Área Artificial	229706	8222355
237	Área Artificial	248813	8239395
238	Área Artificial	242588	8223090
239	Área Artificial	231359	8192188
240	Área Artificial	227963	8194334
241	Área Artificial	253097	8187818
242	Área Artificial	229902	8195923
243	Área Artificial	228447	8194762

N°	COBERTURAS	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
244	Área Artificial	230452	8196052
245	Área Artificial	228126	8195579
246	Área Artificial	253101	8187689
247	Área Artificial	230235	8249769
248	Área Artificial	229637	8196200
249	Área Artificial	301788	8186142
250	Área Artificial	245785	8184562
251	Área Artificial	227951	8194882
252	Área Artificial	228699	8193899
253	Área Artificial	245680	8184523
254	Área Artificial	279563	8209645
255	Superficie de agua	272309	8190272
256	Superficie de agua	274298	8187977
257	Superficie de agua	272822	8191891
258	Superficie de agua	296242	8218027
259	Superficie de agua	265602	8189956
260	Superficie de agua	249938	8204974
261	Superficie de agua	270096	8190379
262	Superficie de agua	266263	8213790
263	Superficie de agua	266268	8190533
264	Superficie de agua	249354	8202621
265	Área sin o poca vegetación	283852	8235601
266	Área sin o poca vegetación	282347	8239191
267	Área sin o poca vegetación	273981	8184170
268	Área sin o poca vegetación	304275	8194200
269	Área sin o poca vegetación	272580	8216329
270	Área sin o poca vegetación	296278	8182117
271	Área sin o poca vegetación	246796	8223114
272	Área sin o poca vegetación	285887	8229220
273	Área sin o poca vegetación	294443	8231001
274	Área sin o poca vegetación	255472	8248848
275	Área sin o poca vegetación	285543	8214630
276	Área sin o poca vegetación	268196	8263930
277	Área sin o poca vegetación	284187	8259202
278	Área sin o poca vegetación	265370	8186858
279	Área sin o poca vegetación	263381	8183107
280	Área sin o poca vegetación	276322	8228391
281	Área sin o poca vegetación	294490	8199410
282	Área sin o poca vegetación	271515	8184042
283	Área sin o poca vegetación	282387	8178941
284	Área sin o poca vegetación	292482	8223193
285	Área sin o poca vegetación	290510	8225763
286	Área sin o poca vegetación	279546	8242768
287	Área sin o poca vegetación	273983	8209652
288	Área sin o poca vegetación	290816	8226464
289	Área sin o poca vegetación	259436	8192301
290	Área sin o poca vegetación	285701	8226890
291	Área sin o poca vegetación	258812	8198518
292	Área sin o poca vegetación	295842	8200741

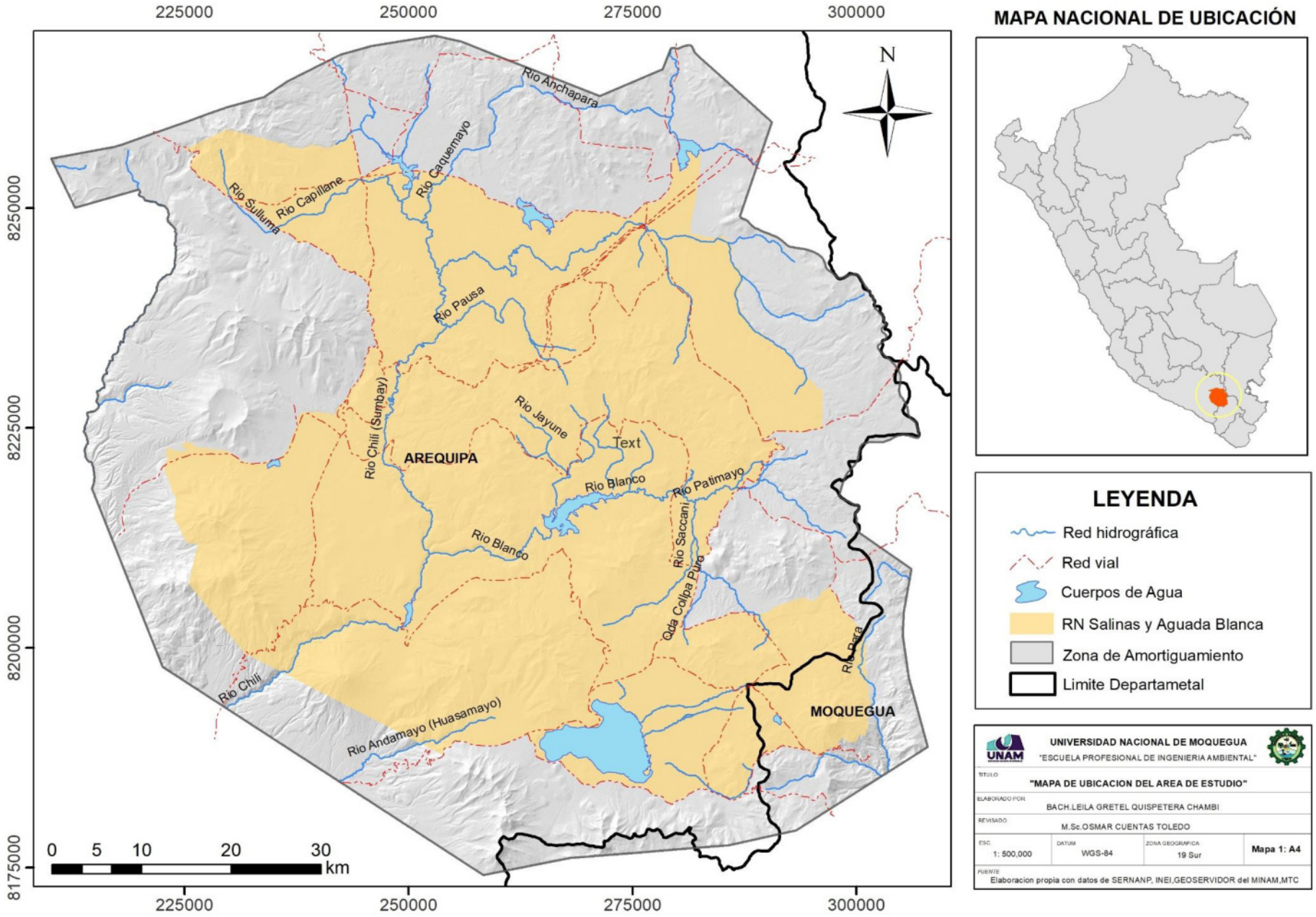
N°	COBERTURAS	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
293	Área sin o poca vegetación	287440	8254441
294	Área sin o poca vegetación	266597	8239765
295	Área sin o poca vegetación	257617	8260196
296	Área sin o poca vegetación	280278	8241897
297	Área sin o poca vegetación	282871	8247253
298	Área sin o poca vegetación	299796	8213273
299	Área sin o poca vegetación	251406	8247398
300	Área sin o poca vegetación	266313	8198193
301	Área sin o poca vegetación	225045	8206182
302	Área sin o poca vegetación	282387	8236190
303	Área sin o poca vegetación	267898	8178279
304	Área sin o poca vegetación	266953	8235637
305	Área sin o poca vegetación	213300	8250545
306	Área sin o poca vegetación	289944	8231178
307	Área sin o poca vegetación	296548	8199954
308	Área sin o poca vegetación	273241	8184459
309	Área sin o poca vegetación	229695	8239142
310	Área sin o poca vegetación	256979	8248919
311	Área sin o poca vegetación	284771	8237599
312	Área sin o poca vegetación	235393	8252471
313	Área sin o poca vegetación	258661	8245299
314	Área sin o poca vegetación	297368	8229911
315	Área sin o poca vegetación	259317	8184954
316	Área sin o poca vegetación	258818	8226825
317	Área sin o poca vegetación	286937	8234430
318	Área sin o poca vegetación	262926	8175380
319	Área sin o poca vegetación	295845	8231422
320	Área sin o poca vegetación	296748	8224773
321	Área sin o poca vegetación	250772	8246280
322	Área sin o poca vegetación	248328	8264510
323	Área sin o poca vegetación	282490	8217551
324	Área sin o poca vegetación	249835	8251893
325	Área sin o poca vegetación	284073	8229211
326	Área sin o poca vegetación	298120	8225616
327	Área sin o poca vegetación	282163	8213521
328	Área sin o poca vegetación	287701	8246162
329	Área sin o poca vegetación	267120	8239068
330	Área sin o poca vegetación	258148	8193748
331	Área sin o poca vegetación	282565	8214139
332	Área sin o poca vegetación	256029	8192616
333	Área sin o poca vegetación	285980	8205189
334	Área sin o poca vegetación	271233	8255154
335	Área sin o poca vegetación	265202	8185625
336	Área sin o poca vegetación	230114	8238299
337	Área sin o poca vegetación	299676	8225697
338	Área sin o poca vegetación	264178	8235732
339	Área sin o poca vegetación	297899	8189483
340	Área sin o poca vegetación	234619	8235411
341	Área sin o poca vegetación	218010	8224525

N°	COBERTURAS	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
342	Área sin o poca vegetación	265467	8195625
343	Área sin o poca vegetación	230862	8236435
344	Área sin o poca vegetación	304518	8193536
345	Área sin o poca vegetación	211830	8252461
346	Área sin o poca vegetación	249156	8197587
347	Área sin o poca vegetación	286591	8244113
348	Área sin o poca vegetación	229606	8216283
349	Área sin o poca vegetación	296535	8229526
350	Área sin o poca vegetación	252828	8248695
351	Área sin o poca vegetación	250742	8250253
352	Área sin o poca vegetación	284604	8221164
353	Área sin o poca vegetación	294822	8195838
354	Área sin o poca vegetación	277984	8179398
355	Área sin o poca vegetación	303277	8201317
356	Área sin o poca vegetación	274523	8251171
357	Área sin o poca vegetación	264251	8242203
358	Área sin o poca vegetación	290151	8190281
359	Área sin o poca vegetación	259518	8236588
360	Área sin o poca vegetación	297805	8194539
361	Área sin o poca vegetación	251281	8216203
362	Área sin o poca vegetación	293843	8220244
363	Área sin o poca vegetación	260369	8182491
364	Área sin o poca vegetación	276202	8230671
365	Área sin o poca vegetación	288400	8178277
366	Área sin o poca vegetación	255666	8193664
367	Área sin o poca vegetación	247231	8264480
368	Área sin o poca vegetación	300449	8237218
369	Área sin o poca vegetación	276392	8183559
370	Área sin o poca vegetación	289822	8182766
371	Área sin o poca vegetación	277234	8178511
372	Área sin o poca vegetación	226203	8207394
373	Área sin o poca vegetación	265018	8213846
374	Área sin o poca vegetación	259487	8236396
375	Salares	276886	8186041
376	Salares	267808	8187960
377	Salares	276750	8188178
378	Salares	270865	8186629
379	Salares	276863	8188411
380	Salares	271934	8193876
381	Salares	271228	8194027
382	Salares	271660	8192753
383	Salares	266247	8190624
384	Salares	271575	8191846

Anexo 3. Matriz de consistencia de la investigación

ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN LA RESERVA NACIONAL SALINAS Y AGUADA BLANCA – AREQUIPA Y MOQUEGUA			
Problema	**Objetivos**	**Variables**	**Indicadores**
Problema General: ¿Cuánto variarán los cambios de cobertura de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca - Arequipa Moquegua, durante el periodo 1991 al 2050?	**Objetivo General:** Analizar y modelar los cambios de cobertura de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca - Arequipa Moquegua, durante el periodo 1991 al 2050	**Variable Independiente** Cobertura de la tierra en la RNSAB	▪ Clasificación de Coberturas de la tierra del año 1991 ▪ Clasificación de Coberturas de la tierra del año 2006 ▪ Clasificación de Coberturas de la tierra del año 2021
Problemas Específicos: ➢ ¿Cuáles fueron los cambios de cobertura de la tierra, durante los periodos 1991- 2006, 2006 - 2021, en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca? ➢ ¿Cuál será el cambio de cobertura de la tierra al 2021 a partir de los mapas de cobertura 1991 y 2006 en la Reserva Nacional Salinas y Aguada? ➢ ¿Cómo cambiara la cobertura de la tierra al año 2050, en la Reserva Nacional Salinas y Aguada?	**Objetivos Específicos:** ➢ Identificar y cuantificar los cambios de coberturas de la tierra en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, durante los periodos 1991-2006, 2006 - 2021. ➢ Modelar y validar los cambios de cobertura de la tierra a partir de los mapas de cobertura de 1991 y 2006 para el año 2021. ➢ Modelar los cambios de cobertura de la tierra al año 2050 en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca.	**Variable Dependiente** Cambio de coberturas de la tierra	▪ Tasa de cambio de las coberturas ▪ Porcentaje de cambio y su equivalente en ha

Anexo 4. Mapa de Ubicación del área de estudio



"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

ANEXO 1.

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

1. **DATOS DEL AUTOR**

Nombres y Apellidos: LEILA GRETEL QUISPETERA CHAMBI
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°: 74635859
Correo electrónico: quispeteraleila@gmail.com
Teléfono/Celular: 950280584

2. **GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)**

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. **TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)**

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (x)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.)()
s) Informes de suficiencia profesional. ( )
t) Patentes producidas por académicos/as. ( )

4. **TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)**

a) Tesis (x)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. **DATOS DE LA PUBLICACION**

Título: "ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN LA RESERVA NACIONAL SALINAS Y AGUADA BLANCA – AREQUIPA, MOQUEGUA"

Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra): 2.07.04

Fecha de publicación:

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

6. **DATOS DEL ASESOR:**

Nombres y Apellidos: OSMAR CUENTAS TOLEDO
DNI/Pasaporte/Cedula: 01342980
ORCID: 0000-0003-3612-1309

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74635859

NOMBRES Y APELLIDOS : Leila Gretel Quispetera Chambi

01

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas. La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X)

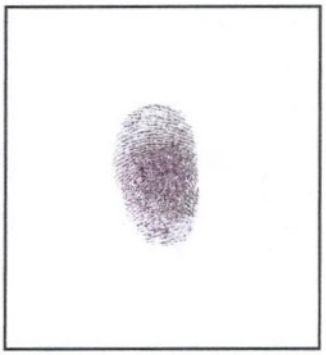
(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 74635859

NOMBRES Y APELLIDOS : LEILA GRETEL QUISPETERA CHAMBI

FECHA : 21 / 06 / 2023



ANEXO VIII

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, LEILA GRETEL QUISPETERA CHAMBI ,
bachiller de la Escuela Profesional de:
INGENIERÍA AMBIENTAL ,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº... 74635859 ..... , autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional denominado:
"ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN LA RESERVA NACIONAL SALINAS Y AGUADA BLANCA – AREQUIPA, MOQUEGUA"

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 21 de Junio del 2023

Nombres y Apellidos: LEILA GRETEL QUISPETERA CHAMBI
DNI: 74635859



Huella digital

Document Information

Analyzed document	LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES_LEILA QUISPETERA.docx (D165733690)
Submitted	2023-05-03 06:54:00
Submitted by	Osmar
Submitter email	ocuentast@unam.edu.pe
Similarity	2%
Analysis address	ocuentast.unampe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**FORMATO FINAL DE TESIS IFMA_DBR_iso111.pdf** Document FORMATO FINAL DE TESIS IFMA_DBR_iso111.pdf (D49283406)	13
SA	**FORMATO FINAL DE TESIS IFMA_DBR_iso111.pdf** Document FORMATO FINAL DE TESIS IFMA_DBR_iso111.pdf (D49287656)	2
W	URL: https://nces.ed.gov/ecls/pdf/K5_file_record_layout.pdf Fetched: 2021-11-29 22:39:36	1
SA	**T3_TALLER DE TESIS 2_MORI GREYSI_BUITRON JOHN.docx** Document T3_TALLER DE TESIS 2_MORI GREYSI_BUITRON JOHN.docx (D140678771)	1
SA	**Correcciones a Tesis Santiago Silva 23-09-2019.pdf** Document Correcciones a Tesis Santiago Silva 23-09-2019.pdf (D57703102)	2

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
"ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN LA RESERVA NACIONAL SALINAS Y AGUADA BLANCA – AREQUIPA Y MOQUEGUA" TESIS PRESENTADO POR: BACHILLER LEILA GRETEL QUISPETERA CHAMBI Para optar el Título Profesional de: INGENIERO AMBIENTAL
ILO –
PERÚ 2023 RESUMEN
La
Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB), posee alrededor de seis zonas de vida y es la principal fuente natural de agua
para
los departamentos de Arequipa y Moquegua. Esta investigación analiza los cambios de cobertura de la tierra en dos periodos 1991-2006 y 2006-2021, valida el modelo del año 2021 y proyecta el modelo de cobertura de la tierra al año 2050; a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8, con metodologías de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) tanto para las etapas de preprocesamiento y procesamiento. La zona de estudio tiene una extensión de 677 529,99 hectáreas, identificándose nueve categorías:
bofedal, vegetación natural, pajonal, área agrícola, área artificial, superficie de agua, área sin o poca vegetación, salares y nevados,