

Research Article

Remote Sensing for the Characterization of Covers and Meteorological Conditions of the Chimborazo Fauna Production Reserve

Sensoramiento Remoto para la Caracterización de Cubiertas Vegetales y Condiciones Meteorológicas de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo

P, Paguay-Soxo^{1*}, S, Logroño Naranjo¹, A, Flores Orozco², P, Buñay Guisñan³.

I INTERNATIONAL
SCIENTIFIC CONGRESS OF
INNOVATION, SCIENCE AND
TECHNOLOGY ALIVE
AMAZON (I CTAV 2021)

Corresponding Author: P,
Paguay-Soxo; email:
paul.paguay@espoch.edu.ec

Published: 1 September 2022

Production and Hosting by
Knowledge E

© P, Paguay-Soxo et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

¹Sede Orellana, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo(ESPOCH), Coca, Ecuador. EC060155.

²Sede Morona Santiago, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo(ESPOCH), Macas, Ecuador. EC060155.

³Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo.(UNACH), Riobamba, Ecuador. EC060108.

ORCID

P, Paguay-Soxo: <https://orcid.org/0000-0002-0262-9844>

Abstract

The objective of this research is to characterize the vegetation cover and meteorological conditions through a multispectral analysis of the Chimborazo Wildlife Production Reserve. The methodology used for this research is the one proposed by Chuvieco, which began with the definition of objectives, bibliographic review of the reserve's canopy, download of the most appropriate satellite image (without cloud cover), definition of canopy categories, image correction, calculation of spectral indices, supervised classification, adjustments, map generation using GIS tools, and interpretation of the results. Additionally, a National Solar Radiation Database web platform was used to download meteorological data for the year 2020, which were used to characterize the study area; the results were compared with the data acquired in 2017 with a station installed in the reserve. In the end, it was determined that multispectral analysis allows generating data close to a field work study. For the faunal reserve, the following area of established covers were obtained: shrub vegetation 55.8 km², snow 47.9 km², eroded zone 125 km², moor 190 km², pasture 76 km² and crops 30.56 km². Average temperature 5°C, relative humidity 95.8% and water precipitation 1.37.

Keywords: Remote sensing, vegetation cover characterization, Chimborazo Wildlife Reserve, meteorological data, multispectral analysis, Vegetation Index.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo realizar una caracterización de las cubiertas vegetales y condiciones meteorológicas a través de un análisis multitespectral de la Reserva de Producción Faunística Chimborazo. La metodología que se utilizó para esta investigación es la propuesta por Chuvieco donde se empezó con la definición de

 OPEN ACCESS



objetivos, revisión bibliográfica de las cubiertas de la reserva, descarga de la imagen satelital más adecuada (sin nubosidad), definición de categorías de cubiertas, corrección de imágenes, cálculo de índices espectrales, clasificación supervisada, ajustes, generación de mapas mediante herramientas SIG e interpretación de los resultados. Adicionalmente se utilizó una plataforma web National Solar Radiation Database para la descarga de datos meteorológicos del año 2020 que sirvieron para realizar la caracterización de la zona de estudio, los resultados fueron comparados con los datos adquiridos del año 2017 con una estación instalada en la reserva. Al final se determinó que el análisis multiespectral permite generar datos cercanos a un estudio de trabajo en campo. Para la reserva faunística se obtuvo las siguientes áreas de las cubiertas establecidas: vegetación arbustiva 55.8 km², nieve 47.9 km², zona erosionada 125 km², páramo 190 km², pastos 76 km² y cultivos 30.56 km². La temperatura media 5°C, humedad relativa 95.8 % y precipitación de agua 1.37.

Palabras Clave: *Sensoramiento Remoto, caracterización de cubiertas vegetales, Reserva Faunística Chimborazo, datos meteorológicos, análisis multiespectral, Índice de vegetación.*

1. Introducción

Las imágenes satelitales representan una fuente de información de la cual es factible extraer datos espacialmente distribuidos a partir de análisis y procesamiento digital ([1]). Los sensores remotos o también conocidos como teledetección son un campo en constante masificación para el desarrollo de investigaciones en diversas áreas como la ambiental, agronómica, turísticas, etc. Su mecanismo de funcionamiento se basa en analizar las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas de las cubiertas terrestres ([2]), cada una de las cubiertas presentes en la tierra tiene un determinado nivel de reflectancia condicionadas por las propiedades de absorción de la materia.

El ojo humano que es el sensor natural del hombre puede captar la reflectividad en un pequeño rango del espectro electromagnético, específicamente entre los 4 y 7 micrómetros ([3]), esto se puede observar la (Figura 1), los sensores actuales manejan otros rangos adicionales que permiten distinguir entre diferentes tipos de cubiertas que a simple vista no se puede observar.

Según Lo Vecchio ([4]), el análisis de cubiertas terrestres con sensores remotos tiene entre sus diversas ventajas, la posibilidad de conocer, explorar e investigar sitios de acceso remoto y/o con climas extremos: tal es así que reconocidos programas de monitoreo atmosférico, inventario de glaciares, seguimiento de erupciones volcánicas, o parques nacionales y reservas faunísticas como es el caso del presente estudio.

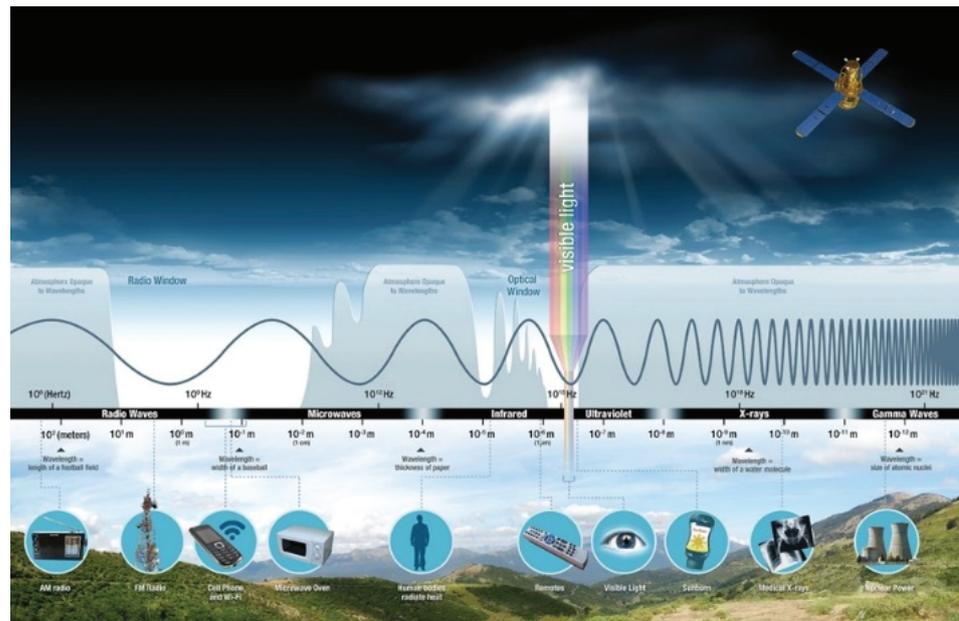


Figure 1

Espectro electromagnético. Fuente: Earth Science Applied Sciences.

Los modelos climáticos globales basados en el cambio climático predicen aumentos en la temperatura media anual para las próximas décadas, especialmente en la temporada de verano, esto conlleva a la necesidad de caracterizar el rendimiento de un gran número de genotipos de cultivos en condiciones de campo ([5]).

La caracterización de cubiertas terrestres y análisis de condiciones meteorológicas son de gran importancia para conocer la distribución de las diferentes regiones dentro de una zona de estudio con propósitos de planificación para su intervención mediante la ejecución de proyectos de diferente índole dentro de las distintas áreas ya mencionadas. El avance tecnológico actual permite tener un conocimiento global de cualquier región de la superficie de la tierra a partir de imágenes provenientes de sensores a bordo de plataformas satelitales, que pueden ser accesibles a cualquier persona o institución ([6]), esto a su vez constituye una alternativa económicamente factible para proyectos con recursos limitados como generalmente ocurre en países en vías de desarrollo.

La Reserva de Producción Faunística Chimborazo es parte de las 51 áreas que conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, que representa aproximadamente el 20% del territorio nacional, localizado en las provincias de Chimborazo, Bolívar y Tungurahua (Ministerio de Ambiente, 1995). Su extensión es de 52.683 has; su altitud varía desde los 3650 a 6310 m.s.n.m.; presenta un clima frío andino con temperaturas desde -4.80°C hasta los 11.40°C ; registra una precipitación de 809 mm



en las zonas menos lluviosas y 1300 mm en las zonas más húmedas, y sus objetos de conservación son los páramos, sistemas hídricos y humedales, bosques y arbustales siempre verdes, y sitios arqueológicos ([7]).

De acuerdo, al Sistema de Clasificación Vegetal propuesto por Sierra (1999) y citado por Dávila et al. ([8]), la Reserva presenta cuatro formaciones vegetales ubicadas en la Subregión Centro, Sector Centro de la Cordillera Occidental. A saber: Bosque siempre verde montano alto (3.000-3.400 msnm); Páramo herbáceo (3.400 4.000 msnm), donde dominan las hierbas en penacho de los géneros Calamagrostis y Festuca, entremezcladas con arbustos pequeños. Páramo seco (sobre los 4.200 msnm hasta el límite nival), el que se caracteriza por ser xerofítico, con pocas hierbas, pequeños arbustos, musgos y líquenes. La zona gelidofitia (sobre los 4.700 msnm), con una vegetación que está dominada por líquenes y musgos.

El objetivo de la presente investigación es la de caracterizar (identificar, cuantificar y describir) las cubiertas vegetales y las condiciones meteorológicas de la Reserva de Producción Faunística Chimborazo con el fin de establecer las áreas de estudio para el análisis de especies existentes en la zona, esto como parte del proyecto de investigación denominado la geometría fractal en especies nativas andinas herbáceas, leñosas y maderables en Chimborazo para aplicación en el diseño arquitectónico-constructivo y gráfico.

2. Materiales y Métodos

La metodología utilizada en la presente investigación se basa en un método deductivo que emplea modelos físicos y matemáticos que estiman los índices de interés partiendo de datos que se adquieren mediante procesos de teledetección.

Los modelos utilizados analizan los factores físicos provenientes de la reflexión, absorción y dispersión de la radiación para estimar la reflectividad global captada por el sensor, mediante la lectura de algunos parámetros como son las propiedades ópticas de las hojas, el ángulo de observación, el índice de refracción entre otros. Las condiciones de observación perfectas como isotropía en las hojas o reflectividad lambertiana muy rara vez se dan en la naturaleza, por lo cual es necesario realizar procesos de ajuste para demostrar la relación física entre el parámetro a estimar y la información espectral que proporciona la imagen, una vez establecida la relación el método se invierte de tal forma que permite la estimación de las variables a partir de la imagen.

Las aplicaciones de la teledetección son numerosas y diversas, por lo que es complicado definir una metodología aplicable a todas ([9]), propone un flujo de trabajo general

que puede ayudar en el uso de imágenes de sensores remotos para una aplicación particular tomando en cuenta las adaptaciones necesarias. El esquema propuesto se detalla en la (Figura 2) y consta de las siguientes fases:

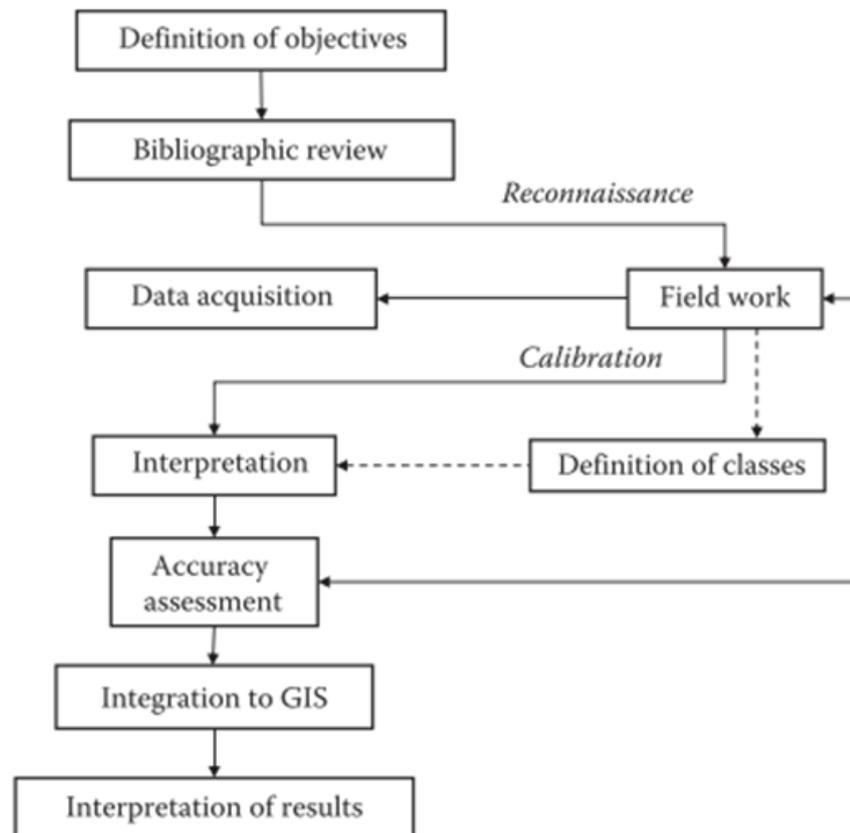


Figure 2

Proceso para análisis de imágenes utilizando Teledetección (9).

1. Es importante partir con la definición clara de los objetivos, limitando el área de estudio, el tiempo o escala requerida, así como los recursos disponibles, para el presente estudio se estableció la zona la Reserva de producción de Fauna Chimborazo (Figura 3), la imagen satelital más reciente a la fecha y los datos meteorológicos del año 2020.
1. Revisión Bibliográfica necesaria para establecer una línea base y encaminar a partir de esta el trabajo a realizar.
2. El trabajo de campo es utilizado en varias etapas de la fase de interpretación, la primera que consiste en la caracterización general del sitio de estudio, en esta fase se debe tomar medidas con radiómetros de campo para tener una buena

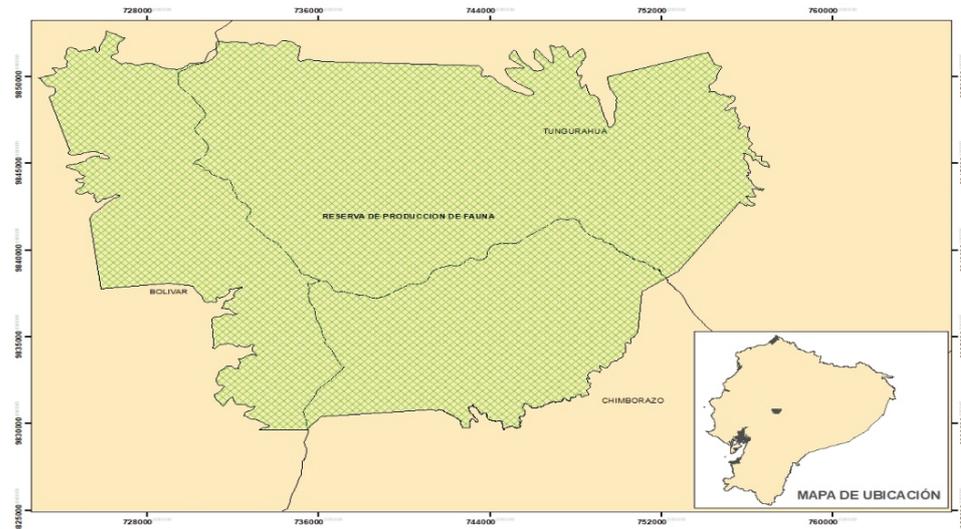


Figure 3

Ubicación de la Reserva de producción de Fauna Chimborazo.

visualización espectral, así como seleccionar el sensor más idóneo e identificar la variable objetivo, a su vez en esta fase se realizó la búsqueda en las bases de datos de imágenes satelitales, tanto de la NASA (EarthExplorer) y de la Agencia Espacial Europea – ESA (Copernicus Open Access Hub). Al seleccionar imágenes las imágenes para este estudio se consideró la resolución espacial, temporal, espectral y radiométrica de cada sensor ([10]).

3. En esta fase debemos seleccionar los datos satelitales deseados, incluyendo datos de sensores, fechas, imágenes y formatos.
4. Establecer el nivel de exactitud y precisión a cumplir en base al potencial del sensor y las características de la zona de estudio.
5. Procesar las imágenes y los datos de campo para ajustar al modelo de interpretación. Una parte importante en el preprocesamiento de imágenes es el de realizar una corrección atmosférica para reducir el efecto de la absorción y dispersión de la atmósfera en cada momento y estandarizar los valores a reflectancias ([11]).
6. La fase de interpretación tiene como propósito clasificar las categorías objetivo sobre el área de interés. En este estudio se utilizó un análisis digital de clasificación supervisada, que previo a este se realiza un análisis visual, la cual consiste en una técnica que examina la imagen analógica, con el propósito de identificar los diferentes componentes del paisaje, basándose en criterios visuales de tono,



color, textura ([12]). La precisión de la clasificación depende de la calidad de la imagen del satélite ([13]).

7. Comúnmente los resultados se integran con otras variables dentro de un SIG para el trabajo con imágenes digitales.
8. Los resultados obtenidos se entregan al usuario final para la toma de decisiones.

Para el procedimiento se utilizó la imagen multiespectral del sensor satelital Sentinel-2 que es una misión de imágenes multiespectrales de alta resolución en órbita polar para la vigilancia de la tierra lanzado 23 de junio de 2015 por la Agencia Espacial Europea ([14]).

Los satélites Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea más nuevos, disponibles a partir de 2015 (S2A) con el segundo sensor (S2B) lanzado en 2017 para duplicar la adquisición de datos, proporcionan datos a una escala espacial mucho más fina (10–20 m) y temporal más alta (hasta 5 días), aunque actualmente en una serie temporal más corta que Landsat y MODIS ([15]).

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) relacionado con la cobertura del dosel y la estructura de la vegetación se usaba comúnmente para monitorear la fenología de la superficie terrestre para diferentes tipos de cobertura terrestre con grandes variaciones estacionales en el verdor del dosel ([16]). Este índice utiliza las bandas del infrarrojo cercano y rojo según la fórmula 1 ([17]).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{RED + NIR} (1)$$

El NDVI tiene una conexión entre la salud/verdor de los árboles y los diferentes parámetros del inventario forestal ([18]), sin embargo, se ha informado que el NDVI está saturado en regiones de alta cobertura vegetal. Para el presente estudio, al ser un área sin saturación de cobertura vegetal el NDVI constituye una alternativa factible para el análisis de cubiertas.

3. Resultados y Discusión

En primer lugar se procedió a relizar una descarga de información meteorológica del último año registrado en la base de datos Datos National Solar Radiation, posteriormente se realizó un análisis exploratorio y descriptivo de los datos el mismo que se observa en la (Tabla I).

Los principales componentes de la irradiancia solar a nivel del suelo incluyen la irradiancia horizontal global (GHI), la irradiancia normal directa (DNI) y la irradiancia horizontal difusa (DHI). La evaluación GHI de alta resolución es particularmente útil



Table 1

Resumen de los datos meteorológicos del año 2020.

	DHI	DNI	Wind Speed	Precipitable Water	Relative Humidity	Temperature	Pressure
mean	79.06792	205.26004	1.99100	1.37837	95.82902	5.358345	636.89109
std	120.834776	329.67320	1.46603	0.22797	8.626008	3.481204	1.16442
min	0	0	0	0.3	32.59	-3.5	633
25%	0	0	0.8	1.2	96.66	2.6	636
50%	7	0	1.6	1.4	100	4.7	637
75%	108	323.25	2.9	1.5	100	8.4	638
max	684	1099	7.5	1.9	100	14.5	640

Fuente: Base de datos nacional de radiación solar

para el diseño y la operación del sistema fotovoltaico (PV), mientras que la evaluación DNI es de gran importancia para los sistemas de energía solar concentrada (CSP) ([19]).

A continuación, en la (Figura 4) se grafican los comportamientos de las radiaciones Diffused Normal Irradiance (DNI), Diffused Horizontal Irradiance (DHI) y Global Horizontal Irradiance (GHI).

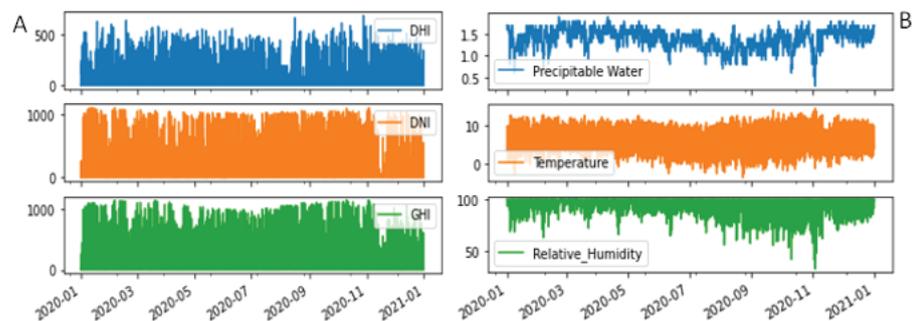


Figure 4

Comportamiento de la radiación(A) y variables meteorológicas(B) en el año 2020 (DHI, DNI, GHI).

El histórico de las variables meteorológicas para el año 2020 se observa en la (Figura 5), en la que se evidencia el 157 descenso de la temperatura en los meses de julio y agosto, mientras que los meses con mayor temperatura está en los 158 meses de abril y mayo.

Los objetos geomorfométricos creados a partir de datos del modelo digital del terreno (DTM) brindan información importante para la evaluación geoespacial ([20]).

Se realiza un mapa de contorno para visualizar las curvas de nivel y la elevación del terreno de la zona de estudio (Figura 6).

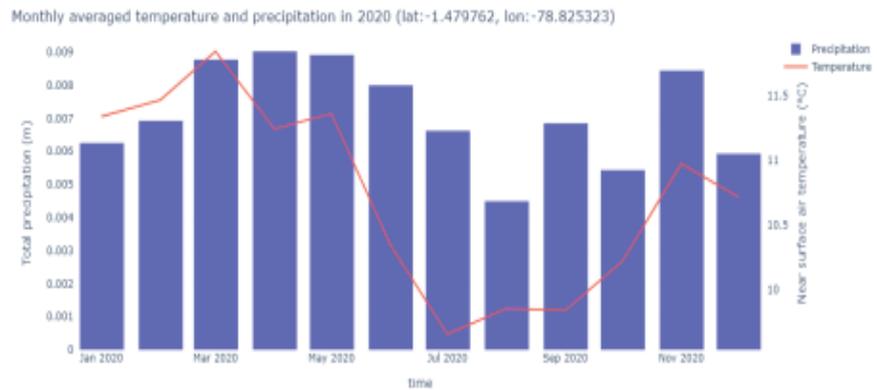


Figure 5

Histórico de variables meteorológicas en el año 2020.

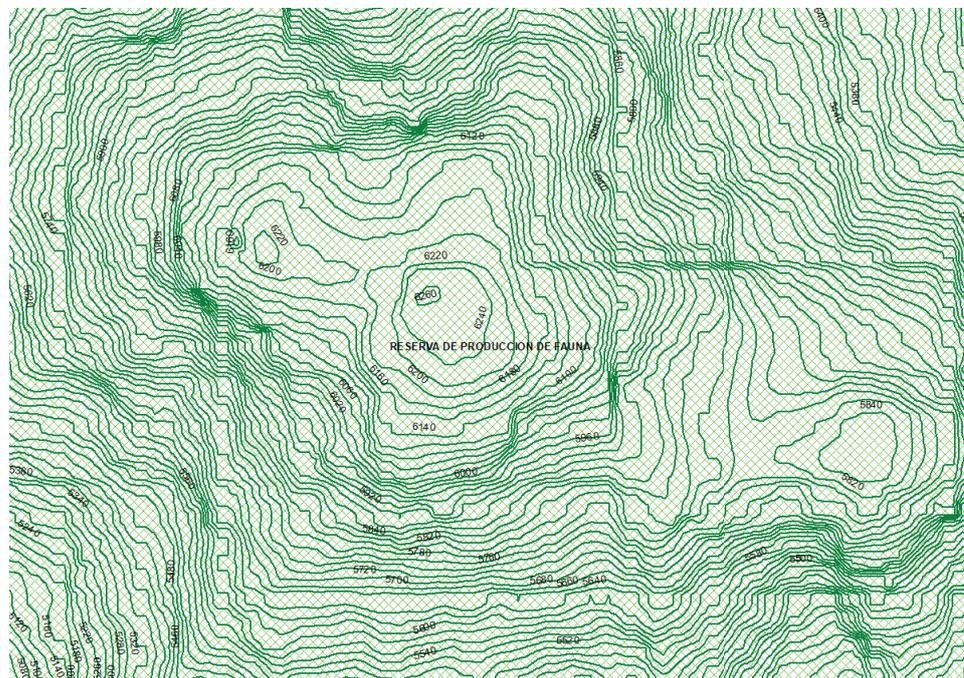


Figure 6

Curvas de nivel de la zona de estudio.

Existen tres métodos comunes para la representación por computadora del terreno de la Tierra, a saber, el modelo de elevación digital (DEM), la red irregular triangulada (TIN) y el modelo basado en el contorno. En el método DEM, el terreno se divide en celdas regulares, mientras que en el método TIN el terreno se cubre y conecta con triángulos irregulares ([21]).

A continuación, se muestra un mapa de elevación de la zona de estudio donde se muestra que la altitud de la reserva se encuentra entre los 3540 y 6260 metros (Figura 7).

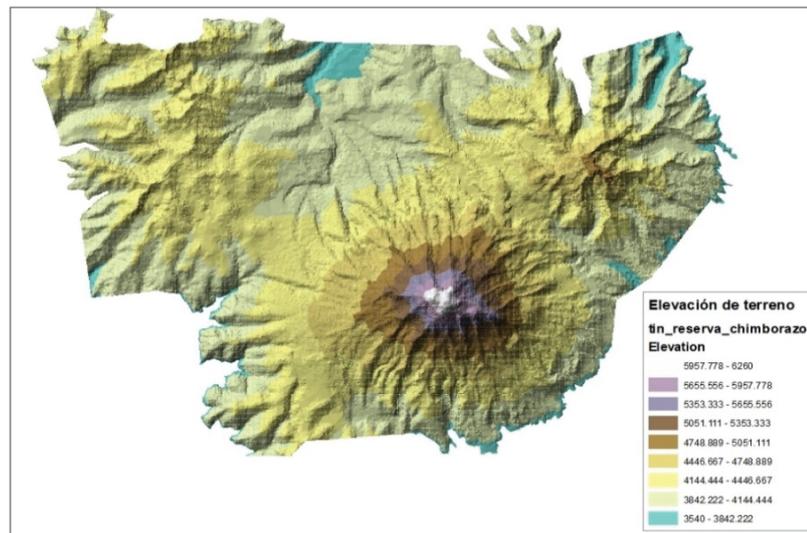


Figure 7

Elevación del terreno de la zona de estudio.

Mediante la utilización de la plataforma informática Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), se descargó la imagen T17MQU_20200824T153619 del 24 de agosto de 2020 considerando las condiciones meteorológicas donde no exista nubosidad que cubra la zona de estudio con lo cual se pueda mostrar sin interferencias los detalles de las cubiertas existentes.

La corrección atmosférica se lleva a cabo utilizando la herramienta Sen2Cor en su versión 2.09, la cual utiliza el algoritmo de corrección atmosférica aplicado aquí corrige la señal recibida por el sensor de la influencia y distorsiones radiométricas causadas por la atmósfera ([22]).

Se realizó la combinación de bandas para obtener una imagen en color natural la cual ofrece una panorámica desde el espacio como si se observara con el ojo humano. Adicionalmente se realizó la combinación de bandas en infrarrojo la cual realza las zonas vegetales debido a la alta reflectividad de la clorofila presente en las estructuras vegetativas. El resultado se puede observar en la (Figura 8).

Con la fórmula del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se obtiene las zonas que presentan vegetación sana (verde oscuro) o zonas sin vegetación (marrón) (Figura 9).

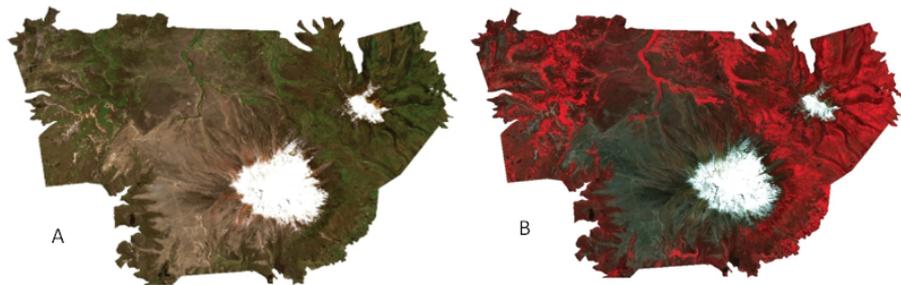


Figure 8

(A) Combinación de bandas en color natural, (B) Combinación de Infrarrojo.

Para esta zona nos muestra un rango de NDVI desde -0.58 hasta 0.99.

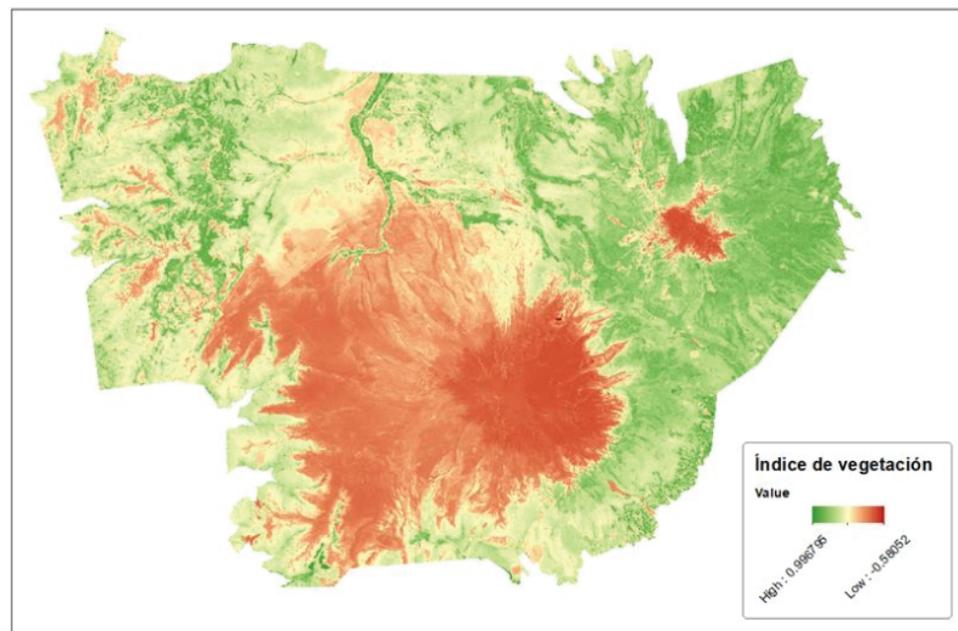


Figure 9

NDVI de la Zona de estudio.

En la clasificación supervisada, se selecciona píxeles de la imagen de entrada basándose en el conocimiento de la cobertura terrestre, también llamados "sitios de entrenamiento". Cada sitio de entrenamiento se coloca en el espacio espectral en función de sus valores de capas de entrada ([23]).

Para la clasificación supervisada se utilizó las bandas NIR (8), RED (4), GREEN (3) y BLUE (2), se definió un total de 6 clases: vegetación arbustiva, nieve, zona erosionada, páramo, pasto, cultivo, para las mismas se seleccionó 20 muestras de entrenamiento, obteniendo las diferentes cubiertas que se observa en la (Figura 10).

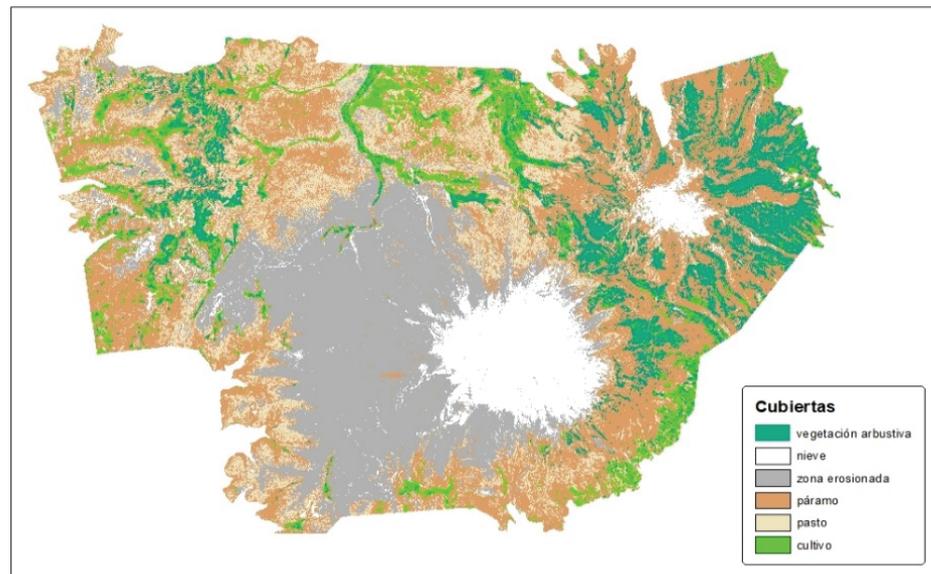


Figure 10

Cubiertas de la Zona de estudio.

Se realiza la conversión a polígono y posteriormente con la herramienta dissolve se unen los polígonos de acuerdo con el tipo de cubierta y se calcula el área de cada una.

En la (Tabla II) se describe el área por cubierta de la zona de estudio en km² donde se evidencia que la mayor cantidad de área la ocupa la cubierta terrestre de páramo seguido de la zona erosionada.

Table 2

Área (km²) por cubierta de la zona de estudio.

Cubierta	páramo	Zona erosionada	pasto	Vegetación arbustiva	nieve	cultivo
Área (Km²)	190.83	125.17	76.45	55.8	47.99	30.56

Con el fin de contrastar los resultados que se hallaron, en la (Figura 11), se muestra la distribución de cubiertas de la Zona de estudio mediante un mapa utilizando archivos .shp del año 2011 del ministerio del ambiente.

Al igual que se hizo con la clasificación supervisada, se calculó el área por cubierta utilizando archivo .shp del año 2011. En la (Tabla III) se muestra los valores obtenidos.

4. Discusión

Con datos obtenidos con estaciones meteorológicas de la ESPOCH, se evidencia que los datos meteorológicos del año 2017 muestran una temperatura media de 3.5°C

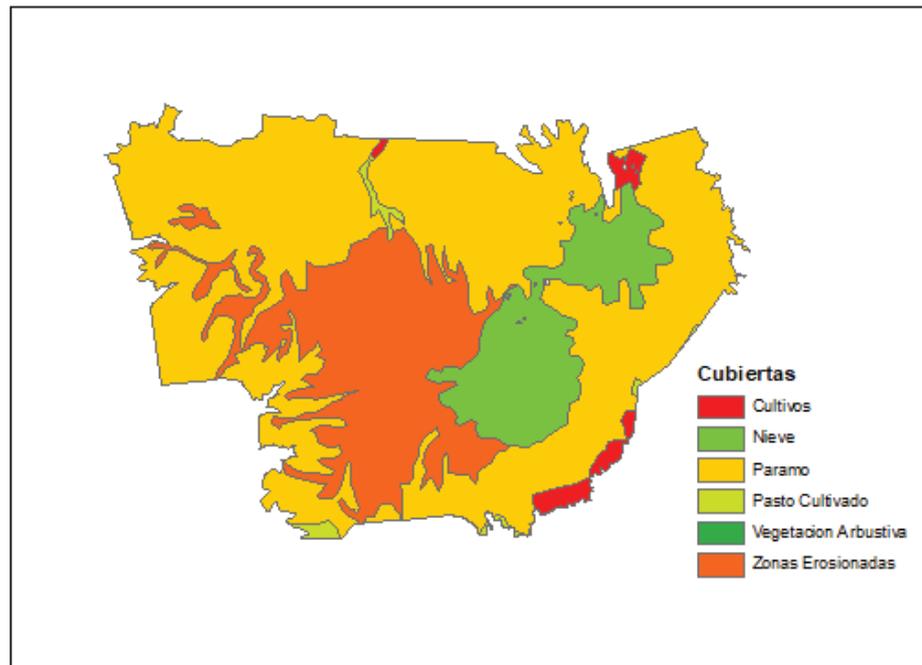


Figure 11

Distribución de cubiertas en la reserva. (2011).

Table 3

Área por cubierta de la zona de estudio (2011)

Cubierta	páramo	Zona erosionada	nieve	cultivo	pasto	Vegetación arbustiva
Área (Km2)	324.1	123.59	65.65	8.87	4.34	0.03

y una desviación estándar de 0.68 a comparación de los datos meteorológicos del año 2020 que se obtuvieron con información de bases de datos satelitales, muestran una temperatura media de 5.36°C y una desviación estándar de 3.48, mostrando una diferencia en la temperatura al año 2020.

Al igual que con la anterior variable, los datos meteorológicos del año 2017 muestran una Humedad relativa media de 76.18 y una desviación estándar de 4.05 a comparación de los datos meteorológicos del año 2020 que muestran una Humedad relativa media de 95.83 y una desviación estándar de 8.63, el cual es menor a la Humedad al año 2020.

Para el análisis digital de cubiertas existen varios algoritmos computacionales que son usados por los sistemas de información geográfica como en el estudio de Genbatu Ge ([24]), donde aplican tecnologías k-nearest neighbor (KNN), artificial neural network

(ANN), random forest (RF) and support vector machine (SVM). En el presente estudio se aplicó la opción de *maximum likelihood classification*, obteniendo resultados similares.

Al analizar las cubiertas en la zona de estudio mediante procesamiento de imágenes satelitales, se obtiene la extensión de área de cada una de ellas mostrando cambios encontrados en diferentes variables como se muestra la (Figura 12).

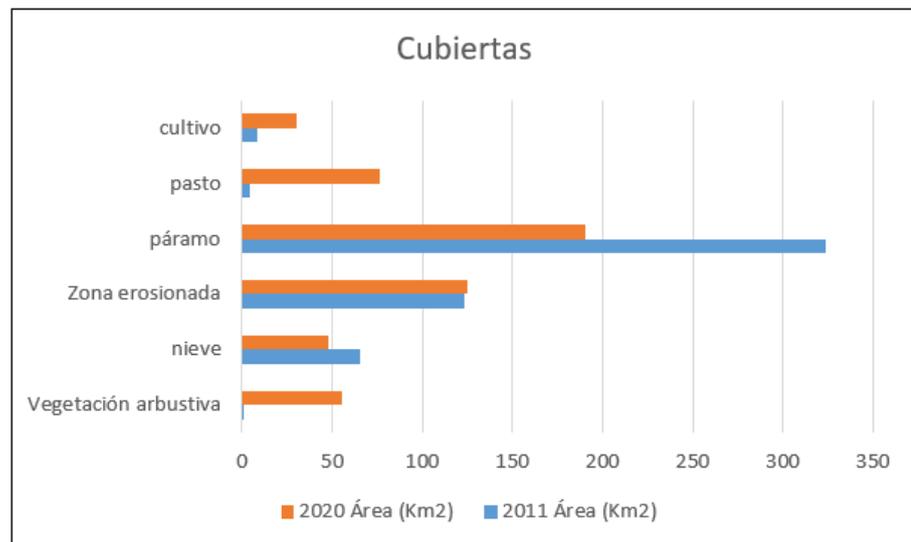


Figure 12

Análisis temporal de la cubierta de la zona de estudio.

5. Conclusiones

Luego de aplicar el procedimiento de preprocesamiento con la corrección atmosférica, aplicación de la fórmula del índice de vegetación y la técnica de clasificación supervisada en 6 clases se observa las siguientes áreas: vegetación arbustiva 55.8 km², nieve 47.9 km², zona erosionada 125 km², páramo 190 km², pastos 76 km² y cultivos 30.56 km². La temperatura media 5°C, humedad relativa 95.8 % y precipitación de agua 1.37.

Las fases de la metodología propuesta por Chuvieco para el proceso de interpretación de imágenes de sensores remotos se adapta al estudio de caracterización de cubiertas vegetales para la Reserva Faunística de Chimborazo. Esta a su vez constituye una opción económicamente factible para realizar análisis preliminares de proyectos con trabajo en campo.



Agradecimientos

Agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por las facilidades prestadas para la ejecución del proyecto de investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses.

References

- [1] Pargot M. Metodo inductivo deductivo en tecnicas de teledeteccion. 2013;1–13.
- [2] Romero FS. La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. 2006;13–41.
- [3] Pérez C, Muñoz A. Teledetección: nociones y aplicaciones. 2006. 4 p.
- [4] Lo Vecchio A, Lenzano MG, Richiano S, Lenzano LE. Identificación y caracterización litológica mediante el uso del sensor ETM+ (Landsat 7). Caso de estudio: Entorno del glaciar Upsala, Argentina. *Rev Teledetec.* 2016;2016(46):57–72.
- [5] Fullana-Pericàs M, Conesa M, Gago J, Ribas-Carbó M, Galmés J. High-throughput phenotyping of a large tomato collection under water deficit: Combining UAVs' remote sensing with conventional leaf-level physiologic and agronomic measurements. *Agric Water Manag.* 2022;260.
- [6] Carnevale NJ, Alzugaray C, Di LEO N. Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa santafesina mediante teledetección espacial. *Quebracho Rev Ciencias For.* 2007;014:47–56.
- [7] Caranqui J, Lozano P, Reyes J. Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE.* 2016;7(1):33–45.
- [8] Dávila M, Vásquez CL, Pomboza P. Primer reporte de *Raphanus raphanistrum* L. en los páramos de Chimborazo, Ecuador. *Idesia.* 2017;35(3):93–7.
- [9] Chuvieco E, Huete A. Fundamentals of satellite remote sensing. *Fundamentals of Satellite Remote Sensing.* 2016. 1–419 p.
- [10] Pérez González ME, García Rodríguez MP. Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos. *Boletín la Asoc Geógrafos Españoles.* 2013;(61).
- [11] Picone N, Linares S. Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y SIG. Caso de estudio: ciudad



- de Tandil, Argentina. *Rev Univ Geogr* [Internet]. 2014;23(2):77–96. Available from: http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652014002200002&lng=es&nrm=iso
- [12] Condori-Luna IJ, Loza-Murguía MG, Mamani-Pati F, Solíz-Valdivia H. Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 - 2014. *J Selva Andin Res Soc*. 2018;9(1):25–44.
- [13] Ruppert G, Hussain M, Müller H. Accuracy Assessment of Satellite Image Classification Depending on Training Sample. *Austrian J Stat*. 2016;28(4).
- [14] ESA. The Sentinel missions [Internet]. Available from: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions
- [15] Denize J, Hubert-Moy L, Betbeder J, Corgne S, Baudry J, Pottier E. Evaluation of using sentinel-1 and -2 time-series to identify winter land use in agricultural landscapes. *Remote Sens*. 2019;11(1).
- [16] Zhou L, Zhou W, Chen J, Xu X, Wang Y, Zhuang J, et al. Land surface phenology detections from multi-source remote sensing indices capturing canopy photosynthesis phenology across major land cover types in the Northern Hemisphere. *Ecol Indic* [Internet]. 2022;135:108579. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108579>
- [17] Choudhary K, Shi W, Boori MS, Corgne S. Agriculture Phenology Monitoring Using NDVI Time Series Based on Remote Sensing Satellites: A Case Study of Guangdong, China. *Opt Mem Neural Networks (Information Opt)*. 2019;28(3):204–14.
- [18] Wittke S, Yu X, Karjalainen M, Hyyppä J, Puttonen E. Comparison of two-dimensional multitemporal Sentinel-2 data with three-dimensional remote sensing data sources for forest inventory parameter estimation over a boreal forest. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* [Internet]. 2019;76(October 2018):167–78. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.009>
- [19] Chu Y, Li M, Pedro HTC, Coimbra CFM. A network of sky imagers for spatial solar irradiance assessment. *Renew Energy* [Internet]. 2022;187:1009–19. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.032>
- [20] Goto H. Three-dimensionally consistent contour-based network rendered from digital terrain model data. *Geomorphology* [Internet]. 2021;395:107969. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107969>
- [21] Jalal SJ, Musa TA, Ameen TH, Din AHM, Aris WAW, Ebrahim JM. Optimizing the Global Digital Elevation Models (GDEMs) and accuracy of derived DEMs from GPS points for Iraq's mountainous areas. *Geod Geodyn*. 2020;11(5):338–49.



- [22] Hantson S, Chuvieco E, Pons X, Domingo C, Cea C, Moré G, et al. Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Rev Teledetección*. 2011;36(January):51–61.
- [23] Snevajs H, Charvat K, Onckelet V, Kvapil J, Zadrazil F, Kubickova H, et al. Crop Detection Using Time Series of Sentinel-2 and Sentinel-1 and Existing Land Parcel Information Systems. *Remote Sens*. 2022;14(5):1–27.
- [24] Ge G, Shi Z, Zhu Y, Yang X, Hao Y. Land use/cover classification in an arid desert-oasis mosaic landscape of China using remote sensed imagery: Performance assessment of four machine learning algorithms. *Glob Ecol Conserv* [Internet]. 2020;22:e00971. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00971>