

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Metodología para la cartografía de
bosques del genero *Polylepis*,
aplicando Geomática.**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Adolfo Aquilino Mejia Rios

Lima – Perú
2014

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **ADOLFO AQUILINO MEJIA RIOS**, intitulado “**METODOLOGÍA PARA LA CARTOGRAFÍA DE BOSQUES DEL GENERO POLYLEPIS, APLICANDO GEOMÁTICA.**”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de **INGENIERO FORESTAL**.

La Molina, 27 de diciembre de 2013

Ing. Pedro Vásquez Ruesta
Presidente

Ing. Carlos Vargas Salas
Miembro

Ing. Wilfredo Ojeda Ojeda
Miembro

Ing. Victor Barrena Arroyo
Patrocinador

DEDICATORIA

A mis padres, AQUILINO MEJÍA (luchador en la vida) y BEATRIZ RÍOS por enseñarme, a ser humilde, a tener respeto por los demás y ser valiente en momentos de retos y nunca rendirme.

A mis hermanos Isaac, Jaime y Carlos por el amor y la amistad que siempre tendremos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a:

A mi asesor, el ingeniero Víctor Barrena Arroyo por haberme tenido la paciencia y enseñado a crecer intelectualmente, y depositar toda su confianza en mí para poder desarrollar este trabajo.

A mis profesores, Fernando Bulnes, José Luis Marcelo, Kethy Liz Martínez, Carlos Llerena, Rosa María hermosa y en especial al Ing. Carlos Vargas por haberme dado las nociones básicas en aprender teledetección y percepción remota mediante sistemas de información geográfica.

Al todo el personal de la jefatura de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, por el apoyo en las épocas de mis practicas pre-profesionales, sin la cual no hubiera sido posible el nacimiento de la idea para la realización de esta investigación.

Al personal del Contrato de Administración parcial de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, por convertirse en mi familia y ser grandes amigos durante las horas de trabajo.

A mis compañeros de pre-grado, Eduardo, Vanesa, Jorge, Pier, Gianina, Claudia, Daniel, Tony, Miguel y Giselle por los momentos gratos y de discusión que vivimos en las aulas.

A los profesionales John Machaca Centty, Horacio Zeballos Patrón y Jaime Llosa Larrabue por darme las oportunidades laborales que me permitieron acceder a la base de conocimientos tan sólida que me permiten avanzar en la vida.

En general a todos los que contribuyeron indirectamente en la realización de este trabajo.

RESUMEN

Se realiza una propuesta metodológica para la cartografía de bosques del género *Polylepis*. Se determinó la superficie en 2 regiones del Perú (Arequipa y Lima), con una superficie de 90 366,66 ha. Se usaron técnicas combinadas de modelamiento de distribuciones potenciales de especies (MDE), algoritmos probabilísticos (Bioclim, Domain, Garp y Maxent) y la interpretación visual de imágenes satelitales. Se muestra primero el área potencial de distribución del género, luego se define áreas probables con presencia de relictos; para en esas áreas, intensificar la interpretación visual en imágenes satelitales de diferentes fuentes entre ellas Google Earth. Los resultados fueron comparados con las estimaciones realizadas por diferentes instituciones en años anteriores. Estos datos pueden servir como guía en la cartografía de relictos aún existentes en otros espacios, donde se desconoce la verdadera superficie. Los resultados de esta nueva perspectiva metodológica, amplían los conocimientos del género *Polylepis*, con datos más precisos acerca de su superficie y distribución de los relictos. Se ofrece así una herramienta para la cuantificación de hábitats pequeños para los tomadores de decisiones en el manejo sostenible de estos ecosistemas.

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1 ANTECEDENTES	11
2.2 MARCO TEÓRICO	13
2.2.1 Bosques de <i>Polylepis</i>	13
2.2.2 Taxonomía	13
2.2.3 Ecología.....	14
2.2.4 Aprovechamiento actual de los bosques.....	15
2.2.5 Factores que condicionan la ocurrencia de <i>polylepis</i>	17
2.2.6 Modelos de distribución potencial de especies (MDE).....	18
2.2.7 Teledetección	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO	30
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.2.1 Materiales	30
3.2.2 Equipos.....	31
3.2.3 Software.....	31
3.3 METODOLOGÍA.....	31
3.3.1 Recolección de Información	32
3.3.2 Primer Modelamiento	32
3.3.3 Primera Evaluación	37
3.3.4 Interpretación Visual.....	38
3.3.5 Segundo Modelamiento y Segunda Evaluación	39
3.3.6 Análisis Predictivo	40
3.3.7 Validación.....	41
3.3.8 Análisis final	42
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	43
4.2 PRIMER MODELAMIENTO.....	44
4.2.1 Puntos Train	44
4.2.2 Bases de Datos.....	45
4.2.3 Algoritmos y Aplicativos Informáticos.....	49
4.2.4 Modelos de distribución (MDE).....	49
4.3 PRIMERA EVALUACIÓN	50
4.4 INTERPRETACIÓN VISUAL	55
4.5 SEGUNDO MODELAMIENTO Y SEGUNDA EVALUACIÓN	61

4.5.1	Zonas sin cobertura de imágenes de alta resolución	61
4.5.2	MDE "segunda aproximación"	62
4.6	ANÁLISIS PREDICTIVO	66
4.7	VALIDACIÓN DEL MODELO EN CAMPO.	71
4.8	ANÁLISIS FINAL.....	75
4.8.1	Bosques en áreas naturales protegidas	75
4.8.2	Bosques o relictos más grandes	76
4.9	ELABORACION DE LA PROPUESTA METODOLOGICA.....	79
5.	CONCLUSIONES	84
6.	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	86
	ANEXO 1	94
	REGISTROS DE PRESENCIAS DE BOSQUES DE <i>POLYLEPIS</i>	94
	ANEXO 2	97
	LISTA DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 5-TM.	97
	ANEXO 3	98
	LISTA DE MODELOS DE ELEVACIÓN ASTER_GDEM.....	98
	ANEXO 4	100
	RESULTADOS DE PROBABILIDAD PRIMERA EVALUACION.....	100
	ANEXO 5	103
	RESULTADOS DEL ÍNDICE DE KAPPA.	103

Lista de cuadros

	Página
CUADRO 1 NÚMERO DE REGISTROS DE BOSQUES DE <i>POLYLEPIS</i> POR DEPARTAMENTO.	44
CUADRO 2 REGISTROS UTILIZADOS EN EL PRIMER MODELAMIENTO POR DEPARTAMENTO.	44
CUADRO 3 MDE GENERADOS POR LAS COMBINACIONES ENTRE LA BASE DE DATOS UTILIZADA Y EL ALGORITMO ESCOGIDO	49
CUADRO 4 PRESENCIAS Y PSEUDO-AUSENCIAS PARA LA PRIMERA EVALUACIÓN POR DEPARTAMENTO.....	51
CUADRO 5 VALORES DE AUC PARA LOS 15 MDE EVALUADOS.	52
CUADRO 6 ZONAS CON PROBABILIDADES MAYORES AL 50 % DE OCURRENCIA, POR DEPARTAMENTO.	58
CUADRO 7 SUPERFICIES DE BOSQUES SEGÚN LOS INTERVALOS DE PROBABILIDADES DEL ÁREA BASE.	59
CUADRO 8 NÚMERO DE REGISTROS PARA EL SEGUNDO MODELAMIENTO Y SEGUNDA EVALUACIÓN.....	63
CUADRO 9 VALORES AUC PARA LOS 15 MDE PROVENIENTES DEL SEGUNDO MODELAMIENTO.	63
CUADRO 10 RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES MEDIANTE EL USO DEL ÍNDICE DE KAPPA.	72

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1	MAPA DEL ÁMBITO DE ESTUDIO, AREQUIPA Y LIMA ESTÁN RESALTADOS EN VERDE. 30
FIGURA 2	MODELO CONCEPTUAL GENERAL DE LA METODOLOGÍA..... 31
FIGURA 3	MODELO CONCEPTUAL DEL PRIMER MODELAMIENTO..... 36
FIGURA 4	MODELO CONCEPTUAL DE LA PRIMERA EVALUACIÓN. 38
FIGURA 5	MODELO CONCEPTUAL DE LA ETAPA DE INTERPRETACIÓN VISUAL. 39
FIGURA 6	MODELO CONCEPTUAL PARA EL SEGUNDO MODELAMIENTO Y SEGUNDA EVALUACIÓN. 40
FIGURA 7	MODELO CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS PREDICTIVO. 41
FIGURA 8	DISTRIBUCIÓN DE REGISTROS RECOPIADOS DE BOSQUES DE <i>POLYLEPIS</i> 43
FIGURA 9	A.- DISTRIBUCIÓN DE REGISTROS DE BOSQUES. B.- DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS “TRAIN” 45
FIGURA 10	A.- MOSAICO DE IMÁGENES LANDSAT 5 TM; B.- MOSAICO ASTER-GDEM. 46
FIGURA 11	A.- NDVI TOTAL (RESOLUCIÓN 30 M); B.- NDVI (RESOLUCIÓN 1KM). 47
FIGURA 12	A.- PRECIPITACIÓN ANUAL TOTAL (RESOLUCIÓN DE 1KM); B.- PRECIPITACIÓN TOTAL RECORTADA. 48
FIGURA 13	A.- DISTRIBUCIÓN DE PRESENCIAS (TEST); B.- DISTRIBUCIÓN DE PSEUDO-AUSENCIAS. 50
FIGURA 14	A.- “MEJOR” MODELO (MDE 8); B.- SEGUNDO “MEJOR” MODELO (MDE 15); C.- “PEOR” MODELO (MDE 1) D.- SEGUNDO “PEOR” MODELO (MDE 7). 53
FIGURA 15	A.- PROMEDIO TRES MDE CON MEJORES AUC; B.- MDE PRIMERA APROXIMACIÓN..... 54
FIGURA 16	CARACTERÍSTICAS GENERALES EN TEXTURAS DE LOS BOSQUES DE <i>POLYLEPIS</i> 55
FIGURA 17	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA FORMAS DE LOS BOSQUES DE <i>POLYLEPIS</i> 56
FIGURA 18	INTERPRETACIÓN VISUAL GUIADA EN EL ÁREA DE ENTRENAMIENTO. 57
FIGURA 19	EL ÁREA DE ENTRENAMIENTO ES MENOS EXTENSA QUE EL TOTAL DEL TERRITORIO. 58
FIGURA 20	CARTOGRAFÍA DE BOSQUES DE <i>POLYLEPIS</i> EN LA ETAPA DE INTERPRETACIÓN VISUAL..... 60
FIGURA 21	ÁREAS SIN COBERTURA DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN EN 2013 (ZONAS MORADAS) 61
FIGURA 22	ÁREAS SIN COBERTURA DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN EN GOOGLE EARTH..... 62
FIGURA 23	REGISTROS DEL SEGUNDO MODELAMIENTO (A) Y SEGUNDA EVALUACIÓN (B). 62
FIGURA 24	A.- MEJOR MDE (MDE 13); B.- SEGUNDO MEJOR MDE (MDE 3); C.- TERCER MEJOR MDE(MDE 8); D.- MDE PROMEDIO DE LOS 3 MEJORES, DENOMINADO “SEGUNDA APROXIMACIÓN” 64
FIGURA 25	ÁREA BASE DELA <i>SEGUNDA APROXIMACIÓN</i> EN LIMA (A) Y AREQUIPA (B)..... 65
FIGURA 26	DISTRIBUCIÓN DEL MOSAICO DE IMÁGENES CBERS-2B. 67
FIGURA 27	(A) COBERTURA CORTADA DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN EN GOOGLE EARTH; (B) COBERTURA DE IMÁGENES DE RESOLUCIÓN MEDIA (CBERS-2B). 68
FIGURA 28	TEXTURAS DE BOSQUES EN IMÁGENES CBERS-2B, BANDA HRC (2.7 METROS)..... 69
FIGURA 29	BOSQUE DE <i>POLYLEPIS</i> EN UNA IMAGEN LANDSAT 5-TM (30 M). 69
FIGURA 30	BOSQUE DE <i>POLYLEPIS</i> EN UNA IMAGEN QUICKBIRD (0.7 M). 70
FIGURA 31	IMAGEN CNES/SPOT IMAGE DE RELICTOS UBICADOS EN LAS FALDAS DEL NEVADO AMPATO (COORDENADAS -71.920; - 15.868). B.- FOTO PANORÁMICA DEL PARCHE. 73
FIGURA 32	IMAGEN CNES/SPOT IMAGE DE RELICTOS UBICADOS EN LAS FALDAS DEL NEVADO COROPUNA (COORDENADAS - 72.739; -15.591): FOTO PANORÁMICA DEL PARCHE. 74
FIGURA 33	DISTRIBUCIÓN DE BOSQUES DE <i>POLYLEPIS</i> EN EL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA 77
FIGURA 34	DISTRIBUCIÓN DE BOSQUES DE <i>POLYLEPIS</i> EN EL DEPARTAMENTO DE LIMA. 78
FIGURA 35	FLUJO METODOLÓGICO PARA LA CARTOGRAFÍA DE BOSQUES DEL GENERO <i>POLYLEPIS</i> 83

1. INTRODUCCIÓN

A pesar del desarrollo actual, el ser humano siempre ha sentido una atracción muy fuerte hacia los bosques. Despertando el interés de los investigadores y en los últimos años son los de montaña, los andinos en especial, los que concentran su atención (Doroujani 2008).

El género *Polylepis* (Rosaceae) incluye aproximadamente 27 especies (Mendoza y Cano 2011; Kessler y Schmidt-Lebuhn 2006). Formando bosques de hoja perenne con poblaciones muy fragmentadas a lo largo de las alturas de los Andes tropicales y subtropicales (Zutta *et al.* 2012).

Existen diversos estudios sobre la distribución, estado de conservación, composición florística, entre otros; basados en el género *Polylepis*. Estos han sido elaborados por diversas instituciones, así como por parte de investigadores independientes. Pero todavía no se tienen datos precisos de su superficie total, distribución y ubicación de bosques.

A pesar que ya se ha utilizado anteriormente imágenes de satélite de media a baja resolución, para realizar seguimientos del cambio en el tiempo o extensión del hábitat forestal o de la calidad del mismo (Braun 1997). Este tipo de imágenes son inadecuados para detectar los hábitats que son difíciles de identificar, como por ejemplo los pequeños en extensión o distribución irregular (Matos *et al.* 1992; Benham *et al.* 2011).

Pero, las imágenes tomadas durante la última década por el satélite Quick-Bird de Digital-Globe y SPOT de 2,5 m de resolución, se están convirtiendo hoy en día en disponibles gratuitamente en la interface de Google Earth (Potere 2008). Cuando existen estas imágenes proporcionan ahora un recurso sin precedentes para la conservación, manejo y estudio en diversas ramas como las ciencias forestales, lo que permite la gratuidad de cuantificación y georreferenciación de los hábitats más amenazados (Benham *et al.* 2011).

Este documento ofrece una perspectiva metodológica, cuyos resultados amplían los conocimientos respecto a estos relictos en 2 departamentos del Perú. Para lograr tal objetivo se realizó un análisis combinado de modelos de distribución de especies probabilísticos y de análisis digital en imágenes satelitales, y que están disponible gratuitamente en diferentes fuentes entre ellas Google Earth.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

MINAM (2009) refiere que en el Perú existen al menos 66 millones de hectáreas de bosque, ocupando a nivel mundial el noveno puesto en cuanto a superficie, posee el 13% de los bosques amazónicos, así también es uno de los más importantes en cuanto a diversidad biológica, por su gran variedad genética, especies de flora y fauna, y ecosistemas continentales y marítimos. Así mismo, tenemos que la distribución de los bosques a nivel nacional se encuentran en Áreas Naturales Protegidas, Bosques de Producción Permanente, Comunidades Indígenas y Campesinas, Reservas Territoriales a favor de indígenas aislados, Humedales y Áreas aun No Caracterizadas.

Es importante mencionar la existencia de diversos estudios que han permitido establecer cifras preliminares sobre la superficie de bosques a nivel nacional, cuya información data del año 1975 hasta el 2000, siendo este último, en los cuales se hicieron mayores esfuerzos para tener información sobre el estado de nuestros bosques (MINAM 2009):

- Malleux(1975) elabora el primer mapa forestal del Perú, mediante fotointerpretación, en donde encontró una superficie de 71 860 841 ha. de bosques, este estudio fue uno de los primeros en el cual se tiene información de la superficie forestal a nivel nacional, a una escala de 1/1 000 000.
- INRENA (1995) publicó el Mapa Forestal del Perú, donde se estima que la superficie de áreas boscosas asciende a 66 634 713 ha. Este trabajo se realizó sobre la base del Mapa Planimétrico del Perú (1988) elaborado con imágenes de satélite LANDSAT-MSS de los años 1984 –1991, a escala 1/1 000 000.
- INRENA (2000), elabora una nueva versión del Mapa Forestal del Perú (sin publicar), con imágenes de satélite LANDSAT TM y escala de trabajo 1/250 000; reportando una superficie de 68 550 161 ha. de bosques.

Respecto al género *Polylepis* su descripción empezó hace más de dos siglos con la especie *racemosa* (Ruiz y Pavon 1794). Les siguieron una serie de investigadores a lo largo de los siglos como Humboldt, Weddell, Hieronymus, Stubel, y Bitter entre muchos otros que describieron una buena cantidad de las especies existentes (Simpson 1979).

Un hito dentro del estudio del género lo marco el libro “*A Revision of the Genus Polylepis*” (Simpson 1979), el cual es un gran esfuerzo por reunir y sistematizar mucha información que se encontraba dispersa sobre las diferentes especies de *Polylepis* y su distribución, describiendo cada una de ellas de manera muy detallada. A pesar de ello aun en la actualidad se debate sobre el número total de ellas y sus subespecies (Dourojeanni 2008). Por ejemplo, Mendoza (2005), logra determinar en fechas cercanas una nueva especie de *Polylepis* para el Perú en la cordillera del Vilcabamba (Cusco, Perú).

Se identifican también los estudios de flora y fauna realizados por diversas instituciones como las evaluaciones de biodiversidad desarrolladas por la Asociación de Ecosistemas Andinos (ECOAN), en los departamentos de Puno, Ayacucho, Cusco y Ancash entre otros. Documentos similares son propuestas de áreas de conservación por parte del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), por ejemplo para el área de conservación privada “Choquechaca” (RM N° 074-2010 – MINAM).

La literatura sobre *Polylepises* extensa (Doroujani 2008). Sin embargo, la distribución natural de los bosques ha sido debatida durante mucho tiempo como consecuencia de la actual fragmentación potencialmente resultante de presión de miles de años de poblaciones humanas en los Andes (Kessler 2002). Son escasos los estudios sobre su cobertura, plasmados en un mapa detallado y a nivel nacional, la ONERN citado por Barreda (1951), estimó una superficie promedio de 42 250 ha de estos relictos para un total de 9 departamentos. Luego los mapas Forestales del Perú (INRENA 1995 y INRENA 2000), arrojan cifras nacionales de 93 700 ha y 35 486 ha respectivamente.

En el caso de la cartografía de estos bosques, el Centro de Datos para la Conservación (CDC) elaboró el mapa de distribución en la cordillera Huayhuash en el año 1999 (sin publicar) y Chang hizo lo mismo para la cordillera Blanca dentro de los límites del Parque Nacional Huascarán en el año 2001 (sin publicar). Braun (1997) exploró las posibilidades de usar métodos digitales para describir patrones boscosos en los Andes.

Dourojeanni (2008), logra ubicar y analizar espacialmente todos los parches de bosques de *Polylepis* (Cuenca Alta del Río Pativilca) analizándolos según su exposición al sol, pendiente y altitud. Usando imágenes LANDSAT 7 TM y ETM+, imágenes CBERS, SPOT y un pequeño sector con imágenes satelitales de alta resolución presentes en Google Earth, siendo en este último donde obtuvo mejores resultados.

Benham *et al.* (2011) a través del uso de imágenes satelitales de alta resolución presentes en la interface de Google Earth, determinaron una cuantificación más precisa de la superficie de los bosques en algunas localidades del departamento Apurímac. Demostrando la confiabilidad del uso y manejo de este tipo de información para la localización de hábitat y superficie de pequeños parches de bosques que son imperceptibles o muy difíciles de analizar con imágenes de baja a media resolución.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 BOSQUES DE *POLYLEPIS*

Los Bosques de *Polylepis* se encuentran distribuidos a lo largo de la cordillera de los Andes, desde Venezuela hasta el centro de Argentina; en el Perú se encuentra en forma de parches o manchas aisladas a alturas superiores a los 3800 m. a pesar de su pequeña extensión, son considerados verdaderos oasis biológicos debido a que cumplen importantes funciones ecológicas como son la de almacenar agua, detener la escorrentía, controlar la erosión, retener sedimentos, producción de madera y utilización de plantas medicinales; representando sistemas biológicos únicos caracterizados por tener distribución restringida, por lo que son de gran interés ecológico, sistemático, y biogeográfico. Sin embargo, a pesar de su importancia biológica, estos bosques, representan uno de los hábitats más vulnerables de los altos Andes, por la creciente presión humana debido a factores económicos, sociales, y culturales (Venero y De Macedo 1983; Fjeldsa y Kessler 1996).

2.2.2 TAXONOMÍA

Simpson (1979) señala que el género *Polylepis* pertenece a la tribu Sanguisorbeae de la familia Rosaceae, que se caracteriza por una polinización anemófila y por sus frutos secos. *Polylepis* incluye entre 15 y 28 especies, en su mayoría árboles de 5-10 m altura, pero también con algunas especies comúnmente arbustivas (*P. microphylla*, *P. pepeii*, *P. tarapacana*, *P. tomentella subsp. nana*) y otras que llegan a superar los 25 m (*P. lanata*, *P. pauti*).

Los análisis filogenéticos sugieren que *Polylepis* se desarrolló mediante poliploidización desde el género arbustivo y herbáceo *Acaena* y que las especies filogenéticamente basales

de *Polylepis* fueron árboles con hojas delgadas, 7-11 foliolos por hoja, corteza delgada e inflorescencias con abundantes flores (hasta más de 70), (Simpson 1979, Smith 1976).

Todas estas son adaptaciones a los hábitats fríos y áridos de los altos Andes. Aunque no hay dataciones exactas, la orogenia andina relativamente reciente y la baja diferenciación genética de las especies sugieren que la evolución del género ha ocurrido en los pocos últimos millones de años (Simpson 1979).

Es muy probable, que la evolución del género haya sido dominada por las marcadas fluctuaciones climáticas durante el período pleistocénico, forzando a las especies a migrar repetidamente a condiciones ecológicas favorables, así como fragmentando las distribuciones de especies (Fjeldsa 1987).

Numerosos bosques están compuestos por solamente una o dos especies de *Polylepis*, pero en ciertas regiones, varias de estas especies pueden encontrarse dentro de un área bastante restringida, tal como se observa en la cordillera de Carabaya y la cordillera Oriental donde es posible encontrar hasta cuatro especies (Fjeldsa 1987).

2.2.3 ECOLOGÍA

La variabilidad morfológica antes descrita es indicativa de la gran amplitud ecológica de las diferentes especies de *Polylepis* y de los bosques formados por ellas (Simpson 1979). En regiones húmedas a lo largo de la vertiente andina oriental y en la vertiente occidental de Ecuador, la línea superior de bosques es naturalmente dominada con varias especies de *Polylepis*, arriba de los bosques de neblina conformados por *Weinmannia*, *Oreopanax*, *Clethra* y *Clusia*, entre otros (Kessler 2006).

Kessler (2006), señala que la transición entre ambos tipos de bosque se encuentra alrededor de 3500 msnm, con una zona intermedia de 100-200 m de diferencia. Las especies de *Polylepis* en estos hábitats son los árboles *P. pauta* (Ecuador-Bolivia), *P. seríceo* (Venezuela-Bolivia), *P. lanuginosa* (Ecuador), *P. multijuga* (Perú), *P. triacontandra* (Bolivia) y *P. lanata* (Bolivia), mientras que la especie parcialmente arbustiva *P. pepeii* forma la línea superior de bosques a 3800-4200 m en el sur de Perú y Bolivia.

En hábitats húmedos, pero usualmente algo menos expuestos a las lluvias de las vertientes andinas, se encuentran bosques de *P. reticulata* (Ecuador), *P. weberbaueri* (Ecuador-

Perú), *P. racemosa* (Perú) y *P. incana* (Ecuador-Perú). Esta última también se extiende hacia hábitats algo más secos en los valles interandinos, donde además crecen *P. subsericans* (Perú) y las especies bolivianas *P. besseri*, *P. subtusalbida* y *P. pacensis* (Kessler 2006).

En el Ecuador, que no tiene amplias zonas áridas en los altos Andes (Luteyn 1999), la única especie de *Polylepis* adaptada a estos hábitats es *P. microphylla* en las laderas del Volcán Chimborazo (Romoleroux 1996). En el Perú, por el contrario, se encuentran *P. flavipila* y *P. rugulosa* en la vertiente andina occidental y en Bolivia los valles secos están habitados por *P. tomentella*; en el sur de Bolivia y norte de Argentina, los bosques boliviano-tucumano subtropicales son habitados por *P. crista-galli* en zonas relativamente áridas y *P. neglecta*, *P. australis* y *P. hieronymi* en zonas más húmedas, donde coexisten con *Alnus acuminata* y *Podocarpus parlatorei*. *Polylepis hieronymi* es única en el género al ser una especie arbórea pionera, que coloniza áreas abiertas y luego es superada por árboles de mayor porte como *Podocarpus* o *Juglans australis*, mientras que *P. australis* es la única especie del género que es decidua en la época invernal (Kessler 2006).

Según Kessler (2006), la especie más estrictamente adaptada a condiciones climáticas desfavorables es *P. tarapacana*, que habita la cordillera volcánica occidental altiplánica a altitudes de 3900 a 5200 m desde el sur del Perú hasta el sur de Bolivia en regiones con tan solo 100-500 mm de precipitación media anual. En el Volcán Sajama (6420 msnm), esta especie forma la vegetación leñosa más alta del mundo con algunos ejemplares enanos que llegan hasta los 5200 m.

Según Smith (1976), la separación ecológica de las especies de *Polylepis* no es perfecta, y en muchas localidades 2 ó 3 especies de *Polylepis* crecen una al lado de otra, aunque frecuentemente con ligeras diferencias ecológicas, por ejemplo en relación a la disponibilidad de agua en el suelo o a la exposición a la radiación solar. En estos rodales mixtos, la hibridación entre las especies es muy común.

2.2.4 APROVECHAMIENTO ACTUAL DE LOS BOSQUES

Por ser uno de los pocos árboles que crecen en las partes altas de la Sierra, este género tiene gran importancia como combustible: leña y carbón de alta calidad. También en el establecimiento de cercos vivos y cortinas rompe vientos para protección del ganado,

cultivos y el hombre mismo. Además, aporta una buena cantidad de hojarasca y ritidoma (corteza externa) ambas de fácil descomposición, lo que hace al género un eficiente mejorador del suelo. Es importante también en el control de la erosión, protección de cuencas hidrográficas y como hábitat para la fauna silvestre (Yallico 1992).

A) MADERA Y MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

La madera de queñua es dura, pesada y de color rojizo. Se usa en la fabricación de instrumentos de labranza (chaquitacla, partes de arado, yugos, combas, etc.), en artesanías y en la construcción de viviendas rústicas. Debido a que la madera es resistente a la pudrición bajo condiciones de humedad, la queñua es muy usada para postes de cercos, parantes de chozas y en galerías de minas. Pero actualmente su principal uso está guiada como leña y carbón, por ser una fuente energética de fácil acceso (Yallico 1992).

B) LA GANADERÍA, EL FUEGO Y LOS QUEÑUALES

La quema de los pastos naturales altoandinos en los meses de verano (agosto y septiembre) es una costumbre muy difundida entre los ganaderos en ciertas localidades de la sierra. La quema se hace con el propósito de inducir el rebrote de los pastos resecaos y así proveer a sus animales de fuentes alimenticias frescas y suaves (Yallico 1992).

En general, los bosques de queñuas no son quemados directamente, sino como consecuencia de la quema de los pastos altoandinos. Sin embargo, entre los sectores menos densos es posible encontrar algunos árboles quemados intencional y aisladamente. Se presume que esas quemadas sirven para facilitar la extracción de las ramas y fustes del árbol escogido, dado el bajo contenido de humedad se facilita la extracción a mano preferentemente para la generación comercial de carbón vegetal (Yallico 1992).

C) LA AGRICULTURA Y LOS QUEÑUALES

La agricultura parece haber contribuido a la disminución de los bosques de queñuas, aunque más lentamente que el fuego y la extracción leñera. El que los bosques aparezcan en bandas intermedias de algunos cerros podría no sólo deberse a factores de sitio, sino también a la acción de la agricultura. En los bosques de Puno, por ejemplo, las paredes de delimitación parcelarla (pircas) llegan hasta el mismo bosque y en algunos casos hasta se internan en él. Algunos árboles han quedado dentro de estas paredes y rodeados de surcos de cultivo. Con el tiempo, presumiblemente serán cortados para dar paso a la agricultura.

En estos bosques, se encuentran vestigios apenas visibles de lo que habrían sido paredes de delimitación de parcelas de cultivo, de cuidado de ganado o muros de andenes. Justo debajo de algunos árboles (Yallico 1992).

2.2.5 FACTORES QUE CONDICIONAN LA OCURRENCIA DE *POLYLEPIS*

A) TEMPERATURA, EXPOSICIÓN Y PEDREGOSIDAD

La forma de las curvas típicas de la temperatura en la superficie del suelo y la del aire a lo largo del día (24 horas) en zonas altoandinas, muestra que las temperaturas nocturnas de la superficie son a menudo de 5 a 6°C menores que las temperaturas del aire. Sin embargo, los registros de estos mismos parámetros en un cerro pueden diferir por cuanto las masas de aire frío y pesado tienden a fluir cuesta abajo por la noche. Así, con los datos de temperatura de los cerros se obtendría una figura de curvas más parecidas a las que ocurrirían cerca de un bosque de *Polylepis* (Yallico 1992).

Los plantones de *P. incana* protegidos por paredes o muros de chacras alcanzan hasta el doble de crecimiento de los establecidos a campo abierto (Reynel 1988). La pedregosidad es una forma natural y aleatoria, que a manera de paredes o muros, protege a la planta de vientos desecantes y heladas, proporciona calor por las noches al irradiar el captado en el día, y conserva la escasa humedad de esos ambientes en épocas de estío. La pedregosidad es por lo tanto un factor que contribuye a mejorar el sitio con calor y humedad; la exposición norte mejora aún más la temperatura que las plantas necesitan (Yallico 1992).

En la Cordillera Occidental, cuyo flanco este, mostraría bosques ubicados encima de la Isoterma crítica al encontrarse contigua a zonas donde el aire puede empozarse, mientras que su flanco oeste mostraría bosques distribuidos en rangos verticales más amplios, pues el aire frío de la noche fluiría cuesta abajo sin depositarse; en consecuencia, el bosque seguiría extendiéndose cuesta abajo hasta que la calidad de sitio y la competencia con otras especies se lo permitan; los bosques con exposición oeste suelen retener una mayor cantidad de agua al no estar expuestos al sol las primeras horas del día (Yallico 1992).

B) CONFIGURACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LOS BOSQUES

Si bien a lo largo de casi toda la cordillera de los Andes, desde Mérida en Venezuela hasta las sierras de Córdoba en Argentina el género *Polylepis* se desarrolla y se distribuye entre altitudes que van desde los 1800 msnm hasta por encima de los 5000 msnm (Recharte *et*

al. 2003). En el Perú y la zona de estudio (Centro y Sur del Perú) este rango es menor, de forma natural los bosques de *Polylepis* empiezan a crecer a partir de los 3500 a los 3800 hasta los 4200 - 4500 msnm (Chang 2002; sin publicar), pudiendo excepcionalmente en algunos sitios alcanzar altitudes mayores.

Existen registros en donde se ha encontrado al fondo de quebradas como la de Quero (distrito de Huasta - Ancash) bosques mixtos con presencia de *Polylepis* en altitudes menores que las mencionadas (hasta los 3200 m) pero estos árboles se presentaban solo esporádicamente en medio de muchas otras especies de árboles como Alisos (*Alnus sp.*) y Chachacomos (*Escallonia sp.*) entre otros (Yallico 1992). La altitud mayor a la cual se han encontrado parches de *Polylepis* es de 4700 msnm, sin embargo la mayor cantidad de bosque se encuentran en el rango de los 4100 a los 4550 msnm, pero el límite altimétrico superior puede superar los 4700 msnm (Recharte *et al.* 2003).

Algunas especies de *Polylepis* estarían perfectamente adaptadas a grandes altitudes mediante adaptaciones morfológicas y fisiológicas que en el mismo género se dan en altitudes inferiores. Así las queñuas no serían plantas advenedizas que aprovechan de hábitats altos con climas parecidos a la de zonas más bajas, sino más bien, son árboles adaptados a grandes altitudes pudiendo aprovechar pisos más bajos (Yallico 1992).

2.2.6 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES (MDE)

En los últimos años se está produciendo un desarrollo muy importante en las técnicas aplicadas a la generación de modelos de distribución de especies, gracias a la amplia oferta de lenguajes de programación, la amplia difusión de información geoespacial y el desarrollo de las técnicas SIG (Benito y Peñas 2007). Los modelos resultantes de estas técnicas se están mostrando eficaces para establecer planes de conservación (Ferrier 2002), buscar nuevas localizaciones de especies raras y amenazadas (Guisan *et al.* 1999), avanzar en la comprensión de los patrones espaciales de la biodiversidad (Graham *et al.* 2006), o evaluar el impacto del cambio global sobre la distribución (Lawler *et al.* 2006).

Los MDE indican la idoneidad del hábitat para el desarrollo de poblaciones de una especie concreta o de una comunidad (Ferrier y Guisan 2006), calculada a partir de observaciones de campo y una serie de variables ambientales que actúan como predictores. La expresión de esta idoneidad del hábitat puede ser binaria, otorgando valor 1 a áreas idóneas y 0 a áreas no idóneas, o continua, según un rango de valores que

clasifican el territorio de menor a mayor grado de idoneidad. En la construcción de modelos resultan críticos una serie de factores que afectan en gran medida a la precisión del resultado final (Benito y Peñas 2007):

- **La calidad de los datos de localización de la especie:** Dos tipos de datos son los utilizados habitualmente para generar modelos de idoneidad del hábitat: registros de presencia y registros de presencia-ausencia. Ambos tipos de registros pueden tener un carácter oportunista, como ocurre con las observaciones de herbario, o proceder de un muestreo especialmente diseñado para generar modelos de distribución (Hirzelet *al.* 2002). Si bien un registro de presencia es incuestionable (especialmente si trabajamos con especies sésiles, y salvo error en la identificación de la especie), no ocurre lo mismo con los registros de ausencia. La dinámica de una población, la fragmentación del hábitat o la capacidad dispersiva son factores que pueden llevar a designar como ausencia una localización con características óptimas para la especie, alterando el resultado final y restando significación biológica en la interpretación del modelo (Hirzel *et al.* 2002). Esta circunstancia es habitual cuando se trata con especies que no están en equilibrio con su medio (invasoras, por ejemplo) u organismos con grandes fluctuaciones interanuales en el tamaño poblacional, que pueden generar ausencias temporales, o también en organismos con baja detectabilidad, que originan ausencias aparentes (Benito y Peñas 2007).
- **Las variables predictoras seleccionadas:** idealmente deberían ser aquellas que se consideren las causantes directas de la distribución de la especie, aunque es habitual que se utilicen únicamente las disponibles, generalmente derivadas de modelos digitales de elevaciones o interpolación espacial a partir de datos de estaciones climáticas. Las variables predictoras pueden clasificarse como: gradientes de recursos directamente consumidos (nutrientes, agua, luz, etc.); gradientes directos, que son parámetros con importancia fisiológica (temperatura, pH, etc.) y gradientes indirectos, relativos a las características físicas del territorio (orientación, elevación, pendiente, geología, etc.), pero que muestran una buena correlación con los patrones de distribución de las especies porque habitualmente rempazan distintas combinaciones de gradientes de recursos y gradientes directos (Guisan *et al.* 1999). La co-linealidad entre variables también es un factor a tener en cuenta, pues añade información redundante al algoritmo de modelización y puede generar resultados de difícil interpretación por sobreajuste del modelo (Benito y Peñas 2007).

- **El algoritmo o método estadístico seleccionado:** pueden utilizarse métodos basados en registros de presencia-ausencia, como GLM (generalized linear models), GAM (generalized additive models), y redes neuronales (Manel *et al.* 1999), o algoritmos basados únicamente en presencias como Bioclim, Domain, ENFA, GARP y MaxEnt. Los modelos basados únicamente en presencias representan generalmente la distribución espacial del nicho ecológico fundamental de la especie, mientras que los basados en presencia-ausencia indican de modo más aproximado la distribución del nicho ecológico efectivo (Zaniewski *et al.* 2002).

A) BASE DE DATOS AMBIENTAL

Los datos de clima son obtenidos generalmente a partir de la base de datos de WorldClim (<http://www.worldclim.org/>). WorldClim es una base de datos de variables climáticas que se presenta en la forma de archivos raster. Un raster es un archivo utilizado en los SIG que presenta un área espacial dividida en celdas (o píxel) regulares (cuadrícula). Cada celda está asociada al valor de un atributo, como por ejemplo la altitud, que corresponde al promedio del valor de este atributo sobre toda la superficie de la celda considerada. Un píxel es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital, como el raster. Así, el tamaño del píxel define la resolución del raster. Más pequeño es el píxel, mejor es la resolución. En este caso, la resolución es de 1 km (Villordo 2009; Benito y Peñas 2007).

Los datos de Worldclim son generados por interpolación de datos promedios mensuales de más de 46 000 estaciones meteorológicas (Hijmans *et al.* 2004). Las variables Bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de la temperatura y de la precipitación, para generar variables biológicamente más significativas. Las variables bioclimáticas representan las tendencias anuales (ejemplo: promedio de temperatura anual y precipitación anual), la estacionalidad (ejemplo: rango anual de temperatura y precipitación) y los factores ambientales limitantes (ejemplo, temperatura del mes más frío y más caliente, y precipitación de los cuartos más húmedos y secos), (Benito y Peñas 2007; García 2008).

B) MÉTODO DE MODELADO ECOLÓGICO

Los MDE se pueden agrupar por la técnica y datos que utilizan (García 2008):

a) Técnicas discriminantes (TDIS)

Son aquellos métodos que necesitan ausencias para generar MDE. En este caso los más conocidos son: RLM (regresión logística múltiple), MARS (multivariate adaptive regression splines) y MAXENT (maximum entropy), (Phillips *et al.* 2006). El primero de ellos se ha empleado de forma constante en modelado ecológico. MARS es un método más reciente, pero ha demostrado presentar resultado óptimos. Para estos dos métodos se genera los MDE empleando dos tipos de ausencias: pseudo-ausencias y ausencias de grupo. MAXENT también se trata de un método recientemente empleado que ha demostrado buenos resultado, este método genera sus propias pseudo-ausencias ('background'), aunque se le puede forzar a utilizar pseudo-ausencias definidas por el investigador (Elith *et al.* 2006; García 2008).

b) Técnicas descriptivas (TDES)

Sólo emplean la información disponible en las presencias para generar MDE. Los más conocidos son: un método de envuelta ambiental, BIOCLIM y un índice de distancia de Gower. Son dos métodos empleados de forma frecuente en modelado ecológico (Carpenter *et al.* 1993, García 2008).

c) Técnicas mixtas

GARP (genetic algorithm for rule-set production) uno de los métodos más empleados en modelado ecológico. Genera un modelo mediante un conjunto de reglas (atómicas, regresión logística, envueltas ambientales, reglas de rango, etc.), empleando algunas de ellas datos de sólo presencia, mientras que otras necesitan datos de presencia/ausencia para los que el programa genera sus propias pseudo-ausencias ('background'), (Stockwell y Peters, 1999; García 2008).

d) Tipos de Modelos

En varios estudios se ha constatado que los diferentes algoritmos presentan distinta precisión a la hora de estimar la distribución del hábitat idóneo para una especie (Manel *et al.* 1999; Muñoz y Felicísimo, 2004; Elith *et al.* 2006). En general los resultados no son concluyentes, funcionando de modo diferente los algoritmos según la especie, la cantidad de registros de presencia, o el número de variables predictoras. Se detallan a continuación los más utilizados y cuales han sido más reconocidos (Benito y Peñas 2007):

- **Bioclim (Busby 1991):** Este algoritmo, implementado en el programa de gestión de recursos florísticos DIVA-GIS (www.diva-gis.org), (Hijmans *et al.* 2004), genera para la especie un rango ecológico de n dimensiones, siendo n el número de variables predictoras, mediante un análisis de la distribución de los registros de presencia sobre cada variable ambiental. El hiper-rectángulo resultante está caracterizado por una tolerancia mínima y máxima que determinan los límites de idoneidad. El modelo de hábitat se genera otorgando a cada celda un valor de distancia ecológica relativo a la posición que ocupa dentro del rango multidimensional de la especie. Este algoritmo no admite para el análisis capas de información cualitativa como usos del suelo y similares (Benito y Peñas 2007).

- **Domain (Carpenter *et al.* 1993):** Es un método de distancias ecológicas implementado en DIVA-GIS. Utiliza la métrica de Gower, una medida de distancia que estandariza las variables según su rango en todos los puntos de presencia para igualar su contribución al modelo. La distancia entre una presencia A y una celda B para una variable k se calcula como la diferencia absoluta entre A y B dividida por el rango de k para todos los puntos de presencia. La distancia de Gower (G) es la media de las distancias para todas las variables climáticas, y el estadístico de similaridad Domain se calcula como 100 (1-G). El valor máximo es 100, que se da en todas las celdas con presencia del organismo (Benito y Peñas 2007).

- **GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) (Stockwell y Peters 1999):** El programa DesktopGarp (www.lifemapper.org/desktopgarp/) contiene las herramientas necesarias para generar modelos de distribución utilizando este algoritmo. Es un sistema heurístico basado en inteligencia artificial que busca correlaciones no aleatorias entre los puntos de presencia del organismo y las variables ambientales. Funciona iterativamente, aplicando distintas reglas de modelado (atomic, logistic regresión, range rules y negated range), generando y evaluando en cada bucle de cálculo un modelo de distribución binario (1 = presencia, 0 = ausencia) distinto. Los modelos binarios resultantes son seleccionados y sumados algebraicamente, proporcionando un mapa final de idoneidad del hábitat con un rango de valores continuo. Los resultados no son determinísticos, por lo que un mismo conjunto de datos origina mapas de idoneidad distintos. Puede utilizar información cualitativa, pero se desconoce el uso que hace de ella (Benito y Peñas 2007).

- **MaxEnt (Phillips *et al.* 2006)** (www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent): Es un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie. MaxEnt estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (lo más uniforme posible) sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincide con su media empírica. El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Un valor alto de la función de distribución en una celda determinada indica que ésta presenta condiciones muy favorables para la presencia de la especie. MaxEnt puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene. El programa proporciona las curvas de respuesta de la especie ante las distintas variables ambientales y estima la importancia de cada variable en la distribución de la especie (Benito y Peñas 2007).

C) EVALUACIÓN DE MODELOS

Otra cuestión crítica en la confección de MDE es su evaluación estadística. Actualmente, la medida de la precisión de los modelos de distribución es un campo en desarrollo, la discusión está abierta (Fielding y Bell 1997; Anderson *et al.* 2003; Elith *et al.* 2006).

Aún no existe un consenso sobre cuál es la mejor técnica para cada tipo de modelo, aunque el área bajo la curva ROC, generalmente aplicada a modelos de presencia-ausencia, se perfila como una de las candidatas con mayor aceptación (Benito y Peñas 2007).

Los modelos de distribución basados en presencia-ausencia habitualmente se evalúan utilizando una muestra de evaluación independiente de la utilizada para entrenar los modelos compuesta por registros de presencia-ausencia independientes de los utilizados para el entrenamiento de los algoritmos (Benito y Peñas 2007). A partir de esta muestra de evaluación pueden calcularse:

- Los casos correctamente clasificados, que son verdaderos positivos cuando el modelo predice presencia y ésta es confirmada por las presencias de la muestra de evaluación y verdaderos negativos cuando el modelo predice ausencia y ésta es confirmada por las ausencias de la muestra de evaluación (Fielding y Bell 1997).

- Los casos erróneamente clasificados, que son falsos positivos cuando el modelo predice presencia y la muestra indica ausencia (error de comisión), y falsos negativos cuando el modelo predice ausencia y la muestra indica presencia (error de omisión). Estos datos se tabulan en una matriz de confusión a partir de la cual se pueden calcular distintos índices de evaluación para una revisión exhaustiva sobre técnicas de evaluación de modelos de distribución (Fielding y Bell 1997).

El error de comisión y los falsos positivos no puede calcularse para modelos basados en presencia, excepto si realizamos un cambio de concepto y sustituimos los puntos de ausencia por puntos generados aleatoriamente, en lo que algunos autores denominan pseudo-ausencias (Zaniewski *et al.* 2002, Engler *et al.* 2004). De este modo obtenemos una matriz de confusión modificada, puede calcularse la capacidad del modelo para discriminar entre registros de presencia y puntos generados aleatoriamente (Benito y Peñas 2007).

La herramienta más utilizada para comparar la capacidad de discriminación de los distintos modelos es la técnica del área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristic), (Hanley y McNeil1982), procedente del procesamiento de señales de radar, que ha sido aplicada con éxito a la evaluación de modelos de distribución basados en algoritmos de presencia-ausencia (Fielding y Bell 1997) y de solo presencia (Phillips *et al.* 2006).

La construcción de la curva ROC es un proceso interactivo aplicado a cada umbral de idoneidad del modelo: el modelo de distribución se reclasifica en dos categorías a partir del umbral, para obtener un modelo binario, en el que los valores del modelo original inferiores al umbral indican ausencia y los valores iguales o superiores al umbral indican presencia. Sobre este modelo binario se superponen los puntos de presencia y los puntos aleatorios, y se calculan los valores de la matriz de confusión. A partir de estos valores se calcula la fracción de verdaderos positivos (sensibilidad = $a / a + c$) y la fracción de aleatorios positivos (especificidad = $d / b + d$), (Benito y Peñas 2007).

El área bajo la curva ROC (AUC) indica, para un punto de presencia y uno aleatorio seleccionados al azar, la probabilidad de que el valor de idoneidad previsto por el modelo para el punto de presencia sea mayor que el previsto para el punto aleatorio. Es una medida directa de la capacidad de discriminación del modelo, que toma valores próximos

a 1 cuando existe un buen ajuste con los datos de evaluación, y cercanos a 0.5 cuando el ajuste no es mejor que el obtenido por azar (Benito y Peñas 2007).

2.2.7 TELEDETECCIÓN

La teledetección espacial es aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de las energías solar o de un haz energético artificial, ya por emisión propia (Chuvienco 1990).

Las imágenes de percepción remota representan una herramienta de primer orden, pues tienen diferentes usos y aplicaciones en la actividad forestal. Su importancia fue reconocida desde que las primeras fotografías aéreas fueron tomadas y ahora mucho más que las imágenes satelitales están más disponibles (Malleux 2003).

A) SISTEMA DE TELEDETECCIÓN

Un sistema de teledetección espacial incluye los siguientes elementos (Chuvienco 1990):

- Fuente de energía, que supone el origen de flujo energético detectado por el sensor. Puede tratarse de un foco externo al sensor, en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por este (teledetección activa). La fuente de energía más importante, obviamente, es la energía solar (Chuvienco 1990).
- Cubierta terrestre, formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas (Chuvienco 1990).
- Sistema sensor, compuesto por el sensor, propiamente dicho, y la plataforma que lo sustenta. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción (Chuvienco 1990).
- Sistema de recepción, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras oportuna correcciones, se distribuye a los intérpretes (Chuvienco 1990).

- Interprete, que analiza esa información, normalmente en forma de imágenes analógicas o digitales, convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa, orientada a facilitar la evaluación del problema de estudio (Chuvieco 1990).
- Usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven (Chuvieco 1990).

B) INTERPRETACIÓN VISUAL

De acuerdo con Novo (1988), la interpretación visual, en el contexto de las técnicas de percepción remota, es el conjunto de conocimientos y procedimientos ejecutados por un individuo con el fin de extraer información de una imagen ópticamente procesada, teniendo como instrumento básico de análisis, sus ojos. Además, según Malleux (2003), esta fase es antecedida por un proceso de elaboración mental, en el cual el individuo relaciona el objeto discriminado y desconocido con un conjunto de informaciones conocidas, otorgándole un significado temático. Los parámetros evaluados dependen de las características de la imagen satelital.

La interpretación visual, si bien es más laboriosa, es un procedimiento que representa con alta fidelidad la capacidad y experiencia del intérprete, con relación a su conocimiento o “background” referente al área del estudio, sin embargo cuenta con la desventaja del no uso o aprovechamiento de todas las posibilidades de combinaciones de bandas realzadas o colores que permitan resaltar ciertos rasgos o característicos de la vegetación, suelo, agua, etc. (Malleux 2003).

C) ESTRATIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN.

Según Loetsch y Haller (1973), estratificación significa separación de una población heterogénea en sub-poblaciones con menor desviación estándar que la población original. En cuanto a la evaluación de campo, la estratificación permite reducir considerablemente el número de parcelas para la precisión estadística dada, y por lo tanto, permite reducir también los costos de evaluación (Malleux 2003).

Según Budowski (1985) la clasificación consiste en ordenar lógicamente los elementos a clasificar según sus semejanzas y de un modo comprensible, fácil de reconocer y que sirva de base a muchos estudios científicos; una clasificación bien comprendida y aplicada correctamente constituye una base fundamental para diversos estudios.

Sin embargo según Malleux (2003), clasificar la vegetación representa un dilema particularmente delicado con referencia de la definición, descripción y límites de las comunidades vegetales, los que varían según sea el nivel de complejidad con que se dedica clasificar o graficar.

Si bien clasificación y estratificación pueden tener significados diferentes, en el caso de la forestería práctica, pueden ser considerados sinónimos (Malleux 2003). Ya que, se puede decir que la clasificación de la vegetación tiene como objetivo identificar unidades de vegetación coherentes con una composición de especies características, que se repiten en el espacio y en el tiempo (Baltaxe 1980).

La fisonomía y la estructura son las características más saltantes que conscientemente, se pueden reconocer en la mayoría de las imágenes existentes, por lo que es conveniente usar las características fisonómicas como una primera etapa para clasificar las imágenes. La fisonomía es la apariencia de la vegetación, independientemente de su composición florística. La estructura por otro lado, describe la altura y la cobertura de cada estrato individual de una comunidad vegetal. La fisonomía está constituida por la cobertura (densidad y altura relativa) junto con la distribución horizontal y vertical (Carneiro 1980).

Los mapas de vegetación basados en la composición florística solo pueden ser confeccionados para poblaciones que presentan poca variación florística. Por eso, las descripciones de la vegetación están basadas principalmente en la fisonomía o el tipo de cobertura, ya que es difícil utilizar otras variables como sitio, especies, etc. (Carneiro 1980).

D) IMÁGENES SATELITALES LANDSAT

Los satélites Landsat fueron puestos en órbita desde 1972. Los Landsat 1, 2 y 3 están fuera de servicio y colectaban datos en formato MSS (MultiSpectral Scanner), mientras que el 4 y el 5 aún están recolectando información, y lo hacen en formato MSS y TM (Thematic Mapper). El scanner TM es un sistema multiespectral parecido al MSS, con la excepción de que el sensor TM registra energía electromagnética emitida / reflejada desde las regiones del visible, infrarrojo reflectivo, infrarrojo medio e infrarrojo térmico del espectro. El TM tiene mayor resolución espacial, espectral y radiométrica que el MSS. Tiene una cobertura aproximada de 185 km desde una altitud de 705 km. Es útil para determinar los tipos y el estado de la vegetación, humedad del suelo, diferenciación nieve

/ nube y discriminación de tipos de roca, entre otros. La resolución espacial de TM es de 28.5 x 28.5 m para todas las bandas, excepto para la termal (banda 6), cuya resolución espacial es de 120 x 120 m (Chuvieco 1990).

La resolución radiométrica es 8-bits, lo cual significa que cada píxel tiene un valor entre 0 y 255. Los detectores registran la energía electromagnética en 7 bandas: Las bandas 1, 2 y 3 están en la región visible del espectro, y son útiles para detectar características culturales tales como las vías de comunicación. También muestran detalles en el agua; Las bandas 4, 5 y 7 están en la región infrarrojo reflectivo del espectro, y pueden ser útiles en la discriminación de tierra / agua; La banda 6 está en la región termal del espectro y es útil para el mapeo de la temperatura (Chuvieco 1990).

- **1 = Azul, 0.45 - 0.52 μm :** Esta banda es útil para mapear áreas costeras y cuerpos de agua, permite la diferenciación entre suelo y vegetación, tipos de bosque, y ayuda a detectar características culturales.
- **2 = Verde, 0.52 - 0.60 μm :** Esta banda corresponde al verde reflejado por la vegetación sana. Es útil para la identificación de características culturales.
- **3 = Rojo, 0.63 - 0.69 μm :** Esta banda es útil para discriminar algunas especies de plantas. También es útil para determinar límites de suelos y delinear límites geológicos, así como características culturales.
- **4 = Infrarrojo reflectivo, 0.76 - 0.90 μm :** Esta banda es especialmente sensible a la cantidad de biomasa vegetal presente en una escena. Es útil para la identificación de cultivos y enfatizar los contrastes suelo / cultivo y tierra / agua.
- **5 = Infrarrojo medio, 1.55 - 1.75 μm :** Esta banda es sensible a la cantidad de agua en las plantas, y es útil en estudios de períodos de sequía y análisis de la salud de las plantas. Es una de las pocas bandas que se pueden utilizar para discriminar entre nubes, nieve y hielo.
- **6 = Infrarrojo térmico, 10.40 - 12.50 μm :** Esta banda es útil para detectar el estrés en cultivos y vegetación, la intensidad del calor, y la aplicación de insecticidas. Es útil para detectar la actividad geotérmica.

- **7 = Infrarrojo lejano, 2.08 - 2.35 μm :** Esta banda es útil en la discriminación de tipos de roca y límites de suelos, así como el contenido de humedad del suelo y la vegetación.

E) ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV)

El comportamiento espectral de las cubiertas vegetales captados por los sensores a bordo de los satélites, posibilita la generación de los llamados índices. La típica respuesta espectral de la vegetación sana muestra una reducida reflectividad en las bandas del visible (Landsat TM 1, 2 y 3), con bajos niveles digitales en las imágenes y una elevada reflectividad en el infrarrojo cercano (Landsat TM 4), representada por altos niveles digitales. Mientras que en la región visible, los pigmentos existentes en las hojas absorben la mayor parte de la energía que reciben, estas sustancias apenas afectan al infrarrojo cercano (Chuvieco 1990).

Los llamados índices de vegetación no son nada más que la suma, diferencia, ratio u otra combinación lineal de un factor de reflectancia u observación de radiancia entre dos o más bandas de espectro electromagnético. La alta absorción de la radiación incidente en la porción visible del rojo (RED, 600 – 700 nm) y la fuerte reflectancia en la porción infrarroja cercana (NIR, 750 – 1350nm) por la parte fotosintética de las plantas logrando con que sean estas bandas las más utilizadas en IV (Weigand *et al.* 1979).

En todos los IV se hacen asunciones básicas: primero que una combinación algebraica de bandas espectrales puede proporcionar información útil sobre la vegetación y en segundo lugar que el suelo desnudo en una imagen formara una línea en el espacio espectral, es decir la línea del brillo del suelo como la línea de vegetación cero (Chuvieco 1990).

Así pues, la biomasa y la productividad del cultivo pueden ser estimadas por índices tales como el SR o el NDVI. Estos índices se han utilizado en la medida de densidad de la vegetación o cubierta, la biomasa fotosintética activa (Tucker, 1979), el índice de área foliar, la densidad de la cubierta verde (Tucker *et al.* 1985), la tasa de fotosíntesis y la cantidad de materia viva fotosintéticamente activa entre otros (Wiegand *et al.* 1979).

Estos producen medidas cuantitativas digitales, que intentan medir la biomasa y la salud vegetativa, así que cuanto más alto es el valor del IV, más alta es la probabilidad de que la superficie terrestre tenga una cubierta vegetal densa y sana (Campbell 1996).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

La presente investigación se desarrolla en la región de Arequipa y Lima (Figura 1).

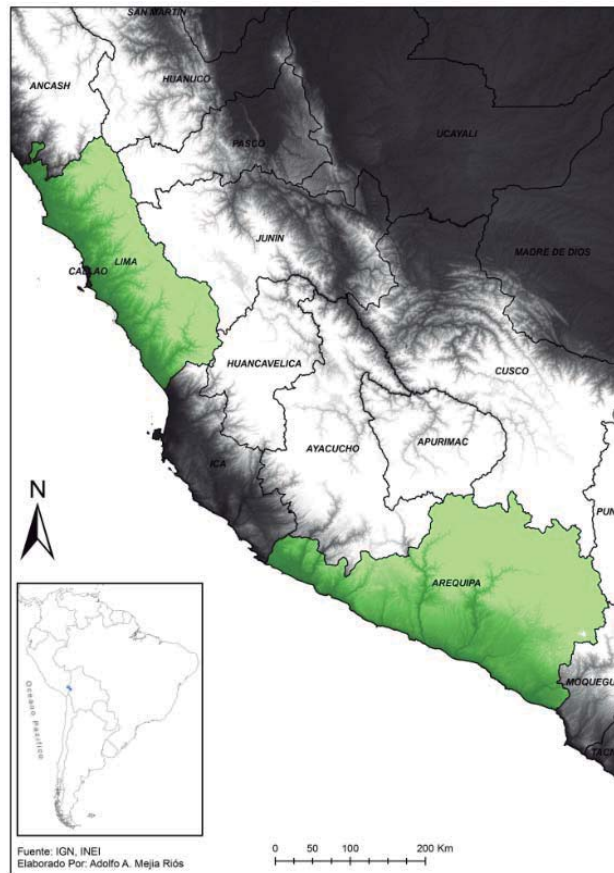


Figura 1 Mapa del ámbito de estudio, Arequipa y Lima están resaltados en verde.

Fuente: Elaboración Propia

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 MATERIALES

- Imágenes LANDSAT 5, para Perú y el periodo 2011 – 2012 (resolución 30 m).
- Modelos de Elevación ASTER-GDEM, para el Perú (resolución 30 m).
- Hojas de la Carta Nacional IGN a escala 1/100 000 en formato digital.

- Base de datos del Worldclim (<http://www.worldclim.org/>)(resolución 1 km).

3.2.2 EQUIPOS

- PC Core i7, procesador de 3.80 GHz, 32 GB de memoria RAM, Disco duro de 4 TB.

3.2.3 SOFTWARE

- Arc Gis (Versión 10.0).
- Erdas Imagine (versión 2010).
- Google earth (versión 6)
- Microsoft Office 2010.
- Diva-GIS 7.5
- Desktop-GarpSetup 1.1.6
- Maxent 3.3.3e

3.3 METODOLOGÍA

El modelo conceptual en que se basa el presente estudio consta de 8 grandes etapas, consecutivas y dependientes entre sí (Figura 3):

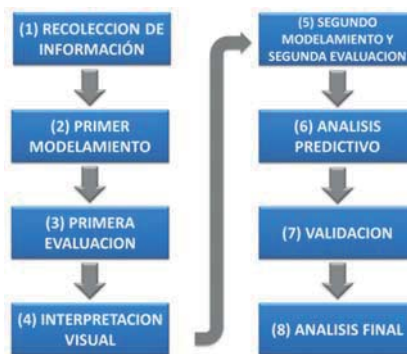


Figura 2 Modelo Conceptual general de la metodología.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó una revisión y acopio de documentos, mapas, fotografías y otros existentes, referente a bosques del género *Polylepis*. Se tomó en cuenta la base de datos de especímenes de herbarios, conocimiento de expertos y diversas instituciones reconocidas. Se priorizó registros a los que se les pudo atribuir coordenadas geográficas.

3.3.2 PRIMER MODELAMIENTO

Los registros colectados fueron clasificados en dos grupos. El 75 % de ellos fueron usados para entrenar o ejecutar el modelamiento (Puntos TRAIN) y el 25 % restante para su evaluación (Puntos TEST).

Estos puntos se seleccionaron de forma aleatoria (función aleatorio.entre de Excel). A continuación se ingresaron en Arcgis donde se eliminaron repetidos y dudosos.

En el desarrollo de múltiples modelos, se crearon 24 variables divididos en 3 bases de datos:

- 1 grupo de variables elaboradas con índices de vegetación (IV) denominadas **“Base de datos de Índices de Vegetación”**.
- 1 grupo de variables climáticas denominadas **“Base de datos Climática”**.
- 1 tercer grupo de variables combinadas denominadas **“Base de datos Mixta”**.

El primero fue generado a partir de un análisis digital de imágenes satelitales LANDSAT y modelos de elevación ASTER-GDEM. El segundo se descargó de Worldclim (<http://www.worldclim.org/>). Y el tercero corresponde a la mezcla de los dos anteriores.

A) *BASE DE DATOS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN*

- a) Descarga y Pre-procesamiento de Imágenes LANDSAT.

Las imágenes LANDSAT 5-TM fueron descargadas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales de Brasil (<http://www.inpe.br/>). Los modelos de elevación ASTER-GDEM fueron descargados de la página <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>.

Las imágenes fueron compuestas y georreferenciadas individualmente (funciones de los menús “Interpreter” y “Data Prep” respectivamente del software Erdas). La imagen de

referencia fue un mosaico LANDSAT – ETM Ortho GeoCover (descargado del <http://glcf.umd.edu/data/>).

b) Creación de Mosaicos

Se generó dos mosaicos a partir de todas las imágenes procesadas ya sea LANDSAT 5-TM y ASTERGDDEM. Se utilizó funciones del menú “DataPrep” del software ERDAS.

c) Generación de variables a partir de índices de vegetación

A partir de los mosaicos, se generan índices de vegetación (Función índices del menú Image Interpreter del software ERDAS). Especificados por Sebem (2005), quien encontró que estos no están correlacionados entre si y por tanto son diferentes:

- Índice de vegetación de Diferencia Normalizada – **NDVI** (Rouse et al. 1974).
- Simple ratio – **SR** (Birth 1968).
- Índice de Vegetación – **VI** (Tucker et al. 1985).
- Raíz cuadrada del Simple Ratio – **SRSR** (Sebem 2005).
- **Altimetría** (Sebem 2005).

Los 4 índices de vegetación y la altimetría, se re-muestraron a Arcgis con una nueva resolución (1 km). A continuación, se recortan los bordes de estas, de tal manera presenten un área común (Función Extract by Mask de ArcGis). A este conjunto de 5 archivos se le puso por nombre “Base de datos de Índices de Vegetación”.

B) BASE DE DATOS CLIMÁTICA

Se descargaron las 19 variables bioclimáticas de WorldClim (<http://www.worldclim.org/>):

- **Bio1:** Temperatura promedio anual (°C)
- **Bio2:** Oscilación diurna de la temperatura (°C)
- **Bio3:** Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y7)
- **Bio4:** Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
- **Bio5:** Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)

- **Bio6:** Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)
- **Bio7:** Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)
- **Bio8:** Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
- **Bio9:** Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
- **Bio10:** Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)
- **Bio11:** Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
- **Bio12:** Precipitación anual (mm)
- **Bio13:** Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
- **Bio14:** Precipitación del periodo más seco (mm)
- **Bio15:** Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
- **Bio16:** Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
- **Bio17:** Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
- **Bio18:** Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
- **Bio19:** Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

Las 19 variables bioclimáticas fueron recortadas de igual manera que las 5 antes obtenidas (Base de datos de índices de vegetación), de tal manera tengan un área común (Función Extract by Mask de ArcGis). A continuación estos 19 archivos fueron agrupados en la “Base de datos climática”.

C) BASE DE DATOS MIXTA

Se generó una nueva base de datos llamada mixta, donde se agrupó a los 4 índices de vegetación, la altimetría y las 19 variables bioclimáticas.

D) MÉTODOS DE MODELADO (ALGORITMOS Y APLICATIVOS INFORMÁTICOS)

Para la creación de diferentes modelos de distribución de especies (MDE), se utilizaron los algoritmos BIOCLIM, DOMAIN, GARP, MAXENT y PROMEDIO. Cada uno fue

ejecutado en su propia interface (aplicativo informático).Se requirió adecuar los tres conjuntos de variables a los formatos de cada aplicativo (Función Export Data de Arcgis).

Se realizaron 15 MDE a partir de combinaciones entre los conjuntos de variables (o bases de datos), los puntos “train” y los algoritmos definidos.

a) BIOCLIM (perfil bioclimático)

Se utilizó el software DIVA-GIS 7.5, pues contiene el algoritmo BIOCLIM. Este fue obtenido y descargado de internet (<http://www.diva-gis.org/>) por ser de libre acceso. En esta interface se pudieron generar los archivos raster de los MDE planteados (Figura 3).

Fue necesario, importar los puntos “Train” a una capa de puntos (Shape).Así también se transformó del formato ASCII a GRI de DIVA (Función Import grid file y Make stack de la interface Diva Gis). A continuación se ejecutó la opción automática Modeling/bioclim. Finalmente el archivo resultante por cada MDE se exporto a un formato adecuado (IMG) en Arcgis (Función Export data).

b) DOMAIN (métrica de Gower)

Se utilizó el mismo software DIVA-GIS 7.5, pues contiene el algoritmo DOMAIN. En esta interface, se pudieron generar los archivos raster de los MDE planteados (Figura 3).

En este caso, como ya se dispuso de los mismos insumos que el algoritmo Bioclim dentro de la interface DIVA, solo se ejecutó la opción automática Modeling/Domain. Finalmente el archivo resultante por cada MDE se exporto a un formato adecuado (IMG) en Arcgis (Función Export data).

c) GARP (algoritmo genético)

Se utilizó la aplicación “DatasetManager” de GARP (el cual fue descargado de <http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/>) por ser de libre acceso. Se activó la aplicación “Desktop Garp”, donde se especificó los parámetros (1000 interacciones), para el modelamiento de cada MDE (Figura 4). Fue necesario convertir todos los archivos raster de las bases de datos a formato ASCII desde el arcgis, así también los registros en tabla de formato CSV.

Por cada MDE se obtuvieron 20 archivos raster en formato ASCII, para exportarlos luego a IMG en Arcgis, (Función export data). Estos 20 archivos se integraron en un solo raster

(función Raster Calculator de la extensión Spatial Analyst del Arcgis). Se replicó los pasos descritos para los MDE planteados (Figura 3).

d) MAXENT (entropía máxima)

El algoritmo MAXENT utilizó el mismo formato de entrada de datos que GARP, tanto para los puntos de presencia (Puntos Train) como para las variables. Por lo tanto, se pudo emplear los datos utilizados para GARP en el proceso anterior como para MAXENT. El aplicativo informático utilizado para generar los MDE para este método (Figura 3), fue descargada del internet, por ser gratuito (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>).

Se especificaron los mismos parámetros que en GARP (1000 interacciones) y se definió el MDE según la base de datos utilizada. Al culminar por defecto se generaron archivos raster con extensión ASCII, se los exportó a IMG en Arcgis (Función export data).

e) Promedio de los resultados de los modelos

A partir de los 12 MDE's antes descritos. Se generaron 3 nuevos, estos representaron modelos promedio, el criterio utilizado para agruparlos corresponde al origen de la base de datos utilizada (Función Raster Calculator de la extensión Spatial Analyst del Arcmap). Con esto se logró completar los 15 MDE propuestos.

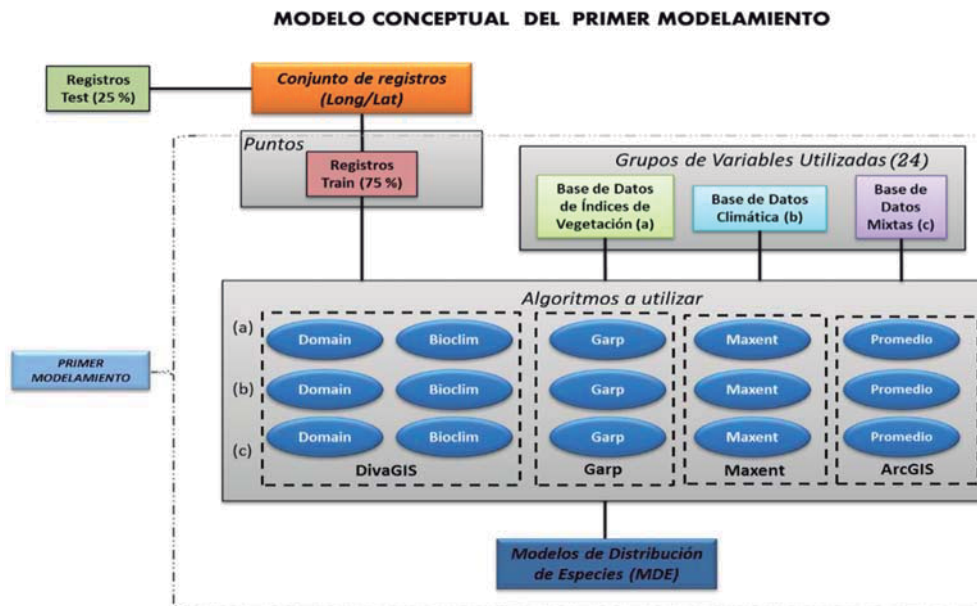


Figura 3 Modelo Conceptual del Primer Modelamiento.

Fuente: Elaboración Propia

Con los 15 archivos producidos se generaron mapas temáticos por cada MDE. Estos archivos se superpusieron con los límites políticos departamentales del Perú, se utilizó las Cartas Nacionales IGN disponibles en la página del Ministerio de Educación (<http://escale.minedu.gob.pe/descargas/mapa.aspx>).

Se fijó un formato de presentación adecuado ligado al archivo raster de cada MDE, con valores de probabilidad entre 1 a 100 y en rangos de cada 10 %. A continuación se realizó una comparación cualitativa y descriptiva entre las mismas.

3.3.3 PRIMERA EVALUACIÓN

Se utilizó la herramienta del área bajo la curva de la función ROC (Hanley y McNeil 1982), para determinar el funcionamiento de cada MDE (Figura 4). Para ello se utilizó los puntos TEST (definidos en el ítem 3.3.2).

Además de los puntos “test” (presencias) se seleccionó un conjunto igual de puntos de Ausencias (puntos donde está comprobada la no existencia o presencia de bosques). Así se generaron automáticamente un número similar de puntos denominados “Pseudo-ausencias”, estos fueron creados aleatoriamente a 5 km como mínimo de las presencias comprobadas (función Create Random points de la extensión Data Management del Arcgis), el distanciamiento fue replicado del criterio utilizado por Hurtado (2007).

Con los puntos “test” (presencias) y pseudo-ausencias, se interceptó la distribución de los puntos con respecto a los 15 MDE y se extrajo en una tabla el valor de probabilidad de cada MDE por punto (herramienta Sample de la extensión Spatial Analyst del Arcgis). Luego se re-categorizó los valores de probabilidad a un sistema binario (0 ó 1). Se otorgó un valor de “0” a las probabilidades menores o iguales al 49 %, y un valor de “1” a todas las probabilidades mayores o igual al 50 %.

A continuación se comparó el resultado de esta predicción, ya sea de presencia y pseudo-ausencia, a través de la herramienta de la curva ROC, obteniendo un cuadro comparativo del valor del AUC para los 15 MDE. Los modelos con un mayor valor de AUC, predicen “mejor” el área potencial de distribución de los bosques.

Finalmente se seleccionaron los 3 MDE con los valores más altos de AUC para luego obtener un MDE promedio (Función Raster calculator de la extensión Spatial Analyst del Arcgis), con el fin de identificar las áreas de los hábitats potencialmente convenientes que

coincidían entre todos los modelos. Al MDE promedio se le filtro las áreas con valores mayores o iguales al 50 %. Esta área base generó un mapa de predicción de distribución denominado “Primera Aproximación”.

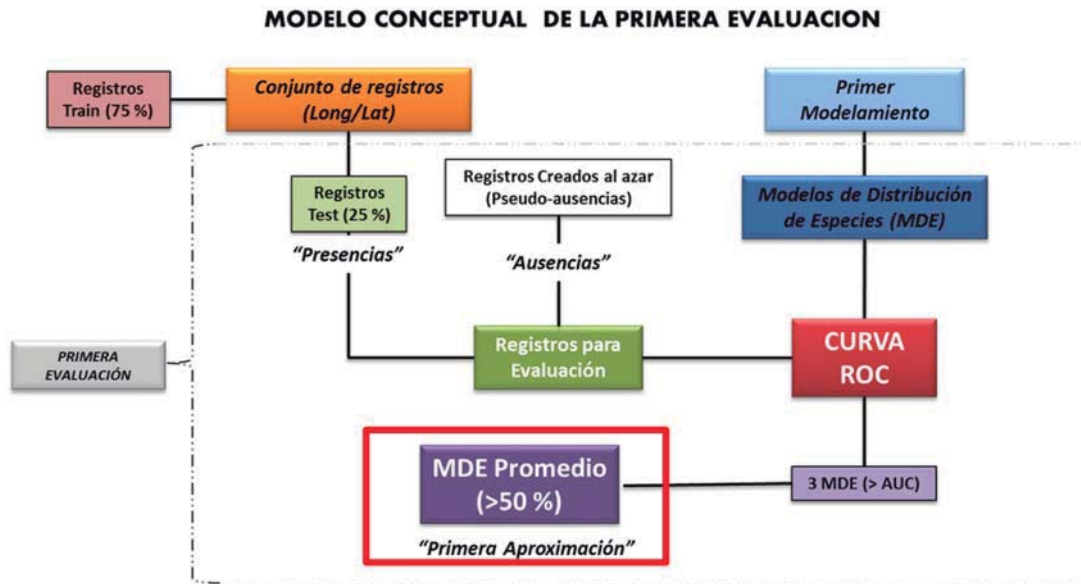


Figura 4 Modelo Conceptual de la Primera Evaluación.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4 INTERPRETACIÓN VISUAL

Se vectorizó el MDE “Primera Aproximación” y se exportó a Google Earth (KML to Layer de arcgis). Esta área fue utilizada para el entrenamiento preliminar a la interpretación visual, con el objetivo de conocer el color y textura específicos a los relictos de *Polylepis* presentes en las diferentes imágenes satelitales de alta resolución (Figura 5).

Definido estos patrones, se procedió a la digitalización en pantalla mediante interpretación visual de todos los bosques detectables y con preferencia dentro del área base (MDE). Como ayuda se exportaron, las cotas de 3500 (límite teórico de la distribución del genero) y 4000 (Benham et al. 2011), donde se asume que cualquier cobertura arbórea superior a esa última cota serán bosques de *Polylepis*. Se utilizó para ello la herramienta de polígono, del Google earth y se exporto finalmente a Arcgis (Capa Digitalizada 1).

MODELO CONCEPTUAL DE LA INTERPRETACIÓN VISUAL

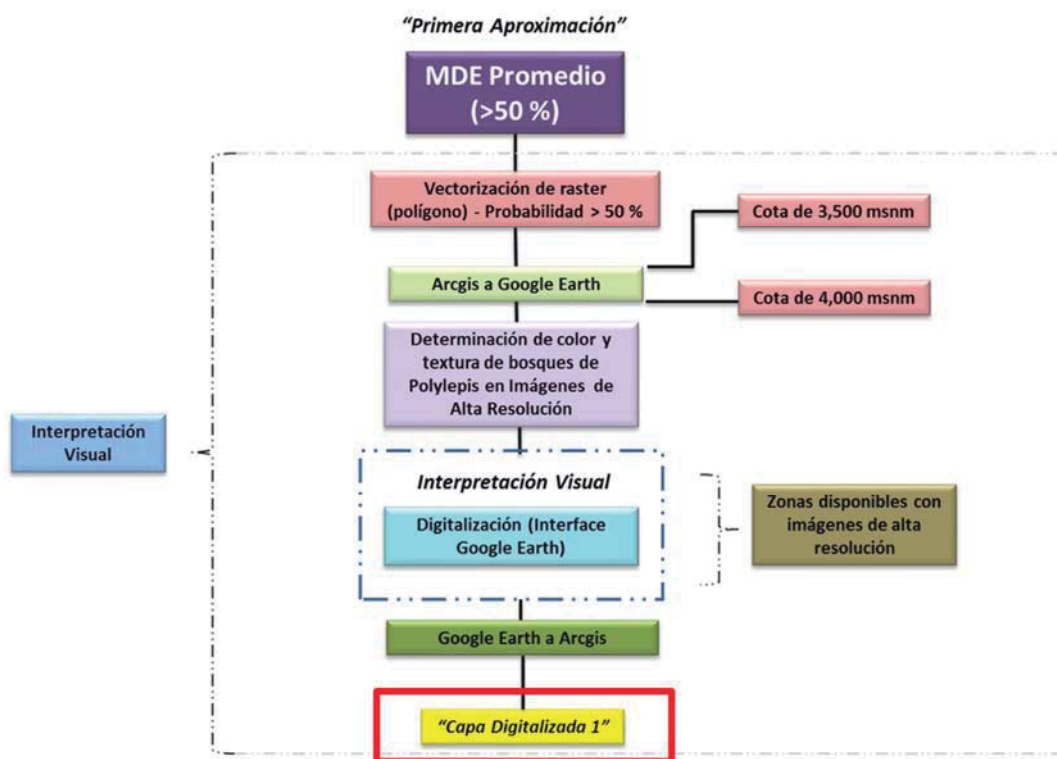


Figura 5 Modelo Conceptual de la etapa de Interpretación Visual.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5 SEGUNDO MODELAMIENTO Y SEGUNDA EVALUACIÓN

Se identificaron la existencia de zonas sin cobertura de imágenes satelitales de alta resolución en Google Earth y superiores a la cota de 3500 m.

A continuación el resultado de la interpretación visual fue interceptado con una grilla de 400 m x 250 m. Luego se filtraron todas las parcelas o polígonos mayores a 9 ha. Posteriormente se generaron el centroide y/o coordenadas respectivas de cada parcela resultante, estos puntos representan nuevos registros y presencias de bosques.

Con la obtención de nuevas presencias se dispuso el desarrollo de un segundo análisis de modelamiento y una segunda evaluación, siguiendo para ello la misma secuencia definida en los ítem 3.3.2 y 3.3.3 respectivamente (Figura 6).

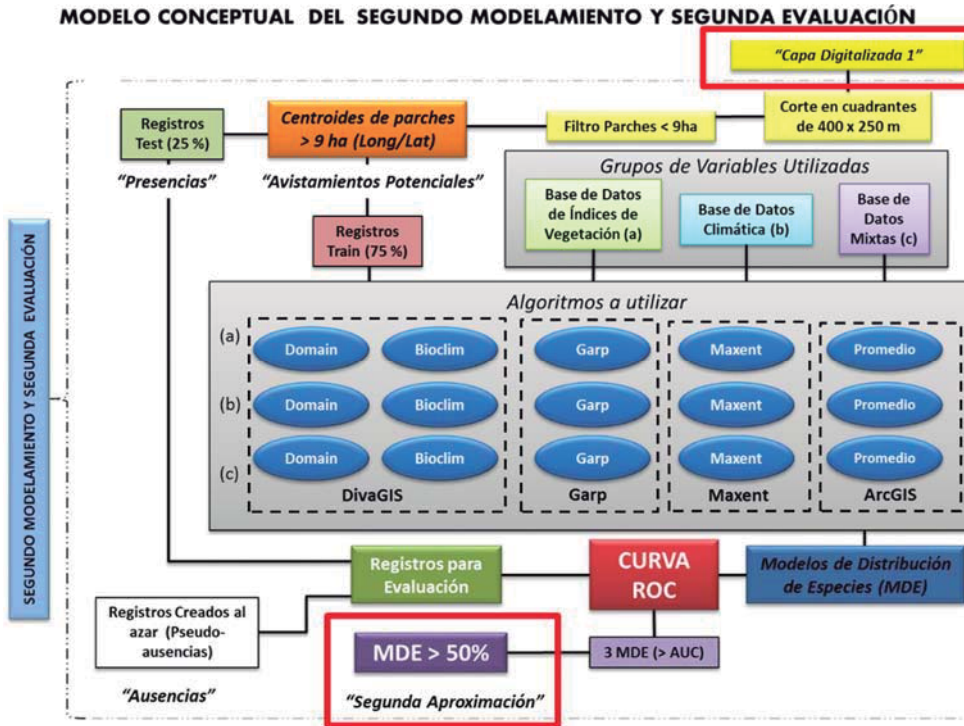


Figura 6 Modelo Conceptual para el segundo modelamiento y segunda evaluación.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.6 ANÁLISIS PREDICTIVO

Para aquellas zonas detectadas sin cobertura de imágenes de alta resolución en Google Earth y superiores a la cota guía de 3500 m. Se descargaron y georreferenciaron imágenes satelitales de media y baja resolución del INPE-Brasil (<http://www.inpe.br/>). Se prefirió aquellas con el menor tamaño de pixel posible.

Luego se las superpuso con la nueva área base del MDE “Segunda Aproximación”. En ella se realizó la digitalización de los relictos mediante interpretación visual de estas nuevas imágenes (Capa Digitalizada 2).

Al igual que la interpretación visual, el área base “Segunda Aproximación” se utilizó como entrenamiento para conocer el color, tono y textura específicos de los bosques en las nuevas imágenes. Se complementó esto con una comparación entre las coincidencias de las imágenes de diferentes resoluciones.

Finalmente se integraron las capas digitalizadas provenientes de esta etapa y de la interpretación visual, lo cual aseguró la cartografía global de todos los bosques de *Polylepis* (Figura 7).

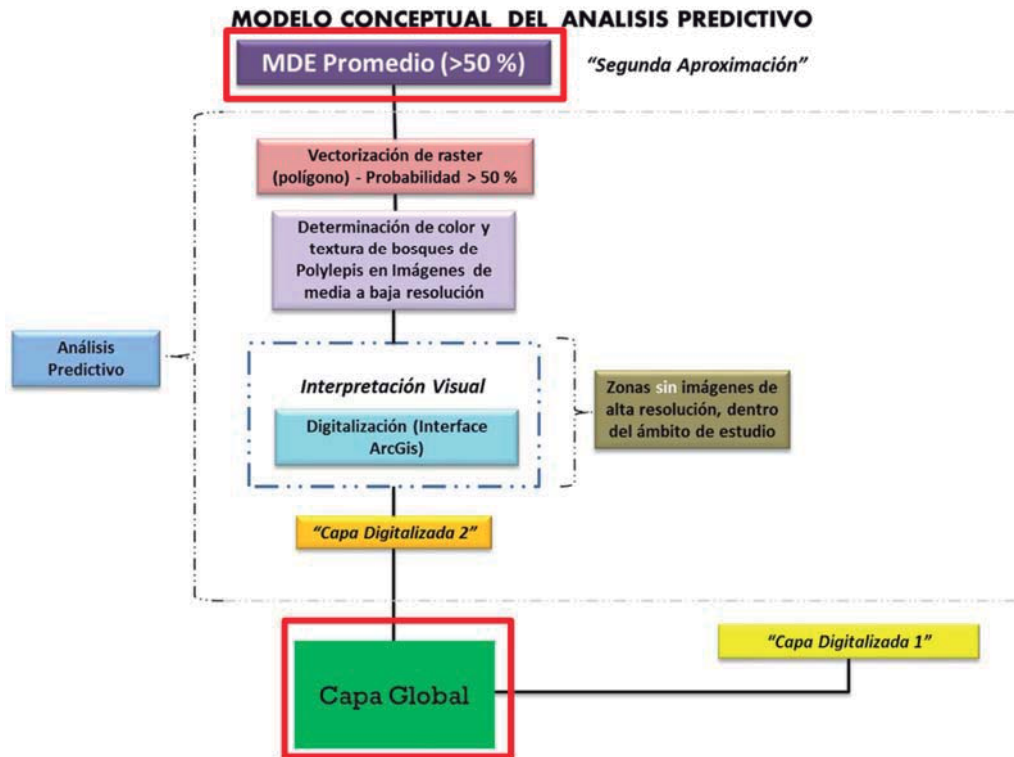


Figura 7 Modelo Conceptual del análisis predictivo.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.7 VALIDACIÓN

La distribución de los polígonos presenten en la “Capa Global”, fueron evaluados con el estadístico de Kappa de Cohen (Landis y Koch 1977, Manel et al. 2001). Fue aplicado en tres escenarios:

A) CASO I: VALIDACIÓN CON DATOS DE CAMPO PARA EL ÁMBITO DE ESTUDIO

Se generaron 20 puntos al azar (10 presencias y 10 ausencias), dentro un área buffer de 1 km a las vías de acceso cercanos a los relictos mayores a 10 ha (herramientas Buffer y Create Random Point de Arcgis), la información de vías adecuada proviene del MTC.

B) CASO II: VALIDACIÓN CON DATOS DE CAMPO PARA EL ÁMBITO DE ANP'S.

De forma similar que el Caso 1, se generaron 20 puntos al azar (10 presencias y 10 ausencias), dentro un área buffer de 1 km a las vías de acceso, pero cercanos a los relictos mayores de 5 ha. Además los puntos fueron seleccionados en 2 Áreas naturales protegidas (ANP): La Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (RNSAB) y la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochabamba (RPNYC).

C) CASO III: VALIDACIÓN CON BIBLIOGRAFÍA PARA EL ÁMBITO DE PERÚ.

Se utilizó los puntos Test (presencias) y las Pseudoausencias utilizados en la primera evaluación y donde la Capa global no manifestó la presencia de bosques. La validación en este caso, fue realizado en Google earth, además de poder describir el contexto espacial, donde se ubicó cada punto de ausencia.

La visita y comprobación en campo de los puntos, se detallaron en un cronograma el cual estuvo sujeto a la disponibilidad de transporte para esas zonas. La toma de datos fue registrada mediante archivos fílmicos y una unidad GPS.

Finalmente, con los resultados obtenidos en los tres casos, se pudo comparar cualitativamente la presencia y/o ausencia de estos bosques manifestada en la “capa global”, con respecto a la bibliografía encontrada y referente a la distribución del genero *Polylepis* para el ámbito de estudio.

3.3.8 ANALISIS FINAL

A partir de la “Capa Global” y con la validación realizada, fue posible extraer información cuantitativa y cualitativa de la superficie de todos los bosques en el ámbito de estudio.

Se plasman los resultados en cuadros por extensión boscosa, esto último por conveniencia. Además se producen mapas temáticos de la distribución total de los bosques para cada departamento estudiado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se obtuvieron 174 registros de bosques del genero *Polylepis*, distribuidos en hasta 12 regiones (figura 8 y Cuadro 1), archivo llamado “Avistamiento de bosques” (Anexo 1).

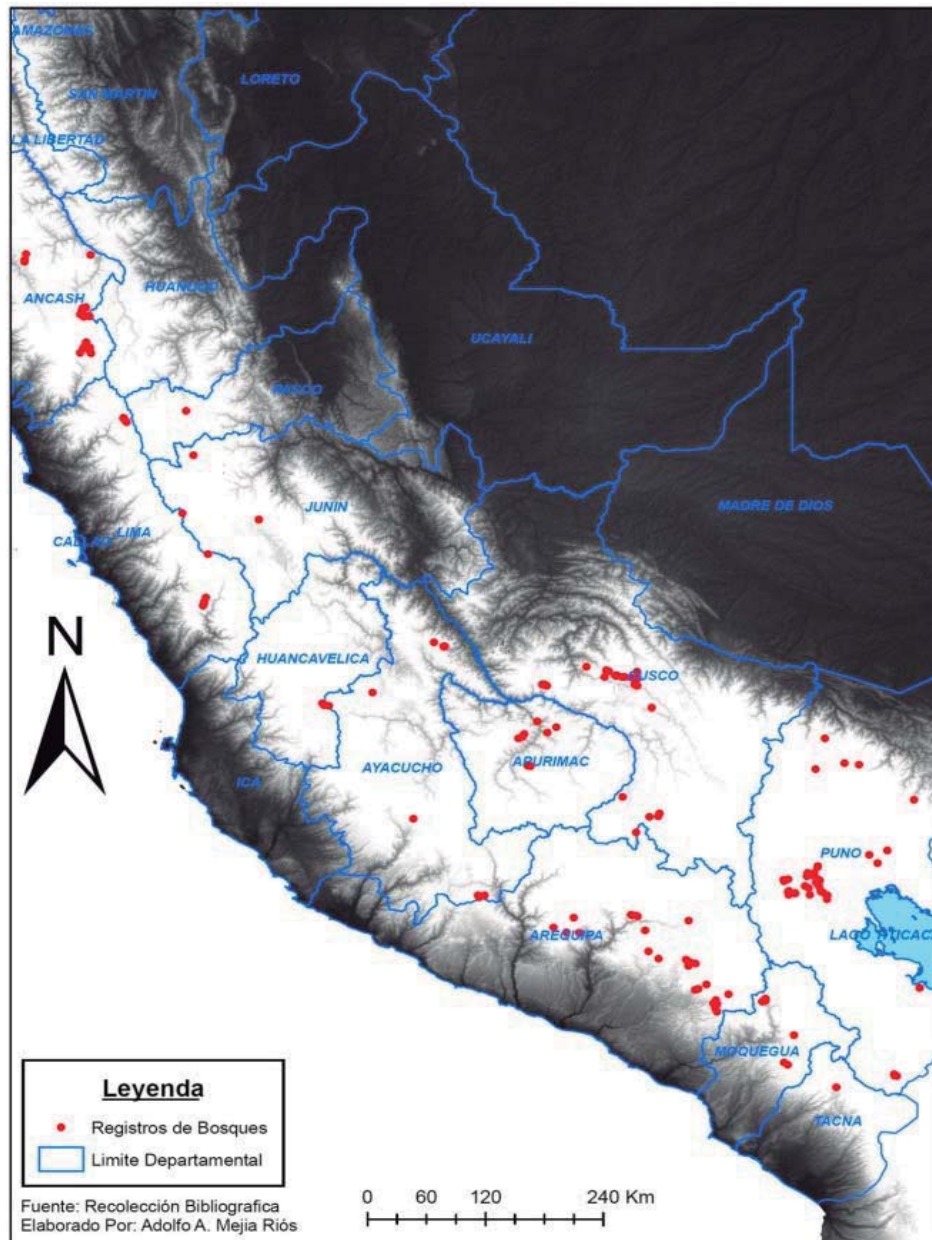


Figura 8 Distribución de registros recopilados de Bosques de *Polylepis*.

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 1 Número de registros de bosques de *Polylepis* por Departamento.

Departamento	Registros
ANCASH	22
APURIMAC	11
AREQUIPA	29
AYACUCHO	12
CUSCO	28
HUANCAVELICA	3
JUNIN	3
LIMA	11
MOQUEGUA	8
PASCO	1
PUNO	45
TACNA	1
TOTAL	174
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>	

4.2 PRIMER MODELAMIENTO

4.2.1 PUNTOS TRAIN

De los 174 registros, 130 fueron seleccionados para entrenar los modelos (Train). La distribución de los puntos es similar al total, por lo que se considera representativa y no se detecta agrupaciones que pudieron sesgar el modelamiento (Figura 9 y Cuadro 2).

Cuadro 2 Registros utilizados en el primer modelamiento por departamento.

Departamento	1° r Modelamiento
	Registros
Ancash	15
Apurímac	9
Arequipa	23
Ayacucho	7
Cusco	21
Huancavelica	3
Junín	2
Lima	8
Moquegua	6
Pasco	1
Puno	34
Tacna	1
Total	130
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>	

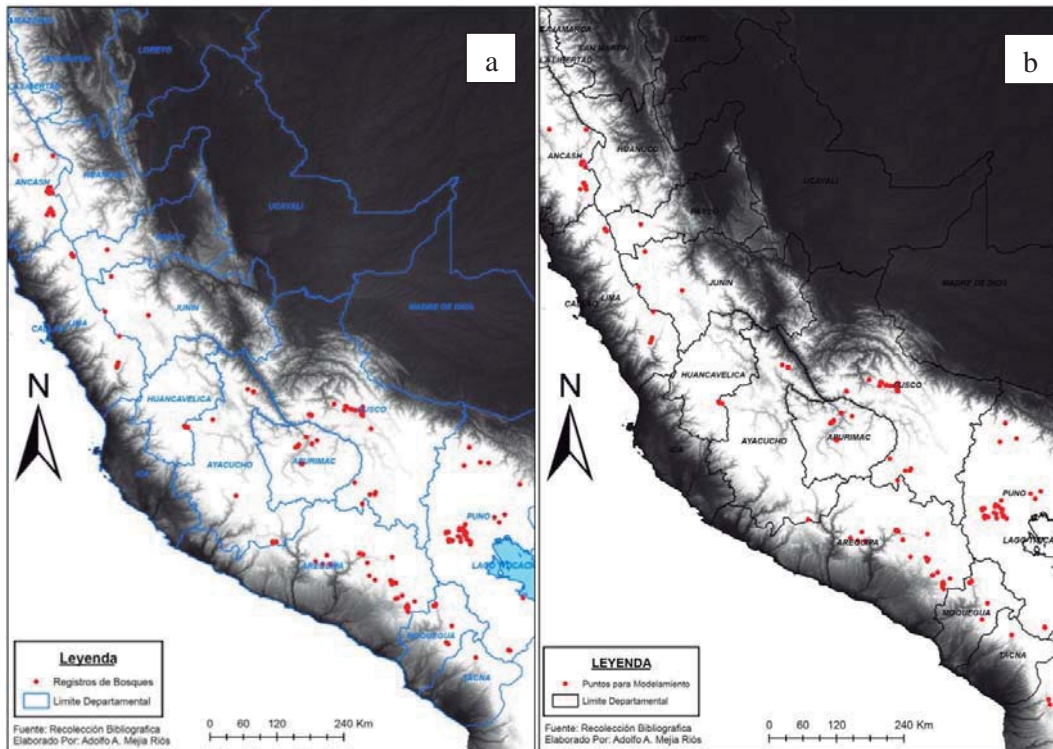


Figura 9 a.- Distribución de registros de bosques. b.- Distribución de puntos “train”.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 BASES DE DATOS

A) BASE DE DATOS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN

a) Descarga y Pre-procesamiento de imágenes satelitales.

Se descargaron y procesaron 60 imágenes satelitales Landsat 5-TM. Para dar continuidad a las escenas Landsat, se decidió georreferenciarlos en relación a la zona 19 Sur (El Path y Row de cada imagen se presenta en el Anexo 2 y 3).

Las correcciones radiométricas no se realizaron ya que estas deben de hacerse en el momento que se requiera intercambiar y estandarizar información. Además se debe realizar el menor número de operaciones que modifiquen lo menos posible los niveles digitales.

b) Creación del Mosaicos

Se generaron dos mosaicos de imágenes satelitales LANDSAT 5TM y modelos de elevación ASTER-GDEM, denominados “Mosaico_peru_Landsat_5TM.img” y “dem_peru_ASTERGDEM.img” respectivamente (Figura 10).

En la elaboración del mosaico LANDSAT se detectó que los valores de los píxeles en algunas escenas continuas no se relacionan entre sí (Figura 10), tal como lo referido por Sebem (2005). Entre las razones que pudieron causar este problema se puede mencionar las condiciones atmosféricas a la hora de la toma de las imágenes, el ángulo de la luz solar en el mismo momento y el estado de los instrumentos en el satélite (su calibración pudo variar con el tiempo). En ASTER-GDEM los valores de píxeles son uniformes.

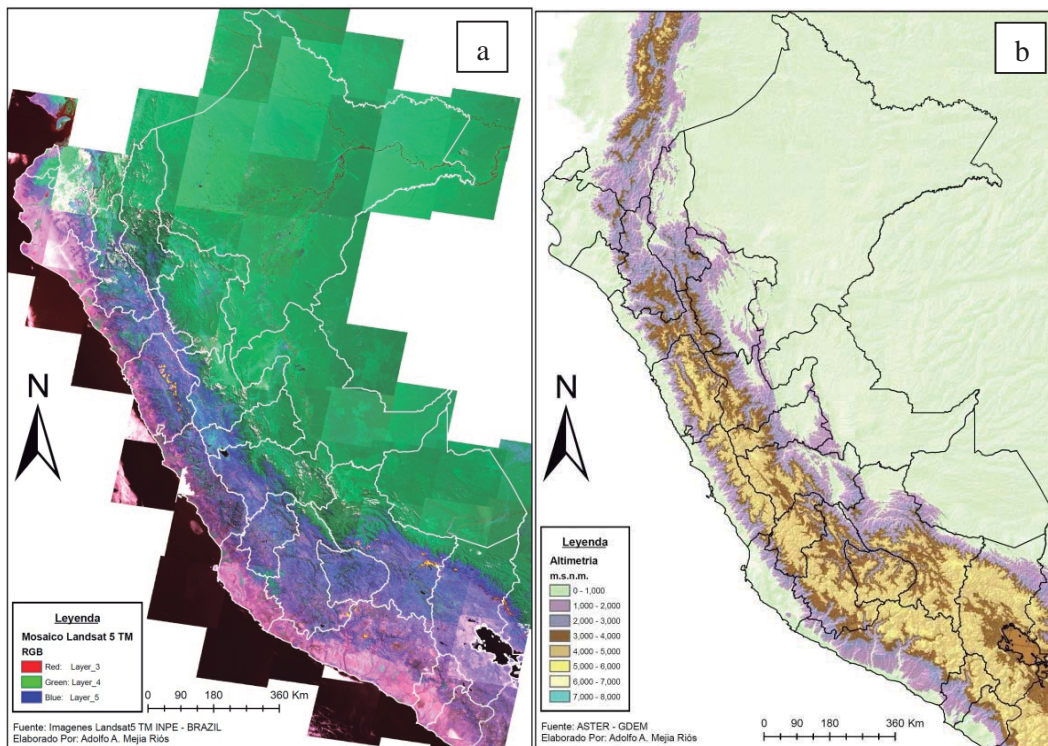


Figura 10 a.- Mosaico de imágenes Landsat 5 TM; b.- Mosaico ASTER-GDEM.

Fuente: Elaboración Propia

c) Generación de variables a partir de índices de vegetación

A partir, del archivo “Mosaico_peru_Landsat_5TM.img” se extrajeron 4 índices de vegetación (NDVI, SR, SRSR, y VI):

- Índice de vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI (Rouse *et al.* 1974): El NDVI genero una imagen en tono de grises con valores que van desde 1 a -1, los valores cercanos a 1 representan vegetación vigorosa y los pixeles con valores cercanos a -1 son vegetación escasa a nula. Al recortar y pasarlo a la nueva resolución (1 km), se percibieron ciertos cambios en los tonos de grises y la zona costera se manifestó con tonalidades más oscuras (Figura 11).
- Simple ratio – SR (Birth 1968): Genero una imagen en tono de grises. Se percibe cambios similares al NDVI en otra resolución.
- Índice de Vegetación – VI (Tucker et al 1985): Genero una imagen en tono de grises. Se percibe cambios similares al NDVI.
- Raíz cuadrada del Simple Ratio – SRSR (Sebem 2005): Genero una imagen en tono de grises. Se percibe cambios similares al NDVI en otra resolución.

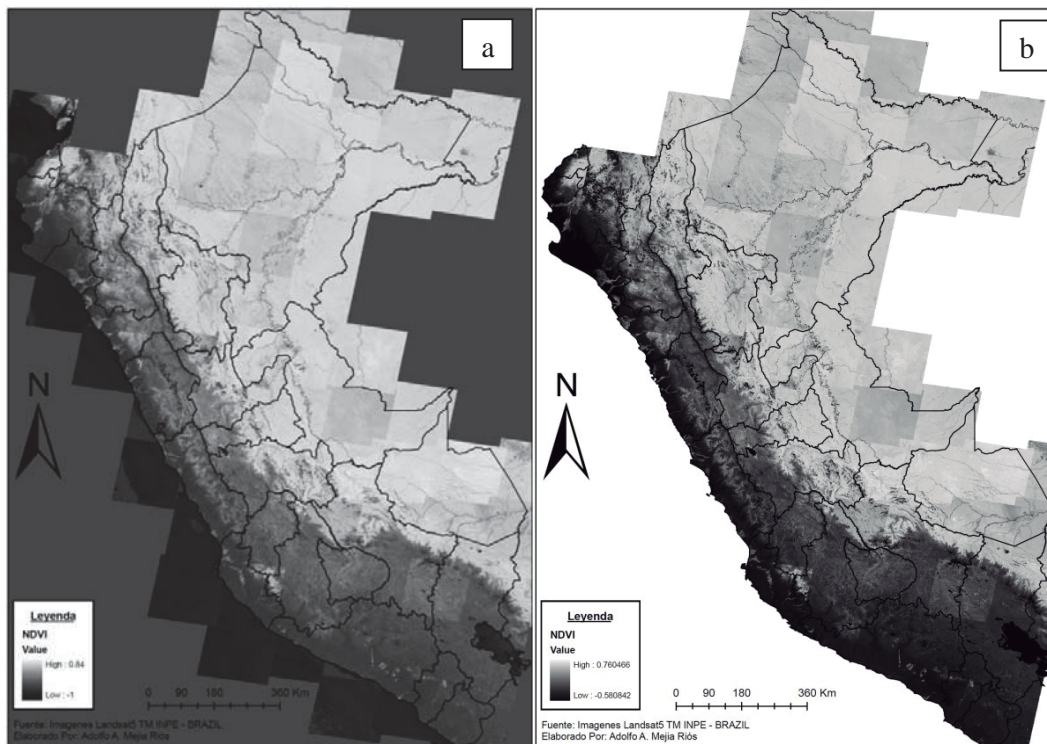


Figura 11 a.- NDVI total (resolución 30 m); b.- NDVI (Resolución 1km).

Fuente: Elaboración Propia

d) Generación de la variable Altimétrica

En la creación de la altimetría solo se destaca su exportación a un mayor tamaño de pixel.

Se agrupó sin ningún problema la variable altimetría y los índices de vegetación. Solo se percibe que la demanda de espacios de almacenamiento fue de hasta 6 GB.

B) BASE DE DATOS CLIMÁTICA

La información de Worldclim, abarca a casi todo Sudamérica, por tanto se hizo necesario su recorte, además es conveniente que todos los raster presenten una extensión geográfica común (Figura 12) donde ejecutar el modelo. Se agrupó finalmente sin ningún problema las 19 variables bioclimáticas en una sola carpeta.

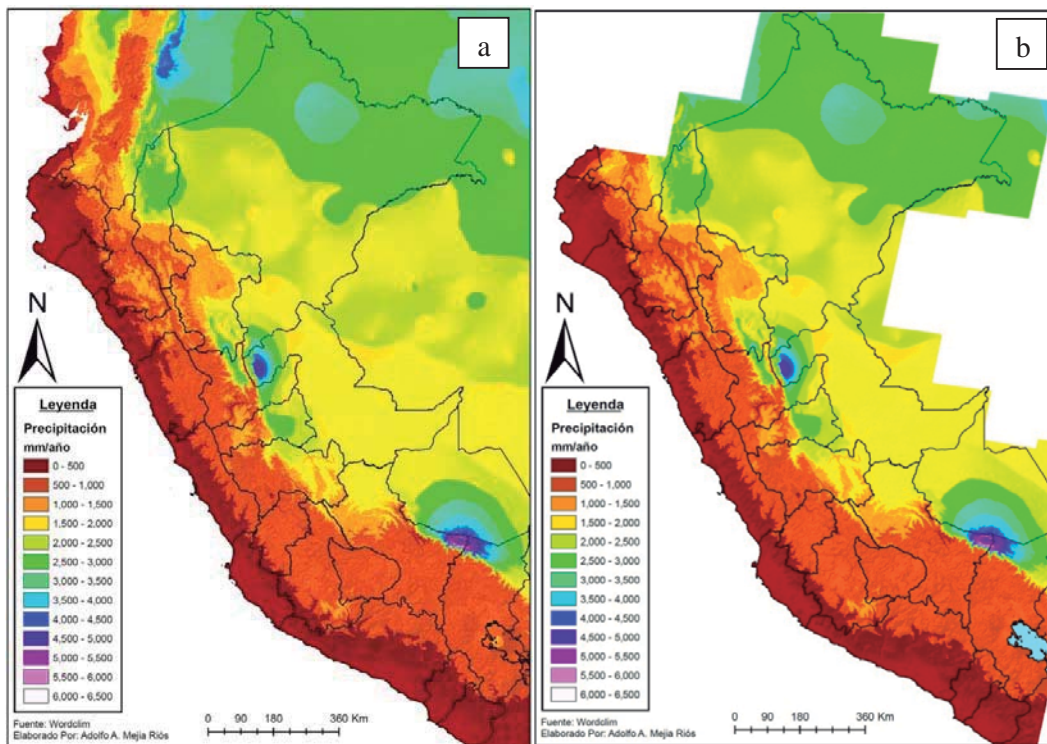


Figura 12 a.- Precipitación anual total (resolución de 1km); b.- Precipitación total recortada.

Fuente: Elaboración Propia

C) BASE DE DATOS MIXTA

Se agrupó si ningún problema en una carpeta las 19 variables bioclimáticas, los 4 índices de vegetación y la altimetría (24 variables en total).

4.2.3 ALGORITMOS Y APLICATIVOS INFORMÁTICOS

Para la aplicación de los algoritmos, fue necesario usar las tres bases de datos en hasta tres paquetes con diferentes formatos: Para ejecutar Maxent las variables en formato “.ASC”; Para ejecutar GARP con extensión “.RAW”. Y finalmente Domain y Bioclim dentro de DIVA-GIS con extensión “.GRD”.

Resulta complicado manejarlas bases de datos en diferentes formatos, en especial para cada aplicativo de libre acceso, esto ocasiona una mayor demanda en el almacenamiento del disco en el computador. Además, hoy en día existe software en los cuales ya vienen incorporado todos estos algoritmos entre otros, pero resultan complicados acceder a ellos por el coste de la licencia y en la capacitación del personal para su manejo.

4.2.4 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN (MDE)

Se generaron 15 modelos de distribución o de hábitat potencial (Cuadro 3).

Cuadro 3 MDE generados por las combinaciones entre la base de datos utilizada y el algoritmo escogido.

Método de Modelado		Base de datos		
		Climáticas	Índices de Vegetación	Mixtas
Algoritmo	Bioclim	MDE 1	MDE 6	MDE 11
	Domain	MDE 2	MDE 7	MDE 12
	Maxent	MDE 3	MDE 8	MDE 13
	Garp	MDE 4	MDE 9	MDE 14
	Promedio	MDE 5	MDE 10	MDE 15
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>				

Se destaca que si bien los modelos de predicción utilizados actualmente, se basan generalmente en datos climáticos para la predicción del hábitat potencial, generalmente no toman en cuenta el factor humano (García 2008). La inclusión durante el modelado de Índices de vegetación, de alguna manera representó mejor el estado, composición y uso actual del suelo en términos de vegetación. Logrando así obtener MDE`s más ajustados y parecidos a la realidad, lo cual estaría acorde a lo manifestado por Hirzel y Guisan (2002).

4.3 PRIMERA EVALUACIÓN

Se utilizó en la evaluación, 44 puntos de presencia y un número igual de pseudo-ausencias distribuidos a lo largo de 16 departamentos (Figura 13 y Cuadro 4).

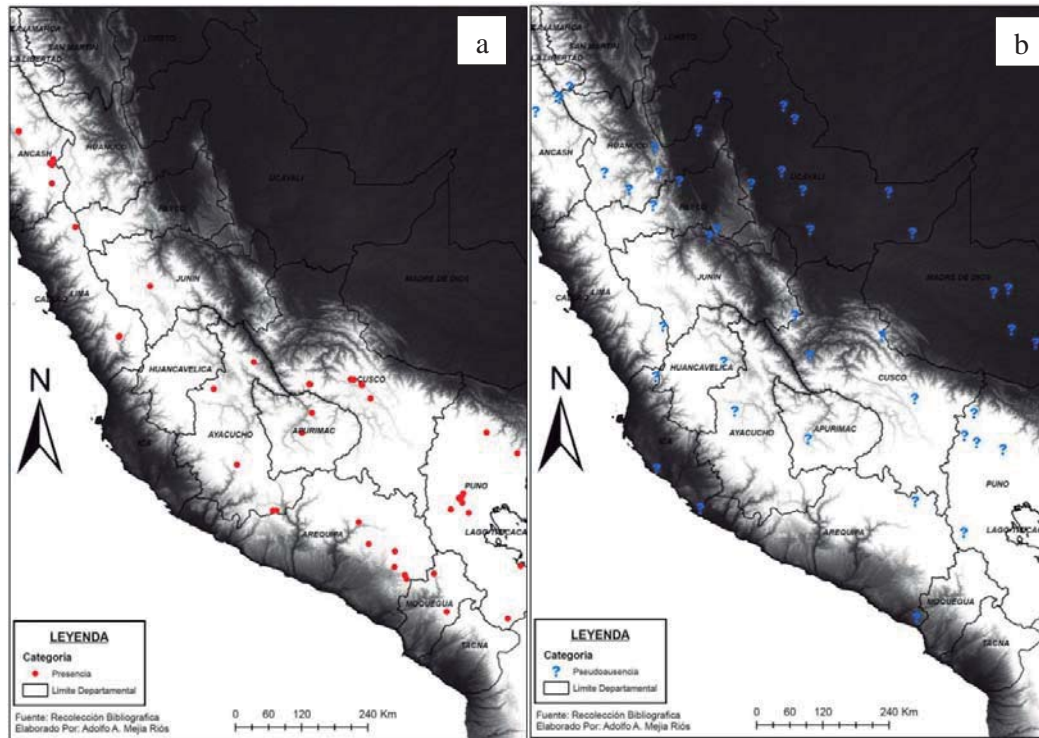


Figura 13 a.- Distribución de presencias (Test); b.- Distribución de pseudo-ausencias.

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4 Presencias y pseudo-ausencias para la primera evaluación por departamento.

Departamento	Presencia	Pseudo-ausencia
Ancash	7	3
Apurímac	2	1
Arequipa	6	2
Ayacucho	5	1
Cusco	7	3
Huancavelica		1
Huánuco		5
Ica		3
Junín	1	2
La Libertad		1
Lima	3	1
Madre de Dios		4
Moquegua	2	
Pasco		3
Puno	11	5
Ucayali		9
TOTAL	44	44
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>		

En dicha imagen comparativa (Figura 13), es posible distinguir la distribución de los puntos “Train” o presencias de bosques, con respecto a la distribución de las Pseudo-ausencias. Estos últimos se distribuyen de forma irregular y en zonas donde relativamente no es posible encontrar bosques naturales, como lo son la costa y amazonia peruana, por lo que se considera representativa.

La evaluación muestra los tres “mejores” modelos (Cuadro5): En primer lugar y con un valor de AUC = 0,905 al MDE 8 generado con variables de índices de vegetación, mediante el algoritmo de maxent; en segundo lugar y con un AUC de 0,901 el MDE 15 con variables mixtas y en tercer lugar se encuentra el MDE 5 con variables climáticas (AUC= 0,882).

Así mismo, se obtuvo en último lugar con un valor AUC de 0,777 al MDE 1(Bioclim) generado con variables climáticas; y el penúltimo lugar lo ocupa el MDE 7(domain) con variables de índices de vegetación, con un AUC =0,784 (Figura 14).

Los métodos que ofrecen “peores” resultados, son algunos de los más utilizados en el pasado: GARP, DOMAIN y BIOCLIM. Estos resultados están en consonancia con los obtenidos por Elith *et al.* (2006); quienes ponen de manifiesto que los algoritmos de nueva generación, como MAXENT o PROMEDIO.

Cuadro 5 Valores de AUC para los 15 MDE evaluados.

Modelos		AUC	MDE
Bases de Datos Climáticas	Bioclim	0,777	MDE 1
	Garp	0,836	MDE 4
	Maxent	0,856	MDE 3
	Domain	0,819	MDE 2
	Prom	0,882	MDE 5
Bases de Datos de Índices de Vegetación	Bioclim	0,822	MDE 6
	Garp	0,866	MDE 9
	Maxent	0,905	MDE 8
	Domain	0,784	MDE 7
	Prom	0,880	MDE 10
Bases de Datos Mixtas	Bioclim	0,821	MDE 11
	Garp	0,873	MDE 14
	Maxent	0,869	MDE 13
	Domain	0,818	MDE 12
	Prom	0,901	MDE 15
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>			

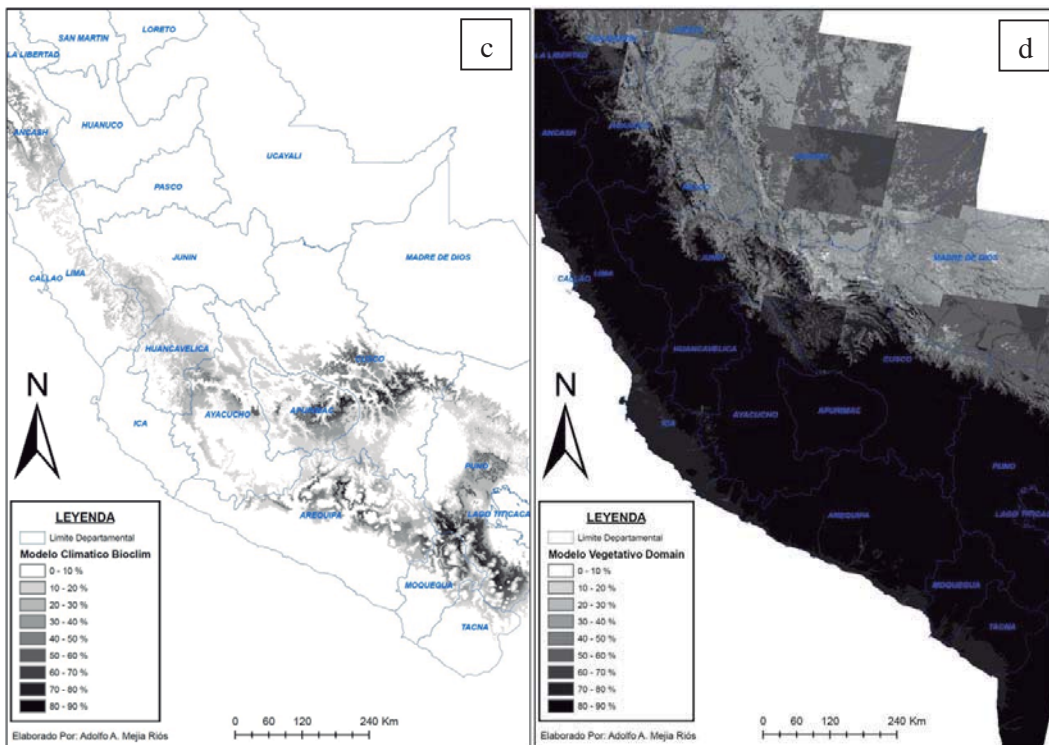
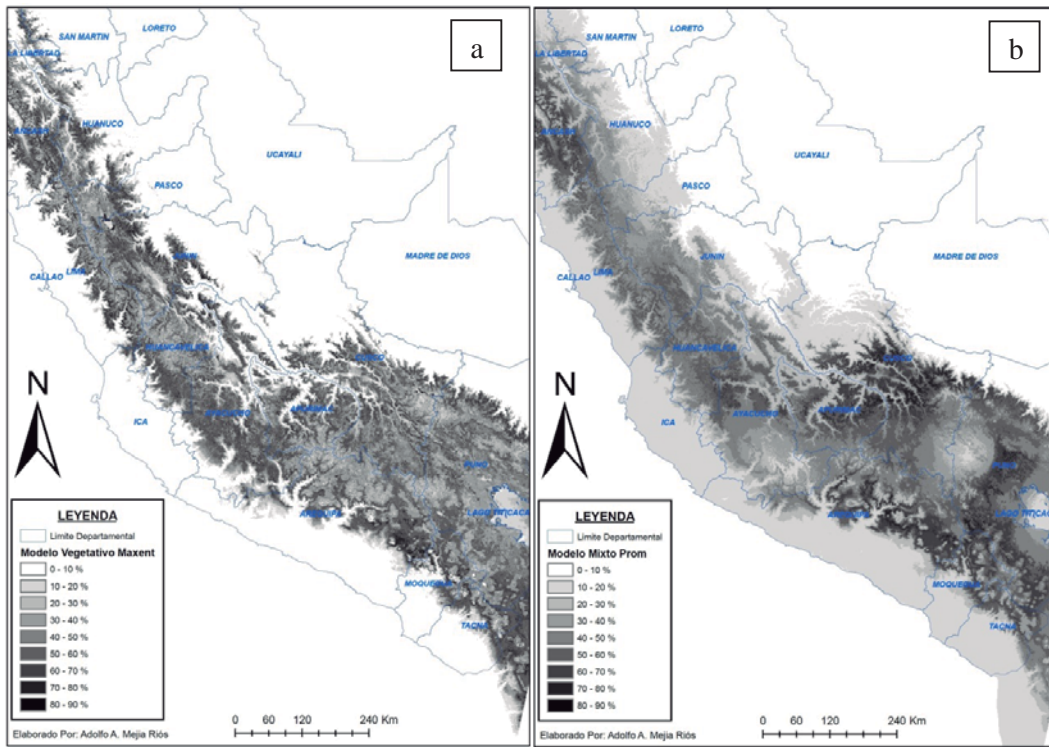


Figura 14 a.- “Mejor” modelo (MDE 8); b.- Segundo “mejor” modelo (MDE 15); c.- “Peor” modelo (MDE 1) d.- Segundo “peor” modelo (MDE 7).

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de presencia almacenados en las colecciones de herbarios y otras fuentes bibliográficas utilizadas para los registros colectados, son la fuente de información disponible más importante sobre la distribución de los organismos (Benito y Peñas 2007). Para la evaluación se usa también estos datos ya que disponen de cierta confianza, aunque también necesitamos disponer de ausencias para evaluar la precisión de cada MDE.

Pero, en este punto hay que considerar la calidad de los datos obtenidos para las pseudoausencias, si bien un registro de las presencia es incuestionable de cierta forma, no ocurrirá lo mismo con los registros de pseudoausencia. Tal como refieren Hirzel et al. (2002), la dinámica de una población, la fragmentación del hábitat o la capacidad dispersiva son factores que podrían llevar a designar como ausencia una localización con características óptimas para la especie, alterando el resultado final de la evaluación y restando significación biológica en la interpretación del modelo. Por tal motivo, se consideró que los resultados en esta primera evaluación son de carácter referencial y no absoluta.

Finalmente el modelo promedio de los tres mejores (MDE 8, MDE 15 y MDE 5), determinó las zonas potenciales con probabilidades mayores a 50 %, donde se delimitan bosques como área base de entrenamiento (“Primera Aproximación”), (Figura 15).

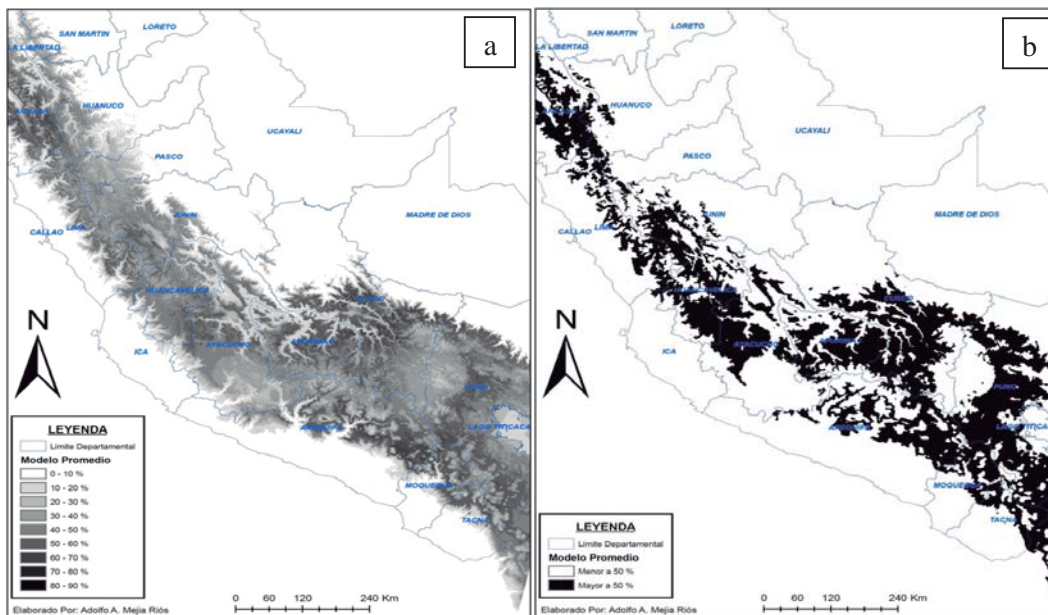


Figura 15 a.- Promedio tres MDE con mejores AUC; b.- MDE primera aproximación.

Fuente: Elaboración Propia

4.4 INTERPRETACIÓN VISUAL

Se digitalizó hasta 4035 relictos de bosques, con una extensión total de 86014,03 ha, correspondiendo a Arequipa 63 602,10 ha y para Lima un total de 22 411,94 ha.

La caracterización preliminar y general del paisaje, identificó los elementos que existen en la zona de estudio. Con mayor frecuencia, se observaron fragmentos pequeños. En su mayoría, los parches están regularmente conectados entre sí por medio de ríos y márgenes de cultivo. Sin embargo, pequeños relictos más aislados tienen poca conectividad y están separados por espacios abiertos de pajonales, parcelas de cultivos y pampas ocasionadas probablemente por el sobrepastoreo (Figura 16).

Los bosques de *Polylepis* dentro de las imágenes satelitales de alta resolución presentaron como característica general, la presencia de copas de árboles como objetos hinchados de color verde, con sombras diferentes, y además de parches contiguos de árboles que denotaban ser más oscuros, más áspero en textura, y más verde que el color de fondo de los alrededores de los mismos bosques (Figura 16).



Figura 16 Características generales en texturas de los bosques de *Polylepis*

Fuente: Interface Google Earth

La mayoría de los fragmentos digitalizados presentan bordes alargados, según el método de Forman (1995). Percibiendo además, que cada fragmento, constituido por parches muy pequeños, estaban en diferentes estados de degradación (Figura 17).



Figura 17 Características generales de la formas de los bosques de *Polylepis*

Fuente: Interface Google Earth

Es importante también resaltar, que al guiar los esfuerzos de esta etapa en un área base con altas probabilidades de ocurrencia de bosques de *Polylepis*, así como las cotas guías de 3500 y 4000. Se ayuda a reducir las zonas de interpretación y por tanto también en esfuerzo, tiempo y uso de recursos, lo que sería distinto si este se realizara en la totalidad de los límites del ámbito de estudio (Figura 18).



Figura 18 Interpretación visual guiada en el área de entrenamiento.

Fuente: Interface Google Earth

El área base proveniente de la primera aproximación y donde se han encontrado mayormente los bosques es menos extensa (figura 19), a comparación de solo tomar como referencia el límite teórico de la distribución (Alturas superiores a 3500 m). Bajo este contexto para Arequipa el área a trabajar se redujo considerablemente de 44% a un 27 %, y para lima de un 38 % a un 25% del total de sus territorios (Cuadro 6).



Figura 19 El área de entrenamiento es menos extensa que el total del territorio.

Fuente: Interface Google Earth

Cuadro 6 Zonas con probabilidades mayores al 50 % de ocurrencia, por departamento.

N°	Departamentos	Superficie (ha)	Probabilidad > 50% (ha)	Probabilidad > 50%
1	Arequipa	6 335 915,48	1 725 694,10	27
2	Lima	3 556 746,41	874 957,25	25
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>				

La distribución de la superficie de los bosques, en los intervalos de probabilidad del MDE “Primera Aproximación” arrojan que: El 26.87 % (23 107,77 ha) caen dentro de una probabilidad del 50 – 60 %; el 53.02 % (45 608,61 ha) se encuentra en una probabilidad de 60 a 70% y el 15.51 % (13 340,0 ha) para una probabilidad superior del 70 al 80 %.

Esto último asegura de alguna manera, que el modelo tiene cierta confiabilidad mas no del todo, ya que también se logran identificar 3 316,7 ha (3,86 %) en probabilidades menores.

A pesar de ello la totalidad de los bosques cartografiados, solo representa el 3,16 % del área base (Cuadro 7).

Cuadro 7 Superficies de bosques según los intervalos de probabilidades del área base.

<i>Dpto</i>	<i>10 - 20 %</i>	<i>20 - 30 %</i>	<i>30 - 40 %</i>	<i>40 - 50 %</i>	<i>50 - 60 %</i>	<i>60 - 70 %</i>	<i>70 - 80 %</i>	<i>Total (ha)</i>
Aqp	22,89	2,26	128,71	1 943,48	15 040,59	34 222,11	12 242,06	63 602,10
Lima		55,21	431,86	1 373,24	8 067,18	11 386,50	1 097,94	22 411,94
Total ha	22,89	57,47	560,58	3 316,72	23 107,77	45 608,61	13 340,00	86 014,03
(%)	0,03%	0,07%	0,65%	3,86%	26,87%	53,02%	15,51%	100,00%
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>								

Tal como se pudo comprobar en la interpretación visual. La justificación del uso de imágenes de alta resolución en esta etapa, se debe al mismo problema actual de los bosques de *Polylepis*, que es justamente su fragmentación. A la fecha existen solamente pequeñas manchas aisladas en su gran mayoría, principalmente en laderas abruptas y en los márgenes de los ríos y son contados los grandes bosques (Yallico 1992; Benham *et al.* 2011).

Debido a esta situación crítica de los bosques en la zona andina, para su conservación es necesario documentar el estado actual, la distribución y la extensión de los bosques naturales lo más preciso posible. Solamente en base a estos parámetros se puede diseñar e implementar a futuro la adecuada gestión con el fin de conservar realmente estas coberturas (Figura 20).

Esta última idea se contradice en cierta medida, ya que actualmente las técnicas más utilizadas para su cartografía, involucran métodos de clasificación supervisada y no supervisada de imágenes Landsat y Aster (Benham *et al.* 2011; Dourojeanni 2008; Braun 1997); en los cuales es muy difícil clasificar y/o diferenciar los parches más pequeños (lo que actualmente más abunda), y por tanto no logrando la mayor precisión. En este estudio no se realizó una comparación metodológica para determinar dichas diferencias.

Estos métodos por su relativa facilidad en términos de tiempo, dejan de lado la interpretación visual, cuyos resultados implican mayores esfuerzos, pero son altamente precisos; tal como lo demostró Malleux (2003), cuando comparó diferentes metodologías en imágenes satelitales en un bosque amazónico, que ya de por sí ofrece mayores dificultades en su interpretación, por no desmerecer la biodiversidad pero sí la relativa homogeneidad en la cobertura de los bosques del género *Polylepis*.

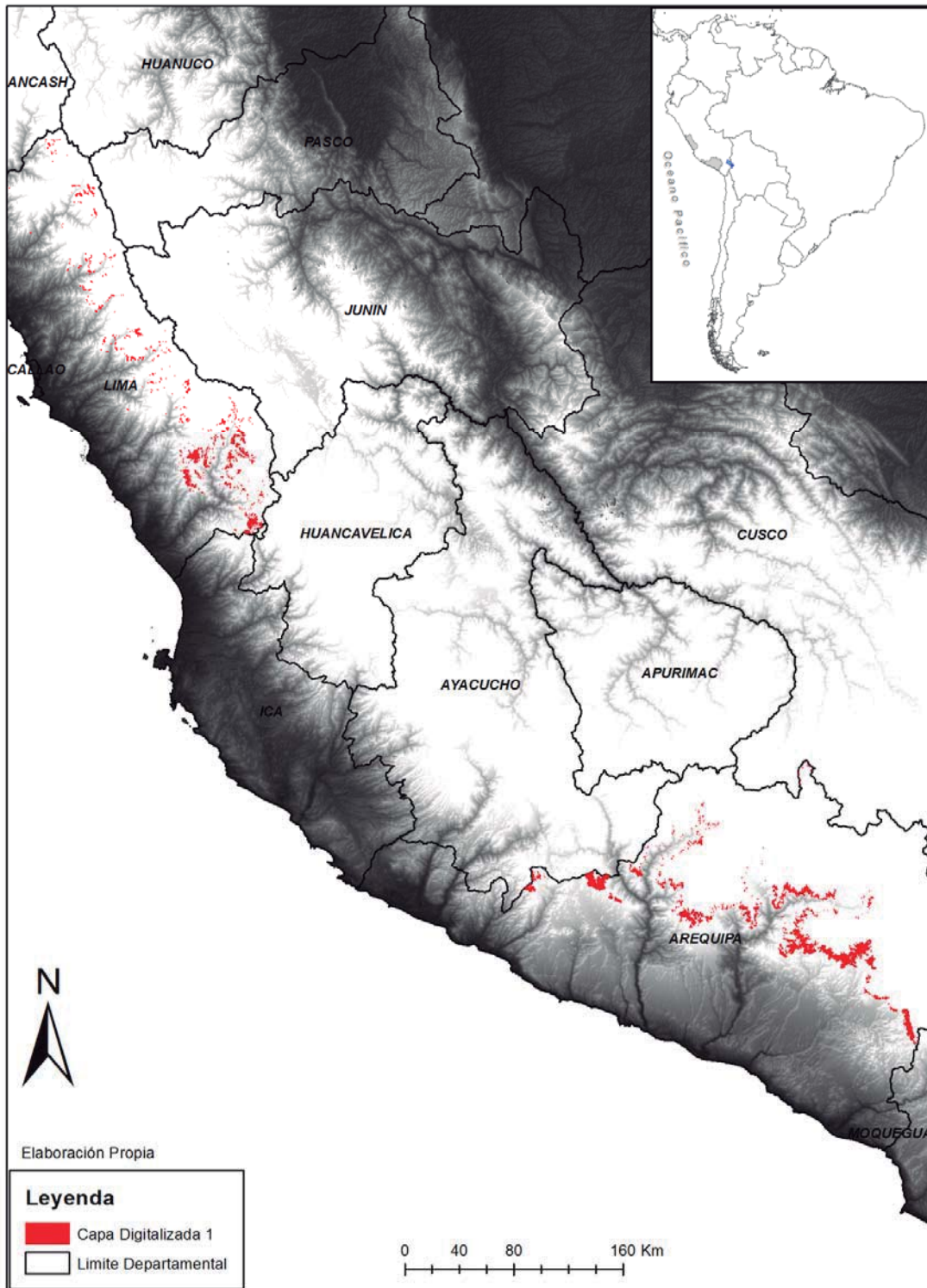


Figura 20 Cartografía de bosques de *Polylepis* en la etapa de Interpretación Visual.

Fuente: Elaboración Propia

4.5 SEGUNDO MODELAMIENTO Y SEGUNDA EVALUACIÓN

4.5.1 ZONAS SIN COBERTURA DE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN

En la interpretación visual en Google Earth, solo en Lima (3 556 746,41 ha) no se pudo interpretar todos los bosques, debido a la falta de imágenes de alta resolución en ciertas áreas (Figura 22). A inicios del 2012 la cobertura de estas áreas fue del 16 % en la región (580 446,2 ha) y para finales del 2013 estas se redujeron a un 9% (328 627,84 ha). Se prevé en los próximos años una cobertura de imágenes de un 100% (Figura 21).

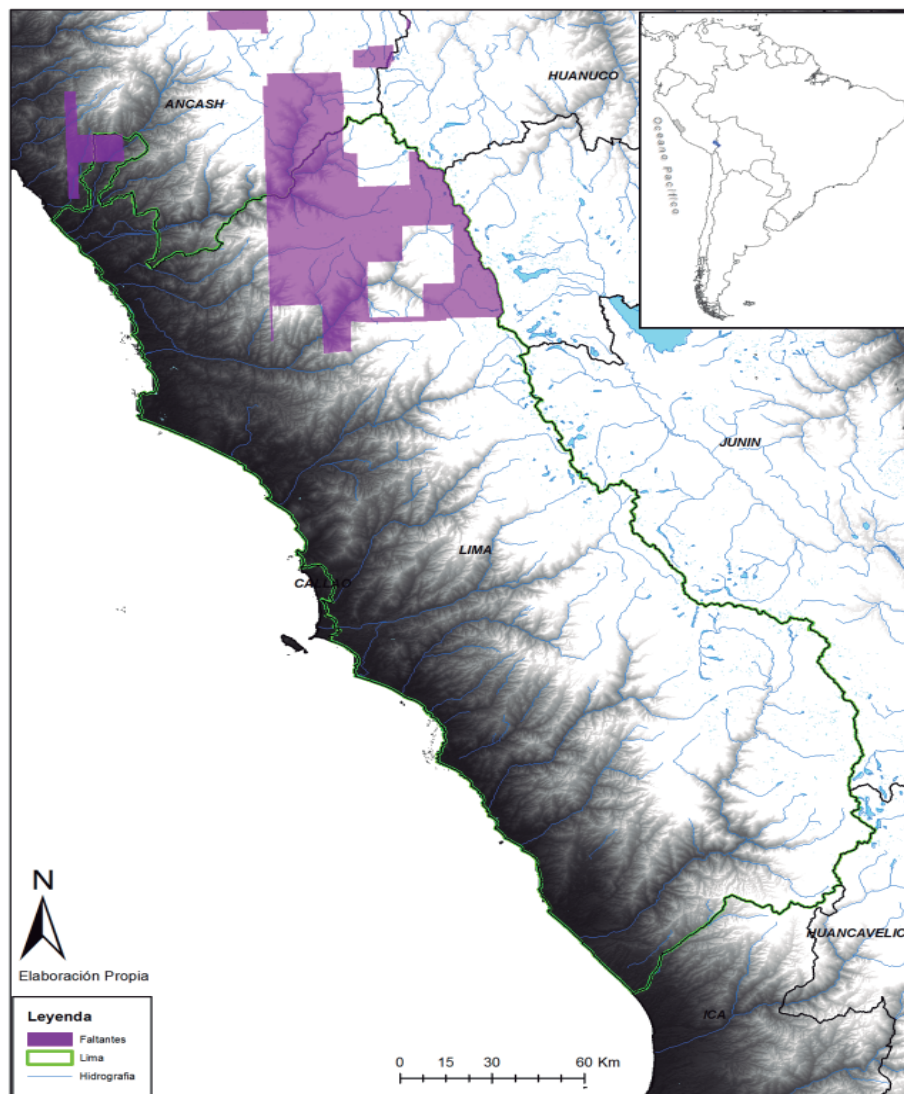


Figura 21 Áreas sin cobertura de imágenes de alta resolución en 2013 (Zonas Moradas)

Fuente: Elaboración Propia



Figura 22 Áreas sin cobertura de imágenes de alta resolución en Google Earth.

Fuente: Interface Google Earth

4.5.2 MDE “SEGUNDA APROXIMACION”

Se obtuvo 9 511 registros. 5 707 utilizados para el segundo modelamiento, 1 902 presencias y 1902 Pseudo-ausencias para la segunda evaluación (Figura 23 y Cuadro 8).

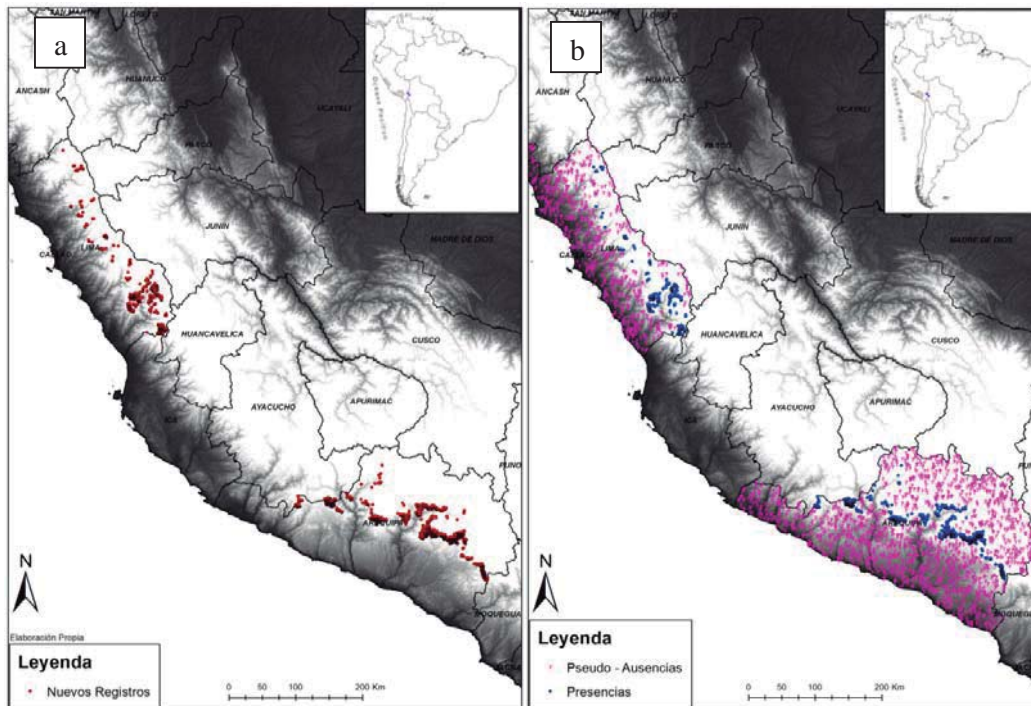


Figura 23 Registros del segundo modelamiento (a) y segunda evaluación (b).

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 8 Número de registros para el segundo modelamiento y segunda evaluación.

<i>Departamentos</i>	<i>Modelamiento</i>	<i>Evaluación</i>		<i>Total</i>
		<i>Presencias</i>	<i>Pseudo-ausencias</i>	
Arequipa	4 420	1 465	1 339	7 224
Lima	1 287	437	563	2 287
Total	5 707	1 902	1 902	9 511
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>				

Así los 15 nuevos MDE fueron evaluados directamente con el estadístico ROC. Los tres mejores MDE (Figura 24 y Cuadro 9), presentan valores de AUC superiores a 0,942 (algoritmo Maxent) siendo aún mayores que el mejor MDE obtenido en el primer modelamiento (Maxent con variables de índices de vegetación y con un AUC resultante de 0,905). También es posible obtener dos MDE's mas y con valores altos de AUC (Maxent Mixto y Maxent Climático, con AUC's de 0,984 y 0,982 respectivamente).

El modelo promedio de los tres mejores (MDE 13, MDE 3 y MDE 8), determinó las zonas potenciales con probabilidades mayores a 50 % ("Segunda Aproximación"), como una nueva área base de entrenamiento donde se delimitan los bosques (Figura 24 y 25).

Cuadro 9 Valores AUC para los 15 MDE provenientes del segundo Modelamiento.

<i>Modelos</i>		<i>AUC</i>	<i>MDE</i>
Base de datos Climática	Bioclim	0,704	MDE 1
	Garp	0,712	MDE 4
	Maxent	0,982	MDE 3
	Domain	0,816	MDE 2
	Prom	0,913	MDE 5
Bases de Datos de Índices de Vegetación	Bioclim	0,872	MDE 6
	Garp	0,776	MDE 9
	Maxent	0,942	MDE 8
	Domain	0,757	MDE 7
	Prom	0,931	MDE 10
Bases de datos Mixtas	Bioclim	0,724	MDE 11
	Garp	0,754	MDE 14
	Maxent	0,984	MDE 13
	Domain	0,815	MDE 12
	Prom	0,929	MDE 15
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>			

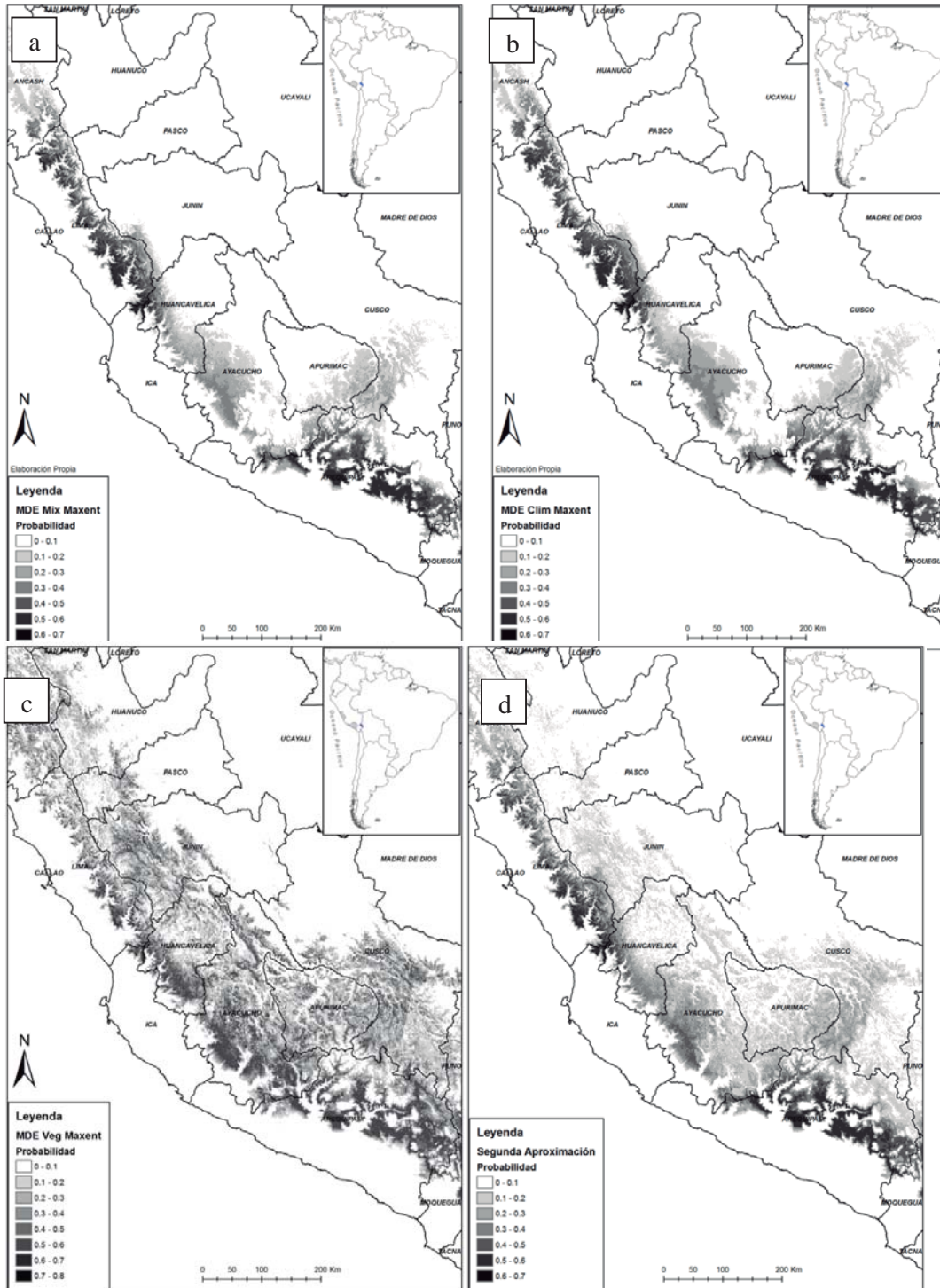


Figura 24 a.- Mejor MDE (MDE 13); b.- Segundo mejor MDE (MDE 3); c.- Tercer mejor MDE(MDE 8); d.- MDE promedio de los 3 mejores, denominado “Segunda Aproximación”.

Fuente: Elaboración Propia

Particularmente, lo que sucedió en este segundo modelamiento, fue que al contar con mayor información (presencias) en algunas áreas, se descartaron zonas que en el primer mapa aparecían con probabilidades que iban del 0 al 40 %.

Con esta nueva información, los MDE resultantes le dieron mayor significancia a zonas que compartían características similares, lo que podría traducirse en una mayor fragmentación y vegetaciones densas (Figura 25), lo cual biológicamente parecieran ser algunas de las características que definen mejor la presencia de los relictos.

Estos resultados están en consonancia con los obtenidos por Elith *et al.* (2006), quienes ponen de manifiesto que los algoritmos de nueva generación, como los realizados en este estudio (PROMEDIO o MAXENT), con mayores cantidades de registros no solo en calidad sino en representatividad ofrecen mejores resultados.

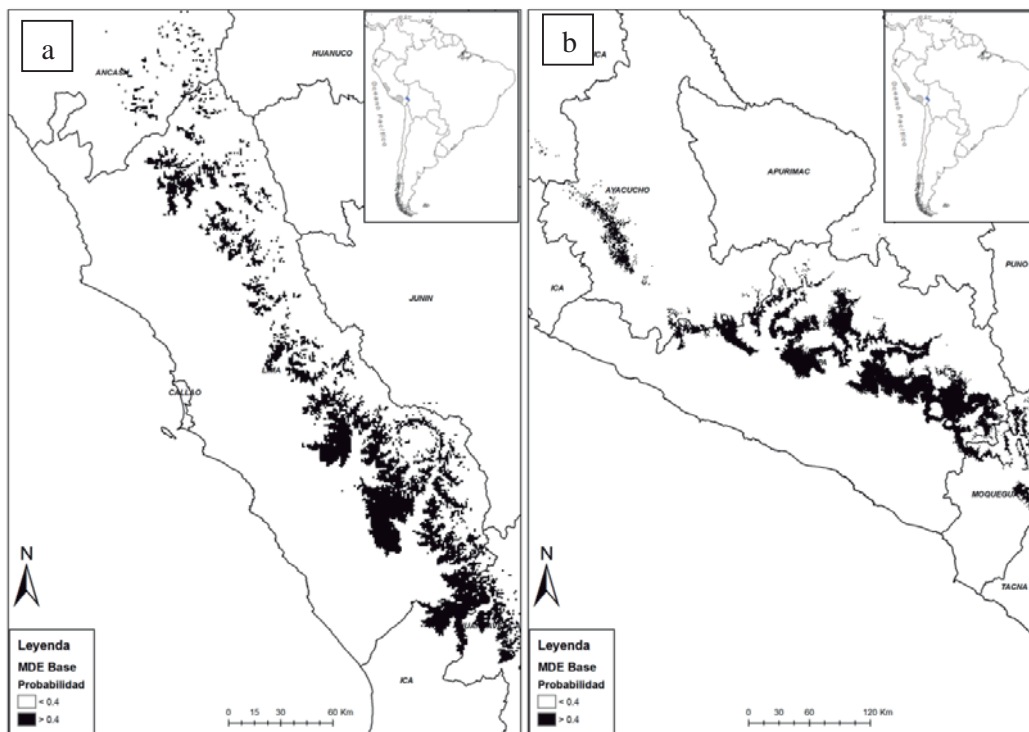


Figura 25 Área base de la *Segunda Aproximación* en Lima (a) y Arequipa (b).

Fuente: Interface Google Earth

Es claro que para este tipo de investigación se debe poner el mayor esfuerzo en la obtención de los registros, buscando una mayor representatividad de la muestra-especie, debiendo analizar la información obtenida para evitar los sesgos y obtener resultados

reales (Hirzel y Guisan 2002). Tomando este criterio se considera que en la etapa del primer modelamiento se echó mano de registros de bosques de *Polylepis* obtenidos por revisión bibliográfica, pero estos fueron relativamente muy escasos (174 puntos) a comparación de la totalidad de parches encontrados en la etapa de interpretación visual (4035relictos) de diferentes tamaños y por tanto de diferente representatividad.

Si bien los registros iniciales (ítem 4.3) provienen de diferentes fuentes reconocidas, se debe suponer que pueden contener un cierto sesgo a la hora que fueron levantados. Podemos tomar como ejemplo, que típicamente en un bosque de *Polylepis* no se registra la coordenada central del parche evaluado, más solo de los flancos y/o contornos, debido a su dificultad ya sea por acceso o tiempo (Yallico 1992). Otro factor que podría incrementar el sesgo, es que no existe una representatividad homogénea por tamaño de bosque, muchas veces se toma como registró un relicto tal como si fuera un bosque de grandes extensiones.

La “mala” cantidad y calidad de los datos de alguna manera puede repercutir en los resultados de los modelos de distribución (Benito y Peñas 2007). Por lo anteriormente expuesto, gracias a la extracción de puntos mediante la interceptación de una grilla de 400 m x 250 m (celdas de 9 ha), y su posterior extracción en nuevos registros. Se pudo asegurar en esta fase una mayor cantidad de puntos con una misma representatividad.

La elección de esta grilla en específico, puede entrar en debate ya que según definición, se consideraría bosques a aquellas “Tierras con una cubierta de copa arbórea de más del 30 por ciento del área y un área mínima de 0,5 ha.” (FONAM 2006). Por tanto, se podría considerar mucho más adecuado y representativo una grilla con una celda de 0,5 ha.

La grilla de 9 ha fue elegida por la facilidad de manejo. Así mismo, se debe tomar en cuenta que el objetivo de este nuevo modelamiento, al igual que el primer modelamiento. Es generar zonas o un área base con alta probabilidad de presencia de bosques de *Polylepis*. Pero en este caso se trató de restringir lo más considerable dichas áreas, para lo cual fue necesario incrementar los registros utilizados con una “mejor” representatividad.

4.6 ANÁLISIS PREDICTIVO

Se descargaron y procesaron del Inpe-Brasil 19 imágenes del satélite CBERS-2B (Figura 26), específicamente la banda pancromática del sensor HRC (resolución de 2,7 m).

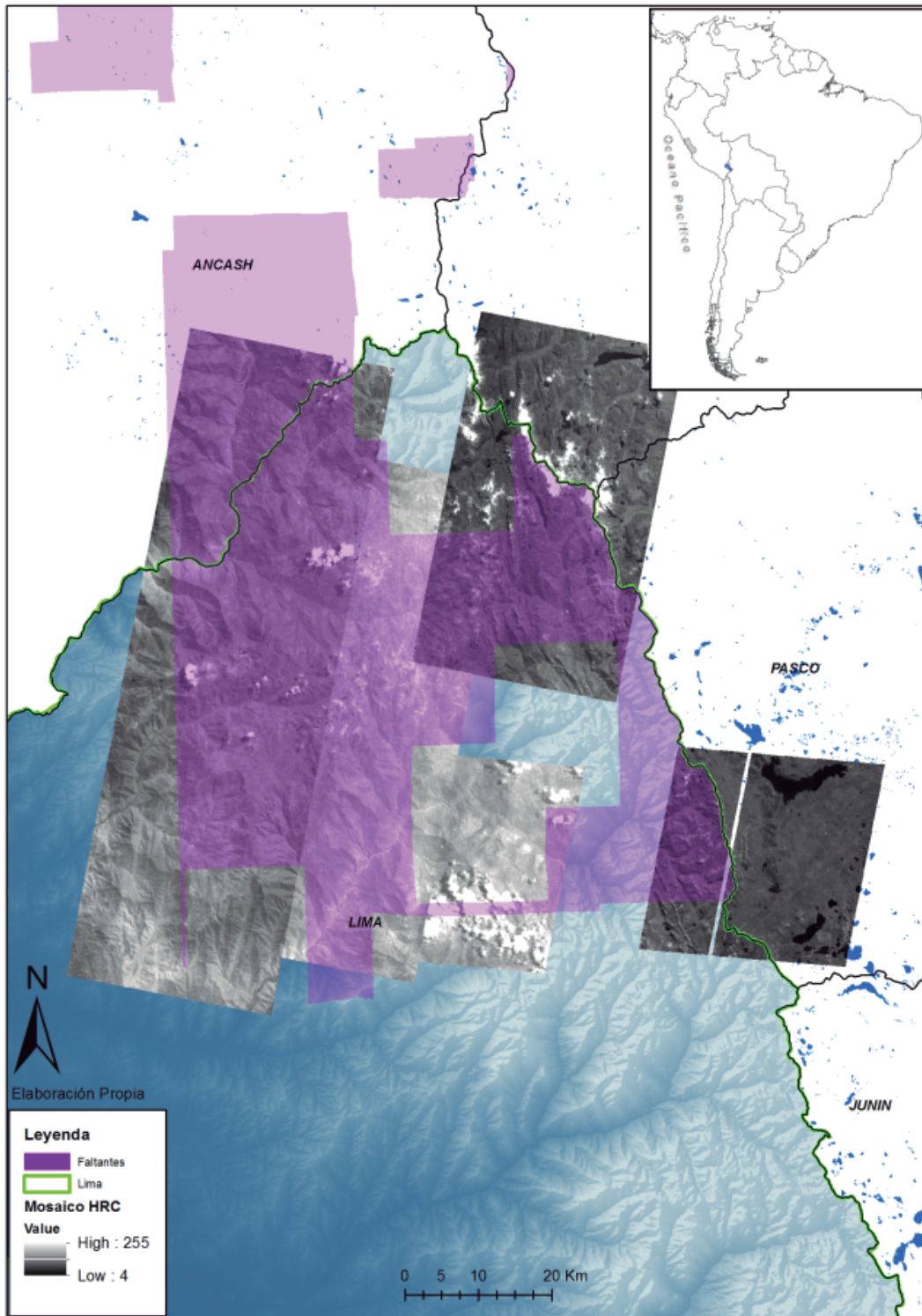


Figura 26 Distribución del Mosaico de Imágenes CBERS-2B.

Fuente: Elaboración Propia

Se logró determinar un total de 114 nuevos relictos, ubicados en la parte Suroeste del Departamento de Lima, cercanos al Distrito de Oyon. Se lograron obtener en su mayoría polígonos de medianos a grandes, los pequeños fueron difíciles de digitalizar, por lo que se estima que quedaron áreas sin ser incluidas, sobre todo menores a 1 ha.

Las comparaciones que pudieron ofrecer ciertos sectores coincidentes en diferentes imágenes de diversa resolución (Figura 27), ayudaron mucho a la hora de la interpretación visual en estas nuevas imágenes.

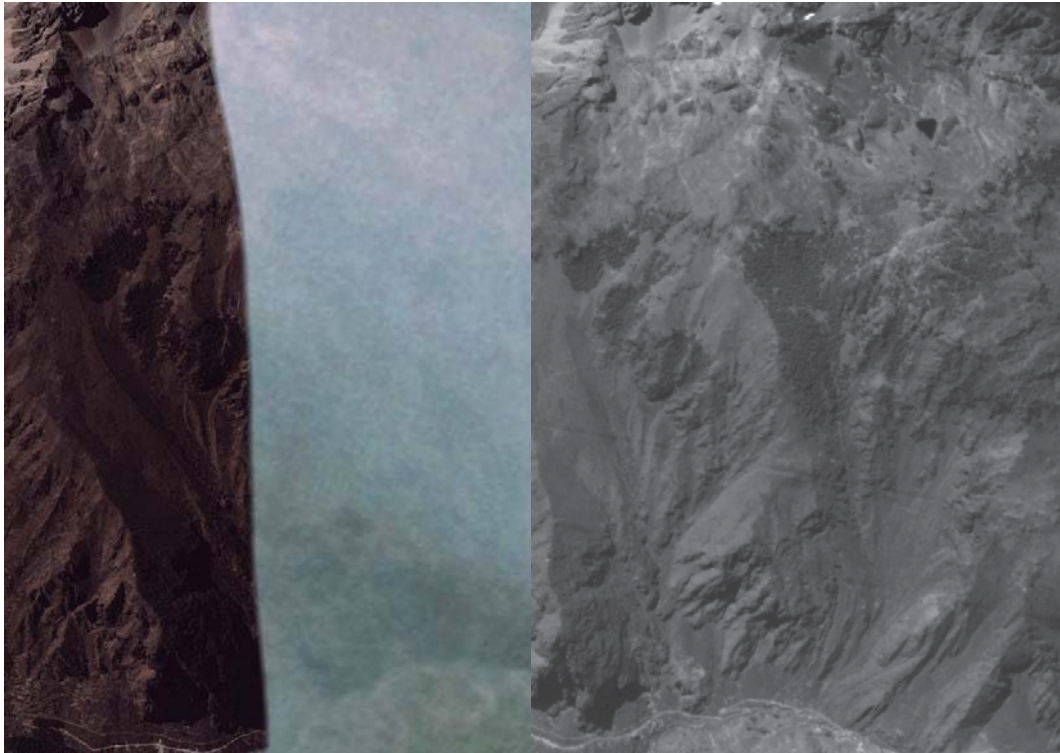


Figura 27 (a) Cobertura cortada de imágenes de alta resolución en Google Earth; (b) Cobertura de imágenes de resolución media (CBERS-2B).

Fuente: Interface Google Earth

Las diferencias más saltantes y/o las características que resaltan en los bosques de *Polylepis*, que nos permiten interpretar y diferenciar este tipo de bosques a comparación de otro tipo de unidades en imágenes de menor resolución (mayor tamaño de pixel), fue relativamente complicado, ya que no existe un patrón definido ya sea en textura, tono y color exclusivos para este tipo de ecosistemas (Figura 28).



Figura 28 Texturas de Bosques en Imágenes CBERS-2B, banda HRC (2.7 metros).

Fuente: Interface Google Earth

Este es uno de los problemas principales por los que estudios anteriores no pudieron digitalizar estos bosques con altos grados de precisión, sobre todo cuando utilizaron imágenes Landsat (Figura 29), teniendo que recurrir a métodos como lo son clasificación supervisada y no supervisada, tal como lo menciona Benham *et al.* (2011).



Figura 29 Bosque de *Polylepis* en una imagen Landsat 5-TM (30 m).

Fuente: Imágenes satelitales Landsat 5 TM

Esto último y tal como refiere Doroujani (2008), se debe a que es la ubicación y extensión de los relictos, los criterios más importantes a determinar en su cartografía. Por ello se toma tanto cuidado en registrarlos de forma visual en campo como mapearlos de manera directa. Con esto se demuestra, que en imágenes de menor resolución (mayor tamaño de pixel) la cartografía de estos relictos se vuelve más complicada. En cambio en imágenes de Google Earth de mayor resolución es posible observar hasta árboles (Figura 30).



Figura 30 Bosque de *Polylepis* en una imagen Quickbird (0.7 m).

Fuente: Interface Google Earth

Partiendo de una nueva área base, se puede asegurar con mayor probabilidad la correcta digitalización de los relictos en estas áreas faltantes, así como también la cartografía global en todo el ámbito de estudio. Además, la inclusión de la cota guía de 3 500 msnm como límite teórico de la distribución del género, permitió reducir nuevamente y de manera significativa el área de análisis hasta un 6% de la región de Lima (223 439,27 ha).

Estos nuevos relictos se integraron a los obtenidos la interpretación visual. Logrando así, la cartografía global (4 149 relictos). Se agruparon en categorías por su extensión, donde el mayor número de relictos (1 251) son menores a 0,5 ha, y solo 11 de ellos tienen tamaños superiores a 1 000 ha. Cabe señalar que la mayor superficie, se concentra solo en bosques superiores a 1 000 ha (11 parches), con un total de 40 811,7 ha, que representa casi la mitad de lo obtenida. Y la categoría con mayor cantidad de parches (menores a 0,5 ha), es la que representa solo un acumulado de 290,48 ha (1 251 parches).

Estos datos logran expresar la clara fragmentación de estos bosques (Yallico 1992; Benham *et al.* 2011). Si bien la mayor extensión se ubica en pocos relictos, hay que considerar también los rangos intermedios, con gran cantidad de relictos con superficies variables.

Finalmente para este ítem, cabe aclarar, el porqué de la denominación de “*Análisis Predictivo*”. Si bien esta etapa, está fundamentada básicamente en una nueva interpretación visual de imágenes satelitales, tal como la desarrollada en el ítem 4.4. Por parte del autor no se cree conveniente denominarla como una segunda “Interpretación visual” propiamente dicha. Ya que las imágenes que se disponen específicamente en esta etapa, no disponen de tanto detalle como las utilizadas en el ítem 4.4, ya sea en resolución espectral como espacial, además de la relativa dificultad a la hora de interpretarlas visualmente. Sino que se ha abordado esta etapa bajo un contexto de paisaje, donde se integran muchas características del entorno para delimitar nuevos bosques.

Y lo más importante, es que llegado a este punto, es donde se logran integrar todos los resultados en una sola capa GIS, que al final de cuentas viene a ser el resultado del modelo conceptual metodológico, por tanto otro modelo de la cobertura estimada de los bosques de *Polylepis*, que ha seguido diversas etapas para poder ser obtenido y que no logra su repercusión como información, a menos que sea validada y determinada su precisión.

4.7 VALIDACIÓN DEL MODELO EN CAMPO.

Se obtuvo un total de 128 puntos evaluados para los tres casos: 20 puntos para el caso número I, 20 puntos para el caso número II y 88 puntos para el caso número III. Específicamente para el caso número II, es donde se pudo tener un mayor acceso logístico para las visitas. Estos puntos fueron corroborados en campo, no pudiendo visitar todos, para lo cual se recurrió a la literatura y visitas al Google earth.

La validación de los tres casos para el resultado final, muestra una predicción correcta promedio de presencia/ausencia en 91 % de los sitios predeterminados, dando un valor de Kappa de 0,83, mostrando una alta exactitud de la predicción (Cuadro 10), esto último según la clasificación de Chuvieco (1990).

Cuadro 10 Resultados de las evaluaciones mediante el uso del Índice de Kappa.

Categoría	a	b	c	d	Total	Índice de Kappa
Caso 1	7	3	-	10	20	0,70
Caso 2	10		-	10	20	1,00
Caso 3	41	3	5	39	88	0,82
Promedio	58	6	5	59	128	0,83
<i>Fuente: Elaboración Propia.</i>						

Como se mencionó anteriormente, no se pudo realizar todas las visitas a los sitios escogidos para la validación de los datos. Para estos sitios no se obtuvieron coordenadas precisas de presencia y ausencia. Sobre todo para el caso 1 y 3, pero a pesar de no poderse visitar, se tomaron como sitios con presencia confirmada del género *Polylepis*, para ello se vio en la necesidad de corroborar dichos puntos bajo otra fuentes bibliográficas, en el caso de las ausencias no hubo muchos problemas. La pregunta pendiente sería si las presencias confirmadas se pueden tomar como válidos.

Es necesario que se realicen las visitas faltantes dentro de los 128 sitios predeterminados para tener resultados definitivos. Además, se debe programar salidas a todos los sitios con presencia de bosques expresados por el modelo y obtener las coordenadas exactas de la distribución real de los bosques que aún quedan.

A pesar de la no visita de algunos lugares, si se logró acumular un registro fotográfico de los relictos definidos visitados, los cuales comparados con la forma distribuida en las imágenes de alta resolución del Google earth, ponen en manifiesto y validan en cierta medida la correcta interpretación visual en dichas imágenes.

En su gran mayoría, los sitios visitados corresponden al departamento de Arequipa ya que fue el más accesible por temas logísticos (Figura 31 y 32).



Figura 31 Imagen Cnes/Spot Image de relictos ubicados en las faldas del Nevado Ampato (Coordenadas -71.920; -15.868). b.- Foto Panorámica del Parche.

Fuente: Elaboración Propia

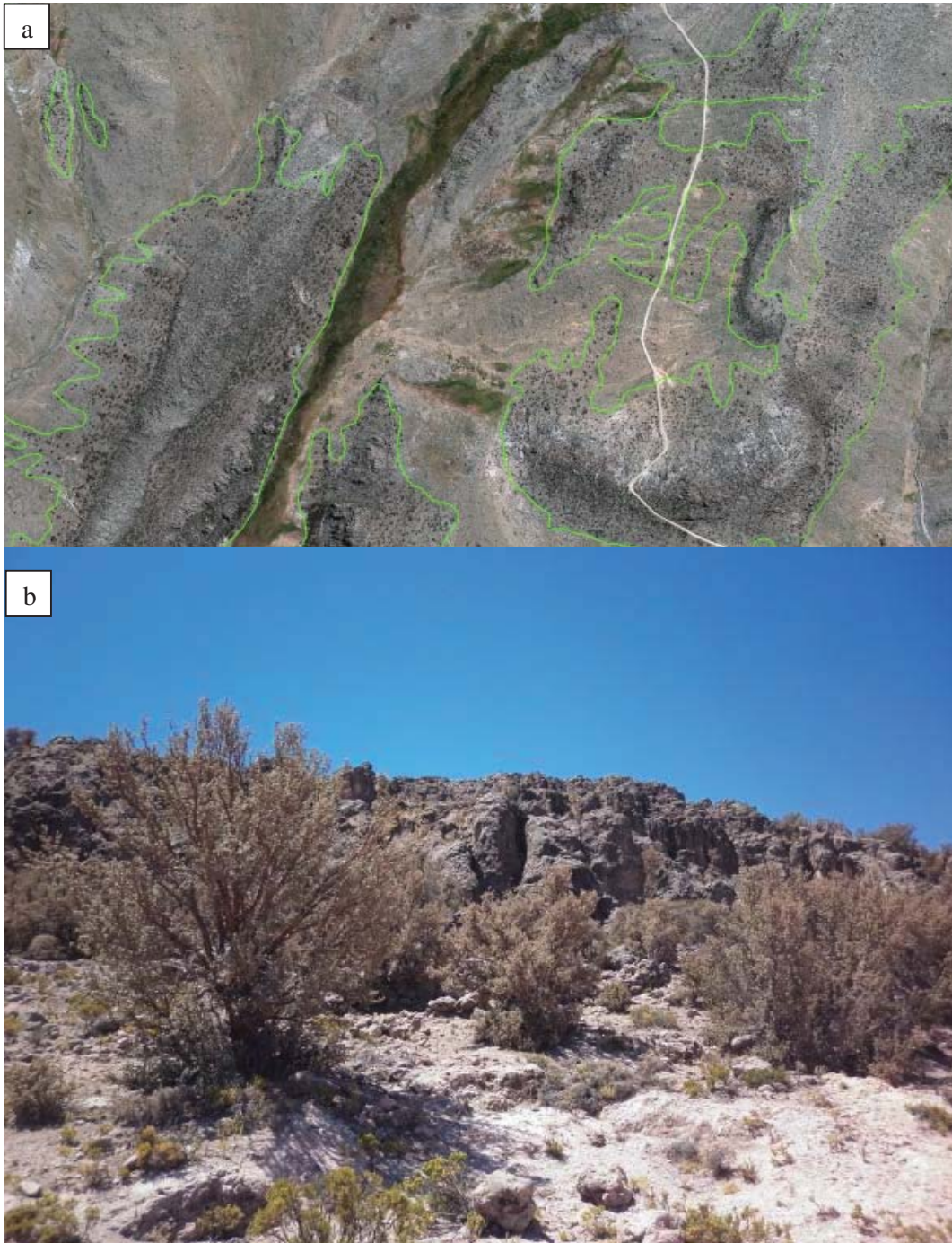


Figura 32 Imagen Cnes/Spot Image de relictos ubicados en las faldas del Nevado Coropuna (Coordenadas -72.739; -15.591): Foto Panorámica del Parche.

Fuente: Elaboración Propia

4.8 ANALISIS FINAL

La estimación de la superficie de los bosques del genero *Polylepis*, es de 90 366,66 ha.

La región Arequipa cuenta con la mayor superficie de relictos con un total de 63 602,1 ha, el 100% fue trabajado en la etapa de interpretación visual.

Para Lima se tiene un estimado de 26 764,56 ha, de los cuales 22 179,1 ha (83 %), fueron determinados en la etapa de Interpretación visual y 4 585,46 ha (17 %) en la etapa de Análisis Predictivo.

Los resultados difieren con las estimaciones de la ONERN para el año 1985, donde se propuso en promedio solo 12 000 ha para el departamento de Arequipa y Lima solo con 8 850 ha.

En particular para Arequipa se tienen diferentes estimaciones, como las 15 325,37 ha de acuerdo con los datos proporcionados por CONAM (2007), que según manifiestan también estos representarían el 15.33 % del total nacional. O también AUTOCOLCA (2006) que refiere en promedio solo 10 000 ha para la región.

Tomando como referencia los datos obtenidos para Lima y Arequipa. Se puede suponer que las estimaciones documentadas hoy en día para el resto de departamentos serían mucho mayores. Tales como las ofrecidas por los mapas forestales de 1995 y 2000 (elaborados por INRENA), los cuales manifiestan una superficie nacional de 93 700 ha y 35 486 ha respetivamente; O también con los datos ofrecido por la ONERN en 9 departamentos común acumulado de 42 250 ha.

4.8.1 BOSQUES EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Se ha podido estimar 21734 ha, dentro de la distribución de las diferentes áreas naturales protegidas en los departamentos evaluados. Este valor representa el 24% del total, un indicador de que hoy en día estos relictos se están conservando.

Pero si tomamos en cuenta los valores documentados para estos bosques, observamos que son muy distintos a los encontrados en este trabajo, el motivo de esto radica posiblemente por las diferencias metodológicas aplicadas en su estimación.(Cuadro 11):

- En la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas, está documentado un valor de 871,46 ha (INRENA 2006). En nuestro caso se halló 2 691,06 ha (si se incluyera los bosques en su Zona de Amortiguamiento).
- En la Reserva Paisajística Subcuenca del Cotahuasi, está documentado 311 ha (INRENA 2009). En nuestro caso se halló 1939,16 ha o las 6253,4ha si se cuenta también los parches de su Zona de Amortiguamiento (ZA).
- En la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, se detalla en su INRENA (2006) la presencia de 4 295,48 ha (Incluyendo su ZA). En nuestro caso se presenta 8 108,76 ha, sin contar los bosques existentes en el lado de Moquegua.

Cuadro 11 Superficie de Bosques en ANP´s de Arequipa y Lima

Sistema	Categoría	Nombre de Área	Bosques (ha)	Departamento
Privada	Área de Conservación	Huayllapa	144.72	Lima
Privada	Área de Conservación	Uchumiri	1,888.03	Arequipa
Privada	Área de Conservación	Huamanmarca-Ochuro-Tumpullo	2,457.37	Arequipa
Nacional	Zona reservada	Cordillera Huayhuash	190.94	Lima
Nacional	Reserva Paisajista	Nor Yauyos-Cochas	2,691.06	Lima
Nacional	Reserva Paisajista	Sub Cuenca del Cotahuasi	6,253.39	Arequipa
Nacional	Reserva Nacional	Salinas y Aguada Blanca	8,108.76	Arequipa
TOTAL			21,734.27	
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>				

4.8.2 BOSQUES O RELICTOS MÁS GRANDES

En primer lugar resalta el de 9 897 ha, que está repartido en 4 distritos de Arequipa y solo en uno de ellos se presenta 6 346 ha. En segundo lugar se detecta un relicto de 9 308 ha ubicado en un solo distrito (Cahuacho). Tercero un parche con 5 163 ha repartido en dos distritos.

Finalmente 8 de los 10 parches corresponden al ámbito del Arequipa y solo 2 con extensiones de 2 741 ha y 1 354 ha a Lima, (Ayauca y Madean respectivamente).

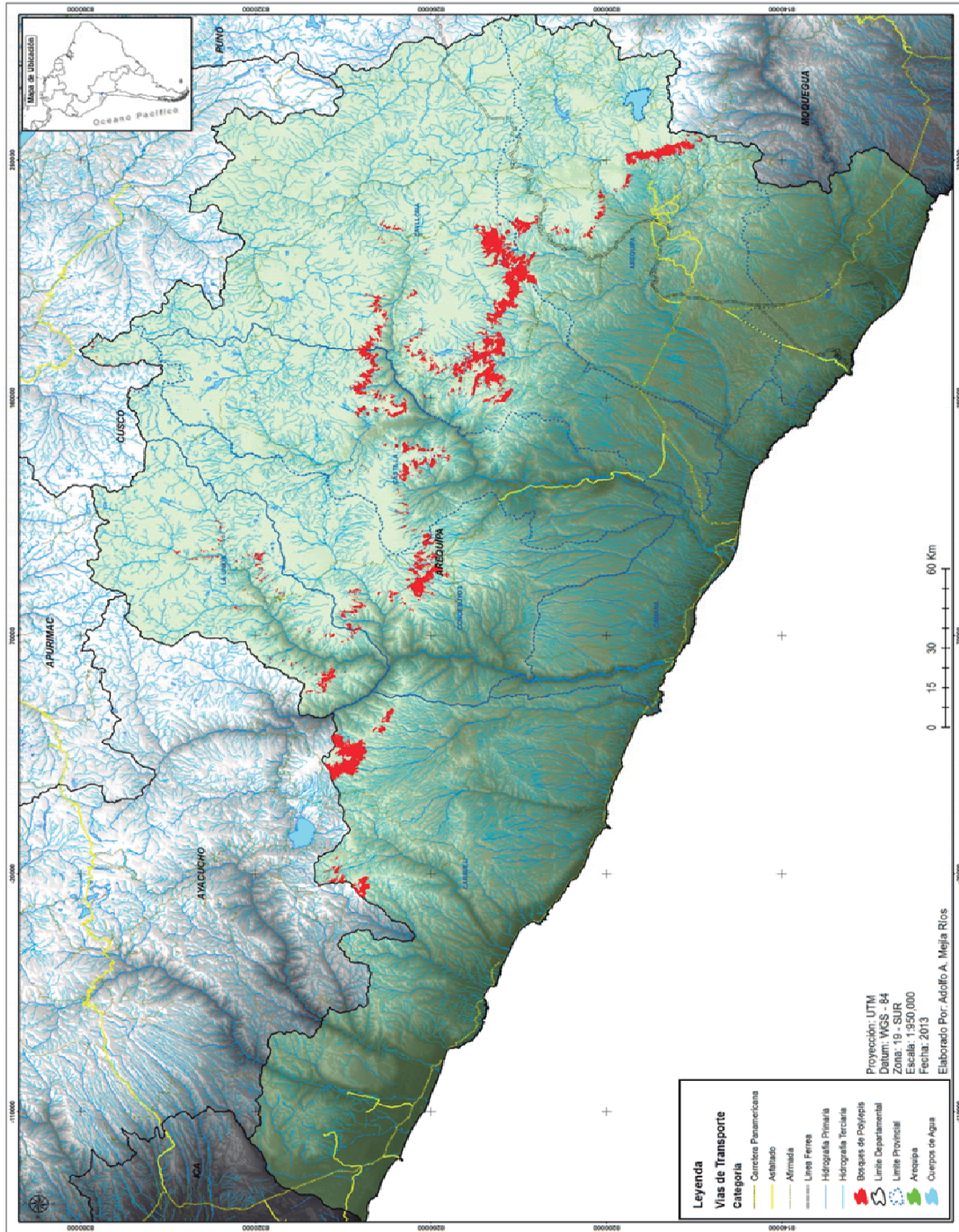


Figura 33 Distribución de bosques de *Polylepis* en el departamento de Arequipa

Fuente: *Elaboración Propia*

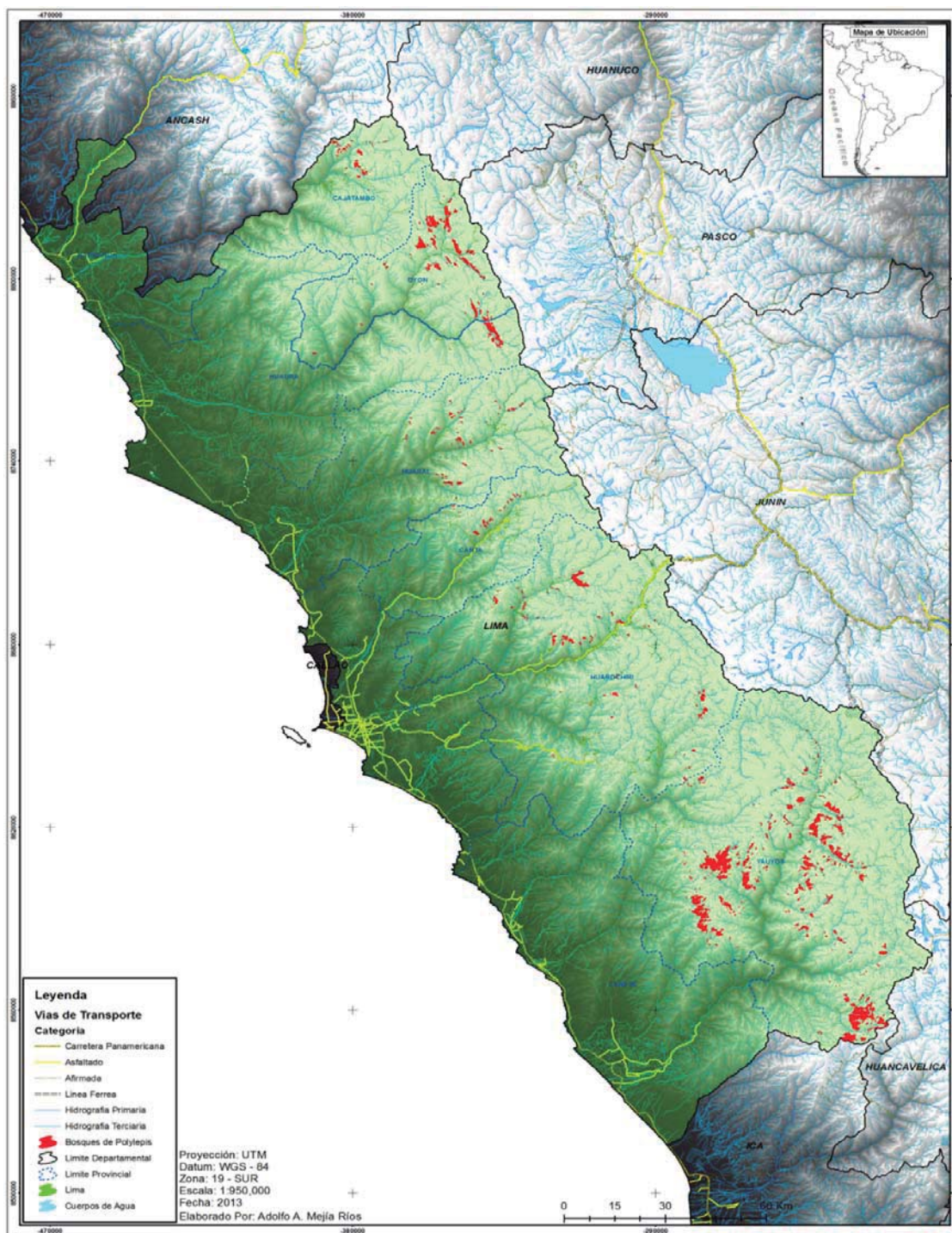


Figura 34 Distribución de bosques de *Polylepis* en el departamento de Lima.

Fuente: Elaboración Propia

Se debe tomar en cuenta, que algunos de estos relictos han sufrido una reducción considerable, debido al corte realizado por los límites administrativos. Por ejemplo el bosque más grande hallado está ubicado en un solo distrito (Cahuacho – Arequipa) con 9 308 ha. Aunque dentro en las imágenes satelitales, se percibe que este bosque podría rodear en su totalidad al Nevado Sara-Sara y cuya otra mitad se encuentra en el departamento de Ayacucho (distrito de Parinacochas); es decir, la verdadera extensión de este único bosque sería el doble de lo estimado en este estudio.

4.9 ELABORACION DE LA PROPUESTA METODOLOGICA

Siguiendo nuestro objetivo principal, que es el de desarrollar una metodología para la cartografía de bosques de *Polylepis*. A través del uso de modelos de distribución de especies mediante diferentes herramientas SIG, además de la realización de la interpretación visual de imágenes satelitales. Se definió una metodología, la cual sirva como referencia para otras áreas donde se presente este tipo de bosques y se desee conocer su superficie con fines de manejo forestal. Podemos por tanto resaltar 9 grandes etapas en esta propuesta metodológica (Figura 35):

1.- Definición de Objetivos y Área de Estudio

Antes de la ejecución de esta metodología, es necesario definir claramente los objetivos, prioridades y el ámbito de estudio. Ello dará al investigador mejores pautas para el desarrollo de su trabajo, utilizando adecuadamente los recursos ya sean económicos, de tiempo, como humanos.

2.- Recolección de Información

Para esta etapa es importante, la revisión exhaustiva de toda fuente información bibliográfica, principalmente enfocada en la generación de una base de datos de registros y/o presencias de la ubicación de Bosques del género *Polylepis*, los cuales puedan ser determinados espacialmente mediante algún sistema cartográfico.

Además, para esta etapa también es necesaria la acumulación de otros insumos esenciales para el desarrollo de posteriores etapas, como lo son los algoritmos y/o aplicativos informáticos, descarga de información climática entre otros, las cuales están libres en el internet. Y de ser el caso, recopilar todo el material cartográfico necesario para la creación de nueva información.

3.- Primer Modelamiento

Este primer modelamiento, está enfocado hacia un nivel macro. Ya que, muchas veces al no contar con información ya sea en cantidad como calidad, se comete el error de no analizar el contexto donde se ubican estos bosques. Por ello, es indispensable tomar un punto de vista más general para luego realizar análisis más finos, para esta etapa se recomienda ampliar el ámbito de estudio, dejando a criterio del investigador dicho incremento. Ahora bien, ello implicara mayor esfuerzo, pero a largo plazo otorgara al investigador mejores criterios que también podrían aplicarse a un nivel micro.

En el primer modelamiento, confluyen los tres requisitos básicos para desarrollar Modelos de Distribución de especies, los cuales son: Registros y/o presencias de la especie o genero a estudiar; Las variables con las cuales determinar los patrones de distribución, que preferentemente son del tipo climáticas; de ser posible y contar con los medios, se recomienda utilizar variables del tipo “Índices de Vegetación”; y por último los algoritmos o modelos en los cuales generar estas distribuciones potenciales (MDE).

4.- Primera Evaluación

Para esta cuarta etapa, se acumulan los diversos modelos de distribución que se hayan podido generar en el primer modelamiento, los cuales de alguna manera tratan de manifestar el habitat probable de la especie o genero estudiado. Estos son evaluados, mediante el estadístico ROC, para definir los mejores MDE que lograsen expresar con más confiabilidad la distribución real de los bosques de *Polylepis* para el ámbito de estudio.

Para la evaluación de estos MDE, se hace necesario contar con una parte de los registros (presencias) recopilados y utilizados en etapas anteriores. Además, de contar también con registros de ausencias, los cuales muchas veces son difíciles de obtener, optándose en varios casos la generación de ausencias no reales o pseudo-ausencias.

5.- Interpretación Visual

En esta etapa se hace uso de la interpretación visual de imágenes satelitales de alta resolución, estas pueden ser de diferentes fuentes, se prefiere aquellas presentes, en la interface del Google Earth, por ser de libre acceso y ser de alta resolución. Se prioriza el uso de este tipo de imágenes, debido a que solo en ellas es posible distinguir este tipo de bosques, sobre todo los parches “pequeños” o menores a 1 ha, lo cual es un criterio muy importante, teniendo en cuenta que hoy en día la fragmentación de estos bosques, es el principal problema de su desaparición y de su estado actual. Recomendando evitar el uso de clasificaciones supervisadas y no supervisadas.

La digitalización mediante interpretación visual en esta etapa, es complementada y/o guiada en aquellos sectores que el primer modelamiento y primera evaluación, lograron determinar con altas probabilidades la ocurrencia de estos mismos según sus características climáticas o vegetativas. Es necesario también que el investigador, este relacionado, conozca y sepa al menos las características morfológicas de este tipo bosques, lo cual le será de gran utilidad en la discriminación de otro tipo de cobertura arbórea.

Cabe aclarar, que una vez digitalizado todos los parches de bosques de *Polylepis* dentro del ámbito de estudio, se puede presentar el caso, de la existencia de sectores dentro del mismo ámbito que no contasen con acceso a imágenes satelitales de alta resolución (resoluciones menores a 1 metro) por diversos motivos. Se recomienda por tanto seguir con las siguientes etapas, sobre todo en aquellos ámbitos de grandes extensiones, si el área sin acceso a este tipo de imágenes es muy “pequeño” o en todo caso no se presenta dicha situación, se recomienda también dirigirse automáticamente a la etapa número 8.

6.- Segundo Modelamiento y Segunda Evaluación

Tal como se mencionó en párrafos anteriores, las etapas 6 y 7, están guiadas exclusivamente, de presentarse las siguientes características: Encontrar grandes espacios (Mayor a 1 000 ha) sin acceso a imágenes de alta resolución, o también que la discriminación en la interpretación visual se hizo muy dificultosa con relación a otro tipo de coberturas arbóreas.

Para esta etapa de Segundo Modelamiento y Segunda Evaluación. Se replican los mismos procedimientos descritos para el primer Modelamiento y primera Evaluación respectivamente, la única diferencia radica en el uso de nuevos registros de bosques, que provienen directamente de la etapa de interpretación visual, los cuales aumentan las presencias utilizadas inicialmente no solo en cantidad sino en calidad, asegurando así, que los nuevos modelos de distribución de especies generados y evaluados, sean más restringidos, más confiables, y por tanto puedan predecir mejor zonas con la presencia de estos bosques.

7.- Análisis Predictivo

A igual que la etapa 6, el análisis predictivo, será guiado exclusivamente en aquellos grandes sectores sin acceso a imágenes de alta resolución, o también en donde la discriminación en la interpretación visual se hizo muy dificultosa con relación a otro tipo de coberturas arbóreas.

El análisis predictivo, no es más que una nueva etapa de interpretación visual. Recibe el nombre de “predictivo”, ya que al no contar con imágenes de altas resoluciones, sino más bien de mediana a baja, implica que la nueva digitalización con este tipo de imágenes será menos precisa que aquellas obtenidas en la etapa 5, por lo cual para poder incrementar dicha fiabilidad se hace un uso más intensivo de las áreas generadas en los modelos de distribución de especies.

Además, es en esta etapa, es donde se integran los resultados obtenidos de la digitalización ya sea en la interpretación visual propiamente dicho (etapa 5) como de esta nueva interpretación visual (Análisis Predictivo).Y donde finalmente se puede obtener la “Capa Final” que represente la distribución de estos bosques en el Área estudiada y que en buena ley no será más que una nueva propuesta potencial o predictiva de estos bosques hasta no lograr validar dicha información en etapas siguientes.

8.- Validación

Una vez obtenidas las capas digitalizadas, ya se de las etapas de interpretación visual y/o del análisis predictivo. Se hace necesaria la evaluación de las mismas, con el objetivo de determinar la precisión de la información obtenida con respecto a la realidad, para ello se recomienda utilizar el estadístico de Kappa, además de complementarlo con visitas de campo y registros fotográficos.

9.- Análisis Final

Una vez obtenida la precisión de las capas digitalizadas en la etapa 8. Se pueden extraer de las misma, información pero presentada de diferentes formas en gráficos, tablas, mapas, etc. Dejando a criterio del investigador la presentación más adecuada de dichos resultados.

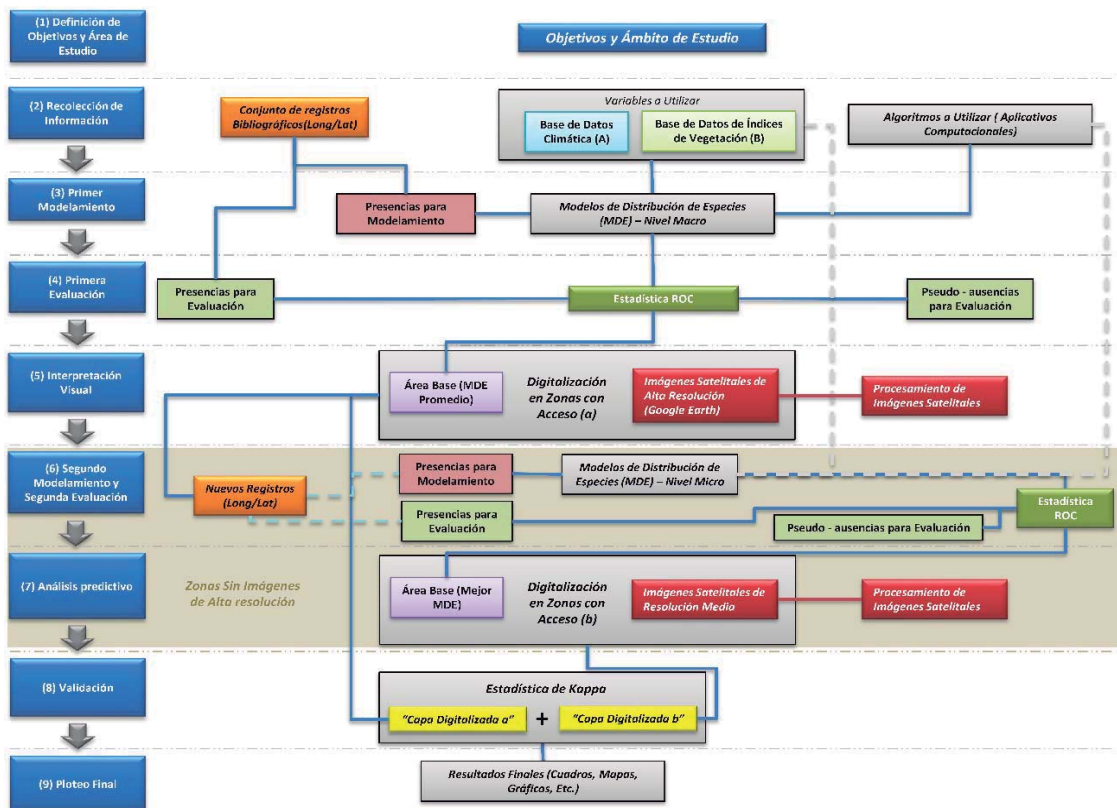


Figura 35 Flujo Metodológico para la Cartografía de Bosques del Genero *Polylepis*.

Fuente: Elaboración Propia

5. *CONCLUSIONES*

- Se logró desarrollar una propuesta metodología para la Cartografía de Bosques del genero *Polylepis*. Mediante el uso de técnicas combinadas de modelamiento de distribuciones potenciales de especies, algoritmos probabilísticos y la interpretación visual de imágenes satelitales de diferentes fuentes, entre ellas Google Earth. Lo que permitió determinar la superficie departamental, de los bosques de *Polylepis* de 2 regiones del Perú (Arequipa y Lima). Estos valores nos dan a conocer un poco mejor la realidad y poder comparar las estimaciones realizadas de estos mismos bosques realizados por diferentes instituciones en años anteriores.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar esta misma secuencia metodológica en departamentos donde es conocida y comprobada la existencia de bosques de *Polylepis* (preferentemente departamentos del centro norte y sur del país). Con el objetivo de poder completar una distribución e inventario a nivel de país. De tal manera nos muestren datos más precisos, con el fin de: ¿porque no generar planes y nuevas áreas de conservación?, Conocer mejor la ecología del género *Polylepis* y las áreas potenciales para su desarrollo y poder diseñar planes para la conservación de esta especie que está en un riesgo grande de desaparecer en estado silvestre.
- Si bien, se conoce la superficie total ya de 2 departamentos estudiados en esta investigación, se recomendaría adoptar los resultados aquí logrados por parte de diferentes instituciones ligadas al tema conservacionista. Con el objetivo de saber cuál es la superficie que actualmente está siendo incluida en áreas naturales protegidas a nivel de todo el Perú, así como identificar y cuantificar a aquellas zonas que no lo están. Evitando así la subvaloración de la superficie de estos bosques debido a la falta de información detallada.
- Las áreas donde se deben orientar los esfuerzos para completar la distribución real de los bosques de *Polylepis* y donde se pueden adelantar proyectos para su conservación, preferentemente son en las zonas de los departamentos que no se tiene acceso libre a imágenes de alta resolución. En esas zonas se debe priorizar la compra y/o acceso a este tipo de tecnologías por ser una gran herramienta en planificación.
- Los modelos de predicción utilizados en investigaciones similares, solo se basan en datos climáticos para realizar la predicción del hábitat potencial de una especie, y no toman en cuenta factores de uso de suelo, determinantes en la distribución actual de las especies. Por esta razón se recomienda añadir datos del perfil del suelo, formación, composición, y uso del suelo; así como variables “Índices de Vegetación” vistas en este estudio. Permitiendo así, ajustar los modelos para que hagan perfiles del hábitat de las especies más precisos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer R.; Servat G.; Mendoza W.** 2002. Extension of the distribution of the migratory range of the “Black-fronted Ground Tyrant” *Muscisaxicola frontalis* (Aves: Tyrannidae) in Perú. *Revista Peruana de Biología*. 18: 381-382.
- Anderson, R.; Lew, D.; Peterson, A.** 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models, *Ecological Modelling*. 162: 211-232.
- AUTOCOLCA(Autoridad del Colca y Anexos, PE).** 2006. Plan Maestro para el desarrollo y gestión sostenible del turismo en el Valle del Colca, la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca y el Valle de los Volcanes 2007 – 2011. Arequipa, Perú. 236 p.
- Barreda, A.** 1951. Los bosques de quinal en la Cordillera Occidental de la Provincia de Cajatambo. Inventario de los estudios y disponibilidades de los recursos forestales del Perú. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Dirección de Colonización y Bosques/Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 9 p.
- Baltaxé, R.** 1980. The Application of LANDSAT Data to tropical forest surveys. Swedish Funds-in-trust. FOR:TF/INT/333(SUE): FAO 122p.
- Benham, P.; Beckman E.; Dubay, S; Flores, L; Johnson, A; Lelevier, M.; Schmitt, C.; Wright N.; Witt, C.** 2011. Satellite imagery reveals new critical habitat for endangered bird species in the high Andes of Perú. *Endangered Species Research*. 13: 145-157.
- Benito, B.; Peñas, J.** 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica, *Geofocus*, 7: 100 - 119.
- Birth, G.** 1968. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal*, 60: 640 - 643.
- Braun, G.** 1997. The use of digital methods in assessing forest patterns in an andean environment: The polylepis example. *Mountain Research and Development*, 17(3): 253-262.

- Budowski, G.** 1985. La conservación como instrumento para el desarrollo, San José, C. R., Editorial de la Universidad Estatal a Distancia. 398p.
- Busby, J.** 1991. "BIOCLIM – a bioclimate analysis and prediction system", en Margules, C.R., y Austin, M.P., (Eds.), Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis. CSIRO, 64-68.
- Cabala, H.** 1973. Estudio forestal preliminar de los bosques de queñua en Lampa. Tesis (Ing. Agrónomo). Puno, PE:Universidad Nacional Agraria del Altiplano. 41 p.
- Carneiro, C. M.** 1980. Curso Básico de Sensoramiento Remoto. Serie Técnica N° 6. PNUD/FAO/IBDF/BRA/78/003. Brasilia.
- Carpenter, G.; Gillson, A.; Winter, J.** 1993. "DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants and animals", Biodiversity and Conservation, 2: 667-680.
- Campbell, J.** 1996. Introduction to Remote Sensing. 2a. ed. Virginia Polytechnic Institute and State University, The Guilford Press, Nueva York, USA. 551 p.
- Chang, J.** 2002. Forest Fragmentation Analysis using GIS and Remote Sensing Techniques: The *Polylepis* Forest Case in the Peruvian High Andes. Forestry and Forest Products Research Institute. Tokyo, Japan: 27 p.
- Chuvieco, E.** 1990. Fundamentos de teledetección espacial. RIAL. Madrid, España. 453 p.
- CONAM(Consejo Nacional del Ambiente, PE)** 2007. Plan Regional Sur de lucha contra la desertificación y sequía. Secretaria Técnica del Consejo directivo de Arsuldes. Arequipa, Perú. 79 p.
- Dourojeanni, P.** 2008. Distribución y conectividad de bosques alto andinos (*Polylepis*) en la cuenca alta del río Pativilca. Tesis (Ing. Geógrafo). Universidad Católica del Perú. Lima, PE. 82p.
- ECOAN(Asociación Ecosistemas Andinos, PE).** 2005. Evaluación Rápida de las Aves de los Bosques de *Polylepis* de la Provincia de Chumbivilcas. Lima, Perú. 213 p.
- ECOAN(Asociación Ecosistemas Andinos, PE).** 2005. Evaluación Ornitológica Rápida en los Bosques de *Polylepis* de la Cordillera del Vilcanota. Lima, Perú. 150 p.

- ECOAN(Asociación Ecosistemas Andinos, PE).** 2007. Caracterización para el monitoreo de los bosques de *Polylepis* en la zona Sur oeste del Parque Nacional Otishi. Lima, Perú. 126 p.
- Elith, J.; Graham, C.; Anderson, R.; Dudik, M.; Ferrier, S.; Guisan, A.; Hijmans, R.; Huettmann, F.; Leathwick, J; Lehmann, A.; Li, J.; Lohmann, L.; Loiselle, B.; Manion, G.; Moritz, C.; Nakamura, M.; Nakazawa, Y.; Overton, J.; Peterson, A.; Phillips, S.; Richardson, K.; Scachetti-Pereira, R.; Schapire, R.; Soberón, J.; Williams, S.; Wisz, M.; Zimmermann, N.** 2006. “Novel methods improve prediction of &species' distributions from occurrence data”, *Ecography*, 29: 129-151.
- Engler, R.; Guisan, A.; Rechsteiner, L.** 2004. “An improved approach for predicting the distribution of rare an endangered species from occurrence and pseudo-absence data”, *Journal of Applied Ecology*, 41: 263-274.
- Ferrier, S.** 2002 “Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here?”, *Systematic Biology*, 51: 331-363.
- Ferrier, S.; Guisan, A.** 2006. “Spatial modelling of biodiversity at the community level”, *Journal of Applied Ecology*, 43: 393-404.
- Fjeldsa, J.; Kessler, M.** 1996. Conserving the biological diversity of *Polylepis* forests of the highlands of Perú and Bolivia. Copenhagen: Nordic Foundation for Development and Ecology (NORDECO). 214p.
- Fielding, A.; Bell, J.**1997. “A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models”, *Environmental Conservation*, 24: 38-49.
- Fjeldsa, J.** 1987. Birds of relict forest in the high Andes of Perú and Bolivia. Zoological Museum/University of Copenhagen, Dinamarca. 80 p.
- FONAM (Fondo Nacional del Ambiente, PE),** 2006. Propuesta Final para una definición peruana de bosques a ser utilizada en proyectos de uso de la tierra, cambio de uso y silvicultura bajo el protocolo de Kyoto durante el primer periodo de compromiso. Lima Perú. 3 p.

- García, M. 2008.** Modelos Predictivos de Riqueza de Diversidad vegetal – Comparación y Optimización de métodos de modelado ecológico. Memoria de Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid – Facultad de Ciencias Biológicas. 188 p.
- Graham, C; Moritz, C.; Williams, S.** 2006. “Habitat history improves prediction of biodiversity in a rainforest fauna”, Proceedings of the Natural Academy of Science of USA. 103: 632-636.
- Guisan, A.; Weiss, S.; Weiss, A.** 1999. “GLM versus CCA: Spatial modelling of plant species distributions”, Plant Ecology, 143: 107-122.
- Hanley, J.; Mcneil, B.**1982. “The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve”, Radiology, 143: 29-36.
- Hijmans, R; ET AL.**2004. ”DIVA-GIS. “A geographic information system for the analysis of biodiversity data”, International Potato Center. Lima, Perú. 127: 15-19
- Hirzel, A.; Hausser, J.; Chessel, D.; Perrin, N.** 2002. “Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat- suitability maps without absence data?”, Ecology, 83: 2027-2036.
- Hirzel, A.y Guisan, A.** 2002. “Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling”, Ecological Modelling, 157: 331-341.
- Hurtado, C.**2007. Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie *aniba perutilis* hemsley (Comino Crespo) en el departamento del Valle del Cauca. Tesis (Ecólogo). Popayan, VE:Fundación Universitaria Popayán. 72p.
- IGN-MINEDU.** Carta nacional digital, Esc. 1:100,000. IGN (Instituto Nacional Geográfico).
- INRENA** (Instituto Nacional de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura). 1995. Guía explicativa del mapa forestal. INR-49-DGF, Lima, Perú. 147 p.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, PE).** 2006. Plan Maestro de la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Lima, Perú. 263 p.

- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, PE).**
2009. Plan Maestro de la Reserva Paisajista Subcuenca del Cotahuasi 2009 - 2013. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Lima, Perú. 278 p.
- INRENA(Instituto Nacional de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, PE).**
2006. Plan Maestro de la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca 2006 - 2011. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Lima, Perú. 228 p.
- Kessler, M.** 2002. The *Polylepis* problem: Where do we stand. *Ecotropica* 8: 97-110.
- Kessler, M.;Schmidt-Lebuhn A.** 2006. Taxonomical and distributional notes on *Polylepis* (Rosaceae). *Organisms, Diversity & Evolution* 6: 67-69.
- Kessler, M.** 2006. “Bosque de *Polylepis*”. *BotánicaEconómica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, la Paz, 2006: 110-120.
- Landis, J.; Koch, G.** 1977. The measurements of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33: 159–174.
- Lawler, J.; White, D.; Neilson, R.; Blaustein, A.** 2006. “Predicting climate-induced range shifts: model differences and model reliability”, *Global Change Biology*, 12: 1568-1584.
- Loetsch, F. y Haller, K.**1973. Statistics of forest inventory and information from aerial photographs. BLV Verlagsgesellschaft, Münche Lillesand, T.M., and R.W. Kiefer. 1987. Remote sensing and image interpretation, New York. 436 p.
- Luteyn, J.**1999. Páramos - a checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. The New Botanical Garden, Nueva York. 278 p.
- Manel, S.; Dias, J.; Ormerod, S.**1999. “Comparing discriminant analysis, neural networks and logistic regression for predicting species' distributions: a case study with Himalayan river bird”, *Ecological Modelling*. 120: 337-347.
- Manel, S.; Ceri, H.; Ormerod, S.** 2001.Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal Applied Ecology*. 38: 921-931.
- Malleux O.** 1975. Mapa Forestal del Perú. Esc 1:100000. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú.

- Malleux R.** 2003. Estudio Comparativo entre la interpretación visual y la clasificación digital del bosque de producción permanente Biabo Cordillera Azul Utilizando Imágenes Satelitales Landsat TM. Tesis (M. Sc.). Lima, PE: Universidad Nacional Agraria la Molina. 135 p.
- Matos O.; Cordova H.; Espinoza A.** 1992. Mapificación de la vegetación con énfasis en bosque de *Polylepis* de una área alto andina (Yauyos-Perú), Utilizando Imágenes MSS/Landsat analizadas digitalmente, 5 p.
- Mendoza, W.; Cano, A.** 2011. Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos: Diversity of the genus *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) in the Peruvian Andes. Revista Peruana de Biología, 18: 197-200.
- Mendoza W.** 2005. Especie nueva de *Polylepis* (Rosaceae) de la cordillera Vilcabamba (Cusco, Perú). Revista Peruana de Biología, 12: 103-106.
- Mejia, A.** 2011. Inventario Forestal de la provincial de Lampa – Puno. Centro de Estudios y Promoción del desarrollo Social (DESCO – Arequipa). Arequipa, Perú. 52 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE)** 2009. Patrimonio Forestal a nivel de Grandes Paisajes – Región Amazónica (Grandes Unidades) - Informe I. Dirección General de Evaluación, valoración y financiamiento del patrimonio natural. Lima, Perú. 25 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE).** 2000. Mapa de Deforestación de la Amazonia Peruana. Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos. Lima, Perú. 103 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE) Resolución Ministerial N° 074-2010 – MINAM.** Consultado el 20 Junio del 2013. Disponible en: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/rm_074-2010-minam.pdf.
- Muñoz, J.; Felicísimo, A.** 2004. “Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling”, Journal of Vegetation Science. 15: 285-292.
- Novo,E.** 1988. Utilização de dados de Sensoriamento Remoto em Estudos Ambientais. San Jose dos Campos, Brasil. 13 (25): 43-51.

- ONERN** (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). 1985. Ensayos de especies forestales exóticas y guía para su zonificación en la Sierra Peruana. Proyecto FAO/Holanda/INFOR. 87 p.
- Phillips, S.; Anderson, R.; Schapire, R.** 2006: "A maximum entropy modelling of species geographic distributions", *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Potere, D.** 2008. Horizontal positional accuracy of Google Earth's high-resolution imagery archive. *Sensor* 8. 2p.
- Recharte J.; Alban, L.; Arevalo, R.; Flores, E.; Huerta, L.; Orellana, M.; Oscanoa, L.; Sanchez, P.** 2003. El Grupo Paramos/ Jalcas y punas del Perú: Instituciones y Acciones en beneficio de comunidades campesinas y ecosistemas alto andinos. En: *Memorias del Congreso Mundial de Paramos*. 159 - 200 pp.
- Reynel, C.** 1988. Plantas para leña en el Suroccidente de Puno. Lima, Proyecto Arbolandino. 165 p.
- Romoleroux K.** 1996. Rosaceae. En: G. Harling & L. Andersson (eds). *Flora of Ecuador* 56: 1-152.
- Rouse, J.; Haas, R.; Deering, D.; Schell, J.; Harlan, J.** 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation green wave effect of natural vegetation. NASA/GSFC Type III Final report, Greenbelt, MD. 371 p.
- Ruiz H.; Joseph Pavon J.** 1794, *Florae peruviana, et chilensis prodromus, sive novorum generum plantarum peruvianarum, et chilensium descriptiones, et icones*. Descripciones y láminas de los nuevos géneros de plantas de la flora del Perú y Chile. Missouri Botanical Garden. Madrid, España. 220p.
- Sebem, E.** 2005. Aportaciones en el desarrollo de un sistema metodológico para la evaluación de los efectos del cambio climático sobre la producción de las explotaciones Agrarias" Tesis Mag. Sc. Universidad Politécnica de Madrid. 382 p.
- Servat G.; Mendoza, W.; Ochoa J.A.** 2002. Flora y fauna de cuatro bosques de *Polylepis* (Rosaceae) en la Cordillera del Vilcanota (Cusco, Perú). *Ecología Aplicada* 1: 25-35.

- Stockwell, D.; Peters, D.** 1999. "The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction", *International Journal of Geographic Information Systems*, 13: 143-158.
- Simpson, B.**1979: Speciation and specialization of *Polylepis* in the Andes. –in Vuilleumier Press, F. & Monasterio, M. (eds) *High Altitude Tropical Biogeography*, New York – Oxford: Oxford Univ. 304- 315 pp.
- Smith. A.** 1976. Establishment of seedlings of *Polylepis sericea*. in the Paramo (Alpine) zone of the Venezuelan Andes. *Bartonia*. 73-78 pp.
- Tucker, C.; Townshend, J.; Goff, T.**1985. African land-cover classification using satellite data. *Science*, 277: 369 – 375.
- Tucker, C.**1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8: 127-150.
- Venero, L.; Macedo, H.** 1983. Relicto de bosques en la puna del Perú. *Boletín de Lima (Perú)* 5(30): 19-26.
- Villordo, J.** 2009. Distribución y estado de conservación del jaguar (*Panthera onca*). Tesis (M. Sc.). San Luís Potosí, MX: Colegio de Postgraduados – Institución de Enseñanza e investigación en Ciencias Agrarias. 84 p.
- Weigand, C.; Richardson, A.; Kanemasu, E.**1979. Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for évapotranspiration and crop modeling. *Agron. J.* 71: 336-342.
- Yallico, E.**1992. Distribución de *Polylepis* en el Sur de Puno. Proyecto Arbolandino. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Pomata, Perú. 134 p.
- Zaniewski, A.; Lehmann, A.; Overton, J.McC.** 2002. "Predicting species spatial distributions using presence only data: a case study of native New Zealand ferns", *Ecological Modelling*, 157: 261-280.
- Zutta, B.; Rundel, P.; Saatchi, S.; Casana, J.; Gauthier, P.; Soto, A.; Velazco, Y.; Buermann, W.** 2012. Predicting *Polylepis* distribution: vulnerable and increasingly important Andean woodlands. *Revista Peruana de Biología* 19 (2): 1-8.

ANEXO 1

REGISTROS DE PRESENCIAS DE BOSQUES DE *POLYLEPIS*.

N°	Longitud	Latitud	Fuente	N°	Longitud	Latitud	Fuente
1	-77.043	-9.076	ecoan, 2007	35	-71.487	-16.251	ca - mnsab, 2010
2	-77.050	-9.980	ecoan, 2007	36	-71.474	-16.249	ca - mnsab, 2010
3	-77.080	-9.941	ecoan, 2007	37	-71.319	-16.436	ca - mnsab, 2010
4	-77.082	-9.928	mountain.pe, 2004	38	-71.325	-16.386	ca - mnsab, 2010
5	-77.086	-9.932	mountain.pe, 2004	39	-71.314	-16.357	ca - mnsab, 2010
6	-77.108	-9.986	mountain.pe, 2004	40	-71.304	-16.392	iabin.com
7	-77.137	-10.032	mountain.pe, 2004	41	-71.339	-16.386	iabin.com
8	-77.039	-10.037	ecoan, 2007	42	-71.303	-16.470	ca - mnsab, 2010
9	-77.050	-10.015	ecoan, 2007	43	-71.310	-16.452	ca - mnsab, 2010
10	-77.103	-9.681	ecoan, 2007	44	-71.200	-16.300	iabin.com
11	-77.053	-9.678	ecoan, 2007	45	-71.565	-16.024	ca - mnsab, 2010
12	-77.125	-9.659	ecoan, 2007	46	-71.564	-16.007	ca - mnsab, 2010
13	-77.137	-9.657	ecoan, 2007	47	-71.551	-15.987	ca - mnsab, 2010
14	-77.120	-9.631	ecoan, 2007	48	-71.400	-16.200	iabin.com
15	-77.124	-9.620	ecoan, 2007	49	-71.500	-16.000	iabin.com
16	-77.115	-9.594	ecoan, 2007	50	-72.031	-15.536	unas, 2001
17	-77.084	-9.590	ecoan, 2007	51	-72.043	-15.533	unas, 2001
18	-77.084	-9.586	mountain.pe, 2004	52	-72.077	-15.525	unas, 2001
19	-77.056	-9.672	mountain.pe, 2004	53	-72.091	-15.524	unas, 2001
20	-77.633	-9.067	aves del Perú.com	54	-72.567	-15.700	aves del Perú.com
21	-77.649	-9.140	ecoan, 2010	55	-71.960	-15.675	ca - mnsab, 2010
22	-77.647	-9.126	ecoan, 2010	56	-71.564	-15.581	ca - mnsab, 2010
23	-72.950	-13.633	aves del Perú.com	57	-71.837	-15.953	ca - mnsab, 2010
24	-72.774	-13.687	benham et al, 2011	58	-71.931	-15.882	ca - mnsab, 2010
25	-73.018	-14.070	benham et al, 2011	59	-71.587	-15.962	ca - mnsab, 2010
26	-73.011	-14.069	benham et al, 2011	60	-72.800	-15.650	aves del Perú.com
27	-73.019	-14.064	benham et al, 2011	61	-72.683	-15.693	gbif.com
28	-72.856	-13.740	benham et al, 2011	62	-72.617	-15.550	aves del Perú.com
29	-73.124	-13.799	benham et al, 2011	63	-74.860	-13.480	jaime j. valenzuela t
30	-73.087	-13.784	benham et al, 2011	64	-74.458	-13.349	iabin.com
31	-73.088	-13.780	benham et al, 2011	65	-73.804	-12.905	ecoan, 2007
32	-73.068	-13.756	benham et al, 2011	66	-73.804	-12.905	ecoan, 2007
33	-73.040	-14.063	benham et al, 2011	67	-73.800	-12.901	ecoan, 2007
34	-71.506	-16.255	ca - mnsab, 2010	68	-73.808	-12.900	ecoan, 2007
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>							

N°	Longitud	Latitud	Fuente	N°	Longitud	Latitud	Fuente
69	-73.795	-12.900	ecoan, 2007	103	-74.903	-13.474	jaime j. valenzuela
70	-73.896	-12.863	ecoan, 2007	104	-74.905	-13.465	jaime j. valenzuela
71	-74.083	-14.583	mendoza, 2005	105	-74.919	-13.453	jaime j. valenzuela
72	-73.478	-15.352	gbif.com	106	-75.502	-11.662	aves del Perú.com
73	-73.494	-15.334	gbif.com	107	-75.502	-11.662	aves del Perú.com
74	-73.433	-15.333	mendoza, 2005	108	-76.100	-11.033	aves del Perú.com
75	-72.033	-13.283	mendoza, 2005	109	-76.200	-11.600	aves del Perú.com
76	-72.031	-13.217	ecoan, 2007	110	-76.714	-10.710	walsh, 2008
77	-72.033	-13.283	servat et al, 2002	111	-76.722	-10.703	walsh, 2008
78	-72.046	-13.226	servat et al, 2002	112	-76.742	-10.674	walsh, 2008
79	-72.037	-13.148	ecoan, 2007	113	-76.740	-10.665	walsh, 2008
80	-72.168	-14.372	ecoan, 2006	114	-75.967	-12.000	iabin.com
81	-72.044	-14.720	ecoan, 2005	115	-76.012	-12.503	rpny, 2006
82	-71.921	-14.567	ecoan, 2006	116	-76.010	-12.496	rpny, 2006
83	-71.844	-14.562	ecoan, 2006	117	-76.002	-12.478	rpny, 2006
84	-71.829	-14.532	ecoan, 2006	118	-76.000	-12.465	rpny, 2006
85	-71.900	-13.500	iabin.com	119	-75.986	-12.424	rpny, 2006
86	-72.317	-13.133	aves del Perú.com	120	-70.883	-16.370	RNSAB, 2006
87	-72.861	-13.288	benham et al, 2011	121	-70.891	-16.370	RNSAB, 2006
88	-72.870	-13.283	benham et al, 2011	122	-70.862	-16.365	RNSAB, 2006
89	-72.883	-13.272	benham et al, 2011	123	-70.858	-16.355	RNSAB, 2006
90	-72.903	-13.267	benham et al, 2011	124	-70.857	-16.340	RNSAB, 2006
91	-72.050	-13.267	ecoan, 2005	125	-70.600	-16.700	iabin.com
92	-72.500	-13.100	iabin.com	126	-70.654	-16.989	alcocer et al. 2011
93	-72.333	-13.200	ecoan, 2005	127	-70.689	-16.964	alcocer et al. 2011
94	-72.217	-13.183	ecoan, 2005	128	-76.167	-10.600	iabin.com
95	-72.171	-13.197	ecoan, 2007	129	-70.313	-13.799	iabin.com
96	-72.237	-13.187	ecoan, 2007	130	-70.001	-14.056	ecoan, 2006
97	-72.297	-13.141	ecoan, 2007	131	-70.135	-14.043	ecoan, 2006
98	-72.167	-13.200	lloyd et al, 2008	132	-70.400	-14.100	iabin.com
99	-72.224	-13.191	servat et al, 2002	133	-69.446	-16.239	alcocer et al. 2011
100	-72.150	-13.200	lloyd et al, 2008	134	-69.447	-16.237	alcocer et al. 2011
101	-72.092	-13.202	servat et al, 2002	135	-69.657	-17.100	alcocer et al. 2011
102	-72.059	-13.269	servat et al, 2002	136	-69.678	-17.095	alcocer et al. 2011
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>							

N°	Longitud	Latitud	Fuente	N°	Longitud	Latitud	Fuente
137	-69.681	-17.086	alcocer et al. 2011	171	-69.908	-14.937	ecoan, 2006
138	-69.681	-17.080	alcocer et al. 2011	172	-69.744	-14.896	ecoan, 2006
139	-69.833	-15.018	ecoan, 2006	173	-69.500	-14.400	iabin
140	-70.293	-15.334	mejia, 2011	174	-70.209	-17.210	alcocer et al. 2011
141	-70.295	-15.371	mejia, 2011				
142	-70.452	-15.327	mejia, 2011				
143	-70.334	-15.306	mejia, 2011				
144	-70.353	-15.294	mejia, 2011				
145	-70.463	-15.258	mejia, 2011				
146	-70.369	-15.245	mejia, 2011				
147	-70.496	-15.243	mejia, 2011				
148	-70.399	-15.204	mejia, 2011				
149	-70.365	-15.188	mejia, 2011				
150	-70.362	-15.187	mejia, 2011				
151	-70.647	-15.330	mejia, 2011				
152	-70.589	-15.314	mejia, 2011				
153	-70.586	-15.313	mejia, 2011				
154	-70.589	-15.309	mejia, 2011				
155	-70.645	-15.306	mejia, 2011				
156	-70.652	-15.305	mejia, 2011				
157	-70.652	-15.299	mejia, 2011				
158	-70.645	-15.289	mejia, 2011				
159	-70.379	-15.176	mejia, 2011				
160	-70.480	-15.146	mejia, 2011				
161	-70.430	-15.135	mejia, 2011				
162	-70.445	-15.135	mejia, 2011				
163	-70.456	-15.133	mejia, 2011				
164	-70.412	-15.115	mejia, 2011				
165	-70.474	-15.113	mejia, 2011				
166	-70.382	-15.057	mejia, 2011				
167	-70.380	-15.046	mejia, 2011				
168	-70.687	-15.196	mejia, 2011				
169	-70.692	-15.180	mejia, 2011				
170	-70.651	-15.174	mejia, 2011				
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>							

ANEXO 2

LISTA DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 5-TM.

N°	Imagen Satelital	N°	Imagen Satelital	N°	Imagen Satelital
1	19940119_007_060	21	20060908_008_063	41	20100818_008_066
2	19950514_007_069	22	20070513_009_066	42	20100914_005_062
3	19950613_009_064	23	20070526_004_068	43	20110530_003_068
4	19970102_008_061	24	20070704_005_070	44	20110602_008_067
5	19970830_008_060	25	20070729_004_062	45	20110620_006_062
6	19980927_007_061	26	20070731_002_069	46	20110620_006_063
7	20010825_008_065	27	20070801_009_063	47	20110724_004_070
8	20030925_007_062	28	20070814_004_069	48	20110807_006_064
9	20040131_007_066	29	20070821_005_067	49	20110807_006_065
10	20040803_006_067	30	20080618_007_068	50	20110807_006_066
11	20040803_006_068	31	20080706_005_066	51	20110809_004_063
12	20050710_009_065	32	20080812_008_064	52	20110811_002_068
13	20050714_005_069	33	20080924_005_063	53	20110812_009_062
14	20050728_007_063	34	20090402_007_070	54	20110825_004_067
15	20050730_005_068	35	20090427_006_070	55	20110910_004_072
16	20050813_007_064	36	20090506_005_071	56	20100326_005_064
17	20050822_006_061	37	20090517_002_073	57	20101228_005_064
18	20050829_007_065	38	20100414_006_071	58	20010422_005_065
19	20060528_007_067	39	20100514_008_068	59	20010429_005_062
20	20060908_008_062	40	20100617_006_069	60	20040421_005_063
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>					

ANEXO 3

LISTA DE MODELOS DE ELEVACIÓN ASTER_GDEM.

N°	Imagen	location	N°	Imagen	location
1	S03W082	S03 - S02, W082 - W081	51	S14W077	S14 - S13, W077 - W076
2	S05W082	S05 - S04, W082 - W081	52	S15W077	S15 - S14, W077 - W076
3	S06W082	S06 - S05, W082 - W081	53	N00W076	N00 - N01, W076 - W075
4	S07W082	S07 - S06, W082 - W081	54	S01W076	S01 - S00, W076 - W075
5	S03W081	S03 - S02, W081 - W080	55	S02W076	S02 - S01, W076 - W075
6	S04W081	S04 - S03, W081 - W080	56	S03W076	S03 - S02, W076 - W075
7	S05W081	S05 - S04, W081 - W080	57	S04W076	S04 - S03, W076 - W075
8	S06W081	S06 - S05, W081 - W080	58	S05W076	S05 - S04, W076 - W075
9	S07W081	S07 - S06, W081 - W080	59	S06W076	S06 - S05, W076 - W075
10	S03W080	S03 - S02, W080 - W079	60	S07W076	S07 - S06, W076 - W075
11	S04W080	S04 - S03, W080 - W079	61	S08W076	S08 - S07, W076 - W075
12	S05W080	S05 - S04, W080 - W079	62	S09W076	S09 - S08, W076 - W075
13	S06W080	S06 - S05, W080 - W079	63	S10W076	S10 - S09, W076 - W075
14	S07W080	S07 - S06, W080 - W079	64	S11W076	S11 - S10, W076 - W075
15	S08W080	S08 - S07, W080 - W079	65	S12W076	S12 - S11, W076 - W075
16	S09W080	S09 - S08, W080 - W079	66	S13W076	S13 - S12, W076 - W075
17	S03W079	S03 - S02, W079 - W078	67	S14W076	S14 - S13, W076 - W075
18	S04W079	S04 - S03, W079 - W078	68	S15W076	S15 - S14, W076 - W075
19	S05W079	S05 - S04, W079 - W078	69	S16W076	S16 - S15, W076 - W075
20	S06W079	S06 - S05, W079 - W078	70	N00W075	N00 - N01, W075 - W074
21	S07W079	S07 - S06, W079 - W078	71	S01W075	S01 - S00, W075 - W074
22	S08W079	S08 - S07, W079 - W078	72	S02W075	S02 - S01, W075 - W074
23	S09W079	S09 - S08, W079 - W078	73	S03W075	S03 - S02, W075 - W074
24	S10W079	S10 - S09, W079 - W078	74	S04W075	S04 - S03, W075 - W074
25	S11W079	S11 - S10, W079 - W078	75	S05W075	S05 - S04, W075 - W074
26	S03W078	S03 - S02, W078 - W077	76	S06W075	S06 - S05, W075 - W074
27	S04W078	S04 - S03, W078 - W077	77	S07W075	S07 - S06, W075 - W074
28	S05W078	S05 - S04, W078 - W077	78	S08W075	S08 - S07, W075 - W074
29	S06W078	S06 - S05, W078 - W077	79	S09W075	S09 - S08, W075 - W074
30	S07W078	S07 - S06, W078 - W077	80	S10W075	S10 - S09, W075 - W074
31	S08W078	S08 - S07, W078 - W077	81	S11W075	S11 - S10, W075 - W074
32	S09W078	S09 - S08, W078 - W077	82	S12W075	S12 - S11, W075 - W074
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>					

N°	Imagen	location	N°	Imagen	location
33	S10W078	S10 - S09, W078 - W077	83	S13W075	S13 - S12, W075 - W074
34	S11W078	S11 - S10, W078 - W077	84	S14W075	S14 - S13, W075 - W074
35	S12W078	S12 - S11, W078 - W077	85	S15W075	S15 - S14, W075 - W074
36	S13W078	S13 - S12, W078 - W077	86	S16W075	S16 - S15, W075 - W074
37	N00W077	N00 - N01, W077 - W076	87	S17W075	S17 - S16, W075 - W074
38	S01W077	S01 - S00, W077 - W076	88	N00W074	N00 - N01, W074 - W073
39	S02W077	S02 - S01, W077 - W076	89	S01W074	S01 - S00, W074 - W073
40	S03W077	S03 - S02, W077 - W076	90	S02W074	S02 - S01, W074 - W073
41	S04W077	S04 - S03, W077 - W076	91	S03W074	S03 - S02, W074 - W073
42	S05W077	S05 - S04, W077 - W076	92	S04W074	S04 - S03, W074 - W073
43	S06W077	S06 - S05, W077 - W076	93	S05W074	S05 - S04, W074 - W073
44	S07W077	S07 - S06, W077 - W076	94	S06W074	S06 - S05, W074 - W073
45	S08W077	S08 - S07, W077 - W076	95	S07W074	S07 - S06, W074 - W073
46	S09W077	S09 - S08, W077 - W076	96	S08W074	S08 - S07, W074 - W073
47	S10W077	S10 - S09, W077 - W076	97	S09W074	S09 - S08, W074 - W073
48	S11W077	S11 - S10, W077 - W076	98	S10W074	S10 - S09, W074 - W073
49	S12W077	S12 - S11, W077 - W076	99	S11W074	S11 - S10, W074 - W073
50	S13W077	S13 - S12, W077 - W076	100	S12W074	S12 - S11, W074 - W073
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>					

ANEXO 4

RESULTADOS DE PROBABILIDAD PRIMERA EVALUACION

N°	Categoría	Longitud	Latitud	IV					Mixtos					Climática				
				B	G	M	D	P	B	G	M	D	P	B	G	M	D	P
1	Presencia	-72.050	-13.267	5	50	90	70	90	70	90	60	90	90	80	90	90	50	80
2	Presencia	-72.033	-13.283	1	10	80	30	90	50	90	10	80	30	50	60	90	10	30
3	Presencia	-72.224	-13.191	5	50	90	50	90	70	90	50	90	70	70	90	90	40	80
4	Presencia	-69.446	-16.239	9	90	90	50	90	80	90	10	90	10	50	80	90	10	10
5	Presencia	-73.019	-14.064	1	10	90	50	90	60	90	20	90	50	60	90	90	40	70
6	Presencia	-72.856	-13.740	2	20	60	60	90	50	90	20	90	50	60	90	90	20	50
7	Presencia	-72.882	-13.272	8	80	90	70	90	80	90	40	90	70	70	90	90	30	80
8	Presencia	-72.903	-13.267	8	80	90	60	90	80	90	30	90	90	70	90	90	20	80
9	Presencia	-75.502	-11.662	2	20	80	40	90	50	90	10	90	10	50	90	90	10	10
10	Presencia	-71.500	-16.000	5	50	90	60	90	70	90	60	90	70	70	90	90	50	80
11	Presencia	-71.900	-13.500	5	50	90	50	90	70	90	50	90	70	70	90	90	40	70
12	Presencia	-69.500	-14.400	1	10	80	20	90	50	90	10	60	10	40	50	80	10	10
13	Presencia	-74.458	-13.348	1	10	70	20	90	40	90	20	80	10	50	80	80	10	10
14	Presencia	-71.339	-16.386	1	10	80	40	90	50	90	10	80	60	60	80	90	10	70
15	Presencia	-73.433	-15.333	1	10	90	60	90	60	90	10	80	20	50	80	90	10	20
16	Presencia	-74.083	-14.583	8	80	90	60	90	80	90	10	40	10	30	10	90	10	10
17	Presencia	-73.804	-12.905	1	10	50	40	90	40	90	10	60	50	50	70	90	10	50
18	Presencia	-72.171	-13.197	5	50	90	60	90	70	90	60	90	80	80	90	90	70	80
19	Presencia	-77.137	-9.656	7	70	90	60	90	70	90	50	90	70	70	90	90	50	80
20	Presencia	-77.125	-9.659	8	80	90	70	90	80	90	40	90	80	70	90	90	30	80
21	Presencia	-77.103	-9.681	5	50	90	60	90	70	90	50	90	80	70	90	90	40	80
22	Presencia	-73.494	-15.334	9	90	90	60	90	80	90	10	40	20	40	10	90	10	10
23	Presencia	-77.084	-9.586	9	90	90	70	90	80	90	30	90	80	70	90	90	30	80
24	Presencia	-77.108	-9.986	9	90	90	70	90	80	90	30	90	70	70	90	90	30	70
25	Presencia	-76.010	-12.496	9	90	90	70	90	80	90	40	90	40	60	90	90	30	30
26	Presencia	-76.002	-12.478	5	50	80	70	90	70	90	30	90	40	60	90	90	30	40
27	Presencia	-72.091	-15.524	9	90	90	70	90	80	90	80	90	70	80	90	90	60	50
28	Presencia	-77.648	-9.140	5	50	90	50	90	70	90	60	90	40	70	90	90	60	50
29	Presencia	-77.647	-9.126	9	90	90	70	90	80	90	40	90	80	70	90	90	40	70
30	Presencia	-76.722	-10.703	9	90	90	70	90	80	90	20	90	60	60	90	90	10	60

Fuente: Elaboración Propia

N°	Categoría	Longitud	Latitud	IV					Mixtos					Climática				
				B	G	M	D	P	B	G	M	D	P	B	G	M	D	P
31	Presencia	-70.001	-14.056	7	70	90	60	90	70	90	20	90	40	60	90	90	20	50
32	Presencia	-70.586	-15.313	9	90	90	60	90	80	90	40	90	90	70	90	90	30	90
33	Presencia	-70.456	-15.133	9	90	90	60	90	80	90	20	90	60	60	90	90	20	50
34	Presencia	-70.382	-15.057	9	90	90	70	90	80	90	20	90	80	70	90	90	20	70
35	Presencia	-70.445	-15.135	8	80	90	70	90	80	90	20	90	70	60	90	90	20	50
36	Presencia	-70.412	-15.115	9	90	90	60	90	80	90	40	90	70	70	90	90	30	80
37	Presencia	-70.398	-15.204	8	80	90	60	90	80	90	60	90	70	70	90	90	50	80
38	Presencia	-70.295	-15.371	9	90	90	50	90	80	90	70	90	60	70	90	90	60	70
39	Presencia	-71.310	-16.452	3	30	90	50	90	60	90	10	90	80	60	90	90	10	80
40	Presencia	-71.506	-16.255	5	50	90	60	90	70	90	20	90	80	70	90	90	20	90
41	Presencia	-70.862	-16.365	4	40	90	50	90	60	90	50	90	80	70	90	90	50	70
42	Presencia	-71.931	-15.882	6	60	90	60	90	70	90	60	90	80	80	90	90	50	80
43	Presencia	-69.657	-17.100	7	70	90	70	90	80	90	30	90	50	60	90	90	20	40
44	Presencia	-70.654	-16.988	7	70	90	60	90	70	90	20	90	80	70	90	90	20	60
45	Ausencia	-75.774	-9.428	1	10	10	10	50	20	50	10	10	10	20	10	60	10	10
46	Ausencia	-70.082	-14.368	9	90	90	50	90	80	90	20	90	60	60	90	90	20	60
47	Ausencia	-70.557	-13.780	1	10	80	50	90	50	90	10	90	50	60	90	90	50	70
48	Ausencia	-73.481	-12.182	1	10	10	10	70	20	60	10	10	10	20	10	60	10	10
49	Ausencia	-75.706	-9.837	1	10	10	10	50	20	70	10	10	10	20	10	80	10	10
50	Ausencia	-69.548	-12.622	1	10	10	10	70	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10
51	Ausencia	-73.349	-10.126	1	10	10	10	60	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10
52	Ausencia	-74.886	-10.886	1	10	10	10	70	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10
53	Ausencia	-74.750	-8.589	1	10	10	10	70	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10
54	Ausencia	-77.381	-8.589	1	10	80	10	90	40	90	10	50	10	40	40	90	10	10
55	Ausencia	-70.237	-11.803	1	10	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
56	Ausencia	-75.794	-10.375	1	10	10	60	80	40	80	10	10	10	20	10	80	10	10
57	Ausencia	-71.494	-17.127	1	10	10	10	80	20	60	10	10	10	20	10	60	10	10
58	Ausencia	-75.368	-9.980	1	10	10	10	60	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10
59	Ausencia	-74.759	-10.772	1	10	10	10	30	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
60	Ausencia	-71.949	-10.157	1	10	10	10	60	20	30	10	10	10	10	10	30	10	10

Fuente: Elaboración Propia

N°	Categoría	Longitud	Latitud	IV					Mixtos					Climática				
				B	G	M	D	P	B	G	M	D	P	B	G	M	D	P
61	Ausencia	-71.527	-13.541	9	90	90	60	90	80	90	100	90	50	80	90	90	80	70
62	Ausencia	-75.635	-12.354	3	30	90	50	90	60	90	10	80	40	50	60	90	10	30
63	Ausencia	-73.266	-14.199	4	40	90	70	90	70	90	30	90	70	70	90	90	20	60
64	Ausencia	-70.514	-14.258	4	40	90	30	90	60	90	10	80	40	50	70	90	10	40
65	Ausencia	-76.189	-10.111	1	10	10	10	90	30	80	10	30	10	30	30	80	10	10
66	Ausencia	-70.714	-14.146	1	10	20	20	90	30	90	10	60	30	40	40	90	10	30
67	Ausencia	-77.163	-8.432	8	80	90	60	90	80	90	10	80	10	40	60	90	10	10
68	Ausencia	-74.463	-13.744	9	90	90	60	90	80	90	10	90	60	60	90	90	10	70
69	Ausencia	-71.517	-15.215	9	90	90	50	90	80	90	10	90	40	50	90	90	10	30
70	Ausencia	-73.239	-12.841	1	10	10	10	80	20	70	10	10	10	20	10	70	10	10
71	Ausencia	-71.558	-10.825	1	10	10	10	40	10	20	10	10	10	10	10	20	10	10
72	Ausencia	-72.062	-12.514	1	10	40	30	90	40	90	20	80	30	50	90	90	20	30
73	Ausencia	-75.739	-14.687	1	10	10	10	80	20	60	10	10	10	20	10	60	10	10
74	Ausencia	-73.232	-10.778	1	10	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	20	10	10
75	Ausencia	-76.594	-9.838	1	10	30	20	90	30	90	10	30	10	30	20	80	10	10
76	Ausencia	-70.723	-15.732	2	20	10	20	90	30	90	30	60	70	60	90	90	70	50
77	Ausencia	-77.322	-8.621	1	10	80	10	90	40	80	10	10	10	20	10	80	10	10
78	Ausencia	-74.193	-10.021	1	10	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
79	Ausencia	-73.668	-8.747	1	10	10	10	40	10	20	10	10	10	10	10	20	10	10
80	Ausencia	-75.026	-15.339	1	10	10	10	80	20	60	10	10	10	20	10	60	10	10
81	Ausencia	-69.944	-12.410	1	10	10	10	70	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10
82	Ausencia	-74.645	-12.935	1	10	70	30	90	50	90	20	90	40	60	90	90	20	40
83	Ausencia	-75.059	-9.150	1	10	10	10	60	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10
84	Ausencia	-69.995	-11.735	1	10	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
85	Ausencia	-73.485	-8.963	1	10	10	10	60	20	20	10	10	10	10	10	20	10	10
86	Ausencia	-73.695	-9.818	1	10	10	10	60	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10
87	Ausencia	-75.755	-13.179	1	10	80	20	90	50	80	10	80	10	40	80	80	10	10
88	Ausencia	-77.713	-8.837	3	30	90	40	90	60	90	40	90	30	60	90	90	30	40

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 5

RESULTADOS DEL ÍNDICE DE KAPPA.

N	Caso	Catg	Eval	Long	Lat	N°	Caso	Catg	Eval	Long	Lat
1	I	P	a	-76.804	-10.635	35	II	A	d	-71.325	-16.096
2	I	P	b	-72.392	-15.629	36	II	A	d	-75.942	-12.222
3	I	P	a	-75.954	-12.411	37	II	A	d	-71.459	-15.808
4	I	P	a	-71.541	-16.251	38	II	A	d	-75.612	-12.298
5	I	P	a	-76.007	-12.533	39	II	A	d	-75.671	-12.178
6	I	P	a	-71.734	-16.029	40	II	A	d	-75.995	-12.061
7	I	P	b	-73.376	-15.467	41	III	P	a	-72.050	-13.267
8	I	P	a	-71.831	-15.980	42	III	P	a	-72.033	-13.283
9	I	P	a	-72.164	-15.965	43	III	P	a	-72.224	-13.191
10	I	P	b	-76.810	-11.204	44	III	P	a	-69.446	-16.239
11	I	A	d	-72.729	-16.510	45	III	P	a	-73.019	-14.064
12	I	A	d	-76.945	-11.371	46	III	P	a	-72.856	-13.740
13	I	A	d	-72.432	-14.908	47	III	P	a	-72.882	-13.272
14	I	A	d	-71.472	-16.721	48	III	P	a	-72.903	-13.267
15	I	A	d	-76.390	-12.340	49	III	P	b	-75.502	-11.662
16	I	A	d	-76.437	-12.361	50	III	P	a	-71.500	-16.000
17	I	A	d	-71.700	-16.266	51	III	P	b	-71.900	-13.500
18	I	A	d	-73.261	-15.509	52	III	P	b	-69.500	-14.400
19	I	A	d	-72.448	-16.385	53	III	P	a	-74.458	-13.348
20	I	A	d	-76.787	-11.652	54	III	P	a	-71.339	-16.386
21	II	P	a	-71.641	-15.977	55	III	P	a	-73.433	-15.333
22	II	P	a	-71.403	-16.336	56	III	P	a	-74.083	-14.583
23	II	P	a	-71.340	-16.403	57	III	P	a	-73.804	-12.905
24	II	P	a	-71.589	-16.148	58	III	P	a	-72.171	-13.197
25	II	P	a	-75.805	-12.360	59	III	P	a	-77.137	-9.656
26	II	P	a	-75.838	-12.239	60	III	P	a	-77.125	-9.659
27	II	P	a	-75.870	-12.336	61	III	P	a	-77.103	-9.681
28	II	P	a	-71.393	-16.337	62	III	P	a	-73.494	-15.334
29	II	P	a	-71.596	-15.908	63	III	P	a	-77.084	-9.586
30	II	P	a	-71.295	-16.434	64	III	P	a	-77.108	-9.986
31	II	A	d	-71.449	-16.021	65	III	P	a	-76.010	-12.496
32	II	A	d	-71.374	-16.235	66	III	P	a	-76.002	-12.478
33	II	A	d	-70.975	-15.910	67	III	P	a	-72.091	-15.524
34	II	A	d	-71.049	-16.455	68	III	P	a	-77.648	-9.140

Fuente: Elaboración Propia

N	Caso	Catg	Eval	Long	Lat	N°	Caso	Catg	Eval	Long	Lat
69	III	P	a	-77.647	-9.126	103	III	A	d	-72.746	-15.797
70	III	P	a	-76.722	-10.703	104	III	A	d	-73.003	-14.855
71	III	P	a	-70.001	-14.056	105	III	A	d	-72.737	-16.492
72	III	P	a	-70.586	-15.313	106	III	A	d	-72.202	-12.893
73	III	P	a	-70.456	-15.133	107	III	A	d	-70.912	-13.135
74	III	P	a	-70.382	-15.057	108	III	A	d	-69.543	-17.378
75	III	P	a	-70.445	-15.135	109	III	A	d	-71.172	-17.185
76	III	P	a	-70.412	-15.115	110	III	A	d	-74.972	-12.206
77	III	P	a	-70.398	-15.204	111	III	A	d	-74.474	-13.846
78	III	P	a	-70.295	-15.371	112	III	A	d	-77.230	-11.314
79	III	P	a	-71.310	-16.452	113	III	A	d	-71.634	-17.221
80	III	P	a	-71.506	-16.255	114	III	A	d	-73.516	-13.108
81	III	P	a	-70.862	-16.365	115	III	A	c	-73.917	-13.292
82	III	P	a	-71.931	-15.882	116	III	A	d	-73.436	-12.698
83	III	P	a	-69.657	-17.100	117	III	A	c	-73.492	-13.265
84	III	P	a	-70.654	-16.988	118	III	A	d	-77.621	-8.462
85	III	A	d	-70.082	-14.368	119	III	A	d	-74.610	-15.572
86	III	A	d	-70.557	-13.780	120	III	A	d	-69.156	-14.546
87	III	A	d	-77.381	-8.589	121	III	A	c	-73.030	-15.432
88	III	A	d	-71.494	-17.127	122	III	A	d	-71.259	-13.088
89	III	A	d	-71.527	-13.541	123	III	A	d	-72.075	-12.886
90	III	A	d	-75.635	-12.354	124	III	A	d	-76.448	-12.830
91	III	A	d	-70.514	-14.258	125	III	A	d	-73.832	-14.894
92	III	A	d	-70.714	-14.146	126	III	A	d	-70.254	-16.164
93	III	A	d	-74.463	-13.744	127	III	A	d	-73.113	-12.656
94	III	A	d	-71.517	-15.215	128	III	A	d	-74.463	-13.888
95	III	A	d	-73.239	-12.841						
96	III	A	d	-72.062	-12.514						
97	III	A	d	-70.723	-15.732						
98	III	A	d	-77.322	-8.621						
99	III	A	c	-74.645	-12.935						
100	III	A	d	-77.713	-8.837						
101	III	A	c	-76.627	-11.507						
102	III	A	d	-71.642	-15.296						

Fuente: Elaboración Propia