

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGIA



ANÁLISIS ESPACIAL Y MODELADO PREDICTIVO EN
LA DISTRIBUCIÓN DE BOSQUES ALTOANDINOS, EN
LOS DISTRITOS DE LARES Y OLLANTAYTAMBO -
CUSCO

Tesis para optar al título profesional de Biólogo,
Presentada Por:

Bach. Julio Cesar Quispe Quispe

Bach. Roslyn Mario Cáceres Fuentes

Asesor:

M. Sc. Washington H. Galiano Sánchez

Cusco, Perú
2020

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado a mi familia ya que ella siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo para hacer de mí una mejor persona, a mis amigos, compañeros y docentes que han contribuido para el logro de mis objetivos.

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
INTRODUCCIÓN	II
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	IV
JUSTIFICACIÓN.....	V
OBJETIVOS	VI

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 BOSQUES ALTOANDINOS	2
1.2.1 Género Polylepis	2
1.2.2 Bosques Altoandinos.....	3
1.3 HERRAMIENTAS PARA EL ESTUDIO DE LA COBERTURA VEGETAL	7
1.3.1 Sistema de Información Geográfica	7
1.3.2 Teledetección	8
1.3.3 Analisis Espacial y Multitemporal	13
1.3.4 El Programa Landsat	14
1.3.5 Índices de Vegetación	19
1.3.6 Modelado Predictivo	21

CAPITULO II: ÁREA DE ESTUDIO

2.1 UBICACIÓN	24
2.1.1 UBICACIÓN POLÍTICA.....	24
2.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	24

2.2	ACCESIBILIDAD	24
2.3	ECOLOGÍA	27
2.3.1	Clima.....	27
2.3.2	Zonas de Vida	27
2.3.3.	Sistemas Ecologicos.....	29
2.4	GEOLOGÍA	33
2.4.1	Formacion Ollantaytambo	33
2.4.2	Formacion Veronica.....	35
2.4.3	Formacion San Jose.....	35
2.4.4	Formacion Sandía.....	36
2.4.5	Grupo Mitu.....	36
2.4.6	Formacion Pisac	36
2.4.7	Depositos Glaciarios	36
2.4.8	Depositos Aluviales	37
2.4.9	Depositos Fluviales	37

**CAPITULO III:
MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	MATERIALES	39
3.1.1	Materiales de Campo.....	39
3.1.2	Materiales de Gabinete.....	39
3.2	METODOLOGIA	39
3.2.1	Cuantificación De La Distribución De Los Bosques Altoandinos En Los Distritos De Lares Y Ollantaytambo.....	40
3.2.2.	Cuantificación Las Tasas De Deforestación De Los Bosques Altoandinos ..	44
3.2.3	Predicción De La Distribución De Los Bosques Altoandinos En Lares Y Ollantaytambo Para El 2040.....	57

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 DISTRIBUCION TEMPORALDE BOSQUES ALTOANDINOS EN LOS DISTRITOS DE LARES Y OLLANTAYTAMBO	62
4.1.1 Cálculo de la cobertura y pérdida de bosques altoandinos.....	62
4.2. TASAS DE DEFORESTACIÓN DE LOS BOSQUES ALTOANDINOS EN LOS DISTRITOS DE LARES Y OLLANTAYTAMBO ENTRE LOS AÑOS 1990 y 2017	67
4.2.1 Tasas de deforestación de Bosques altoandinos	67
4.3. MODELADO PREDICTIVO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE BOQUES AL AÑO 2040.....	70
DISCUCIÓN	75
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	78
Bibliografía	78
GLOSARIO.....	82
ANEXOS	85

Índice de Imágenes

Imagen 1: Esquema del flujo de energía solar al interactuar con un elemento en la superficie terrestre	11
Imagen 2: Respuesta espectral típica de la vegetación verde	13
<i>Imagen 3: Nótese en la imagen las zonas regadas aparecen coloreadas de rojo...</i>	18
<i>Imagen 4: Al igual que la imagen anterior, zonas regadas aparecen coloreadas de rojo</i>	18
Imagen 5: representación gráfica valores del NDVI en la vegetación.....	20
Imagen 6: Reflejo de la vegetación en buen y mal estado	20
Imagen 7: Página 1 de descarga de imágenes satelitales landsat	41
Imagen 8: Página 2 de descarga de imágenes satelitales landsat	41
Imagen 9: Imagen satelital Landsat año 1990	42
Imagen 10: Imagen Satelital Landsat Año 2000	42
Imagen 11: Imagen Satelital Landsat Año 2010	43
Imagen 12: Imagen Stelital Landsat Año 2017.....	43
Imagen 13: Herramienta “Extract by mask” para recortar archivos raster	44
Imagen 14: Herramienta “Raster calculator” para calcular el NDVI.....	45
Imagen 15: Respuesta espectral de la vegetación y del suelo	48
Imagen 16: captura de pantalla de la herramienta “Raster Calculator” del programa ArcGIS	50
Imagen 17: captura de pantalla de la herramienta “Reclassify” del software ArcGIS	53
Imagen 18: captura de pantalla de la herramienta “Reclassify” del software ArcGIS	53
Imagen 19: Puntos de control en Abra Málaga - Ollantaytambo.....	55
Imagen 20: Puntos de control en Kiswarani – Lares.....	56
Imagen 21: reclasificación de raster para agruparlos por sus valores	56

Índice de Tablas

Tabla 1: Características del Satélite Landsat.....	15
Tabla 2: Contingencias de Clasificación	22
Tabla 3: Imágenes satelitales obtenidas del área de Estudio.....	42
Tabla 4: bandas extraídas de las Imágenes Landsat	47
Tabla 5: Cobertura de bosques altoandinos.....	62
Tabla 6: Tasas de deforestación de 10 años	67
Tabla 7: porcentaje de deforestación, en periodos de 10 años	67

Índice de Mapas

Mapa 1: Mapa de Ubicación de la zona de estudio.....	26
Mapa 2: Mapa de zonas de Vida	29
Mapa 3: Sistemas Ecológicos.....	33
Mapa 4: Mapa Geológico de la Zona de estudio.....	38
Mapa 5: cobertura de Bosques Altoandinos – Año 1990.....	62
Mapa 6: cobertura de Bosques Altoandinos – Año 2000.....	63
Mapa 7: cobertura de Bosques Altoandinos – Año 2010.....	64
Mapa 8: cobertura de Bosques Altoandinos – Año 2017.....	65

RESUMEN

El estudio respecto al análisis espacial y modelado predictivo en la distribución de bosques altoandinos en los distritos de Lares y Ollantaytambo en la zona correspondiente a la margen derecha del río Urubamba distritos localizados en las provincias de Calca y Urubamba respectivamente ambos dentro de la región Cusco. El trabajo se realizó con la finalidad de evaluar la distribución temporal de bosques alto andinos entre los años 1990 y 2017 así como determinar las tasas de deforestación en dichos bosques y realizar un modelado predictivo para la estimación de los bosques en estudio para el año 2040. Para dicho estudio se utilizaron métodos probabilísticos, específicamente el modelo llamado Cadenas de Markov, bajo la interfaz del software SIG IDRISI, que incluye en su plataforma una herramienta basada en dicho modelo matemático. Se utilizaron imágenes satelitales tipo LandSat que sirvieron de base para digitalizar los bosques altoandinos presentes en el área de estudio, las imágenes utilizadas fueron tomadas en intervalos de 10 años a partir de 1990 hasta el año 2010, y el último intervalo hasta el año 2017. Se cuantificó la superficie total de bosques para cada uno de los años, los resultados de la cuantificación sirvieron para la posterior estimación de los valores futuros. Se determinó que entre los años 1990 y 2017 hubo una marcada disminución de la superficie de bosques altoandinos, siendo el distrito de Lares el que presenta la mayor disminución que viene a ser del 26.82% entre los años 1990 y 2017 y el distrito de Ollantaytambo con un 13.23% de pérdida de bosques.

La pérdida de bosques se produce a razón de 4.16 hectáreas por año, y según estos datos y la proyección realizada, para el año 2040 se perderá una superficie de 142.61 hectáreas, siendo el distrito de Lares el que presenta un mayor porcentaje de pérdida de bosques.

INTRODUCCIÓN

Los bosques altoandinos están formados predominantemente por especies del género *Polylepis*, que representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3500m y 4900m. restringidos a localidades especiales, como laderas rocosas o quebradas. Cumplen un rol central en la ecología altoandina, como hábitat de muchas especies de plantas y animales y como importante fuente de recursos para los habitantes locales.

En la Región Cusco estos bosques de *Polylepis* se pueden encontrar en algunas zonas determinadas, principalmente en las cordilleras de Vilcabamba, Urubamba, provincia de Paruro, Chumbivilcas y Suyckutambo en Espinar. De ahí surge la idea de realizar el estudio dedicado a esta formación vegetal, centrando el estudio en los distritos de Lares y Ollantaytambo donde podemos encontrar muchos bosques nativos de *Polylepis* de origen natural y algunos cultivados, que se encuentran dentro de la Cordillera Urubamba.

El Análisis Espacial y Modelado Predictivo que permite realizar análisis multitemporales derivados del análisis en serie de imágenes satelitales que a su vez permitan generar estimaciones sobre escenarios a corto, mediano y largo plazo. El Análisis espacial es una ciencia que gracias al avance de la tecnología, desarrolla métodos diferentes y novedosos para describir y evaluar la distribución de los organismos, factores ambientales y procesos ecológicos, uno de estas técnicas es la utilizada en ésta investigación, que utiliza 2 programas informáticos comprendidos dentro de los Sistemas de Información Geográfico (SIG), que vienen a ser el Software ArcGIS & IDRISI, los cuales permiten realizar los cálculos necesarios mediante el uso de herramientas de análisis estocástico como es el caso del CROSSTAB y MARKOV, combinadas con técnicas de teledetección, permitiendo de esta manera establecer los valores de degradación y conservación de los bosques nativos.

El Modelamiento Predictivo es una técnica SIG de gran potencial, que trata de generar escenarios futuros de acuerdo a tendencias o modelamiento estadístico a partir de datos de ocurrencia histórica, es decir de datos reales.

Con el fin de conocer el estado de los bosques se propuso realizar el trabajo de investigación intitulado ANÁLISIS ESPACIAL Y MODELADO PREDICTIVO EN LA DISTRIBUCIÓN DE BOSQUES ALTOANDINOS EN LOS DISTRITOS DE LARES Y OLLANTAYTAMBO – CUSCO, el modelo predictivo analiza como intervienen los factores en el tiempo y cómo están asociados tratando de identificar los factores que afectan el proceso para buscar una solución al problema referido a la conservación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Cordillera Urubamba, área correspondiente a la margen derecha del río Urubamba en los territorios de los Distritos de Lares y Ollantaytambo, se presentan una gran cantidad de bosques altoandinos, los cuales con el paso del tiempo vienen perdiéndose progresivamente dado que no cuentan con la protección necesaria para su conservación, tomando en cuenta una serie de factores que conllevan a dicho problema, esto origina grandes impactos ambientales, ya que estos bosques sirven de hábitat para muchas especies de fauna principalmente aves.

Teniendo como escenario la pérdida de bosques altoandinos, se plantea la aplicación de técnicas que nos permitan determinar el estado de la vegetación y pronosticar escenarios futuros que podrían tener de los bosques altoandinos, y esto a su vez permitirá poder tomar las acciones necesarias para su conservación.

Formulación del problema

- a. ¿Se podrá realizar el análisis espacial y modelado predictivo en la distribución de bosques alto andinos en los distritos de lares y Ollantaytambo, de la región Cusco?
- b. ¿Se puede cuantificar la distribución temporal de os bosques altoandinos en los distritos de lares y Ollantaytambo, entre los años de 1990 y 2017?
- c. ¿Es posible cuantificar las tasas de deforestación de los bosques altoandinos ene estudio entre los años 1990 y 2017?
- d. ¿Es posible realizar un modelado predictivo para la estimación de la distribución de los bosques en los distritos en estudio para el 2040?

JUSTIFICACIÓN

Los distritos de lares y Ollantaytambo, son los territorios que presentan la mayor cantidad de bosques altoandinos dentro de la región Cusco.

El presente trabajo de investigación se plantea con la finalidad de cuantificar la distribución temporal de los bosques entre los años 1990 y 2017, determinar la tasa de deforestación presente en el área de estudio y realizar el modelado predictivo para la estimación de la distribución y extensión de para el año 2040. Se aplicó métodos probabilísticos específicamente las Cadenas de Markov, con ayuda de los programas informáticos SIG que viene a ser los softwares ArcGIS & IDRISI, en combinación con estos obtenemos los datos para realizar el modelo matemático.

Los resultados obtenidos mediante estos métodos permitirán identificar las áreas cubiertas por bosques altoandinos dentro del área de estudio y evaluar la variación que tuvieron en el periodo de tiempo evaluado, realizando un cálculo de los escenarios futuros para las áreas de bosque a investigar, esto permitirá tomar acciones necesarias para su conservación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis espacial y modelado predictivo en la distribución de bosques altoandinos de en los distritos de Lares y Ollantaytambo de la región Cusco

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Cuantificar la Distribución temporal de los Bosques altoandinos en los distritos de Lares y Ollantaytambo, entre los años 1990 y 2017.
2. Cuantificar las tasas de deforestación de los bosques altoandinos en estudio entre los años 1990 y 2017.
3. Realizar un modelado predictivo para la distribución de los bosques altoandinos en los distritos de Lares y Ollantaytambo para el año 2040.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1 ANTECEDENTES

Acasi. (2015); realizó el Análisis multitemporal de la cobertura glaciaria en la Cordillera Urubamba, utilizando métodos de análisis espacial (Índice de nieve NDSI) y modelado predictivo (modelos de MARKOV), determinando los escenarios futuros de la cobertura de glaciares para los años 2020 y 2030, utilizando una serie de imágenes desde el año 1990 hasta el 2015, obteniendo como resultado para el año 2020, una disminución total del 69% de cobertura nival con respecto al año 1990.

Acasi. (2011); Realizo un análisis de los cambios de la vegetación en el valle del cusco, mediante la comparación de la vegetación de 1993 y 2004, con el uso de métodos de tratamiento digital de imágenes satelitales. Utilizo imágenes Landsat 5 y Landsat 7. Logro caracterizar 9 unidades de cobertura vegetal, entre bosques de eucalipto, bosques nativos, matorrales mixtos, pajonales, humedales, suelos con vegetación escasa, áreas de cultivo, suelo desnudo y área urbana, obteniendo como resultado que los pajonales altoandinos y los bosques de eucalipto son las formaciones vegetales que mas cambio tuvieron.

Gomez M. A (2011); en su trabajo Aplicación de técnicas de análisis espacial-temporal, reducción de datos y modelado prospectivo en el estudio de la distribución potencial de especies, se desarrolla la metodología para el estudio de la biodiversidad mediante la construcción de modelos de distribución potencial integrados en Sistemas de Información Geográfica, utilizando principalmente el NDVI y el software MaxENT, determinando la distribución de 5 especies de mamíferos y 12 especies de aves en los Andes Ecuatorianos..

García Fernandez M. (2015): en el trabajo Evolución temporal de la vegetación en el Sahel mediante el NDVI y su relación con la precipitación en el periodo 1983-2012, donde Los modelos ocultos de Markov (HMMs) ofrecen la posibilidad de incorporar en la estructura del modelo utilizado información a priori sobre la dinámica del tipo de vegetación que se quiere modelizar, permitiendo así el desarrollo de modelos específicos para distintos tipos de vegetación y que estén adaptados a las condiciones ambientales locales.

Tamayo (1994) en su trabajo Análisis de series de datos de teledetección de índices de vegetación, indica que la vegetación y su evolución y variaciones interanuales se analizan a partir del ndvi determinado a partir de los datos suministrados por los satélites noaa-9 y noaa-11.

1.2 BOSQUES ALTOANDINOS

Al pie de los glaciares andinos crecen los bosques más altos del Perú, a cientos de pasos de las cumbres sembradas de escarcha y de troncos de hielo. Sólo unos pocos árboles son capaces de sobrevivir en estas lejanías, a casi 5.000 metros sobre el nivel del mar, con tan poco oxígeno y arreciados por un frío que cae a bajo cero durante las madrugadas. El más famoso de estos árboles es el queñual. Su nombre científico es *Polylepis*, que en latín significa “cubierto de escamas” (MENDOZA & CANO, 2012). Ese es el secreto de su supervivencia: un abrigo de miles de láminas del grosor de las alas de una mariposa, superpuestas de tal manera que los vientos helados no logran congelar su torrente de savia. Llegan a ser tantas que el tronco, de madera durísima e inflexible, se vuelve suave y mullido al tacto (Ambiente, 2014).

Suelen ser árboles pequeños y solitarios, de troncos retorcidos, aunque unos pocos llegan a medir veinte metros. Su crecimiento es lánguido, de centímetros por año, tal vez una restricción natural a cambio de poder hacerlo donde ningún otro. Los bosques de *Polylepis* son una rareza por eso, su lentísimo crecer, y por los poquísimos que aún quedan.

1.2.1 Género *Polylepis*

Kessler, (2006) describe a los bosques de *Polylepis* así: "representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3500 m y 4400(-5000) m. restringidos a localidades especiales, como laderas rocosas o quebradas. Cumplen un rol central en la ecología altoandina, como hábitat de muchas especies de plantas y animales y como importante fuente de recursos para los habitantes locales. Estos parches de bosques están mezclados con pajonal de puna y otros taxones como *Gynoxys*, *Ribes*, *Senecio*, *Scallonia* y *Baccharis*".

Estos bosques son zonas de alto endemismo. Son ejemplos conocidos *Leptasthenura xenothorax* y otras especies amenazadas por reducción de hábitat como *Cinclodes excelsior* y *Anairetes alpinus*, y el género de aves *Oreomanes*, completamente restringido a bosques de *Polylepis*. (Simpson, 1979)

La distribución actual de los bosques de *Polylepis*, en su mayoría reducidos a pequeños rodales, fue considerada como natural, interpretando laderas rocosas y quebradas como micro hábitats favorables para el desarrollo de *Polylepis* (Simpson, 1979). Sin embargo, autores como Kessler, (2002) señalan que esta distribución es mayormente resultado de miles de años de actividades humanas, de quemas frecuentes y la extracción de leña para consumo local. (Servat, Mendoza, & Ochoa, 2002)

1.2.2 Bosques Altoandinos

La formación de bosques altoandinos tiene como género dominante al *Polylepis* constituye la asociación arbórea más importante de Altas montañas Tropicales Andinas, el género *Polylepis* es un grupo muy importante de arbustos y árboles de la Familia Rosaceae, distribuidos en la parte boreal y media de los Andes de América del Sur. (Kessler, 2006)

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3.500 m y 4.400(-5.000) m. Las aproximadamente 28 especies del género ocupan una gran variedad de hábitats, desde el límite superior de los bosques de neblina hasta los volcanes áridos del Altiplano. Sin embargo, durante milenios las actividades humanas en los Andes han destruido a más del 95% de estos bosques, restringiéndolos a hábitats especiales y modificando su composición florística y faunística.

En áreas altoandinas del valle sagrado de los Incas, los bosques Altoandinos, se encuentran en promedio desde los 3700 m de altitud hasta las zonas perinivales, en forma desfragmentada obedeciendo a la topografía caracterizada por crestas rocosa, al borde de las lagunas altoandinas entre talos y bordes rocosos, ascendiendo a pendientes superiores a 60%, presentando una densidad relativa entre los individuos arbóreos, altura y un grado de desarrollo que alcanzan en diámetro presentando interacción con la fauna, haciendo unos

ecosistemas muy peculiares y sobresalientes en los Andes y únicos en el mundo, por ello se ha nombrado a *Polylepis* como el género arbóreo de dicotiledóneas que ocurren a mayor altura de forma natural en el mundo. (ECOAN, 2002)

Los bosques de *Polylepis* del valle del Vilcanota correspondiente al Valle Sagrado, constituyen una de las más grandes concentraciones poblacionales y el mayor centro de diversidad genética de los andes con 06 especies para el territorio nacional, siendo *Polylepis besseri*, *P. racemosa*, *P. subsericans*, *P. pauta*, *P. sericea* y *P. microphylla*. (Mendoza, 2010)

Los bosques de *Polylepis* son ecosistemas que contienen fauna y flora única, son el hábitat de una diversidad de especies endémicas. La fauna asociada a estos bosques depende básicamente de la disponibilidad de alimento y de la interacción de las comunidades de flora y fauna, donde las poblaciones de artrópodos cumplen funciones imprescindibles dentro del ciclo natural del bosque.

Los bosques de *Polylepis* son vitales para la protección del suelo contra el proceso de la erosión, retienen los nutrientes y sedimentos y producen una cantidad vital de oxígeno. Estos bosques representan uno de los hábitats más vulnerables de los altos Andes debido o a una actividad antropogénica donde las comunidades campesinas cercanas lo emplean como fuente energética, para la construcción de los techos de sus viviendas, cercado, delimitación de canchas. Los bosques de queuña también son empleados para el pastoreo de animales domésticos con el consiguiente deterioro y muerte de los brinzales (plántulas) de queuña, asociados a los bosques de queuña encontramos a especies del género buddleja, escallonia y baccharis.

1.2.2.1 Distribución Ecológica

En regiones húmedas la línea superior de bosques es naturalmente dominada por varias especies de *Polylepis*: *P. pauta* (Ecuador- Bolivia-Perú), *P. sericea* (Venezuela, *P. lanuginosa* Bolivia, Perú), (Ecuador), *P. triacontandra* (Bolivia-Perú) y *P. lanata* (Bolivia), mientras que la especie parcialmente arbustiva *P. pepei* forma la línea superior de bosques a 3800- 4200 m. en el sur de Perú y Bolivia. (Kessler, 2006)

En hábitats también húmedos pero usualmente menos expuestos a las lluvias de las vertientes andinas, se encuentran los bosques de *Polylepis reticulata* (Ecuador), *P. weberbaueri* (Ecuador, Perú), *P. racemosa* (Ecuador-Bolivia-Perú) *P. incana* (Ecuador-Perú), esta especie también se extiende hacia los valles interandinos donde también se presenta, *P. subsericans* (Perú) y finalmente las especies bolivianas, *P. besseri*, *P. subtusalbida* y *P. pacensis*. (Kessler, 2006)

Las condiciones ecológicas de estos bosques se pueden caracterizar principalmente en relación a la temperatura, humedad y suelos. Debido a su localización a grandes elevaciones en los andes están sujetos a amplias fluctuaciones de temperatura, entre las heladas nocturnas y las máximas temperaturas diurnas, las cuales representan un estrés enorme para las plantas sobre todo a altitudes por encima de los 4000 m. (Hoch & Korner, 2005)

En los andes centrales se ha identificado que el clima juega un papel importante en varios de los estados del ciclo de vida de *Polylepis*:

- i. la germinación de las semillas se da en suelos húmedos y protegidos del viento.
- ii. las semillas que caen dentro del bosque, son más propensas a tener más éxito, en comparación con los que caen fuera del él.
- iii. las semillas producidas en un hábitat "bien conservado" son susceptibles de producir plántulas que tienen un mejor desempeño que los de hábitat "degradados".
- iv. las bajas temperaturas pueden resultar en un cambio de reproducción sexual a asexual.

Estas características sugieren que cualquier cambio climático tiene efecto sobre el éxito de *Polylepis* y podría resultar en un cambio rápido de la cantidad de polen en el registro fósil. Condiciones más favorables facilitarían una respuesta positiva, al permitir que los bosques, puedan prosperar y por tanto producir mejores semillas y modificar el clima local dando lugar a un mayor número de plantas en germinación y así expandir el bosque y producir más polen. Mientras que las condiciones menos favorables podrían dar lugar a una rápida disminución de producción de polen, como consecuencia de la reproducción asexual y por tanto disminución de la cantidad de polen en el registro fósil. (Cabido & Acosta, 1985)

Como resultado de las revisiones hechas por Gosling et al. (2009) concluyen que los factores climáticos son determinantes para el género *Polylepis* en los Andes. Dado que la máxima abundancia de *Polylepis* es coincidente con los tiempos de condiciones más cálidas y húmedas, mientras que las condiciones más cálidas y secas minimizan el hábitat óptimo, estas poblaciones son extremadamente sensibles a los cambios futuros del clima global, por lo que recomiendan que los planes de plantación establezcan un mosaico de comunidades reproductivamente conectados, que imiten la distribución natural del género.

1.2.2.2 Distribución en Sudamérica

El género *Polylepis* se distribuye a lo largo de la Cordillera de los Andes, desde el norte de Venezuela hasta el norte de Chile y adyacente hacia Bolivia y Argentina incluye alrededor de 27 especies. (MENDOZA & CANO, 2012)

1.2.2.3 Distribución en el Perú

El área de distribución del género *Polylepis* está caracterizado por la presencia de valles profundos y estrechos, mesetas onduladas en altitudes medias y elevadas, tanto en la Cordillera Oriental y Occidental, así como en la zona interandina que se encuentra entre estas dos Cordilleras. Ocupando quebradas que brindan mayor protección a los vientos y donde las condiciones de exposición al sol varían el sol llega muy entrada la mañana y se pone muy temprano por la tarde (Cabido & Acosta, 1985).

Tupayachi, (2005) indica que estos bosques se encuentran sobre suelos crioturbados (suelos sometidos a una secuencia de hielo y deshielo que provoca el desplazamiento de partículas modificando su distribución en las capas de suelo), en áreas con depósitos glaciares, aluviales, coluviales y material residual antiguo; sobre suelos de consistencia franco con un drenaje rápido a muy rápido en las laderas.

1.2.2.4 Conservación del Género *Polylepis*

De todas las especies encontradas en Perú, tres son endémicas *P. flavipila*, *P. multijuga* y *P. subsericans*. Solamente en las regiones de Tumbes, Ica, Loreto, Ucayali y Madre de Dios no

hay reporte de *Polylepis*. (Mendoza & Cano, 2012). Un gran porcentaje de las especies están concentradas en un rango altitudinal de 3000 a 4000m., siendo *Polylepis subsericans* registrada a mayor altitud 4900 y la especie registrada a menor altitud es *P. pauta* a 1800 m. en la Cordillera de Accanacu región Cusco (Tupayachi, 2005).

1.3 HERRAMIENTAS PARA EL ESTUDIO DE LA COBERTURA VEGETAL

1.3.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El National Center for Geographic Information and Analysis de USA los define como sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión. (Fernández, 2004). Para el tratamiento de este tipo de sistemas, se han desarrollado un tipo específico de aplicaciones informáticas conocidas como SIG (IDRISI, ArcGis, ERDAS, GRASS, ENVI, etc.), un SIG está constituido por:

1. Bases de datos espaciales en las que la realidad se codifica mediante unos modelos de datos específicos.
2. Bases de datos temáticas cuya vinculación con la base de datos cartográfica permite asignar a cada punto, línea o área del territorio unos valores temáticos.
3. Conjunto de herramientas que permiten manejar estas bases de datos de forma útil para diversos propósitos de investigación, docencia o gestión.
4. Conjunto de ordenadores y periféricos de entrada y salida que constituyen el soporte físico del SIG. Estas incluyen tanto el programa de gestión de SIG cómo otros programas de apoyo.
5. Administradores del sistema encargados de resolver los requerimientos de los usuarios utilizando las herramientas disponibles o produciendo nuevas herramientas.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son herramientas informáticas diseñadas para el manejo, gestión, análisis, representación y modelado de los fenómenos territoriales. Es decir, cualquier tema que se pueda situar en un conjunto de lugares del espacio geográfico puede, en principio, ser manejada con estos instrumentos (Fernández Coppel, 2004).

El Sistema de Información Geográfica, es un sistema computarizado que facilita la fase de entrada, análisis y presentación de datos especialmente cuando trabajamos con datos geo-referenciados. Esto quiere decir que el usuario del SIG espera apoyo del sistema para ingresar dato, para analizarlos de varias formas y generar presentaciones (mapas y otros) a partir de los datos.

Los Sistemas de Información Geográfica vienen apoyando a los tomadores de decisiones en diferentes temas uno de estos es la planificación del territorio. Se puede clasificar en 03 grandes grupos las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica con respecto a estudios territoriales:

- a. **Descripción e Inventario del Territorio:** Donde se pretende obtener respuestas rápidas de ¿Dónde están situadas las cosas?, los cuales pueden servir para la actualización de la cartografía, control y gestión de datos catastrales.
- b. **La Explicación y Predicción:** De la posición de las cosas en el territorio, tratando de entender las dinámicas territoriales y dar respuestas a preguntas de tipo ¿Por qué esta cosa está situado en este lugar?
- c. **Ordenamiento Territorial:** Donde se formulan esquemas de cómo debería organizarse el territorio, con la finalidad de alcanzar objetivos preestablecidos, tratando de contestar preguntas generales del siguiente tipo: ¿Dónde deberían estar las cosas si se quiere alcanzar una optimización de algún tipo?; como por el ejemplo del uso del suelo, ya sea urbanos, agropecuarios, de protección, etc, generando alternativas las cuales son evaluados frente a los objetivos establecidos.

1.3.2 TELEDETECCIÓN

En la actualidad, la inmensa mayoría de la nueva información que se obtiene de la superficie terrestre se hace mediante técnicas de teledetección o percepción remota. La teledetección se realiza desde sensores transportados por satélites que suelen orbitar la Tierra a unos 700-800 km de altitud. Estos satélites son también *heliosíncronos*, un tipo de órbita casi-polar

que permite que sobrevuelen cada punto de la Tierra a la misma hora, facilitando la creación de series temporales homogéneas (Ormeño Villajos, 2006).

El término teledetección es una traducción del inglés remote sensing, y se refiere no sólo a la captación de datos desde el aire o desde el espacio sino también a su posterior tratamiento. Una definición más formal la describe como la técnica de adquisición y posterior tratamiento de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, en virtud de la interacción electromagnética existente entre la Tierra y el sensor, siendo la fuente de radiación bien proveniente del sol (teledetección pasiva) o del propio sensor (teledetección activa). (Chuvieco, FUNDAMENTOS DE TELEDETECCION ESPACIAL, 1995)

La teledetección se define como la capacidad de obtener información de un objeto, sin mantener contacto físico con él. El término teledetección se restringe a aquellos métodos que emplean la energía electromagnética reflejada o irradiada por los objetos, lo que excluye las investigaciones eléctricas, magnéticas y gravimétricas, que lo que miden son campos de fuerza (Bakker & Jansen, 2001).

Esta técnica, que permite adquirir información de un objeto a distancia, se basa en la posibilidad de identificar los materiales de la superficie terrestre, al tener estos una respuesta espectral propia. Para ello, son necesarios instrumentos capaces de registrar la radiación electromagnética procedente de la Tierra y transformarla en una señal susceptible de ser manejada analógica (productos fotográficos) o digitalmente (CCTs, cintas magnéticas compatibles con ordenador). (Montesinos, 1990). Nuestros sentidos perciben un objeto sólo cuando pueden descifrar la información que éste les envía y la propia visión es, en sí, un proceso de teledetección. Los tres elementos principales en un sistema de teledetección son:

1. Sensor, el ojo.
2. La película fotográfica, objeto observado
3. Flujo energético, que permite poner a los dos anteriores en relación. Este flujo procede del objeto por reflexión de la luz solar (color de los objetos), por emisión propia o también podría tratarse de energía emitida por el propio sensor y reflejada por el objeto, en cuyo caso

la teledetección recibe el nombre de ACTIVA, por oposición a teledetección PASIVA, cuando la fuente energética es el sol (Ormeño Villajos, 2006).

La posibilidad de adquirir información a distancia se basa en lo específico de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia. Todos los objetos tienen una respuesta espectral propia y además esta combinación espectral es similar a la que presentan otros objetos o superficies de las mismas características u homogeneidad.

Las escenas o imágenes son captadas con sensores en diferentes zonas del espectro electromagnético (bandas) que suelen cubrir el espectro visible y el infrarrojo próximo, medio y térmico. Los sensores actuales se caracterizan por una serie de conceptos básicos que definimos a continuación:

Resolución espacial:

Las imágenes están formadas por píxeles; la resolución espacial se refiere a la superficie del terreno que queda recogida en un píxel de la imagen, estando en función del campo de visión instantánea (IFOV) definido como la sección angular, medida en radianes, observada en un determinado instante (Sobrino et al., 2000). Esta resolución depende fundamentalmente de la altura y la velocidad a la que orbita el satélite y del número de detectores. Los satélites dedicados a observación terrestre portan sensores con una resolución espacial muy variable que va, desde los 60 cm del satélite Quickbird ó 1 m en las imágenes Ikonos, hasta los 5 km de algunos satélites meteorológicos geoestacionarios. Los valores más frecuentes están comprendidos entre los 15 y los 250 m (ASTER, ETM, MODIS...) (Chuvieco, Teledetección Ambiental - La observación de la Tierra desde el Espacio., 2002).

Resolución espectral: es la capacidad que tiene el sensor para separar diferentes longitudes de onda dependiendo del dispositivo de filtrado que separa la radiación recibida en bandas espectrales más o menos angostas. La resolución espectral indica el número y anchura de bandas espectrales en las que un sensor registra la radiación; por ejemplo, ASTER cuenta con 14 bandas espectrales. Algunos sensores aerotransportados entran en la categoría de hiperespectrales ya que capturan cientos de bandas simultáneamente.

Resolución temporal: es la periodicidad con la que el sensor adquiere información de una misma zona. Varía en función de las características orbitales, del ángulo de observación y de la cobertura del sensor. Los satélites geoestacionarios meteorológicos proporcionan datos cada 30 minutos, aunque con una resolución espacial pobre. Los satélites más comunes (Landsat, Terra, SPOT) repiten imágenes cada dos semanas aproximadamente.

Resolución radiométrica: puede definirse como la capacidad del satélite para discriminar niveles de radiancia que luego se reflejan en el número máximo de niveles digitales de la imagen. La más habitual es de 256 niveles (28), pero existen algunos satélites como el caso de NOAA que maneja 1024 niveles (210).

Las escenas tomadas directamente deben ser procesadas posteriormente para corregir sesgos radiométricos y deformaciones geométricas derivadas del movimiento del satélite y de los tiempos de barrido del sensor, cuestiones que suelen ser resueltas por la propia agencia espacial. Los datos procesados pueden ya ser utilizados por el usuario final para muy diversos fines. Entre ellos está la identificación de la cobertura del suelo y la estimación del vigor de la vegetación, aspecto que interesa especialmente en este trabajo. (Chuvienco, 2002)

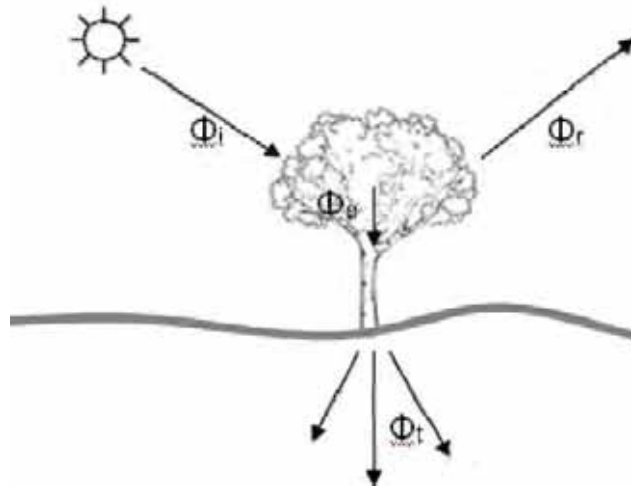
1.3.2.1 FIRMAS ESPECTRALES DE LAS IMÁGENES LANDSAT

Cuando un flujo de energía (en nuestro caso la luz solar) incide sobre un objeto (Φ_i), parte se refleja en su superficie (Φ_r) parte se absorbe por el objeto (Φ_a) y parte se transforma en otros tipos de energía (Φ_t).

Por el principio de conservación de la energía siempre se cumple que el flujo de energía que incide sobre el objeto es igual a la suma de los otros tipos de energía (Ormeño Villajos, 2006).

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t$$

Imagen 1: Esquema del flujo de energía solar al interactuar con un elemento en la superficie terrestre



Cada superficie, debido a sus características físicas y químicas, tiene una signatura o firma espectral característica en función de la radiación que refleja al recibir una longitud de onda. Esta firma espectral se cuantifica mediante la reflectancia espectral, pudiéndose definir como la razón entre la energía reflejada y la energía incidente en función de la longitud de onda. La respuesta se ve afectada por diferentes aspectos como la interacción de la atmósfera, variables ambientales, el relieve, el ángulo de incidencia de la energía con respecto al elemento y el ángulo de observación de la energía incidente, por lo que no se puede hablar una firma espectral fija para cada elemento, sino que variará dentro de unos márgenes en función de factores influyentes durante la adquisición propia de la imagen, sin embargo sí podemos hablar de patrones generales que permitan realizar una discriminación entre los diferentes tipos de cubierta (UEGPS, 2018).

Como se aprecia en la Figura 6 la firma espectral de la vegetación corresponde a una reflexión importante en la zona del infrarrojo cercano y una baja reflexión en la zona visible del espectro, más acusada en la banda del verde. Otras cubiertas podrán ser o no diferenciadas de la vegetación en función de que exista una respuesta significativamente distinta entre ellas en una o más zonas del espectro.

Mediante la combinación matemática de bandas podemos obtener resultados más representativos del elemento que queremos estudiar, minimizando otros factores externos como son los efectos meteorológicos o las propiedades del suelo. La banda espectral azul se utiliza principalmente para correcciones atmosféricas; las bandas rojo e infrarrojo próximo son sensibles a la actividad fotosintética y celular de la vegetación y la banda del infrarrojo

medio de onda corta es sensible a la humedad del suelo y de la vegetación (Ormeño Villajos, 2006).

La firma espectral de las plantas verdes es muy característica debido en gran medida a la presencia de clorofila en las hojas y a su característico patrón de absorción. A partir de esta característica se puede hacer una síntesis para el estudio de la vegetación construyendo los denominados índices de vegetación.

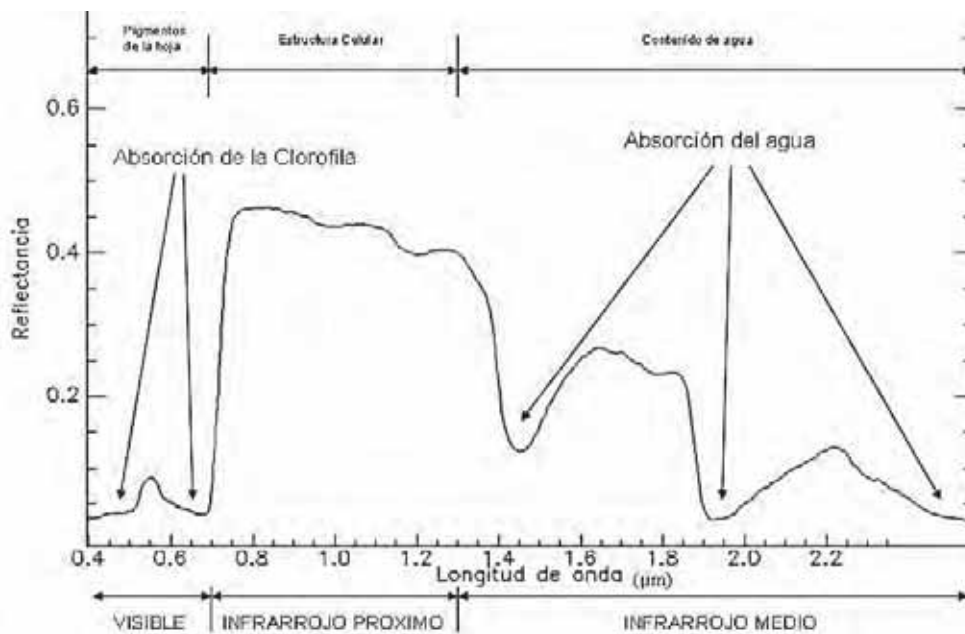


Imagen 2: Respuesta espectral típica de la vegetación verde

1.3.3 ANALISIS ESPACIAL Y MULTITEMPORAL

Es el estudio de una zona determinada a partir de imágenes de satélite, mediante tomas echas en tiempos diferentes, pudiendo variar al tiempo entre una toma y otra, días, meses o años, se realiza con el fin de analizar una o muchas variables a través del tiempo (Chuvieco, 1995) El análisis espacial de datos con SIG tiene por finalidad para descubrir estructuras espaciales, asociaciones y relaciones entre los datos, así como para modelar fenómenos geográficos. Los resultados reflejan la naturaleza y calidad de los datos, así como la pertinencia de los métodos y funciones aplicadas.

Las tareas y transformaciones que se llevan a cabo en el análisis espacial precisan datos estructurados, programas con las funciones apropiadas y conocimientos sobre la naturaleza del problema, para definir los métodos de análisis. El proceso convierte los datos en información útil para conocer un problema determinado. Es evidente que los resultados del análisis espacial añaden valor económico y, sobre todo, información y conocimiento a los datos geográficos (Bakker & Jansen, 2001).

1.3.3.1 Cobertura de la Tierra

La cobertura biofísica tal cual se observa directamente o a través de sensores remotos y que incluye la vegetación natural o cultivada, construcciones hechas por el hombre y otros como agua, hielo, afloramientos rocosos, depósitos de arena, evaporitas, etc.

1.3.4 EL PROGRAMA LANDSAT

El programa Landsat es el programa civil de observación de la Tierra más antiguo. Comenzó el año 1972 con el Satélite Landsat-1. Hasta ahora al último Landsat (el 8) se ha incorporado un nuevo sensor, el ETM+, que mejora las características del TM, añadiéndole una banda pancromática de 15 m de resolución, y aumentando la resolución de la banda térmica a 60 metros (Fernández Coppel, 2004).

Con el lanzamiento del satélite LANDSAT-1 el 7-03-1972 se abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces.

Este satélite, dotado de sensores empleados en teledetección, fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. En base a este objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin.

La serie de satélites Landsat 1,2,3,4,5,6,7,8 desde el año 1972 dan una de las mejores series históricas de la evolución del planeta. Este sensor es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestales, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización medioambiental. Sobre todo está ligado a estudios territoriales en los que el parámetro fundamental es el medio ambiente (UEGPS, 2018).

Los datos de productos Landsat 8 son totalmente compatibles con todos los datos de los productos estándar a nivel 1 (ortorectificado) creados usando Landsat 1 al Landsat 7; a continuación, se describen algunas de sus especificaciones generales:

Tabla 01: Características del Satélite Landsat

MODO ESPECTRAL	ESPACIAL (metros)	ESPECTRAL (micras)		TEMPORAL
Pancromática	15	Banda 8, pancromática	0.52 - 0.90	16 días
Multiespectral	30	Banda 1, Azul	0.45 - 0.52	
		Banda 2, Verde	0.53 - 0.61	
		Banda 3, Roja	0.63 - 0.69	
		Banda 4, Infrarrojo cercano 1	0.78 - 0.90	
		Banda 5, Infrarrojo cercano 2	1.55 - 1.75	
		Banda 7, Infrarrojo medio	2.09 - 2.35	

Landsat 7 fue diseñado para una vida útil de 5 años y tiene la capacidad de recolectar, así como transmitir hasta 532 imágenes por día. Se encuentra en una órbita Heliosincrónica, que significa que pasa siempre a la misma hora por un determinado lugar. Tiene visión de toda la superficie terrestre en un lapso de tiempo de 15 días, y realiza 232 órbitas. A diferencia de sus antecesores, Landsat 7 posee una capacidad de almacenamiento de 378 gigabytes, equivalente alrededor a 100 imágenes. El instrumento esencial a bordo del satélite es el Enhanced Thematic Mapper Plus(ETM+).

La resolución temporal mide el tiempo que pasa desde la obtención de la imagen de un punto de la tierra, hasta la siguiente imagen. Para el satélite Landsat-8, el tiempo entre imágenes: 16 días (Fernández Coppel, 2004)

Comparado con el resto de los satélites de la serie Landsat:

Landsat 1 – 3: 18 días

Landsat 4 – 6: 16 días

Landsat 7 – 8: 16 días

Para poder conocer el número de imágenes que podría servirnos en un estudio deberemos contactar con la agencia espacial, o empresa distribuidora de las imágenes, que nos proporcionará un listado con las características de la atmósfera existente en el momento de la toma de las imágenes así como el llamado “Quicklock” de la imagen, (“Quicklock”, vista previa de la imagen del sensor). (Fernández Coppel, 2004)

1.3.4.1 Análisis Visual de Imágenes. RGB.

El análisis visual de imágenes se realiza empleando tres bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores, empleados en informática, monitores RGB.

Los monitores poseen un total de tres cañones, RGB, red, green, blue – Rojo/Verde/Azul, con los que, por combinación de estos tres colores básicos, se construyen el resto de los colores. Empleando estos tres Cañones tenemos la posibilidad de enviar en cada uno de ellos una de las bandas del sensor, combinándose en nuestra pantalla y dando distintos colores y tonos. Estos colores y tonos se emplean para analizar visualmente la imagen, combinando las bandas, de manera que se da un primer acercamiento al contenido de la imagen. (Chuvieco, 1995).

Las combinaciones de colores se emplean para discriminar Geología de la imagen, Usos del suelo de la imagen, Morfología Urbana, etc. Para discriminar ciertas cubiertas hay que ir a otros análisis analizando imágenes consecutivas, o de otros años, análisis multitemporal y de contexto, en función del conocimiento previo que se tiene de la zona cubierta por la imagen:

- La textura permite aislar las áreas residenciales mucho más heterogéneas que el resto. El contexto permite separar los parques urbanos. La dimensión estacional permite discriminar los cultivos regados frente a los caducifolios, ya activos en la imagen de mayo.
- Para discriminar morfología urbana, a partir del tono distinguimos la densidad de edificación, ya que aquellas zonas con menor trazado viario ofrecen un tinte más oscuro. Con el tono vemos si la zona cuenta con espacios.

- La textura, en zonas urbanas, aporta el grado de mezclanza dentro de un mismo sector (centro histórico, ensanche, barrios de expansión no planificada). (Bakker & Jansen, 2001)

1.3.4.2 Combinaciones con las bandas de sensor

Combinación en Color Natural: RGB bandas 3, 2, 1 en imágenes Landsat

Constituye la combinación más próxima a la percepción de la tierra con nuestros ojos desde el espacio, de ahí el nombre de color verdadero. Las bandas visibles dan respuesta a la luz que ha penetrado más profundamente, y por tanto sirven para discriminar el agua poco profunda y sirven para distinguir aguas turbias, corrientes, batimetría y zonas con sedimentos (Díaz García-Cervigón,, 2015).

Rojo – magenta:

Vegetación vigorosa, cultivos regados, prados de montaña o bosques de caducifolias en imágenes de verano y cultivos herbáceos de secano en imágenes de primavera.

Rosa:

Áreas vegetales menos densas y / o vegetación en temprano estado de crecimiento. Las áreas residenciales suburbanas en torno a las grandes ciudades, con sus pequeños jardines y árboles diseminados, aparecen a veces en este color. Praderas.

Blanco:

Áreas de escasa o nula vegetación pero de máxima reflectividad: nubes, arenas, depósitos salinos, canteras y suelos desnudos.

Azul oscuro a negro:

Superficies cubiertas total o parcialmente por el agua: ríos, canales, lagos y embalses. En zonas volcánicas los tonos negros pueden asimismo identificar flujos de lava.

Gris a azul metálico:

Ciudades o áreas pobladas, si bien puede asimismo tratarse de roquedal desnudo.

Marrón:

Vegetación arbustiva muy variable en función de la densidad y del tono del sustrato. Los tonos más oscuros indican presencia de materiales paleozoicos (pizarras), mientras los materiales calcícolas, menos densos normalmente, ofrecen una coloración más clara (Acasi Zereceda, 2015).

Beige – dorado:

Identifica zonas de transición: prados secos frecuentemente asociados con el matorral ralo.

Combinación en falso color: RGB Bandas 4, 5, 3 en imágenes Landsat

Realza con gran detalle los límites entre el agua y la tierra. Los diferentes tipos de vegetación se muestran en colores marrones, verdes y naranjas. Realza las diferencias de humedad en el suelo y es usada para el análisis de humedad en el suelo y vegetación. Generalmente el suelo húmedo aparece más oscuro (Fernández Coppel, 2004).

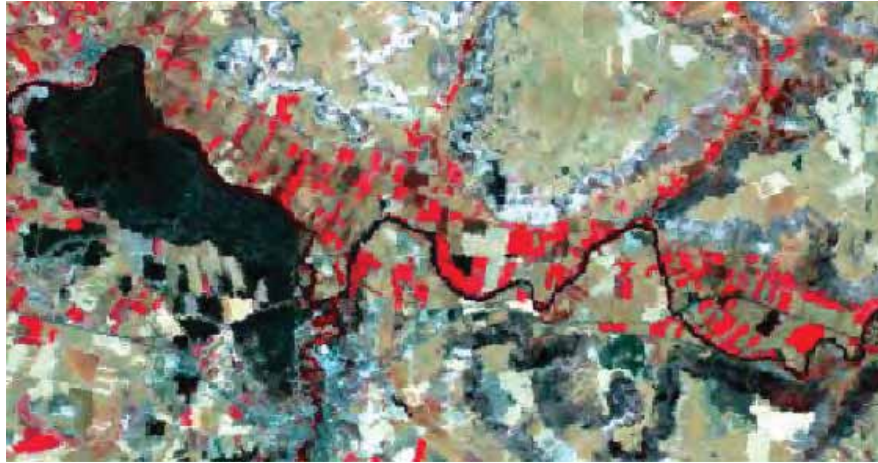
De la misma manera se pueden hacer más clasificaciones entre los 7 colores que representan cada uno de ellos una banda.

Imagen 3: Nótese en la imagen las zonas regadas aparecen coloreadas de rojo



Fuente: (Díaz García-Cervigón,, 2015)

Imagen 4: Al igual que la imagen anterior, zonas regadas aparecen coloreadas de rojo



Fuente: (Díaz García-Cervigón,, 2015)

1.3.5 ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Los índices de vegetación se calculan mediante la combinación de las diferentes bandas espectrales con la finalidad de resaltar la vegetación en función de la respuesta espectral de una determinada superficie atenuando otros factores externos como las propiedades ópticas del suelo o las perturbaciones atmosféricas (Alatorre, Beguería, & Vicente-Serrano, 2010). A partir de estos índices se puede obtener un valor de cantidad de clorofila activa en las hojas. Su objetivo no es discriminar entre diferentes tipos de vegetación sino entre fenologías. Dado el carácter estacional de muchas formaciones vegetales, los índices de vegetación pueden ser usados en forma de series temporales ya que los contrastes entre diferentes formaciones no serán habitualmente los mismos a lo largo de todo el año. La información temporal promete, por tanto, ser muy útil para discriminar la dinámica estacional de la vegetación y aportar información completamente nueva respecto a la habitual (Fuller, 1998).

Existen gran variedad de índices de vegetación; si realizamos una clasificación en función de las operaciones matemáticas que realizamos para su obtención tenemos:

- Índices de vegetación basados en cocientes (RVI, NDVI), como su nombre indica se realiza una división entre las diferentes bandas espectrales para poder resaltar la vegetación.
- Índices de vegetación basados en transformaciones (PVI, SAVI, MSAVI, TSAVI, GEMI), se basan en giros realizados en el espacio bidimensional formado por las bandas del rojo y

del infrarrojo próximo, intentando obtener dos ejes: uno estará lo más próximo posible a la línea del suelo y el otro formará un ángulo lo más normal posible con respecto al primer eje calculado (Pinilla, 1995).

1.3.5.1 NDVI, Normalized Difference Vegetation Index

Aunque el concepto de un índice normalizado fue propuesto originalmente en el año 1969 el NDVI fue descrito recién el año 1973. La relación entre las bandas se realiza mediante la fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

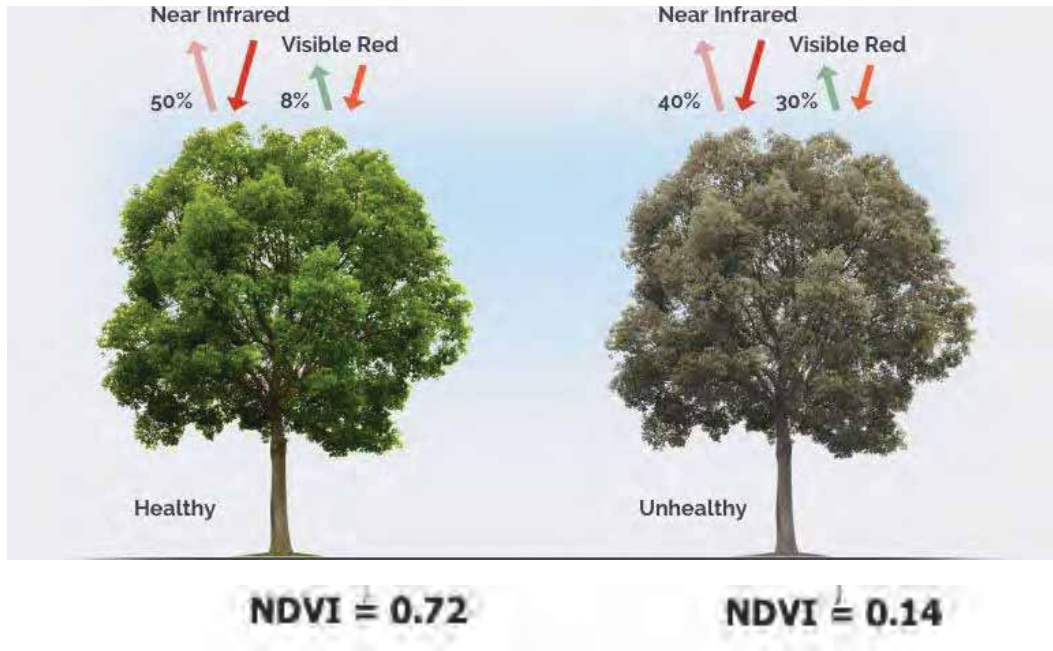
Los valores de este índice están comprendidos entre -1 y 1 siendo mayores cuanto más clorofila activa haya en la superficie reflectante. El uso del cociente entre bandas reduce el efecto de pequeñas distorsiones en la calibración del sensor y la influencia de la atmósfera. Como cualquier otro índice de vegetación, nos da información sobre el vigor/abundancia de la vegetación, pero no nos permite diferenciarla (Lasanta & Vicente-Serrano, 2006).

Imagen 5: representación gráfica valores del NDVI en la vegetación



Fuente: <https://sentera.com/understanding-ndvi-plant-health/>

Imagen 6: Reflejo de la vegetación en buen y mal estado



Fuente: <https://sentera.com/understanding-ndvi-plant-health/>

1.3.6 MODELADO PREDICTIVO

Bajo el nombre genérico de modelado predictivo (MP) se agrupa un conjunto de métodos que analizan la posible presencia o ausencia de una formación vegetal basándose en lo actualmente conocido y lo extrapolan al resto del territorio (Díaz García-Cervigón,, 2015). El procedimiento es, en principio, simple y puede explicarse en los siguientes pasos:

1. Localizar geográficamente los registros de presencia de la formación vegetal y, si es posible, establecer igualmente lugares de ausencia.
2. Integrar los datos en un sistema de información geográfica (SIG) a partir de sus límites y coordenadas de forma que permita el análisis espacial de la información.
3. Establecer una relación estadística entre los valores de presencia y ausencia. Este proceso es esencialmente un procedimiento de clasificación: se trata de generar un algoritmo que separe lo mejor posible los positivos (presencias) y negativos (ausencias) en el espacio multidimensional de las variables.
4. Valorar la bondad de la clasificación, es decir, hasta qué punto el clasificador ha podido discriminar correctamente entre los datos de presencia y ausencia que se le han suministrado. Se puede realizar una estimación inicial de la bondad de la clasificación

mediante el recuento de puntos en cada área y su representación en una tabla de contingencia:

Tabla 2: Contingencias de Clasificación

Clasificación			
Datos	Zona de presencias	Zona de ausencias	Totales
Presencias	a	b	$a+b$
Ausencias	c	d	$c+d$
Totales	$a+c$	$b+d$	$a+b+c+d$

Donde a representa los casos positivos correctamente clasificados, d los casos negativos correctamente clasificados, b los errores de omisión (falsos positivos) y c los errores de comisión (falsos negativos).

1.3.6.1 Cadenas de Markov

Es el modelo que mejor se adapta a los objetivos del presente trabajo.

Una cadena de Markov es una sucesión de ensayos similares u observaciones en la cual cada ensayo tiene el mismo número finito de resultados posibles y en donde la probabilidad de cada resultado para un ensayo dado depende sólo del resultado del ensayo inmediatamente precedente y no de cualquier resultado previo (Bergasa, 2009).

Las cadenas de Markov son una herramienta para analizar el comportamiento y el gobierno de determinados tipos de procesos estocásticos, esto es, procesos que evolucionan de forma no determinista a lo largo del tiempo en torno a un conjunto de estados.

Una cadena de Markov, por tanto, representa un sistema que varía su estado a lo largo del tiempo, siendo cada cambio una transición del sistema. Dichos cambios no están predeterminados, aunque sí lo está la probabilidad del próximo estado en función de los estados anteriores, probabilidad que es constante a lo largo del tiempo (sistema homogéneo en el tiempo). Eventualmente, en una transición, el nuevo estado puede ser el mismo que el anterior y es posible que exista la posibilidad de influir en las probabilidades de transición actuando adecuadamente sobre el sistema (decisión) (García Mateo, 2008).

El caso más simple de un proceso estocástico en que los resultados dependen de otros, ocurre cuando el resultado en cada etapa sólo depende del resultado de la etapa anterior y no de cualquiera de los resultados previos. Tal proceso se denomina proceso de Markov o cadena de Markov (una cadena de eventos, cada evento ligado al precedente). Estas cadenas reciben su nombre del matemático ruso Andrei Andreevitch Markov (1856-1922).

Como se mencionó antes, estas cadenas tienen memoria, recuerdan el último evento y eso condiciona las posibilidades de los eventos futuros. Esto justamente las distingue de una serie de eventos independientes como el hecho de tirar una moneda. Este tipo de proceso presenta una forma de dependencia simple, pero muy útil en muchos modelos, entre las variables aleatorias que forman un proceso estocástico. Por ejemplo, la sucesión podría ser las condiciones del tiempo en Cusco en una serie de días consecutivos: el tiempo cambia día a día de una manera que en apariencia es algo aleatoria (Bergasa, 2009).

CAPITULO II: AREA DE ESTUDIO

Los Distritos de Lares y Ollantaytambo se ubican en las provincias de Calca y Urubamba respectivamente, la zona a evaluar se encuentra sobre La Cordillera Urubamba que viene a ser una alineación montañosa localizada en la Región de Cusco. Forma parte de la cordillera Oriental de los Andes y se sitúa en el margen derecho del río Urubamba. La zona de estudio se extiende en dirección oeste-este a lo largo de unos 25 km.

2.1 UBICACIÓN

2.1.1 UBICACIÓN POLÍTICA

Region: Cusco

Provincia: Calca-Urubamba

Distrito: Lares-Ollantaytambo

2.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

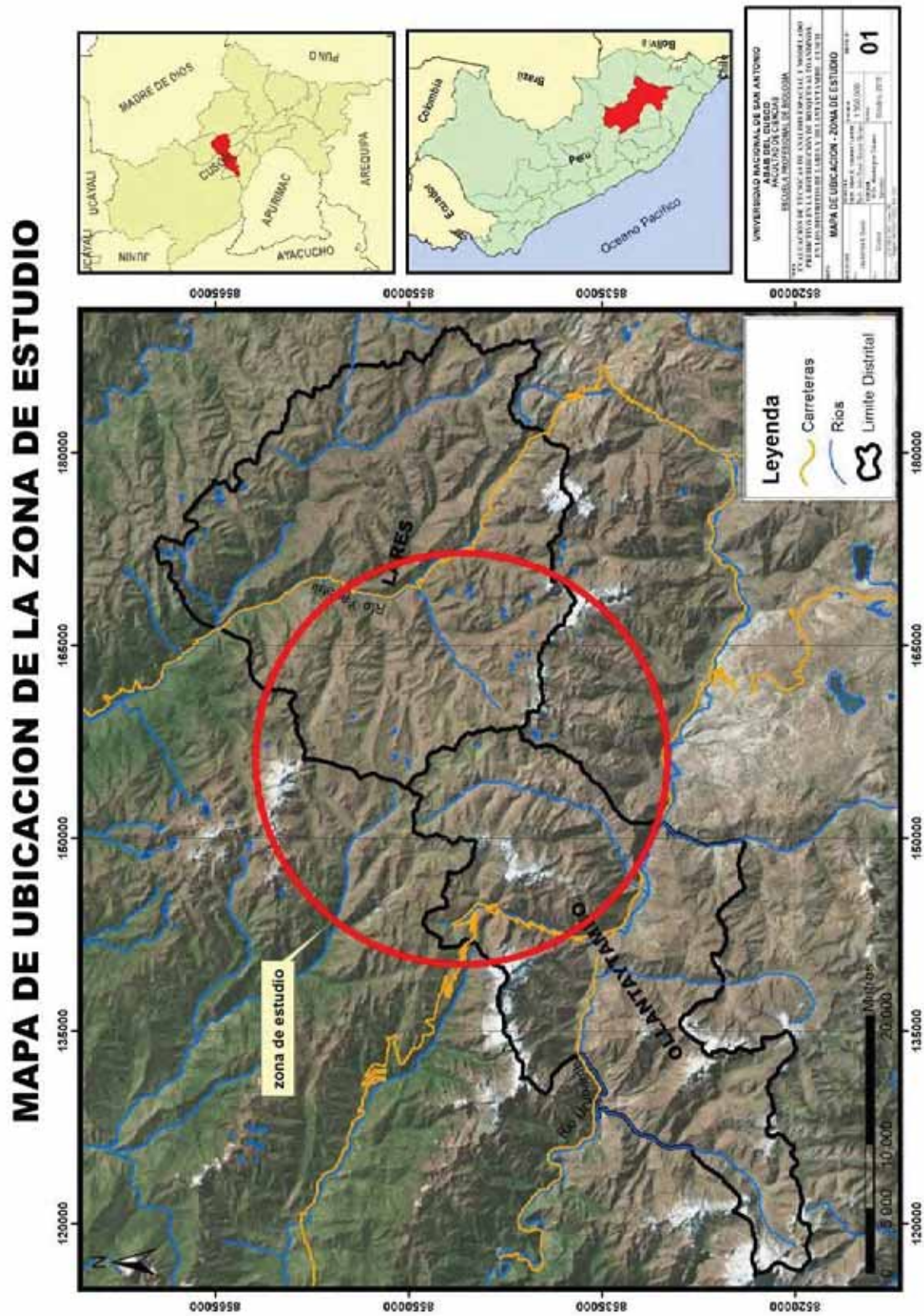
Los Distritos de Lares y Ollantaytambo se sitúan sobre unos 50 kilómetros al noroeste de la ciudad del Cusco, en el costado norte del Valle Sagrado de los Incas, entre las coordenadas siguientes, inicio E:178060 N:8537440 y finalizando en E:127215 N:8543360 en la zona 18L. (Ver mapa N° 01)

2.2 ACCESIBILIDAD

Existen varias rutas de acceso a los distritos de Lares y Ollantaytambo, la Principal es a través de la carretera asfaltada Cusco – Quillabamba, siendo la zona denominada como Abra Málaga el principal punto de acceso a algunos bosques ubicados en las faldas de los nevados Veronica. Otra vía de acceso es a partir de la Carretera Calca – Lares, llegando a la capital del distrito y tomando el desvío hacia las comunidades de Huacahuasi y Cuncani, dichos poblados se encuentran cercanos a los nevados Chicón y Pumahuanca, donde se encuentra gran cantidad de bosques nativos de polylepis.

Otro lugar ubicado en el distrito de Lares es el cercano a la comunidad de Kiswarani, unos 15 km antes de llegar al Centro Poblado de Lares, donde se encuentran bosques de Kiswar que también serán considerados en el estudio. Una tercera ruta de acceso es por la carretera Ollantaytambo – Ocobamba, cerca de la comunidad de Huilloc también existen bosques altoandinos que detallaremos más adelante.

Mapa 1: Mapa de Ubicación de la zona de estudio



2.3 ECOLOGÍA

2.3.1 CLIMA

El clima en los distritos de Lares y Ollantaytambo muestra muchos contrastes, pero en forma general está caracterizado por una alternancia de una estación seca (Abril a Agosto), otra con precipitaciones pluviales incipientes (Setiembre a Diciembre) y finalmente tres meses con mucha lluvia (Enero a Marzo). Las estaciones meteorológicas de Urubamba y Ollantaytambo, son las más cercanas a la zona de estudio. Sin embargo, estas estaciones se encuentran a 2874m y 2846m respectivamente, mientras que las zonas a estudiar están por encima de los 3500m por lo que se optó por datos obtenidos de otros trabajos de investigación realizados en la zona de estudio (Acasi Zereceda, 2015).

2.3.2 ZONAS DE VIDA

2.3.2.1 Bosque Seco Montano Bajo Subtropical (bs-MBS)

Ocupa los valles interandinos del Vilcanota, teniendo un relieve plano en el fondo de los valles, propio de las terrazas e inclinado en las laderas que encierran estos valles. Su altura varía entre 2,950 y 3,200 msnm. La biotemperatura media anual máxima es de 18.1°C, en tanto que la media anual mínima es de 11.7 °C. El Promedio máximo de precipitación total al año es de 1,124.7 mm y el promedio mínimo es de 216.1 mm.

2.3.2.2 Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MBS)

Ocupa las partes media y alta del valle Lares. La biotemperatura media anual máxima es de 14.5°C y la mínima es de 12.4 °C. El promedio máximo de precipitación total al año es de 1,063 mm y la mínima es de 992 mm. Esta zona de vida está ubicada en la provincia de humedad: Húmeda.

2.3.2.3 Bosque Húmedo Montano Subtropical (bh-MS)

Geográficamente ocupa una gran parte de las provincias de Urubamba y Calca. Abarca las Altiplanicies con relieve moderadamente llano y parte de las laderas altas del valle interandino del Vilcanota, los que presentan relieves predominantemente empinados. Altitudinalmente varía entre los 2,800 y 3,800 msnm, y a veces llega hasta los 4,000 msnm. La biotemperatura media anual máxima es de 12.9°C y la mínima es de 6.5 °C. El promedio máximo de precipitación total al año es de 1,119 mm y la mínima es de 410 mm. Esta zona de vida está ubicada en la provincia de humedad: Húmeda (Hurtado Corimanya, 2014).

2.3.2.4 Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical (bmh-MS)

Se distribuye en la Cordillera Oriental, en la parte más alta del río Lares. Su altura varía entre los 2,800 y 3,800 msnm. El relieve es bastante accidentado con laderas que sobrepasan los 60°C. La biotemperatura media anual es 10.8°C, y el promedio máximo de precipitación es de 1,694 mm, siendo el mínimo de 1,008 mm. Corresponde a la provincia de Humedad: Perhúmeda.

2.3.2.5 Páramo muy Húmedo Subandino Subtropical (pmh-SaS)

La topografía corresponde a las zonas montañosas y altiplanicies, con relieves abruptos y ondulados respectivamente, los que varían entre 3,900 y 4,500 msnm. Se presenta al norte de San Salvador, Calca, Urubamba. La biotemperatura media anual máxima es de 6.9 °C y la mínima es de 4.6 °C. El promedio máximo de precipitación total al año es de 1,088.5 mm y la mínima es de 513.4 mm. Esta zona de vida está ubicada en la provincia de humedad: Perhúmeda (Hurtado Corimanya, 2014).

2.3.2.6 Páramo pluvial Subandino Subtropical (pp-SaS)

Se extiende sobre la Cordillera Oriental entre los 3,900 y 4,000 msnm. Abarca grandes áreas cordilleranas con un relieve que varía desde suave hasta algo abrupta. En los cuadrángulos, se la ubica en las laderas bajas de todas las cadenas de nevados y en la zona de divisoras de aguas del valle de Yanatile-Lares. La biotemperatura media anual máxima es de 5.2 °C y la mínima es de 3.9 °C. El promedio máximo de precipitación total al año es de 1,342.4 mm y

la mínima es de 828 mm. Esta zona de vida está ubicada en la provincia de humedad: Superhúmeda (Acasi Zereceda, 2015).

2.3.2.7 Tundra Pluvial Andino Subtropical (tp-As)

Ocupa una franja inmediata inferior del piso Nival, entre los 4,300 y 5,000 msnm, por lo que corresponde a la parte proximal de las cadenas de nevados, con una morfología abrupta que varía a ondulada en su parte más inferior. El modelaje glaciar y la presencia de morrenas caracterizan esta zona. La biotemperatura media anual máxima es de 3.2 °C y la media anual mínima es de 2.5 °C. Se ubica en la provincia de humedad: Superhúmeda.

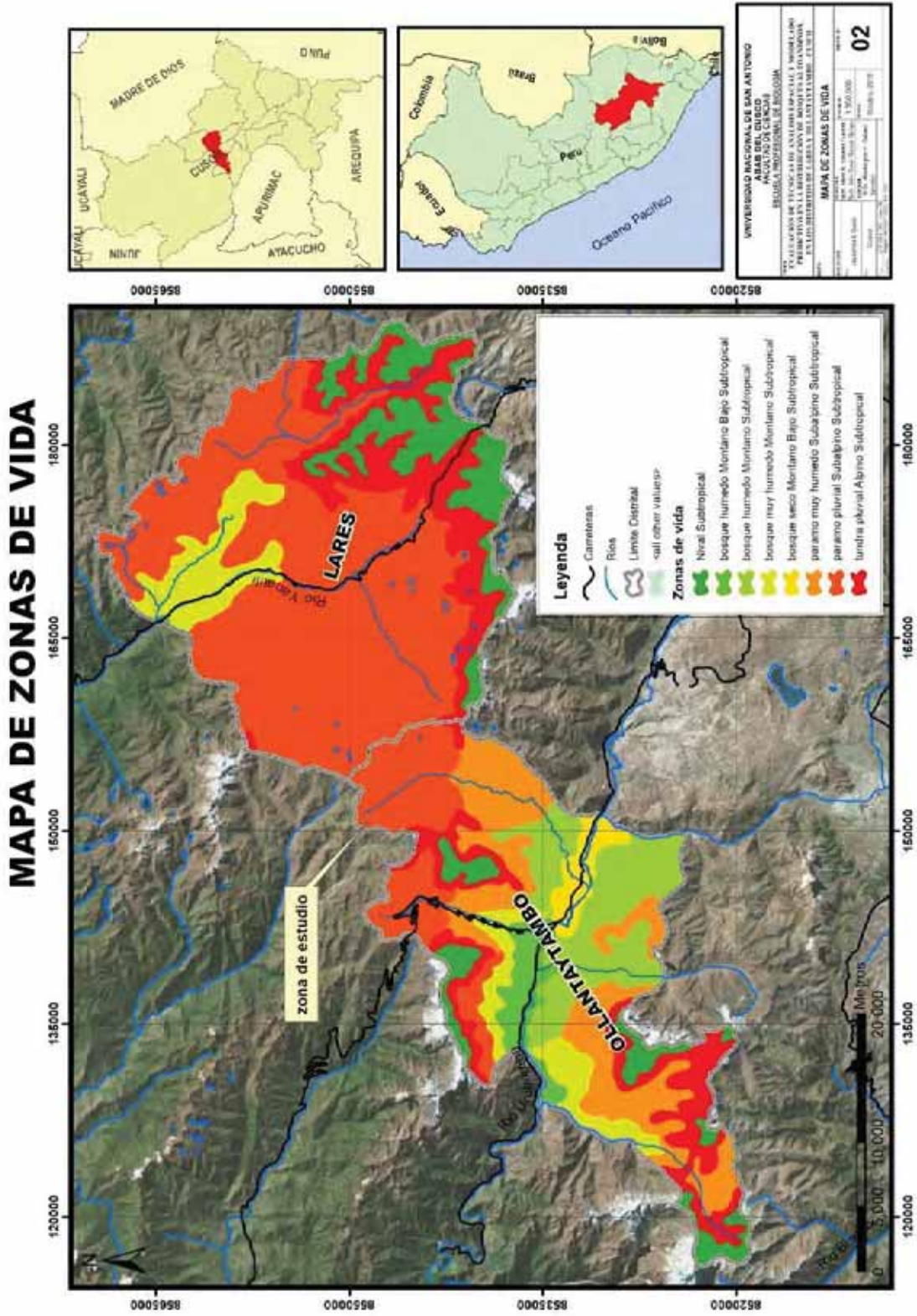
2.3.2.8 Nival Subtropical

Corresponde a todas las cadenas de nevados existentes en las provincias de Urubamba y Calca, los que se extiende a lo largo de las crestas frías andinas con presencia de nieves y glaciares. La configuración topográfica es bastante abrupta. La biotemperatura media anual se encuentra por debajo de 1.5 °C y el promedio de precipitación total anual por año a menudo es variable entre 500 y 1,000 mm.

2.3.3. SISTEMAS ECOLOGICOS

Para la determinación de los sistemas ecológicos en la zona de estudio se utilizó como fuente de información del libro: SISTEMAS ECOLÓGICOS DE LOS ANDES DEL NORTE Y CENTRO: BOLIVIA, COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ Y VENEZUELA del año 2009, donde se describen todos los sistemas ecológicos existentes en los 5 países. A continuación, se detallan los sistemas ecológicos en la zona de estudio (Comunidad Andina, 2009) (Mapa 03):

Mapa 2: Mapa de zonas de Vida



2.3.3.1. Bosque altimontano pluvial de Yungas

Sistema de los bosques altimontanos yungueños pluviales húmedo hiperhúmedos, dominados y caracterizados por diversas especies de árboles y arbustos siempre verdes, lauroides y de hojas sub-escleromorfas. Entre estas especies, son importantes en los bosques bien conservados, las pertenecientes a los géneros Podocarpus, Weinmannia, Oreopanax, Hesperomeles e Ilex. Los bosques son de altura media o baja, con dosel entre 10 m y 20 m, presentando varios niveles o estratos de sotobosque, gran biomasa de epífitas y bastantes lianas leñosas (Comunidad Andina, 2009).

2.3.3.2. Bosque altimontano pluviestacional de Yungas

Bosques altimontanos, no dominados por Polylepis, propios de las zonas con bioclima pluviestacional húmedo de los Yungas, distribuidos desde el norte del Perú al centro de Bolivia. Además de una notable incidencia del fuego como elemento o factor antrópico de transformación del paisaje, la existencia de una época anual con marcada disminución de las precipitaciones, condiciona también cultivos y usos humanos específicos (Comunidad Andina, 2009).

2.3.3.3. Bosque montano pluviestacional húmedo de Yungas

Suelos bien drenados en laderas de montaña. Termoclima mesotropical con ombroclima húmedo. Generalmente presente en la transición de los valles interandinos secos hacia los valles y laderas pluviales húmedos de los Yungas y con coberturas extensas sobre sustratos arenosos, entre 2900-3100 m.

2.3.3.4. Bosque montano pluviestacional subhúmedo de Yungas

Conjunto de bosques semidecíduos que constituyen la vegetación potencial de las laderas medias o altas de algunos de los valles secos interandinos de los Yungas, en áreas con bioclima pluviestacional y ombroclima subhúmedo del piso bioclimático mesotropical. Ocupan un rango altitudinal potencial situado aproximadamente entre los 2000-2100 m y los 2800-3100 metros.

2.3.3.5. Bosques y arbustales montanos xericos interandinos de la Puna humeda

Vegetación climática prepuneña distribuida en los valles xéricos interandinos de la Puna húmeda del norte de Bolivia (departamento de La Paz) y del sur del Perú, en áreas con ombroclima seco a semiárido ($I_o = 1.5-3.5$). Estructuralmente son bosques bajos y arbustales espinosos, con numerosas cactáceas arborescentes y arbustivas, presentando una composición florística dominada por elementos xerofíticos centro-andinos entre los que se hallan varios endemismos locales y regionales (Comunidad Andina, 2009).

2.3.3.6. Matorral xerico interandino de Yungas

Sistema secundario que sustituye de manera permanente a los bosques y arbustales xéricos potenciales montanos y basimontanos, como consecuencia de la perturbación derivada del uso humano. Incluye vegetación de matorrales xeromórficos, a menudo necrófilos y resinosos o aromáticos, en mosaico con manchas o parches de herbazales perennes y anuales (Comunidad Andina, 2009).

2.3.3.7. Pajonal altoandino de la Puna húmeda

Sistema que incluye varias asociaciones de herbazales gramínoideas (pajonales), en general dominados por especies robustas de gramíneas de crecimiento amacollado y a menudo hojas duras o pungentes, con un estrato herbáceo inferior notablemente diverso en el que son comunes biotipos de gramíneas bajas cespitosas (Comunidad Andina, 2009).

2.3.3.8. Pajonal arbustivo altoandino y altimontano pluvial de Yungas

Incluye pajonales amacollados densos, así como diversos tipos de matorrales y arbustales. Las asociaciones arbustivas a menudo se encuentran limitando con el límite superior del bosque altimontano conformando una especie de zona ecotonal, mientras que matorrales de menor estatura y pajonales pueden alternar ocupando grandes extensiones en el paisaje, donde el componente herbáceo constituye la matriz (Comunidad Andina, 2009).

2.3.3.9. Pajonal arbustivo altoandino y altimontano pluviestacional de Yungas

Sistema ecológico dominado por pajonales amacollados densos con variable densidad de arbustos y a menudo en mosaico con vegetación boscosa. En partes de su distribución, constituye el sistema natural zonal pero también en zonas pluviestacionales del piso altimontano sustituye a los sistemas Bosque de Polylepis Altimontano Pluviestacional de Yungas.

2.3.3.10. Pajonales y matorrales altimontanos de la Puna húmeda

Laderas y crestas montañosas con suelos bien drenados y erosionados o degradados. Ombroclima supratropical y orotropical subhúmedo a húmedo. (3100-3200 m a 3900-4100 m). El patrón de uso habitual es la ganadería extensiva asociada a cultivos de tubérculos andinos con algunos cereales, forrajeras y leguminosas.

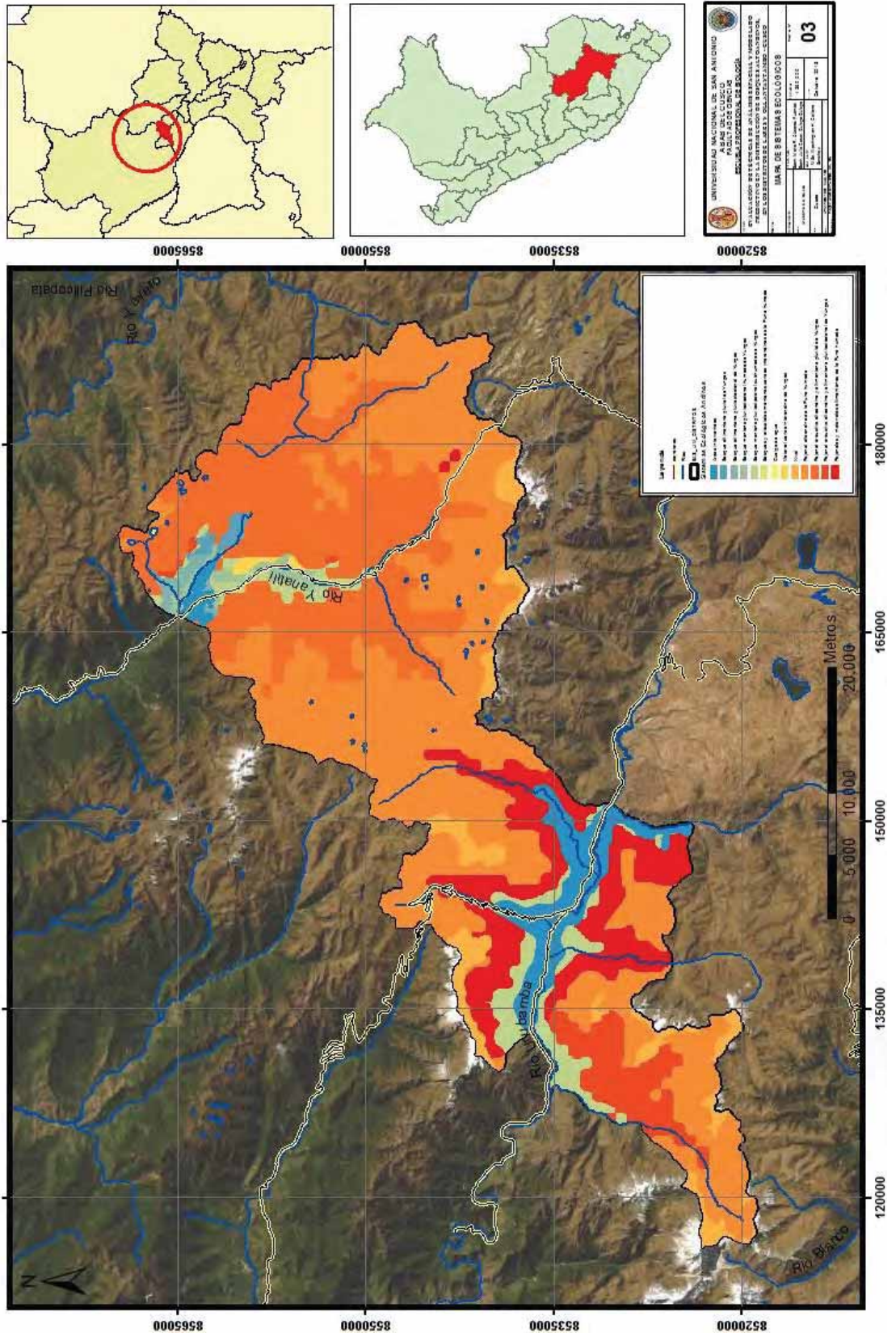
2.4 GEOLOGÍA

2.4.1 FORMACION OLLANTAYTAMBO

Marocco (1978) define una serie de rocas metamórficas que atribuye al Cámbrico por su posición estratigráfica, al que denomina Serie Ollantaytambo, esta unidad aflora al pie de las ruinas incas de Ollantaytambo y se extiende hacia el norte hasta cerca del Abra de Málaga. Lateralmente sigue al este, hasta proximidades del valle del río Patacancha, al oeste hasta el nevado Bonanta. El límite inferior aparece cabalgando sobre la Formación San José que se observa en Sicllajasa y quebrada de Silque.

Mapa 3: Sistemas Ecológicos

MAPA DE UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO



2.4.2 FORMACION VERONICA

Esta unidad ha sido reconocida en el Cuadrángulo de Urubamba, donde sobreyace en ligera discordancia a la Formación Ollantaytambo. Esta formación aflora en el nevado Verónica, de donde toma su denominación y se prolonga hacia el este, pasando por la carretera Ollantaytambo-Abra de Málaga, hasta cerca de la quebrada Patacancha. Al oeste del nevado Verónica, se halla truncada por el Batolito de Machu Picchu (Marrocco,, 1978).

Esta unidad no ha sido reconocida en ninguna otra parte de los cuadrángulos, ya sea por el intenso fallamiento, o porque el frente superior del metamorfismo herciniano alcanza al Ordoviciano. La Formación Verónica está constituida por 480 metros de conglomerados, los que están compuestos casi exclusivamente por cantos de cuarcita bien redondeados, con matriz arenosa. Los cantos, cuyo diámetro mayor es de 15 cm muestran un alargamiento tectónico, paralelo a la esquistosidad que afecta a los conglomerados. Esta formación presenta 3 secuencias.

La primera secuencia empieza por intercalaciones de conglomerados con lutitas (pizarras) negras; estas, son seguidas por bancos de conglomerados grano-estrato crecientes. La segunda secuencia es también creciente y exclusivamente conglomerada. La tercera secuencia es grano-estrato decreciente, terminando con intercalaciones de conglomerados y cuarcitas blancas verdosas. La interpretación de los medios sedimentarios, es difícil debido al metamorfismo que afectó estas rocas. Sin embargo, las secuencias descritas anteriormente parecen corresponder a depósitos aluviales, relacionados a movimientos epirogénicos Finicambrianos u ordovicianos, precursores de la constitución de la cuenca marina subsidente del Paleozóico inferior.

2.4.3 FORMACION SAN JOSE

Sobreyace en aparente discordancia a la Formación Verónica. Aflora en el Abra de Málaga y se extiende hacia el este hasta el río Patacancha y al oeste por la carretera Ollantaytambo - Quillabamba. Al norte del abra, en el sector de Panticalla y cerro Silhuacocha, se encuentra en contacto fallado con la Formación Sandia. Esta unidad también se encuentra presente en la quebrada Silque, Tintipata, Huayllabamba y se prolonga hacia el sur del nevado Huayanay, hasta el norte de Limatambo.

Aflora también en el sector de Lares, al norte y sur de Amparaes, haciendo parte del Anticlinorio de Colquepata, la que se prolonga hasta el borde SE del Cuadrángulo de Calca. (Marrocco,, 1978)

2.4.4 FORMACION SANDIA

La Formación Sandia constituye un nivel guía en la cartografía, ya que su composición principalmente cuarcítica y de gran espesor, permite diferenciarla de las otras unidades Paleozoicas. En el Cuadrángulo de Urubamba, esta Unidad se presenta en el Abra de Málaga, donde sobreyace a la Formación San José. Al este del Abra de Málaga, las rocas de esta unidad se prolongan hasta la quebrada Ocoruruyoc (Marrocco,, 1978).

2.4.5 GRUPO MITU

El Grupo Mitu sobreyace en discordancia erosional al Grupo Copacabana. Aflora ampliamente en la porción nor-oriental de Urubamba, y en el extremo occidental de Calca.

2.4.6 FORMACION PISAC

La Formación Pisac, aflora en al Anticlinal de Vilcanota, descansando en discordancia sobre el Grupo Copacabana, por intermedio, o no, de un nivel volcánico. Posteriormente se tienen secuencias grano-estrato crecientes de brechas y conglomerados, intercalados con areniscas y limolítas rojas. Los conglomerados contienen clastos de calizas con fusulinas, volcánicos y cuarcitas, estas secuencias han sido interpretadas como conos aluviales. Escasamente aflora en Yanahuara y cerca a la quebrada de Patacancha.

2.4.7 DEPOSITOS GLACIARIOS

Marocco (1978) hace una descripción de la glaciación pleistocénica del norte de Urubamba, basado en el estudio de las quebradas Yucay, Chicón, Pumahuanca y Yanahuara, las que son definidas desde el punto de vista fisiográfico como “quebradas de glaciación” porque han sido modelados por la acción erosiva de los antiguos glaciares pleistocenos, habiendo

quedado las impresiones en las rocas in situ y en el modelado topográfico de dichas quebradas.

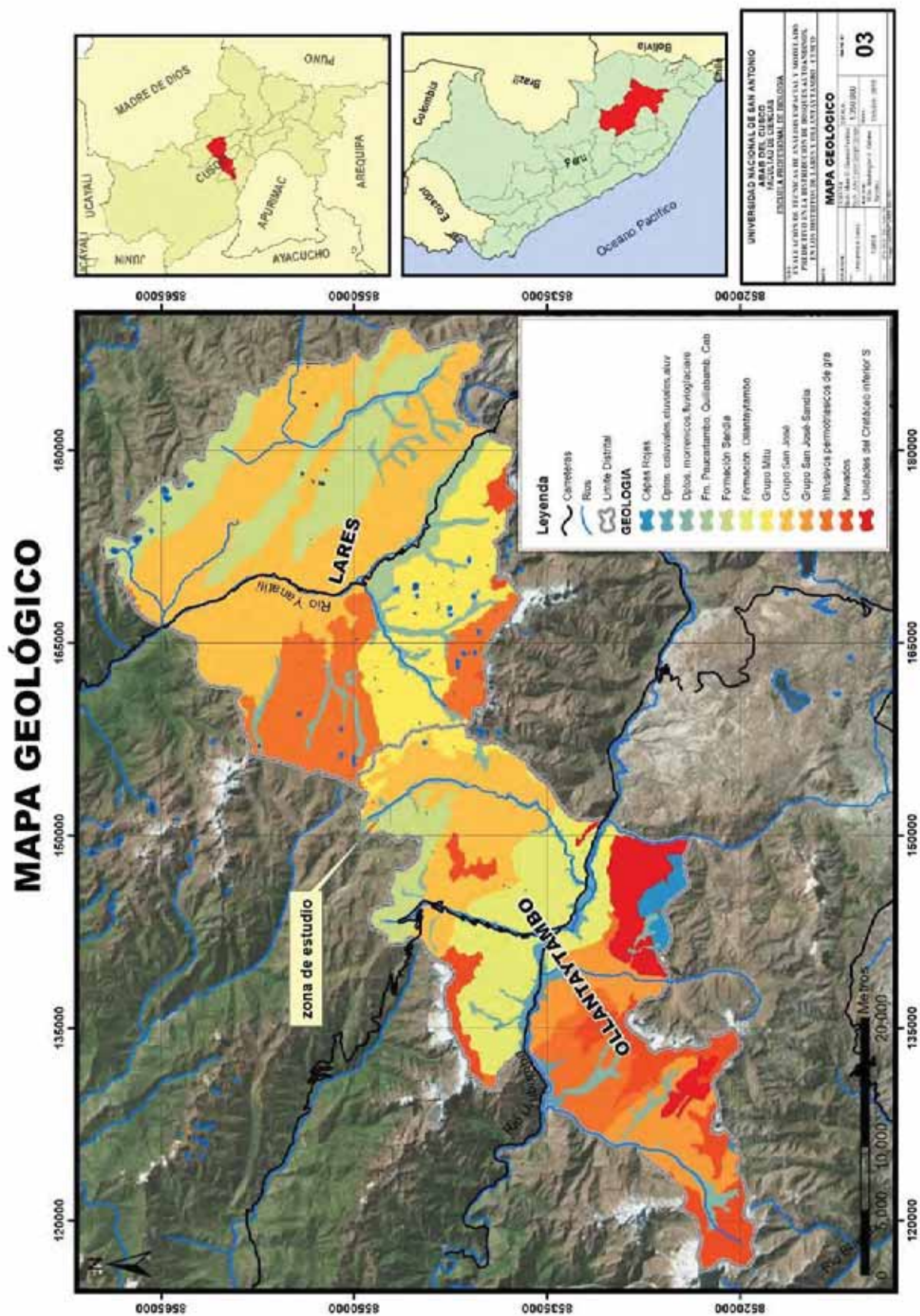
2.4.8 DEPOSITOS ALUVIALES

Dentro de estos depósitos, hemos considerado los conos tanto aluviales como los de deyección. Estos conos están adosados principalmente a la desembocadura de las quebradas adyacentes al valle del río Vilcanota-Urubamba, de los ríos Ocobamba, Lares y Yanatile, producto de un cambio repentino de pendiente. Dentro de los conos resaltan las quebradas de Pumahuanca, Chicón, Yanahuara y Calca; los que están conformados por grandes bloques de granitos, cuarcitas, rocas volcánicas, etc., envueltos por una matriz areno-arcillosa (Marrocco,, 1978).

2.4.9 DEPOSITOS FLUVIALES

Estos depósitos han sido reconocidos en el fondo de los valles particularmente del Vilcanota-Urubamba, de los ríos Ocobamba, Lares y Yanatile. Están constituidos por bancos de gravas y arenas, formando una o varias terrazas. (Marrocco,, 1978)

Mapa 4: Mapa Geológico de la Zona de estudio



CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Materiales de Campo

- Cámara fotográfica
- GPS Garmin Etrex Vista HCx
- Cuaderno de notas
- Mapa Base

3.1.2 Materiales de Gabinete

- Laptop (PC)
- Imágenes LandSat 4, LandSat 5, LandSat 7& Landsat 8
- Software ArcGIS v.10.6
- Software MapSource v.6.13.7
- Software TERRSET
- Software ENVI v.5.2

3.2 METODOLOGIA

El presente trabajo viene a ser de carácter descriptivo cuantitativo y para un mejor entendimiento del procedimiento a seguir en el desarrollo de la presente Tesis, se ha dividido la metodología en tres etapas, la primera correspondiente a la recopilación de datos, la segunda al procesamiento y modelado de las imágenes y la tercera al análisis de los resultados obtenidos y la generación de las matrices de cambio para el modelado predictivo.

3.2.1 CUANTIFICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES ALTOANDINOS EN LOS DISTRITOS DE LARES Y OLLANTAYTAMBO

3.2.1.1 RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO

Se recopilieron algunos datos de campo, para lo cual se realizaron 2 viajes a distintas zonas de los distritos de Lares y Ollantaytambo, las zonas escogidas fueron: en un primer viaje la Comunidad de Kiswarani en el Distrito de Lares (abril 2018), donde se tiene una gran cantidad de bosques nativos, el segundo viaje fue al Abra Málaga – ACP Tastayoc (agosto 2018). Estos sitios fueron elegidos por diferentes razones:

- Conocimiento previo de las rutas por visitas y experiencias anteriores.
- Rutas de fácil acceso a pie por presencia de caminos que se usan actualmente.
- Estar dentro de varias rutas turísticas entre los distritos de Lares (Calca) y Ollantaytambo (Urubamba)

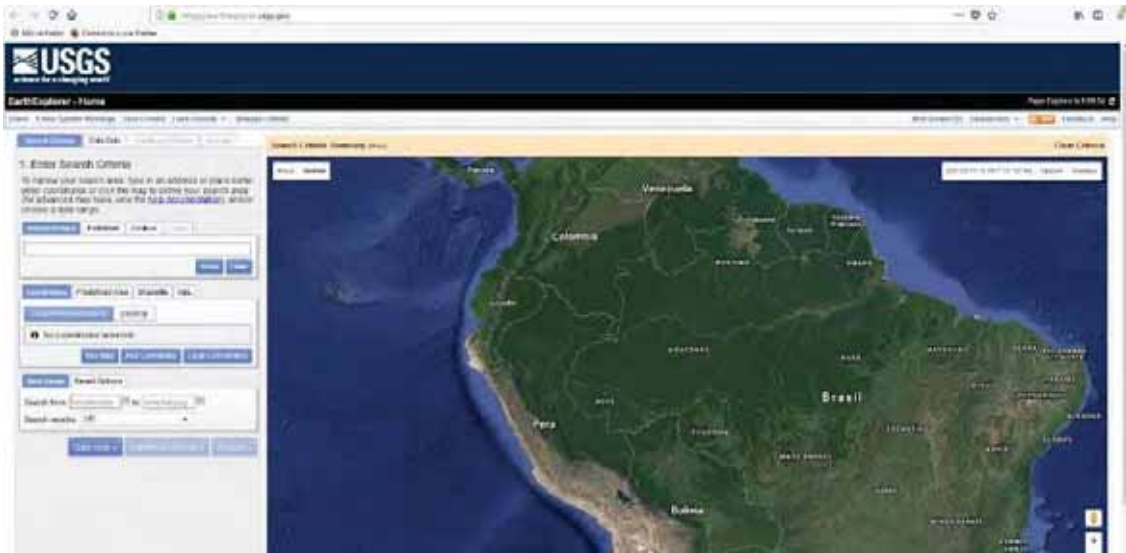
El objetivo principal de los viajes fue recolectar los datos necesarios que facilitarían la realización del trabajo. Estos datos fueron tomados por dispositivos GPS in situ, que consiste en tomar fotografías, puntos GPS y tracks sobre los bosques nativos (zonas de fácil acceso) y las áreas circundantes, dichos datos servirán para poder contrastar los datos obtenidos en campo con los obtenidos de las imágenes satelitales posteriormente mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada poder determinar con las zonas donde se desarrollan los bosques.

3.2.1.2 OBTENCIÓN (DESCARGA) DE IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes Satelitales LandSat, fueron obtenidas de la base de datos del GLCF (GLOBAL LAND COVER FACILITY) y de USGS (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY) en ambas páginas se encuentra un catálogo de imágenes satelitales de todo el planeta en distintos años a partir de 1985, las imágenes cuentan con un ancho de barrido de 185

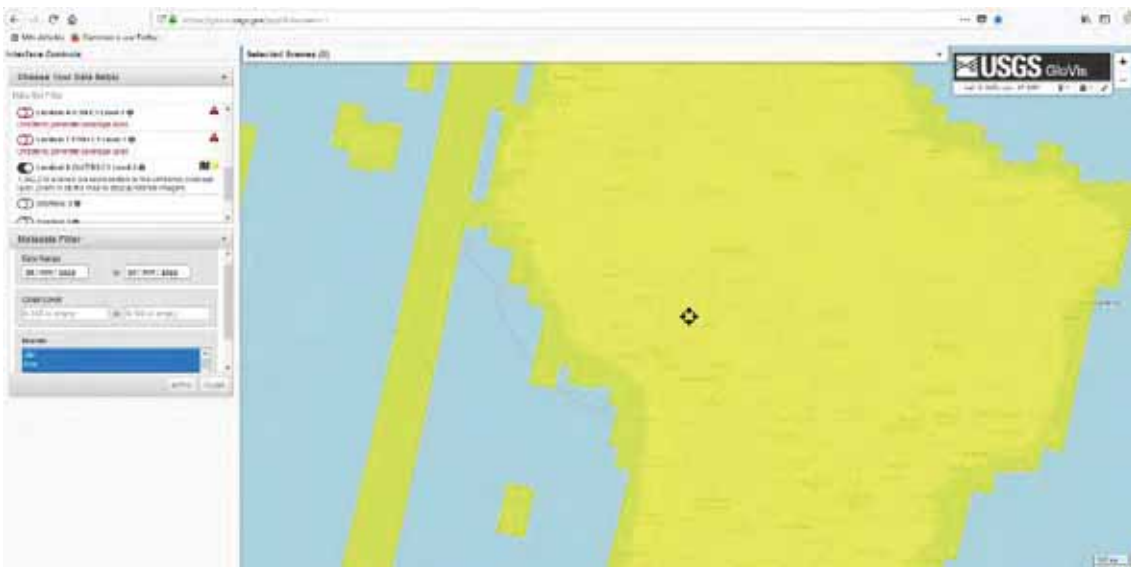
kilómetros y de 30 metros de resolución de cada pixel, tomados desde una altitud de 705 Km.

Imagen 7: Página 1 de descarga de imágenes satelitales landsat



Fuente: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Imagen 8: Página 2 de descarga de imágenes satelitales landsat



Fuente: <https://glovis.usgs.gov/app?fullscreen=1>

Tabla 3: Imágenes satelitales obtenidas del área de Estudio

Año de Imagen	Fuente	Número de bandas de la imagen	Tipo de Imagen
1990	GLCF	6 bandas	Landsat 4
2000	GLCF	7 bandas	Landsat 5
2010	USGS	7 bandas	Landsat 7
2017	USGS	11 bandas	Landsat 8

Imagen 9: Imagen satelital Landsat año 1990



Imagen 10: Imagen Satelital Landsat Año 2000

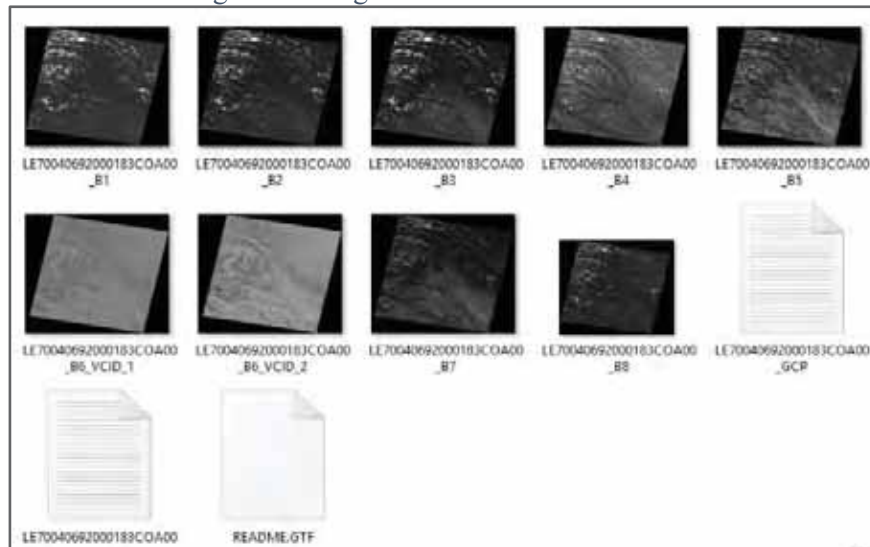
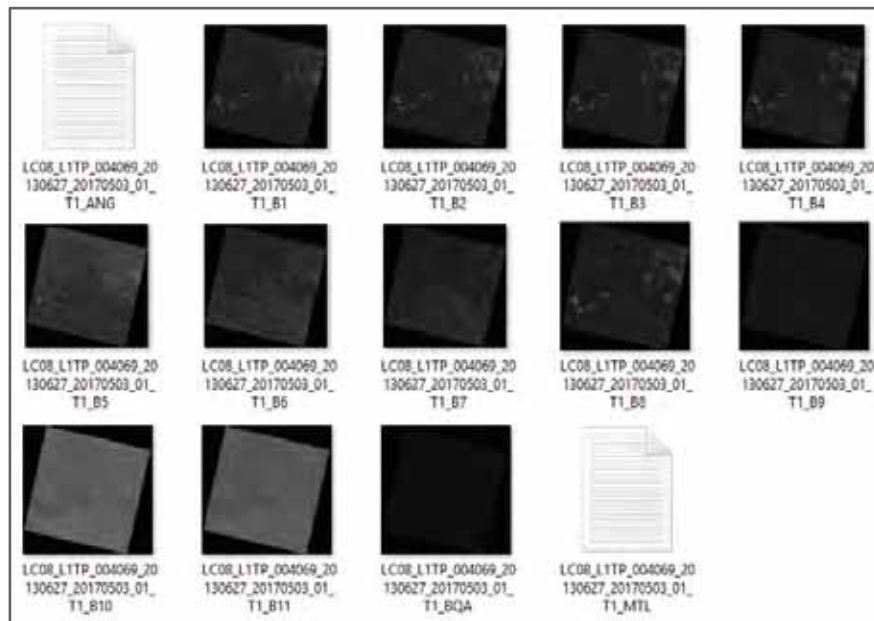


Imagen 11: Imagen Satelital Landsat Año 2010



Imagen 12: Imagen Stelital Landsat Año 2017



Las imágenes a utilizar son las correspondientes a los años 1990, 2000, 2010 y 2017, tomando como referencia intervalos de 10 años (se utilizó una imagen satelital Landsat del año 2017, dado que para el 2018 no se tienen a disposición imágenes con la calidad necesaria). Con estas imágenes se procederá a calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

3.2.2. CUANTIFICACIÓN LAS TASAS DE DEFORESTACIÓN DE LOS BOSQUES ALTOANDINOS

3.2.2.1. EXTRACCION DE BANDAS DE IMÁGENES LANDSAT

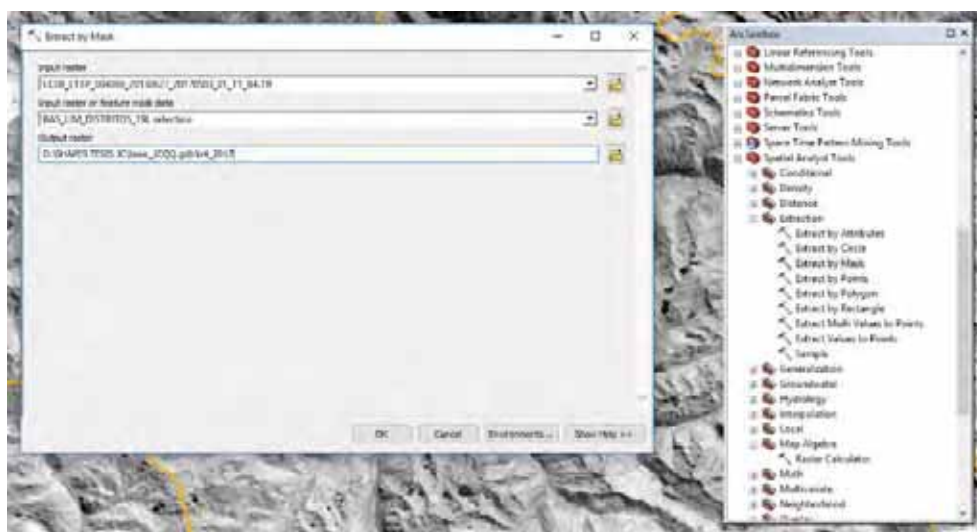
Se utilizó el software ArcGIS 10.6. Primeramente, se importaron las imágenes LandSat 5 para el año 1990, LandSat 7 para los años 2000, 2010 y LandSat 8 para el año 2017. (Véase figura 14). A partir de estas imágenes se determinó el índice de cobertura arbórea usando la metodología del NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada).

Las imágenes descargadas, se descomprimen y posteriormente se las agrega al software ArcGIS versión 10.6 solamente las bandas a utilizar, en este caso vienen a ser la banda 3 y 4 de la las imágenes LandSat 5 y 7 (años 1990, 2000 y 2010), y las bandas 4 y 5 para las imágenes LandSat 8 (año 2017)

3.2.2.2 EXTRACCION DE BANDAS DE ACUERDO AL MAPA BASE

Para este efecto, se utilizó la herramienta “Extract by mask”, para cortar las imágenes descargadas tomando como forma los límites que se muestran en el mapa base, tal como se observa en la imagen siguiente:

Imagen 13: Herramienta “Extract by mask” para recortar archivos raster



3.2.2.3 REEMPLAZO DE BANDAS DE IMÁGENES LANDSAT EN LA FORMULA DEL NDVI

Para este paso se utiliza las bandas infrarrojo & infrarrojo cercano (proximo), es decir, las bandas 3 y 4 de las imágenes Landsat 5 y 7 y las bandas 4 y 5 de LandSat 8, utilizando la formula detallada anteriormente. Para poder calcular en Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, se utilizó la herramienta Raster Calculator del Software ArcGIS 10.6 tal como se ve en la siguiente figura:

Imagen 14: Herramienta “Raster calculator” para calcular el NDVI

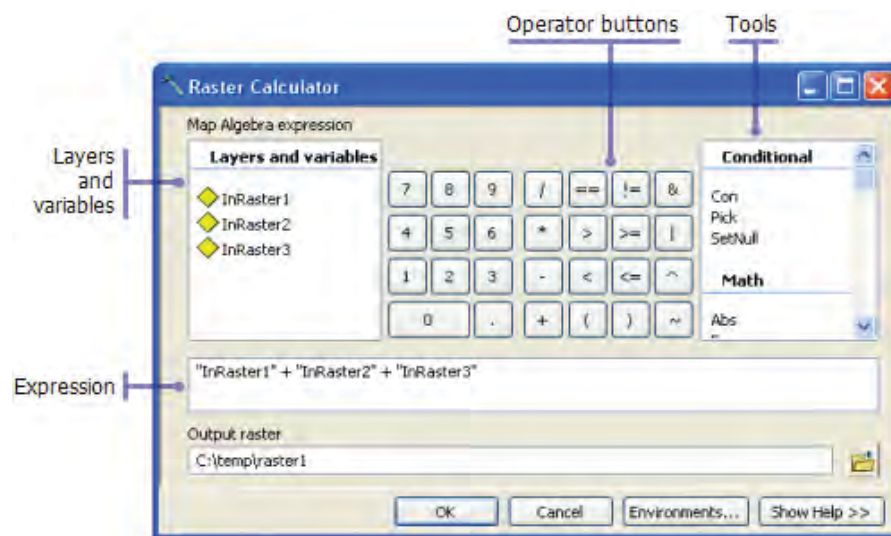
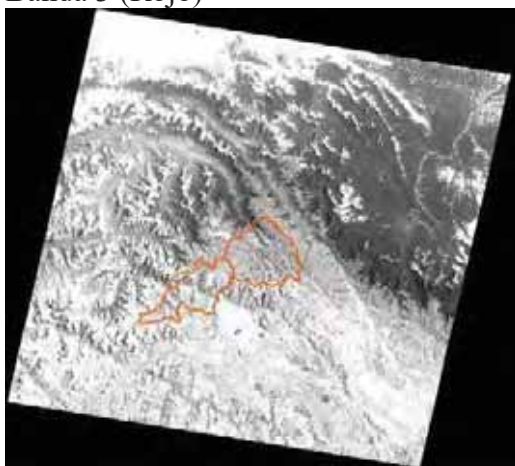


Imagen Landsat 1990
Banda 3 (Rojo)



Banda 4 (IRC)

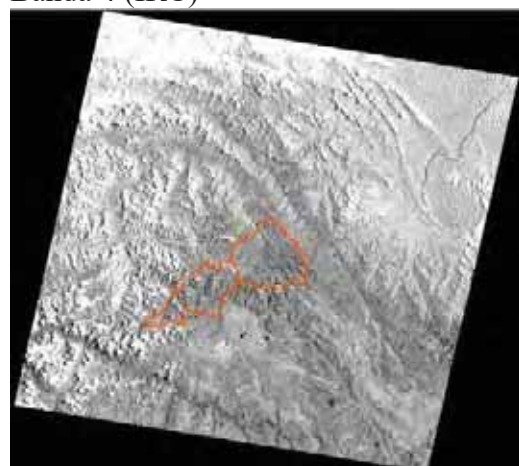


Imagen Landsat 2000
Banda 3 (Rojo)

Banda 4 (IRC)

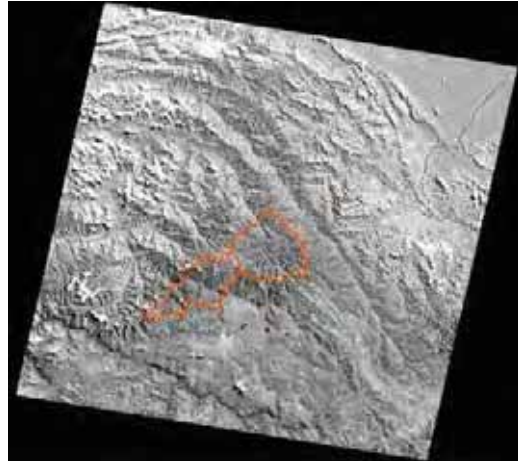
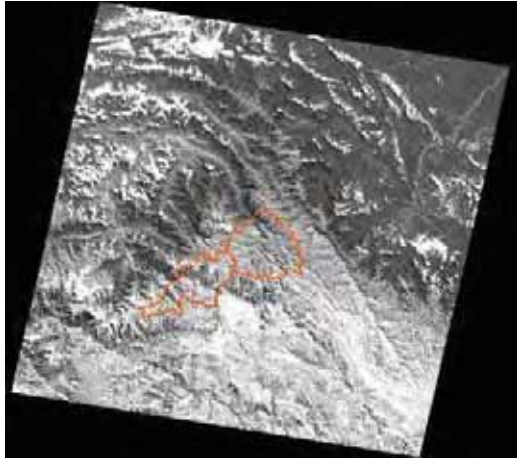


Imagen Landsat 2010

Banda 3 (Rojo)

Banda 4 (IRC)

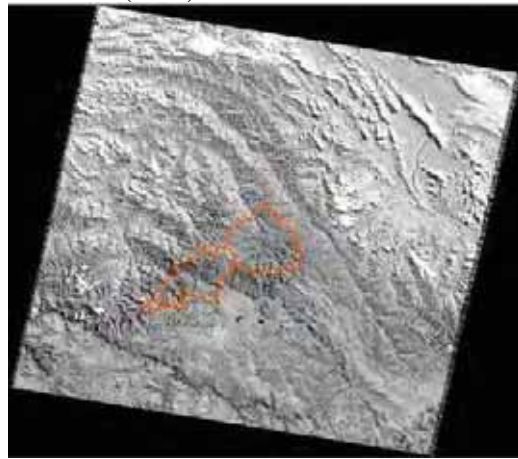
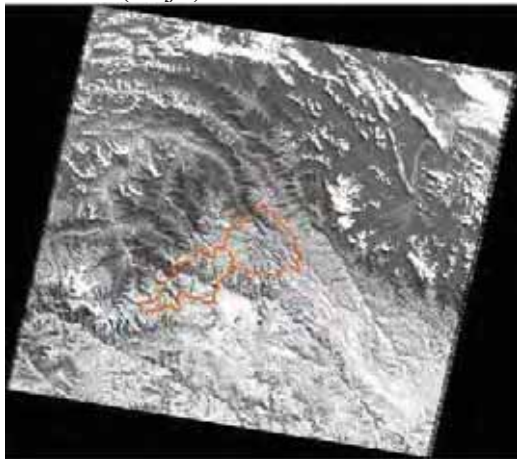
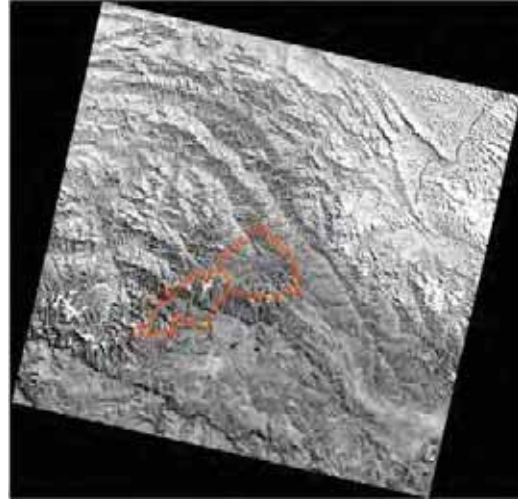
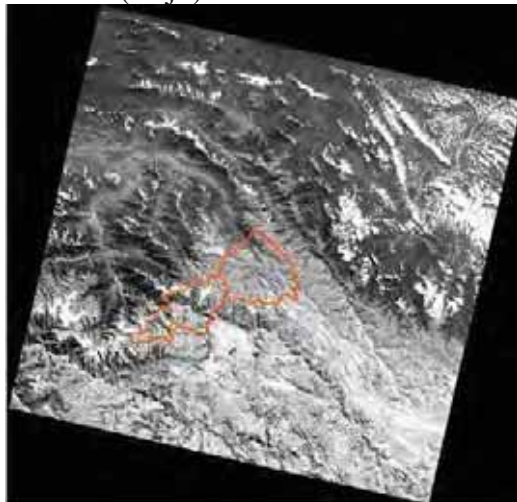


Imagen Landsat 2017









Banda 4 (Rojo)

Banda 5 (IRC)



Utilizando la herramienta “Extract by mask” del software ArcGIS 10.6, se procede a cortar las bandas seleccionadas de la imagen Landsat tomando como referencia los límites del mapa base, que vienen a ser los distritos de Lares y Ollantaytambo.

Tabla 4: bandas extraídas de las Imágenes Landsat

Banda 3 – 1990	Banda 4 – 1990	Banda 3 – 2000	Banda 4 – 2000
			
Banda 3 – 2010	Banda 4 – 2010	Banda 4 – 2017	Banda 5 – 2017
			

3.2.2.5 INDICE DE VEGETACION DE DIFERENCIA NORMALIZADA

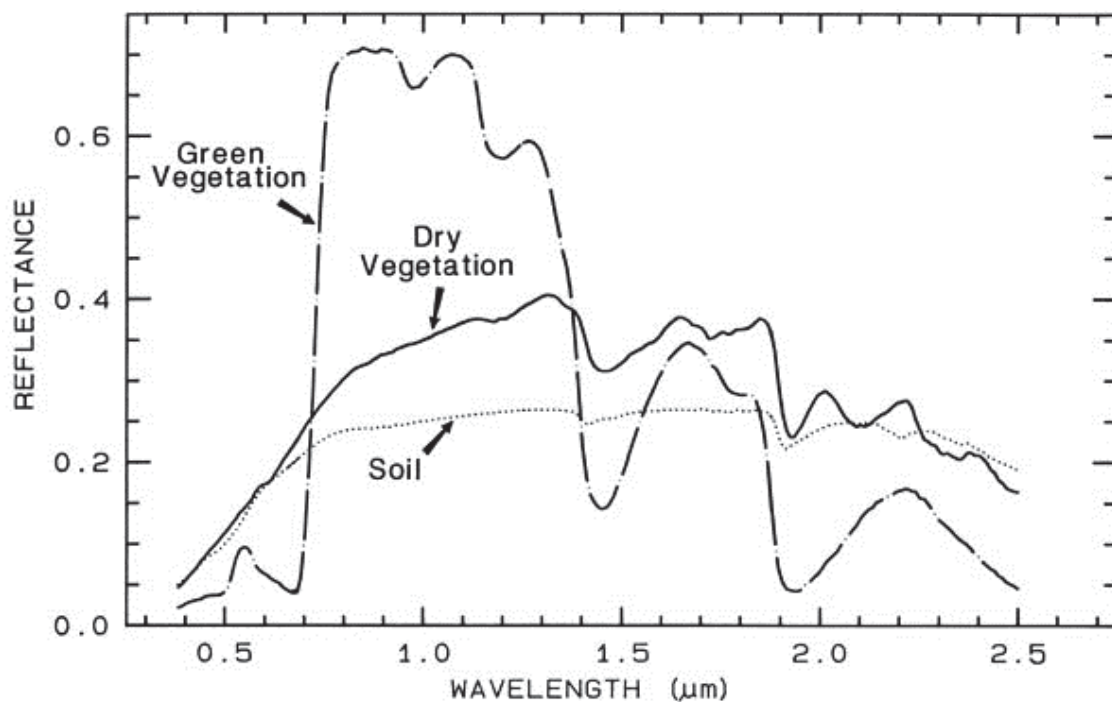
El comportamiento radiométrico de la vegetación en las imágenes de satélite está claramente diferenciado entre las bandas espectrales del rojo (longitud de onda comprendida entre 0,6 y 0,7 μm) y el infrarrojo próximo (longitud de onda comprendida entre 0,7 y 1,1 μm). En la banda del rojo, la vegetación sana absorbe la mayor parte de la energía que recibe, pero no pasa lo mismo en la banda del infrarrojo próximo (Díaz García-Cervigón,, 2015).

Este hecho produce un fuerte contraste entre la baja reflectividad en la banda roja y la alta reflectividad del infrarrojo próximo, que permite separar la vegetación sana de otras coberturas. Cuando la vegetación tiene algún tipo de estrés, su reflectividad en el infrarrojo próximo disminuye y aumenta en el rojo, haciendo que el contraste entre bandas sea menor.

En resumen, se puede decir que el mayor contraste entre bandas indica una vegetación sana y, análogamente, valores bajos de contraste indican una vegetación enferma o poco densa.

Los índices de vegetación son combinaciones de bandas espectrales (banda rojo e infrarrojo) que tienen como función realzar la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como el suelo, el relieve (pendiente y orientación), las condiciones de iluminación y la atmósfera, que pueden producir interferencias en la señal radiométrica (Chuvienco, Teledetección Ambiental - La observación de la Tierra desde el Espacio., 2002).

Imagen 15: Respuesta espectral de la vegetación y del suelo



Fuente: (Fernández Coppel, 2004)

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) es el que se utilizó para determinar las zonas cubiertas por bosques nativos.

$$NDVI_i = \frac{\rho_{i,IRP} - \rho_{i,R}}{\rho_{i,IRP} + \rho_{i,R}}$$

Donde $\rho_{i,IRP}$ y $\rho_{i,R}$ indican la reflectancia del píxel i en las bandas del infrarrojo próximo (IRP) y del rojo (R), respectivamente (Díaz García-Cervigón, 2015).

El rango de valores que toma el NDVI está comprendido entre -1 y 1, lo que facilita su interpretación. Se puede señalar como umbral crítico para coberturas vegetales un valor de NDVI por encima de 0,1; y para la vegetación densa, un valor a partir de 0,5 (Chuvieco, 2008), pero para el caso de bosques de *Polylepis* y *Escallonia* los valores de NDVI están en el rango de 0.55 a 0.74 (Fuller, 1998)

Los índices de vegetación, como el NDVI, son una herramienta de gran interés a la hora de hacer un seguimiento de la cubierta vegetal de la superficie terrestre, ya que permite prever sequías, riesgos de incendio, deforestación, etcétera. Aunque hay que tener cierta cautela cuando se trabaja con él, ya que existen algunos factores que pueden afectar la calidad de los resultados. Algunos de estos factores están asociados al momento de adquisición de la imagen, como por ejemplo la cantidad de vapor de agua o aerosoles contenidos en la atmósfera, o bien la presencia de nubes finas y sombras de nubes que pueden contaminar las mediciones. Otro factor que puede influir en la calidad del resultado son los diferentes anchos de banda espectrales con los que se ha diseñado cada sensor, de manera que pueden proporcionar resultados diferentes en mediciones adquiridas por diferentes instrumentos sobre el mismo territorio (Fuller, 1998).

3.2.2.5 Método para calcular el NDVI

Para utilizar esta metodología primeramente se obtuvo imágenes de cobertura de los bosques andinos mediante el sistema de teledetección, para lo cual se descargaron imágenes de la página web <https://eos.com/landviewer/>, donde se muestra la superficie del área de estudio de diferentes años, para el presente estudio se seleccionaron los años 1990, 2000, 2010 y 2017 (ya que estas imágenes se presentan con información más completa y con el menor porcentaje de nubes). Posteriormente estas imágenes fueron procesadas en el Software ArcGIS versión 10.6 para cuantificar la superficie de la cobertura de bosques nativos en hectáreas mediante la metodología del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). En base a estos datos obtenidos se procedió a realizar el modelado predictivo (Alatorre, Beguería, & Vicente-Serrano, 2010).

También se tomaron datos necesarios en campo, estos datos fueron tomados por dispositivos GPS (Global Positioning System) in situ sobre las los bosques de Abra Málaga y Kiswarani, con el fin de marcar los puntos de las zonas muestreadas para importar posteriormente estos datos al software ArcGIS.

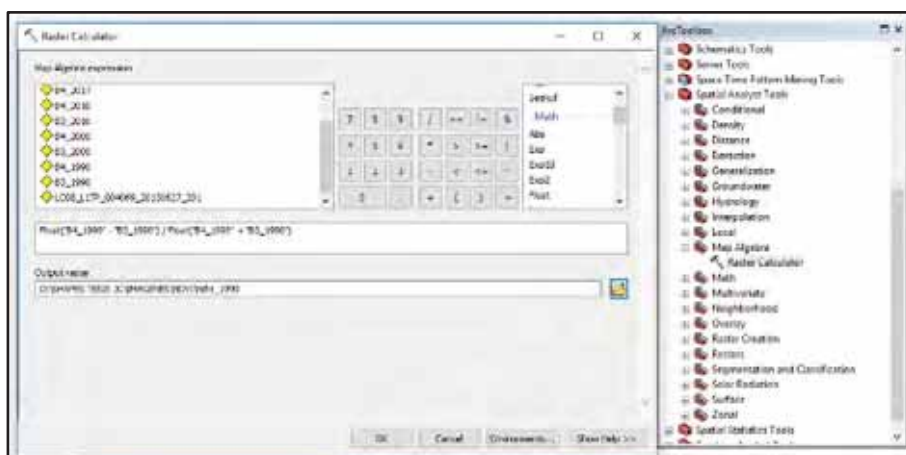
3.2.2.6 GENERACION DE MAPA BASE

Para la creación del mapa base de la zona de estudio, se utilizó el software ArcGIS 10.6. Se utilizó la base de datos del Instituto Geográfico Nacional – IGN para delimitar la zona de estudio, posteriormente se utilizan estos límites para ubicar las principales zonas de cobertura de bosques nativos ubicados principalmente sobre la cordillera Urubamba y por encima de los 3500 metros de altitud.

3.2.2.7 REEMPLAZO DE BANDAS DE IMÁGENES LANDSAT EN LA FORMULA DEL NDVI

La herramienta “Raster Calculator” o Calculadora ráster permite crear y ejecutar una expresión de Álgebra de mapas que generará como capa de salida un ráster. Esta herramienta construye y ejecuta una expresión simple de Álgebra de mapas utilizando la sintaxis de Python en una interfaz similar a una calculadora.

Imagen 16: captura de pantalla de la herramienta “Raster Calculator” del programa ArcGIS



El resultado de este procedimiento serán capas tipo Raster con valores entre -1 y +1, los cuales indicarán el estado de la vegetación en la zona de estudio y a la vez mediante un

trabajo de campo se identifica el tipo de vegetación que se evalúa, en este caso se extraen de los rasters todos los píxeles con valores entre 0.55 a 0.74, que normalmente están representados por los bosques altoandinos.

Se muestra a continuación los rasters obtenidos con la herramienta “raster calculator” con los valores entre -1 y 1.

NDVI AÑO 1990



NDVI AÑO 2000



NDVI AÑO 2010



NDVI AÑO 2017



En las imágenes mostradas anteriormente se observa el NDVI de los años 1990, 2000, 2010 y 2017, a la izquierda se aprecian los rasters y a la derecha los valores del NDVI para cada uno de los años.

Sobre estas imágenes se superpondrán los datos tomados en las salidas de campo, estos datos están expresados como puntos tomados dentro de los bosques. Estos puntos fueron tomados en los bosques ubicados en los siguientes sectores:

- Abra Málaga – Tastayoc (Distrito de Ollantaytambo), bosques de Polylepis ubicados sobre los 4000 metros de altitud.

- Kiswarani – (Distrito de Lares), en esta zona se tienen bosques de polylepis combinados con matorrales arbustivos donde predominan las especies del género Baccharis y Escallonia. Estos bosques se ubican sobre los 3500 metros.

3.2.2.8 RECLASIFICACION DE RASTERS

Este procedimiento agrupa los pixeles de acuerdo a sus valores, para este propósito se utilizó la herramienta “reclassify” del software ArcGIS 10.6

Imagen 17: captura de pantalla de la herramienta “Reclassify” del software ArcGIS

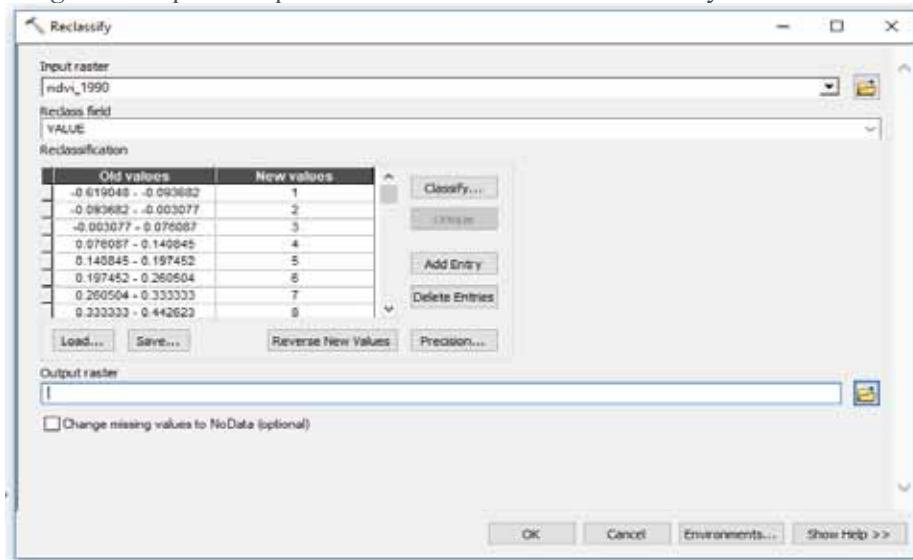
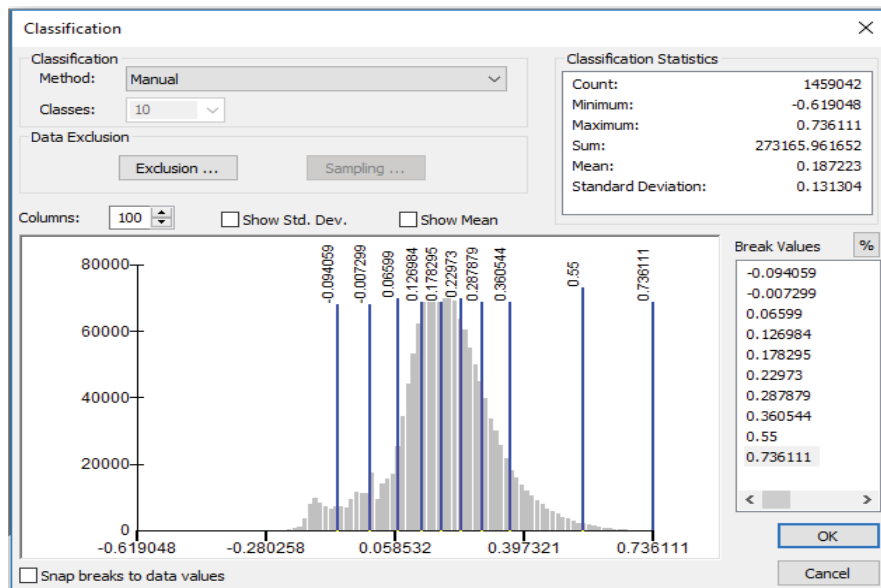
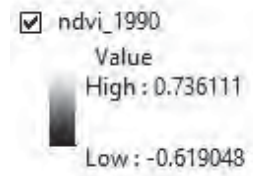


Imagen 18: captura de pantalla de la herramienta “Reclassify” del software ArcGIS



NDVI AÑO 1990



NDVI AÑO 2000



NDVI AÑO 2010



NDVI AÑO 2017



3.2.2.9 SUPERPOSICIÓN DE PUNTOS DE CONTROL Y EXTRACCIÓN DE PIXELES

Los puntos de control tomados en las salidas de campo se contrastan con los datos obtenidos a partir del procesamiento de las imágenes de satélite, lo que permite validar los datos de gabinete en base a los datos de campo.

A partir de lo detallado anteriormente se obtiene lo siguiente:

Imagen 19: Puntos de control en Abra Málaga - Ollantaytambo

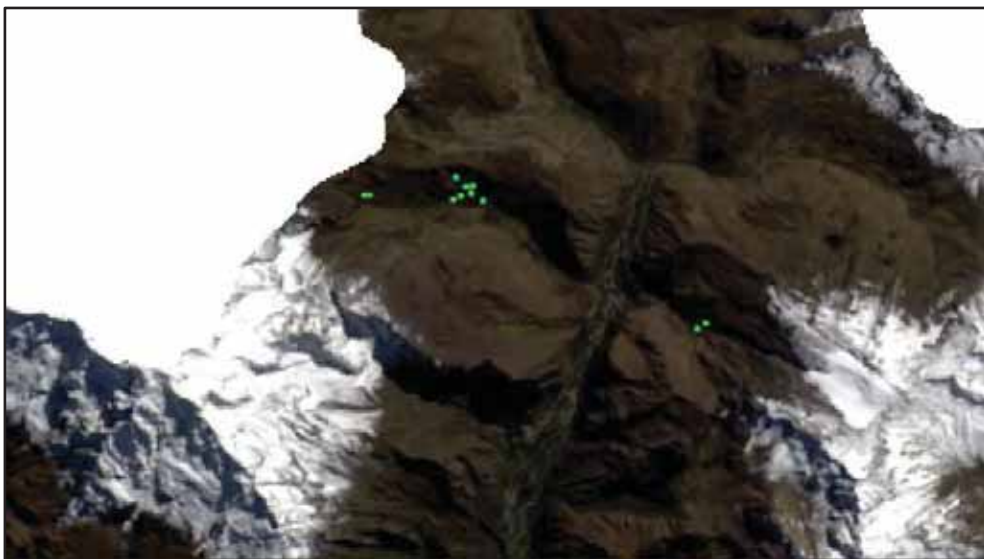


Imagen 20: Puntos de control en Kiswarani – Lares

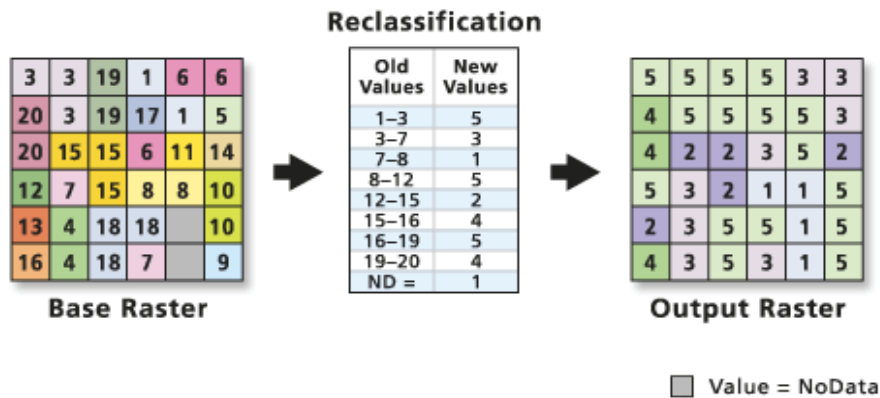


A partir de los puntos anteriormente mostrados se contrasta con los rasters generados mediante el NDVI, y se procede a extraer los pixeles que vienen a representar a los bosques altoandinos.

3.2.2.10 IDENTIFICACION DE BOSQUES ALTOANDINOS

Estos bosques se identifican utilizando los pixeles generados en el procedimiento anterior, se procede a realizar una reclasificación utilizando la herramienta “reclassify”, que permitirá agrupar los pixeles de acuerdo a los valores que poseen, en este caso de estudio lo que nos interesa serán los pixeles que tengan valores entre 0.55 y 0.74, los cuales permitirán identificar las zonas boscosas dentro del área de estudio.

Imagen 21: reclasificación de raster para agruparlos por sus valores



Una vez clasificado el raster, se procede a extraer solo los pixeles ubicados en el rango antes mencionado, para facilitar el trabajo, obteniendo finalmente zonas de “bosque” y “no bosque”, lo que facilitará la obtención de datos a futuro con solo dos valores de raster.

Finalmente, solo se considerará los espacios formados por más de 03 pixeles, dado que espacios menores no serán significativos o podrían generar errores mostrándonos otras formaciones vegetales.

3.2.3 PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES ALTOANDINOS EN LARES Y OLLANTAYTAMBO PARA EL 2040

3.2.3.1 MÉTODO DE MODELIZACIÓN PROSPECTIVA UTILIZANDO CADENAS DE MARKOV

En los últimos años, los SIG comerciales han ido incorporando como funciones de análisis aquéllas destinadas a la modelización. Es el caso de la función MARKOV, que ha sido incluida en la última versión del SIG IDRISI como módulo experimental, enriqueciendo el bloque dedicado al análisis de series temporales. Esta función permite integrar la modelización temporal (basándose en una serie cronológica de usos del suelo) y la lógica basada en la evaluación multicriterio y multiobjetivo (mediante la puesta en relación de las categorías de usos del suelo y un conjunto de variables de diversa naturaleza que pueden explicar o describir su dinámica), es decir, complementa el análisis multitemporal con el análisis multivariable para obtener una modelización más ajustada a la dinámica real de los paisajes.

La obtención de la cartografía prospectiva de las áreas de estudio es posible tras la aplicación de los siguientes módulos de análisis (Zaragoza Ramírez, 2007):

- Cadenas de Markov y proyección estocástica
- Evaluación multicriterio (EMC)
- Evaluación multiobjetivo (EMO)

3.2.3.2 Cadenas de Markov y proyección estocástica

El módulo de las cadenas de Markov (MARKOV) simula la predicción del estado de un sistema en un tiempo determinado a partir de dos estados precedentes. Esto significa que la modelización no tiene en cuenta las variables explicativas y descriptivas, sino que se basa exclusivamente en el análisis de la dinámica interna del sistema, que, en nuestro caso, corresponde a la evolución de los usos del suelo.

Se trata de un procedimiento discreto en un tiempo discreto, en donde el valor en el tiempo t_1 depende de los valores en los tiempos t_0 y $t-1$ (cadena markoviana de segundo orden) (Bergasa, 2009).

El algoritmo compara dos mapas de ocupación del suelo que se suceden cronológicamente, estima y configura una matriz de probabilidad de transición. La predicción se materializa en una serie de mapas de ocupación del suelo (uno para cada categoría) para un tiempo futuro, en donde el nivel digital de cada píxel expresa la probabilidad de pertenecer a la categoría analizada (Bergasa, 2009).

3.2.2.5 Matriz de transición

		Resultado próximo	
		A	B
Último resultado	A	0.3	0.7
	B	0.04	0.96

Los elementos de la matriz de transición representan las probabilidades de que en el próximo ensayo el estado del sistema indicado a la izquierda de la matriz cambie al estado indicado arriba de la matriz. Al respecto hay que indicar que una de las limitaciones del algoritmo de las cadenas de Markov es la necesidad de contar con las mismas categorías en todas las fechas de la serie temporal, de tal forma que la desaparición o nueva aparición de alguna de ellas impide aplicar el método (Clarck Labs., 2003).

CROSSTAB puede usarse para comparar dos imágenes cualitativas de distintas fechas como las imágenes de cubierta terrestre. Se puede producir una nueva imagen en la cual se asigna un identificador único a cada combinación de valores originales. RECLASS o ASSIGN pueden usarse entonces para crear una imagen con categorías de cambio y sin cambio. También se puede generar una matriz de clasificación cruzada y las estadísticas de la similitud de las dos imágenes. En los casos en que las categorías de ambas imágenes son las mismas, se calcularán las cifras del Índice de Acuerdo Kappa por Categoría. Esto brinda información importante acerca de los tipos de cambio que ocurren en la imagen. El conjunto Kappa, así como también Chi Square y Cramer V, otorga información acerca del grado de cambio que ha sufrido la imagen entera.

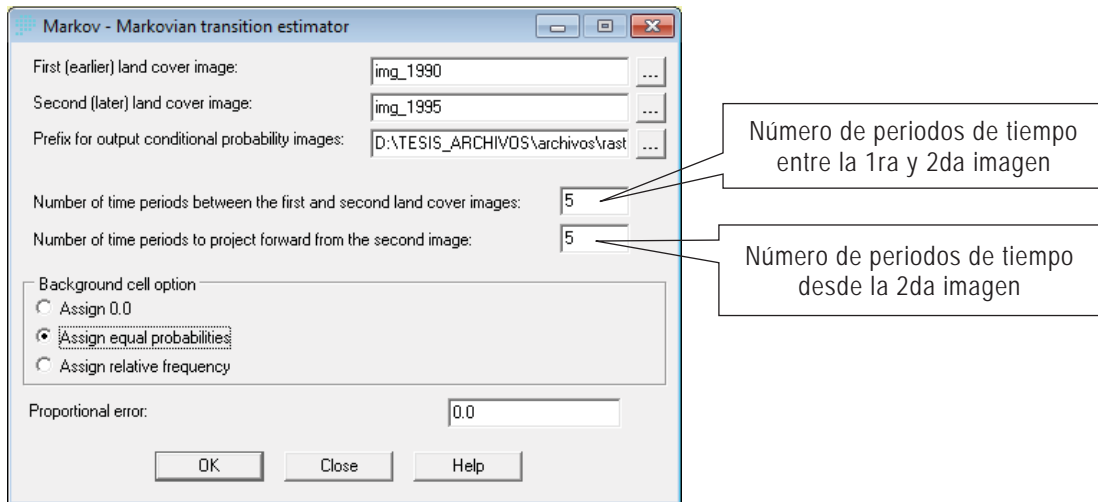
Con los Rasters generados en procedimientos anteriores, se procede a calcular la probabilidad de cambios mediante una matriz de transición, bajo la interfaz del software TERRSET utilizando el Submenú de Series de Tiempo/Cambio (Change / Time Series), y la herramienta “Markov”, basada en las cadenas (modelo de cambios) de Markov, explicada anteriormente.

MARKOV analiza dos imágenes cualitativas de cubierta terrestre de distintas fechas y produce una matriz de transición, una matriz de transición de áreas y un juego de imágenes de probabilidad condicional. La matriz de transición registra la probabilidad de que cada categoría de cubierta terrestre cambie a cada una de las otras categorías. Mientras que la matriz de transición de áreas registra el número de píxeles de cada tipo de cubierta terrestre que se espera que cambien a cada uno de los otros tipos de cubierta terrestre sobre el número especificado de unidades de tiempo. Las imágenes de probabilidad condicional reportan la probabilidad de que cada tipo de cubierta terrestre se encuentre en cada píxel después del número especificado de unidades de tiempo y pueden usarse como imágenes de probabilidad anterior en la Clasificación de Máxima Verosimilitud de imágenes captadas por sensores remotos (Clarck Labs., 2003).

Es recomendable usar los mismos intervalos de tiempo, es decir, si se desea estimar los datos para los próximos 10 años, se deberá trabajar con datos obtenidos de los últimos 10 años.

Lo dicho en el párrafo anterior se utiliza para comprobar la veracidad de los datos generados por el modelo, se harán comparaciones entre los datos generados y los datos reales obtenidos hasta el año 2017. Se utilizaron los datos obtenidos de las imágenes del año 1990 y 2000 para generar los escenarios para el año 2010, debiendo existir una diferencia mínima entre los datos obtenidos y los datos reales. Lo mismo se realizará para los años 2000 y 2010 para generar el escenario para el año 2017, Los valores observados deberán tener una diferencia máxima de +/- 5% que indica la no existencia de una diferencia significativa y que dichos datos son próximos a la realidad. Para determinar la variación de los bosques nativos hasta el año 2017 se utilizó el módulo CROSSTAB del software IDRISI Selva, mientras que para la generación de los escenarios futuros se utilizará el módulo MARKOV (Acasi Zereceda, 2015).

La imagen anterior es el procedimiento previo para la generación de la matriz de transición generada por el software TERRSET, utilizando el módulo "MARKOV"



Generación de la matriz de transición
 Given : Probability of changing to :

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1:	0.7746	0.2254
Class 2:	0.0001	0.9999

Callouts:
 - 0.2254: Probabilidad de pérdida (cambio) class 1 → class 2
 - 0.9999: Probabilidad de permanencia (en porcentaje)
 - 0.0001: Probabilidad de aporte class 2 → class 1

Donde:

- Class (Cl.) 1: con cobertura de bosque
- Class (Cl.) 2: sin cobertura de bosque

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 DISTRIBUCION TEMPORAL DE BOSQUES ALTOANDINOS EN LOS DISTRITOS DE LARES Y OLLANTAYTAMBO

Los resultados de la cuantificación de bosques altoandinos entre los años 1990 y 2017 se determinaron con los procedimientos detallados a continuación.

4.1.1 Cálculo de la cobertura y pérdida de bosques altoandinos

Producto de la vectorización de los rasters, se calculó el área total ocupada por los bosques, por consiguiente la variación temporal de los mismos, para los años 1990, 2000, 2010 y 2017, el resultado se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 5: Cobertura de bosques altoandinos

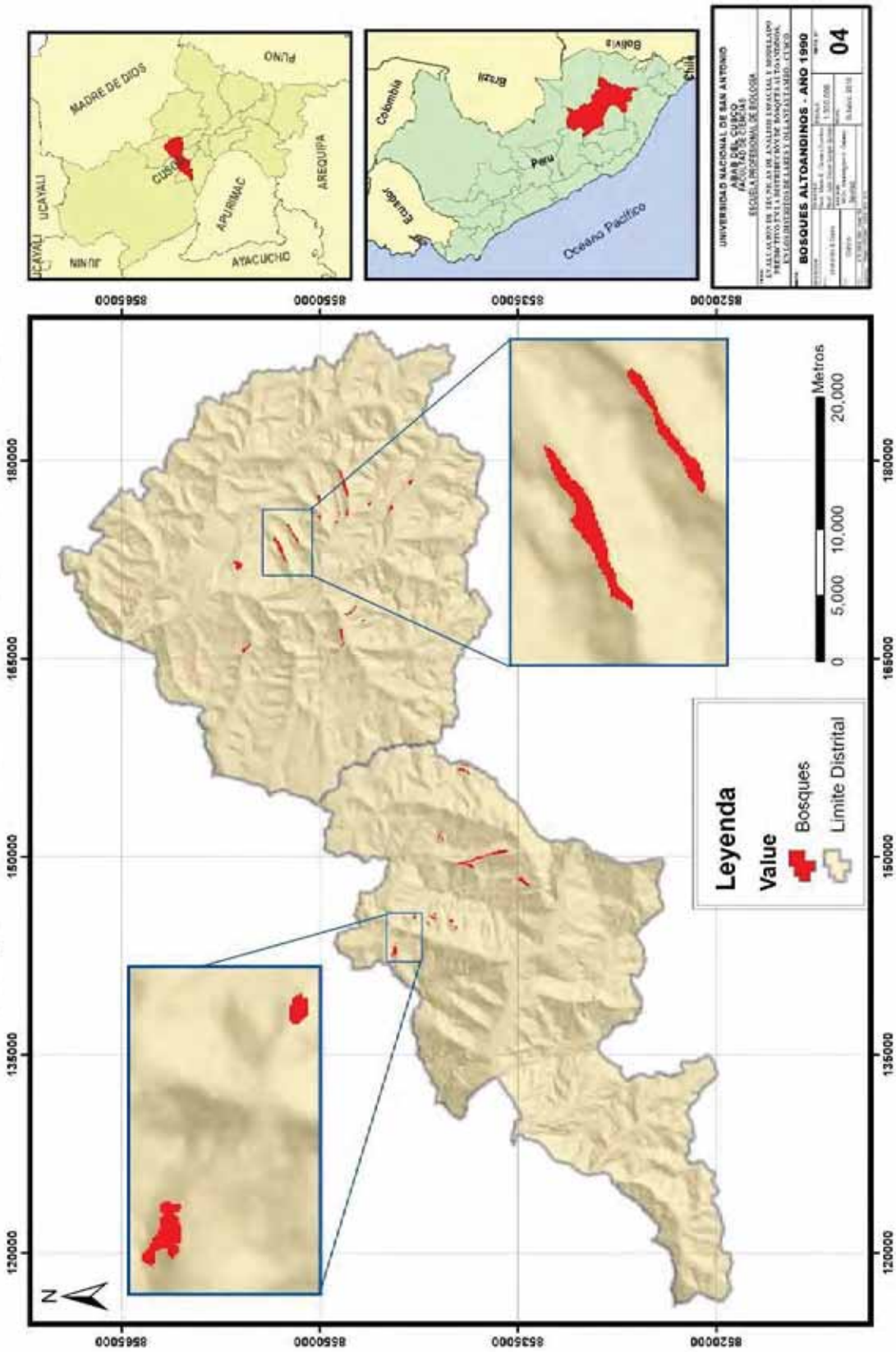
año	Área (Ha) total	Área Lares	Área Ollantaytambo	% pérdida Lares	% pérdida Ollantaytambo
1990	383.70	232.38	151.32	0%	0%
2000	367.90	219.70	148.20	5.45%	2.06%
2010	348.20	206.90	141.3	5.83%	4.66%
2017	274.00	151.4	122.6	26.82%	13.23%

El cuadro anterior muestra las superficies cubiertas por bosques altoandinos en la zona de estudio, se aprecia claramente una disminución considerable de bosques, entre los años 1990 y 2017 se perdieron en total de 109.7 hectáreas de bosques, esto debido a distintas causas, principalmente antrópicas y climáticas.

Los mismos resultados son expresados en los mapas número 5, 6, 7 y 8, donde se muestra de color rojo y los datos de los distritos de Lares y Ollantaytambo en un solo bloque, dado que por estar trabajando en formato Raster es imposible trabajar de manera independiente para cada distrito.

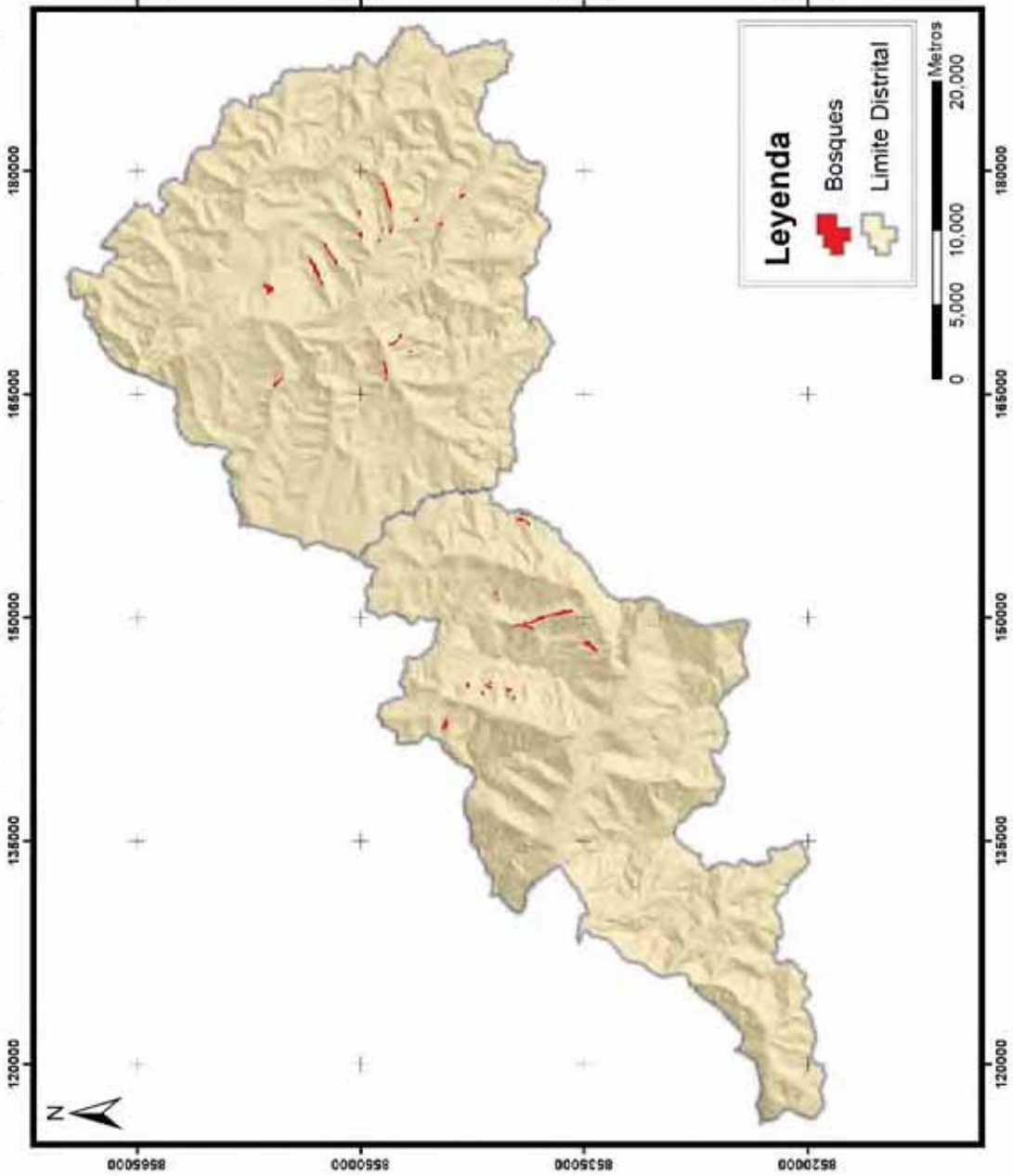
Mapa 5: cobertura de Bosques Altoandinos – Año 1990

BOSQUES ALTOANDINOS - AÑO 1990



Mapa 6: cobertura de Bosques Altoandinos – Año 2000

BOSQUES ALTOANDINOS - AÑO 2000



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE BOSQUES

EVALUACION DE TECNICAS DE ANALISIS ESPACIAL Y BORDADO
 PROYECTO DE LAUDEROS EN LA ZONA ALTOANDINA DEL DISTRITO DE
 EL COMEDIO DE LA SIERRA DE LOS CONDOR, CUSCO.

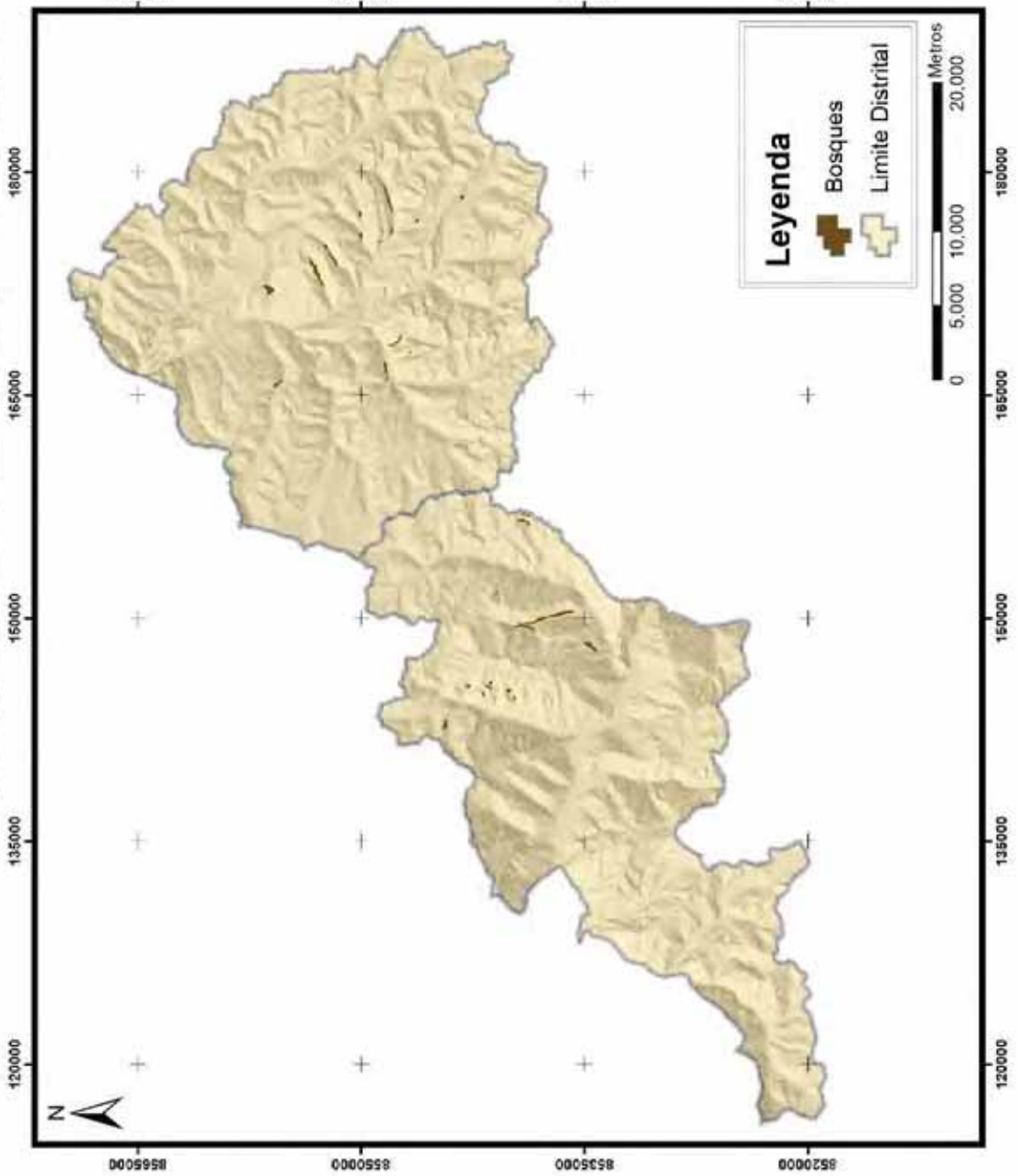
BOSQUES ALTOANDINOS - AÑO 2000

BOLETA N° 05

BOLETA N° 05

Mapa 7: cobertura de Bosques Altoandinos – Año 2010

BOSQUES ALTOANDINOS - AÑO 2010



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
CAMPUS DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGIA

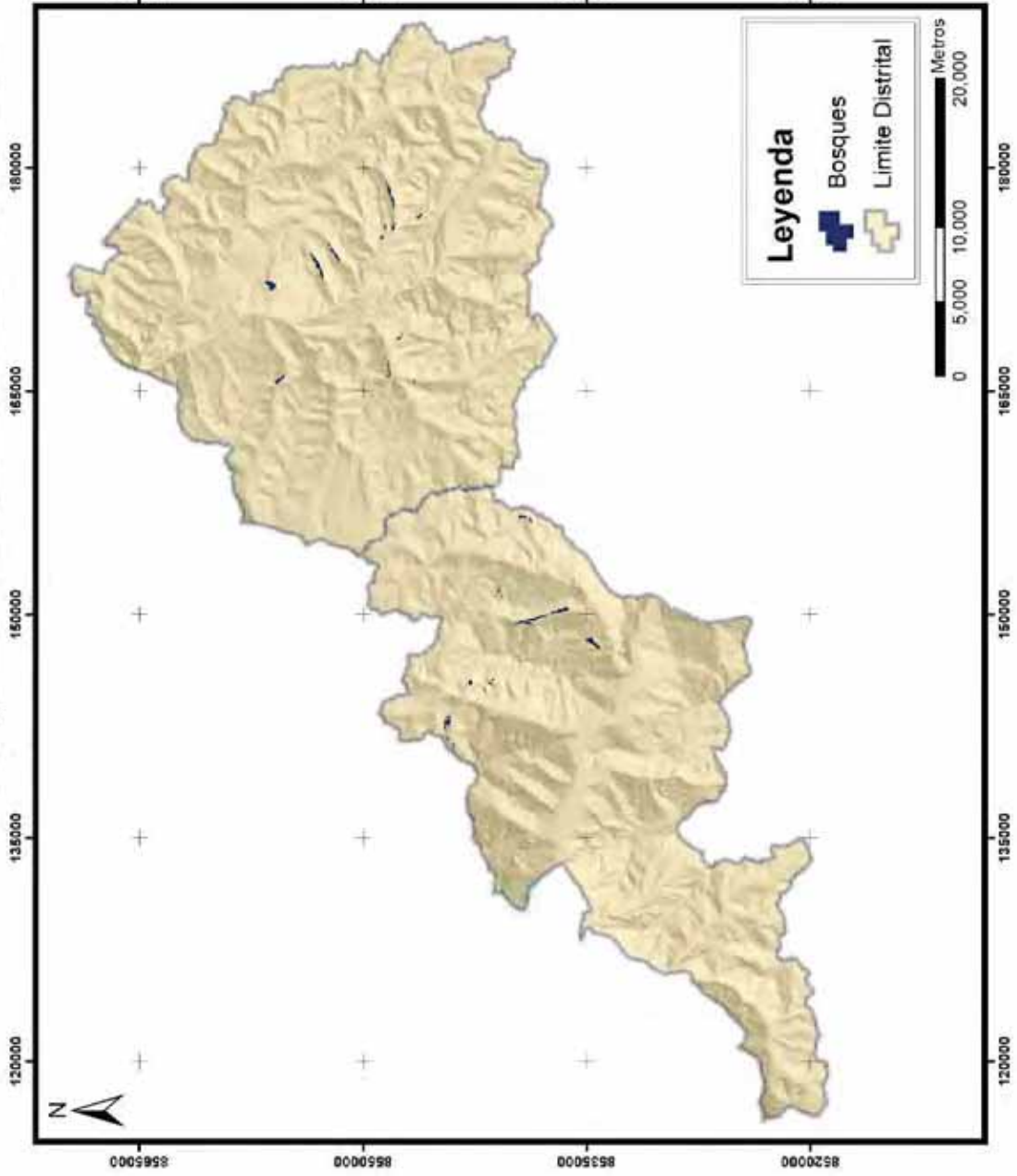
EL ALUMNO DE TECNICAS DE ANALISIS ESPACIAL Y SIG EN EL PREGRADO EN INGENIERIA AMBIENTAL Y EN INGENIERIA EN SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA, EN LA ESPECIALIDAD DE SIG DEL CUSCO, PRESENTA EL TRABAJO DE INVESTIGACION: BOSQUES ALTOANDINOS - AÑO 2010

Alumno: [Nombre] Matrícula: [Número]
 Asesor: [Nombre] Matrícula: [Número]
 Fecha de Entrega: [Fecha] Fecha de Defensa: [Fecha]

06

Mapa 8: cobertura de Bosques Altoandinos – Año 2017

BOSQUES ALTOANDINOS - AÑO 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
 CUSCO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE BOSQUES
 PLAN DE ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN DE BOSQUES ALTOANDINOS
 TÍTULO: BOSQUES ALTOANDINOS - AÑO 2017

07

4.2. TASAS DE DEFORESTACIÓN DE LOS BOSQUES ALTOANDINOS EN LOS DISTRITOS DE LARES Y OLLANTAYTAMBO ENTRE LOS AÑOS 1990 Y 2017

4.2.1 Tasas de deforestación de Bosques altoandinos

Tabla 6: Tasas de deforestación de 10 años

Periodo	Tasa de deforestación (ha/año)	LARES (ha/año)	OLLANTAYTAMBO (ha/año)
1990 – 2000	1.58 ha/año	0.73	0.85
2000 – 2010	1.97 ha/año	0.83	1.14
2010 – 2017	10.6 ha/año	4.57	6.03
1990 - 2017	4.06 ha/año	1.55	2.51

El cuadro anterior muestra las tasas de deforestación anual de bosques altoandinos ubicados sobre la Cordillera Urubamba en los distritos de Lares y Ollantaytambo, se puede apreciar la variación que tienen dichos valores a lo largo de los 27 años, observándose el nivel más bajo en el periodo entre los años 1990 – 2000, y contrariamente el periodo más activo de deforestación en la última década entre los años 2000 – 2017. También se muestra la tasa de deforestación total para los 27 años, que viene a ser de 4.06 hectáreas por año.

En base a la tasa de deforestación calculada, se procede a determinar el porcentaje deforestado o de pérdida de bosques en base a los datos reales obtenidos, los cuales son detallados en el cuadro siguiente


Tabla 7: porcentaje de deforestación, en periodos de 10 años

Periodo	Deforestación (%)		Intervalo de años
	Lares	Ollantaytambo	
1990 – 2000	3.18%	5.06%	10 años
2000 – 2010	4.95%	6.37%	
2010 – 2017	18.23%	24.39%	7 años

Los porcentajes mostrados en el cuadro anterior vienen a ser datos reales y pueden ser comparados con los resultados del módulo “CROSSTAB” del software Terrset, que no vienen a ser datos reales, sino proyectados, los cuales se muestran a continuación:

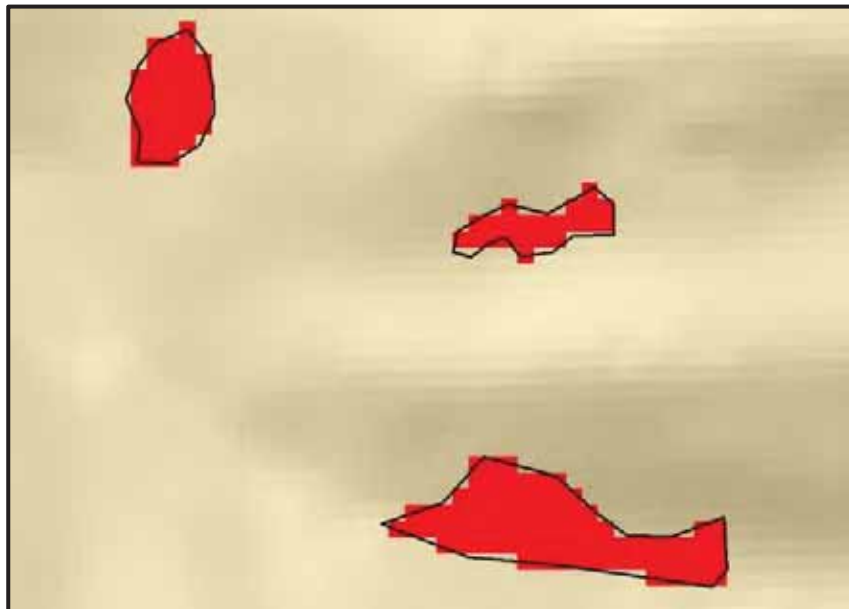
Proportional Crosstabulation

		año 1990		
		0	1	Total
año 2000	0	0.0042	0.0000	0.0042
	1	0.0000	0.9580	0.9580
Total		0.0042	0.9580	1.0000

Porcentaje de permanencia


Se aprecia como resultado del Crosstab, un porcentaje de permanencia entre el año 1990 y 2000 es del 95.8%, es decir, un porcentaje de pérdida del 4.2%, valor muy similar a los 4.12% obtenido en el procedimiento anterior, la diferencia existe debido a que el “Crosstab” trabaja el porcentaje de cambio en base a píxeles.


Captura de pantalla de proceso de vectorización de los píxeles



La tabla 8 muestra el porcentaje de deforestación calculado en base a polígonos (líneas negras) y el crosstab realiza el análisis de datos en base a rasters o píxeles (color rojo), por eso existe una diferencia en los resultados.

Proportional Crosstabulation


		<u>año 2000</u>		
		0	1	Total
<u>año 2010</u>	0	0.0054	0.0000	0.0054
	1	0.0000	0.9460	0.9460
Total		0.0054	0.9460	1.0000


 Porcentaje de permanencia

El porcentaje de permanencia entre los años 2000 y 2010 es del 94.6%, por tal motivo el porcentaje de pérdida será del 5.4%, lo que indica que en ese intervalo de años se tendrá una pérdida total de bosques del 5.4% a diferencia del valor observado de 5.16%, lo que nos indica que no existe diferencia significativa entre uno y otro método.

Proportional Crosstabulation

		<u>año 2010</u>		
		0	1	Total
<u>año 2017</u>	0	0.2210	0.0000	0.2210
	1	0.0000	0.7790	0.7790
Total		0.2210	0.7790	1.0000


 Porcentaje de permanencia

El porcentaje de permanencia entre los años 2010 y 2017 es del 77.9%, por tal motivo el porcentaje de pérdida será del 22.1%, teniendo como resultado del proceso de vectorización un 21.31%, lo que nos indica que en el intervalo de 7 años entre el 2010 y 2017 se perdieron un total del 21.31% de bosques, demostrando una vez mas un alto grado de credibilidad del modelo markoviano.

Los datos mostrados anteriormente fueron resultado del análisis conjunto realizado para los distritos de Lares y Ollantaytambo, pero los resultados posteriores se realizó el análisis para cada unos de los distritos.

4.3. MODELADO PREDICTIVO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE BOQUES AL AÑO 2040

La estimación de valores para el año 2040, se calculó utilizando el modelo matemático denominado Cadenas de Markov, integrado en el Software TERRSET, estos datos se expresan en matrices de transición, que indicara los valores estimados expresados en porcentaje de permanencia, porcentaje de pérdida y/o ganancia.

Matriz de transición: Proyección para el año 2010, en base a 1990 y 2000.

Lares

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.9306	0.0694
Class 2 :	0.0005	0.9995

Ollantaytambo

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.9109	0.0891
Class 2 :	0.0001	0.9991

Donde: Class 1: bosque, Class 2: Sin bosque

Esta matriz para el distrito de Lares indica que el valor estimado de permanencia (en porcentaje) de bosques para el año 2010 es del 93.06%, por lo tanto, el porcentaje de pérdida de bosques es del 6.94%. De la misma manera para el distrito de Ollantaytambo se tiene un porcentaje de permanencia de 91.09%, entonces el porcentaje de pérdida de bosques es de 8.91%.

Lares

Valor estimado	Valor observado	diferencia
6.94%	4.95%	1.99

Ollantaytambo

Valor estimado	Valor observado	diferencia
8.91%	6.37%	2.54

En este caso, la diferencia entre el valor estimado y el observado para ambos casos viene a ser de 1.99 y 2.54, ambos valores menores a 5, lo cual demuestra que no hay una diferencia significativa entre el valor estimado y el observado.

Matriz de transición: Proyección para el año 2017, en base a 2000 y 2010

Lares

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.7826	0.2174
Class 2 :	0.0005	0.9995

Ollantaytambo

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.7106	0.2894
Class 2 :	0.0001	0.9999

Donde: Class 1: bosque, Class 2: Sin bosque

Esta matriz indica que el valor estimado de permanencia (en porcentaje) de bosques para el año 2017 en el distrito de Lares es del 78.26%, por tanto, el porcentaje de pérdida de bosques es del 21.74%. de la misma manera para el distrito de Ollantaytambo, se tiene un porcentaje de permanencia de bosques del 71.06%, teniendo por consiguiente un valor de pérdida de bosques es del 28.9%

Lares

Valor estimado	Valor observado	diferencia
21.74%	18.23%	3.51

Ollantaytambo

Valor estimado	Valor observado	diferencia
28.94%	24.39%	4.55

En este caso, la diferencia entre el valor estimado y el observado para ambos casos viene a ser de 3.51 y 4.55, ambos valores menores a 5, lo cual demuestra que no hay una diferencia significativa entre el valor estimado y el observado.

Revisadas todas las matrices anteriores, llegamos a la conclusión que el Modelo utilizado para estimar los valores futuros para los bosques altoandinos, tienen un alto grado de confianza, dado que en todos los casos la diferencia entre los valores estimados y los observados son menores o iguales al 5%, valor que indica la no existencia de una diferencia significativa que podría quitarle veracidad al modelo

Por consiguiente, se procedió a calcular los valores estimados para el año 2040, usando datos anteriores, generando las matrices de transición para tales años y posteriormente expresadas en imágenes.

Matriz de transición: Proyección para el año 2040, en base a los años 1990 y 2010.

Lares

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.5730	0.4270
Class 2 :	0.0003	0.9997

Ollantaytambo

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.4810	0.5190
Class 2 :	0.0003	0.9997

Donde: Class 1: bosque, Class 2: Sin bosque

Los datos obtenidos en esta matriz indican que para el año 2040 en el distrito de Lares, habrá un 57.3% de permanencia de cobertura de bosques, por consiguiente,

se habrá perdido un total de 42.7% de bosques altoandinos en comparación con lo existente en el año 2010.

Para el año 2040 en el distrito de Ollantaytambo, habrá un 48.1% de permanencia de bosques, por consiguiente, se tiene una pérdida de 51.9% de bosques

Entonces para el año 2040 se calculó una superficie aproximada de **86.75** hectáreas de cobertura de bosques para Lares y **58.97** hectáreas para Ollantaytambo.

Matriz de transición: Proyección para el año 2040, en base a años 2000 y 2017

<u>Lares</u>		
	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.5600	0.4400
Class 2 :	0.0000	1.0000

<u>Ollantaytambo</u>		
	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.4700	0.5300
Class 2 :	0.0000	1.0000

Donde: Class 1: bosque, Class 2: Sin bosque

Los datos obtenidos en esta matriz indican que para el año 2040, habrá un 56.0% de permanencia de cobertura de bosques para el distrito de Lares, por consiguiente, se habrá perdido un 44.0% de bosques y para el distrito de Ollantaytambo se tiene un porcentaje de permanencia de bosques de 47%. Lo que representa se habrá perdido un 53% de la cobertura de bosques respecto al año 2017.

Entonces, viendo los resultados anteriores, se determinó que para el año 2040 se tendrá una superficie aproximada de 84.78 hectáreas cubiertas por bosques para el distrito de Lares y 57.62 hectáreas de bosques para Ollantaytambo.

Matriz de transición: Proyección para el año 2040, en base a años 1990 y 2017

Lares

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.5520	0.4480
Class 2 :	0.0000	1.0000

Ollantaytambo

	Cl. 1	Cl. 2
Class 1 :	0.5070	0.4930
Class 2 :	0.0000	1.0000

Los datos obtenidos en esta matriz indican que para el año 2040, habrá un 55.2% de permanencia de cobertura de bosques, por consiguiente, se habrá perdido un total de 44.8% de bosques en comparación con lo existente en el año 2017 para el distrito de Lares, de la misma manera para el Distrito de Ollantaytambo se tiene un porcentaje de permanencia del 50.7% teniendo como porcentaje de pérdida un 49.3% respecto al año 2017.

Entonces, viendo los resultados anteriores, se determinó que para el año 2040 se tendrá una superficie aproximada de 83.57 hectáreas cubiertas por bosques altoandinos en el distrito de Lares y 62.16 hectáreas para el distrito de Ollantaytambo.

Los resultados finales se muestran en la siguiente tabla:

Año	intervalo	Área (Ha) Lares	Área (Ha) Ollantaytambo	Promedio Lares	Promedio Ollantaytambo
2040	1990 – 2010 (20 años)	86.75 Ha	58.97 Ha	85.03 Ha	59.58 Ha
	2000 – 2017 (17 años)	84.78 Ha	57.62 Ha		
	1990 – 2017 (27 años)	83.57 Ha	62.16 Ha		

Viendo el cuadro anterior, se observa que los resultados de la predicción de la superficie de bosques para el año 2040 varía para cada intervalo de tiempo utilizado, en el intervalo de tiempo más corto y próximo, muestra un valor menor, y contrariamente para el intervalo de tiempo más amplio el valor es mayor, por tal motivo se calculó el promedio entre los 3 valores obtenidos, teniendo como resultado un total de 85.03 hectáreas de bosque para el distrito de Lares y 59.58 hectáreas para el distrito de Ollantaytambo, ambos datos para el año 2040.

DISCUCIÓN

Acasi. (2015); realizó el Análisis multitemporal de la cobertura glaciaria en la Cordillera Urubamba, utilizando métodos de análisis espacial y modelado predictivo, determinando los escenarios futuros de la cobertura de glaciares para los años 2020 y 2030 utilizando una metodología similar a la del presente trabajo, mediante la aplicación de modelos de Markov, logrando comprobar la validez del modelo, en la misma manera que se realizó en el presente trabajo.

García Fernández M. (2015) en el trabajo de tesis titulado Evolución temporal de la vegetación en el Sahel mediante el NDVI y su relación con la precipitación en el periodo 1983-2012, donde Los modelos ocultos de Markov ofrecen la posibilidad de incorporar en la estructura del modelo utilizado información a priori sobre la dinámica del tipo de vegetación que se quiere modelizar, permitiendo así el desarrollo de modelos específicos para distintos tipos de vegetación y que estén adaptados a las condiciones ambientales locales. En este trabajo se utilizó las cadenas de Markov, pero aplicado a un estudio ambiental que tiene que ver con el clima y las precipitaciones, demostrándose de esta manera la gran funcionalidad que tienen estos modelos.

Jorge Tamayo (1994) en su trabajo de Tesis denominado “Análisis de series de datos de teledetección de índices de vegetación”, indica que la vegetación y su evolución y variaciones interanuales se analizan a partir del ndvi determinado a partir de los datos suministrados por los satélites noaa-9 y noaa-11, en este trabajo se utilizó el módulo Crosstab del Software Idrisi, para realizar el análisis de la serie de datos a partir de la aplicación de los índices de vegetación y mediante la herramienta Crosstab que fue aplicada de manera muy distinta a la de la presente tesis, principalmente utilizando intervalos de tiempo variables, siendo mejor utilizar intervalos de tiempo fijos para un mejor análisis de los resultados.

CONCLUSIONES

1. Las áreas cubiertas por estos bosques altoandinos, para el año 1990 se calcularon un total de 232.38 ha en el distrito de Lares y 151.32 ha para Ollantaytambo, para el año 2000 se calcularon 219.70 ha para Lares y 148.20 ha para Ollantaytambo, para el año 2010 un total de 206.90 ha para Lares y 141.3 para Ollantaytambo y para el año 2017 un total de 151.4 ha para Lares y 122.6Ha para Ollantaytambo, con esto se determinó que a lo largo de más de 25 años, la superficie de bosques altoandinos fueron disminuyendo a un ritmo muy lento, pero en la última década se vio una disminución considerable, dado que entre los años 1990 y 2000 se tiene una disminución en promedio para los 2 distritos fue de 1.58 Ha/año que representa un 4.12% de disminución, valores similares de calcularon entre los años 2000 y 2010 con una disminución del 5.16%, pero el valor más alto se determinó para los años 2010 y 2017, donde se tuvo una considerable disminución de 10.6 Ha/año, que representa un 21.31% de pérdida de bosques, y haciendo una comparativa entre los 2 distritos, Lares tiene mayor cobertura de Bosques y a la vez una menor pérdida de estos, al contrario que Ollantaytambo, que presenta una menor cobertura de Bosques y un mayor porcentaje de pérdida, siendo el distrito de Ollantaytambo el que presenta la mayor pérdida de bosques.
2. Las tasas de deforestación se presentan de manera variable en los intervalos de tiempo, tal es el caso que entre los años 1990 y 2000 se tiene una deforestación de 0.73 ha por año para el distrito de Lares y 0.85 ha por año para Ollantaytambo, la deforestación entre los años 2000 y 2010 viene a ser de 0.83 ha por año en Lares y de 1.14 ha por año en Ollantaytambo, siendo los valores similares en durante este periodo de 20 años, pero para los años 2010 al 2017 la deforestación incremento considerablemente a 4.57 ha por año en Lares y 6.03 ha por año para Ollantaytambo, toda esta serie de datos servirá para realizar una proyección de los datos de cobertura de bosques para el año 2040 en los distritos de Lares y Ollantaytambo.
3. Para el año 2040, se tendrá una cobertura de bosques altoandinos de 149.14 hectáreas, que, comparándolo con los datos de la última evaluación del año 2017, que son 274 hectáreas, se tendrá una disminución aproximada de 125 ha.

RECOMENDACIONES

1. La teledetección debe aplicarse con mayor frecuencia en los estudios ambientales dado que tiene muchas aplicaciones para facilitar el el trabajo de campo en investigaciones de campo.
2. Para estudios que impliquen el uso de la teledetección, es recomendable utilizar las imágenes Sentinel 2, dado que estas imágenes tienen una mayor y mejor resolución y están disponibles en forma gratuita desde el año 2015.
3. Se debe ampliar los temas de investigación en cobertura vegetal enfocando el trabajo en la distribución de esta, así como en las causas de la variación del área total, enfocando el trabajo desde un tema socioambiental.

Bibliografía

- Acasi Zereceda, D. J. (2015). *Análisis Multitemporal y Generación de Escenarios Porspectivos de la Cobertura Nival, en la Cordillera Urubamba - Cusco*. Cusco - Perú: Tesis para Optar al Título Profesional de Biólogo - UNSAAC.
- Aguilar, O. (1998). *Evaluación Forestal del Bosque de Polylepis spp. Mantamay - Yanahuara (Urubamba)*. Cusco - Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Alatorre, L. C., Beguería, S., & Vicente-Serrano, S. M. (2010). ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL NDVI SOBRE ÁREAS VEGETADAS Y ZONAS DE RIESGO DE EROSIÓN EN EL PIRINEO CENTRAL. *Pirineos.Revista de Ecología de Montaña*, 165, 7-27.
- Ambiente, M. d. (2014). *PERÚ, REINO DE BOSQUES*. Lima - Perú: Etiqueta Negra.
- Bakker, W. H., & Jansen, L. F. (2001). *Principles of Remote Sensing*. Amsterdam: The Netherlands: ITC.
- Bergasa, L. M. (2009). *Introducción a los Modelos Ocultos de Markov*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.
- Cabido, M., & Acosta, A. (1985). *Estudio Fitosociológico en bosque de Polylepis australis Bitter ("Tabaquillo") en las sierras de Córdoba*. Documents phytosociologiques NS.
- Chuvieco, E. (1995). *FUNDAMENTOS DE TELEDETECCION ESPACIAL*. Madrid: Ediciones RIALP S.A.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental - La observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona - España: Ed. Ariel ciencia.
- Clarck Labs. (2003). *IDRISI Kilimanjaro, Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes (Vol. Manual Version 14.00)*. Worcester - USA: Idrisi Production.
- Díaz García-Cervigón,, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura*

de precisión. Madrid - España: Universidad Complutense de Madrid - Facultad de Geografía e Historia.

- ECOAN. (2002). *Proyecto de Reserva Comunal de los Bosques de Polylepis de la Cordillera de Vilcanota*. Cusco - Perú.
- Fernández Coppel, I. A. (2004). *EL SATELITE LANDSAT, ANALISIS VISUAL DE IMÁGENES OBTENIDAS DEL SENSOR ETM+ SATELITE LANDSAT*. VALLADOLID: Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
- Fuller, D. O. (1998). Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in Senegal, 1987–1993. *International Journal of Remote Sensing*, 19:203-218.
- Galiano, W. (1990). *The flora of Yanacocha a tropical high-andean forest in Southern Peru, Tesis para optar al grado de Master en Ciencias*. St. Luis, USA.: University of Missouri.
- Garcia Mateo, R. (2008). *Modelos predictivos de riqueza y diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Gosling, W. D., Hanselman, J. A., & Knox, C. (2009). Long term drivers of change in Polylepis woodland distribution in the central Andes. *Journal of Vegetation Science*, 1041-1052.
- Hoch, G., & Korner, C. (2005). *Growth, demography and carbon relations of Polylepis trees at the world's highest treeline*. Functional Ecology.
- Hurtado Corimanya, L. B. (2014). *Análisis de Heterogeneidad Ambiental a pequeña Escala y el Patron Espacial de Polylepis sp. en el Área de Conservación Privada Mantamay, Urubamba - Cusco*. Cusco: UNSAAC.
- Kessler, M. (2006). *Bosque de Polylepis. Botánica Económica de los Andes Centrales*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.

- Lasanta, T., & Vicente-Serrano, S. (2006). Factores en la variabilidad espacial de los cambios en la cubierta vegetal en el Pirineo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 32: 57-80.
- Marrocco, R. (1978). *Estudio Geológico de la Región entre Cusco y Machupicchu*. Paris: Inst. Fr. Etudes Andines III.
- Mendoza, W. (2010). *Taxonomía y Distribución de las especies peruanas de Polylepis (Rosaceae, Magnoliopsida)*. Lima-Perú: Tesis para optar al grado de Master en Ciencias. Universidad Mayor de San Marcos.
- Mendoza, W., & Cano, A. (2012). *El género Polylepis en el Perú: Taxonomía, morfología y distribución*. Saarbtücken. Alemania: Editorial Académica Española.
- NatureServe. (2009). *SISTEMAS ECOLÓGICOS DE LOS ANDES DEL NORTE Y CENTRO: BOLIVIA, COLOMBIA, ECUADOR, PERU Y VENEZUELA*. Arlington: NatureServe Central Databases.
- Ormeño Villajos, S. (2006). *TELEDETECCION FUNDAMENTAL, 3º edición*. Universidad Politécnica - Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Pinilla, C. (1995). Elementos de Teledetección. *Asociación Española de Teledetección*, 213pp.
- Servat, G., Mendoza, W., & Ochoa, J. (2002). *Flora y Fauna de cuatro bosques de Polylepis (Rosaceae) en la Cordillera del Vilcanota*. Cusco, Perú: Ecología Aplicada.
- Simpson, B. (1979). *A revision of the Genus Polylepis (Rosaceae: Sanguisorbeae)*. Smithsonian Contributions to Botany.
- Tupayachi, A. (2005). *Evaluación de los bosques altoandinos de Polylepis (Rosaceae) del Valle Sagrado de los Inkas para una propuesta de Área de Conservación Regional. Tesis de Maestría en Ecología y Recursos Naturales*. Cusco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusca.

- UEGPS, M. d. (2018). *MANUAL TÉCNICO - METODOLOGÍA PARA LA CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES*. Lima - Perú: ESERGRAF.
- Velasco Linares, P., & Vargas, O. (2011). *PROBLEMATICA DE LOS BOSQUES ALTOANDINOS*.
- Zaragoza Ramírez, M. A. (2007). *Contribuciones al estudio de cadenas de Markov finitas mediante computación natural*. UNIVERSITAT DE LLEIDA: Tesis Doctoral.

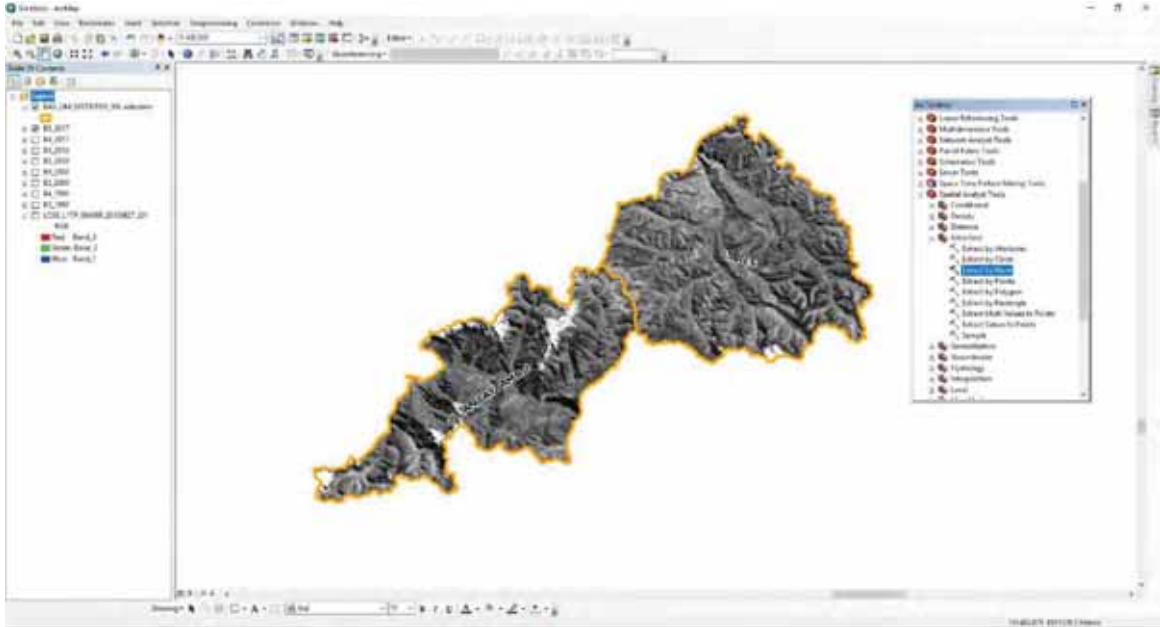
GLOSARIO

BANDA:	rango de frecuencias del espectro electromagnético, por ejemplo, la banda 1 del sensor TM se define en el rango 0.45-0.52 m
CELDA:	elemento básico de información en una estructura <i>raster</i> matricial representa el valor medio de un área rectangular superpuesta al terreno (es un concepto análogo al de <i>pixel</i> en una imagen digital)
CARTOGRAFIA:	conjunto de técnicas utilizadas para la construcción de mapas ciencia que se encarga del estudio y de la elaboración de los mapas geográficos, territoriales y de diferentes dimensiones lineales y demás
DIGITALIZAR:	operación de codificar la información en cifras la digitalización se aplica habitualmente a la codificación de la información gráfica (mapas y planos convencionales) pero puede ser aplicada con propiedad a todo tipo de información para la construcción de bases de datos digitales
GPS:	<i>global positioning system</i> , o sistema de localización global hace referencia a un sistema mediante el cual es posible estimar las coordenadas actuales de una estación en tierra mediante la recepción simultánea de señales emitidas por varios satélites (llamados en conjunto <i>constelación GPS</i>)
PIXEL:	cada elemento discreto en los que se divide una imagen digital tecnicismo de origen inglés que procede de <i>picture element</i> .
PROYECCIÓN:	conjunto de transformaciones métricas definidas para representar la superficie de la Tierra sobre un plano
RASTER:	modelo de datos en el que la realidad se representa mediante pixeles(celdas) elementales que forman un mosaico regular

TELEDETECCIÓN:	proceso de captura de información a distancia, sin contacto entre el aparato de medida y el objeto se aplica habitualmente en un sentido más restringido a las imágenes o datos captados mediante sensores
TIN:	estructura vectorial usada para construir modelos digitales del terreno. TIN son las siglas de <i>triangulated irregular network</i> ; se trata de una estructura de datos que representa el relieve mediante una red irregular de triángulos adosada al terreno, sin solapamientos y donde cada vértice se define por sus coordenadas espaciales (x,y,z)
TOPOGRAFÍA:	descripción de las formas del terreno (territorio) es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre
VECTORIAL:	modelo de datos en el que la realidad se representa mediante vectores o estructuras de vectores se trata de un modelo de datos basado en objetos (geométricos) frente al modelo <i>raster</i> , basado en localizaciones
VECTORIZAR:	transformación de una estructura raster en una vectorial suele aplicarse a la operación de “rescatar” líneas a partir de documentos escaneados (mapas o planos)
OMBROCLIMA	Parte del clima que se refiere a las lluvias o precipitaciones. La cantidad de lluvia que cae e una localidad se expresa en mm (litros por metro cuadrado)

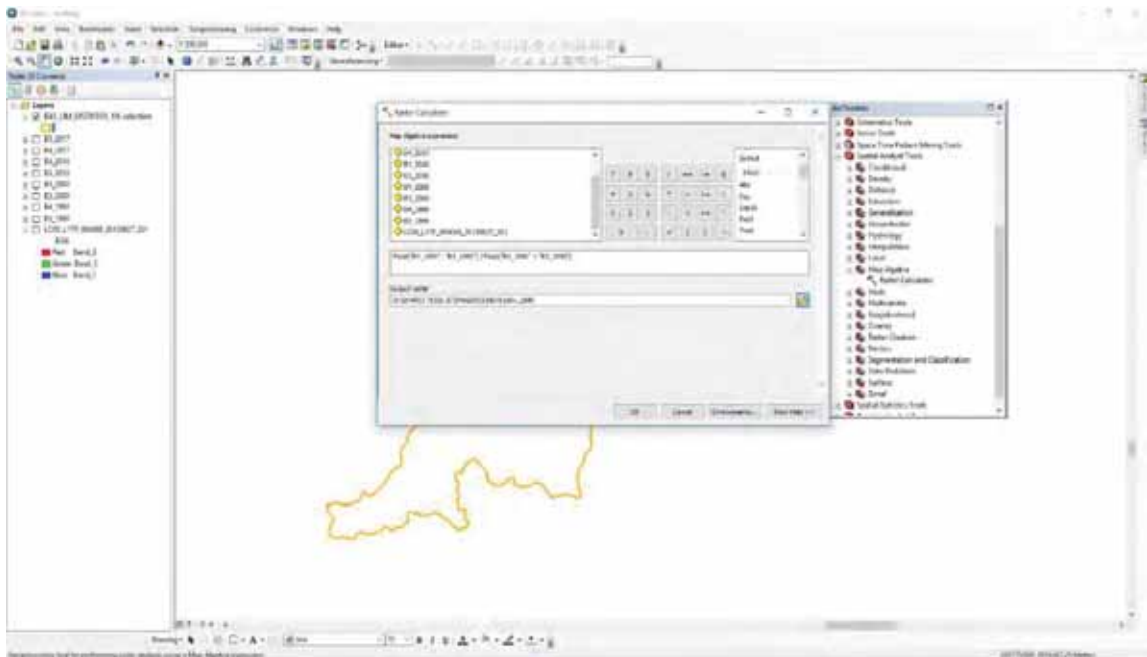
ANEXOS

ANEXO I
HERRAMIENTAS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS
Generación del mapa base

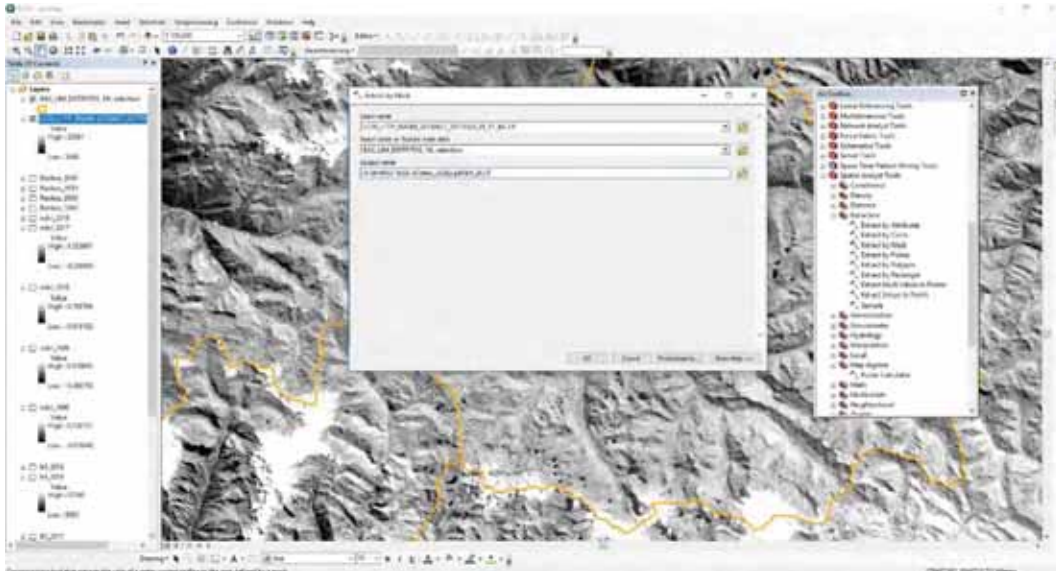


El mapa base se generó utilizando los límites de los distritos de Lares y Ollantaytambo, y en base a estos límites, se hizo el corte de las imágenes satelitales.

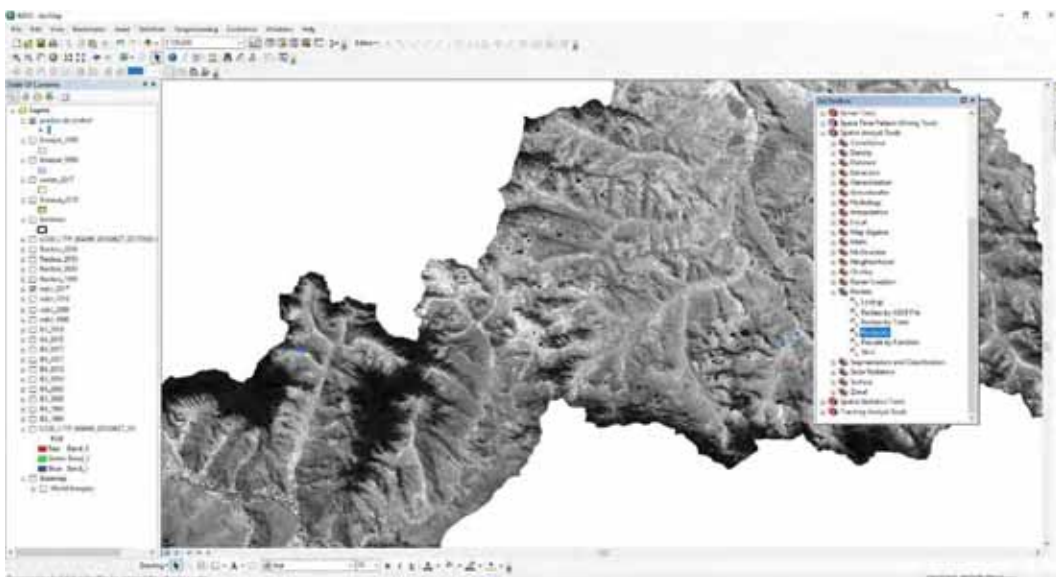
Calculo del NDVI en el software ArcGIS



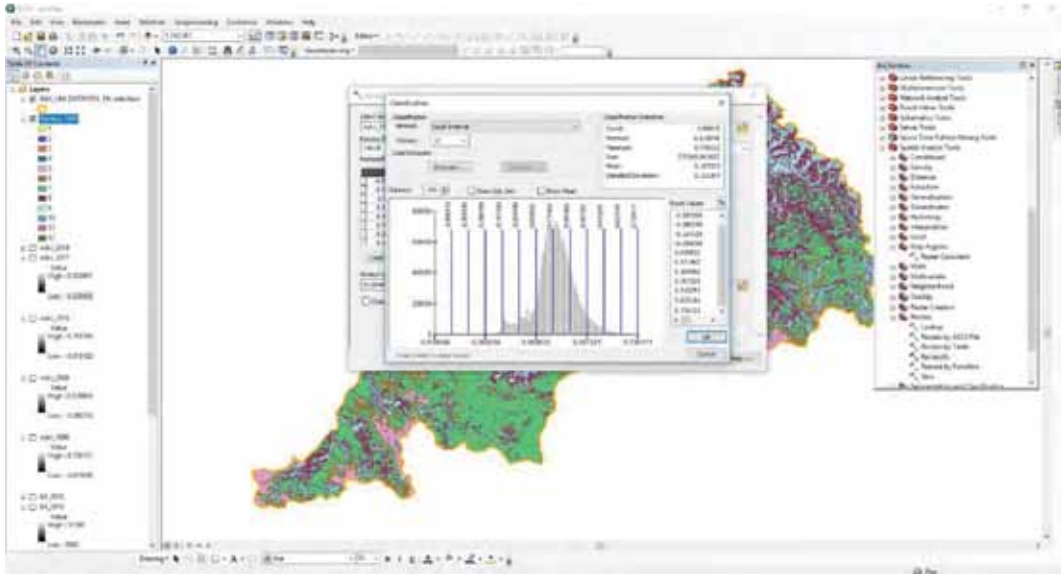
Extrayendo el NDVI en torno al mapa base



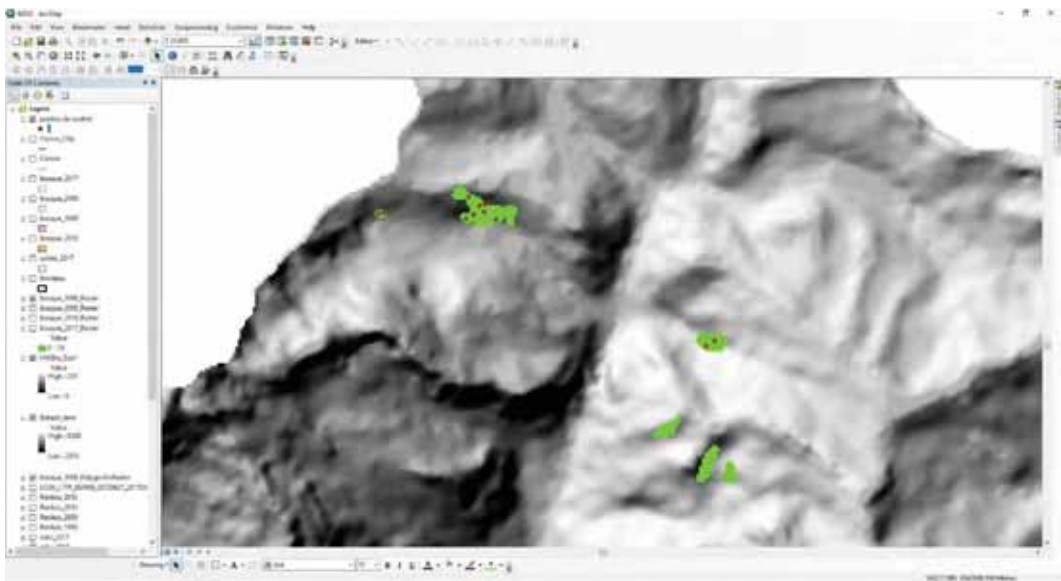
Ruta de acceso a la herramienta Reclassify



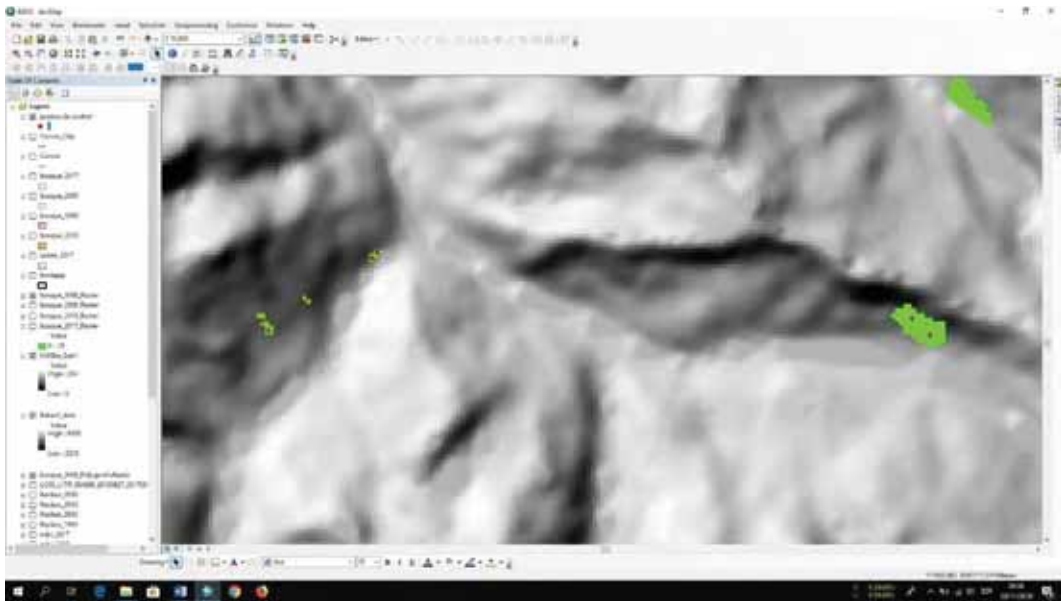
Reclasificación del NDVI en valores entre 0.55 y 0.74



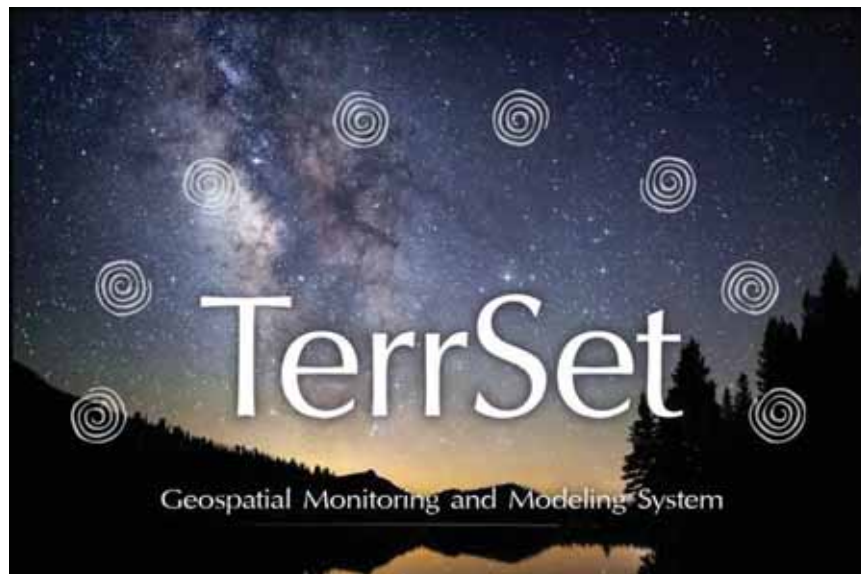
Superposición de puntos sobre los pixeles seleccionados del NDVI



Superposición de puntos sobre los pixeles seleccionados del NDVI

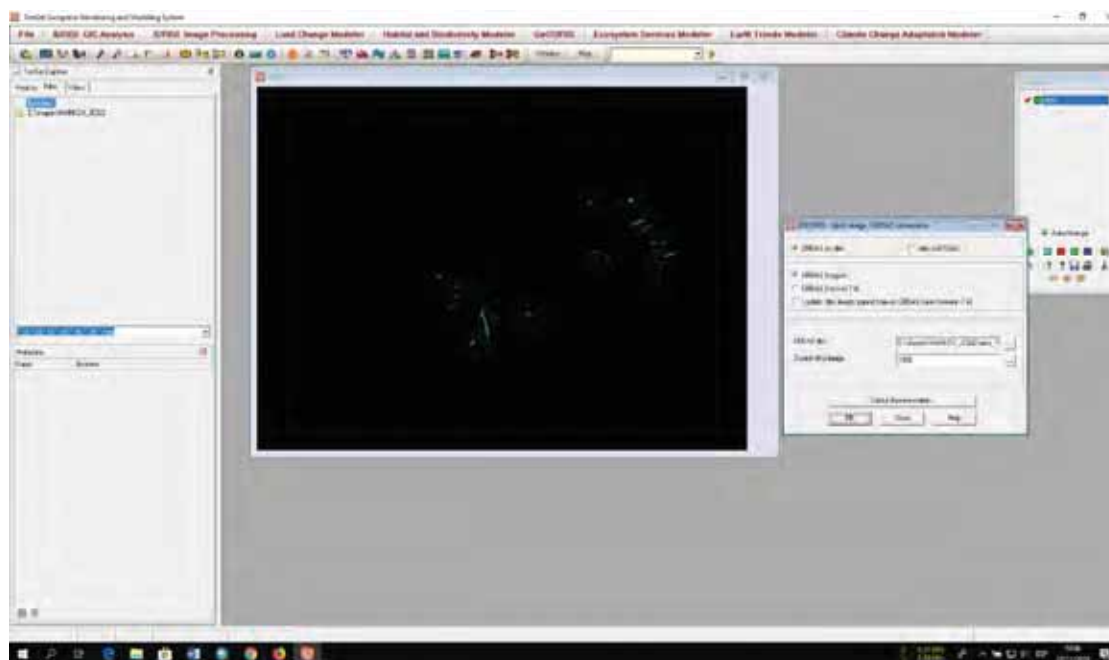


Carátula y primera página del software TerrSet

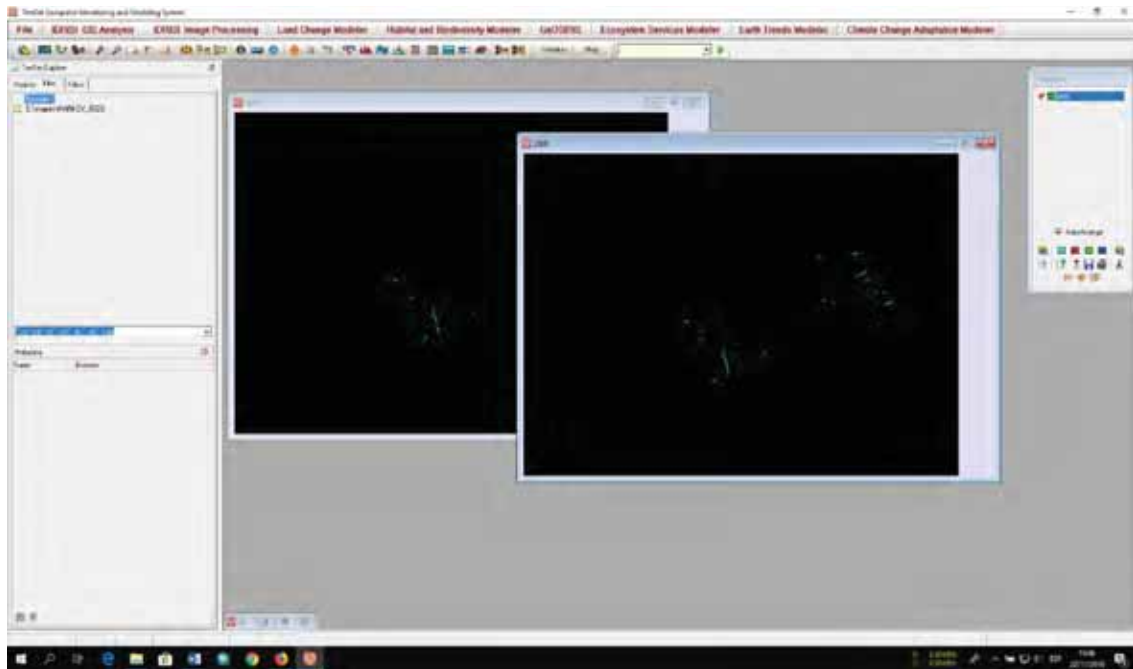




Agregando los rasters al software TerrSet

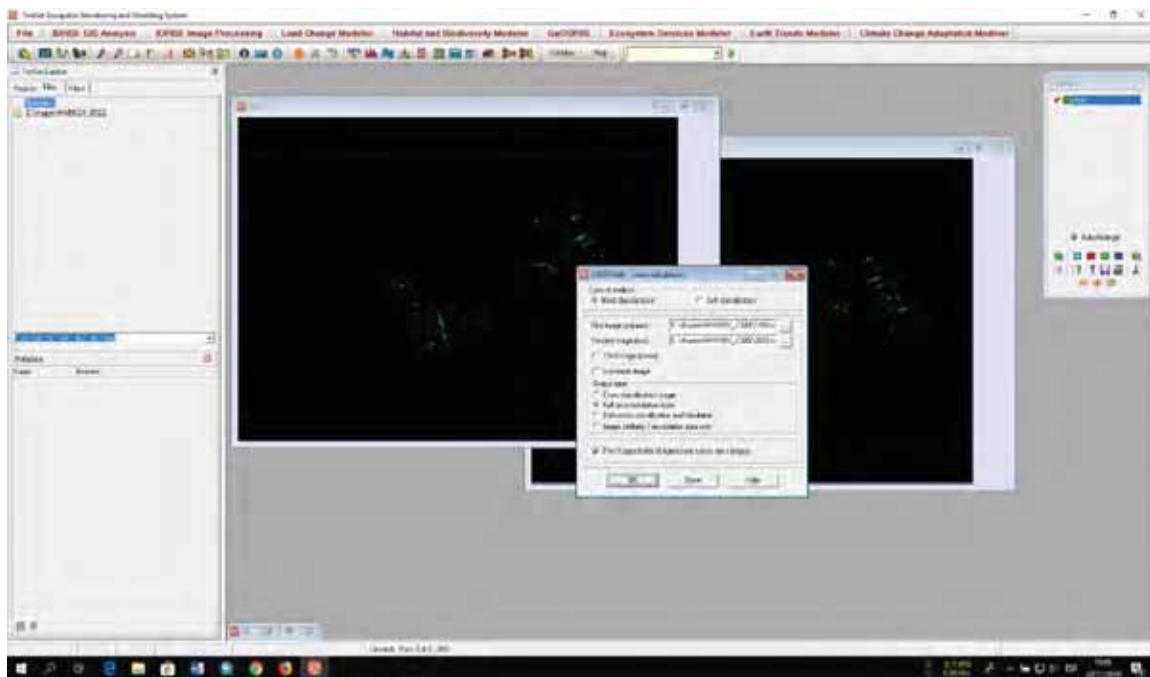


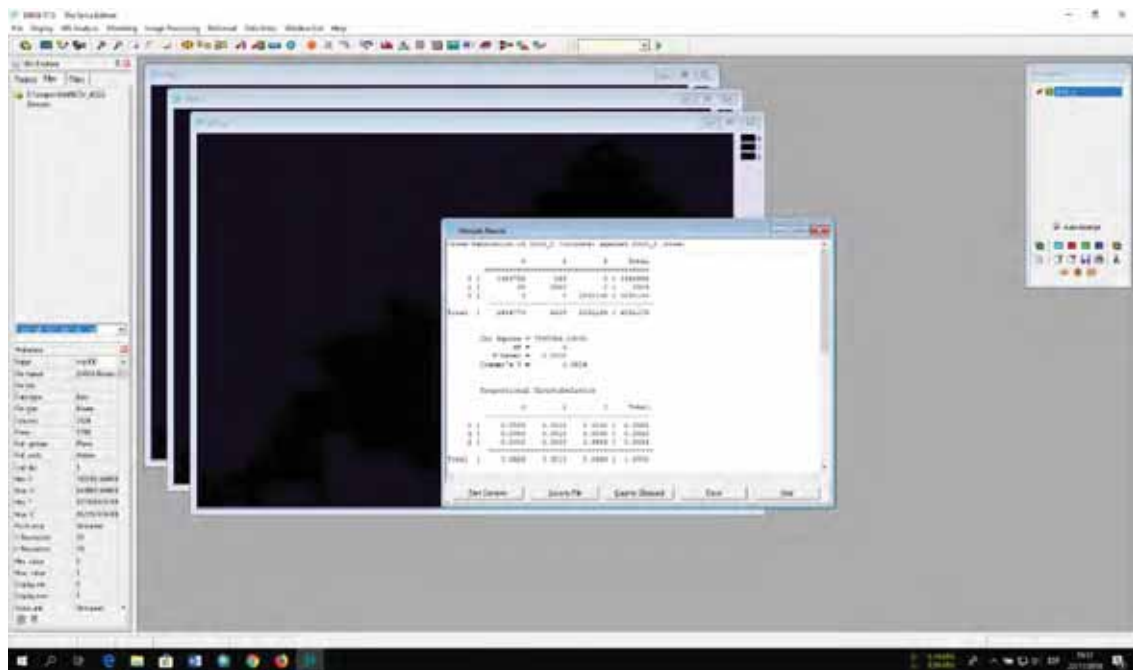
Se muestra el raster de la cobertura de bosques altoandinos agregado al software Terrset, para proceder a realizar el cálculo de la pérdida y/o ganancia de bosques a través de una matriz de transición

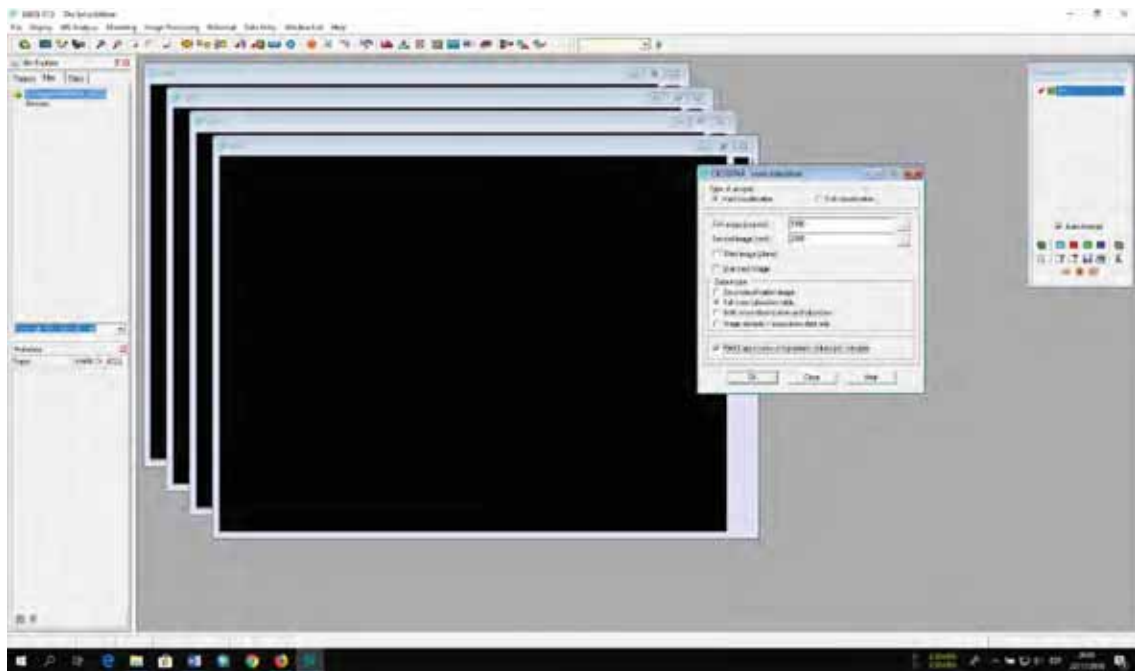


Rasters de bosques altoandinos agregados al software Terrset para generar la matriz de transición o matriz de cambios para ambos años

Generación de la matriz de transición en el software TerrSet







Las dos imágenes anteriores muestran la matriz de transición generada en el software Terrset, la cual permitirá calcular el porcentaje de cambios ocurridos en los bosques altoandinos

Anexo II

TRABAJO DE CAMPO





Trabajos de toma de datos en campo, observando las especies y comparando los datos con los generados en las imágenes satelitales – Comunidad Kishuarani Lares





Toma de datos de campo en el sector de Ollantaytambo, camino a Abra Málaga



Entrada al área de Conservación privada Abra Málaga



Comunidad de Pampacorral Lares

Anexo III

ESPECIES ENCONTRADAS



Buddleja sp.



Baccharis sp.



Polylepis sp.



Escallonia sp.



Brachiotum sp.



Bacharis Sp.



Lycianthes sp.



Barnadesia horrida



Polylepis sp.



Gynopsis longifolia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

• APARTADO POSTAL
N° 921 - Cusco - Perú

• FAX: 238156 - 238173 - 222512

• RECTORADO

Calle Tigre N° 127
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398

• CIUDAD UNIVERSITARIA

Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 -
222512 - 232370 - 232375 - 232226

• CENTRAL TELEFÓNICA: 232398 - 252210
243835 - 243836 - 243837 - 243838

• LOCAL CENTRAL

Plaza de Armas s/n
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015

• MUSEO INKA

Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380

• CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA

San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246

• COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"

Av. De la Cultura N° 721
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGIA

Los miembros del jurado de la sustentación del trabajo de tesis intitulado **ANÁLISIS ESPACIAL Y MODELADO PREDICTIVO EN LA DISTRIBUCIÓN DE BOSQUES ALTOANDINOS, EN LOS DISTRITOS DE LARES Y OLLANTAYTAMBO – CUSCO**, acto realizado en el salón de grados de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, por los bachilleres en biología **Roslyn Mario Cáceres Fuentes** y **Julio Cesar Quispe Quispe** con la finalidad de optar el título profesión al de biólogo.

Hacen constar que se cumplió con realizar las correcciones sugeridas, por lo tanto, el trabajo tiene V°B° y puede seguir con los tramites correspondiente.


MGT. ISABEL RODRÍGUEZ
SÁNCHEZ
Primer replicante


BLGA. MARÍA LUISA OCHOA
CAMARA
Segunda replicante


BLGO. PERCY YANQUE
YUCRA
Primer dictaminante


BLGO. JOSE BUFEMIO
YABARRENA URDAY
Segundo dictaminante