

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Biología - Microbiología

**Estimación de la cobertura vegetal de las lomas de Tacahuay
mediante herramientas de información geográfica y
teledetección**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ELVIS SUGAR MAMANI HILASACA

Para optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO MICROBIÓLOGO

TACNA – PERÚ

2023

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 399

En la ciudad de Tacna, en el auditorio de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; siendo las 10:00 horas del día 20 de octubre del 2023, estando presente el jurado calificador nominado por Resolución de Facultad N° 10660-2023-FACI-UN/JBG conformado por los siguientes docentes:

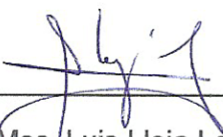
Msc. Luis Lloja Lozano	Presidente
Dr. Pablo Juan Franco León	Secretario
Blgo. Victor Hugo Carbajal Zegarra	Miembro

Acto seguido, se dio lectura a la resolución correspondiente, y del mismo modo se dio lectura al Artículo 22 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

A continuación, el Presidente del Jurado instó al Bachiller Elvis Sugar Mamani Hilasaca a exponer a tesis titulada "Estimación de la cobertura vegetal de las lomas de Tacahuay mediante herramientas de información geográfica y teledetección".

Siendo las 11:30 horas, el tesista concluye su exposición, luego se procedió a la formulación de las preguntas por parte de los miembros del jurado calificador. Terminando este proceso se invitó a que los miembros del jurado emitan su calificación de acuerdo al reglamento. El promedio de la calificación dio el siguiente resultado. Aprobado (por unanimidad) con el calificativo de BUENO, con nota 15, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

Siendo las 11:30 horas se dio por concluido el acto de sustentación de la tesis, firmando los señores miembros del jurado calificador, en señal de conformidad.



Msc. Luis Lloja Lozano
Presidente



Dr. Pablo Juan Franco León
Secretario



Blgo. Victor Hugo Carbajal Zegarra
Miembro

CONSTANCIA DE SIMILITUD

Yo, Giovanni Ademhir Aragón Alvarado, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 10246-2022-FACI-UN/JBG de la tesis

“Estimación de la cobertura vegetal de las lomas de Tacahuay mediante herramientas de información geográfica y teledetección”

Cuyo autor : Bach. Elvis Sugar Mamani Hilasaca

Facultad : Ciencias

Escuela Profesional : Biología – Microbiología

Que fue presentado con fecha 20/10/23 y después de realizado el análisis correspondiente en el software de similitud textual Turnitin con fecha 27/11/23; con la siguiente configuración del software:

- Excluir material bibliográfico
- Excluir material citado
- Excluir bloques de texto excluidos manualmente
- Excluir coincidencia baja (menos de 8 palabras)

Dicho documento presenta un porcentaje de similitud de **2%**

En tal sentido, **CERTIFICO QUE LA SIMILITUD** de la tesis está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio Institucional**

Se emite el presente certificado para los fines correspondientes.

Tacna, 30 de noviembre de 2023.



MSc. Giovanni Ademhir Aragón Alvarado
Docente Asesor

DEDICATORIA

A DIOS

Por derramar sus bendiciones sobre toda mi familia y acompañarme en los momentos más difíciles de mi vida y permitirme vencer los obstáculos durante mi formación profesional, porque sin él nada somos, nada podemos hacer si no es por su infinito poder.

A MI MADRE LIDIA H.M

Por confiar siempre en mí a pesar de las adversidades que pudieran presentarse, por haberme forjado con amor, paciencia y carácter desde mis primeros años de vida, a ella todo mi reconocimiento eterno, este logro es para ti y por ti. Gracias, Mamita, te quiero mucho.

A MI PADRE JOVINO M.Q

Por ser tolerante, recto y justo en los momentos más importantes de mi vida, por haberme guiado en la senda de un hombre de bien siempre, a ti mi más grande admiración y respeto sobre la faz de la tierra. Gracias, Papá.

A MI HERMANO EDGAR M.H

Por ser mi ángel de la guarda, iluminarme y darme la fortaleza necesaria para culminar con este objetivo desde el inconmensurable cielo, siempre te tengo presente, a ti mi amor infinito y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Jorge Basadre Grohmann de Tacna, por la formación recibida durante toda mi etapa estudiantil y haber conocido grandiosos profesores y amigos.

A mi asesor de tesis Dr. Giovanni Ademhir Aragón Alvarado, por su apoyo incondicional durante la presentación, desarrollo, redacción y sustentación de la presente investigación.

A mis amigos y compañeros de aula que amablemente me ayudaron y aconsejaron en los momentos críticos de la presentación del proyecto de tesis, en especial, a Oscar Nehemias Mamani y Jhonny Paredes Escobar, sin su apoyo no lo hubiera logrado.

Finalmente, un reconocimiento especial para mi tía Benilda H. M que con su apoyo moral me dio el empuje que necesitaba para cumplir con mis metas.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI

INTRODUCCIÓN**CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. Enunciado del problema	2
1.2. Definición y delimitación del problema	3
1.3. Características y significado del problema	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis	4

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Fundamente teórico	9

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1.	Área de estudio	35
3.1.1.	Ubicación de las Lomas de Tacahuay	35
3.2.	Procedimiento	35
3.2.1.	Determinación de los tipos de cobertura vegetal	35
3.2.2.	Descarga de la capa vectorial del área de estudio	35
3.2.3.	Descarga de imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS)	36
3.2.4.	Descarga del MDE	36
3.2.5.	Generación de los ROI para los tipos de cobertura vegetal	36
3.2.6.	Preprocesamiento de imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS)	37

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1.	Determinación de los TC vegetal en las lomas de Tacahuay	43
4.2.	Clasificación de los TC vegetal en ROI	47
4.2.1.	Temporada húmeda	47
4.2.2.	Temporada seca	49
4.3.	Área que ocupan los TC vegetal en las lomas de Tacahuay	51
4.3.1.	Temporada húmeda	51
4.3.2.	Temporada seca	52
4.4.	Generar mapas de los TC vegetal de las lomas de Tacahuay	54
4.4.1.	Temporada húmeda	54
4.4.2.	Temporada seca	57
4.5.	Diagrama de flujo del proceso de ejecución	60

CAPÍTULO V: DISCUSIONES

CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** *Resolución espectral de Landsat 8 (OLI y TIRS).*
- Tabla 2.** *Resolución temporal de Landsat 5 (TM) y 7 (ETM+).*
- Tabla 3.** *Características de los sensores Landsat.*
- Tabla 4.** *Índices basados en la pendiente.*
- Tabla 5.** *Índices basados en la distancia.*
- Tabla 6.** *Índices basados en transformaciones ortogonales.*
- Tabla 7.** *Índice de Kappa.*
- Tabla 8.** *Tipos de crecimiento vegetal en las lomas de Tacahuay.*
- Tabla 9.** *Número de especies por tipo de crecimiento vegetal.*
- Tabla 10.** *Simbología utilizada para clasificar los TC – Temporada húmeda.*
- Tabla 11.** *Simbología utilizada para clasificar los TC – Temporada seca.*
- Tabla 12.** *Área ocupada por la cobertura vegetal durante la temporada húmeda.*
- Tabla 13.** *Área ocupada por la cobertura vegetal durante la temporada seca.*
- Tabla 14.** *Error estimado para el modelo Random Forest - Temporada húmeda.*
- Tabla 15.** *Matriz de predicción entre el modelo RF y la validación.*
- Tabla 16.** *Índice de Kappa del ráster final – Temporada húmeda*
- Tabla 17.** *Error estimado para el modelo Random Forest – Temporada seca*
- Tabla 18.** *Matriz de predicción entre el modelo RF y la validación.*
- Tabla 19.** *Índice de Kappa del ráster final – Temporada seca*

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** *Componentes de un sistema de teledetección.*
- Figura 2.** *Espectro electromagnético.*
- Figura 3.** *Firma espectral.*
- Figura 4.** *Tipos de sensores remotos.*
- Figura 5.** *Tipos de resoluciones espaciales.*
- Figura 6.** *Resolución radiométrica.*
- Figura 7.** *Imagen Sentinel – 2 en RGB y color natural.*
- Figura 8.** *Tipos de satélite que orbitan la tierra.*
- Figura 9.** *Proporción de especies por TC en las lomas de Tacahuay.*
- Figura 10.** *Mapa de los ROI generados para los TC durante la temporada húmeda.*
- Figura 11.** *Mapa de los ROI generados para los TC durante la temporada seca.*
- Figura 12.** *Área expresada en hectáreas de los TC durante la temporada húmeda.*
- Figura 13.** *Área expresada en hectáreas de los TC durante la temporada seca.*
- Figura 14.** *Mapa de la cobertura vegetal durante la temporada húmeda.*
- Figura 15.** *Mapa de la cobertura vegetal durante la temporada seca.*
- Figura 16.** *Flujo de trabajo durante la ejecución del estudio.*

RESUMEN

Las lomas de Tacahuay ubicadas entre las regiones de Tacna y Moquegua, albergan una fuente importante de flora endémica y ofrece una serie de servicios ecosistémicos para nuestra región, en ese sentido, resulta valioso estimar el área que ocupa cada cobertura vegetal, puesto que pueden ayudar a evaluar la calidad de los ecosistemas. Del mismo modo, la aplicación de nuevas tecnologías como la teledetección y las distintas herramientas de información geográfica puestas a nuestra disposición permiten obtener datos de grandes extensiones de nuestro territorio en poco tiempo. Es así que en este estudio se planteó como objetivo estimar la cobertura vegetal y generar mapas de las mismas, para este propósito se clasificó a la flora en tipos de cobertura tomando en cuenta su fisonomía, también se emplearon imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS) capturadas durante la temporada húmeda y seca de 2019 igualmente se generaron regiones de interés (ROI) para la identificación de las coberturas y que posteriormente fueron utilizados para el entrenamiento del modelo basado en árboles de decisión denominado Random Forest, la precisión de los mapas se consiguieron mediante el cálculo de los índices de Kappa. Obteniendo como resultados que, la cobertura arbórea está representada por 3 especies (5,56 %), la arbustiva y herbácea por 15 (27,77 %) y 36 (66,67 %) especies correlativamente, en cuanto a la cantidad de vectores usados para generar los ROI estos se encontraron distribuidos de la siguiente manera: 650 durante la temporada húmeda y 175 durante la seca. Por su parte, la cobertura que mayor área registró durante la temporada húmeda fue la herbácea con 4068,36 hectáreas, seguido de la arbustiva y arbórea con 178,02 y 130,5 hectáreas respectivamente, la temporada seca tuvo como principal cobertura a la arbustiva con 130,41 hectáreas sucedida por la herbácea y arbórea con 41,58 y 32,04 hectáreas de forma respectiva. La precisión de los mapas generados a partir de la aplicación del modelo fue de 0,92 (Tabla 16) y 0,73 (Tabla 19) para la temporada húmeda y seca en el orden dado, es conveniente subrayar que dentro del rango de valores que asume el índice de Kappa estos se encuentran entre “Almost perfect” y “Substantial”. Finalmente, se consiguió elaborar un flujograma de los procedimientos ejecutados a lo largo del estudio.

Palabras clave: cobertura vegetal, índice de kappa, random forest, Landsat 8

ABSTRACT

The Tacahuay hills, located between the Tacna and Moquegua regions, are home to an important source of endemic flora and offer a series of ecosystem services for our region. In this sense, it is valuable to estimate the area occupied by each plant cover, since they can help to assess the quality of ecosystems. In the same way, the application of new technologies such as remote sensing and the different geographic information tools made available to us allow us to obtain data from large areas of our territory in a short time. Thus, in this study the objective was to estimate the vegetation cover and generate maps of the same, for this purpose the flora was classified into types of cover taking into account its physiognomy, Landsat 8 images (OLI and TIRS) were also used. Captured during the 2019 wet and dry season, regions of interest (ROI) were also generated for the identification of the coverages and which were later used for training the model based on decision trees called Random Forest, the precision of the maps was achieved by calculating the Kappa indices. Obtaining as results that the tree cover is represented by 3 species (5.56%), the shrubby and herbaceous by 15 (27.77%) and 36 (66.67%) species correlatively, in terms of the number of vectors used to generate the ROI, these were distributed as follows: 650 during the wet season and 175 during the dry season. For its part, the cover with the largest area recorded during the wet season was herbaceous with 4068.36 hectares, followed by shrub and tree with 178.02 and 130.5 hectares respectively, the dry season had shrub as the main cover. with 130.41 hectares succeeded by herbaceous and arboreal with 41.58 and 32.04 hectares respectively. The precision of the maps generated from the application of the model was 0.92 (Table 16) and 0.73 (Table 19) for the wet and dry season in the given order. It is convenient to underline that within the range of values Assumed by the Kappa index, these are between "Almost perfect" and "Substantial". Finally, it was possible to draw up a flowchart of the procedures carried out throughout the study.

Keywords: Vegetation cover, kappa index, Random Forest, Landsat 8

INTRODUCCIÓN

En el Perú, el uso de nuevas tecnologías para la conservación del ambiente se ha ido incrementando en la última década. La teledetección como tal es una de las herramientas ya ampliamente utilizadas para obtener información de grandes superficies de nuestro territorio en poco tiempo, si bien es cierto muchos de los trabajos de investigación se han centrado en la Amazonía por estar cubierta de una cobertura vegetal exuberante muy pocas investigaciones se han direccionado al estudio de ecosistemas desérticos costeros dependientes de los recursos hídricos para su desarrollo como es el caso de las lomas de Tacahuay, ubicado en el desierto de Atacama, que para nuestra región resulta una fuente importante para el desarrollo de investigación, pues, en ella se desarrollan diversos procesos ecológicos y biológicos como: alimentación, descanso, reproducción entre otros, sin dejar de lado la presencia de una variedad de especies de flora y fauna endémica estacional.

Es así que la teledetección y las herramientas geográficas surgen como un importante vehículo para la investigación de ecosistemas frágiles, en ese aspecto el presente estudio permitirá estimar la cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay lo que sentará las bases para posteriores estudios que permitirán conocer la evolución que sufrirá a lo largo del tiempo y que podría suponer, finalmente, en un aumento o disminución de la misma, en consecuencia, es importante realizar este y otros tipos de estudios en el lugar porque solo de esta manera podremos asegurar la conservación de este tipo de ecosistema.

Esperanzado en las próximas investigaciones que pudieran realizarse, sumado a los esfuerzos en materias de conservación en nuestra región, es que pudiéramos hablar en un futuro no muy lejano del establecimiento de un Área Natural Protegida por el Estado o en su defecto, formando parte de una.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Enunciado del problema

Uno de los principales problemas de pérdida de la cobertura vegetal en la zona costera del Perú está relacionado con el fenómeno de la desertificación y desertización; el primero provoca una pérdida total o parcial de sus recursos (vegetación, suelo y/o agua) debido a variaciones climáticas; el segundo, provocado por la actividad humana. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, s.f.) en su informe Nacional sobre el estado del ambiente 2014 - 2019 que tituló: “Pérdida total de cobertura vegetal en la costa y sierra, 2004 - 2020”, identificó a las lomas costeras como el segundo ecosistema con mayor pérdida respecto a la superficie, con aproximadamente 4,1 % del total, lo que pone en manifiesto la importancia de monitorear este tipo de ecosistemas frágiles.

El Perú es parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) desde 1992 y reafirmando su compromiso en 1993 (MINAM, 2016), confirmando de esta forma su compromiso de lucha contra la desertificación y sequía, que son temas prioritarios, del mismo modo, a nivel regional el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2014) a través de la Administración Técnica Forestal Tacna - Moquegua, el Gobierno Regional de Tacna (GRT) y el Gobierno Regional de Moquegua (GRM); mediante la Ficha Técnica de Campo realizado entre el 16 y 17 de octubre de 2014, trazó como objetivo la inclusión de las lomas de Tacahuay, ubicada entre las regiones de Tacna y Moquegua, en la lista sectorial de ecosistemas frágiles del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI).

En consecuencia, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles serán los valores estimados de la cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay durante la temporada húmeda y seca, 2019?

2.2. Definición y delimitación del problema

En el ámbito mundial, las herramientas de información geográfica y teledetección para el análisis de la cobertura vegetal han contribuido a la identificación de los cambios que ha sufrido esta, debido a la desertificación. En este sentido, las lomas de Tacahuay, ubicado entre las regiones de Tacna y Moquegua, han sufrido cambios en su vegetación (herbácea, arbustiva y arbórea) a lo largo del tiempo, presentando una marcada sucesión en el desarrollo de la vegetación durante la temporada húmeda y en menor proporción durante la seca.

El presente estudio no solo servirá como instrumento para futuras investigaciones, sino también, para informar, motivar y crear conciencia acerca de estos valiosos recursos con los que aún cuenta la zona costera de nuestro país.

2.3. Características y significado del problema

Se han señalado diferentes procesos como responsables del cambio de cobertura vegetal como la desertificación debido a la actividad humana y variabilidad climática, en ese aspecto la poca o nula información con la que se cuenta hace difícil estimar el aumento o disminución de la misma, y son precisamente las herramientas geográficas y de percepción remota las que permitirán estimar y determinar el área que ocupa cada tipo de cobertura en las lomas de Tacahuay.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Estimar la cobertura vegetal de las lomas de Tacahuay mediante herramientas de información geográfica y teledetección durante la temporada húmeda y seca, 2019.

2.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar los distintos tipos de cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay.
- b. Clasificar mediante ROI los tipos de cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay.
- c. Determinar el área que ocupa cada tipo de cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay.
- d. Generar un mapa de cobertura vegetal de las lomas de Tacahuay.
- e. Generar un diagrama de flujo de los procedimientos que se desarrollaron a lo largo de la ejecución del estudio.

2.5. Hipótesis

Los valores estimados de la cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay durante la temporada húmeda de 2019 será de 5000 ha (herbácea), 2500 ha (arbustiva) y 1000 ha (arbórea); durante la temporada seca de 2019 será de 1500 ha (arbustiva), 500 ha (arbórea) y 150 ha (herbácea).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes de la investigación

Según, Miyasiro y Ortiz (2016) en el trabajo de investigación que titularon: “Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986 - 2014)”, se propusieron como objetivo estimar y analizar la variación de la superficie de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo, para ello utilizaron imágenes Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) y SPOT 5 (2HRG) y como parte del tratamiento de sus datos utilizaron el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) para delimitar la cobertura. La conclusión de las autoras a partir de la interpretación de sus datos indicó una reducción de la cobertura vegetal en un 26,3 % que fue convertido en suelo urbano y un 3,4 % fue destinado a la extracción minera durante el transcurso del estudio.

Según, Gonzales (2018) en la investigación que realizó y tituló: “Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la provincia de Manu, 2000 - 2016”, propuso como objetivo analizar la frecuencia de deforestación y cambios de la cobertura boscosa por medio de imágenes satelitales con la finalidad de conocer la aceleración de la pérdida de cobertura vegetal y mediante su estudio sugerir una propuesta de manejo ambiental. El autor usó como metodología una clasificación supervisada y el índice NDVI para determinar los cambios de cobertura boscosa. La obtención de las imágenes satelitales fue realizada a través del portal web del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos); además, usó el software ENVI v5.3 para el tratamiento de sus datos, concluyó que la deforestación se incrementó en 339,78 kilómetros cuadrados entre el 2000 y 2008 teniendo como factor la deforestación un aumento en el precio del oro y la construcción de la carretera interoceánica.

Maquera (2020) en su trabajo de investigación titulado: “Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el departamento de Tacna, periodo 2007, 2012 y 2017”, planteó como objetivo analizar los cambios en la cobertura vegetal de Tacna, el autor utilizó imágenes Landsat 5 (TM) obtenidas del USGS recolectando imágenes de tres años (2007, 2012, 2017). Para el análisis de sus datos utilizó el software ENVI v5.3, además, aplicó una metodología basada en árboles de decisión denominada Random Forest y utilizó la leyenda Corine Land Cover para clasificar la cobertura del área de estudio. Los resultados de su investigación le permitieron afirmar que hubo un incremento en las coberturas de áreas artificializadas y áreas agrícolas con valores de 9,71 % y 3,10 % respectivamente. Según el análisis de sus resultados, las cubiertas que mayores cambios registraron fueron los bosques y áreas naturales, convirtiéndose en áreas agrícolas y áreas artificializadas respectivamente, lo que representó el 1,6 % del área total.

De acuerdo con la tesis presentada por Murillo (2017) que tituló: “Análisis de cambios de cobertura y uso actual de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Llacanora, periodo 2001 - 2016”, el autor se trazó como objetivo analizar los cambios de la cobertura vegetal, es así que utilizó imágenes Landsat 5 (TM) y Landsat 8 (OLI y TIRS), obtenidas del USGS que posteriormente, fueron procesadas por medio de técnicas basadas en teledetección y analizadas en el software ENVI Zoom para finalmente, clasificarlas mediante la metodología Corine Land Cover obtenida del MINAM concluyendo que la cobertura que tuvo mayor cambio en el periodo 2001 – 2016 fue la herbácea, con una pérdida de 1117,49 hectáreas equivalentes al 21,82 % del área total.

Sobre la base de la investigación de Huaytalla y Valero (2020) titulado: "Determinación de tipos de cobertura vegetal mediante índices espectrales usando teledetección, Reserva Nacional de Lachay, 2020". Las autoras se propusieron determinar la cobertura vegetal haciendo uso de índices espectrales como el NDVI y NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada) por medio del método de clasificación supervisada con imágenes Sentinel 2. El análisis y procesamiento de datos les permitió identificar 9 tipos de cobertura vegetal, los cuales fueron: desierto, loma de tillandsias, loma de nostoc, loma de Stenomesson, loma de herbáceas, loma tipo parque, loma de paredes rocosas, loma de musgos, líquenes y loma de cactáceas y determinar 17 especies florísticas.

Por su parte, Halmy et al. (2015) en el estudio que tituló: "Land use/land cover change detection and prediction in the north - western coastal desert of Egypt using Markov-CA", los autores se propusieron estudiar los cambios de uso de tierra/cobertura terrestre (LULC) en la región desértica de la costa noroccidental de Egipto. Las imágenes satelitales se obtuvieron del satélite Landsat 5 (TM) de los años 1988, 1999 y 2011, los datos complementarios del estudio fueron clasificados utilizando el método de bosques aleatorios, logrando generar mapas con más del 90 % de precisión. Los autores afirmaron que sus resultados pueden ayudar a proponer actividades en materia de planificación y gestión ambiental direccionadas a la conservación de la vida silvestre, además el método de bosques aleatorios que utilizaron resultó eficaz en la clasificación de LULC, por lo que sugirieron su utilización de manera confiable para mapear ecosistemas áridos y semi áridos.

Wang et al. (2022) en su estudio titulado: “UAV based remote sensing using visible and multispectral indices for the estimation of vegetation cover in an oasis of a desert” que fue realizado en el oasis de Dariyabui ubicado en el desierto de Taklamakan en China enfocaron su trabajo sobre la perspectiva de que los métodos de aprendizaje automático son limitados y que muchos de los trabajos realizados se enfocan en la utilización de unos pocos métodos. Para ello se propusieron identificar la escasa vegetación en el oasis Dariyabui mediante el procesamiento de imágenes capturadas por UAV (Vehículos Aéreos no Tripulados), un total de 2550 muestras de datos y 14 índices de vegetación entre ellas las más conocidas como: NDVI y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), además utilizo 6 métodos de aprendizaje automático para predecir la cobertura vegetal fraccional en el área de estudio. Sus resultados les permitieron afirmar que el modelo Random Forest (RF) fue el mejor para la identificación de la vegetación a partir de imágenes UAV, de igual forma, los índices de vegetación que presentaron un comportamiento estable fueron: El Índice de Resistencia Atmosférica Visible (VARI), el Índice de Vegetación Resistente a la Atmosfera (ARVI), el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Modificado (MSAVI) y el Exceso de Índice Verde (ExGR).

Así también, el trabajo realizado por Talavera (s.f.) titulado: “El rol del agua de las neblinas en la conservación y manejo de la biodiversidad de los ecosistemas de lomas” recoge dos características del funcionamiento de las lomas costeras: el primero enfocado en el rol que cumplen las especies arbóreas para el mantenimiento del ciclo hidrológico basado en la captura y almacenamiento de agua proveniente de la neblina, el segundo dirigido al efecto nodriza de la vegetación arbórea específicamente, pues, proporciona el agua suficiente para que se puedan desarrollar los diferentes procesos biológicos, además de brindar refugio, sombra, fuente de alimentación para otras especies.

Habría que añadir que Gutiérrez y Squeo (2004) en su trabajo: “Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile” recopila información referida al papel que desempeñan los arbustos en los ecosistemas semiáridos y el efecto nodriza que ejerce este tipo de cobertura sobre otras. Es así que detalla cómo la hojarasca que se deposita en la base de los arbustos contribuye a una mejor absorción de humedad hacia capas inferiores del suelo y que esta humedad contenida quede disponible para la absorción por otras plantas. Del mismo modo, el efecto nodriza que ejercen los arbustos permite que otras plantas se desarrollen de manera óptima, pues, genera un ambiente con menor estrés hídrico y térmico. Según los autores, este efecto explica por qué la vegetación leñosa persiste y rejuvenece en el mismo lugar y no lo hace en ausencia de esta interacción.

Por su parte Lopez (2021) en: “Tecnologías de captación de agua de niebla para el desarrollo sostenible en la loma de Tacahuay, Tacna, 2021” recoge una serie de testimonios proveniente de informantes e información referida al proyecto ADMICCO (Adaptación y Mitigación al Cambio Climático) titulada “Reforestación con agua captada de neblinas: recuperando la Loma de Tacahuay”, dicho proyecto tuvo como objetivo reforestar con 121 árboles de tara la extensión de una hectárea, instalar atrapanieblas, instalar un reservorio de 300 m³ con su respectiva geomembrana y un sistema de riego señala además que durante la ejecución del proyecto hasta diciembre de 2014 lograron reforestar alrededor de 800 taras.

Xue y Su (2017) en su estudio titulado: "Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications" recopila información sobre las características espectrales de la vegetación, así como las ventajas y desventajas de al menos 100 índices de vegetación, donde discute la aplicabilidad basada en la vegetación de interés, el entorno y la precisión de las mismas. En lo que refiere al SAVI los autores mencionan que surge como medida de solución al NDVI índice muy usado, pero que cuya desventaja es la sensibilidad a factores de fondo de suelo. Además, mencionan que es menos sensible que el RVI (Índice de proporción de vegetación) a los cambios de fondo de suelo y el contenido de humedad superficial.

Baret et al. (1993) en su trabajo: "About the soil line concept in remote sensing" estudia el efecto que tendría la línea del suelo y otros factores como la rugosidad y la humedad contenida en el suelo sobre la reflectancia mediante una simulación de los índices de vegetación para distintas texturas de suelo, contenido de humedad y rugosidad a través del modelo SAIL (dispersión de hojas inclinadas arbitrariamente). Sus resultados les permitieron concluir que el suelo es el principal factor de la variación en el espectro infrarrojo visible y cercano.

4.2. Fundamente teórico

A) Concepto de teledetección

Para Richards y Xiuping (2006) la teledetección es la medición de la energía que emana de la superficie de la tierra, si la fuente de esta energía es el sol entonces lleva el nombre de teledetección pasiva, pero si la energía no es emitida por el sol, sino por la plataforma de algún sensor remoto, entonces, se define como teledetección activa como los sensores de radar que funcionan en el rango de microondas.

B) Componentes de un sistema de teledetección

Chuvienco (1995) considera que un sistema de teledetección está compuesto por los siguientes componentes:

a) Fuente de energía

Que es originado por la radiación electromagnética que el sensor va a captar, puede tratarse de una fuente pasiva como es el sol o por una fuente activa como un sensor remoto que luego capta su mismo reflejo (radar).

b) Cubierta terrestre

Son los componentes que integran un lugar determinado, como: vegetación, suelo, rocas, etc., las cuales reflejan una señal hacia el sensor.

c) Sistema sensor

Que es el mismo sensor constituido por: cámaras, radar, lentes, etc., y la plataforma que lo alberga puede ser un satélite, avión, globo, entre otros, que tiene como objetivo captar la energía reflejada de la superficie terrestre.

d) Sistema de recepción – comercialización

Es la encargada de almacenar la información obtenida por el sensor y asignarle un formato de salida para ponerlo a disposición del usuario final.

e) Intérprete

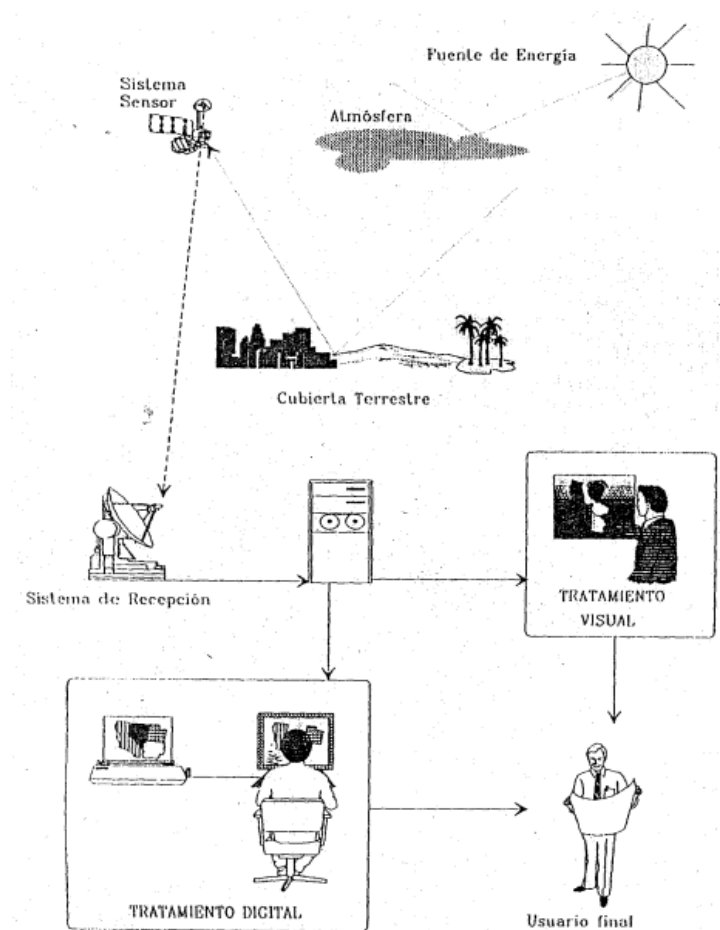
Es el encargado de convertir los datos del sensor en información de interés para diferentes áreas de empleo, como: agricultura, forestal, catastro, ambiente, etc., ya sea empleando procedimientos y técnicas visuales o digitales.

f) Usuario final

Es el beneficiario del documento final fruto de la interpretación, además, de decidir sobre el uso que hará de este material y su aplicación en un campo específico de la ciencia.

Figura 1

Componentes de un sistema de teledetección.



Nota. De fundamento de teledetección espacial (p. 26), por E. Chuvieco, 1995, Ediciones Rialp S.A.

C) Espectro electromagnético

Puerta et al. (2013) define al espectro electromagnético como el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas, que pueden ir desde los rayos gamma hasta ondas de radio. Por otro lado, Chuvieco (2008) hace referencia a la longitud de estas ondas que pueden ir desde los micrómetros hasta kilómetros.

a) Regiones espectrales utilizadas para la observación remota de la tierra

➤ **Espectro Visible (0,4 – 0,7 μm)**

Se encuentra en el rango de frecuencia del ojo humano. Subdivido en tres bandas: rojo (0,6 – 0,7 μm), verde (0,5 – 0,6 μm) y azul (0,4 – 0,5 μm).

➤ **Infrarrojo cercano (0,7 – 1,1 μm)**

Denominado IR fotográfico o reflejado es la energía solar que reflejan los cuerpos.

➤ **Infrarrojo medio (1,1 – 8 μm)**

Se entremezclan dos componentes como son la emisión y radiación solar, es aprovechado para medir vapor de agua, ozono, aerosoles, entre otros.

➤ **Infrarrojo medio (8 – 14 μm)**

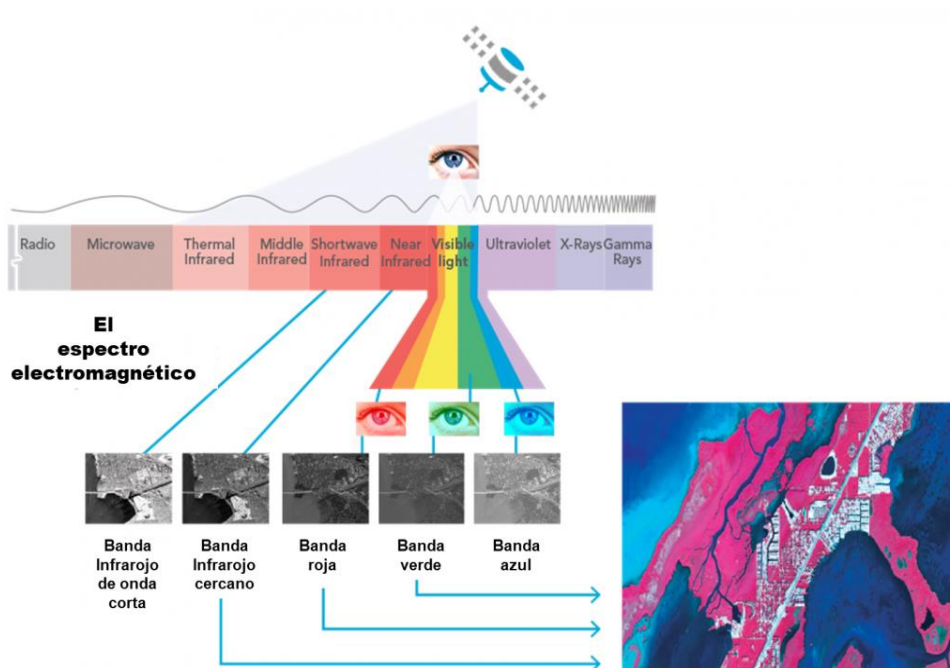
Son radiaciones emitidas por los propios cuerpos, se puede determinar la temperatura de un cuerpo y una de sus ventajas es que puede disponer de imágenes a cualquier hora del día.

➤ **Microondas (1 nm – 1 m)**

Este rango electromagnético es de interés creciente en el ámbito de la Teledetección. Las perturbaciones atmosféricas son menores y es transparente a las nubes. Se suelen utilizar sensores activos.

Figura 2

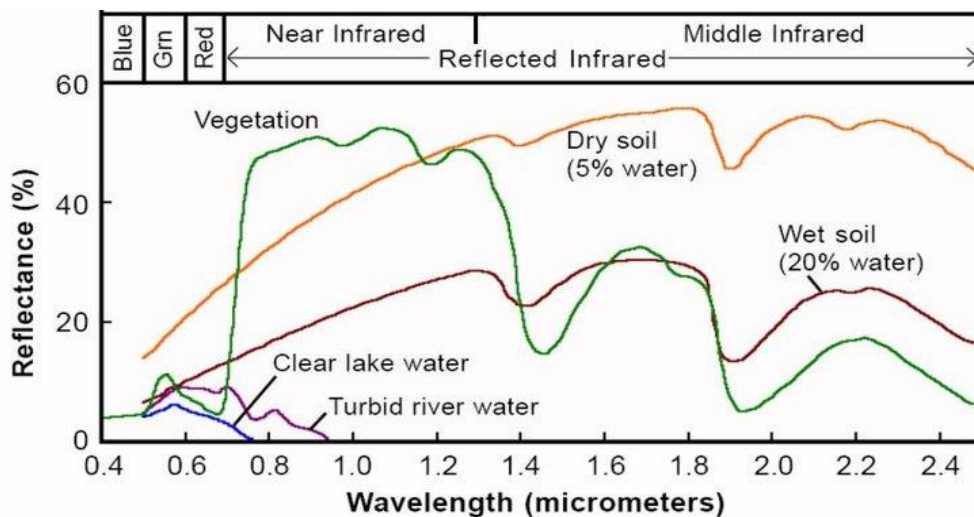
Espectro electromagnético.



Nota. De aplicación de la teledetección: Índices espectrales [Fotografía], por M. Sánchez Aparicio, 2020, Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila (<https://politecnicadeavila.usal.es/2020/02/03/maria-sanchez-aporicio-aplicacion-de-la-teledeteccion-indices-espectrales/>). Derechos de autor 2020 por Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila.

D) Firma espectral

Para la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, 2019) la firma espectral es la reflectancia como una función de longitud de onda; y cada material tiene una firma única, de esta forma se puede utilizar para la clasificación de materiales en la superficie de la tierra.

Figura 3*Firma espectral.*

Nota. De *Tutorial de determinación de huellas espectrales de cobertura de suelos con QGIS 3 y SCP 6* [Fotografía], por G. Carita, 2018, Gidahatari (<https://gidahatari.com/ih-es/tutorial-de-determinacion-de-huellas-espectrales-de-cobertura-de-suelos-con-qgis-3-y-scp-6>). Derechos de autor 2018 por Gidahatari.

E) Sensores remotos

Para Puerta et al. (2013), es el instrumento ubicado en una plataforma satelital con la capacidad de captar la energía procedente de la cubierta terrestre. Estos sensores remotos pueden clasificarse como pasivos o activos según la fuente de energía electromagnética a utilizar.

a) Sensores pasivos

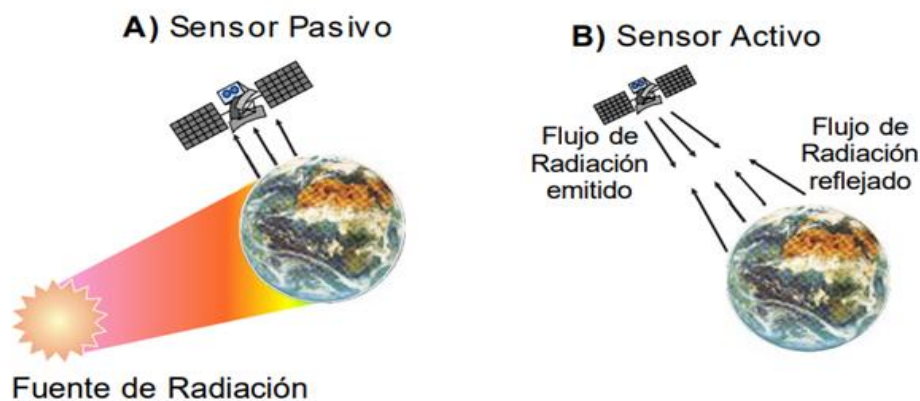
La Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina (SAyDS, 2004), define a este tipo de sensores como aquellos que miden la radiación electromagnética procedente de la cubierta terrestre y que son reflejadas por los rayos solares o son emitidas a través de ondas termales.

b) Sensores activos

Martínez y Díaz (2005), indicaron que este tipo de sensores son los responsables de emitir o iluminar un objeto con su propia fuente de energía y captarla al mismo tiempo, este tipo de sensores son utilizados frecuentemente cuando la radiación natural no es suficiente como para iluminar adecuadamente un objeto.

Figura 4

Tipos de sensores remotos.



Nota. De *Esquema de los sensores, activo y pasivo* [Fotografía], por D. J. Pérez, 2007, Laboratorio Tectónica Andina (http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf). Derechos de autor 2007 por Laboratorio Tectónica Andina

F) Resolución de los sensores remotos

Chuvieco (1995), afirmó que la resolución implica, al menos, cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal, definidas a continuación:

a) Resolución espacial

Este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen (píxel).

b) Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, mientras mayor sea esta resolución se tendrá más información del comportamiento de una misma cobertura en diferentes bandas espectrales.

c) Resolución radiométrica

Hace referencia a la sensibilidad del sensor, es decir, a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Al igual que en los otros tipos de resolución, cuanto mayor sea la precisión radiométrica, tanto mejor podrá interpretarse la imagen. En la actualidad la mayor parte de sistemas ofrecen 256 niveles por píxel (de 0 a 255).

d) Resolución temporal

Este concepto alude a la periodicidad con la que el sensor adquiere las imágenes de la misma porción de superficie terrestre. Alta resolución temporal entre 1 a 3 días, media resolución temporal entre 4 a 16 días y baja resolución temporal mayor a 16 días.

Figura 5

Tipos de resoluciones espaciales.



Nota. De *¿En qué debes fijarte a la hora de descargar unos datos de teledetección?* [Fotografía], por B. Ramos López, 2016, Cursos teledetección (<https://www.cursosteledeteccion.com/en-que-debes-fijarte-a-la-hora-de-descargar-unos-datos-de-teledeteccion/>). Derechos de autor 2016 por Cursos teledetección.

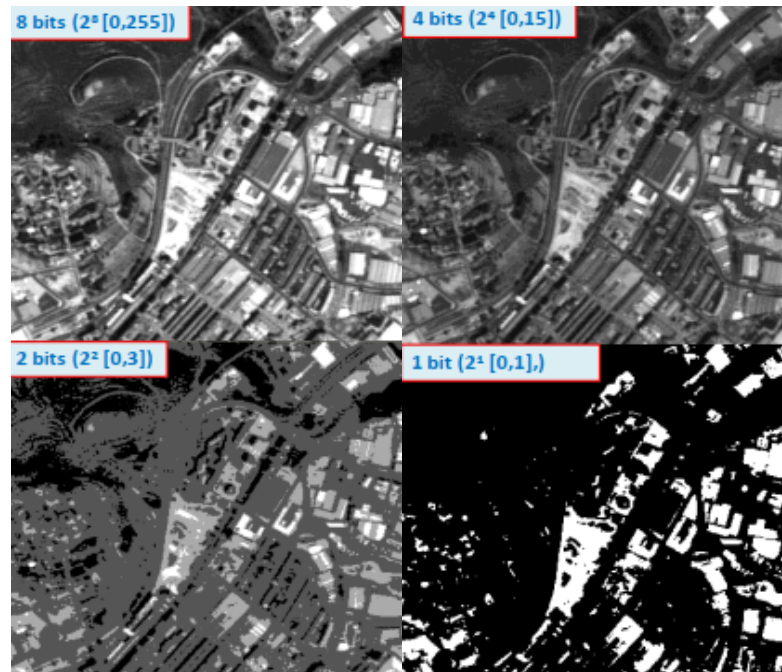
Tabla 1*Resolución espectral de Landsat 8 (OLI y TIRS).*

Sensor	Spectral Band	Use Area	Wavelength	Resolution
OLI	Band 1	Coastal/Aerosol	0.433 – 0.453 μm	30 m
OLI	Band 2	Blue	0.450 – 0.515 μm	30 m
OLI	Band 3	Green	0.525 – 0.600 μm	30 m
OLI	Band 4	Red	0.630 – 0.680 μm	30 m
OLI	Band 5	Near Infrared	0.845 – 0.885 μm	30 m
OLI	Band 6	Short Wavelength Infrared (SWIR 1)	1.560 – 1.660 μm	30 m
OLI	Band 7	Short Wavelength Infrared (SWIR 2)	2.100 – 2.300 μm	30 m
OLI	Band 8	Panchromatic	0.500 – 0.680 μm	15 m
OLI	Band 9	Cirrus	1.360 – 1.390 μm	30 m
OLI	Band 10	Long Wavelength Infrared	10.30 – 11.30 μm	100 m
OLI	Band 11	Long Wavelength Infrared	11.50 – 12.50 μm	100 m

Nota. De Bandas Landsat 8: Combinaciones Y Usos En Imágenes [Fotografía], por Sistema de Observación de la Tierra (EOS, 2021), EOS (<https://eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/>). Derechos reservados 2021 por EOS.

Figura 6

Resolución radiométrica.



Nota. De *Tipos de resolución en imágenes geoespaciales* [Fotografía], por E. Granados, 2019, Alfa Geomatics (<https://alfageomatics.com/2019/09/tipos-de-resolucion-en-imagenes-geoespaciales/>). Derechos reservados 2019 por Alfa Geomatics. CC – BY–NC – SA 4.0.

Tabla 2

Resolución temporal de Landsat 5 (TM) y 7 (ETM⁺).

	Landsat TM	Landsat ETM ⁺
Scene ID	LT51900551987002AAA03	LE71900552011012ASN00
Path	190	190
Row	55	55
Acquisition date	02 - 01 – 1987	12 - 01 – 2011
Sensor	TM	ETM ⁺
Spatial resolution	30 m (120 m - thermal)	30 m (60 m - thermal, 15m - pan)
Spectral range	0.45 - 12.5 μ m	0.45 - 12.5 μ m
Number of bands	7	8
Temporal resolution	16 days	16 days
Image size	185 km x 172 km	183 km x 170 km
Swath	185 km	183 km

Nota. De “Land Use Change Detection in OMO Biosphere Reserve Using GIS and Remote Sensing” (p. 164), por U. Darlington Chima y M. Oladepo Adedire, 2014, *Journal of Environment and Ecology*, 5(2). Derechos reservados 2014 Macrothink Institute.

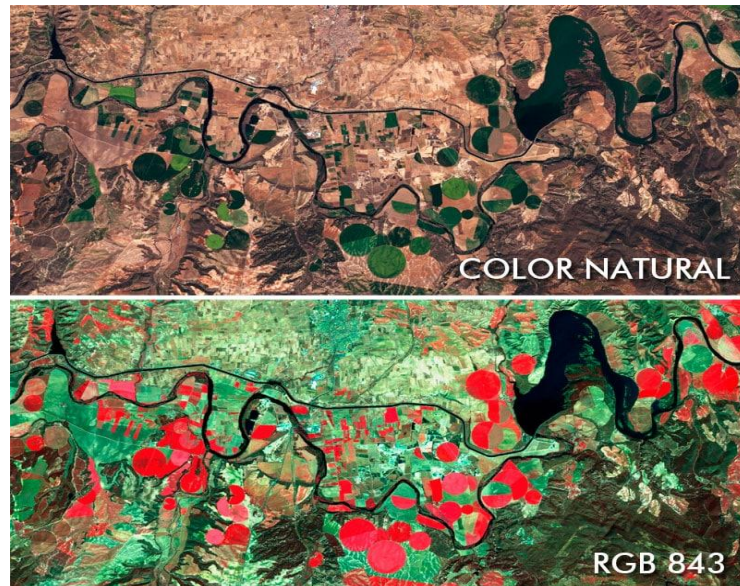
G) Bandas espectrales

De acuerdo a Martínez et al. (2010), es la energía reflejada por las cubiertas terrestres que es captada por el sensor, las cuales permiten hacer composiciones en color mediante la combinación de tres bandas que son precisamente los colores primarios, como son: el azul, el verde y el rojo (RGB).

Labrador et al. (2012), precisan que entre las bandas más utilizadas para la combinación de colores se encuentran las siguientes: 321 (color verdadero en RGB), 432 (falso color infrarrojo), 543 (falso color, NRG) y 453 (falso color, NSR) entre otras.

Figura 7

Imagen Sentinel 2 en RGB y color natural.



Nota. De *Composiciones RGB de imágenes satélite* [Fotografía], por R. Matellanes, 2019, Geo innova (<https://geoinnova.org/blog-territorio/composiciones-rgb-de-imagenes-satelite/>). Derechos de autor 2019 por Geo innova.

H) Técnicas de clasificación de imágenes satelitales

Las técnicas de clasificación de imágenes para Monterroso (2014), son un conjunto de métodos que se pueden agrupar en dos técnicas:

a) Clasificación supervisada

En este tipo de clasificación el técnico que lleva la tarea debe indicar al software como debe clasificar cada uno de los píxeles a partir de áreas de entrenamiento, las cuales conoce a priori.

b) Clasificación no supervisada

En este tipo de clasificación la influencia del operador es nula por ello es necesario llevar a cabo varias repeticiones para obtener diferentes resultados y finalmente, acabarán agregándose para obtener un resultado final considerado válido.

l) Clasificación de satélites

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014), agrupa a los satélites de teledetección en:

- Satélites de recursos naturales (Landsat y SPOT).
- Meteorológicos (GOES, NOAA, Seawifs y MODIS).
- Satélites de alta resolución (Ikono, Quickbird, Geoeye, WorldView).
- Equipos radar (ERS, Envisat y Radarsat).

Figura 8

Tipos de satélite que orbitan la Tierra.



Nota. De *Satellites 101* [Fotografía], por J. Norris, 2019, Upstreamtech (<https://www.upstream.tech/posts/2019-09-09-satellites-101>). Derechos de autor 2019 por Upstreamtech.

J) Satélite Landsat

INEGI (2014), hace referencia a la constelación de satélites Landsat (Land = tierra y sat = satélite) que inicialmente se llamaron ERTS (Satélites de Tecnología de Recursos Terrestres) como la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Actualmente, lo forman 9 satélites, de los cuales se encuentran activos el 8 y 9, su mantenimiento y operación está a cargo de la NASA, en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende de USGS, así encontraremos los siguientes satélites con sus respectivos sensores:

a) Landsat 1 – 5 Sensor Multiespectral (MSS)

Constan de cuatro bandas espectrales con una resolución espacial de 60 metros. El tamaño aproximado de la escena es de 170 kilómetros de norte a sur por 185 kilómetros de este a oeste. Las designaciones de bandas específicas difieren de Landsat 1 – 3 a Landsat 4 – 5.

b) Landsat 4 – 5 Sensor Térmico (TM)

Este tipo de sensor presenta los satélites Landsat 4 y 5, las imágenes constan de siete bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros de las bandas 1 a 5 y 7. El tamaño aproximado es de 170 kilómetros escena norte a sur por 183 kilómetros de este a oeste. Su resolución temporal es de 16 días.

c) Landsat 7 Sensor Térmico Mejorado (ETM⁺)

Este tipo de sensor presenta el satélite Landsat 7 y las imágenes constan de ocho bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros de bandas 1 a 5 y 7. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. El tamaño aproximado es de 170 kilómetros escena de norte a sur y de 183 kilómetros de este a oeste.

d) Landsat 8 Sensor (OLI y TIRS)

Este tipo de sensor presenta el satélite de Landsat 8 y las imágenes se componen de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros de bandas 1 a 7 y 9. La banda ultra azul 1 es útil para estudios costeros y aerosoles. La banda 9 es útil para la detección de nubes cirrus. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros, mientras que las bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas de la superficie más precisa y se recogen a 100 metros. El tamaño aproximado es de 170 kilómetros escena de norte a sur por 183 kilómetros de este a oeste.

Tabla 3*Características de los sensores Landsat.*

Sensor characteristic	MSS (Landsats 1–5)	TM (Landsats 4,5)	ETM+ (Landsat 7)	OLI & TIRS (Landsat 8)
Multispectral imagery				
Spatial resolution	90 meters	30 meters	30 meters ¹	30 meters ¹
Number of bands	4	6	7	9
Thermal imagery				
Spatial resolution	NA	120 meters	60 meters	100 meters
Resampled spatial resolution	NA	30–60 meters	30 meters	30 meters
Number of bands	NA	1	1	2
All imagery				
Bit depth	8-bit	8-bit	8-bit	12-bit
File size	~25 MB	~170 MB	~250 MB	~1 GB
Known problems	Missing data	Missing data	Scan Line Corrector failure	Ghosting in thermal band 11

¹Panchromatic band has a 15-meter spatial resolution.

Nota. De *Users and Uses of Landsat 8 Satellite Imagery - 2014 Survey Results Open-File Report 2016–1032* (p.2), por H. M. Miller, 2014. Derechos de autor 2014 por USGS

K) Índices de vegetación

Gómez (2004), indica a los índices de vegetación como las medidas que nos permiten cuantificar la biomasa o vigor vegetal a través de operaciones aritméticas que hacen uso de las bandas espectrales y que son aplicables a imágenes de diferentes resoluciones. Los índices de vegetación se dividen en tres grupos:

- a) Basados en la pendiente**
- b) Basados en la distancia**
- c) Basados en transformación ortogonales**

a) Índices basados en la pendiente

Son índices basados en la respuesta espectral de la vegetación (rojo e infrarrojo cercano del espectro electromagnético) toman este nombre porque cualquier valor que tome puede ser producido por la reflectancia de las bandas del rojo e infrarrojo de una imagen.

Tabla 4*Índices basados en la pendiente.*

NOMBRE	FÓRMULAS	CARACTERÍSTICAS
NDVI	$\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$	Minimiza efectos topográficos la escala va de -1,0 a 1,0. Los valores negativos representan superficies sin vegetación.
TVI	$\sqrt{\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}} + 0,5$	El valor de 0,5 evita resultados negativos y no elimina todos los valores negativos.
CTVI	$NDVI \left(\frac{(NDVI+0.5)}{abs(NDVI+0.5)} \right) \times \sqrt{ABS(NDVI + 0,5)}$	Suprime el signo negativo, pero sobreestima el color verde.
TTVI	$\sqrt{ABS \left(\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \right) + 0,5}$	Suprime la sobreestimación del verde.
RVI	$\frac{RED}{NIR}$	La reversa de la estándar simple.
NRVI	$RVI - \frac{1}{NIRVI+1}$	Es similar al NVDI, reduce efectos topográficos, iluminación y efectos atmosféricos.

Nota. Adaptado de *Índice de Vegetación en áreas del Bosque Seco del Noroeste del Perú a partir de Imágenes Satelitales*, por M. K. Gómez, 2004. Derechos de autor 2004 por M. K. Gómez. CC BY – NC – ND 2.5

b) Índices basados en la distancia

Este grupo de índices miden la vegetación a través de cualquier reflectancia con la reflectancia del suelo desnudo. Los miembros de este grupo requieren que la pendiente y el intercepto de la línea de suelo sean definidos por la imagen.

Tabla 5

Índices basados en la distancia.

Nombre	Fórmulas	Características
PVI		De este índice derivan las demás.
DVI	$\gamma \text{MSS7} - \text{MSS5}$ <p>$\gamma = \text{la pendiente de la línea del suelo}$</p> <p>MSS7 = IR cercano</p> <p>MSS = Rojo</p>	Un valor de cero, indica suelo desnudo. Los menores de cero agua y las mayores vegetaciones.
SAVI	$\left(\frac{\text{NIR} - \text{RED}}{(\text{NIR} + \text{RED}) + L} \right) * (1 + L)$ <p>L= Factor de ajuste de suelo</p>	Considera la influencia de la luz y el suelo oscuro en el índice.
TSAVI	$\frac{a * (\text{NIR} - a * \text{RED} - b)}{\text{RED} + a * \text{NIR} - a * b}$ <p>a= pendiente de la línea de suelo</p> <p>b= intercepto de la línea de suelo</p>	Considera la pendiente y el intercepto de la línea de suelo.

Nota. Adaptado de *Índice de Vegetación en áreas del Bosque Seco del Noroeste del Perú a partir de Imágenes Satelitales*, por M. K. Gómez, 2004. Derechos de autor 2004 por M. K. Gómez. CC BY – NC – ND 2.5

c) Índices basados en transformaciones ortogonales

Es la más conocida de este grupo, consiste en la transformación de un conjunto de bandas espectrales para formar un nuevo grupo de bandas no correlacionadas.

Tabla 6

Índices basados en transformaciones ortogonales.

Nombre	Fórmulas	Características
PCA		Usada para descubrir la dimensionalidad de datos multivariados removiendo las redundancias (evidente en la Inter Correlación de los valores de píxel de la imagen).
GVI	$[(-0,24717 TM1) + (-0,16263 TM2) + (-0,40639 TM3) + (0,854558 TM4)]$	Provee coeficientes globales que son usados para darle peso a las bandas nuevas transformadas.
MGVI		La misma filosofía, pero con muchas bandas.

Nota. Adaptado de *Índice de Vegetación en áreas del Bosque Seco del Noroeste del Perú a partir de Imágenes Satelitales*, por M. K. Gómez, 2004. Derechos de autor 2004 por M. K. Gómez. CC BY – NC – ND 2.5

L) Matriz de contingencia e índice de Kappa

Berlanga et al. (2010), afirma que la matriz de confusión o matriz de contingencia permite comparar la relación entre dos series de medidas correspondientes al área de estudio, la primera corresponde a los datos adquiridos en las observaciones en campo y la segunda a los píxeles asignados por el clasificador. La exactitud total de una clasificación puede ser medida a través del coeficiente de Kappa, que es una técnica discreta multivariada que determina si una matriz de error es significativamente diferente de otra, además toma valores en el intervalo de -1,0 a 1,0.

Tabla 7

Índice de Kappa.

<u>Kappa Statistic</u>	<u>Strength of Agreement</u>
<0.00	Poor
0.00–0.20	Slight
0.21–0.40	Fair
0.41–0.60	Moderate
0.61–0.80	Substantial
0.81–1.00	Almost Perfect

Nota. De “The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data” (p. 165), de J. R. Landis y G. G. Koch ,1977, *International Biometric Society*, 33(1). CC BY- NC

M) RStudio 4.1

García de Zúñiga (2020) señala a RStudio como una aplicación de lenguaje abierto que permite desarrollar en R y otros tipos de lenguajes el tratamiento de grandes cantidades de datos y a su vez permite su integración con una serie de herramientas enfocadas en gestión de proyectos.

N) QGis 3.16.14

Para Tito (2022) QGis es un software de licencia libre, que permite el tratamiento de información geográfica para el análisis, modelamiento y toma de decisiones de bases de datos obtenidos en campo que pueden ser: textos, números, alfa numéricos, fotográficos, etc. los cuales tengan una posición geográfica.

O) Lomas costeras

Sotomayor y Jiménez (2008) brindan un concepto de las lomas costeras como ecosistemas que se consideran únicos. En el Perú se registran 67 lomas a lo largo de la costa, según informa Agencia Andina (2021) en su portal web, de las cuales 9 lomas se encuentran en el norte, 23 lomas en la costa central y 35 lomas en el sur. Además, se destacan las más importantes como son: las lomas de Trujillo, Casma, Lachay, Iguanil, Chancayllo, Chilca, Pongo o Acarí, Jahuay, Atiquipa, Arantes, Yuta, Jesús, Yerbabuena, Atico, Camaná, Ilo y Sama.

P) Importancia de las lomas

Talavera (s.f.), destaca la singularidad de este tipo de ecosistemas debido a que su fuente de agua es la interceptación de neblinas, además, resalta algunos factores por lo que se forman este tipo de ecosistemas como: su cercanía al mar como fuente de origen de las neblinas, la exposición de las laderas de los cerros en dirección a los vientos marítimos y a su vez a la gradiente altitudinal, principalmente a los de la antigua cordillera de la costa.

Galán de Mera et al. (2011), considera a las lomas costeras como una valiosa fuente de recursos vegetales y animales, así como fuente de agua dulce. Para Vásquez (2011) las lomas son hábitats que muchos animales aprovechan en tiempos invernales cuando hay escasez de alimento en la zona alto andina.

Q) Lomas de Tacahuay

El Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, 2008) informa que, las lomas de Tacahuay al igual que las demás lomas que se extienden a lo largo de la costa peruana, son únicas en su tipo, dada la diversidad florística que alberga. Las lomas de Tacahuay se encuentran ubicadas específicamente entre las regiones de Tacna y Moquegua. SERFOR (2014) a través de la ficha realizada en campo de las lomas de Tacahuay tuvo como objetivo incluir a las mismas en la lista sectorial de ecosistemas frágiles del MINAGRI.

R) Cobertura vegetal

Bennett (1999), define a la cobertura vegetal como una capa que cubre la superficie terrestre, que puede estar comprendida por diferentes características fisonómicas y ambientales, además, incluye a las áreas de cultivo, como resultado de la acción humana.

S) Tipos de crecimiento

Según, Beltrán et al. (s.f.) define a los tipos de crecimiento como el aspecto general de una planta que puede ser: árbol, arbusto, hierba, trepadora, epífita, hemiepífita y parásita, definiendo cada una de ellas de la siguiente manera:

a) Árboles

Son plantas leñosas que poseen tronco único y bien definido.

b) Arbustos

Son plantas leñosas que se ramifican desde la base y no tienen un tronco único.

c) Hierbas

Son plantas pequeñas, que pueden tener consistencia herbácea o leñosa en su base, en este último caso se considera como hierba sufrutescentes o sufrutices.

d) Trepadoras

Son plantas que germinan en la tierra, pero se apoyan sobre otras plantas en busca de luz solar.

e) Hemiepífitas

Son plantas que parte de su vida la pasan sobre otras, algunas comienzan su ciclo como epífitas que posteriormente enraízan el suelo, estas se denominan hemiepífitas primarias, por otro lado, existen plantas que germinan en tierra para luego trepar hacia la copa de los árboles, estos pierden eventualmente sus raíces cuando se deteriora su tallo, pero pueden volver a enraizar en el suelo por ello recibe el nombre de hemiepífitas secundarias.

f) Parásitas

Estas plantas se dividen en dos: holoparásitas o hemiparásitas, las primeras se nutren a expensas de otras plantas llegando a penetrar por medio de haustorios hasta el floema para alimentarse, las segundas forman haustorios que penetran hasta xilema por el mecanismo anteriormente descrito, además, pueden hacer fotosíntesis.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

6.1. Área de estudio

6.1.1. Ubicación de las lomas de Tacahuay

Las lomas de Tacahuay se encuentran ubicadas entre las regiones de Tacna y Moquegua, específicamente, entre las provincias de Jorge Basadre e Ilo. Según SERFOR (2014), cuenta con un área de 11 609,97 hectáreas y un perímetro de 4921,97 metros aproximadamente.

6.2. Procedimiento

6.2.1. Determinación de los tipos de cobertura vegetal

Para determinar los tipos de cobertura vegetal se tomó como fuente el registro de la flora elaborada por SERFOR en 2014, su catalogación posterior se realizó usando como referencias los trabajos realizados por Arakaki y Cano (2003) y Rodrigues et al. (2018), además de catálogos virtuales (La Flora Mundial en Línea [WFO,2023]), (Instituto de Botánica Darwinion, s.f.) y (Tropicos, s.f.).

6.2.2. Descarga de la capa vectorial del área de estudio

Se descargó el área de estudio en formato ".shp" desde el geo servidor de SERFOR a través de su portal web.

6.2.3. Descarga de imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS)

La descarga de imágenes en formato “.tiff” (ráster) se realizó a través del portal web de la USGS en un comprimido “.rar” conteniendo 12 bandas y datos adjuntos a los mismos. Cabe mencionar que las imágenes alojadas en la web son acceso libre, para el proceso de descarga se siguió la metodología propuesta en el blog observatorio de la tierra de la NASA de Simmon (2013).

6.2.4. Descarga del MDE

El Modelo Digital de Elevación (MDE) se descargó desde el portal web de la USGS en formato “.hgt”, tomando en cuenta las dimensiones de las imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS) para evitar posteriores errores durante la corrección topográfica.

6.2.5. Generación de los ROI para los tipos de cobertura vegetal

Este procedimiento se realizó en el software QGIS 3.16.14 Equipo desarrollador QGIS (2002) y consistió en la creación de una región de interés (ROI) contenida en una capa vectorial de puntos donde se identificó los tipos de cobertura vegetal asignándoles dos categorías: la primera denominada “CLASS” con valores numéricos (CLASS = 1, 2, 3 y 4), la segunda “TC” que corresponden a los nombres (TC = Arbóreo, arbustivo, herbáceo y suelo). La identificación de los tipos de cobertura se efectuó mediante imágenes Google Earth, imágenes del Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (ESRI) e Imágenes satelitales provistas por Bing, todas ellas son extensiones que vienen integradas en el mismo software, lo que facilitó la generación de la nube de puntos, finalmente, se exportó a una carpeta en el área de trabajo en formato “.shp”.

6.2.6. Procesamiento de imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS)

a) Establecimiento del área de trabajo

Este paso inició ejecutando el software RStudio 4.1 Allaire, (2011) y cargando las librerías que se utilizaron durante toda la ejecución del estudio, para ello se fijó la ruta de acceso a los datos descargados en nuestro equipo de cómputo.

b) Lectura del metadato y combinación de bandas

Dentro de la interfaz de RStudio 4.1 Allaire, (2011) se usó la librería “RStoolbox” para la lectura de los metadatos, que es un archivo en formato “.txt”, que viene adjunta a las imágenes descargadas, por otro lado, la combinación de bandas (stack) espectrales se realizó siguiendo la guía actualizada descrita por Leutner et al. (2022).

c) Adición de la capa vectorial de la zona de estudio

Se usó el software QGIS 3.16.14 Equipo desarrollador QGIS (2002) para re proyectar la capa vectorial al sistema de referencia del hemisferio norte denominada “zona 19N” posteriormente fue importado a RStudio 4.1 a través de la librería “rgdal” siguiendo la guía descrita por Bivand et al. (2022).

d) Lectura y corte del MDE según el área de estudio

Se utilizó la librería “raster” para este procedimiento y consistió en la lectura y corte del MDE de acuerdo con el área de estudio, siguiendo los comandos propuestos por Hijmans et al. (2022), la visualización de la proyección se realizó a través de la librería “rgdal” mediante la guía establecida por Bivand et al. (2022).

e) Escritura de una línea de código para proyectar la zona UTM 19N para el MDE

En RStudio 4.1 Allaire, (2011) se escribió una serie de comandos proyectando el sistema de referencia UTM (Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator) para la zona 19N WGS84 (Sistema Geodésico Mundial 1984), posteriormente, se utilizó la librería “raster” para proyectar el MDE a la proyección generada, todo esto según la guía de comandos establecida por Hijmans et al. (2022).

f) Visualización, ploteo y corte de la zona de estudio

Dentro de la interfaz de RStudio 4.1 se agregó el área de estudio (capa vectorial), además, se visualizó la combinación de bandas (6, 5, 4) del ráster stack, finalmente, se superpuso la capa vectorial sobre la ráster para proceder con el corte haciendo uso de los comandos integrados en la librería “raster” Hijmans et al. (2022).

g) Verificación de la dimensión y resolución del MDE y el ráster Stack

Por medio de las funciones “dim” (dimensión) y “res” (resolución) en RStudio 4.1 Allaire, (2011) se verificaron los parámetros de dimensión y resolución de la capa ráster del MDE, resultando diferente tanto en dimensión y resolución del ráster stack, es así que se realizó un re escalado usando la librería “raster” y la guía de comandos propuesta por Hijmans et al. (2022).

h) Corrección topográfica

Una vez realizado el re escalado de los ráster se procedió a la corrección topográfica usando la librería “RStoolbox” por el método Minnaert que especifica Leutner et al. (2022) en su guía.

i) Calibración y corrección radiométrica

Este procedimiento permitió convertir los números digitales (ND) a reflectancia del suelo por el método “DOS” (Sustracción de Objetos Oscuros) usando la librería “RStoolbox” descritas por Leutner et al. (2022) y la eliminación de las bandas termales 10 y 11 que no se utilizaron en este estudio estos procedimientos se realizaron a través de la librería “raster” siguiendo los comandos establecidos por Hijmans et al. (2022).

j) Re proyección del ráster con corrección DOS

Dentro de RStudio 4.1 Allaire, (2011) se escribió una nueva serie de líneas código proyectando el sistema de referencia UTM para la zona 19S WGS84 posteriormente se usó la librería “raster” para re proyectar el ráster con corrección DOS obtenida en el procedimiento anterior, todo esto siguiendo la guía propuesta por Hijmans et al. (2022).

k) Cálculo del SAVI

Previo a este procedimiento se usó el software QGIS 3.16.14 Equipo desarrollador QGIS (2002) para cortar el ráster stack (corrección topográfica proyectada) según la zona de estudio para luego ser importada a RStudio 4.1 Allaire, (2011) la lectura se realizó ejecutando los comandos integrados en la librería “raster” y siguiendo la guía de Hijmans et al. (2022).

El cálculo del SAVI se realizó utilizando la librería “RStoolbox” e indicando en la línea código las bandas que se usaron (Banda 4 y 5) que corresponden a la banda roja e infrarrojo cercano, todo ello siguiendo la guía establecida por Leutner et al. (2022) posteriormente se exportó el ráster obtenido.

l) Visualización y extracción de datos con los ROI

Continuando en la interfaz de RStudio 4.1 Allaire, (2011) se procedió a importar la capa vectorial con los tipos de cobertura vegetal realizado en QGIS 3.16.14 y superponerla sobre la capa ráster obtenida en el procedimiento anterior, además se extrajeron los datos superpuestos entre ambas capas, todos estos pasos se realizaron utilizando la librería “rgdal” siguiendo los códigos descritos por Hijmans et al. (2022).

m) Creación de categorías y ordenamiento de datos

Una vez extraídos los datos, se procedió a ordenarlos y crear 2 categorías denominadas “COBERTURA” y “CLASS” en concordancia con lo que se ha venido trabajando todo ello a través de comandos integrados en el lenguaje nativo de RStudio 4.1 Allaire, (2011).

n) Porcentaje de validación y creación de tablas: Muestra, validación y entrenamiento

Después del ordenamiento de datos se fijó el porcentaje de validación en 0,5; es decir que el modelo utilizará la mitad de los datos extraídos al azar de los ROI para la validación y la mitad restante para el entrenamiento, seguidamente se crearon 3 tablas denominadas: Muestra (la cantidad de datos que escogerá por el modelo), validación y entrenamiento (datos extraídos al azar) para cada uno, todo este proceso se realizó escribiendo una línea de código nativo en RStudio 4.1 Allaire, para cada tabla.

o) Random forest

Para iniciar el modelo se usó el comando integrado en la librería “randomForest” descrita por Liaw y Wiener (2022), para la ejecución del mismo se utilizaron los datos de entrenamiento generados en el procedimiento anterior.

p) Determinación del ráster de clasificación según random forest

Los datos que se obtuvieron del procedimiento anterior se agruparon y clasificaron usando la librería “clusterR” siguiendo la línea código de Mouselimis et al. (2022).

q) Predicción del ráster final e índice de Kappa

Este apartado permitió conocer el grado de acierto a la hora de generar el ráster final, se escribió una primera línea de código para determinar la predicción final del ráster, una segunda línea para generar una matriz de confusión que hace uso de la predicción para obtener el resultado y una última línea de código que utilizó la matriz de confusión para el cálculo del Índice de Kappa, todos estos procedimientos permitieron conocer el grado de confiabilidad del ráster final. Los comandos utilizados durante este proceso se encuentran integrados nativamente en el lenguaje de RStudio 4.1 Allaire, (2011). Los resultados se exportaron para su interpretación final.

r) Cálculo del área que ocupa cada tipo de cobertura

Finalmente, se extrajo la información contenida en el ráster final de cada tipo de cobertura mediante la librería “raster” Hijmans et al. (2022) que permitió convertir los píxeles a puntos, seguidamente se crearon una serie de tablas para el conteo y ordenamiento de datos usando la función “mutate” que se encuentra integrada en el lenguaje de RStudio 4.1 Allaire (2011) cabe señalar que las áreas estimadas se calcularon con la función ya descrita.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

8.1. Determinación de los distintos TC vegetal en las lomas de Tacahuay

La Tabla 8 presenta las especies registradas en las lomas de Tacahuay en la Ficha técnica elaborada por SERFOR (54 especies), las categorías agregadas como son: "CLASS" y "TC" indican el número y acrónimo asignado a cada especie según sus características fisonómicas.

Tabla 8

Tipos de cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay.

N°	FAMILIA	ESPECIE	CLASS	TC
1	Aizoaceae	<i>Tetragonia ovata</i>	3	H
2	Amaranthaceae	<i>Alternanthera halimifolia</i>	3	H
3	Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i>	3	H
4	Amaranthaceae	<i>Atriplex sp.</i>	3	H
5	Apiaceae	<i>Hydrocotyle bonariensis</i>	3	H
6	Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i>	3	H
7	Asteraceae	<i>Flaveria bidentis</i>	3	H
8	Asteraceae	<i>Gamochaeta sp.</i>	3	H
9	Asteraceae	<i>Grindelia glutinosa</i>	2	A
10	Asteraceae	<i>Trixis cacalioides</i>	2	A
11	Boraginaceae	<i>Heliotropium curassavicum</i>	3	H
12	Boraginaceae	<i>Tiquilia paronychioides</i>	3	H
13	Bromeliaceae	<i>Tillandsia capillaris</i>	3	H
14	Cactaceae	<i>Austrocylindropuntia subulata</i>	2	A
15	Cactaceae	<i>Browningia candelaris</i>	2	A

N°	FAMILIA	ESPECIE	CLASS	TC
16	Cactaceae	<i>Corryocactus brachypetalus</i>	2	A
17	Cactaceae	<i>Corryocactus sp.</i>	2	A
18	Cactaceae	<i>Haageocereus sp.</i>	2	A
19	Cactaceae	<i>Neoraimondia arequipensis</i>	2	A
20	Cactaceae	<i>Opuntia ficus-indica</i>	2	A
21	Cactaceae	<i>Cumulopuntia sphaerica</i>	2	A
22	Cactaceae	<i>Trichocereus sp.</i>	2	A
23	Caricaceae	<i>Carica candicans</i>	1	AR
24	Caryophyllaceae	<i>Spergularia sp.</i>	3	H
25	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	3	H
26	Euphorbiaceae	<i>Croton alnifolius</i>	2	A
27	Euphorbiaceae	<i>Croton ruizianus</i>	2	A
28	Ephedraceae	<i>Ephedra americana</i>	2	A
29	Fabaceae	<i>Caesalpinia spinosa</i>	1	AR
30	Fabaceae	<i>Hoffmanseggia postrata</i>	3	H
31	Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i>	3	H
32	Lamiaceae	<i>Salvia sp</i>	3	H
33	Loasaceae	<i>Nasa urens</i>	3	H
34	Malesherbiaceae	<i>Malesherbia sp</i>	2	A
35	Malvaceae	<i>Cristaria sp.</i>	3	H
36	Malvaceae	<i>Palaua disseta</i>	3	H
37	Papaveraceae	<i>Argemone mexicana</i>	3	H
38	Poaceae	<i>Eragrostis peruviana</i>	3	H
39	Santalaceae	<i>Quinchamalium lomae</i>	3	H

N°	FAMILIA	ESPECIE	CLASS	TC
40	Solanaceae	<i>Lycopersicon chilense</i>	3	H
41	Solanaceae	<i>Lycopersicon peruvianum</i>	3	H
42	Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i>	3	H
43	Solanaceae	<i>Nolana arenicola</i>	3	H
44	Solanaceae	<i>Nolana jaffuelii</i>	3	H
45	Solanaceae	<i>Nolana johnstonii</i>	3	H
46	Solanaceae	<i>Nolana spathulata</i>	3	H
47	Solanaceae	<i>Nolana sp.</i>	3	H
48	Solanaceae	<i>Solanum americanum</i>	3	H
49	Solanaceae	<i>Solanum multifidum</i>	3	H
50	Solanaceae	<i>Solanum nitidum</i>	3	H
51	Solanaceae	<i>Solanum sp.</i>	3	H
52	Verbenaceae	<i>Citharexylum sp.</i>	1	AR
53	Verbenaceae	<i>Lippia nodiflora</i>	3	H
54	Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i>	3	H

Nota. Los valores asignados en la categoría “CLASS” fueron los mismos que se usaron durante el desarrollo del estudio, en tanto, el apartado “TC” engloba los acrónimos usados para denominar a los *tipos de cobertura vegetal* como son: AR= Arbóreo, A= Arbustivo y H= Herbáceo.

La Tabla 9 muestra el número de especies en función a su tipo de cobertura, posicionándose como la principal el tipo herbáceo con 36 especies, seguido del arbustivo y arbóreo con 15 y 3 especies respectivamente.

Tabla 9

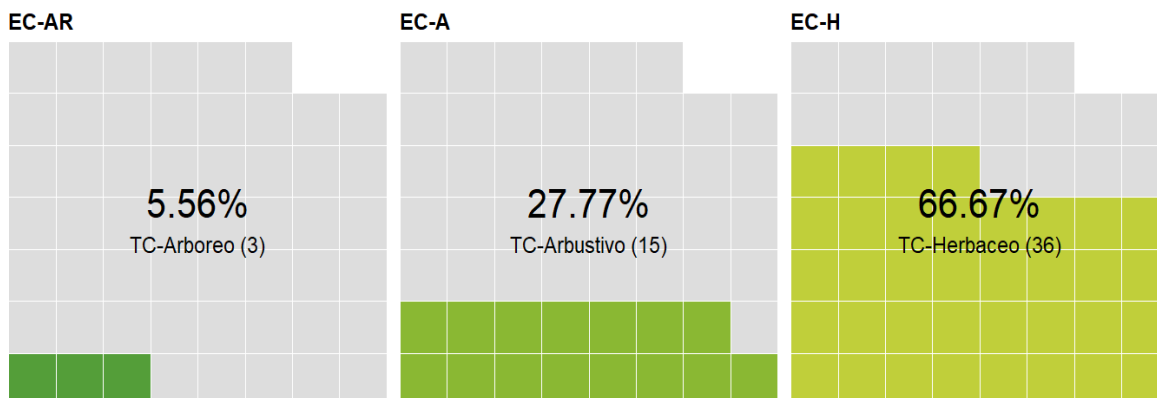
Número de especies por cobertura vegetal.

COBERTURA	NUMERO DE ESPECIES	CLASS	TC
Arborea	3	1	AR
Arbustivo	15	2	A
Herbáceo	36	3	H

La Figura 9 indica la representatividad expresada en porcentaje de los tipos de cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay, hallándose como dominante al TC – Herbáceo con 66,67 % sucedido por el TC – Arbustivo con un 27,77 % y finalmente, el TC – Arbóreo con solo 5,56 %.

Figura 9

Proporción de especies por TC en las lomas de Tacahuay.



Nota. El acrónimo “EC” indica *especies de crecimiento*.

8.2. Clasificación de los tipos de cobertura vegetal en ROI

8.2.1. Temporada húmeda

La Figura 10 exhibe una capa vectorial (ROI) denominada “Cobertura” en diferentes niveles generados a partir de la flora registrada en las lomas de Tacahuay, las mismas que se detallan en la Tabla 10 junto a la cantidad de vectores utilizados.

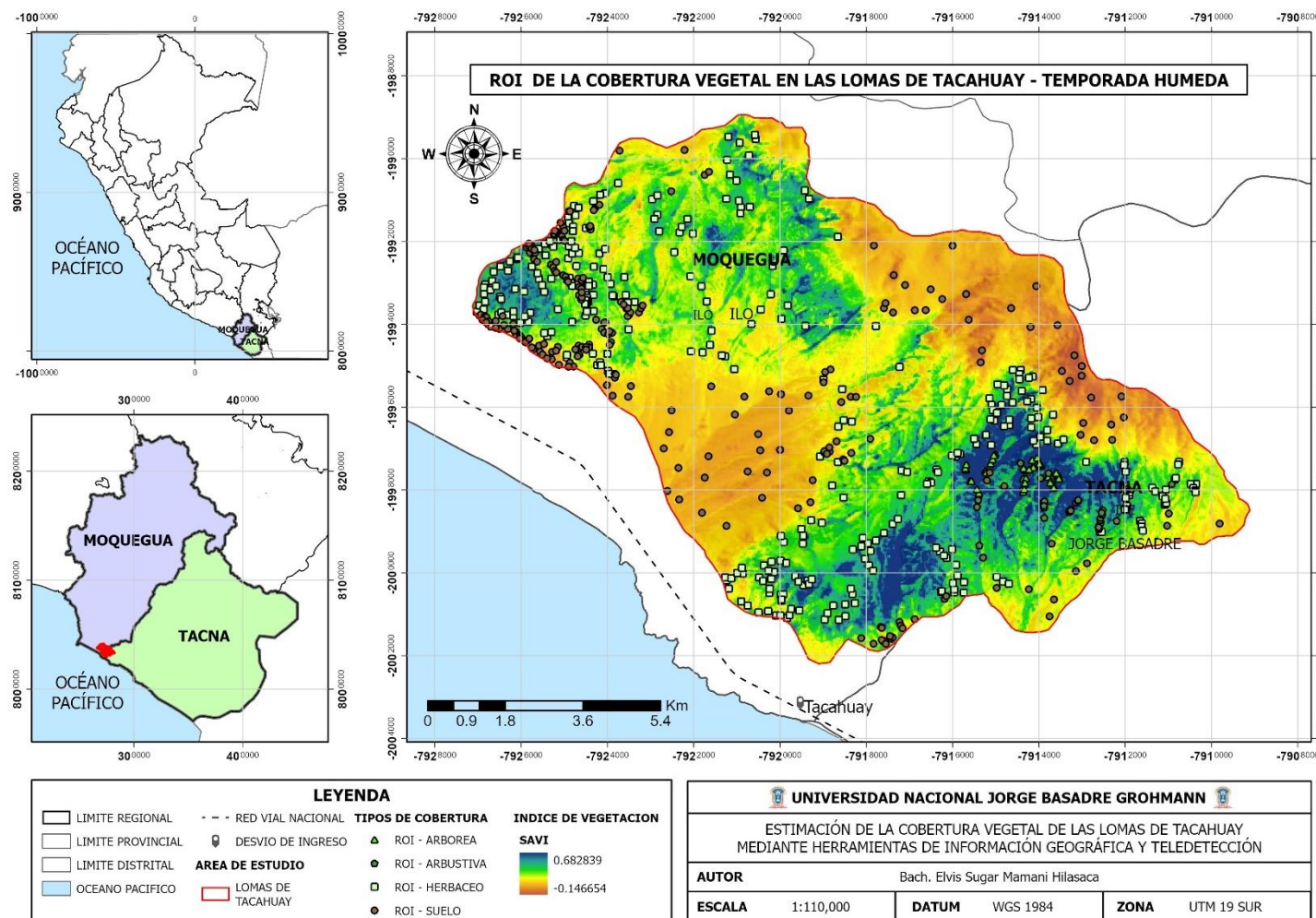
Tabla 10

Simbología utilizada para clasificar los TC – Temporada húmeda.

SÍMBOLO	COBERTURA	NÚMERO DE VECTORES
▲	TC – Arbóreo	40
◆	TC – Arbustivo	41
■	TC – Herbáceo	337
•	Suelo	232
TOTAL		650

Figura 10

Mapa de los ROI generados para los TC durante la temporada húmeda.



8.2.2. Temporada seca

La Figura 11 expone las capas vectoriales denominadas ROI generadas a partir de los tipos de cobertura en las lomas de Tacahuay, las mismas que se detallan en la Tabla 11 junto a la cantidad de vectores utilizados.

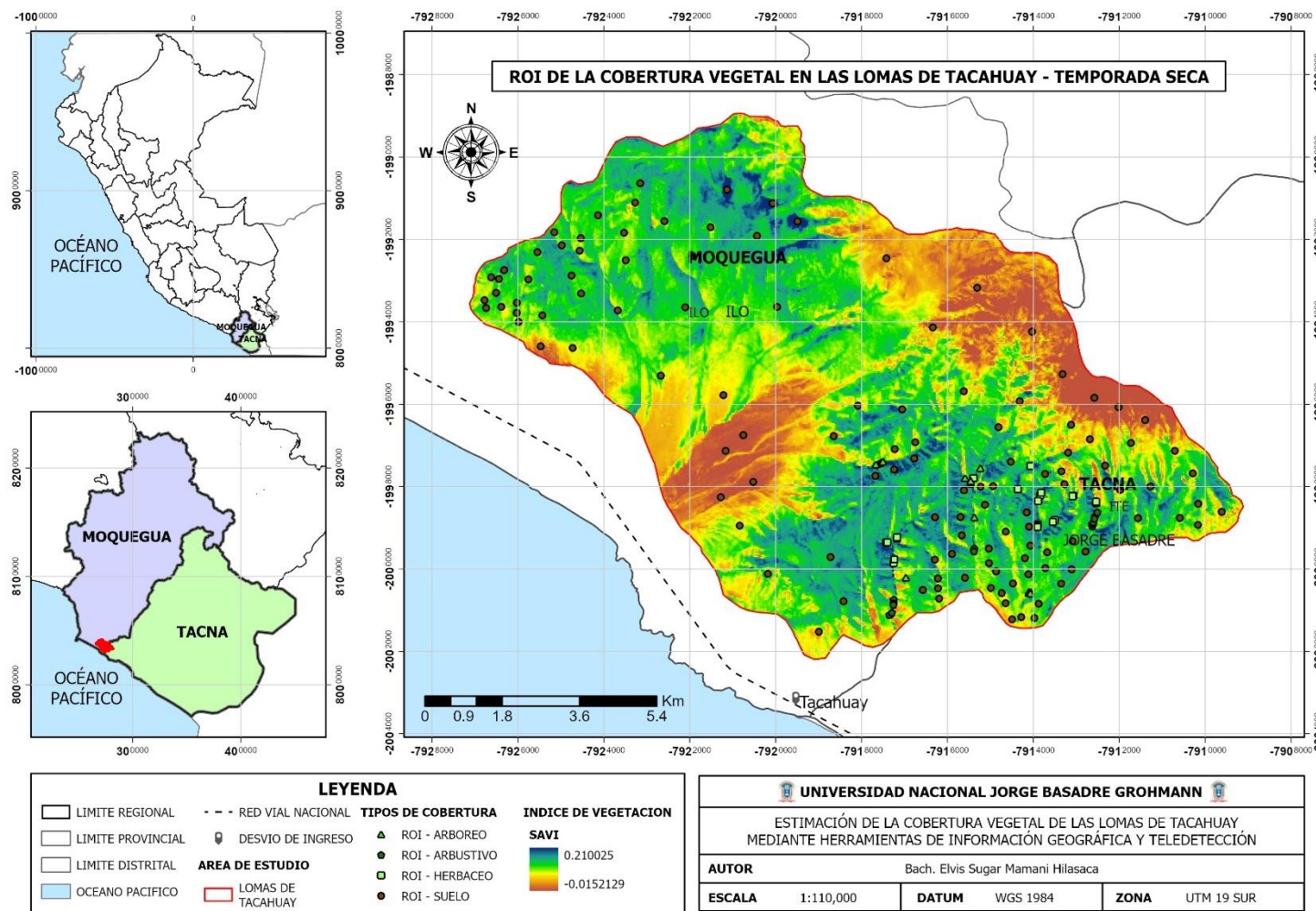
Tabla 11

Simbología utilizada para clasificar los TC – Temporada seca.

SÍMBOLO	COBERTURA	NÚMERO DE VECTORES
▲	TC – Arbóreo	16
◆	TC – Arbustivo	17
■	TC – Herbáceo	21
●	Suelo	121
TOTAL		175

Figura 11

Mapa de los ROI generados para los TC durante la temporada seca.



8.3. Área que ocupan los TC vegetal en las lomas de Tacahuay

8.3.1. Temporada húmeda

La Tabla 12 muestra en medidas de superficie el área que ocupa cada tipo de cobertura vegetal, posicionando en primer lugar al tipo herbáceo con el 35,67 % (4068,36 ha), en segundo lugar, el arbustivo con 1,56 % (178,02 ha) y, en tercer lugar, el arbóreo con solo el 1,14 % (130,5 ha) además, encontramos el área que ocupa el suelo con el 61,61 % (7026,48 ha) del área total.

Por su parte, la Figura 12 grafica visualmente el área que ocupa cada tipo de cobertura durante la temporada húmeda.

Tabla 12

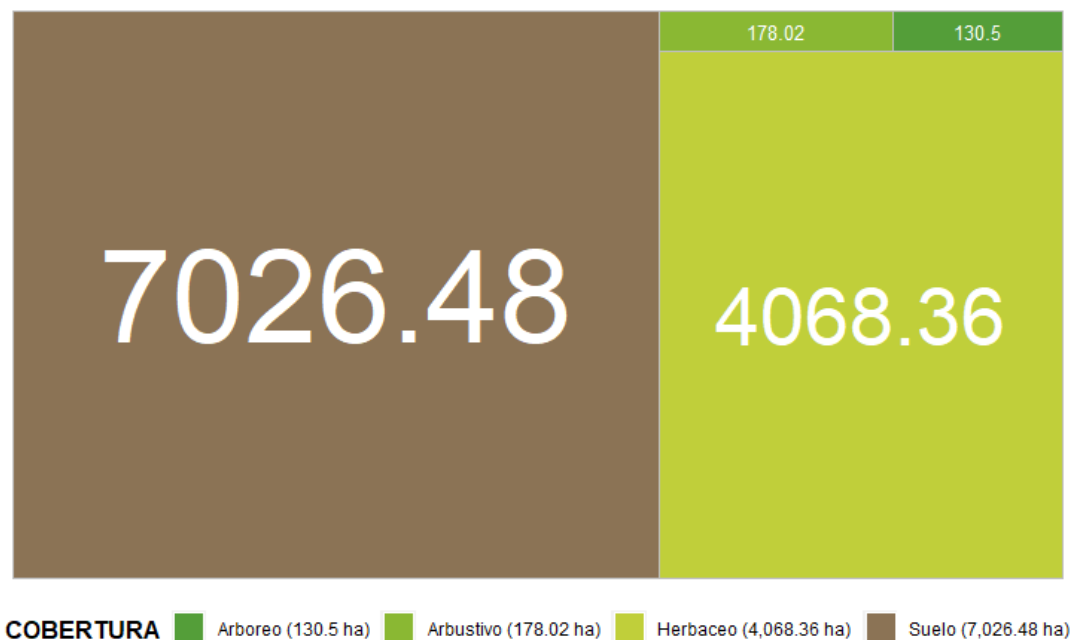
Área ocupada por la cobertura vegetal durante la temporada húmeda.

COBERTURA	CLASS	METROS	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Arbóreo	1	1 305 000	130,5	1,144
Arbustivo	2	1 780 200	178,02	1,561
Herbáceo	3	40 683 600	4 068,36	35,677
Suelo	4	70 264 800	7 026,48	61,618

Nota. Los valores asignados en la categoría “CLASS” son los mismos que se usaron para la clasificación de la flora según su tipo de cobertura.

Figura 12

Área expresada en hectáreas de los TC durante la temporada húmeda.



8.3.2. Temporada seca

En la Tabla 13 se muestra en medidas de superficie el área ocupada por la cobertura vegetal, encontrando al tipo arbustivo como el principal durante la temporada seca, representados por el 1,14 % (130,41 ha) seguido por el herbáceo y arbóreo con 0,36 % (41,58 ha) y 0,28 % (32,04 ha) respectivamente. Adicionalmente, se encuentra el suelo con 98,21 % (11 199,33 ha) del área total en estudio.

La Figura 13 expresa gráficamente el área representada en hectáreas de cada tipo de cobertura en las lomas de Tacahuay durante la temporada seca.

Tabla 13

Área ocupada por la cobertura vegetal durante la temporada seca.

COBERTURA	CLASS	METROS	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Arbóreo	1	320 400	32,04	0,281
Arbustivo	2	1 304 100	130,41	1,144
Herbáceo	3	415 800	41,58	0,365
Suelo	4	111 993 300	11 199,33	98,211

Nota. Los valores asignados en la categoría “CLASS” son los mismos que se usaron para la clasificación de la flora según su tipo de cobertura.

Figura 13

Área expresada en hectáreas de los TC durante la temporada seca.



8.4. Generación de mapas de los TC vegetal de las lomas de Tacahuay

8.4.1. Temporada húmeda

La Tabla 14 refleja el error estimado para cada cobertura durante el entrenamiento del modelo Random Forest, con un error general para el modelo de 5,85 %, a su vez el rango de error de las coberturas varía entre 0 y 0,19, correspondiéndose el valor más alto con la cobertura arbustiva y la más baja con la arbórea.

Tabla 14

Error estimado para el modelo Random Forest – temporada húmeda.

OOB estimate of error rate: 5,85% - Mod. Random Forest

CONFUSIÓN MATRIX

COBERTURA	Arbóreo	Arbustivo	Herbáceo	Suelo	Class.Error
Arbóreo	18	0	0	0	0,00000000
Arbustivo	0	17	4	0	0,19047619
Herbáceo	0	4	157	6	0,05988024
Suelo	0	0	5	115	0,04201681

La Tabla 15 muestra la predicción para cada cobertura después de la ejecución del modelo RF obteniendo datos similares a la Tabla 14. A pesar de que los valores difieren algunas unidades en todas las coberturas, esto no implica que el error haya variado, puesto que se sigue considerando el error del modelo (5,85 %).

Tabla 15

Matriz de predicción entre el modelo RF y la validación.

COBERTURA	Arbóreo	Arbustivo	Herbáceo	Suelo
Arbóreo	19	3	0	0
Arbustivo	0	17	3	0
Herbáceo	0	2	155	13
Suelo	0	0	2	111

La Tabla 16 presenta el índice de Kappa con un valor de 0,93 que representa al grado de confiabilidad del ráster final que se visualiza en la Figura 15, obtenido producto del modelo RF, además dentro del rango de valores que asume este índice el valor obtenido se clasifica dentro de la categoría “Almost Perfect”.

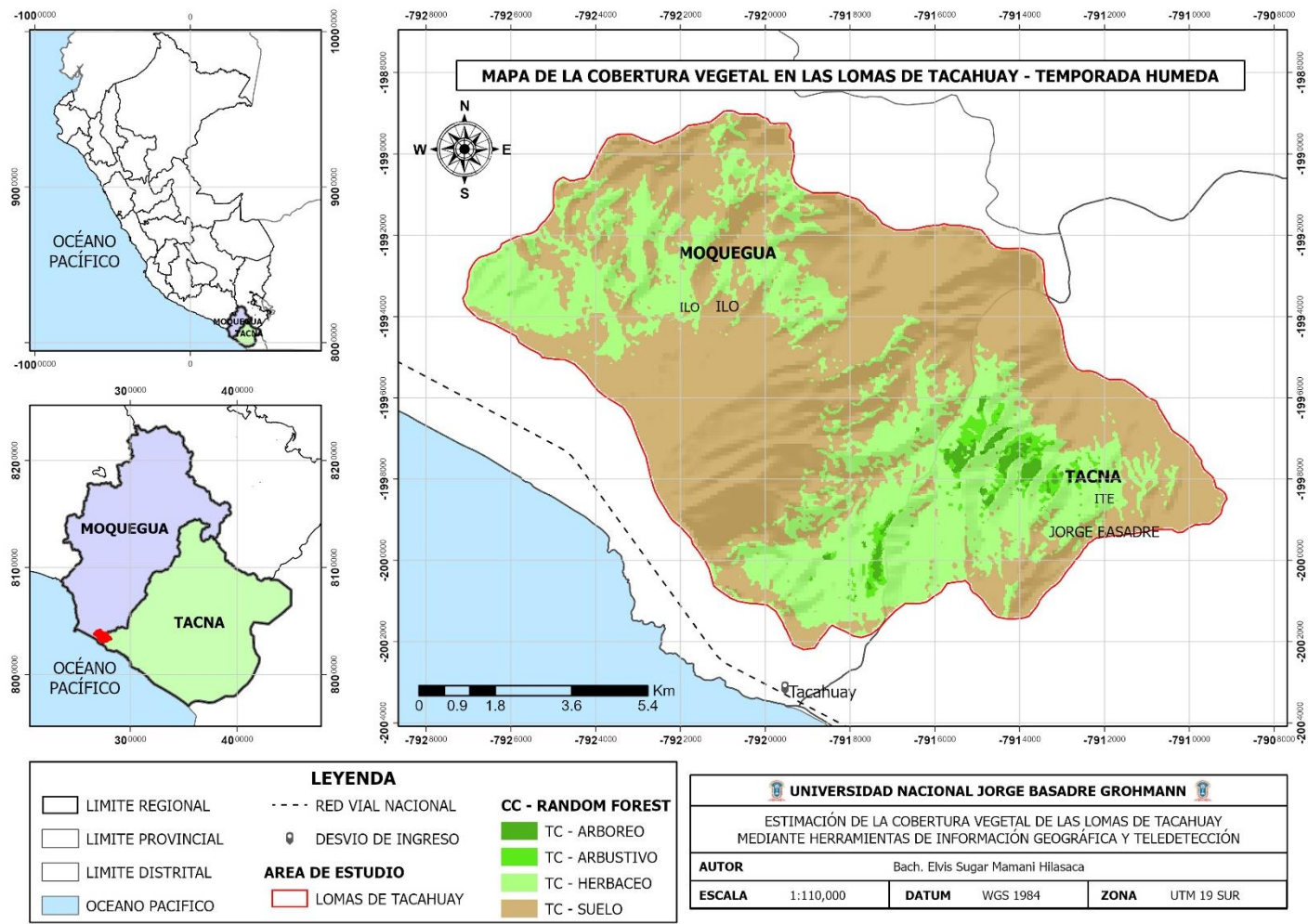
Tabla 16

Índice de Kappa del Ráster Final – Temporada húmeda.

ÍNDICE DE KAPPA	0,9292308
------------------------	-----------

Figura 14

Mapa de la cobertura vegetal durante la temporada húmeda.



8.4.2. Temporada seca

En la Tabla 16 se logra apreciar un error estimado de 14,77 % para el modelo RF, así mismo, el error más alto lo precisan las coberturas herbácea y arbustiva con 0,5; mientras que el error más bajo lo registra el suelo con solo 0,03 como valor.

Tabla 17

Error estimado para el modelo Random Forest – Temporada seca.

OOB estimate of error rate: 14,77% - Mod. Random Forest

CONFUSIÓN MATRIX

COBERTURA	Arbóreo	Arbustivo	Herbáceo	Suelo	Class.Error
Arbóreo	4	1	1	0	0,33333333
Arbustivo	0	5	1	4	0,50000000
Herbáceo	1	0	4	3	0,50000000
Suelo	0	1	1	62	0,03125000

La Tabla 17 muestra la predicción para cada cobertura después de la ejecución del modelo RF. A pesar de que los valores difieren a primera impresión, ello no implica que el error se haya incrementado, puesto que se sigue considerando el error del modelo (14,77 %).

Tabla 18

Matriz de predicción entre el modelo RF y la validación.

COBERTURA	Arbóreo	Arbustivo	Herbáceo	Suelo
Arbóreo	3	2	2	3
Arbustivo	0	1	0	6
Herbáceo	5	1	5	2
Suelo	1	1	0	55

En la Tabla 18 se aprecia el índice de Kappa con un valor de 0,73 que representa al grado de fiabilidad del ráster final que puede visualizarse en la Figura 15, producto del modelo RF, además dentro del rango de valores que asume este índice el valor obtenido se clasifica dentro de la categoría “Substantial”.

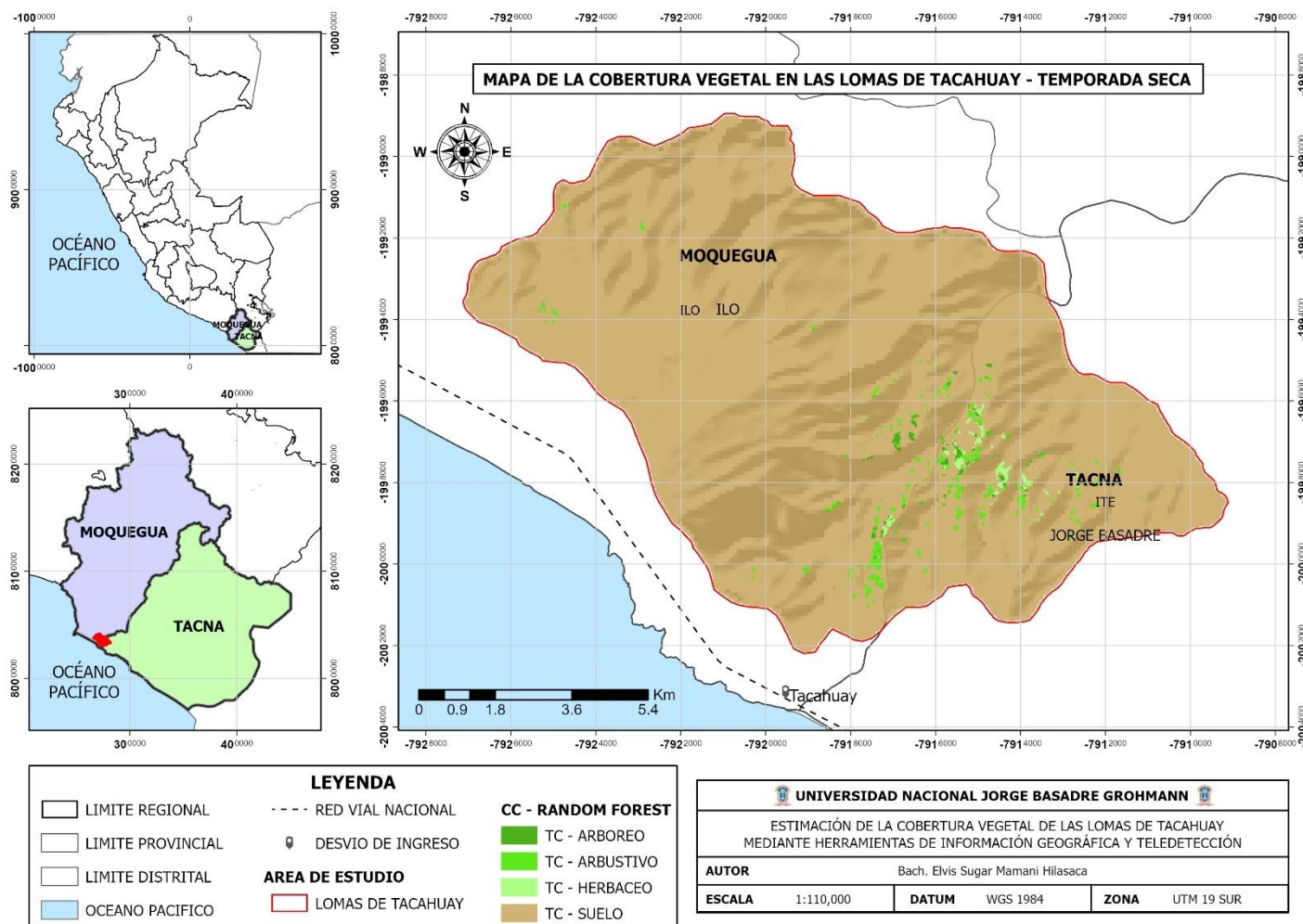
Tabla 19

Índice de Kappa del Ráster final – Temporada seca.

ÍNDICE DE KAPPA	0,7356322
------------------------	-----------

Figura 15

Mapa de la cobertura vegetal durante la temporada seca.



La explicación ecológica de las diferencias tan marcadas entre los mapas generados de la cobertura vegetal durante las temporadas húmeda y seca de las lomas de Tacahuay pueden sustentarse en el trabajo realizado por Talavera (s.f.) en las lomas de Atiquipa donde considera a una especie arbórea (*Caesalpinia spinosa*) entre otras, como responsable de que la cubierta vegetal se mantenga a lo largo del tiempo, pues, permite introducir la humedad captada de las neblinas recurrentes en el lugar a través de las hojas y transportándolo por el tronco hacia el suelo a través del sistema radicular estableciendo así un “efecto nodriza”, el mismo efecto es considerado en el trabajo de Gutiérrez y Squeo (2004) que recoge la importancia y el papel que cumplen los arbustos en ecosistemas desérticos y semidesérticos en Chile.

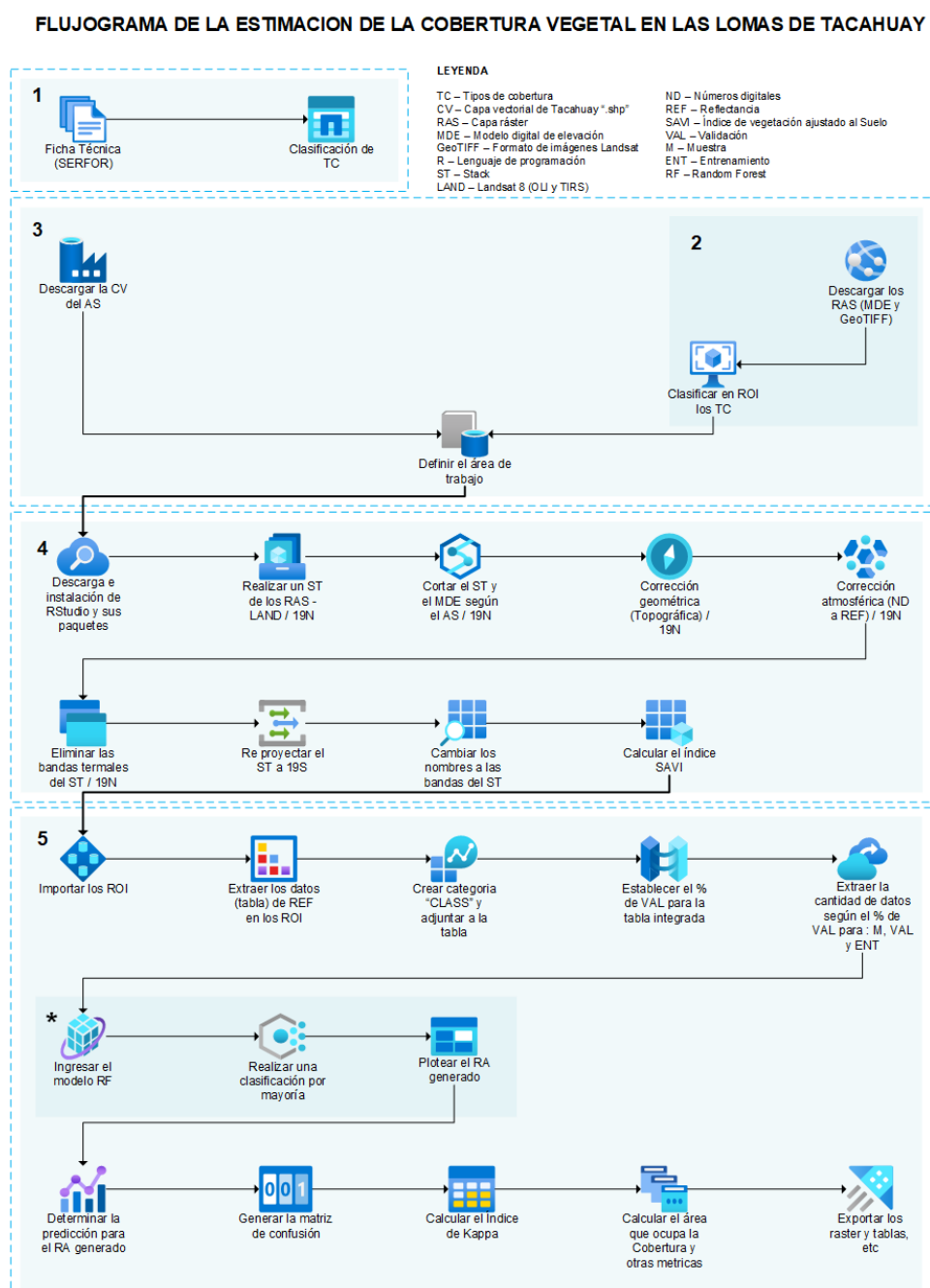
Por otro lado, el trabajo realizado por Lopez (2021) recoge información referida al proyecto ADMICCO (Adaptación y Mitigación al Cambio Climático) y la asociación civil LABOR, quienes fueron responsables de la reforestación con *Caesalpinia spinosa* en 2011 en las lomas de Tacahuay que corresponden a la Región Tacna con un total de 800 plántones en lo que duró el proyecto, esto de alguna forma explicaría por qué se mantiene la cobertura en el lugar debido al aumento en abundancia de esta especie arbórea y la predisposición de recursos que ofrece a otras coberturas para su desarrollo.

8.5. Diagrama de flujo del proceso de ejecución

En la Figura 16 se aprecia todo el flujo de proceso llevado a cabo durante la ejecución del estudio.

Figura 16

Flujo de trabajo durante la ejecución del estudio.



CAPÍTULO V DISCUSIONES

En el marco de este estudio que tuvo como finalidad estimar la cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay se utilizaron como recursos solo imágenes satelitales provenientes de Landsat 8 (OLI y TIRS) en contraposición al trabajo realizado por Miyashiro y Ortiz (2016) que hace uso de imágenes Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) e imágenes SPOT 5 (2HRG) en ese sentido, las imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS) precisan una mejora en la calidad de resolución de hasta 15 metros con respecto a Landsat 5 (TM) que considera solo una resolución de 30 metros además evita el problema de “*bandedo*” producto de un mal calibrado en uno de los componentes del sensor (ETM+) de Landsat 7 por su parte las imágenes SPOT 5 (2HRG) difieren en resolución espacial de las otras mencionadas, pues, cuenta con una resolución de 10 metros, resultando, finalmente, en una heterogeneidad de imágenes que para efectos de investigación resulta inadecuado.

En cuanto al índice utilizado por las autoras (NDVI) este tuvo un comportamiento positivo, toda vez que le permitió identificar la cobertura vegetal del área en estudio en esa misma línea, el trabajo realizado por Huaytalla y Valero (2020) confirma la precisión al momento de aplicar este índice en ecosistemas desérticos logrando identificar hasta 9 coberturas vegetales en la Reserva Nacional de Lachay, por su parte Gonzales (2018) también aplicó este índice para detectar cambios en la cobertura boscosa en la provincia de Manu. A diferencia de estas investigaciones el índice usado en el presente trabajo fue el SAVI que es una modificación del NDVI y que corrige la influencia del brillo en el suelo, tal y como lo demuestra el trabajo realizado por Baret et al. (1993) que considera que el factor principal que afectaría la reflectancia es el tipo de suelo, en ese sentido, resulta más preciso la identificación de la cobertura en ecosistemas con baja densidad vegetal como la que se encuentra presente en las lomas de Tacahuay tomando en cuenta además algunas características como la geografía del lugar y la temporalidad en la que se efectuó el estudio (temporadas húmeda y seca). Habría que añadir que la reflectancia puede verse afectada también por factores propios de la cobertura vegetal, consideraciones que fueron fundamentadas en el trabajo realizado por Jinru Xue y Baofeng Su (2017), un aspecto resaltante en la metodología que siguió este trabajo fue la corrección topográfica realizada en las imágenes satelitales con la finalidad de eliminar el efecto de sombras y relieves producto de las características propias del lugar.

Por otro lado, el modelo de aprendizaje automático supervisado utilizado para la clasificación de la cobertura vegetal del ráster final fue Random Forest, el mismo que fue aplicado en el trabajo efectuado por Maquera (2020) en la región Tacna logrando clasificar su cobertura satisfactoriamente, por su parte, Halmy et al. (2015) corrobora la aplicación de este modelo logrando generar mapas con más del 90 % de precisión en el cambio de cobertura del desierto costero de Egipto; finalmente, Wang et al. (2022) ratifica el uso de este modelo para identificar la vegetación en zonas áridas de vegetación escasa tal y como lo demuestra en su estudio realizado en el oasis de Dariyabui en China, del mismo modo los mapas generados tras la aplicación de este modelo fueron significativos en concordancia con los índices de Kappa que demuestran la precisión de los mismos situando al mapa generado durante la temporada húmeda en la categoría “Almost Perfect” con un valor de 0,92 y en lo que se refiere al mapa generado durante la temporada seca, este se ubica en la categoría “Substantial” con un valor de 0,73.

De igual importancia son las áreas estimadas para cada cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay, pues, son datos importantes al momento de efectuar un seguimiento multitemporal de la evolución de las mismas tal y como lo demuestra Murillo (2017) en su estudio donde determina que la cobertura que más cambios sufrió durante el periodo 2001 – 2016 fue la herbácea, este estudio si bien no contempló estimar la variación de la cobertura vegetal en un lapso de tiempo determinado (temporalidad) guarda un grado de similitud con esta, pues, es apreciable en los cambios marcados entre ambas temporadas gozando de gran verdor y densidad en la temporada húmeda en contraposición con la temporada seca donde se reduce drásticamente, tal y como menciona el informe de Gestión del Agua y Biodiversidad en la Reserva Nacional de Lachay elaborado por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP, s.f.) que reúne algunas características como la humedad y temperatura. Si bien las lomas de Lachay se encuentran ubicadas latitudinalmente en un punto geográfico distinto a las lomas de Tacahuay el comportamiento de las condiciones climáticas y geográficas que propician que haya una mayor o menor cobertura vegetal son similares. En pocas palabras, conocer estas cifras resultan valiosas al momento de llevar a cabo un diagnóstico ambiental, puesto que permiten proponer medidas correctivas para evitar su deterioro.

Es así que los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación resultaron significativos, a pesar de las limitantes, producto de la búsqueda de información referida a lomas costeras, la aplicación de modelos de aprendizaje automático supervisado para la clasificación de la cobertura vegetal en este tipo de ecosistemas y la disponibilidad de las imágenes Landsat 8 (OLI y TIRS) debido a circunstancias climatológicas (neblina) que impedían una captura limpia del área en estudio sumado a la resolución temporal que es una característica propia del satélite y que asciende a 16 días entre cada captura.

CONCLUSIONES

Con base en el registro de la flora que realizó SERFOR en 2014 y que recoge en una ficha técnica de campo, se logró determinar tres tipos de cobertura vegetal en cumplimiento del primer objetivo; la primera, una cobertura arbórea; la segunda, una cobertura arbustiva y finalmente, una cobertura herbácea todas ellas constituidas por: 3, 15 y 36 especies respectivamente.

Se logró clasificar satisfactoriamente los tres tipos de cobertura vegetal en capas vectoriales dentro del software QGIS utilizando una serie de imágenes satelitales provenientes de diferentes fuentes como: ESRI, Google y Bing consiguiendo generar 650 vectores (Tabla 10) en la temporada húmeda y solo 175 vectores (Tabla 11) en la temporada seca, de igual forma se pueden apreciar los mapas generados durante la temporada húmeda (Figura 10) y temporada seca (Figura 11), esto como parte del cumplimiento del segundo objetivo propuesto.

Así mismo, se calcularon las áreas que ocupan los tres tipos de cobertura vegetal, tanto en la temporada húmeda como la temporada seca, logrando hallar al tipo de cobertura herbácea como el principal, abarcando un área de 4068,36 hectáreas, seguido del tipo arbustivo y arbóreo con 178,02 y 130,5 hectáreas respectivamente, por su parte en la temporada seca se registró al tipo de cobertura arbustivo como el más importante con un área total de 130,41 hectáreas, sucedido por los tipos herbácea y arbóreo con 41,58 y 32,04 hectáreas respectivamente cumpliendo de esta forma con el tercer objetivo.

De la misma forma se consiguió generar dos mapas que corresponden a la clasificación de los tres tipos de cobertura vegetal, el primero con una precisión de 0,92 (Tabla 16) para la temporada húmeda y el segundo con una precisión de 0,73 (Tabla 19) para la temporada seca, esto según la escala establecida en el índice de Kappa, logrando cumplir de esta forma con el cuarto objetivo.

Finalmente, se logró elaborar un flujograma (Tabla 16) de los procesos seguidos a lo largo de la ejecución del estudio esperando que sirva de referencia para trabajos posteriores.

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar imágenes con una mayor resolución espacial para efectos de conseguir datos más precisos o en su defecto, utilizar imágenes capturadas a partir de vehículos no tripulados (drones) que lleven como parte de su construcción sensores que permitan medir la banda roja e infrarrojo cercano que son necesarios para calcular una amplia cantidad de índices de vegetación.

En esa misma línea se recomienda establecer convenios entre la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann e instituciones públicas o privadas para la adquisición de imágenes hiper espectrales o imágenes radar, teniendo en cuenta que estas son distribuidas por una amplia cantidad de empresas alrededor de mundo, pero que cuyo valor monetario resulta elevado para trabajos independientes como el desarrollado. Contar con este tipo de imágenes significaría un salto importante en la calidad de datos y supondría una mejora significativa en la calidad de los resultados. Adicionalmente, hay que destacar que las imágenes radar gozan de una ventaja única sobre las primeras ya mencionadas, pues, permiten capturar imágenes las 24 horas del día en condiciones meteorológicas desfavorables, esta característica resulta ventajosa dada las condiciones particulares y ambientales del área en estudio.

Por otro lado, sería conveniente contar con una base de datos digitales de estas imágenes para que puedan ser socializadas entre investigadores propios de nuestra región, dedicados al estudio de la cobertura vegetal y los cambios que pueda sufrir esta.

Finalmente, se propone utilizar otros índices de vegetación como: el MSAVI, MSAVI2, EVI, etc. y emplear distintos tipos de modelos de aprendizaje automático supervisado para identificar la cobertura vegetal en las lomas de Tacahuay con la finalidad de monitorear el comportamiento y evolución de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio. (2019). *Landsat 7 Science Data Users Handbook Version 2.0*. https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1927_L7_Data_Users_Handbook-v2.pdf

Agencia Andina (2021). *Lomas costeras: conoce qué son, sus características e importancia y cuántas hay en Perú*. <https://andina.pe/agencia/noticia-lomas-costeras-conoce-son-sus-caracteristicas-e-importancia-y-cuantas-hay-peru-863010.aspx>

Allaire, J. (2011). *RStudio* (4.1). [Software de Computación]. RStudio, Inc. <https://www.rstudio.com/>

Arakaki, M. y Cano, A. (2003). Composición florística de la cuenca del río Ilo-Moquegua y Lomas de Ilo, Moquegua, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 10(1), 5-19. <https://doi.org/10.15381/rpb.v10i1.2472>

Baret, F., Jacquemoud, S. y Hanocq, J. F. (1993). About the soil line concept in remote sensing. *Adv. Space Res.* 13(5), 281 - 284. <https://www.ipgp.fr/~jacquemoud/publications/baret1993a.pdf>

Beltrán García, J. A., Bécquer, E. R. y Gómez Hechevarría J. L. (s.f.). *Guía para la Identificación de Familias de Plantas con Semillas*. http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/1454/7/086-103_Libro_Biodiversidad_Cuba_Cap%C3%ADtulo%206.pdf

- Bennett A. (1999). *Enlazando el paisaje. El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. UICN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/FR-021-Es.pdf>
- Berlanga Robles, C. A., García Campo, R. R., López Blanco, J. y Ruiz Luna, A. (2010). Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973–2000). *Investigaciones geográficas* 72. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112010000200002
- Bivand R., Rowlingson B., Pebesma, E., Summer, M., Hijmans, R., Baston, D., Rouault, E., Warmerdam F., Ooms, J. y Rundel, C. (2022). *Bindings for the 'Geoespacial' Data Abstraction Library*. cran.r-project. Recuperado el 8 de junio de 2022 de <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/rgdal.pdf>
- Carita, G. (2018). Tutorial de Determinación de Huellas Espectrales de Cobertura de Suelos con QGIS 3 y SCP 6 [Fotografía]. *Gidahatari*. <https://gidahatari.com/ih-es/tutorial-de-determinacion-de-huellas-espectrales-de-cobertura-de-suelos-con-qgis-3-y-scp-6>
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamento de Teledetección espacial*. (2.^a ed.). RIALP, S.A. <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- Chuvieco Salinero, E. (2008). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. (3.^a ed.). Ariel, S.A. <https://books.google.es/books?id=aKsNXCVCtcQC&printsec=frontcover&dq=teledeteccion+ambiental&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiE6vLagfbOAhULkRQKHQg2AhMQ6AEIGzAA#v=onepage&q=teledeteccion%20ambiental&f=false>

- Darlington Chima, U. y Oladepo Adedire, M. (2014). Land Use Change Detection in OMO Biosphere Reserve Using GIS and Remote Sensing. *Journal of Ecology and Rural Environment* ,5(2),159-171. <http://dx.doi.org/10.5296/jee.v5i2.4774>
- Equipo desarrollador QGIS (2002). *QGIS* (3.16.14). [Software de Computación]. Software libre. <https://qgis.org/>
- Galán De Mera, A., Linares Perea, E., Campo de la Cruz, J. y Vicente Orellana J. A. (2011). Interpretación fitosociológica de la vegetación de las lomas del desierto peruano. *Revista de Biología Tropical*, 59(2). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442011000200022
- Ramos López, B. (2016). Resolución espacial [Fotografía]. *Cursos teledetección*. <https://www.cursosteledeteccion.com/en-que-debes-fijarte-a-la-hora-de-descargar-unos-datos-de-teledeteccion/>
- García de Zúñiga, F. (2 de octubre 2020). RStudio, IDE para programar con R. Instalación y primeros pasos. *arsys*. <https://www.arsys.es/blog/rstudio>
- Gómez Almonte, M. K. (2004). *Índice de vegetación en áreas del bosque seco del noroeste del Perú a partir de imágenes satelitales*. [Tesis, Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/1182>
- Gonzales Alarcón, G. (2018). *Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la provincia de Manu, 2000 - 2016*. [Tesis, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://es.scribd.com/document/441718441/GONZALES-ALARCON-GILMER>

- Granados, E. (2019). Tipos de resolución en imágenes geoespaciales [Fotografía]. *Alfa Geomatics*. <https://alfageomatics.com/2019/09/tipos-de-resolucion-en-imagenes-geoespaciales/>
- Gutiérrez, J.R. y Squeo, F.A. (2004). Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas*, 13(1), 36 - 45. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/215>
- Hijmans, R. J., Van Etten, J., Summer, M., Cheng, J., Baston D., Bevan, A., Bivand, R., Busetto, L., Canty, M., Fasoli, B., Forrest, D., Ghosh, A., Golicher, D., Gray, J., Greemberg, J. A., Hiemstra, P., Hingee, K., Ilich, A., Karney, C., ... Wueest, R. (2022). *Geographic Data Analysis and Modeling*. cran.r-project. Recuperado el 8 de julio de 2022 de <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/raster.pdf>
- Huaytalla Rosales, J. J., y Valero Blancas, D. E. R. (2020). *Determinación de tipos de cobertura vegetal mediante índices espectrales usando teledetección. Reserva Nacional de Lachay, 2020*. [Tesis, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57671>
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2008). *Diagnóstico de la biodiversidad de las lomas de Tacahuay*. https://issuu.com/maribel_12/docs/dx_biodiversidad_tacahuay_inrena_2__1_
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Elementos de Percepción Remota*. <https://es.scribd.com/document/295764176/Elementos-de-Percepcion-Remota-INEGI>

Instituto de Botánica Darwinion. (s.f). Catálogo de las plantas vasculares. Recuperado el 23 de mayo de 2023 de <http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/Especies.asp?Letra=F>

La Flora Mundial en Línea. (2023). Recuperado el 23 de mayo de 2023 de <http://www.worldfloraonline.org/>

Labrador García, M., Évora Brondo, J. A., y Arbelo Pérez, M. (2012). *Satélites de teledetección para la gestión del territorio*. https://www.researchgate.net/publication/259230060_Satelites_de_teledeteccion_para_la_gestion_del_territorio

Landis, J. R., y Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *International Biometric Society*, 33(1), p. 165. https://dionysus.psych.wisc.edu/iaml/pdfs/landis_1977_kappa.pdf

Leutner, B., Horning, N. y Schwalb -Willmann, J. (2022). *Tools for Remote Sensing Data Analysis*. R package versión. cran.r-project. Recuperado el 8 de junio de 2022 de <https://cran.r-project.org/web/packages/RStoolbox/RStoolbox.pdf>

Liaw, A. y Wiener, M. (2022). *Breiman and Cutler's Random Forests for Classification and Regression*. cran.r-project. Recuperado el 8 de julio de 2022 de <https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/randomForest.pdf>

Lopez Nuñez, T. (2021). *Tecnologías de captación de agua de niebla para el desarrollo sostenible en la loma de Tacahuay, Tacna, 2021* [Tesis, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11103/3/IV_FIN_107_TE_Lopez_Nu%C3%B1ez_2021.pdf

- Maquera Callo, E. A. (2020). *Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en el Departamento de Tacna, periodo 2007, 2012 y 2017*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3953>
- Martínez Muñoz, D. y Díaz Ponce, A. (2005). *Percepción Remota: Fundamentos de teledetección espacial*. <https://es.scribd.com/document/365840214/Fundamentos-de-Teledeteccion-Espacial>
- Martínez Vega, J., Martín Isabel, M. P., Díaz Montejo, J.M., López Vizoso, J. M. y Muñoz Recio, F. J. (2010). *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente*. http://www.aet.org.es/files/guia_teledeteccion_medio-ambiente_pliego.pdf
- Matellanes, R. (2019). Composiciones RGB de imágenes satélite [Fotografía]. *Geo innova*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/composiciones-rgb-de-imagenes-satelite/>
- Miller, H. M. (2014). Users and Uses of Landsat 8 Satellite Imagery - 2014 Survey Results.USGS. <https://doi.org/10.3133/ofr20161032>
- Ministerio del Ambiente (2016). *El Perú y el cambio climático: Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/tercera-comunicacion-nacional-peru-convencion-marco-las-naciones>

- Ministerio del Ambiente (s.f.). *Biodiversidad y Ecosistemas: Pérdida total de cobertura vegetal en la costa y sierra, 2004–2020 (Hectáreas)*. [Archivo Excel]. <https://sinia.minam.gob.pe/inea/indicadores/perdida-anual-de-cobertura-vegetal-en-la-costa-y-sierra-2004-2020-hectareas-2/>
- Miyasiro Lopez, M. G. y Ortiz Huamani, M. A. (2016). *Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986–2014)*. [Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17721>
- Monterroso Tobar, M. F. (2014). *Guía Práctica: Clasificación de imágenes satelitales*. <https://arcgeek.com/descargas/ClasImMF.pdf>
- Mouselimis, L., Sanderson, C., Curtin, R., Agrawal, S., Frey, B., Dueck, D. y Spinu, V. (2022). *Gaussian Mixture Models, K-Means, Mini-Batch-Kmeans, K-Medoids and Affinity Propagation Clustering*. cran.r-project. Recuperado el 8 de julio de 2022 de <https://cran.r-project.org/web/packages/ClusterR/ClusterR.pdf>
- Murillo Sangay, A. (2017). *Análisis de cambio de cobertura y uso actual de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Llacanaora, periodo 2001 - 2016*. [Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1687>
- Norriss, J. (2019). Satellites 101 [Fotografía]. *Upstreamteach*. <https://www.upstream.tech/posts/2019-09-09-satellites-101>

- Pérez, D.J. (2007). Esquema de los sensores, activo y pasivo [Fotografía]. Laboratorio de tectónica andina.
http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf
- Puerta Tuesta, R., Rengifo Trigozo, J., y Bravo Morales, N. (2013). *Manual de ArcGIS 10 Intermedio*. <https://arcgeek.com/descargas/MAG10I.pdf>
- Richards, J. A., y Xiuping, J. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. (4.^a ed.). Springer. https://books.google.com.ec/books?id=xFg-99738poC&pg=PA1&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false
- Rodriguez, R., Marticorena, C., Alarcón, D., Baeza, C., Cavieres L., Finot V.L., Fuentes N., Kiessling A., Mihoc M., Pauchard A., Ruiz E., Sanchez P. y Marticorena A. (2018). Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana Botánica* 75(1), 1-430. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432018000100001>
- Sánchez Aparicio, M. (2020). Aplicación de la teledetección: índices espectrales [Fotografía]. *Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila*. <https://politecnicadeavila.usal.es/2020/02/03/maria-sanchez-aporicio-aplicacion-de-la-teledeteccion-indices-espectrales/>
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina. (2004). *Inventario Nacional de Bosques Nativos, Sistema Nacional de Evaluación Forestal*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_de_teledeteccion.pdf

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (s.f.). *Gestión del Agua y Biodiversidad en la Reserva Nacional de Lachay*.
<https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/01/Gesti%C3%B3n-del-Agua-y-Biodiversidad-en-la-Reserva-Nacional-De-Lachay.docx.pdf>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2014). *Ficha técnica de campo ecosistema frágil loma Tacahuay*. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2018/07/34-FTC-Tacahuay.pdf>

Simmon, R. (31 de mayo de 2013). A Quick Guide to Earth Explorer for Landsat 8. *Earth Observatory Blogs*.
<https://earthobservatory.nasa.gov/blogs/elegantfigures/2013/05/31/a-quick-guide-to-earth-explorer-for-landsat-8/>

Sistema de Observación de la Tierra. (EOS, 2021). Bandas Landsat 8: Combinaciones y Usos en Imágenes [Fotografía]. *Earth Observing System*.
<https://eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/>

Sotomayor Melo, D. A., y Jiménez Milón, P. (2008). Condiciones meteorológicas y dinámica vegetal del ecosistema costero lomas de Atiquipa (Caravelí – Arequipa) en el Sur del Perú. *Ecología Aplicada*. 7(1,2).
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a01v7n1-2.pdf>

Talavera Delgado, C. (s.f.). *El rol del agua de las neblinas en la conservación y manejo de la biodiversidad de los ecosistemas de lomas*.
<https://www.minam.gob.pe/diiversidad/wp-content/uploads/sites/63/2015/01/resumen3.pdf>

- Tito, B. (2 de febrero 2022). QGIS qué es y para qué sirve: todo lo que debes saber. *Ingeniería Ambiental*. <https://ingenieriaambiental.net/qgis-que-es-y-para-que-sirve/>
- Tropicos. (s.f). Missouri Botanical Garden. Recuperado el 23 de mayo de 2023 de <https://www.tropicos.org/home>
- Vázquez Lombardi, L. (2011). *Servicio de recopilación de información para la elaboración del Plan de Gestión Compartida del Parque Ecológico Nacional Antonio Raimondi*. <https://haciaunlimaecologica.files.wordpress.com/2011/11/pgc-penar1.pdf>
- Xue, J. y Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Hindawi Journal of Sensors*, 2017, 17. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>

ANEXOS

Figura 1

Ficha técnica de campo de las lomas de Tacahuay.

 PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego			
"Año del Buen Servicio al Ciudadano"			
Ficha Técnica de Campo			
Ecosistema Frágil Loma Tacahuay			
Fecha de Evaluación	16 y 17 de Octubre 2014		
Co-actores	<ul style="list-style-type: none"> - Gobierno Regional de Tacna - Gobierno Regional de Moquegua - Administración Técnica Forestal Tacna-Moquegua 		
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar la presencia de patrimonio forestal y fauna silvestre del ecosistema Loma Tacahuay, en base al análisis de la biodiversidad, servicios ecosistémicos, y presencia amenazas antrópicas, para su inclusión en la lista sectorial de ecosistemas frágiles del MINAGRI.. 		
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> - Reunión de coordinación con el Gobierno Regional de Tacna y SIRECOM. - Reconocimiento preliminar de la Loma Tacahuay. - Determinación de límite de la cobertura natural de la Loma Tacahuay. - Evaluación de la riqueza específica de flora y avifauna de la Loma Tacahuay. - Determinación de presiones antrópicas y servicios ecosistémicos de la Loma Tacahuay. 		
Equipo Técnico	<p><u>Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Daniel Acencios Vásquez • Jael Odar Távara • Carmen Damian Espinoza <p><u>Gobierno Regional de Tacna</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Luis Jesús Aguilar Cruz <p><u>Sistema Regional de Conservación Moquegua -Gobierno Regional de Moquegua</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Carmen Chancayauri Vaca <p><u>Administración Técnica Forestal Moquegua-Tacna</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Julio Mamani Fernández • Rogelio Apaza Encinas • Luis Manuel García Vargas <p><u>Universidad Nacional Jorge Basadre</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ángel García Ninaya 		
Documentos de coordinación	<ul style="list-style-type: none"> - Oficio N°856-2014-MINAGRI-DGFFS/DGEFFS (Verificación del estado de conservación de los ecosistemas frágiles lomas costeras del departamento de Moquegua. 		
Datos de Evaluación			
Ubicación	<ul style="list-style-type: none"> • Departamento : Tacna-Moquegua • Provincia : Jorge Basadre, Ilo • Distrito : Ite, Ilo 		
Hábitats presentes	<ul style="list-style-type: none"> - Cresta rocosa - Fondo de quebrada - Zona de cactáceas - Ladera rocosa - Loma herbácea 		
Riqueza de Especies	<ul style="list-style-type: none"> • Flora : 54 sp.(01 CR, 01 NT, 03 VU) • Avifauna : 21 sp. • Mamíferos : 02 sp.(01 DD) • Herpetofauna : 03 sp. 		
Información de sustento:	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de campo conjunta SERFOR - Gobierno Regional de Moquegua - Administración Técnica Forestal Tacna-Moquegua. 		

Figura 2

Portal Web de trópicos.



Figura 3

Portal Web The World Flora Online.



Figura 4

Porta Web del Instituto de Botánica Darwinion.

Figura 5

Portal Web del catálogo en línea de las plantas vasculares de Chile.

Figura 6

Portal Web para la descarga de imágenes satelitales Landsat 8 (OLI y TIRS) y MDE.

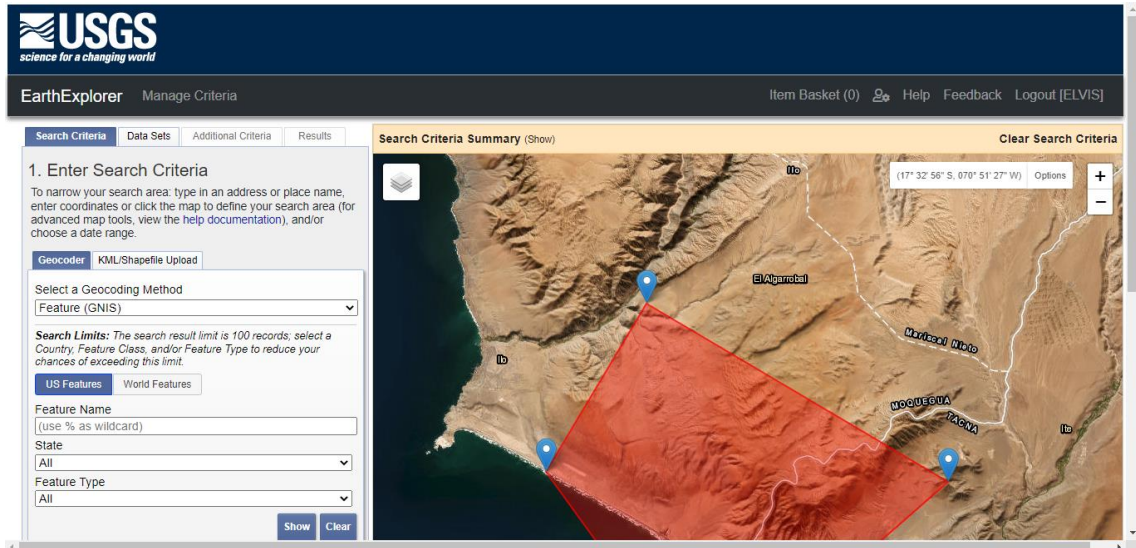


Figura 7

Geoservidor de SERFOR para la descarga del área de estudio.

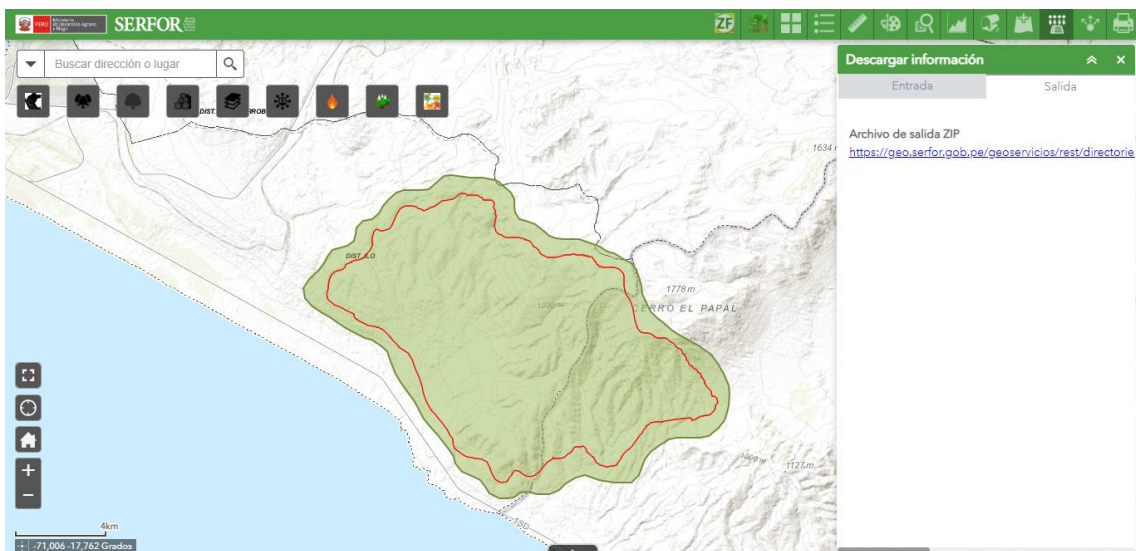


Figura 8

Portal Web para la descarga de RStudio.

The screenshot shows the RStudio Desktop download page on the Posit website. The navigation bar includes the Posit logo and links for PRODUCTS, SOLUTIONS, LEARN & SUPPORT, EXPLORE MORE, and PRICING. A search icon is visible on the right. The main heading is "RStudio Desktop" under a "DOWNLOAD" section. Below the heading, a paragraph states: "Used by millions of people weekly, the RStudio integrated development environment (IDE) is a set of tools built to help you be more productive with R and Python." Two large buttons are present: "1: Install R" and "2: Install RStudio". Below the "1: Install R" button, text reads: "RStudio requires R 3.3.0+. Choose a version of R that matches your computer's operating system." The "2: Install RStudio" button is blue and contains the text "DOWNLOAD RSTUDIO DESKTOP FOR WINDOWS".

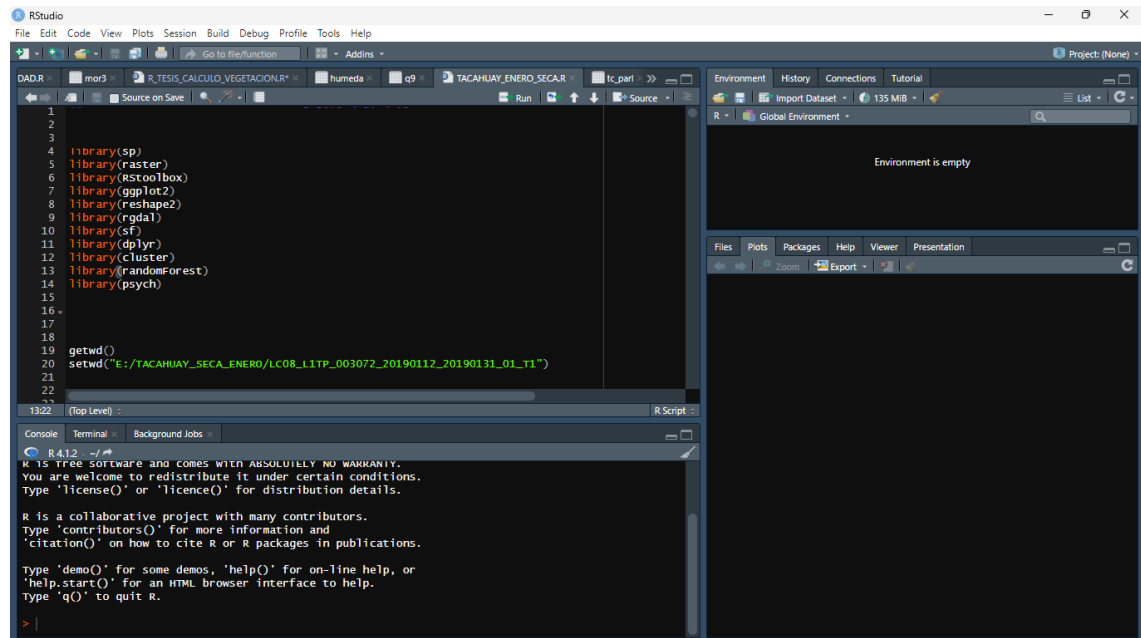
Figura 9

Portal Web de descarga de QGIS.

The screenshot shows the QGIS download page on the QGIS website. The navigation bar includes the QGIS logo, version numbers (3.30.2 and 3.28.6 LTR), and links for DESCUBRE QGIS, PARA USUARIOS, HAZ PARTE, and DOCUMENTACIÓN. A search bar and a language dropdown menu (set to Español) are also visible. The main heading is "QGIS" followed by the subtitle "Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto". Below this is a large banner image featuring a group of people, with the text "QGIS is a team effort" and "Support our community events!". Underneath the banner, there is a section titled "Agradecimientos a la Comunidad QGIS" with a link to "encuentros". At the bottom, there is a paragraph: "Crear, editar, visualizar, analizar y publicar información geoespacial en Windows, macOS, Linux, BSD y dispositivos móviles. Para su escritorio, servidor, en su navegador web y como bibliotecas para desarrolladores".

Figura 10

Librerías usadas para la ejecución de los comandos en RStudio.



```

1
2
3
4 library(sp)
5 library(raster)
6 library(rstoolbox)
7 library(ggplot2)
8 library(reshape2)
9 library(rgdal)
10 library(sf)
11 library(dplyr)
12 library(cluster)
13 library(randomForest)
14 library(psych)
15
16
17
18
19 getwd()
20 setwd("E:/TACAHUAY_SECA_ENERO/LC08_LITP_003072_20190112_20190131_01_T1")
21
22
23

```

Console output:

```

R 4.12.2 - /usr/bin/R
R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

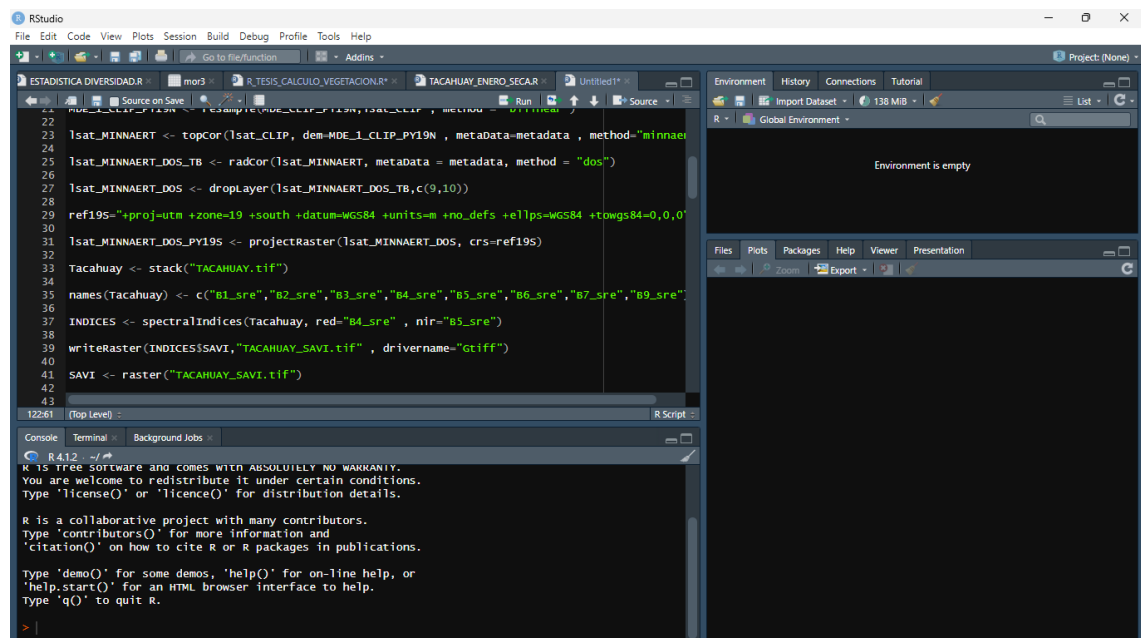
Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

>

```

Figura 11

Algunos comandos utilizados para el tratamiento de datos



```

22
23 lsat_MINNAERT <- topCor(lsat_CLIP, dem-MDE_1_CLIP_PY19N, metaData=metadata, method="minnaert")
24
25 lsat_MINNAERT_DOS_TB <- radCor(lsat_MINNAERT, metaData=metadata, method="dos")
26
27 lsat_MINNAERT_DOS <- droplayer(lsat_MINNAERT_DOS_TB,c(9,10))
28
29 ref19S="+proj=utm +zone=19 +south +datum=WGS84 +units=m +no_defs +ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0"
30
31 lsat_MINNAERT_DOS_PY19S <- projectRaster(lsat_MINNAERT_DOS, crs=ref19S)
32
33 Tacahuay <- stack("TACAHUAY.tif")
34
35 names(Tacahuay) <- c("B1_sre","B2_sre","B3_sre","B4_sre","B5_sre","B6_sre","B7_sre","B9_sre")
36
37 INDICES <- spectralIndices(Tacahuay, red="B4_sre", nir="B5_sre")
38
39 writeRaster(INDICES$SAVI,"TACAHUAY_SAVI.tif", drivername="gtiff")
40
41 SAVI <- raster("TACAHUAY_SAVI.tif")
42
43

```

Console output:

```

R 4.12.2 - /usr/bin/R
R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

>

```

Figura 12

Ráster Stack de las imágenes satelitales Landsat 8 (OLI y TIRS).

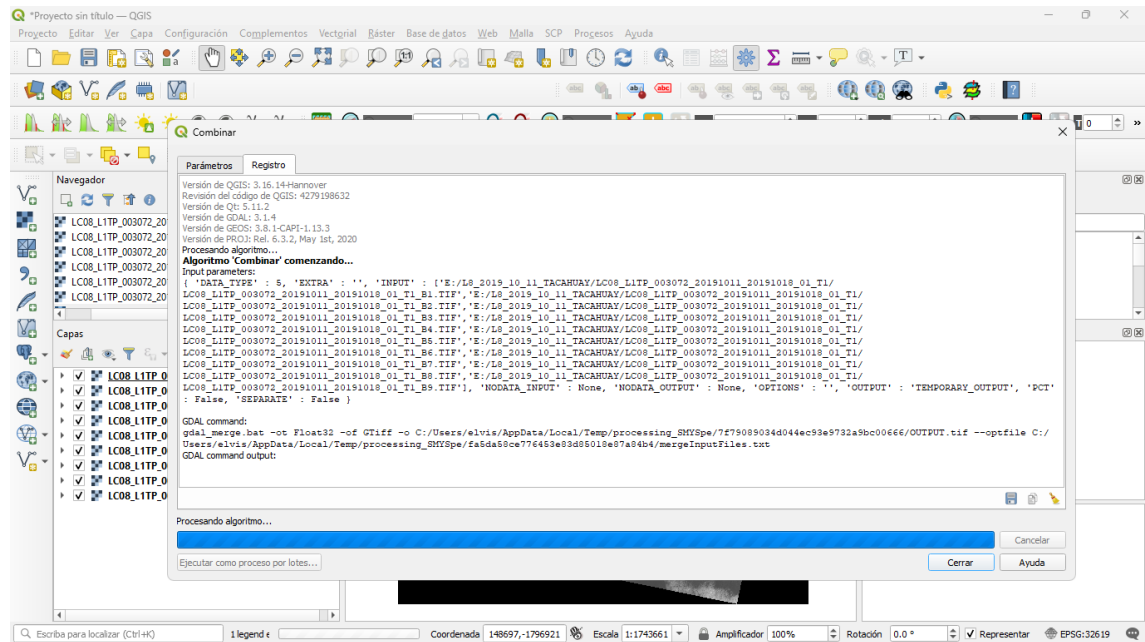


Figura 13

Área de estudio sobre capa Ráster Stack en Color Natural – Temporada húmeda

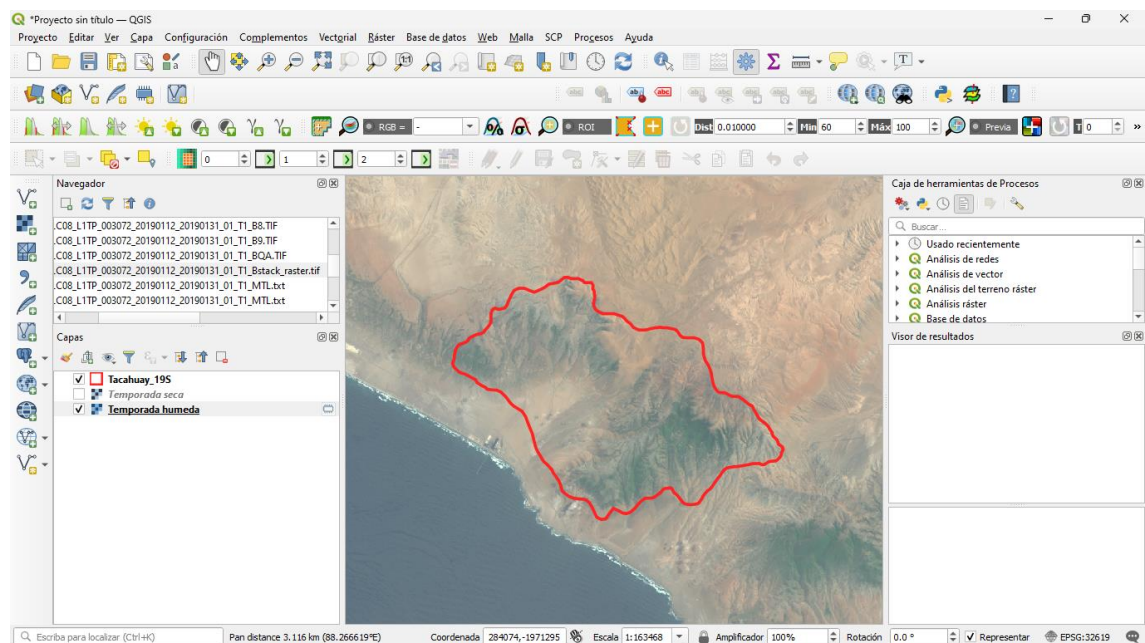


Figura 14

Área de estudio sobre capa Ráster Stack en color natural – Temporada seca.

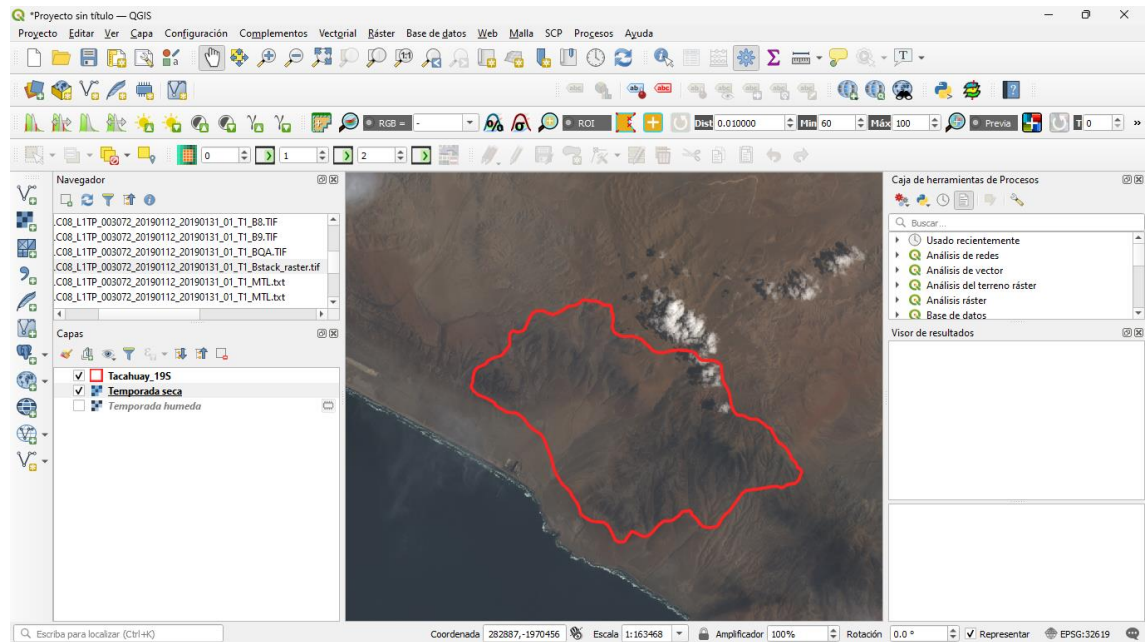


Figura 15

Índice de vegetación SAVI – Temporada húmeda.

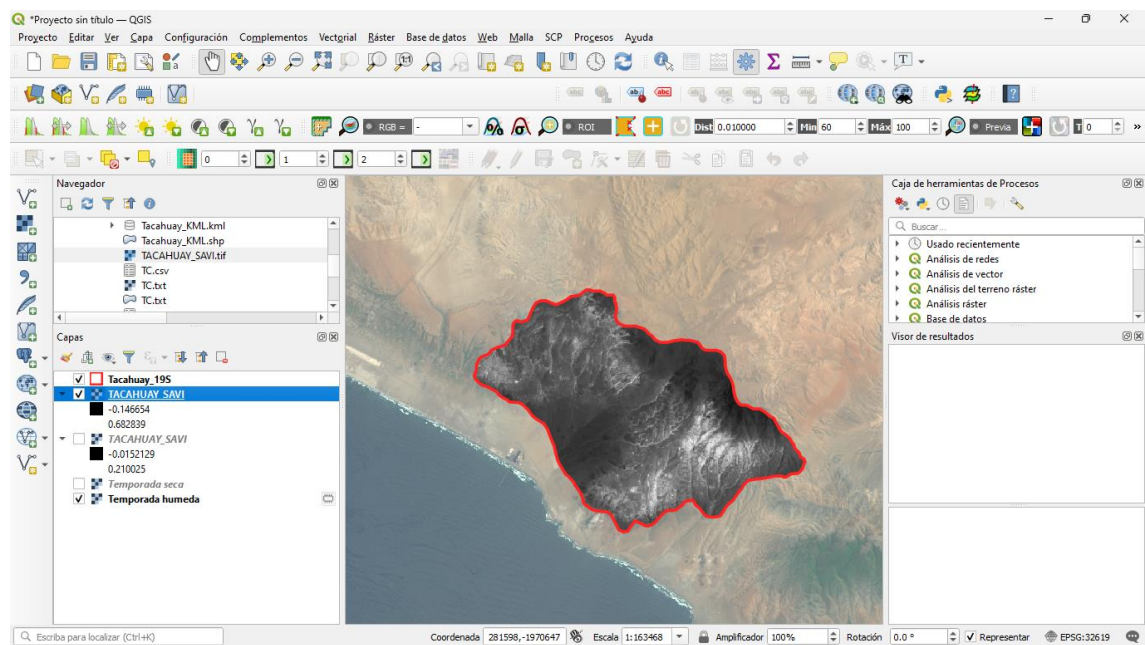


Figura 16

Índice de vegetación SAVI – Temporada seca.

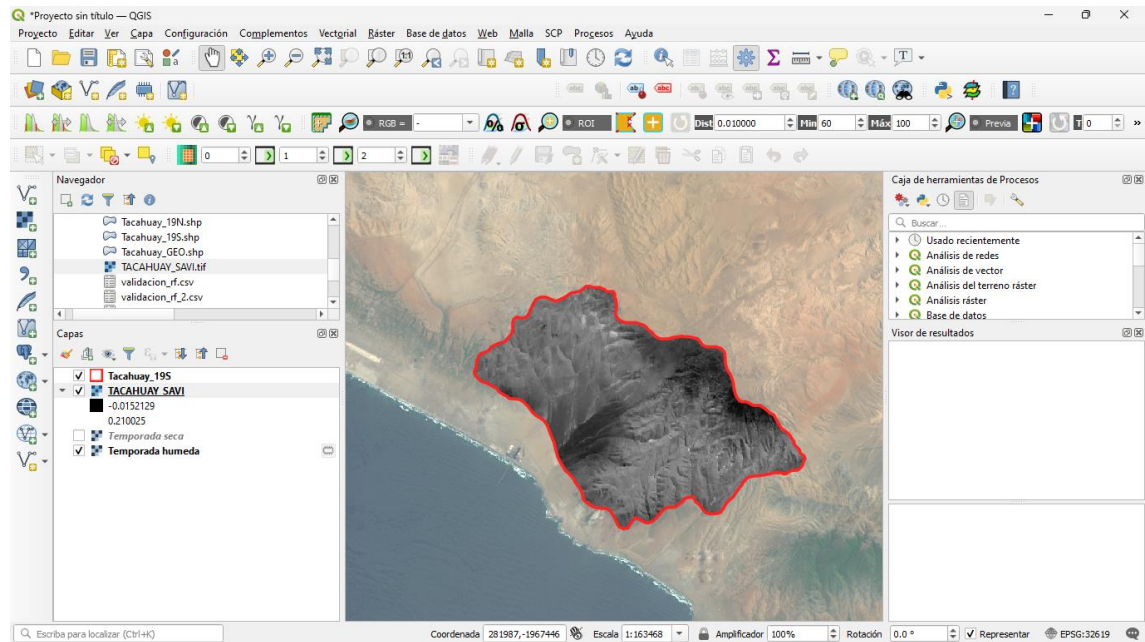


Figura 17

Generación de ROI – Temporada húmeda.

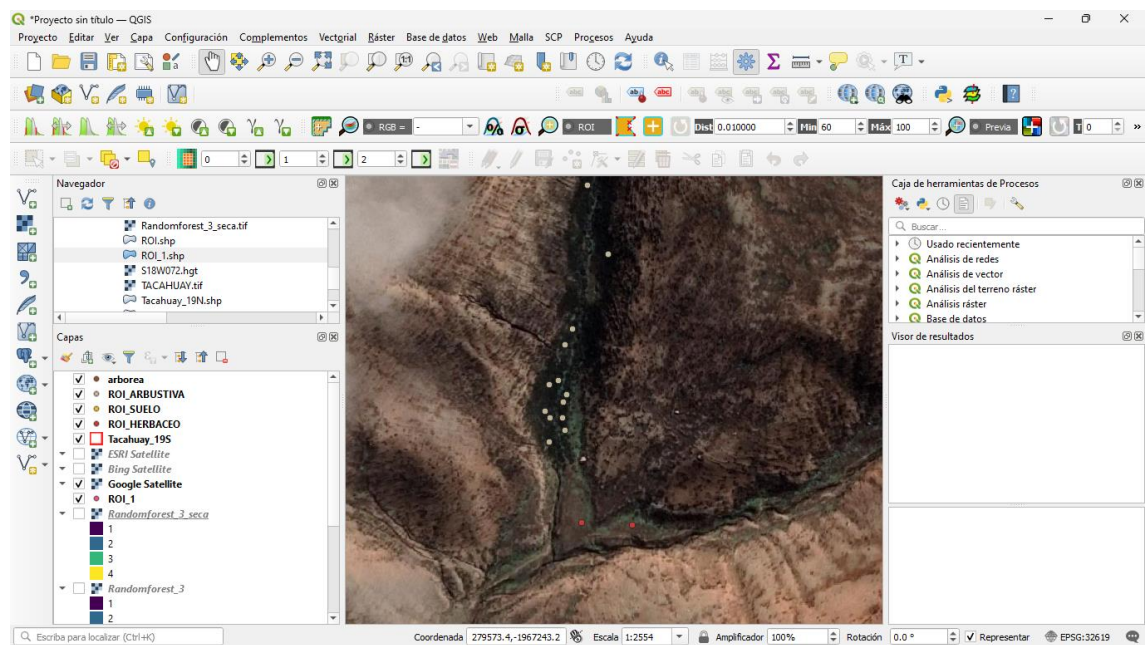


Figura 18

Generación de ROI – Temporada seca.

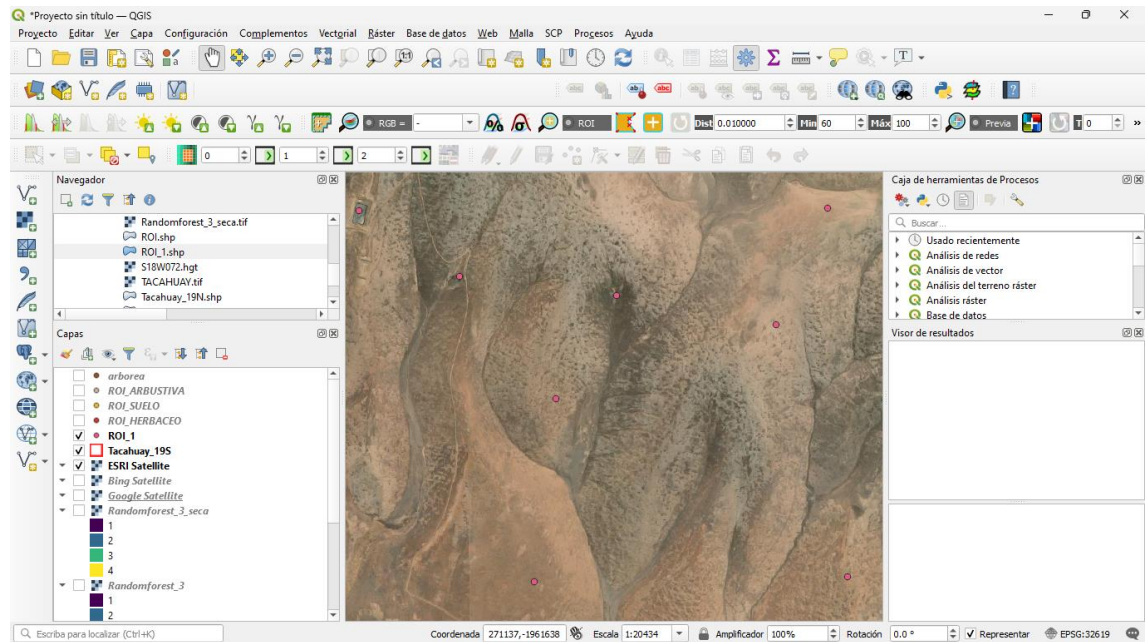


Figura 19

Random Forest – Temporada húmeda.

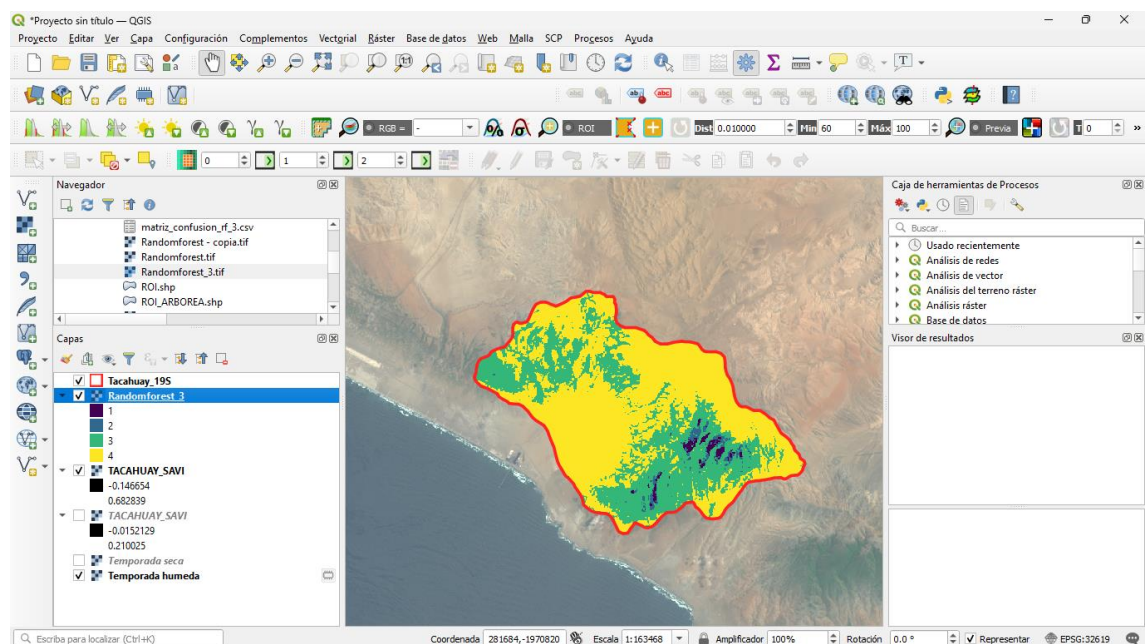


Figura 22

Datos generados para la validación y entrenamiento del modelo RF – Temporada seca.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a large table of data. The table is titled 'TEMPORADA SECA' and contains columns for 'MUESTRA', 'POSICION', 'B1_sre', 'B2_sre', 'B3_sre', 'B4_sre', 'B5_sre', 'B6_sre', 'B7_sre', 'B8_sre', 'B9_sre', 'CLASS', and 'CLASS'. The data is organized into rows for each sample, with columns for various features and their corresponding class labels. The spreadsheet interface includes the ribbon with 'Inicio', 'Insertar', 'Dibujar', 'Disposición de página', 'Fórmulas', 'Datos', 'Revisar', 'Vista', 'Ayuda', and 'PDFelement'. The status bar at the bottom shows 'Lista' and a zoom level of 55%.

Figura 23

ROI generados para la temporada húmeda y seca.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table of ROI data. The table is divided into two sections: 'TEMPORADA HUMEDA' and 'TEMPORADA SECA'. The columns are 'CANT. DE PUNTOS', 'CLASS', 'SAVI', 'COORDENADS UTM' (LONGITUD, LATITUD), 'LEYENDA', and 'CLASS'. The data is organized into rows for each point, with columns for various features and their corresponding class labels. The spreadsheet interface includes the ribbon with 'Inicio', 'Insertar', 'Dibujar', 'Disposición de página', 'Fórmulas', 'Datos', 'Revisar', 'Vista', 'Ayuda', and 'PDFelement'. The status bar at the bottom shows 'Lista' and a zoom level of 85%.