

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ÍNDICES DE VEGETACIÓN ESPECTRAL Y
CADENA DE MARKOV PARA EVALUAR LA
PÉRDIDA DE COBERTURA FORESTAL EN LA
RESERVA NACIONAL ALLPAHUAYO MISHANA,
EN EL PERÍODO 2002 – 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Autores:

Tiffany Valeria Cruz Cespedes
Solange Margot Gamboa Alvarez

Asesores:

Mg. Ing. Grant Ilich Llaque Fernández
<https://orcid.org/0000-0002-6793-775X>

Mg. Blg. Jessica Marleny Luján Rojas
<https://orcid.org/0000-0001-8781-4231>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Wilberto Effio Quezada	42298402
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Ronald Alvarado Obeso	44562630
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Liana Cardenas Gutiérrez	40221041
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por guiar mi camino y siempre cuidarme y a mis padres por alentarme día a día en seguir mis metas y anhelos, y brindarme su apoyo incondicionalmente para seguir mi carrera profesional.

Tiffany Cruz

Dedico este trabajo a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres que siempre me han acompañado y motivado para seguir adelante, por lo cual estoy profundamente agradecida y orgullosa de ellos.

Solange Gamboa

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres por haberme guiado en todo este camino, por su apoyo incondicional y agradezco de manera especial a mi asesor Grant Ilich Llaque Fernández por guiarme con sus enseñanzas y conocimientos, a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte por contribuir con mi desarrollo académico y profesional.

Tiffany Cruz

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia. A mi familia, por los consejos, valores y principios que me han inculcado. Agradezco de manera especial a mi asesor Grant Ilich Llaque Fernández quien me ha guiado con su paciencia y su rectitud, a los demás docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión.

Solange Gamboa

ÍNDICE DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	16
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES	21
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS	29
ANEXOS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del uso de suelo y cobertura forestal de la zona de estudio.....27

Tabla 2: Predicción del uso de suelo y cobertura forestal al año 2030 en la zona de estudio.....27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de trabajo del área de estudio.....	21
Figura 2. NDVI del año 2002 en el área de estudio.....	22
Figura 3. NDVI del año 2021 en el área de estudio.....	22
Figura 4. GNDVI del año 2002 en el área de estudio.....	23
Figura 5. GNDVI del año 2021 en el área de estudio.....	24
Figura 6 Clasificación Supervisada del año 2002 en el área de estudio.....	25
Figura 7. Clasificación Supervisada del año 2021 en el área de estudio.....	25
Figura 8. Predicción al año 2030 en el área de estudio.....	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Área de estudio.....	37
Anexo 2. Matriz de Consistencia	38
Anexo 3. Matriz de Operacionalización de variables.....	39

RESUMEN

El presente estudio identifica el patrón de cambio de cobertura forestal en el periodo 2002 – 2021, utilizando índices de vegetación y Cadena de Markov en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana, Loreto, Perú, para predecir el comportamiento de los usos de suelo al año 2030. La investigación fue de tipo descriptivo, con undiseño no experimental. Para ello, se utilizaron el índice de vegetación de Landsat 7 Enhanced thematic mapper plus (ETM+) y Landsat 8 Operational land images (OLI) para evaluar la pérdida decobertura forestal para los años 2002 y 2021. Asimismo, la cadena de Markov permitió predecir la cobertura forestal para el año 2030. Los resultados de la predicción revelan que el suelo desnudo, cuerpos de agua, cobertura forestal densa, y cobertura forestal pocodensa aumentaran en un 1%, 2%, 8% y 89% respectivamente de acuerdo con las estadísticas de la cadena de Markov. Esto indica que la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana podría experimentar deforestación y expansión de las actividades agrícolas. Por lo tanto, aumenta la necesidad de integrar enfoques participativos, desarrollar actividades de protección y recuperación de las Reservas Naturales de la Amazonía Peruana en base a la legislación y política ambiental vigente. A manera de conclusión la presente investigación genera aportes tanto metodológicos como tecnológicos en el campo de la investigación

Palabras Clave: Bosques, Reserva nacional, Uso de suelo, Amazonía.

ABSTRACT

The present study identifies the pattern of forest cover change in the period 2002-2021, using vegetation indices and Markov Chain in the Alpahuayo Mishana National Reserve, Loreto, Peru, to predict the behavior of land uses to the year 2030. The research was descriptive, with a nonexperimental design. To do this, the vegetation index of Landsat 7 Enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat 8 Operational land images (OLI) were used to evaluate the loss of forest cover for the years 2002 and 2021. Likewise, the Markov chain allowed to predict forest cover by the year 2030. The forecast results reveal that bare soil, water bodies, dense forest cover, and sparse forest cover will increase by 1%, 2%, 8%, and 89%, respectively, in accordance with Markov chain statistics. This indicates that the Allpahuayo Mishana National Reserve could experience deforestation and expansion of agricultural activities. Therefore, there is an increased need to integrate participatory approaches, develop activities for the protection and recovery of the Natural Reserves of the Peruvian Amazon based on current environmental legislation and policy. In conclusion, this research generates both methodological and technological contributions in the field of research.

Keywords: Forests, National Reserve, Land use, Amazon.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los bosques cubren el 31% de la superficie terrestre mundial, que equivale a 4 060 millones por hectáreas, pero no están uniformemente distribuidos en el planeta. Casi la mitad de la superficie forestal (el 49%) se mantiene relativamente intacta, mientras que el 9% se encuentra en forma de fragmentos con poca o nula conectividad entre ellos. Las pluviselvas tropicales y los bosques boreales de coníferas son los menos fragmentados, mientras que los bosques secos subtropicales y los bosques templados oceánicos se encuentran entre los más fragmentados (Dourojeanni, 2013, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020).

Los bosques tropicales albergan aproximadamente el 50 % de las especies de plantas y animales. Asimismo, la biodiversidad de estos bosques varía considerablemente según factores como la geografía, el clima y el suelo, además del uso antrópico (FAO, 2020). Sin embargo, atraviesa un serio problema de pérdida de bosques, siendo la causa principal la falta de planificación del territorio, que ocasiona el acaparamiento de tierras, expansión de la frontera agrícola, ganadería, la minería, y la explotación económica.

A nivel mundial se ha perdido 178 millones de hectáreas de bosque entre 1990 y 2020. Donde África tuvo la mayor tasa anual de pérdida neta en el período 2010-2020 con 3,9 millones de hectáreas, seguida por América del Sur, con 2,6 millones de hectáreas. (FAO,2020). Países como Portugal que perdió un 4% del total de su cobertura arbórea, en la República del Congo ocurrió uno de los incendios forestales jamás registrados que destruyó 15.000 hectáreas de bosque a principios de 2016, Del mismo modo Canadá perdió más de 600.000 hectáreas de bosque (Word Resources Institute,2017).

En Latinoamérica los países con mayor cantidad de bosque amazónico perdido durante el año 2020 fueron: Brasil, Bolivia, Perú, Colombia y Ecuador. Más del 65% de la deforestación de toda la Amazonía registrada en dicho año se ubicó en Brasil, el país con mayor territorio amazónico, que perdió 1,5 millones de hectáreas, un 13 % más que el año anterior. En Bolivia se superaron las 240.000 hectáreas, lo que batió el récord de 2017, principalmente por los incendios acontecidos en el sureste que

arrasaron los bosques secos, conocidos como los ecosistemas Chiquitano y Chaco (EFE News Services, 2021).

El Perú, cuenta aproximadamente con 72 millones de hectáreas de bosques de gran biodiversidad; además, es el segundo país en extensión forestal en América Latina, el cuarto con mayor área de bosques tropicales y está entre los 10 países del planeta con mayor extensión de cobertura forestal (FAO, 2016). Sin embargo, durante el año 2020 se perdió 190.000 hectáreas de selva virgen, un 18 % más que 2019, lo que supone una cifra nunca antes vista, que supera el anterior récord de 2017 (Monitoring of the Andean Amazon Project, 2021).

El Perú protege 23.4% de su territorio amazónico bajo diversas categorías de áreas protegidas. La proporción de áreas que pertenece a categorías que permiten la presencia de poblaciones humanas en ellas ha aumentado mucho alcanzando el 55.3 % del área protegida. Asumiendo que la Amazonia peruana abarca 77.5 millones de hectáreas. En efecto, en la actualidad, el 55.3% de la superficie protegida en la Amazonia peruana es de uso directo nacional (reservas nacionales, reservas comunales, zonas reservadas y bosques de protección) o regional (áreas de conservación regional). Las áreas protegidas de uso indirecto son todas nacionales (parques nacionales, santuarios nacionales y santuarios históricos) y abarcan el 44.7% del área protegida (Dourojeanni, 2014).

Loreto posee una particular riqueza de hábitats, debido a la gran diversidad de tipos de suelos de distinto origen, textura, estado de meteorización y contenido de nutrientes, diversidad que a su vez se encuentra vinculada con la dinámica del levantamiento de la cordillera de los Andes. Un claro ejemplo de esta gran variabilidad de ecosistemas es la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana (RNAM), ubicada al noroeste del Perú, enteramente en el llano amazónico cerca de la ciudad de Iquitos. Diversos procesos históricos, geológicos y climáticos, que tienen influencia en la variación ambiental, incluyendo cambios de cauce de los ríos, avulsiones, intrusiones marinas desde el Caribe y otros fenómenos geológicos derivados de la tectónica andina han creado en el área de la RNAM un auténtico mosaico de distintos tipos de suelos, desde arenas blancas de cuarzo casi puro, hasta arcillas de origen lacustre, relativamente ricas en nutrientes (Álvarez et.al,2010).

La Reserva Nacional Alpahuayo Mishana está ubicada en la provincia de Maynas, departamento de Loreto, y tiene una extensión de 57 667.43 hectáreas. Se caracteriza principalmente por proteger una muestra representativa de los raros bosques de arena blanca y los bosques inundables por las aguas negras del río Nanay. Presenta dos tipos de hábitat notables: los varillajes y los bosques inundables. El primero de ellos se desarrolla sobre arena blanca y conforma un ecosistema muy especial con una alta diversidad de suelos y diferentes condiciones de drenaje. El segundo está conformado por bosques inundados por las aguas negras del río Nanay que albergan especies de rango muy restringido (SERNANP, 2019).

La presente investigación, pertenece a la línea de investigación: Tecnologías Emergentes, así mismo a la sub línea: Nuevas Tecnologías y Usos en Comunicación. Los bosques de la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana, están sufriendo una pérdida considerable en los últimos años debido a la tala indiscriminada, prácticas ilegales de minería y extracción de arena blanca en la zona de amortiguamiento. Por ello, es idóneo realizar la investigación a partir de la siguiente pregunta: ¿Se puede conocer la pérdida de cobertura forestal en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana, mediante los índices de vegetación espectral y cadena de Markov, en el período 2002 – 2021?. Por consiguiente, los índices de vegetación espectral surgen como una alternativa viable para analizar los cambios en la cobertura forestal y determinar las cifras de pérdida en menor tiempo, menor costo y una mayor precisión. Asimismo, el uso del modelo de la Cadena de Márkov sirve para predecir en el tiempo los cambios ocurridos en el área de estudio.

Trabajos enfocados desde diferentes puntos de vista demuestran que los índices de vegetación espectral mejoran la discriminación entre el suelo y la vegetación, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes cubiertas, además son de gran utilidad para una mejor toma de decisiones para los agricultores a nivel de campo. Así también los autores Speranza y Zerda (2005), Campo (2005). Señalan que aportan más información para la discriminación promedio de las coberturas forestales, asimismo mejora las posibilidades de predicción.

Dinámica de cambio de uso de la tierra espacio-temporal en modelos híbridos como CA-Markov, demuestran ser una valiosa herramienta para una mejor predicción del cambio de uso de la tierra (Subedi y Thapa, 2013).

Los investigadores Loaiza (2020), Alarcón et al, (2018), Dourojeanni, (2014), manifiestan que las actividades que ocasionan la pérdida de cobertura boscosa son la agricultura migratoria, extracción de madera, y en mayor grado por la minería de oro, actividades que no solo destruyen los bosques, sino también ponen en peligro la permanencia de las comunidades involucradas.

La teoría que fundamenta la investigación se basa en los índices de vegetación o índices verdes, los cuales son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (Speranza y Zerda, 2002). El desarrollo de estos índices obedece a la observación de la consistencia de la respuesta a la reflectancia de la luz roja e infrarroja de la vegetación verde: a mayor cantidad de clorofila, mayor absorción de la luz incidente roja; a mayor volumen foliar, mayor reflectancia de la luz infrarroja cercana. Considerando que pueden existir otras coberturas con alta reflectancia en el infrarrojo, u otras con alta absorción en el rojo, el empleo de solo una banda puede conducir a errores (Towers, 2002).

Cabe mencionar que existen términos relacionados, tal como la cobertura forestal que se define como como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos (Martínez et.al, 2018). Asimismo, este proceso permite seguir patrones y orientación espacial de la cobertura boscosa y no boscosa soliendo indicar áreas de tala y perturbación pasadas, así como vegetación natural no boscosa, pastizales y áreas de matorrales (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre [OSINFOR], 2016).

En los estudios revisados se evidencian la necesidad de adoptar medidas que permitan analizar la cobertura forestal y diagnosticar su estado actual. En este sentido, una de las herramientas más útiles y efectivas son el uso de índices de vegetación espectral, que con la ayuda de imágenes satelitales permiten cuantificar y comparar con un alto grado de precisión y eficiencia, coberturas forestales en distintos períodos. Esta investigación sostiene como objetivo identificar el patrón de la cobertura forestal en el periodo 2002 – 2021, utilizando índices de vegetación y la Cadena de Markov en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana, así como evaluar la pérdida de cobertura forestal para los años 2002 al 2021 utilizando los índices de vegetación espectral, predecir el cambio de la cobertura forestal del área de estudio desde el año 2002 hasta 2030 y brindar alternativas de solución para frenar la pérdida de cobertura forestal en el área de estudio.

Finalmente, como nuestra investigación es de tipo descriptiva - cuantitativa, planteamos la siguiente hipótesis: Se puede identificar el patrón de la cobertura forestal en el periodo 2002 – 2021, utilizando índices de vegetación y la Cadena de Markov en la Reserva Nacional Alpahuayo.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La investigación tiene un **enfoque cuantitativo**, el cual según Ugalde y Balbastre (2013) se caracteriza por inferir los hallazgos de estudios en poblaciones más grandes, permite la generalización estadística de los resultados y transmite una visión de la realidad social. Los datos que emanan de investigaciones cuantitativas son considerados, a menudo, como tangibles, rigurosos y fidedignos, dichos adjetivos sugieren que estos datos poseen una precisión considerable, han sido recogidos a través de procedimientos sistemáticos y pueden ser fácilmente contrastados por otro investigador. Por tanto, esta investigación tiene este enfoque porque utiliza la recolección de información geográfica para evaluar la pérdida de cobertura forestal en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.

Este estudio tiene una clasificación de **tipo básico**, debido a que el objetivo de la investigación fue identificar el patrón de la cobertura forestal en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana, para ello establecer como han sido las variaciones en las coberturas vegetales en el tiempo, la influencia de los sistemas productivos sobre las áreas boscosas, las áreas que han tenido procesos de recuperación y otras que con el tiempo han ido desapareciendo mediante Sistemas de Información Geográfica-SIG (Flores et al,2017).

Según la planificación en las mediciones o recolección de datos, son de **tipo retrospectivo** ya que la investigación se realizó mediante imágenes satelitales pasadas, tomadas en el periodo 2002-2021. Por otro lado, fue longitudinal pues dicha recolección se realiza en un periodo de 19 años. En este sentido, sirven para analizar y observar de manera secuenciada la evolución de un fenómeno o de sus elementos. (Edwards, 2000; Arnau y Bono, 2008).

En cuanto al tipo de intervención, por parte de las investigadoras se consideró como **Observacional**. Debido a que, en este estudio se utilizó una serie de imágenes LandSat en el periodo 2002-2021, analizadas con los softwares ArcGIS 10v5 y iDrisi selva que proveen una visión amplia de la superficie terrestre permitiendo una mejor comprensión de la organización espacial (Cárcamo y Rejas, 2015).

Finalmente, la investigación fue de **diseño descriptivo**, puesto que según Hernández, Fernández y Baptista (2014), señalan que la investigación descriptiva tiene como objetivo especificar las distintas propiedades, las características y los perfiles de un fenómeno que pueda ser llevado a un análisis. Lo cual indica que, únicamente se buscó medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los distintos conceptos o las variables a las que se refirió, para luego ser analizadas.

La población es un conjunto de elementos que contienen ciertas características que se pretenden estudiar, los cuales tienen mucho en común. Así también una muestra es entendida como un subconjunto de la población conformado por unidades de análisis. Es la pequeña parte de toda la población que se ve afectada directamente a lo que se pretende realizar (Ventura, 2017, p. 43). En la investigación, esta población está representada por los Bosques de la región Loreto.

La muestra es un subconjunto de la población conformado por unidades de análisis. Es decir, la pequeña parte de toda la población que se ve afectada directamente a lo que se pretende realizar (Ventura, 2017, p. 43). En la investigación, la muestra está representada por la cobertura forestal de la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana.

Las técnicas según Caro (2019) “son mecanismos e instrumentos que se utilizan para reunir y medir información de forma organizada y con un objetivo específico”. En la investigación, la recolección de datos se realizó empleando la búsqueda de datos espectrales, satelitales, archivos shp y recopilación de información de entidades como Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Ministerio del Ambiente (MINAM) y Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), esto mediante la **técnica de observación de campo no experimental**.

Hernández, Fernández, y Baptista, (2014) “indican que los instrumentos de medición son el recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente”. Se utilizó como instrumentos, distintos softwares (ArcGIS 10v5 y iDrisi selva) con el fin de lograr el objetivo planteado.

La *información recopilada* se obtuvo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2021), donde se descargaron datos satelitales Landsat 7 ETM + y 8 OLI para los años 2002 y 2021 para evaluar y simular la FCC. Las imágenes satelitales descargadas fueron geo-rectificadas de acuerdo con el sistema de coordenadas 18-North UTM (Universal Transverse Mercator). Debido al error atmosférico y la variación estacional, las imágenes satelitales de Landsat se descargaron durante la estación seca; por lo tanto, garantizan que la imagen esté libre de ruido estacional, radiométrico y atmosférico.

Para la *evaluación de la pérdida de cobertura forestal* se utilizaron imágenes satelitales Landsat 7 ETM + y 8 OLI de los años 2002 y 2021. También se hizo uso del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el Índice de vegetación de diferencia normalizada verde (GNDVI). Los índices de vegetación se evaluaron de la siguiente manera: NDVI y GNDVI. El índice espectral de la vegetación se evaluó y calculó en la herramienta de matemáticas ráster utilizando el software ArcGIS 10.8. El índice de vegetación espectral se seleccionó en función de sus sensibilidades y mayor precisión para el monitoreo de la cubierta forestal (Jiang et al., 2006)

Para *clasificar la cobertura vegetal*, el compuesto de color natural (NCC) se generó utilizando combinaciones adecuadas de bandas a partir de las imágenes satelitales Landsat adquiridas (Good y Giordano, 2019). Teniendo en cuenta el "Sistema de Clasificación de tierras de Perú" y el objetivo de este estudio.

Dichas imágenes se catalogaron por el Método de Clasificación Supervisada en el entorno de IDRISI selva a través del algoritmo máxima probabilidad (Maxlike), y se emplearon para identificar las clases de cobertura forestal basadas en el algoritmo de Clasificación Supervisada de Máxima Verosimilitud (MLSC; Liu, 2005, Sun et al., 2013, Biro et al., 2013).

El mapa clasificado de la cubierta forestal del área de estudio fue sometido a precisión y validación, adaptando el documento redactado por Pontius y Millones, (2011). El coeficiente Kappa (K) (Cohen, 1960), se emplea para la precisión de la clasificación de la cubierta foresta, el cual se muestra en Ec. (1):

$$K = \frac{\sum_{i=1}^r xii - \sum_{i=1}^r (xi \times x \times i)}{N^4 - \sum_{i=1}^r (xi = 1 \times x \times i)} \quad (1)$$

El K es el coeficiente kappa, N es el número total de sitios de entrenamiento de las imágenes ráster, r es el número de filas en la matriz, xii es el número de las filas i y columna i.

Para simular el cambio de cobertura forestal del área de estudio, se utilizó el modelo de cadena de Markov para determinar el cambio de cobertura forestal para el año 2030. Los autómatas celulares se utilizaron para estimular el tiempo-espacio y subyacer a la dinámica de los cambios en el área de estudio (Balogun e Ishola, 2017). La cadena de Markov y los autómatas celulares fueron apoyados con los mapas clasificados de cobertura forestal del año 2002 y 2021. Con base en la matriz de probabilidad de transición entre las imágenes clasificadas del año 2002 y 2021, se predijo la cubierta forestal para el año 2030. El modelo CA-Markov utilizado en este estudio fue descrito según Subedi y Thapa (2013) en Ecu. (2), (3).

$$S_t^{+1} = f(S_t, N) \quad (2)$$

Aquí, S representa el conjunto de estados de las celdas finitas; t y t + 1 son los primeros años y el último año; N es la vecindad de las celdas, y f es la regla de conversión del espacio local.

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

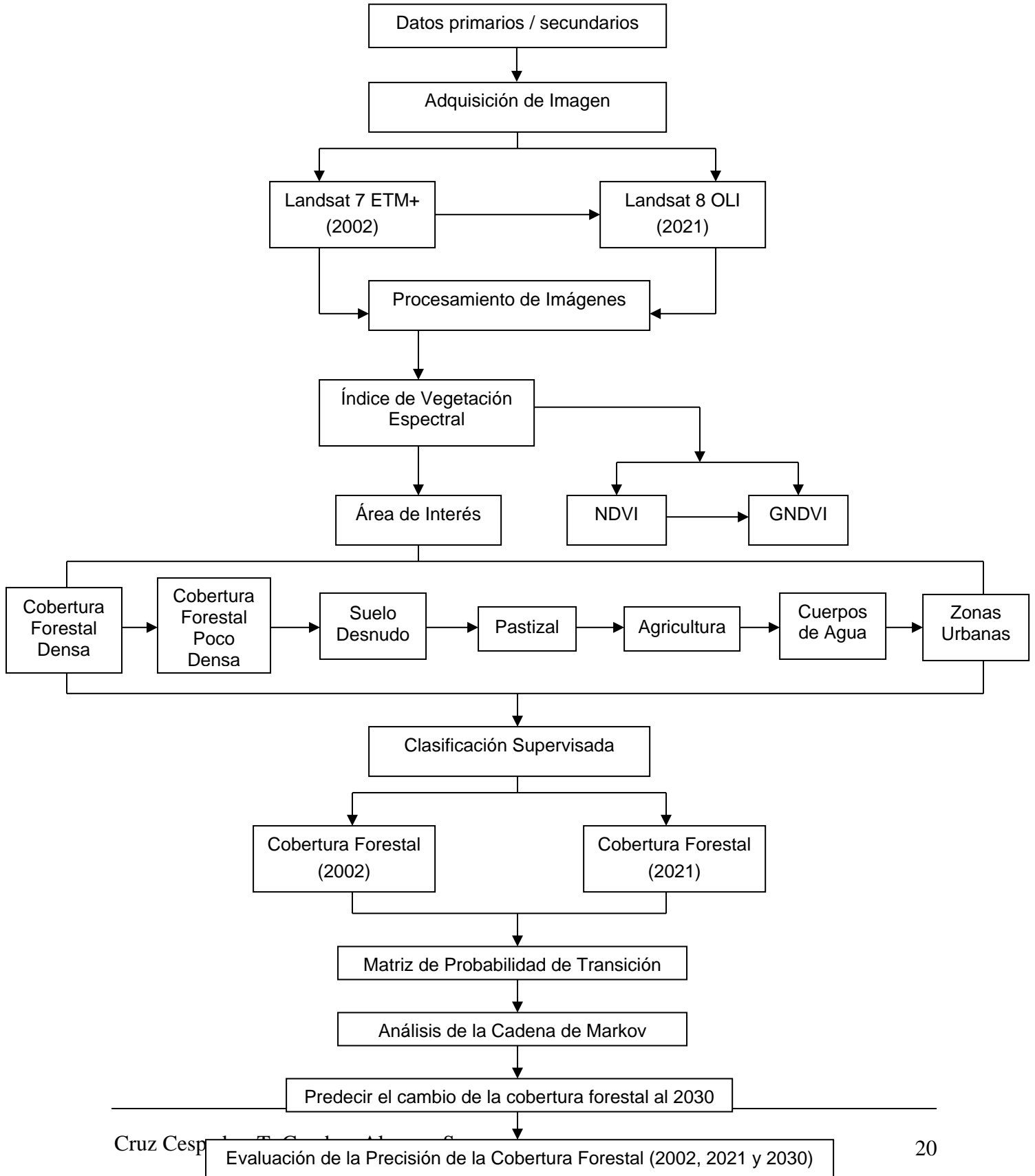
Donde P representa la matriz de probabilidad en el modelo de Markov, y Pij es la probabilidad de convertir del estado actual i al estado j en el siguiente período. S es el estado de uso de la tierra, y t; t + 1 es el punto de tiempo y esto fue descrito de acuerdo con Subedi y Thapa (2013) usando la Ecuación (4). El flujo de trabajo del presente estudio se mostró en la Fig. 1.

Se contó con la *opinión y el visto bueno* de la docente a cargo del curso, y la *confiabilidad* de los softwares de acceso libre como: ArcGIS 10.8, y iDrisi selva.

Para *analizar la información*, se recolectó la información procesada en los softwares y se elaboraron gráficos y tablas que describen los resultados finales de las variables y dimensiones. Finalmente, para la redacción del informe se utilizó el paquete office 2019.

En cuanto a las *consideraciones éticas*, se respetó los derechos de autor de cada una de las fuentes utilizadas para esta investigación. Es por ello, que toda la información recogida de otros autores ha sido debidamente citada.

Figura 1. Flujo de trabajo del área de estudio.



CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES

El presente estudio empleó los índices de vegetación espectral (NDVI y GNDVI) y el modelo de la cadena de Markov para evaluar la pérdida de cobertura forestal en la Reserva Nacional Alpuhuayo Mishana, en el periodo 2002 – 2021.

Figura 2

NDVI del año 2002 en el área de estudio

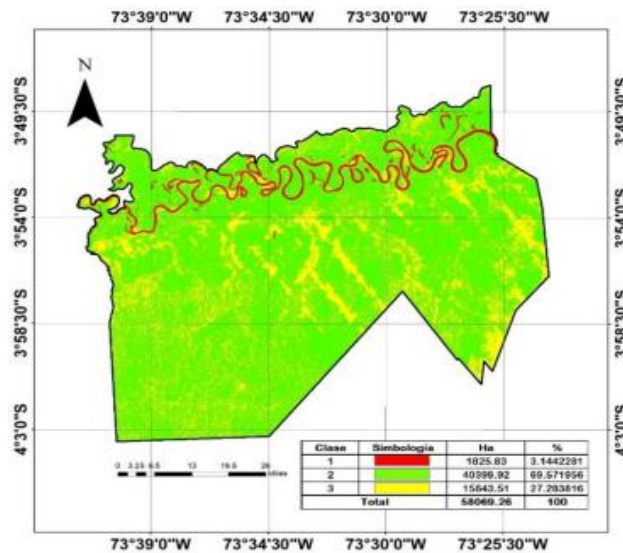
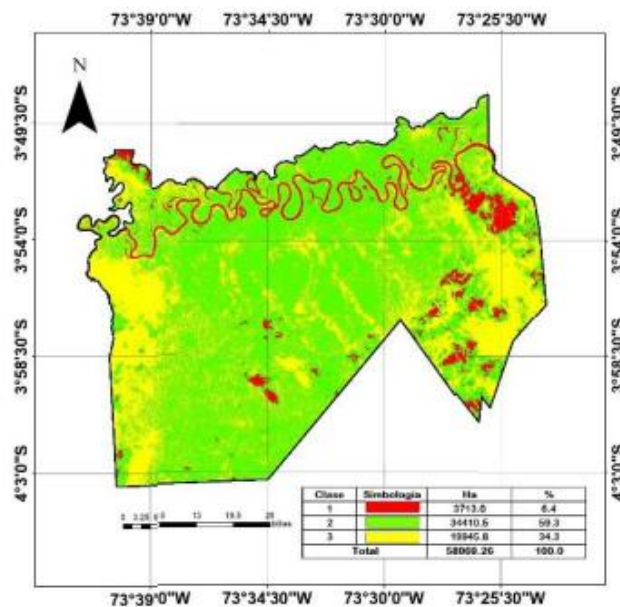


Figura 3

NDVI del año 2021 en el área de estudio



En las Fig.2 y 3, se muestra el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, se observó que la alta actividad fotosintética, asociada con la vegetación densa, tendrá menos reflectancia en la banda roja y mayor reflectancia en la del infrarrojo cercano. Obteniendo como resultado que el NDVI en el año 2002 presento densidad alta con 71% (41316.03 ha) y para el 2021 disminuyó a un 59% (34410.5 ha), en cuanto a la densidad media el año 2002 presento 26% (14932.89 ha) que a comparación del año 2021 aumentó en un 34% (19945.8 ha), con respecto a la densidad baja el año 2002 presento 3% (1820.34 ha) y en 2021 aumentó en 6% (3713.0 ha). Al respecto, [25], [26], [27] sostienen que el NDVI permite calcular la cantidad, calidad y el estado de desarrollo vegetativo y sus valores varían desde -1 (coberturas sin vegetación) a 1 (vegetación densa y sana).

Figura 4

GNDVI del año 2002 en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.

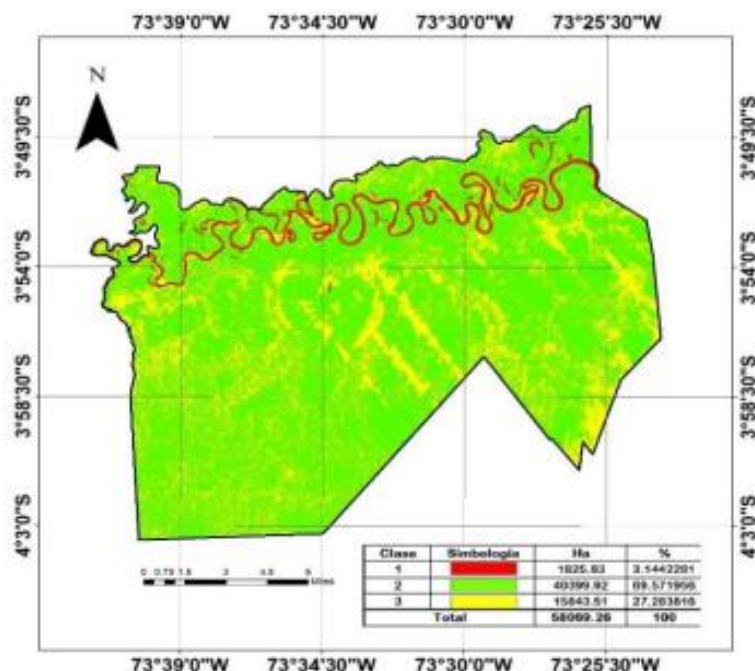
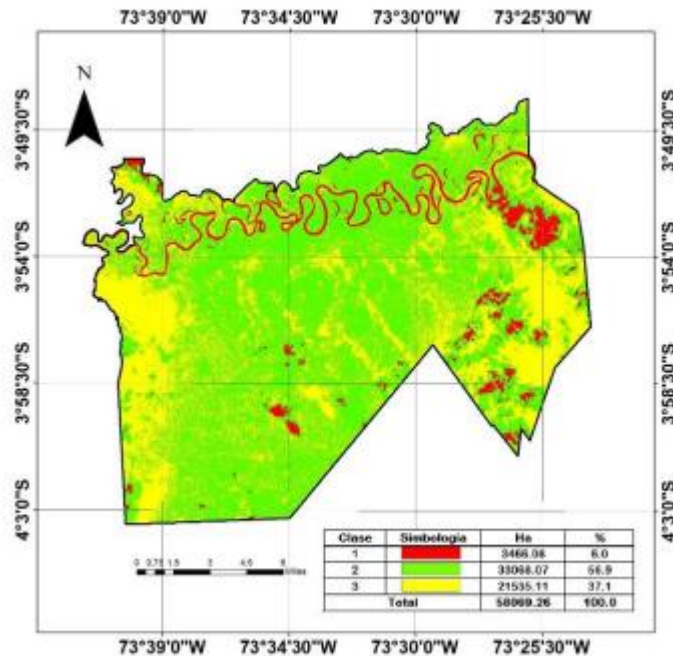


Figura 5

GNDVI del año 2021 en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.



En las Fig. 4 y 5, se muestra el Índice de vegetación de diferencia normalizada verde (GNDVI), esta reemplaza la banda Roja por la Verde, permitiendo mostrar la clorofila en sus diversas concentraciones. Estos índices han proporcionado evidencia y una fácil evaluación de la cobertura forestal pasada y presente de la investigación. Obteniendo como resultado que el GNDVI en el año 2002 presento densidad alta con 69% (1825.83 ha) y para el 2021 disminuyó a un 57% (33068.07 ha), en cuanto a la densidad media el año 2002 presento 27% (15843.51 ha) que a comparación del año 2021 aumentó en un 37% (21535.11 ha), respecto a la densidad baja se obtuvo 3% (1825.83 ha) y para el año 2021 aumentó en 6% (3466.08 ha). En tal sentido, [28], [29] sustentan que el GNDVI permite demostrar la clorofila en sus diversas concentraciones y sus valores varían entre 0,6 a 1, suelos de áreas cubiertas con vegetación saludable, sus valores negativos pertenecen a superficies cubiertas de agua y/o a suelo desnudo de vegetación.

Figura 6

Clasificación Supervisada del año 2002 en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.

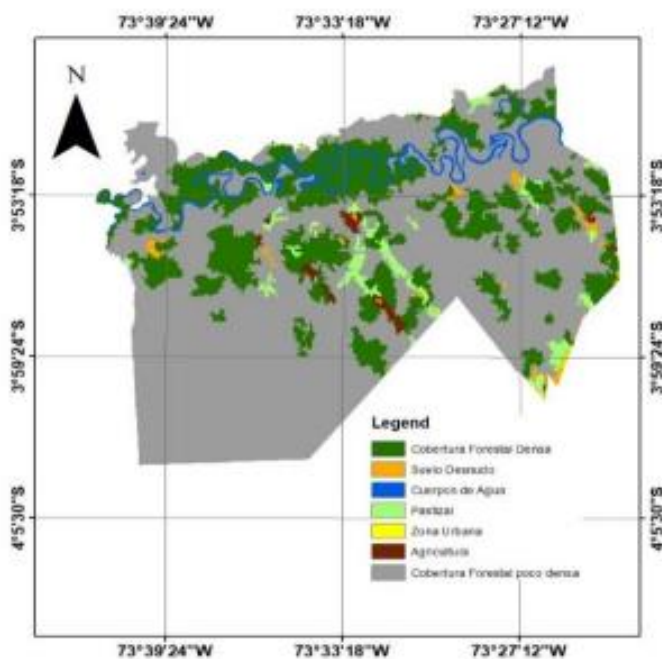
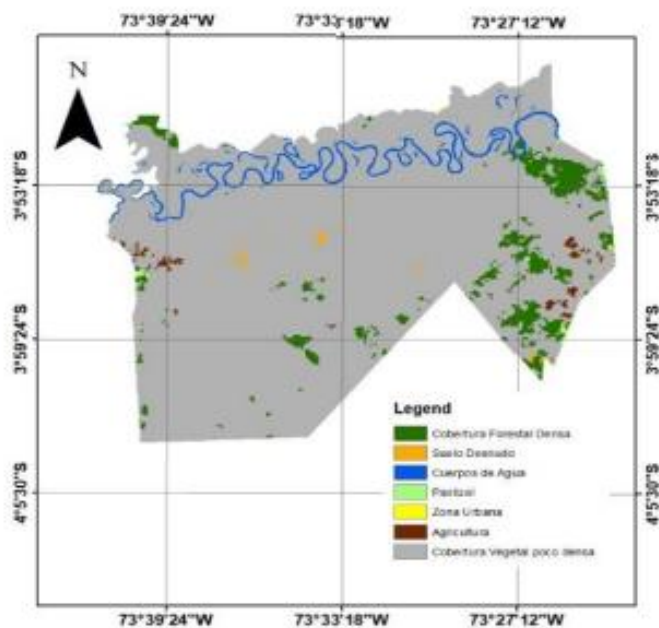


Figura 7

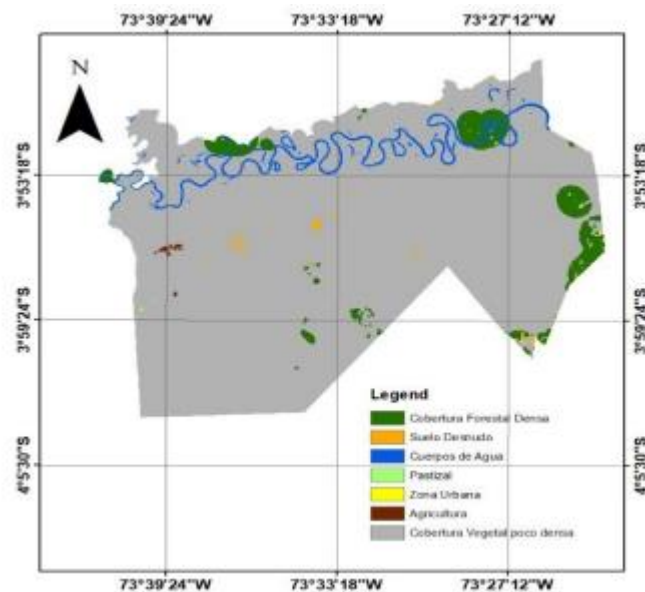
Clasificación Supervisada del año 2021 en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana.



En las Fig. 6 y 7, se realizó la clasificación supervisada de los años 2002 y 2021 respectivamente utilizando las características de evaluación periódica y el compuesto de color natural analizado (NCC) se utilizaron para realizar la clasificación, centrándose en la cobertura forestal densa, suelo desnudo, cuerpos de agua, pastizal, zonas urbanas, agricultura y cobertura forestal poco densa empleando el software Idrisi Selva. Los autores [15], [17], [30] consideran que el algoritmo de Clasificación Supervisada de Máxima Verosimilitud (MLSC) se aplica debido a su eficiencia de detalle y a que facilita la clasificación.

Figura 8

Predicción al año 2030 en el área de estudio



En la Fig. 8 se realizó la predicción del cambio de uso de suelo en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana para el año 2030 utilizando el modelo CA-Markov y se sometió a interpretación visual de imágenes, cognición de patrones y colores que muestra una gran eficiencia aislando la cobertura forestal del año 2030 del área de estudio. Por consiguiente, [31], [32] postulan que una de las formas fáciles y precisas de extraer información de datos de teledetección es mediante la cognición de patrones y colores.

Clasificación del uso de suelo y cobertura forestal de la zona de estudio

Uso de Suelo / Cobertura Forestal	2002		2021	
	ha	%	ha	%
Cobertura Forestal Densa	13578.93	23.39	3232.97	5.57
Suelo desnudo	591.18	1.02	185.38	0.32
Cuerpos de agua	1696.24	2.92	1648.53	2.84
Pastizal	1627.80	2.80	122.36	0.21
Zonas urbanas	27.85	0.05	29.15	0.05
Agricultura	535.66	0.92	340.12	0.59
Cobertura Forestal Poco densa	40005.64	68.90	52505.82	90.43
Total	58063.31	100.00	58064.33	100.00

En la Tabla I, utilizando la clasificación supervisada para el año 2002 y 2021, se observó que en el año 2002 están en el siguiente orden: 68.90% (cobertura forestal poco densa) con 40005.64 ha, 23.39% (Cobertura forestal densa) con 13578.93 ha, 2.80% (pastizal) con 1627.80 ha, 0.92% (agricultura) con 535.66 ha, 1.02% (suelo desnudo) con 591.18 ha, 2.92% (cuerpos de agua) con 1696.24 ha y 0.05% en zonas urbanas con 27.85 ha. Sin embargo, los cambios significativos observados en el mapa de clasificación de cobertura forestal del año 2021 revelaron que la cobertura forestal densa, suelo desnudo, pastizal y agricultura disminuyeron del 23.39% al 5.57%, del 1.02% al 0.32%, del 2.80% al 0.21% y agricultura del 0.92% al 0.59% respectivamente.

Tabla 2

Predicción del uso de suelo y cobertura forestal al año 2030 en la zona de estudio

Uso de Suelo/ Cobertura Forestal	2030	
	Ha	%
Cobertura Forestal Densa	2515.96	4.33
Suelo Desnudo	168.62	0.29
Cuerpos de Agua	1649.47	2.84
Pastizal	7.76	0.01
Zonas Urbanas	29.16	0.05
Agricultura	64.34	0.11
Cobertura Forestal poco Densa	53630.61	92.36
Total	58065.91	100.00

En la Tabla II, se puede observar los datos obtenidos según la predicción del cambio de uso de suelo al año 2030, lo cual muestra un incremento de cobertura forestal poco densa de 68.90% en el año Cruz Cespedes, T; Gamboa Alvarez, S.

2002, a 92.36% para el año 2030. Debido a las malas prácticas de uso de suelo que generan deforestación en lugares específicos donde existía una cobertura forestal más densa. El análisis estadístico de la cubierta forestal multitemporal revela que se han producido cambios en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana (Tabla I y II). Para el experto [33], el análisis de cobertura y uso de suelo implica la implementación de múltiples y diversos métodos estadísticos orientados a describir, evaluar, analizar, explicar y predecir, en términos cuantitativos, la dinámica de las distintas coberturas terrestres. En esta investigación, las matrices de probabilidad de transición para el año 2030 del área de estudio representan la base cuantitativa de las estimaciones futuras de cambio de cobertura forestal. En base a ello, se considera que, en las zonas de cobertura forestal, pastizales y de agricultura va a aumentar la probabilidad de recuperación, en las zonas urbanas puede que construyan casas y en las zonas de amortiguamiento de la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana se va a desarrollar actividades de reforestación, sin embargo, todo va depender de las medidas y políticas de manejo sobre la cobertura forestal que implementen las autoridades y entidades competentes.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

La presente investigación identificó el patrón de cambio de cobertura forestal en el periodo 2002 – 2021, utilizando índices de vegetación espectral y la cadena de Markov en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. La predicción de cambio de cobertura forestal muestra que este tipo de predicción puede ayudar a gestionar el cambio gradual o repentino de la cobertura forestal causado por actividades humanas como la deforestación, tala ilegal y la expansión de las prácticas agrícolas inadecuadas. El uso de los índices de vegetación espectral revela que el NDVI y GNDVI sirvió como técnicas indispensables utilizadas en la evaluación y monitoreo de la pérdida de cobertura forestal con mayor precisión y menor tiempo. La cadena de Markov fue una herramienta de vital importancia para el análisis de la cubierta forestal, donde se descubrió que el patrón de la cubierta forestal varió significativamente desde el año 2002 hasta 2030. Los resultados del cambio de cobertura forestal revelan que el suelo desnudo, cuerpos de agua, cobertura forestal densa, y cobertura forestal poco densa aumentarían en un 1%, 2%, 8% y 89% respectivamente. Esto indica que la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana experimentó deforestación y expansión de las actividades agrícolas, lo cual puede contribuir al cambio climático de dicha reserva. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de integrar enfoques participativos, desarrollar actividades de protección y recuperación de los bosques de las reservas Naturales de la Amazonía Peruana en base a la legislación y política ambiental vigente.

REFERENCIAS

- Alarcón, G., Díaz, J., & Barriga, V. (2021). *Dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia Peruana*. Repositorio Institucional Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/661>
- Álvarez, J., Díaz, J., & Shany, N. (2010). *Avifauna de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú*. Neotropical Bird Club. <http://www.neotropicalbirdclub.org/articles/34/Alvarez%20Alonso.pdf>
- Aragón, R. (2018). *Percepciones De Gestión Del Turismo Sostenible: Estudio Comparativo En Dos Comunidades Aledañas A Reservas Nacionales (Tambopata Y Titicaca), Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3504/aragon-navarrete-ruth-nataly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arnau, J. & Bono, R. (2008). *Estudios longitudinales de medidas repetidas. Modelos de diseño y análisis*. Scielo. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1989-38092008000300005
- Balogun. I., Ishola.K. (2017). *Projection of future changes in landuse/landcover using cellular automata/markov model over Akure city, Nigeria*. J. Remote Sens. Technol., 5 (1) (2017), pp. 22-31. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85083886570&origin=inward&txGid=171bbf25dde26cc8aacde1d14b585c24>
- Biro, K., Pradhan, B., Buchroithner, M. & Makeschin, F. (2013). *Uso de la tierra/Cobertura del suelo análisis de cambios y su impacto en las propiedades del suelo en la parte norte de Gadarifregion, Sudán*. Degradación de tierras. Dev. 24 (1),90-102. <https://doi.org/10.1002/ldr.v24.110.1002/ldr.1116>

- Bueno, T., Giordano, P.A. (2019). *Métodos para construir una imagen compuesta en color: Patentes de Google*. <https://patents.google.com/patent/US20190109984A1>
- Camacho, R., Camacho, J., Balderas, M., & Sanchez, M. (2017). *Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61753521004.pdf>
- Campo, A., García, R., Marinas, A., & Gartzia, M. (2005). *Relaciones entre el índice espectral de vegetación NDVI y la cobertura vegetal en pastos de puerto del Pirineo Occidental*. Consejo de Gobierno del Principado de Asturias. <https://digital.csic.es/handle/10261/10112>
- Cárcamo, A., & Rejas, J. (2015). *Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 -2011*. Central American Journals Online. <https://www.camjol.info/index.php/CE/article/view/2081>
- Caro, L. (2019). *7 técnicas e instrumentos para la recolección de datos*. <http://148.202.167.116:8080/xmlui/handle/123456789/2801>
- Chuvieco, E. (2007). *Teledetección ambiental la observación de la Tierra desde el espacio*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=630577>
- Cohen. (1960). *Ecuación Coeficiente Kappa*
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2013). *Amazonia posible y sostenible*. CEPAL. https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/amazonia_posible_y_sostenible.pdf
- Díaz, J. (2010). *AVIFAUNA Reserva Nacional Allpahuayo Mishana-Loreto-Peru*. Accelerating the world's research. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33859766/AVIFAUNA_Reserva_Nacional_Allpahuayo_Mishana-Loreto-Peru-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1631395998&Signature=ScL5Ah-TItKy2QFluFjkb1nNr4HmQPivUBWR2u-w0iVQXC4Zf83PiyFShHL-MQdeZbe2b5mib16MvVJheS-rVJ2~ghwViYHnDIQTrcsrNU50wk7fZCXdcFgCZVZEKVTTrpf9WS4-

oq4OngiouC48hpgFXPozQKLgzxTwpUjx0zQGZjEmpr~lcsB1HEFG5PeRxDPpdfNssRpG18
hT0awtG200Tij2yerflj-
i7zNcpP2XbbxRDeWoMu~3S0~u6FmyQ5NUnimRLyxE2L42oCIAxt-
hLNiCwMWcwCxq0Amp-
uRDJ2QCMIdAtcKp4Wn7FPLpTIOoXOkvzDLSpqiRlgWw__&Key-Pair-
Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Dourojeanni, M. (2013). *Loreto sostenible al 2021. Derecho, Ambiente y Recursos Naturales*. DAR.
https://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/Loreto2021_completo2.pdf

Dourojeanni, M. (2014). *Ocupación humana y áreas protegidas de la Amazonia del Perú*. Scielo.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162014000200017

Flores, G., Rincón, A., Cardona, P., & Alzate, A. (2017). *Multitemporal analysis of the vegetation cover in the area of influence of the mines located in the high part of Maltería in Manizales, Colombia*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49650911012.pdf>

Foody, G. (2002). *Status of land cover classification accuracy assessment*. Remote Sens. Environ., 80 (1) (2002), pp. 185-201.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425701002954>

Good, T., Giordano, P. (2019). *Methods for Constructing a Color Composite Image: Google Patents*.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
<https://doi.org/10.1017/CBO978110741532>

Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill, México 1997.

Hosonuma, N., Herold, M., De Sy, V., De Frie, R., Brockhaus, M., Verchot, L., Angelsen, A., & Romijn,

E. (2012). *An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries*. IOP Science. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/4/0444009>

Interfaith Rainforest Initiative. (2019). *Bosques tropicales Un recurso bajo amenaza*. IRI. https://www.interfaithrainforest.org/s/Interfaith_IssuePrimer_TropicalForests_ES.pdf

Jensen, J. (2000). *La Teledetección del medio Ambiente: Una Perspectiva de Recursos de la Tierra*. Prentice Hall: Upper Saddle River (NJ), USA.

Jiang, Z., Huete, A.R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G. & Zhang, X. (2006). *Análisis de NDVI y diferencia a escala del índice de vegetación recuperaciones de la fracción de vegetación*. RemotoSens. Medio Ambiente. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425706000290#!>

Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fisher, G., Folke, C., Homewood, K., Inbernom, J., Leemas, R., Li, X., Morán, E., Ramakrishnan, P., & Xu, J. (2021). *The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378001000073>

Liu, H. & Zhou, Q. (2005). *Análisis de precisión de la detección de cambios de teledetección por regla- evaluación de la racionalidad basada en la comparación posterior a la clasificación*. Int. J. Remoto25 (5), 1037–1050. <https://doi.org/10.1080/0143116031000150004>

Manterola, C., & Otzen, T. (2014). *Estudios Observacionales. Los Diseños Utilizados con Mayor Frecuencia en Investigación Clínica*. Scielo. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v32n2/art42.pdf>

Martínez, R., Montoya, A., & Camacho, N. (2018). *La cobertura vegetal en la cuenca del Canal de Panamá*. GEOINSTITUTOS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15634/1/UPS-CT007683.pdf>

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Bosques y Medio Ambiente & Organización de las Naciones

Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Estudio de las Causas de la Deforestación y Degradación Forestal en Guinea Ecuatorial*. FAO. <http://www.fao.org/3/CA0399ES/ca0399es.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2018). *Detienen tala ilegal al interior de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana*. Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/23337-detienen-tala-ilegal-al-interior-de-la-reserva-nacional-allpahuayo-mishana>

Monitoring of the Andean Amazon Project. (2021). *DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONÍA 2020*. Conservación Amazónica. <https://maaproject.org/2021/amazon-2020/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020*. FAO. <http://www.fao.org/documents/card/es/c/ca8642es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Bosques y Cambio Climático*. FAO. <http://www.fao.org/3/i5184s/i5184s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. FAO. <https://www.fao.org/3/CA8753ES/CA8753ES.pdf>

Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre. (2014). *Análisis de pérdida de cobertura forestal en la zona geográfica de integración fronteriza con los países de Colombia, Brasil y Bolivia, año 2014*. OSINFOR. <https://www.osinfor.gob.pe/publicaciones/analisis-de-perdida-de-cobertura-forestal-en-la-zona-geografica-de-integracion-fronteriza-con-los-paises-de-colombia-brasil-y-bolivia-ano-2014-2/>

Pontius Jr., R.G. & Millones, M. (2011). *Muerte a Kappa: nacimiento del desacuerdo de cantidad y desacuerdo de asignación para la evaluación de la exactitud*. Int. J. Teledetección 32(15), 4407–4429. Páginas 4407-4429. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.552923>

Ramírez, J., & Galán, A. (2013). *Amazonía: Posible y Sostenible*. CEPAL.

https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/amazonia_posible_y_sostenible.pdf

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2015). *Áreas Naturales Protegidas del Perú*. SERNANP. <https://www.sernanp.gob.pe/documents/10181/11956/Informe-4-Areas-Naturales-Protegidas.pdf/4f8d0a04-2e65-419e-9c07-e1578241a726>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2015). *Extracción ilegal de arena en Zona de Amortiguamiento amenaza Reserva Nacional Alpahuayo Mishana*. SERNANP. <https://old.sernanp.gob.pe/sernanp/noticia.jsp?ID=2440>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2019). *Allpahuayo Mishana*. SERNANP. <https://www.sernanp.gob.pe/allpahuayo-mishana>

Soria, H., & Soria, B. (2015). *Determinación de la capacidad de carga turística en los sitios de visita de la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana, Loreto, Perú*. Universidad Científica del Perú. <http://www.ojs.ucp.edu.pe/index.php/cienciaamazonica/article/view/87/84>

Speranza, F., & Zerda, H. (2005). *POTENCIALIDAD DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA LA DISCRIMINACIÓN DE COBERTURAS FORESTALES*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/337907941_Potencialidad_de_los_indices_de_vegetacion_para_la_discriminacion_de_coberturas_forestales

Subedi, P. & Thapa, B. (2013). *Aplicación de un autómata celular híbrido – Modelo de Markov (CA-Markov) en la predicción del cambio de uso de la tierra: un estudio de caso de la cuenca de drenaje de Saddle Creek, Florida*. Appl. Ecol. Medio Ambiente. <http://pubs.sciepub.com/aees/1/6/5/index.html>

Towers, P. 2002. *Conceptos Iniciales sobre Teledetección y su Aplicación al Agro*. Buenos Aires, 138 p.

Ugalde, N., & Balbastre, F. (2013). *Investigación cuantitativa e Investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de Investigación*. Ciencias Económica.

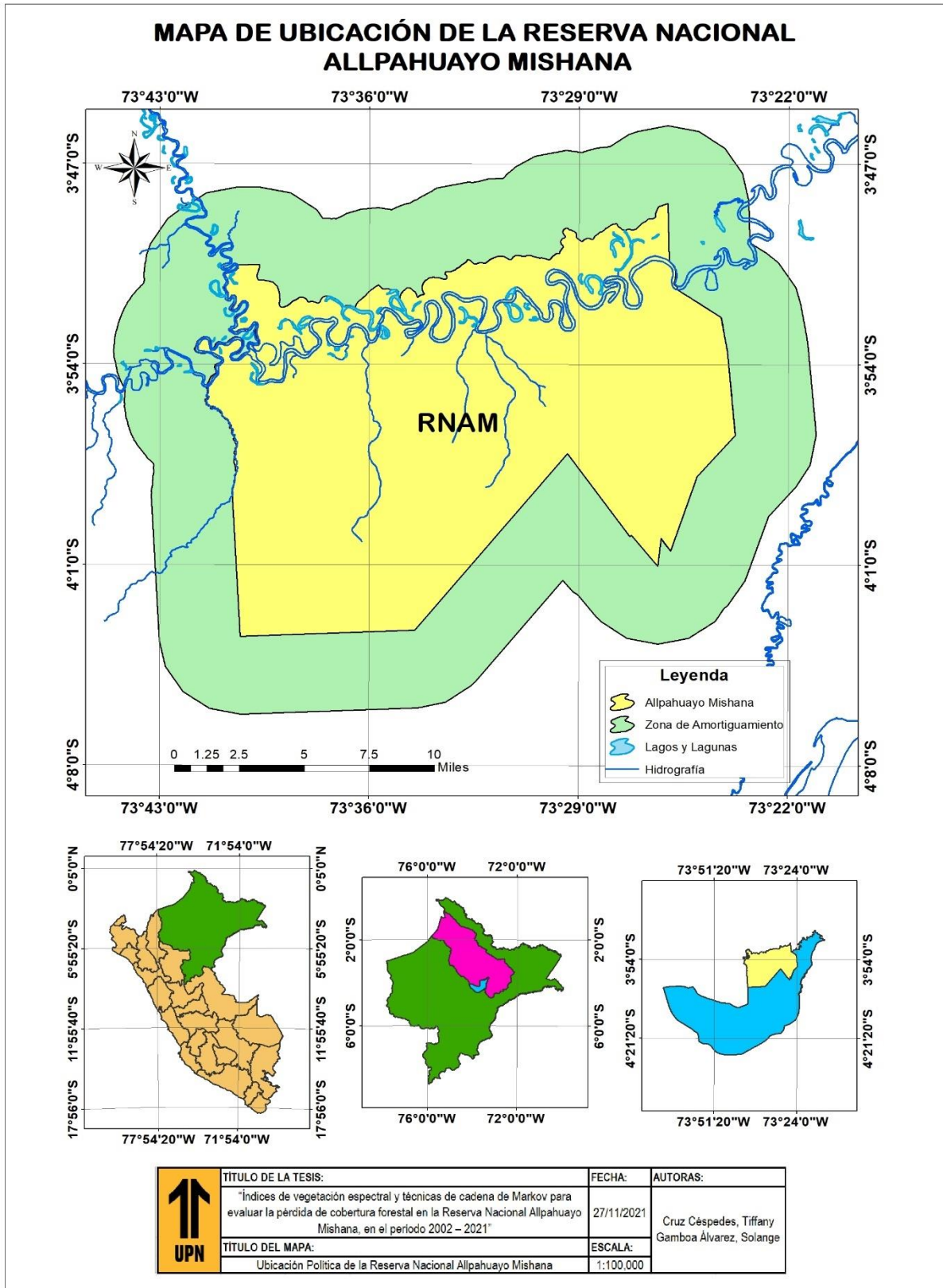
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/economicas/article/view/12730/11978>

World Resource Institute. (2017). *La pérdida de cobertura arbórea mundial ascendió al 51 porcentaje en 2016*. <https://www.wri.org/insights/la-perdida-de-cobertura-arborea-mundial-ascendio-al-51-porcentaje-en-2016>

Ventura, J. (2017). *¿Población o muestra?: Una diferencia necesaria*. Scielo. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662017000400014

ANEXOS

Anexo 1. Área de estudio.



Anexo 2. Matriz de Consistencia

TÍTULO: ÍNDICES DE VEGETACIÓN ESPECTRAL Y CADENA DE MARKOV PARA EVALUAR LA PÉRDIDA DE COBERTURA FORESTAL EN LA RESERVA NACIONAL ALLPAHUAYO MISHANA, EN EL PERÍODO 2002 – 2021

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>¿Se puede conocer la pérdida de cobertura forestal en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana, mediante los índices de vegetación espectral y técnicas de cadena de Markov, en el período 2002 – 2021?</p>	<p>HO: No se puede evaluar la pérdida de cobertura forestal en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana en el período 2002 – 2021, mediante los índices de vegetación espectral y técnicas de cadena de Markov.</p> <p>H1: Se puede evaluar la pérdida de cobertura forestal en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana en el período 2002 – 2021, mediante los índices de vegetación espectral y técnicas de cadena de Markov.</p>	<p>General:</p> <p>Identificar el patrón de la cobertura forestal en el periodo 2002 – 2021, utilizando los índices de vegetación y técnicas de la Cadena de Markov en la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana.</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la pérdida de cobertura forestal para los años 2002 al 2021 utilizando los índices de vegetación espectral. • Predecir el cambio de la cobertura forestal del área de estudio desde el año 2002 hasta 2030. • Brindar alternativas de solución para frenar la pérdida de cobertura forestal en la reserva Nacional Alpahuayo Mishana. 	<p>Variable 1:</p> <p>Cobertura Forestal</p> <p>Variable 2:</p> <p>Índices de Vegetación Espectral Cadena de Markov</p>	<p>Enfoque:</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Diseño:</p> <p>Observacional</p> <p>Tipo de Investigación:</p> <p>Básica</p> <p>Metodología:</p> <p>Sistemas de Información geográfica</p> <p>Técnica:</p> <p>Teledetección</p> <p>Instrumento:</p> <p>ArcGIS 10v5 iDrisi selva</p> <p>Método de análisis de datos:</p> <p>NDVI, GNDVI y Técnicas de la Cadena de Markov.</p>	<p>Población:</p> <p>Bosques de la Región Loreto.</p> <p>Muestra:</p> <p>Cobertura Forestal de la Reserva Nacional Alpahuayo Mishana.</p>

Fuente: Elaboración propia

Cruz Céspedes, T; Gamboa Alvarez, S.

Anexo 3. Matriz de Operacionalización de variables

TÍTULO: ÍNDICES DE VEGETACIÓN ESPECTRAL Y CADENA DE MARKOV PARA EVALUAR LA PÉRDIDA DE COBERTURA FORESTAL EN LA RESERVA NACIONAL ALLPAHUAYO MISHANA, EN EL PERÍODO 2002 – 2021

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>Variable Dependiente: Cobertura Forestal</p>	<p>Es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (SINIA, 2019).</p>	<p>El desarrollo de estos índices obedeció a la observación de la consistencia de la respuesta a la reflectancia de la luz roja e infrarroja de la vegetación verde: a mayor cantidad de clorofila, mayor absorción de la luz incidente roja; a mayor volumen foliar, mayor reflectancia de la luz infrarroja cercana. Considerando que pueden existir otras coberturas con alta reflectancia en el infrarrojo, u otras con alta absorción en el rojo, el empleo de solo una banda puede conducir a errores. (Towers, 2002)</p>	<p>Imágenes Satelitales Landsat</p>	<p>Bosques</p>	<p>Hectáreas</p>
<p>Variable Independiente: Índice de Vegetación Espectral</p>	<p>Estos índices, son utilizados para mejorar la discriminación entre el suelo y la vegetación, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes cubiertas. Los valores bajos de los índices de vegetación usualmente indican vegetación poco vigorosa, mientras que los valores altos, indican vegetación muy vigorosa (Muñoz,2013).</p>	<p>Corresponde a un número generado por alguna combinación de bandas espectrales y que puede tener alguna relación con la cantidad de la vegetación presente en un píxel dado.</p>	<p>NDVI GNDVI</p>	<p>ENVI iDrisi Selva Google Earth</p>	<p>Hectáreas</p>