

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“DEGRADACIÓN Y VULNERABILIDAD AL CAMBIO  
CLIMÁTICO EN PASTIZALES ALTOANDINOS”**

**Presentada por:**

**SAMUEL EDWIN PIZARRO CARCAUSTO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**Lima - Perú**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**“DEGRADACIÓN Y VULNERABILIDAD AL CAMBIO  
CLIMÁTICO EN PASTIZALES ALTOANDINOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**SAMUEL EDWIN PIZARRO CARCAUSTO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo

**PRESIDENTE**

Ph.D. Javier Ñaupari Vásquez

**PATROCINADOR**

Ph.D. Enrique Flores Mariazza

**MIEMBRO**

Ph.D. Lucrecia Aguirre Terrazas

**MIEMBRO**

*A mis Padres*

*Isaías +*

*Lourdes*

*A mis hijos*

*Máximo y Ender*

## AGRADECIMIENTOS

Rara vez se consigue llegar a los objetivos marcados en soledad, tanto en el ámbito profesional, como en el social. La realización de un trabajo de investigación es una larga tarea que se desarrolla de forma ineludible en estos dos ámbitos, por lo que cuando se finaliza, el que la firma está obligado a agradecer la ayuda que ha recibido a lo largo de todo el camino recorrido.

En primer lugar, este trabajo no hubiera sido posible sin la confianza depositada por el Dr. Javier Ñaupari y, director de la tesis que ha dado lugar a este estudio, para que participara en el proyecto financiado por el CONCYTEC y FINCyT, el cual ha proporcionado el contexto y los materiales necesarios. Asimismo, debo agradecer a la presidenta del CONCYTEC la concesión de una beca de estudios de maestría que me permitió centrarme durante la mayor parte de la realización de la tesis exclusivamente en esta tarea. En este contexto, es también justo acordarse de otras instituciones que me permitieron iniciar y seguir con la investigación, como son las comunidades de Cordillera Blanca, Canchayllo, Tomas, Santa Ana y la Cooperativa San Pedro de Racco .

En este mismo sentido, del Laboratorio de Ecología y Utilización de pastizales me gustaría agradecer toda la atención prestada por el Dr. Enrique Flores Mariazza, Dr. Lucrecia Aguirre Terrazas, Mg Sc. Bill Yalli Huamani, Mg Sc. José Ruiz Chamorro; al Mg Sc. Julio Nazario Ríos de la maestría de suelos, y el apoyo y la amistad de todos los compañeros que han ido pasando por la sala de becarios.

Queda el agradecimiento a mis compañeros de trabajo, a todos mis amigos y familia, por su apoyo y, en especial a mis padres, por enseñarme a ser como soy, por último, a Lidia, porque todos sabemos que los malos momentos siempre los soporta la persona que está siempre a tu lado, y esa persona Lidia, eres tú.

Finalmente agradecer a la Universidad Nacional Agraria La Molina por posibilitar la divulgación de este trabajo de investigación.

# INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1	DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y PASTIZALES.....	3
2.1.1	CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN .....	4
2.2	EVALUACION DE LA DEGRADACION DE PASTIZALES CON SENSORES REMOTOS .....	10
2.2.1	PRINCIPALES SENSORES REMOTOS UTILIZADOS EN EL MAPEO DE VEGETACIÓN .....	11
2.2.2	CLASIFICACION DE IMAGENES.....	16
2.3	ENFOQUES Y MODELOS PARA EVALUAR LA DEGRADACIÓN EN PASTIZALES.....	21
2.3.1	ENFOQUES DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN.....	21
2.3.2	MODELOS CONCEPTUALES DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE PASTIZALES .....	24
2.4	EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LOS PASTIZALES.....	30
2.4.1	VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	31
2.5	EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD .....	32
2.5.1	ÍNDICES DE VULNERABILIDAD.....	34
2.5.2	EXPOSICIÓN, SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD ADAPTATIVA.....	34
2.5.3	VULNERABILIDAD EN EL PERÚ .....	35
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1	LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO .....	37
3.2	DATOS ESPACIALIZADOS .....	38
3.3	VARIABLES DE ANÁLISIS.....	39
3.4	SELECCIÓN DE VARIABLES.....	45
3.4.1	ANÁLISIS FACTORIAL.....	45
3.5	MAPEO DE LA DEGRADACIÓN.....	47
3.5.1	COLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO .....	49
3.5.2	CONSTRUCCIÓN DEL MAPA DE PORCENTAJE DE COBERTURA VEGETAL EN CALIBRACIÓN CON FCV .....	50
3.5.3	DEGRADACIÓN Y FCV .....	50

3.5.4	ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS FACTORES DETERMINANTES.....	51
3.6	MAPEO DE LA VULNERABILIDAD .....	54
3.6.1	SELECCIÓN DE INDICADORES Y PESO DE LAS VARIABLES.....	55
3.6.2	NORMALIZACIÓN DE VARIABLES.....	60
3.6.3	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO 61	
3.7	RELACIÓN ENTRE DEGRADACIÓN Y VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO .....	62
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	64
4.1	SELECCIÓN DE VARIABLES QUE DETERMINAN LA DEGRADACIÓN .	64
4.1.1	ANÁLISIS FACTORIAL.....	64
4.2	MAPEO DE LA DEGRADACIÓN DE PASTIZALES.....	65
4.2.1	CÁLCULO Y VALIDACION DE LA FRACCIÓN DE COBERTURA VEGETAL.....	65
4.2.2	INTERPRETACION REMOTA DE LA DEGRADACION DE PASTIZALES.....	68
4.3	ANALISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE FACTORES DETERMINANTES DE LA DEGRADACIÓN .....	74
4.3.1	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm) .....	76
4.3.2	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C).....	76
4.3.3	ELEVACIÓN (msnm).....	77
4.3.4	PENDIENTE (°).....	78
4.3.5	INTEMPERISMO .....	79
4.3.6	DISTANCIA A LAGUNAS Y RÍOS.....	79
4.3.7	FRACCIÓN DE COBERTURA VEGETAL (%).....	80
4.3.8	DENSIDAD POBLACIONAL (Hab/km <sup>2</sup> ).....	81
4.3.9	DISTANCIA A CENTROS POBLADOS (m).....	82
4.3.10	DISTANCIA VÍAS NACIONALES – DEPARTAMENTALES Y VECINALES - TROCHAS (m) .....	83
4.3.11	DENSIDAD ANIMAL (UO/Ha).....	84
4.3.12	ÁREAS DE RESERVA.....	85
4.4	VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	86
4.4.1	INDICADOR DE EXPOSICION.....	87

4.4.2	INDICADOR DE SENSIBILIDAD .....	90
4.4.3	INDICADOR DE CAPACIDAD ADAPTATIVA .....	92
4.4.4	RELACIÓN ENTRE VULNERABILIDAD Y COMPONENTES .....	94
4.4.5	MAPEO DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO .....	96
4.4.6	DINAMICA DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	101
4.5	CORRELACIÓN ENTRE DEGRADACIÓN Y VULNERABILIDAD .....	102
V.	CONCLUSIONES.....	105
VI.	RECOMENDACIONES .....	106
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
VIII.	ANEXOS .....	127

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fecha de lanzamiento, estado, resolución espacial y temporal de los sensores de los satélites.....	15
Tabla 2. Resolución espacial, espectral y principios de aplicación de los sensores de los satélites Landsat, ASTER y MODIS. ....	15
Tabla 3. Taxonomía de clasificación de imágenes .....	19
Tabla 4. Matriz de comparación de enfoques estructurales/funcionales y bióticos/abióticos. ....	23
Tabla 5. Distribución de los distritos de estudio y el área respectiva en hectáreas. ....	38
Tabla 6. Variables climáticas, cartográficas, sociales y de producción para el mapeo de degradación y vulnerabilidad al cambio climático .....	39
Tabla 7. Variables, método de procesamiento de datos y mapas temáticos generados.....	40
Tabla 8. Escala de meteorización .....	43
Tabla 9. Sistema de evaluación de índices, criterio y clasificación de la degradación de pastizales usando sensores remotos. ....	50
Tabla 10. Evaluación integrada del índice de evaluación de pastizales. ....	51
Tabla 11. Valoración del coeficiente Kappa. ....	53
Tabla 12. Variables, seleccionadas para el análisis de vulnerabilidad .....	57
Tabla 13. Escala de factores y su explicación en la matriz de comparaciones pareadas.....	59
Tabla 14. Índice de consistencia aleatorio.....	60
Tabla 15. Valores estandarizados de las variables de evaluación. ....	61
Tabla 16. Rango de correlaciones.....	63
Tabla 17. Análisis factorial para la selección de variables evaluadas. ....	64
Tabla 18. Valores de Valores NDVI – Vegetación (NDVI <sub>v</sub> ) y suelo (NDVI <sub>s</sub> ) seleccionadas para el cálculo de FCV. ....	66
Tabla 19. Degradación de pastizales en áreas de Puna de las zonas de estudio.....	68
Tabla 20. Degradación de pastizales en áreas de Puna por zona de estudio en x10 <sup>2</sup> ha. ....	70
Tabla 21. Coeficientes estimados y ratio de odds de la regresión logística multinomial ....	75
Tabla 22. Correlaciones entre los componentes de exposición y el índice de exposición al cambio climático para los ocho distritos. ....	89
Tabla 23. Correlaciones entre los componentes de sensibilidad y el índice de sensibilidad por distritos.....	92

Tabla 24. Correlaciones entre los componentes de capacidad adaptativa y el índice de capacidad adaptativa por distritos.....	94
Tabla 25. Relación entre el índice de vulnerabilidad y los componentes utilizados. ....	95
Tabla 26. Escala de vulnerabilidad – límites naturales de Jenks.....	96
Tabla 27. Vulnerabilidad de pastizales en áreas de Puna de las zonas de estudio. ....	96
Tabla 28. Vulnerabilidad al cambio climático de pastizales en áreas de Puna por zona de estudio en $\times 10^2$ ha.....	98
Tabla 29. Relación entre vulnerabilidad y degradación de pastizales. ....	103

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secuencia cronológica de lanzamiento de satélites Landsat. ....	12
Figura 2. Comparación de los principales elementos de los enfoques estructurales y funcionales de restauración.....	21
Figura 3. Modelo clásico de respuesta de la vegetación frente a la presión de pastoreo ...	24
Figura 4. Ciclo de degradación gradual .....	25
Figura 5. Modelo conceptual de umbrales bióticos y abióticos .....	26
Figura 6. Modelo de estados y transiciones para un bosque de goma en el sureste de Queensland, Australia.....	29
Figura 7. Localización de los distritos de estudio. ....	37
Figura 8. Distribución de cuadrantes para evaluación de cobertura vegetal .....	50
Figura 9. Representación esquemática del modelo numérico de mapeo de la degradación de pastizales.....	54
Figura 10. Representación esquemática del modelo numérico de mapeo de la vulnerabilidad de pastizales.....	55
Figura 11. Estructura jerárquica para la estimación de la vulnerabilidad Eco-ambiental. ..	58
Figura 12. Relación entre FCV (%) estimada en campo y su homólogo derivado del NDVI de imágenes Landsat.....	67
Figura 13. Dinámica de la degradación de pastizales para el periodo 2011 – 2014.....	69
Figura 14. Proporción de diferentes grados de degradación de pastizales altoandinos en el año 2014. ....	71
Figura 15. Mapas de degradación de pastizales altoandinos en los distritos estudiados en los periodos 2011 y 2014. ....	72
Figura 16. Dinámica del Índice de Degradación de Pastizales (IDP) en los distritos estudiados. ....	73
Figura 17. IDP promedio de las zonas estudiadas. ....	74
Figura 18. Estructura jerárquica de la vulnerabilidad ecológica. ....	87
Figura 19. Valores del indicador de exposición al cambio climático para el periodo 2011 – 2014 en los 8 distritos estudiados.....	88
Figura 20. Valores del indicador de sensibilidad del sistema para el periodo 2011 – 2014 en los 8 distritos estudiados. ....	90
Figura 21. Valores del indicador de capacidad adaptativa del sistema para el periodo 2011 – 2014 en los distritos estudiados.....	93

Figura 22. Dinámica de la vulnerabilidad ecológica de pastizales para el periodo 2011 – 2014. ....	97
Figura 23. Proporción de niveles de vulnerabilidad ecológica de pastizales altoandinos en el periodo 2014. ....	99
Figura 24. Mapas de vulnerabilidad de pastizales alto andinos al cambio climático en los distritos estudiados en los periodos 2011 y 2014. ....	100
Figura 25. Dinámica Temporal del Índice de Degradación de Pastizales (IDP) de las zonas estudiadas.....	101
Figura 26. Vulnerabilidad al cambio climático promedio de los pastizales en los distritos estudiados. ....	102

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b> Resumen de Precipitación anual de las estaciones utilizadas. ....	128
<b>ANEXO 2.</b> Resumen de Temperatura media anual de las estaciones utilizadas. ....	130
<b>ANEXO 3.</b> Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas. ....	132
<b>ANEXO 4.</b> Descripción de unidades geológicas y determinación del índice de intemperismo por distrito de estudio. ....	133
<b>ANEXO 5.</b> Proyección Aritmética de la población de los distritos estudiados y cálculo de densidad poblacional. ....	148
<b>ANEXO 6.</b> Proyección Logarítmica de la población de los distritos estudiados y cálculo de densidad poblacional. ....	148
<b>ANEXO 7.</b> Proyección Geométrica de la población de los distritos estudiados y cálculo de densidad poblacional. ....	149
<b>ANEXO 8.</b> Promedio de la densidad poblacional proyectada por distrito estudiando. ....	149
<b>ANEXO 9.</b> Total de cabezas de ganado vacuno y su equivalente en UA por distrito de estudio - Censo Agropecuario 1994. ....	150
<b>ANEXO 10.</b> Total de cabezas de ganado vacuno y su equivalente en UA por distrito de estudio - Censo Agropecuario 2012. ....	150
<b>ANEXO 11.</b> Total de cabezas de ganado ovino y su equivalente en UO por distrito de estudio - Censo Agropecuario 1994. ....	151
<b>ANEXO 12.</b> Total de cabezas de ganado ovino y su equivalente en UO por distrito de estudio - Censo Agropecuario 2012. ....	151
<b>ANEXO 13.</b> Total de cabezas de camélidos sudamericanos más otras especies adicionales y su equivalente en UA por distrito de estudio - Censo Agropecuario 1994. ....	152
<b>ANEXO 14.</b> Total de cabezas de alpacas y su equivalente en UAL por distrito de estudio - Censo Agropecuario 2012. ....	152
<b>ANEXO 15.</b> Total de cabezas de camélidos sudamericanos más otras especies adicionales y su equivalente en UA por distrito de estudio - Censo Agropecuario 2012. ....	153
<b>ANEXO 16.</b> Resumen de total de poblaciones de animales expresados en UA y UO para el año 1994. ....	153
<b>ANEXO 17.</b> Resumen de total de poblaciones de animales expresados en UA y UO para el año 2012. ....	154
<b>ANEXO 18.</b> Proyección Aritmética de la población animal de los distritos estudiados y cálculo de densidad animal. ....	155

<b>ANEXO 19.</b> Proyección Logarítmica de la población animal de los distritos estudiados y cálculo de densidad animal.....	155
<b>ANEXO 20.</b> Proyección Geométrica de la población animal de los distritos estudiados y cálculo de densidad animal.....	156
<b>ANEXO 21.</b> Promedio de la densidad animal proyectada por distrito estudiando.....	156
<b>ANEXO 22.</b> Mapas de precipitación anual 2011- 2012. ....	157
<b>ANEXO 23.</b> Mapas de precipitación anual 2013- 2014. ....	158
<b>ANEXO 24.</b> Mapas de temperatura media anual 2011- 2012. ....	159
<b>ANEXO 25.</b> Mapas de temperatura media anual 2013- 2014. ....	160
<b>ANEXO 26.</b> Mapas de elevaciones y pendientes.....	161
<b>ANEXO 27.</b> Mapas de Intemperismo y Áreas protegidas. ....	162
<b>ANEXO 28.</b> Mapas de Fracción de cobertura vegetal (FCV) 2011-2012.....	163
<b>ANEXO 29.</b> Mapas de Fracción de cobertura vegetal (FCV) 2013-2014.....	164
<b>ANEXO 30.</b> Mapas de distancia euclidiana lagunas y ríos. ....	165
<b>ANEXO 31.</b> Mapas de distancia euclidiana a Vías Nacionales y Departamentales, Vías Vecinales y trochas.....	166
<b>ANEXO 32.</b> Mapas de distancia euclidiana a Centros Poblados.....	167
<b>ANEXO 33.</b> Mapas de degradacion de pastizales 2011-2012. ....	168
<b>ANEXO 34.</b> Mapas de degradacion de pastizales 2013-2014.....	169
<b>ANEXO 35.</b> Mapas de vulnerabilidad de pastizales 2011-2012.....	170
<b>ANEXO 36.</b> Mapas de vulnerabilidad de pastizales 2013-2014.....	171
<b>ANEXO 37.</b> Análisis factorial por componentes principales – 2011. ....	172
<b>ANEXO 38.</b> Análisis factorial por componentes principales – 2012. ....	173
<b>ANEXO 39.</b> Análisis factorial por componentes principales – 2013. ....	174
<b>ANEXO 40.</b> Análisis factorial por componentes principales – 2014. ....	175
<b>ANEXO 41.</b> Transectas y valores utilizados para la validación de FCV.....	176
<b>ANEXO 42.</b> Índices de regresión Lineal para calibración de FCV. ....	176
<b>ANEXO 43.</b> Inventario histórico (2011-2014) de degradación de pastizales en áreas de Puna por zona de estudio obtenidos mediante Teledetección. ....	177
<b>ANEXO 44.</b> Información de ajuste para el modelo de Regresión Logística Mutinomial para el análisis de degradación. ....	178
<b>ANEXO 45.</b> Modelo de regresión logística para degradación de pastizales. ....	179
<b>ANEXO 46.</b> Análisis Kappa de degradación basada en FCV y degradación pronosticada por RLM. ....	181

<b>ANEXO 47. Análisis de vulnerabilidad: Comparación por pares - Vulnerabilidad Ecológica. ....</b>	<b>182</b>
<b>ANEXO 48. Análisis de vulnerabilidad: Comparación por pares/Exposición. ....</b>	<b>182</b>
<b>ANEXO 49. Análisis de vulnerabilidad: Comparación por pares/Sensibilidad. ....</b>	<b>183</b>
<b>ANEXO 50. Análisis de vulnerabilidad: Comparación por pares/Capacidad Adaptativa. ....</b>	<b>184</b>
<b>ANEXO 51. Inventario historico (2011-2014) de vulnerabilidad de pastizales en areas de Puna por zona de estudio. ....</b>	<b>185</b>

## RESUMEN

La degradación de los pastizales es un proceso asociado a la pérdida de equilibrio del ecosistema causado por la interacción de múltiples factores tales como el incremento de la densidad poblacional y animal, condiciones de suelo (altitud, pendiente) y climáticas (precipitación, temperatura), que pueden hacerlas vulnerables a los efectos del cambio climático (Ludwig et al., 2000; Liu et al., 2006). Por ello este trabajo busca identificar los factores más importantes que determinan el proceso de degradación de los pastizales, evaluar el grado de degradación y vulnerabilidad al cambio climático actual de estos ecosistemas; y determinar si existe una relación entre el grado de degradación del pastizal y la vulnerabilidad al cambio climático de pastizales altoandinos. El estudio se localizó en la región puna de Ancash, Junín, Pasco, Huancavelica y Lima, e involucró el diseño de un marco de evaluación de la degradación de pastizales basado en información de campo y productos del satélite Landsat, contrastándola con variables socioeconómicas, ecológicas y de localización. La estimación de la vulnerabilidad al cambio climático se realizó mediante el proceso analítico jerárquico (AHP), en una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los resultados revelan que los principales factores asociados al proceso de degradación seria y extrema en orden de importancia son, pérdida de la fracción de cobertura vegetal (FCV) de años pasados, incremento de la temperatura media anual, mayor densidad animal, deficientes políticas de protección, mayor densidad poblacional y menor índice de intemperismo. Se encontró que aproximadamente el 80% de los pastizales estudiados se encuentran en estado de degradación extrema y seria, siendo el distrito de Santa Ana, Huancavelica, el más degradado (extrema), y el distrito de Olleros, Ancash, el menos degradado (seria), con una tendencia a que la degradación siga incrementándose. Cerca del 85% de pastizales se clasificaron como de extrema y pesada vulnerabilidad, siendo los principales factores en orden de importancia asociadas a este índice, baja FCV, mayor pendiente, menor índice de intemperismo, menor precipitación, mayor distancia a fuentes de agua, mayor densidad poblacional, mayor temperatura media anual y mayor densidad animal. El distrito de Tomas, Lima, es el más vulnerable y Canchayllo, Junín, el menos vulnerable, siendo la tendencia de la vulnerabilidad a seguir incrementándose. Por último, se encontró que existe una correlación espacial positiva entre degradación y vulnerabilidad al cambio climático de pastizales altoandinos (Pearson=0.67; Spearman=0.61).

*Palabras clave: degradación, vulnerabilidad, pastizales alto andinos, fracción de cobertura vegetal (FCV), sensores remotos.*

## ABSTRACT

Rangeland degradation is a process associated with loss of ecosystem equilibrium due to the interaction of multiple factors such as population and animal density increments, soil (altitude and slope) and climatic conditions (precipitation and temperature), which may make them vulnerable to the effects of climate change (Ludwig et al., 2000; Liu et al., 2006). Therefore, this work seeks to identify the most important factors that cause the degradation process of rangelands, assess the degree of degradation and vulnerability to current climate change of these ecosystems; and determine if there is a relationship between the degree of rangeland degradation and vulnerability to climate change in high Andean rangelands. The study was located in the puna region of Ancash, Junín, Pasco, Huancavelica and Lima and involved the design of a framework to assess rangeland degradation based on field information and Landsat satellite products that was, contrasted with socioeconomic, ecological and location variables. The estimation of vulnerability to climate change was assessed with the Analytic hierarchy process (AHP) in a Geographic Information Systems (GIS) platform. The main factors in order of importance associated with the serious and extreme degradation process were the loss of vegetation fractional cover (VFC) from previous years, increments in the annual average temperature, high animal density, poor protection policies, high population density and low rock weathering index. The results revealed that around 80% of the rangelands were classified as extreme and serious degraded. Where the district of Santa Ana, Huancavelica, was the most degraded (extreme), and the district of Olleros, Ancash, less degraded (serious) with a tendency to increase the degraded areas. Extreme and heavy vulnerability was around 85%, and the main factors in order of importance associated with this index were low FCV, high slope, low rock weathering index, low precipitation, long distance to water sources, high population density, high annual average temperature and high animal density. Tomas district, Lima, was the most vulnerable, and Canchayllo, Junín, the least vulnerable, with a vulnerability tendency to keep increasing. Lastly we found a positive spatial correlation between degradation and vulnerability to climate change in high Andean rangelands (Pearson = 0.67, Spearman = 0.61).

*Key words: degradation, vulnerability, high Andean rangelands, vegetation fractional cover (VFC), remote sensing*

## I. INTRODUCCIÓN

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación en la comunidad internacional, ya que variables climáticas claves para el crecimiento de la vegetación podrían ser severamente afectadas, siendo estos cambios de mayor envergadura principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (Cline, 2007).

En el Perú, existen aproximadamente 22 millones de hectáreas de pastizales de los cuales 15 millones pertenecen a la región Puna, y son importantes no solo por su valor como recurso forrajero para el pastoreo, sino también debido a los servicios ambientales que ofrecen (Flores, 2013). Sin embargo, más del 60 % de los pastizales altoandinos se encuentran en proceso de degradación debido a la ausencia de políticas de conservación, inadecuado manejo y sobrepastoreo lo cual genera reducción de la productividad de los pastizales, pérdida de biodiversidad y promueve la desertificación (Flores, 1996). En adición, se estima que la degradación haría que los pastizales sean más vulnerables al cambio climático.

La degradación de los pastizales altoandinos es el resultado de varios factores que van desde las condiciones de variabilidad climática consideradas en un modelo de no equilibrio hasta actividades ligadas al incremento de la presión de uso de la vegetación dentro del contexto de un modelo de equilibrio (Li 1997; Li et al., 2003). La vulnerabilidad está asociada al factor de exposición al que se encuentre el ecosistema, el cual tendrá un impacto directo sobre la sensibilidad y la respuesta del ecosistema considerado como capacidad adaptativa (IPCC 2007). Esta definición de vulnerabilidad puede ser aplicada a los ecosistemas de pastizales, determinando los factores que afectan a estos ecosistemas.

El uso de sensores remotos ha sido utilizado ampliamente en el monitoreo de la dinámica de la vegetación (Yong et al., 1987; Pei and Pan, 1993; Bastin et al., 1995; Tong et al., 1996; Boyle et al., 1997; Tanser y Palmer, 1999; Schmidt and Karnieli, 2000); donde cambios en los patrones de vegetación pueden ser usados como indicadores de la degradación en pastizales (Li et al., 2011).

Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha sólo han evaluado las condiciones de degradación y vulnerabilidad de ecosistemas, basados solo en la biomasa superficial estimada a partir del Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI), derivada de datos de resolución gruesa (i.e. AVHRR con una resolución espacial de 1.1x1.1 km). Estos estudios no consideran la compleja interacción espacial de factores que promueven la degradación a escalas mayores. El propósito de este estudio es agregar evidencia práctica de la variación espacial y temporal de la degradación y vulnerabilidad a escala regional como resultado del impacto de factores biofísicos y de actividad humana en pastizales de la región puna.

Los objetivos del estudio fueron realizar un análisis exploratorio de los factores que determinan la degradación y vulnerabilidad para mapear la degradación y vulnerabilidad en una serie de tiempo en pastizales altoandinos a mediana escala, evaluar metodologías para determinar degradación y vulnerabilidad, y explorar la relación que existe entre la degradación y vulnerabilidad de pastizales.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y PASTIZALES**

Por degradación de las tierras se entiende la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de población. Entre estos procesos resaltan la erosión del suelo causado por el viento o el agua, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo y, la pérdida duradera de vegetación natural (CCD/PNUMA, 1995).

La degradación de los pastizales en general se puede describir como pérdida de la productividad biológica y económica durante un período sostenido de tiempo, vinculado a la actividad humana, el uso no sostenible del suelo, y los impactos generados por este uso no sostenible, sobre la composición de la vegetación, función hidrológica y procesos del suelo (Bedunah y Angerer, 2012), lo que conlleva a la pérdida de capacidad de producción de forraje tanto para la fauna nativa como para el ganado, siendo los principales efectos en la reducción de servicios ecosistémicos que incluyen: (i) biodiversidad, que disminuyen en términos numéricos, variedad y rango; (ii) protección de cuencas; (iii) reserva de carbono; y (iv) calidad del aire. (Brown et al., 2008).

Una consideración importante en esta definición es la temporalidad, período de tiempo en que la reducción de la productividad se produce, es decir la reducción debe ser constante (tiempo que se ha mantenido por debajo de una línea de base correspondiente) y no el resultado de la variación climática a corto plazo (Safriel, 2007).

En algunos casos, existe confusión entre los términos degradación y desertificación, utilizándose indistintamente para describir la degradación. A pesar que la desertificación es una forma de degradación, la desertificación está definida por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD) como *"degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas"* (UNEP, 1994).

Por lo tanto, la definición del CLD aplica a la desertificación pastizales que se producen en las regiones secas, pero no a los pastizales que se producen en las zonas más húmedas; por lo que estos términos no siempre son intercambiables.

### **2.1.1 CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN**

La degradación de pastizales es causada por la combinación de múltiples factores tanto naturales y antrópicos, tales como el uso inapropiado de políticas de uso de la tierra, tenencia de la tierra, inadecuada supervisión de la gestión de los pastizales, pobreza y baja rentabilidad de los sistemas de producción ganadera y sobreutilización de estos. Los factores inducidos por la actividad humana se ven agravados por: (i) la pobre comprensión del funcionamiento global y la resiliencia de ecosistemas; y (ii) deficiencia de políticas gubernamentales a mediano y largo plazo de los impactos ambientales generados por intervenciones en planificación o ejecución. (Brown et al., 2008; Li 1997; Li et al., 2003, Bedunah y Angerer, 2012; Sivakumar and Stefanski, 2007; Flores, 2004).

#### **a) DENSIDAD POBLACIONAL**

La baja densidad poblacional y las tecnologías primitivas disponibles en el pasado mantuvieron la capacidad de los pastizales para sustentar la vida sin cambios durante muchos siglos. El crecimiento demográfico y la disponibilidad de tecnologías modernas durante la década de 1900 han tenido un impacto mayor que el de toda la historia anterior. (Pardini, 2009). Talbot (1986) indica que el crecimiento de la población y la pobreza son los factores subyacentes que determinan la degradación de los pastizales y la pérdida de la biodiversidad en las zonas semiáridas de dos maneras:

El primero se refiere al aumento de la población que viven en los pastizales y dependen directamente de los recursos de pastoreo. La capacidad de carga de estos terrenos para las personas se relaciona directamente con la capacidad de carga para el ganado. El aumento del número de personas conduce a un mayor número de cabezas de ganado, lo que, a su vez, conducen a un sobrepastoreo, degradación del recurso pastizal, y reducción de la capacidad de estas tierras para soportar al ganado y a las personas. Este efecto es particularmente pronunciado en períodos de años húmedos seguidos de un período de sequía, con la consiguiente hambruna, la pérdida de ganado, y a menudo, la pérdida de vidas humanas.

El segundo se refiere a los aumentos de la población y de los pueblos agrícolas que viven junto a los pastizales. En tales condiciones, los agricultores a menudo toman tierras de pastizales, para cultivar las mejores tierras de pastizales (con mayor precipitación) y con suministro constante de agua. Esta práctica reduce, por tanto, las tierras de pastoreo disponibles para los pastores, negándoles los suministros de agua críticos y áreas de pastoreo que necesitan durante los períodos secos. Los conflictos entre los agricultores y pastores siguen por lo general una tendencia que conlleva inevitablemente a la creciente presión demográfica sobre las tierras de pastoreo y la consiguiente degradación acelerada de su condición y la capacidad de carga.

#### **b) DENSIDAD ANIMAL**

La actividad de pastoreo afecta la vegetación de diferentes maneras (Anderson, 2006). El sobrepastoreo se produce cuando la vegetación está expuesta a una fuerte presión de pastoreo que excede el número máximo de animales que una unidad de tierra puede sostener sin agotar la vegetación durante períodos prolongados de tiempo, o sin períodos suficientes de recuperación (Jacoby, 1989; Holechek et al., 1995).

#### **c) CENTROS POBLADOS**

Los pastores sacan el ganado al salir el sol y retornan al centro poblado al atardecer. Los centros poblados son el centro de las actividades de pastoreo, por lo que cuanto más cerca este el centro poblado a las zonas de pastoreo, será mayor el tránsito y el efecto del pisoteo. Liu et al. (2000) indican que la degradación de pastizales tiene una relación lineal con la distancia de los asentamientos.

Los pastores generalmente viven en las terrazas aluviales cercanas a fuentes de agua en el inicio de los valles; la densidad poblacional es mayor a menor altitud (Liao et al., 2003), de la misma manera la intensidad de pastoreo es mayor al pie de las colinas respecto a partes elevadas (Oztas et al., 2003). Por lo cual los efectos de las actividades humanas son mayores en los lugares con menor elevación y pendiente.

#### **d) CAMINOS**

El rol del sobrepastoreo es considerado una de las principales razones de degradación, pero la construcción de carreteras y otras actividades también juegan un papel. (Li et al., 1990).

En la literatura de pastizales, sólo un pequeño grupo de estudios se han centrado en la relación entre las carreteras y la degradación de los pastizales. Mayormente se consideran los efectos ecológicos de las carreteras en el ecosistema de pastizales (White et al., 2000; Wu y Ci, 2002). Por ejemplo, la construcción de carreteras separa los ecosistemas anteriormente integrados en partes separadas y ecológicamente más vulnerables. El tráfico por la carretera reduce significativamente las actividades de reproducción regulares de varias especies de aves de pastizales (Forman et al., 2002). Las carreteras también han demostrado que aumenta la posibilidad de la invasión de especies no nativas (Forman, 2000).

Gao et al. (2007) demostró que la actividad humana en la región cercana a las carreteras del norte de Tíbet tuvo un efecto negativo en los pastizales, dado que los caminos conducían a pastizales en degradación.

#### **e) FUENTES DE AGUA**

El ganado tiende a congregarse en áreas planas, tales como lechos de arroyos, zonas ribereñas, y cimas, evitando el pastoreo en áreas que tienen pendientes más pronunciadas (Holechek et al., 1999). En zonas con topografía diversa, el ganado sobreutilizan las áreas planas adyacentes a las fuentes de agua (Pinchak 1991). El pastoreo se concentra en los sitios de fácil acceso que tienen terreno plano cerca de fuentes de agua, lo cual conduce al sobrepastoreo y degradación de la tierra, dando lugar a un eventual deterioro de la salud de los pastizales, a pesar de que la oferta de forraje es adecuada sobre el pastizal.

## **f) CONDICIONES DE LA SUPERFICIE DEL PAISAJE**

La vegetación y la capacidad de regeneración del suelo en pastizales degradados están restringidas por las condiciones climáticas y topográficas, impactando directamente en la desertificación, y reducción a largo plazo en la cantidad o diversidad de la vegetación natural (UNEP 1992) y la alteración del ciclo hidrológico (Roth et al., 1996). Por ejemplo, las diferencias en factores y procesos de formación de suelo asociado a la pendiente promueven diferencias significativas en las propiedades del suelo (Brubaker et al., 1993) y la producción de las plantas (Jones et al., 1989).

Las propiedades químicas del suelo y el crecimiento de las plantas son controladas de manera significativa por la variación en los atributos del paisaje como pendiente, orientación y elevación que influyen en la distribución de la energía, nutrientes y vegetación, los cuales a su vez afectan la actividad orgánica, procesos de escorrentía, condición de drenaje natural, y exposición del suelo al viento y la precipitación (Buol et al., 1989).

Los pastizales, ubicadas en pendientes empinadas de zonas semiáridas, son propensos a la erosión del suelo. El pastoreo continuo y el sobrepastoreo reducen la cobertura vegetal que protege el suelo y por lo general conlleva a la erosión del suelo y compactación. (Branson et al., 1981).

## **g) CLIMA**

### **- Precipitación**

Dado que la mayoría de los pastizales se encuentran en zonas áridas y semiáridas, la producción de biomasa vegetal se ve determinada por la precipitación. La sequía es de ocurrencia común; la renuencia o incapacidad para ajustar la carga animal durante los periodos de sequía cuando el forraje del ganado es inferior a la media puede dar lugar a condiciones que conducen a una espiral descendente de degradación. (Behnke y Scoones, 1992; Ellis y Swift, 1988).

### **- Temperatura**

En los ecosistemas de pastizales, la producción de la vegetación depende en gran medida de la disponibilidad de agua y las temperaturas adecuadas para su desarrollo. Los

ecosistemas pueden experimentar una gran variación en la humedad y la temperatura dependiendo de la región, pendiente y orientación que afecta la cantidad de radiación solar y la pérdida de humedad (Brown, 2005),

A pesar de que la temperatura no influye significativamente en la variabilidad de la producción primaria neta entre años en una región en particular (Sala et al., 1988; Lauenroth y Sala, 1992; Sala et al., 1992), parece ser la variable climática más importante en controlar el proceso de descomposición en pastizales y en otros tipos de pastizales (Jenkinson, 1977; Meentemeyer, 1984; Burke et al., 1989).

#### **h) FACTORES GEOLOGICOS**

Según Hernández (1995) el material parental es el soporte físico sobre el cual ocurre la génesis de los suelos, determina las formas del relieve y condiciona los procesos de degradación. Por lo cual su importancia en los suelos estriba en los rasgos hereditarios, conforme avanza el proceso de meteorización, que determinan su vulnerabilidad a la degradación de suelos.

De acuerdo a su dureza relativa, éstas pueden agruparse en blandas (sedimentarias) y duras (metamórficas e ígneas). Esta clasificación plantea que las rocas ígneas y metamórficas son más compactas y prácticamente impermeables. Por otro lado, las rocas sedimentarias presentan una mayor porosidad, la cual permite el paso de agua al interior de la roca; lo que favorece su meteorización y una mayor susceptibilidad a la erosión (Hernández, 1995). Los tipos de suelo además de ser producto de la intensidad del intemperismo (clima-vegetación) y de la edad de los depósitos, están condicionados por la pendiente del terreno; la cual determina zonas de degradación, tránsito y deposición (Lizcano et al., 2006).

La tasa de erosión de los suelos depende de la tasa de degradación de la vegetación e intemperismo que a su vez es influida por cambios en el clima o de uso de suelo. (Newson, 1985; Bryan y Campbell, 1986; Grainger, 1992; Kosmas et al., 1997).

#### **i) COBERTURA VEGETAL**

El suelo y la vegetación son dos componentes importantes para el ecosistema de pastizales (Xie, 2009). Tienen estrecha relación (Li, 2002) e interactúan, pero no pueden ser

divididos entre sí. Cualquier impacto sobre uno de ellos inducirán a cambios de la otra. Los cambios en la vegetación de pastizales no sólo alteran la vegetación en el suelo y el sistema de raíces en el subsuelo, también alteran las propiedades locales de la superficie (pendiente, fisiografía y así sucesivamente) y más aún sobre propiedades físicas y químicas del suelo (Gan et al., 2005).

La cobertura vegetal de los pastizales tiene relación con la biomasa verde que está asociada a las precipitaciones, las cuales generan una respuesta rápida en las gramíneas anuales. Estas fluctuaciones corresponden a una variación climática más que a un efecto antrópico (Tucker et al., 1991)

#### **j) ÁREAS PROTEGIDAS Y POLÍTICAS GUBERNAMENTALES**

La actividad pastoril está ligada principalmente en el Perú a la región de los andes, siendo su contribución significativa a la economía andina (Westreicher et al., 2007). En el año 1969 con la reforma agraria se inició un proceso de modernización y mecanización como política de estado, alterando la estabilidad de los sistemas pastoriles, cuyo efecto conllevó al movimiento y trashumancia de la actividad pastoril entre comunidades (Postigo et al., 2008), más allá del hecho de que históricamente el uso de estas tierras era exclusivamente para el pastoreo de ganado de acuerdo a las temporadas de lluvia, el proceso de trashumancia horizontal y vertical contribuyó a disminuir y compartir los riesgos de un cambio drástico en el ecosistema (Brownman 1987, Postigo et al., 2008).

A la fecha existen 61 áreas naturales protegidas (ANP) en el país, comprendiendo, áreas de uso indirecto (Parques Nacionales, Santuarios Nacionales y Santuarios Históricos). "Son áreas protegidas de uso indirecto, las que permiten la investigación científica no manipulativa, la recreación y el turismo, en zonas apropiadamente designadas y manejadas para ello. En estas áreas no se permite la extracción de recursos naturales, así como modificaciones y transformaciones del ambiente natural". (Ley de ANP 1997); y áreas donde el uso de recursos y el impacto sobre los ecosistemas son más o menos intensos: áreas de uso directo (Reservas Comunales, Reservas Nacionales, Cotos de Caza, Refugios de Vida Silvestre, Reservas Paisajísticas, Bosques de Protección y Áreas de Conservación Regionales). "Áreas protegidas de uso directo son aquellas que permiten el aprovechamiento o extracción de recursos, prioritariamente por las poblaciones locales, en

aquellas zonas y lugares y para aquellos recursos, definidos por el plan de manejo del área. Otros usos y actividades que se desarrollen deberán ser compatibles con los objetivos del área". (Ley de ANP 1997)

A pesar de que un sistema de protección establece un precedente de las reservas nacionales y parques, la degradación del hábitat continúa tanto dentro como fuera de las áreas protegidas. Por ejemplo, el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EE.UU. estima que más de los 11 millones de acres de humedales palustres en protección fueron destruidos por la ampliación de parte de las tierras agrícolas y el desarrollo urbano entre mediados-1950 y mediados de 1970. (Conservation Foundation, 1984)

## **2.2 EVALUACION DE LA DEGRADACION DE PASTIZALES CON SENSORES REMOTOS**

Cooper (1924) reporta la utilidad de la fotografía vertical para el análisis de la cobertura vegetal dando inicio a una serie de innovaciones entre 1924 y 1967, reduciendo el tiempo de dos o tres horas requeridas para trazar cuadrantes utilizando pantógrafos. Las mediciones se realizaron a partir de imágenes verticales a través de la superposición de una rejilla de puntos transparente (Claveran, 1966) descrito por Avery (1968).

Bennett et al. (2000) utilizaron métodos de procesamiento y análisis de imagen por computadora para medir la cobertura vegetal en fotografías verticales, no obstante, sigue surgiendo la necesidad de adquirir un número y distribución de muestras fotográficas apropiada para grandes áreas en períodos cortos y los cuales se limitan a sitios de fácil acceso (Tueller, 1996).

Nuevos métodos de monitoreo y evaluación con sensores remotos aparecen continuamente, los cuales ofrecen muchas opciones para monitorear y evaluar la degradación de los pastizales. Actualmente los métodos comúnmente adoptados incluyen decodificación de imágenes visuales con sensores remotos, clasificación de imágenes, índices de cobertura de vegetación y otros parámetros, etc. (Li et al., 1997; Liu et al., 1999; Tu et al., 1999; Tong et al., 2002; Holma et al., 2003; Zou et al., 2003; Geerken y Ilaiwi., 2004).

La estimación de la degradación de pastizales a través de sensores remotos se realiza de manera indirecta utilizando un modelo de productividad que se construye a partir de variables climáticas y de vegetación, algunas de las cuales se pueden derivar a partir de imágenes de satélite. Estas variables incluyen la tendencia en la cobertura de vegetación promedio con la duración de cada período húmedo, y la tendencia de variación de la cobertura desde el inicio del periodo húmedo (Pickup et al., 1994).

Por otro lado la cobertura vegetal y la fragmentación son buenos indicadores de la degradación, y por lo tanto, la teledetección y tecnologías de la información espacial han sido ampliamente utilizados en la vigilancia dinámica de la vegetación, incluyendo la degradación de los pastizales (Bastin et al., 1995; Tanser y Palmer, 1999; Wang et al., 2001; Geerken y Ilaiwi, 2004; Tong et al., 2004; Cao et al., 2006; Liu et al., 2006, 2008; Li y Liu 2007; Gao et al., 2009; Carrión et al., 2010).

### **2.2.1 PRINCIPALES SENSORES REMOTOS UTILIZADOS EN EL MAPEO DE VEGETACIÓN**

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías aplicadas al mapeo y monitoreo de la vegetación los sensores remotos se han vuelto herramientas claves para la recopilación de información en áreas extensas, esto ha sido posible considerando que las plantas reflejan radiación en regiones específicas del espectro electromagnético, y por lo tanto pueden ser identificadas, de acuerdo a características espectrales únicas.

Un ejemplo de aplicación es la recopilación de información espectral en las regiones correspondientes al rojo e infrarrojo cercano. La radiancia en estas regiones puede ser incorporada a índices de vegetación (IV), que pueden ser relacionadas directamente con la fracción interceptada de la radiación fotosintéticamente activa. (Asrar et al., 1984; Galio et al., 1985). Las firmas espectrales de la vegetación fotosintéticamente activa y no activa pueden ser diferenciadas y utilizadas para estimar la calidad y cantidad del forraje de una pradera (Beerli et al., 2007)

#### **a) Landsat TM/ETM+**

Los satélites Landsat tienen una larga historia y uso para el monitoreo de la tierra desde el espacio. El primer satélite fue lanzado en 1972, siguiéndole una serie de cada vez más sofisticados satélites con sensores multispectrales, nominados como TM – Thematic

Mapper, los cuales se incorporaron desde el Landsat 4 (1982), 5 (1984), 6 (1993, lanzamiento fallido), 7 (1999) (Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+) y 8 (2013) (Operational Land Imager, ETM+), cuyo orden cronológico se esquematiza en la Figura 1.

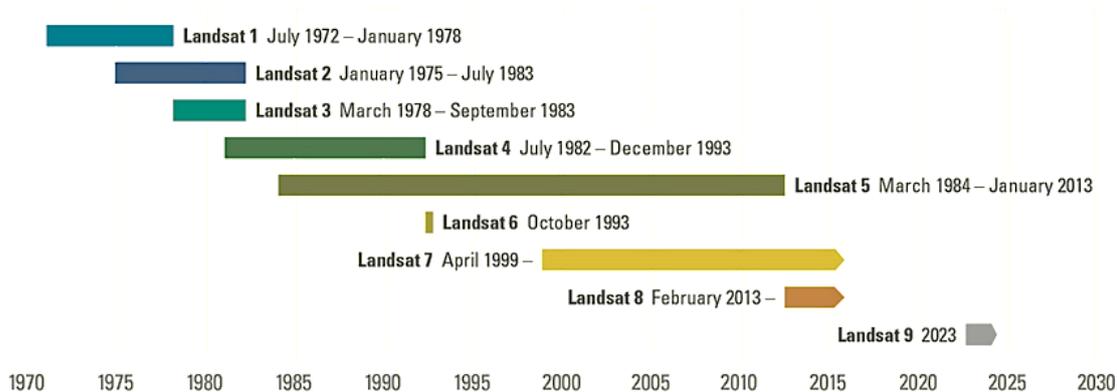


Figura 1. Secuencia cronológica de lanzamiento de satélites Landsat.

Fuente: [http://landsat.usgs.gov/about\\_mission\\_history.php](http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php)

Las imágenes Landsat TM y ETM+ se han recopilado formando un archivo con más de tres millones de imágenes hasta la actualidad, siguiendo una serie de tiempo global continua desde su lanzamiento (Tabla 1 y 2). La resolución espacial de este satélite es considerada de escala media estandarizada inicialmente a 30 m para las bandas multiespectrales y a 60 m para la banda termal infrarroja (Xie et al., 2008). Una de las características de los sensores espectrales Landsat es que es necesario corregir la reflectancia espectral de cada imagen adquirida, especialmente en estudios de series de tiempo.

Los productos Landsat han sido ampliamente utilizados en el mapeo de la vegetación a escala regional, en estudios de variación espacio-temporal y cambios en tipo de vegetación. Como ejemplo se utilizaron imágenes de 20 años consecutivos, para caracterizar los cambios sucesionales de bosques jóvenes en el este de Oregon (Schroeder et al., 2006). También para el análisis cuantitativo de una serie de tiempo desde 1986 al 2002, de la dinámica de los patrones espaciales de humedales en el estuario del río Minjiang (Zheng et al., 2006). En el Perú, García y Otto (2015), demostraron su efectividad en el cartografiado de humedales altoandinos, utilizando un sistema de clasificación de árbol de decisiones, logrando diferenciar cinco tipos de bofedales según su estacionalidad y permanencia.

Dada la limitación espacial de este sensor, su uso es adecuado para el mapeo de la vegetación a nivel de comunidades, siendo un desafío el mapeo de especies individuales, considerando paisajes heterogéneos, no obstante, integrando esta información con información complementaria se vuelve posible este trabajo obteniéndose altos niveles de confiabilidad (Domaç y Süzen 2006).

Adicionalmente a esta limitación espacial, la resolución temporal restringe en cierta medida su aplicación en estudios de vegetación, considerando que es un satélite sincronizado con la órbita solar, tomándole un tiempo de toma de la misma escena cada 16 días. Esto implica un problema para el mapeo de la vegetación especialmente cuando el periodo de interés es en época lluviosa, la acumulación de nubes afecta fuertemente la calidad de la imagen. Por esta razón, es importante definir el propósito del mapeo, así como las características locales de clima y topografía para una adecuada selección de las imágenes (Xie et al., 2008).

#### **b) MODIS**

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) viene a ser un instrumento de medición clave a bordo de los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM). Terra MODIS y Aqua MODIS juntos logran una resolución temporal cada 1–2 días. Las imágenes obtenidas de MODIS, incluyen 36 bandas espectrales con una resolución espacial entre 250 m a 1 km (Tabla 1 y 2), que son utilizadas ampliamente para el mapeo de la dinámica de vegetación y procesos dinámicos a escala mayor. Dada la resolución espacial considerada gruesa, el mapeo a escala local o regional es poco recomendado, no obstante, una combinación adecuada de las bandas e imágenes multitemporales pueden brindar información valiosa para ser plasmada en mapas. Knight et al. (2006) estudió el potencial de estas imágenes en la clasificación de estados fenológicos base en el sistema de estuarios de Albemarle-Pamlico en Carolina del Norte, Estados Unidos con el producto MODIS-NDVI 250 m 16-días. Llegando a la conclusión de las imágenes MODIS a través de la combinación y la comparación de observaciones multitemporales tienen similitudes significativas con clasificaciones similares generadas a partir de datos de resolución espacial mucho más altas.

#### **c) ASTER**

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un sensor Japonés, siendo uno de los cinco sensores remotos enviado a bordo del satélite Terra lanzado en diciembre de 1999 como parte del sistema de observación de la tierra o (EOS).

Terra es una plataforma sincronizada con la órbita solar, cerca de los polos formando una órbita cuasi circular a una altitud promedio de 705 km, y una inclinación orbital de  $98.2 \pm 0.15^\circ$  en el ecuador, y hora de paso a las  $10:30 \pm 15$  min. y un periodo orbital de 98.9 min con un ciclo de repetición de 16 días resultando 233 revoluciones cada 16 días con una distancia entre orbitas adyacentes de 172 km del ecuador (Toutin, 2008). Con esta duración de 8 min/orbita por ciclo, ASTER puede tomar un máximo de 770 imágenes estéreo por día, es decir, para cubrir todo el globo necesita adquirir 45000 imágenes libres de nubes debajo de  $82^\circ\text{N}$  y  $82^\circ\text{S}$  durante los 6 años de duración de la misión (Lang y Welch, 1999).

ASTER incluye tres diferentes subsistemas (Tabla 1 y 2): Visible e Infrarrojo cercano (VNIR), Infrarrojo de onda corta (SWIR) y termal infrarrojo (TIR), distribuidas en 14 bandas de las cuales las resoluciones espaciales son de 15 m, 30m y 60m respectivamente (Fujisada, 1994).

Las imágenes ASTER de nivel IA son utilizadas para la generación de Modelos de elevación digital (DEM), que es un producto construido a partir de datos no procesados derivados de datos continuos de telemetría de los tres subsistemas y a diferentes resoluciones. Estos datos son descomprimidos, diferenciados y realineados poseen índices de correcciones geométricas y radiométricas anexadas, pero no son aplicados. El nivel IA de datos también incluye correcciones SWIR e información de registro de correcciones dentro y entre los telescopios.

Tabla 1. Fecha de lanzamiento, estado, resolución espacial y temporal de los sensores de los satélites

	Landsat 5 TM/8 OLI	ASTER	MODIS
Propiedad	NASA	NASA	NASA
Fecha de lanzamiento	Marzo 1984/Febrero 2013	Dic-99	Diciembre 1999. Terra satellite; Abril 2002, Aqua satellite.
Estado	Landsat 7 ETM-: El corrector de la línea de escaneo tiene una avería en Mayo 31, 2003. Solo los datos de la parte central pueden ser usados directamente	Funcionando	Terra MODIS banda 5 y Aqua MODIS banda 6 tienen datos erróneos.
Resolución espacial (m)	15-120	15-90	250-1000
Resolución temporal (días)	16	16	01-Feb
Tamaño de escena (km x km)	185x185	60x60	2300 x 2300
Precio por escena (US \$)	600 / Libre	Libre	Libre

Sitios web:

Landsat: <http://landsat7.usgs.gov> (user name and password required), ASTER: <http://lpdaac.usgs.gov/aster/asterdataprod.asp>, ALI: <http://eo1.gsfc.nasa.gov/Technology/ALIhome1.htm>, MODIS: <http://modis.gsfc.nasa.gov>,

(a) Principios de aplicación ([http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2\\_20.html](http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_20.html)).

(d) MODIS tiene adicionalmente 29 bandas desde 0.405 a 14.385 um, que incluye 16 bandas infrarrojas termales desde 3.66 a 14.385 um.

Tabla 2. Resolución espacial, espectral y principios de aplicación de los sensores de los satélites Landsat, ASTER y MODIS.

Resolución Espectral (um)	Locación Espectral *	Resolución Espacial (m)			Principios de aplicación
		Landsat 5 TM/8 OLI	ASTER	MODIS	
Todos 0.45-0.52. excepto ALL 0.430- 0.453.0.450-0.515; MODIS: 0.459-0.470	B	30/30	NA	500	Mapeo de aguas costeras, diferenciación suelo/vegetación, diferenciación de coníferas
Todos: 0.52-0.60. excepto ALL 0.525- 0.605;; MODIS:0.545-0.560	G	3030	15	500	Reluctancia verde respectiva la salud de la vegetación
Todos: 0.63-0.69.	R	3030	15	250	Absorción de clorofila para diferenciación de interespecifica de plantas, vigor de bosques.
Todos: 0.76-0.90. Excepto .ASTER: 0.78-0.86; Todos: 0.775-0.805. 0.845-0.890; MODIS: 0.841- 0.870	NIR	3030	15	250	Estimación de biomasa, identificación de cuerpos de agua, vigor forestal.

continuación

1.23-1.25 MODIS únicamente	SWIR	N/A	N/A	500	Índice de área foliar, clasificación de tierras y vegetación.
Todos: 1.55-1.75. excepto .ASTER: 1.6-1.7; Spot: 1.58-1.75: MODIS: 1.628- 1.652;	SWIR	30.3	30	500	Medida de la humedad de vegetaciones, diferenciación entre nieve y hielo.
Todos: 2.0S-2.35. excepto .ASTER: 1.450-2.185, 2.185- 2.225.2235- 2.285.2295- 2.365.236-2.43; MODIS: 2.105-2.155	SWIR	30.3	30	500	Mapeo hidrotermal
Todos: 10.4-12.5. excepto .ASTER: dos bandas 10.25- 10.95,10.95- 11.65	TIR	120 60	90	(d)	Estrés por calor en vegetaciones, mapeos de temperatura.
. Todos: 0.52-0.90. excepto .ASTER: 0.52-0.60;	AU: Pancromático . G-NIR, excepto .ASTER: G	N/A/15	15	N/A	Mapeo de la vegetación

Sitios web:

Landsat: <http://landsat7.usgs.gov> (user name and password required), ASTER: <http://lpdaac.usgs.gov/aster/asterdataprod.asp>, ALI: <http://eo1.gsfc.nasa.gov/Technology/ALIhome1.htm>, MODIS: <http://modis.gsfc.nasa.gov>,

(a) B: azul, G: verde, R: rojo, NIR: infrarrojo cercano, SWIR: infrarrojo de onda corta.

(b) Principios de aplicación ([http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2\\_20.html](http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_20.html)).

(c) N/A: No disponible

(d) MODIS tiene adicionalmente 29 bandas desde 0.405 a 14.385 um, que incluye 16 bandas infrarrojas termales desde 3.66 a 14.385 um.

## 2.2.2 CLASIFICACION DE IMAGENES

La clasificación de imágenes es definida en términos generales como el proceso de extracción de clases o coberturas diferenciadas de una imagen obtenida mediante el uso de sensores remotos, incluyendo el pre procesamiento. Estos sistemas de clasificación pueden ser diferenciadas en dos grandes grupos: clasificación tradicional y métodos supervisados.

### a) CLASIFICACION TRADICIONAL

Estos métodos incluyen algoritmos clásicos de clasificación tales como K medias e ISODATA para utilizarlas en una técnica llamada máxima verosimilitud (MLC) o también para métodos de clasificación supervisada. La metodología no supervisada es frecuentemente utilizada en el mapeo de coberturas a partir de imágenes, las ventajas es que son fáciles de aplicar y están disponibles en la mayoría de paquetes estadísticos y software de análisis de imágenes (Langley et al., 2001).

Los métodos más comunes son el de algoritmos clúster de K-medias e ISODATA, ambos algoritmos desarrollan procesos de iteraciones, asignando clúster arbitrario al vector inicial. El segundo paso de la clasificación involucra el análisis de cada pixel cercano al clúster. En el tercer paso, el vector promedio del nuevo clúster se calcula en base a todos los pixeles del clúster. El segundo y tercer paso se repiten hasta que la diferencia entre iteraciones sea mínima o debajo de un límite requerido. Las clasificaciones no supervisadas están basadas puramente en las estadísticas espectrales de cada pixel y no incorporan información de campo previa de las características objeto de estudio. El beneficio de aplicar esta técnica es que se pueda obtener información valiosa, siempre y cuando se logre un alto grado de diferenciación entre clases (Tso y Olsen, 2005).

Como alternativa de mejora se puede incorporar información espacial y contextual para la construcción de un modelo de clasificación no supervisada tal como el de Hidden Markov, que logra mostrar mejoras sustanciales tanto en la confiabilidad y calidad visual de la imagen (Tso y Olsen, 2005).

## **b) METODOS SUPERVISADOS**

Es bastante común que un mismo tipo de vegetación o suelo tenga diferentes firmas espectrales en una imagen satelital, así mismo diferentes tipos de vegetación posean similares firmas espectrales, lo que dificulta la obtención de una clasificación confiable utilizando métodos tradicionales de clasificación como supervisada o no supervisada.

Se han hecho progresos significativos en el desarrollo de técnicas robustas para extraer coberturas asociadas a la vegetación desde imágenes de sensores remotos. Por ejemplo, Stuart et al. (2006) desarrolló técnicas de clasificación continua usando datos Landsat para distinguir variaciones entre sabanas neo tropicales y caracterizar los límites entre áreas de sabana, bosques asociados, bosques secos y humedales, demostrando que una clasificación continua es más confiable que una clasificación MLC, especialmente en áreas complejas.

El estado actual comprende el uso de métodos y algoritmos desarrollados para la clasificación de imágenes, para aplicaciones específicas, lográndose incrementar la calidad de los resultados cuando se utilizan múltiples métodos conjuntamente. Por ejemplo, Lo y Choi (2004), proponen un método que incorpora las ventajas de una clasificación supervisada y no supervisada para el mapeo de coberturas para el área metropolitana de

Atlanta usando imágenes Landsat 7 ETM+. Cualquier método de clasificación usado debe ser examinado minuciosamente considerándose que se desarrollaron bajo condiciones específicas para la resolución de problemas únicos. Por otra parte, la diferenciación de especies de vegetación, basada en imágenes se consigue únicamente cuando una combinación de la composición química, la estructura y el contenido de humedad de la hoja forman una firma espectral única. Por lo tanto, una clasificación exitosa de imágenes se basa en la diferenciación de la firma espectral de especie, que a menudo es determinado por la resolución espacial del sensor de observación y el momento de la observación (Asner y Heidebrecht 2002; Varshney y Arora 2004).

En resumen, la búsqueda de algoritmos de clasificación de imágenes es todavía un campo en creciente desarrollo en las aplicaciones de teledetección ya que no existen métodos de clasificación que podrían aplicarse universalmente.

Tabla 3. Taxonomía de clasificación de imágenes

Crterios	Categorías	Características	Ejemplo de clasificadores
Si se usan o no áreas de entrenamiento	Métodos de clasificación supervisada	Se definen las clases de cobertura del suelo. Se dispone de suficientes datos de referencia y se utilizan como áreas de entrenamiento. Las firmas generadas a partir de las áreas de entrenamiento se usan entonces para entrenar al clasificador para clasificar los datos espectrales en un mapa temático.	Máxima verosimilitud, distancia mínima, redes neuronales artificiales, clasificador de árbol de decisiones.
	Métodos de clasificación no supervisada	Los algoritmos basados en agrupación de clusters se utilizan para dividir la imagen espectral en una serie de clases espectrales basadas en la información estadística inherente a la imagen. No se utilizan definiciones previas de las clases. El analista es responsable de etiquetar y fusionar las clases espectrales en clases significativas.	ISODATA, Algoritmo de agrupación de K-medias.
Si se utilizan o no parámetros como vector promedio y matriz de covarianza	Clasificadores paramétricos	Se asume una distribución gaussiana. Los parámetros (por ejemplo, vector promedio y matriz de covarianza) a menudo se generan a partir de áreas de entrenamiento. Cuando el paisaje es complejo, los clasificadores paramétricos a menudo producen resultados "ruidosos". Otro inconveniente importante es que es difícil integrar datos auxiliares, atributos espaciales y contextuales e información no estadística en un procedimiento de clasificación.	Máxima verosimilitud.  Análisis lineal discriminante.
	Clasificadores no paramétricos	No se requiere ninguna asunción sobre los datos. Los clasificadores no paramétricos no emplean parámetros estadísticos para calcular la separación de clases y son especialmente aptos para la incorporación de datos diferentes a los de teledetección en un procedimiento de clasificación.	Redes neuronales artificial, clasificador de árbol de decisión, razonamiento probatorio, máquina vectorial de soporte, sistema experto.
Tipo de información de píxeles a utilizar	Clasificadores por píxel	Los clasificadores tradicionales normalmente desarrollan una firma combinando los espectros de todos los píxeles del área de entrenamiento en función a una característica dada. La firma resultante contiene las contribuciones de todos los materiales presentes en los píxeles del área de entrenamiento, ignorando los problemas de píxeles mixtos.	La mayor parte de los clasificadores tales como máxima verosimilitud, distancia mínima, redes neuronales artificiales, clasificador de árbol de decisiones y máquina vectorial de soporte.
	Clasificadores de subpíxel	Se asume que el valor espectral de cada píxel es una combinación lineal o no lineal de materiales puros definidos (o clases homogéneas), proporcionando la pertenencia proporcional de cada píxel a cada clase homogéneas.	Clasificadores de sets difusos, clasificador de subpíxeles, análisis de mezcla espectral.
	Clasificadores orientados a objetos	La segmentación de imagen combina píxeles dentro de objetos y la clasificación se realiza en función de los objetos, en lugar de un píxel individual. No se utilizan datos vectoriales SIG.	eCognition.
	Clasificadores por campo	Los SIG desempeñan un papel importante en la clasificación por campo, integrando los datos ráster y vectoriales en una clasificación. Los datos vectoriales se utilizan a menudo para subdividir una imagen en parcelas, y por lo tanto la clasificación se basa en las parcelas, evitando la variación espectral inherente a la misma clase.	Enfoques de clasificación basados en SIG.

..Continuación

Si el resultado es una decisión definitiva sobre la clase de cobertura	Clasificación dura	Tomar una decisión definitiva sobre la clase de cobertura que se asigna a cada píxel. La estimación del área por clasificación dura puede producir grandes errores, especialmente en datos de resolución espacial gruesa debido al problema de píxeles mixtos.	La mayor parte de los clasificadores tales como máxima verosimilitud, distancia mínima, redes neuronales artificiales, clasificador de árbol de decisiones y máquina vectorial de soporte.
	Clasificación suave (difusa)	Proporcionar a cada píxel una medida del grado de similitud para cada clase. La clasificación suave proporciona más información y potencialmente un resultado más preciso, especialmente para la clasificación de datos de resolución espacial gruesa.	Clasificadores de sets difusos, clasificador de subpíxeles, análisis de mezcla espectral.
Si se utiliza o no información espacial	Clasificadores espectrales	Se utiliza información espectral pura en la clasificación de imágenes. Un resultado 'ruidoso' de la clasificación se produce a menudo debido a la alta variación en la distribución espacial de la misma clase.	Máxima verosimilitud, distancia mínima, redes neuronales artificiales.
	Clasificadores contextuales	La información espacial de los píxeles vecinos se utiliza en la clasificación de imágenes.	Modos condicionados iterados, corrección contextual punto a punto, clasificador contextual basado en frecuencia.
	Clasificadores espectrales-contextuales	La información espectral y espacial se utiliza en la clasificación. Los clasificadores paramétricos o no paramétricos se utilizan para generar imágenes de clasificación inicial y, a continuación, se implementan clasificadores contextuales en las imágenes clasificadas.	ECHO, combinación de algoritmos paramétricos o no paramétricos y contextuales.

Fuente: Adaptado de Lu. & Weng (2007)

## 2.3 ENFOQUES Y MODELOS PARA EVALUAR LA DEGRADACIÓN EN PASTIZALES.

Se han realizado numerosos esfuerzos para evaluar y monitorear la degradación de los pastizales utilizando diversos métodos, tales como opiniones de expertos, conocimiento local de los pastores, discusiones de grupos focales, opiniones de los usuarios de la tierra, referencias, cobertura basal, índices de diversidad, observaciones y medición de las propiedades del suelo, y estimaciones de cambios en la productividad (Moyo et al., 2008; Stringer y Reed, 2007). A continuación se describen los principales enfoques y modelos para evaluar la degradación de pastizales.

### 2.3.1 ENFOQUES DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN

#### A. ESTRUCTURALES VS FUNCIONALES

La estructura en concordancia con la función de un ecosistema son componentes bastante usados en la explicación de la dinámica de un ecosistema, Whisenant (1999) desarrolla un esquema diferenciado entre los componentes estructurales y funcionales (Figura 2), con el objetivo de diseñar estrategias de restauración de ecosistemas.

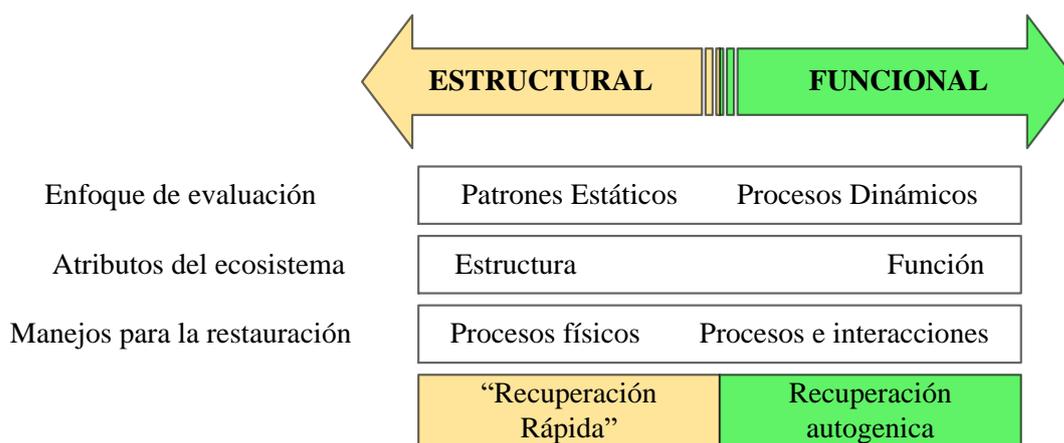


Figura 2. Comparación de los principales elementos de los enfoques estructurales y funcionales de restauración (adaptado de Whisenant, 1999).

En el proceso de evaluación de un ecosistema, el enfoque estructural, toma importancia cuando se evalúan patrones estáticos, por otra parte el enfoque funcional toma importancia cuando se evalúan los procesos dinámicos implicados entre patrones estáticos. En términos de manejo de un ecosistema el enfoque estructural tiende a la manipulación mecánica de los

componentes estructurales del ecosistema, mientras que el enfoque funcional se centra en la manipulación de procesos e interacciones que han sido degradadas.

La diferencia entre ambos enfoques está relacionado directamente por cómo se perciben los resultados bajo un plan de restauración, de tal manera que el enfoque estructural considerará un resultado exitoso siempre y cuando los patrones degradados se tornen similares a los patrones antes de una perturbación; pudiendo ser percibidos como una solución rápida. No obstante debido a la complejidad de los procesos y la dinámica cambiante con el tiempo esta “solución rápida” ofrece poca certeza de que los patrones restaurados prevalecerán en el tiempo.

Por otra parte el enfoque funcional, percibe la restauración de un ecosistema en la medida que se recuperen los procesos y dinámica ecológica. Dado que si se restablecen los procesos habrá mayor certeza de que la restauración sea sostenible a largo plazo. Considerando la naturaleza de este enfoque el proceso de restauración será más lento y gradual.

Ambos enfoques no son mutuamente excluyentes, no obstante realizar una comparación entre ambos enfoques, permite analizar cada componente extremo. (Whisenant, 1999).

## **B. FACTORES BIÓTICOS VS ABIÓTICOS**

Estos enfoques más allá de diferenciar entre componentes estructurales y funcionales de un ecosistema hacen distinciones entre los componentes bióticos y abióticos considerando la caracterización de atributos, como una forma de realizar una evaluación integral, y con el objetivo de mejora en el estado de los indicadores de cada atributo. Para ilustrar mejor estos enfoques se puede mencionar dos ejemplos (Tabla 4):

Un ejemplo de un componente **biótico** implicado en la degradación de pastizales es la presencia de plantas invasoras. Estructuralmente la evaluación del patrón de plantas invasoras se traduce en una mayor frecuencia de estas en la composición florística del ecosistema, el cual podría ser rectificado mediante la eliminación de estas especies y la revegetación con especies propias del ecosistema.

Funcionalmente la presencia de plantas invasoras afecta la dinámica competitiva, donde las especies invasoras superan funcionalmente a las nativas del ecosistema. Una medida de

restauración consistiría en manipular la dinámica competitiva, alternado el régimen de perturbación para favorecer el establecimiento y la persistencia de especies deseables (Berger 1993; Sheley y Krueger-Mangold, 2003).

Un componente **abiótico** implicado en la degradación de pastizales, es la erosión del suelo. Estructuralmente la erosión puede responder a formaciones como surcos y cárcavas; por lo que un manejo bajo el enfoque estructural sería el rellenado de estas formaciones y construir barreras mecánicas, para restablecer la estructura inicial.

Desde un punto de vista funcional, la erosión del suelo indica una degradación de la dinámica suelo-agua, así como la baja infiltración de agua, el alto flujo de agua superficial y la pérdida de suelo durante eventos de lluvia. Desde una perspectiva funcional, la manera de reparar los efectos negativos de la erosión es modificar los procesos degradados, centrándose en el incremento de la tasa de infiltración de agua en el suelo y la mejora de la estructura del suelo. (Tongway & Ludwig 1996; Breshears et al. 2001).

La distinción entre estructura y función, y los atributos Ecosistémicos bióticos y abióticos, son de importancia en el uso de enfoques posibles para la restauración y ver cómo están relacionados con diferentes resultados de restauración. Sin embargo, el modelo no describe las relaciones entre estructura y función ni las interacciones entre los componentes del ecosistema que se producen durante la degradación o la restauración. El diseño de estrategias de restauración para optimizar los resultados de restauración a corto y largo plazo requerirá no sólo una comprensión de las distinciones entre componentes bióticos / abióticos y estructura / función, sino también una comprensión de las interacciones entre ellas.

Tabla 4. Matriz de comparación de enfoques estructurales/funcionales y bióticos/abióticos.

	ESTRUCTURA	FUNCION
ABIOTICOS	Formaciones erosionadas Barreras mecánicas.	Pérdida de suelo y flujo de agua superficial durante lluvias. Mejoramiento de la estructura de suelo y tasa de infiltración de agua.
BIOTICOS	Plantas Invasoras Remoción y revegetación.	Plantas invasoras compiten con especies nativas. Alterar el régimen de perturbación para favorecer las especies deseadas.

Fuente: Adaptado de King & Hobbs (2006).

## 2.3.2 MODELOS CONCEPTUALES DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE PASTIZALES

### A. MODELO SUCESIONAL DE COMUNIDADES CLÍMAX

Este modelo fue desarrollado por Clements y fue uno de los primeros modelos de estudio de cambios sucesionales en praderas de grandes llanuras, formando una teoría inicial sobre la sucesión de plantas y ecología de pastizales, siendo considerado un estándar de evaluación en los inicios de la gestión de pastizales (Weaver & Clements, 1938).

El modelo Clemenciano contempla la dinámica de la vegetación en el supuesto de que las especies vegetales presentes en un ecosistema llegan a estructurar en conjunto como un solo organismo vivo, con capacidad de surgir, crecer, madurar y morir, siendo capaz de reproducirse en lo que se llama un estado de equilibrio denominado “clímax” y repetir todas las etapas de desarrollo mencionadas (Figura 3).

Bajo este contexto tanto dentro de una región climática, un grupo de especies vegetales serían identificados como el estado clímax y todos los sitios dentro de esa región podrían ser comparados con el estado de referencia clímax, para determinar el estado de sucesión del sitio.

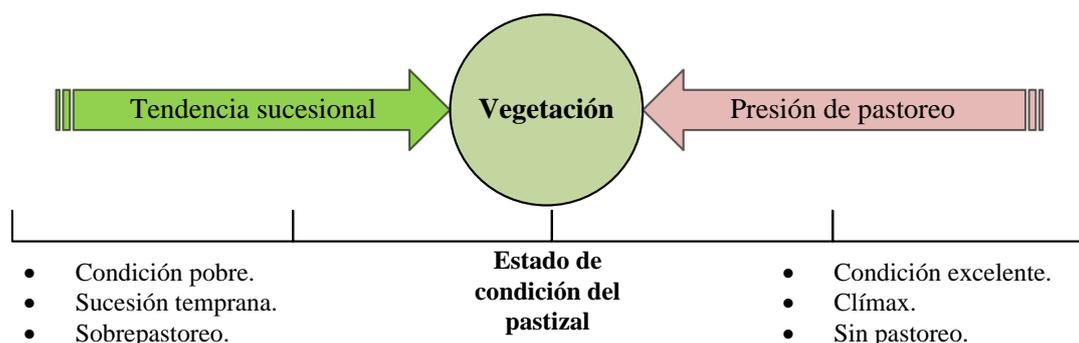


Figura 3. Modelo clásico de respuesta de la vegetación frente a la presión de pastoreo de Dyksterhuis (1948), basado en el modelo de sucesión lineal de Clements (1936).

Fuente: Lopez et al (2009).

Entonces la presencia de un agente perturbador como el pastoreo, dependiendo de su intensidad y/o frecuencia, puede desencadenar cambios en la vegetación, apartándolo del estado “clímax”, no obstante si el pastoreo llega a desaparecer el ecosistema continúa un desarrollo lineal hacia el estado clímax.

## B. MODELO CICLO DE DEGRADACIÓN GRADUAL

Whisenant (1999, 2002) propone un modelo conceptual que describe la dinámica e interacciones en el proceso de degradación, definiéndolo como un proceso de retroalimentación gradual. El modelo contempla una secuencia de cambios en los componentes del ecosistema; estos cambios continuos retroalimentan otros cambios generando una espiral negativa para la función y estructura del ecosistema (Figura 4). Este modelo representa la dinámica ecológica base de la degradación de pastizales, conjugando experiencias de trabajo de campo y teorías ecológicas de la dinámica de ecosistemas, proporcionando un marco explícito de vínculos entre diferentes componentes de un ecosistema, con pasos causales que retroalimentan cambios en componentes asociados.

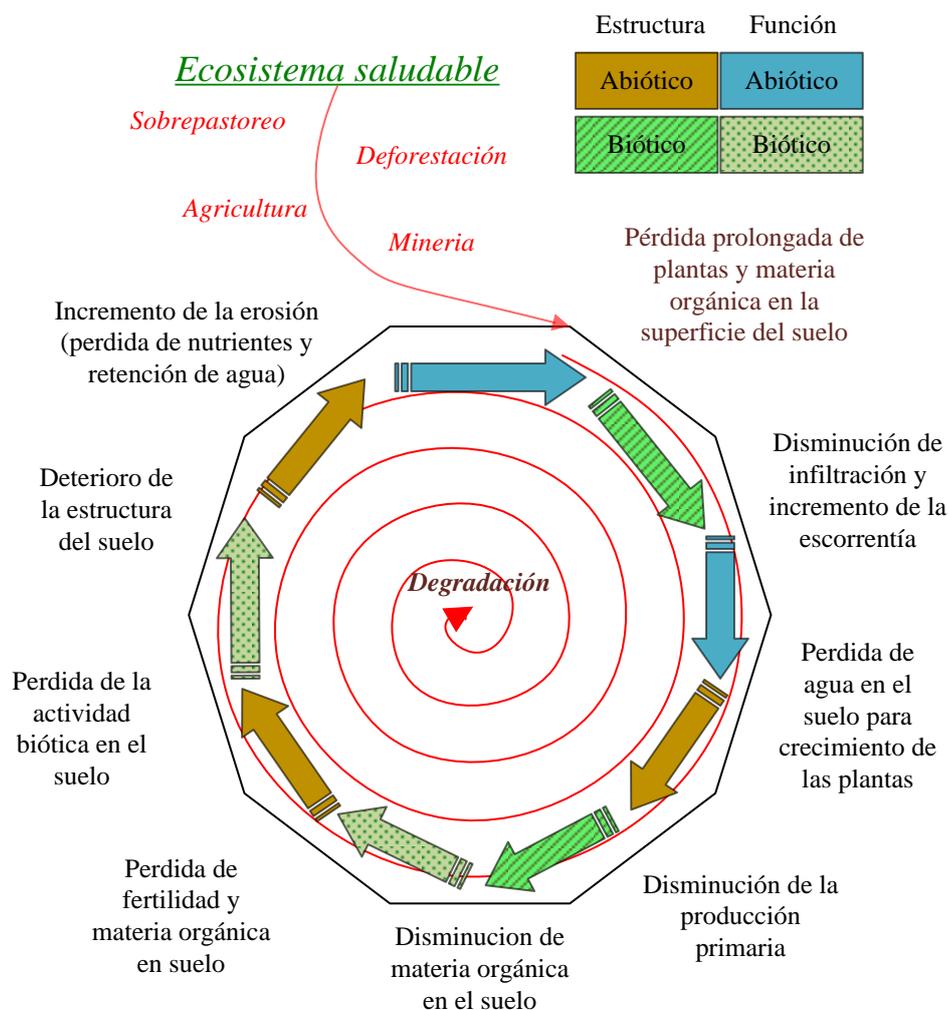


Figura 4. Ciclo de degradación gradual como un proceso escalonado con retroalimentación, dando como resultado una "espiral" de degradación (Whisenant 1999, 2002). Adaptado de King & Hobbs (2006).

Para establecer los vínculos entre los dos enfoques, cada uno de los pasos en el modelo de degradación gradual de Whisenant puede clasificarse como estructural o funcional y biótico o abiótico (Figura 4). Cuando sucede esto se hace evidente que los cambios en las estructuras afectan la función y viceversa. Además, los cambios en los componentes abióticos afectan a los componentes bióticos y viceversa. Cuando las distinciones entre la estructura / función / componentes bióticos / abióticos de un ecosistema se superponen en el diagrama de degradación gradual, la interconexión dinámica entre los componentes se hace más clara. A medida que un ecosistema se degrada, hay cambios negativos en todos estos componentes, y se retroalimentan entre sí.

### C. MODELO DE UMBRALES

El modelo de umbrales se basa en el concepto de barreras bióticas y abióticas presentados inicialmente por Milton et al. (1994) y posteriormente desarrollado por Whisenant (1999, 2002) y Hobbs y Harris (2001) (Figura 5).

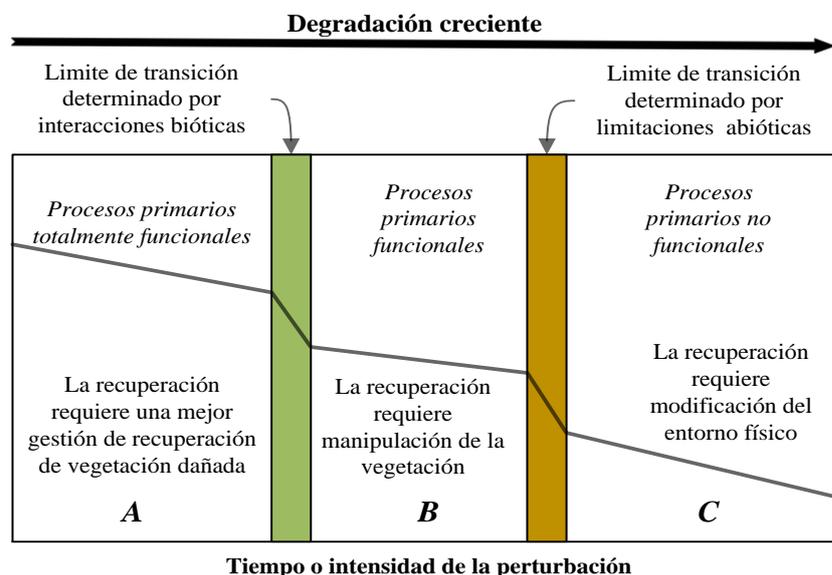


Figura 5. Modelo conceptual de umbrales bióticos y abióticos, que indican puntos de quiebre en la recuperación de ecosistemas de un estado degradado (adaptado de Whisenant 2002).

Este modelo propone tres etapas principales de degradación, con umbrales entre ellas que representan barreras que determinan la recuperación potencial del ecosistema. En la primera etapa (A), la función biótica se degrada, pero el sistema todavía tiene capacidad de recuperación autogénica si la causa de la degradación se elimina.

Si la degradación continúa, se cruza el primer umbral, el cual representa un daño significativo a la función biótica. Si un ecosistema ha cruzado este umbral y se encuentra en la segunda etapa (B), será necesaria alguna manipulación de los componentes bióticos, sumado a la eliminación de la perturbación, para promover la recuperación autogénica. Aunque las funciones abióticas pueden haberse degradado en la segunda etapa, todavía mantienen cierta resiliencia en términos de su capacidad de recuperación sin manipulación directa.

En la tercera etapa del diagrama (C), los procesos bióticos son disfuncionales y la función abiótica se ha degradado más allá de su capacidad de resiliencia. En esta etapa final de degradación, los componentes abióticos requieren manipulación para favorecer la recuperación autogénica.

La distinción entre funciones bióticas y abióticas es particularmente relevante en el modelo de umbrales, visto desde la perspectiva de la regulación y retención de recursos. Surgen dos generalizaciones significativas. Primero, los pastizales más saludables y con mayores recursos tienden a ser regulados por interacciones bióticas, mientras que en los pastizales con pocos recursos, es regulada principalmente por componentes abióticos (Tongway y Ludwig 1996, Whisenant 1999).

Entonces, el punto de partida de un pastizal dependerá de los niveles de recursos inherentes en el ecosistema. Los pastizales áridos "comienzan" más cerca de los umbrales de degradación que las praderas más húmedas. Así mismo, la degradación tiende a desplazar la regulación de los recursos de los procesos bióticos a los abióticos. Este cambio de control biótico a abiótico por lo general conduce a la pérdida acelerada de recursos. La degradación más severa ocurre cuando las funciones bióticas y abióticas están dañadas y no queda nada para controlar la pérdida de recursos (Schlesinger et al., 1990, Le Houerou, 1984).

Otro aspecto importante de este modelo es que describe cambios en la función, no en la estructura. Por lo tanto, considerando el modelo de umbral a la luz de la dicotomía estructural / funcional, encontramos que el modelo de umbral es más pertinente cuando el objetivo es restaurar la función del ecosistema en lugar de recrear un paisaje histórico.

Los investigadores han desarrollado una serie de metodologías de monitoreo que evalúan la función del ecosistema midiendo varios indicadores ambientales (por ejemplo, Análisis de Funciones en Paisajes [Tongway & Hindley 2004], Indicadores de Salud de Pastizales [Pyke et al., 2002] y Atributos bióticos del Paisaje [Aronson & Le Floch 1996]). Con el fin de determinar dónde se encuentra un ecosistema en la trayectoria de la degradación, se necesita saber más sobre la naturaleza de la función y su variación frente a factores de perturbación o el tiempo. Entonces la medición de los cambios en la función de los ecosistemas en una serie de tiempo a diferentes niveles de perturbación, permite la construcción de un modelo de funciones y la identificación de las regiones de cambio rápido que representan los umbrales.

Las evaluaciones de la función del ecosistema a través de un amplio espectro de niveles de degradación proporcionan una manera poderosa de determinar el estado de un sitio a lo largo de una serie de tiempo, pero en la práctica dicha información rara vez se adquiere completa o incluso no se puede obtener. Si los indicadores del ecosistema se miden en uno o en pocos sitios, o se miden en un solo punto en el tiempo o en un período corto de tiempo, puede ser muy difícil estimar la trayectoria o juzgar si un sitio en particular está cerca de un umbral o ha cruzado uno.

#### **D. MODELO DE ESTADOS TRANSICIONALES**

Este modelo surge como una propuesta integradora al modelo sucesional, dado que considera estados relativamente estables y no como referencia a un único estado estable (clímax) (Figura 6). Así mismo identifica, transiciones entre ellos y umbrales (Westoby et al. 1989).

Los estados estables deberían ser fácilmente reconocibles, en base a las características de la vegetación y del suelo de un pastizal que se mantienen estables en el tiempo. Las transiciones son las fuerzas que operan para introducir cambios y el umbral es un límite entre dos estados. Se interpreta que un cambio inicial atraviesa ese límite cuando no es reversible en una escala práctica de tiempo sin la intervención sustancial de quien maneja el sistema (Laycock, 1991).

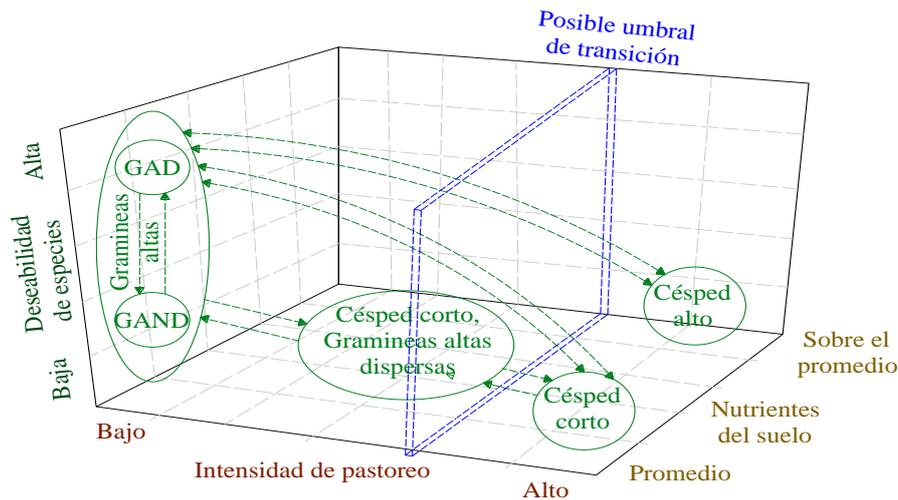


Figura 6. Modelo de estados y transiciones para un bosque de goma en el sureste de Queensland, Australia; GAND, gramíneas altas no deseables, GAD, gramíneas altas deseables. El umbral posible es el punto en el cual el pastizal tiene pocas probabilidades de volver a un estado anterior sin acciones de intervención agresiva. Adaptado de Bashari et al. (2008).

Las fluctuaciones comprenden variaciones no permanentes de la vegetación y de factores ecológicos relacionados (como temperatura, precipitación, duración de la sequía o inundación, presión de pastoreo, etc.). El cambio en la vegetación es fundamentalmente cuantitativo alrededor de un valor promedio que permanece constante; persisten las mismas especies dominantes o diagnóstico de la comunidad. Cuando cesa la fuerza promotora del cambio, el sistema vuelve a sus valores anteriores.

En síntesis, las principales premisas de este modelo son las siguientes:

- Los cambios observables sobre la vegetación no siempre son lineales.
- El paso de un estado a otro no siempre es reversible.
- Puede haber más de un estado estable. - las transiciones negativas son más factibles que las positivas.
- El pastoreo o la carga animal no son los únicos factores que afectan la dinámica de la vegetación, sino que deben tenerse en cuenta otros factores, tales como eventos climáticos inusuales (lluvias abundantes, sequías) u otros disturbios como fuego, entre otros.

Las consecuencias de aplicar este modelo sobre la investigación son diversas. Debe reunirse información como para generar un catálogo de los posibles estados alternativos del pastizal y un catálogo de las posibles transiciones entre estados. Esto deberla incluir la generación de hipótesis sobre determinadas transiciones y su puesta a prueba en forma experimental. Finalmente se debe conocer suficientemente el sistema como para generar un catálogo de oportunidades y riesgos que harían particularmente factibles determinadas transiciones (Díaz, 2007).

La utilidad de estos métodos para evaluar los pastizales comunales está menos bien establecida (Reed y Dougill, 2002). Por otra parte, tales métodos tienden a ser costosos, requieren más tiempo y mano de obra, y la mayoría de veces son imposibles de lograr debido al hecho de que los pastizales cubren una gran extensión espacial y son de difícil acceso (Peterson et al. , 2002).

#### **2.4 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LOS PASTIZALES**

Se espera que el cambio climático tenga una amplia gama de efectos potenciales que alterarán los ecosistemas de pastizales (Polley et al., 2013). El cambio climático puede afectar la salud de los pastizales de muchas maneras, como la expansión de especies invasoras, aumento de la duración y gravedad de las sequías o inundaciones, que en consecuencia provocarían la disminución de los niveles de acuíferos. Múltiples interacciones entre factores regulan la respuesta de los pastizales al cambio climático; en consecuencia, la alteración de los bienes y servicios de los pastizales no será la misma para todos, a través del tiempo el paisaje.

El incremento del dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>), el calentamiento global y los regímenes de precipitación alterados son los principales impulsores del cambio en los ecosistemas de pastizales (Polley et al., 2013), cuyo principal efecto es la reducción de la producción primaria neta (Larsen et al., 2011; Milchunas et al., 2005).

Los beneficios del aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> pueden ser mayores en las regiones semiáridas, ya que los mayores aumentos de la productividad primaria neta (PPN) se observan generalmente durante los años secos, cuando el efecto del aumento de la eficiencia del uso del agua es más pronunciado (Izaurre et al. 2011) Otros sugieren que la PPN será más alta bajo condiciones de CO<sub>2</sub> elevados en los años húmedos, debido a los efectos sobre

la respiración del suelo y la disponibilidad de nutrientes (Parton et al., 2007). Un experimento en una pradera de California encontró poco efecto de niveles de CO<sub>2</sub> elevados o temperaturas más altas en la producción primaria neta durante 5 años, enfatizando la dificultad de generalizar sobre la respuesta de las plantas al cambio climático (Dukes et al., 2005). Por otra parte el cambio climático podría tener influencia sobre otros agentes perturbadores más allá de la variación de los patrones de precipitación y temperatura, influyendo indirectamente sobre la tasa de incendios, presencia de insectos, especies invasoras, eventos de sequía y agravando los procesos de erosión, los cuales afectarían los servicios que proporcionan, desde la provisión de forraje para la fauna silvestre y ganadería, biodiversidad, retención y purificación de agua, belleza escénica.

Así mismo se verían afectados los procesos ecológicos básicos de formación de suelo, flujo de energía, ciclo de nutrientes y la biodiversidad que se mantiene en estos ecosistemas, que son de necesidad colectiva para el desarrollo de poblaciones humanas (Havstad et al. 2007).

Los usuarios de los pastizales siempre han convivido con la variabilidad climática. No obstante, los cambios que se observan y se prevén en las décadas futuras representan un nuevo desafío, dado que son y se espera que la tasa de cambio se acelere varias veces sobre la tasa actual de cambio. Por esta razón, el cambio climático tendría efecto diferenciado a escalas locales y regionales (Williams y Jackson 2007)

#### **2.4.1 VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO**

En el contexto del cambio climático “*La Vulnerabilidad es el grado en el cual un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático e incapaz de hacerlos frente, incluyendo variabilidad y extremos climáticos. La vulnerabilidad varía en función del carácter, magnitud e índice de variación climática a la cual se expone un sistema, su percepción y capacidad adaptativa*” (IPCC, 2007).

La vulnerabilidad se expresa como un concepto múltiple en cuanto a su determinación y diagnóstico, aunque estrictamente su cálculo es imposible (Alonso, 2002), a nivel territorial y de áreas prioritarias necesitadas de intervenciones focalizadas, el término vulnerabilidad refiere a una situación aproximada y posibles. No posee un valor absoluto sino que dependerá de los tipos y valores de amenaza existentes, de la escala de estudio y de la profundidad de orientación metodológica del mismo (Alonso, 2002).

Los estudios en desarrollo bajo el marco del cambio climático cobran importancia, dado que permiten desarrollar estrategias a largo plazo sobre sus impactos sobre sistemas naturales y humanos (Milly et al. 2005).

El Panel Intergubernamental de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático (IPCC) prevé que los cambios futuros contempla el incremento de la temperatura, aumento de la variación temporal y espacial de precipitaciones, y catástrofes climáticas frecuentes (IPCC, 2007). Según estos pronósticos, la temperatura promedio puede incrementarse en 1.38°C (1.1 – 1.48°C) entre el 2010 y 2060 (Davis et al., 2010).

## **A. VULNERABILIDAD ECOLOGICA AMBIENTAL**

La vulnerabilidad eco ambiental se ha convertido en un punto central para la investigación del cambio climático global y la sostenibilidad (Adger, 2006; Ford et al., 2006). También se ha convertido en un tema de interés en la investigación de los recursos del medio ambiente, especialmente sobre la evaluación de la vulnerabilidad ecológica ambiental (Eakin y Luers, 2006; Villa y MacLeod, 2002). El análisis integrado de la vulnerabilidad ecológica ayuda a determinar las principales características ecológicas y ambientales de un área de determinada para identificar problemas particulares, con el fin de tomar medidas adecuadas para hacer frente a estos problemas. Sin embargo, el análisis regional de la condición ecológica del medio ambiente y la vulnerabilidad representa un reto significativo evaluación.

## **2.5 EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD**

No hay un sistema teórico y metodológico ampliamente aceptado para la evaluación de la vulnerabilidad ecológica ambiental. Un problema principal de la evaluación de la vulnerabilidad regional es la integración de la información de muchas fuentes diferentes en una clasificación general de la vulnerabilidad relativa (Wickham et al., 1999). Varios métodos han sido previamente utilizados y desarrollados para la evaluación de la vulnerabilidad, los cuales incluyen:

El **método de evaluación integral** (Gowrie, 2003), evalúa 47 indicadores segmentados en 3 tipos (Riesgo ambiental, resiliencia intrínseca y degradación ambiental) y 5 subcategorías (Meteorológicos, eventos geológicos, características geográficas, factores biológicos y factores antropogénicos), cuyos datos son obtenidos de diversas fuentes, incluyendo documentos, ministerios gubernamentales, agencias estatales, empresas privadas,

organizaciones ambientales y entrevistas. La aplicación de este método está limitado por la disponibilidad de datos históricos del área de estudio donde se quiera evaluar.

El **método de evaluación de redes neuronales artificiales** (Park et al., 2004), el cual aborda el problema de la linealización de los modelos numéricos de estimación de riesgos y clasificación de comunidades, considerando que las relaciones de abundancia de especies presenta efectos duales de distribución, pudiendo mostrarse falsas tendencias. Este método plantea un modelo de evaluación por pasos empezando por la construcción de mapas auto organizativos (SOM), la jerarquización de variables por niveles, cuyos pesos se validan mediante la metodología de Resonancia adaptativa (ART), la generación de grupos diferenciados, cuya distancia entre grupos se verifican mediante al algoritmo de Matriz Unificada (U-matrix), y se contrastan con un modelo de redes neuronales, generando un modelo capaz de ser replicado en otros lugares donde se cuente con información de las variables utilizadas.

El **método de valoración del paisaje** (Aspinall y Pearson, 2000) contempla la evaluación del riesgo ambiental de fuentes de agua utilizando datos espacializados, y el uso de submodelos climáticos, balance hídrico y cambio de uso del suelo. El método utiliza indicadores de integridad y biodiversidad biótica, condición biofísica del área y tendencia de factores biofísicos, demostrando la utilidad de los modelos espaciales como fuente de información en la toma de decisiones y en la generación de indicadores integrados.

El método de **análisis de componentes principales** (PCA) (Li et al., 2006), que contempla la evaluación de la vulnerabilidad integrando modelos espaciales y métodos geo estadísticos, utilizando factores cuantitativos y cualitativos disponibles para el área de evaluación. Estos factores se agrupan en función al coeficiente de correlación lineal y la varianza total, como técnica de asignación de pesos de contribución. Los datos continuos se gradúan en niveles de vulnerabilidad, delimitando los rangos por el error estándar y asignándole categorías, salvando la limitación de la disposición de expertos para la asignación de estos pesos.

El **proceso analítico jerárquico** (AHP) es uno de los métodos de evaluación más utilizados cuando se quiere integrar análisis de datos cuantitativos y cualitativos (Lee, 2007; Xiong et al., 2007), donde la toma de decisiones de problemas complejos pueden ser manejados estructurando el problema en una estructura jerárquica simple y comprensible. Como método

su aplicación ha sido frecuentemente utilizada en diversos campos de investigación, incluyendo estudios ecológicos, sociedad y de economía (Lin y Yang, 1996, Ramanathan y Ganesh, 1995, Fahmy, 2001, Lai et al., 2002).

Así mismo en combinación con plataformas de datos espaciales resaltando las bondades de almacenamiento, consulta, análisis y visualización de datos (Wu et al., 2002), se ha convertido en una herramienta útil para la gestión de recursos naturales y evaluación del ambiente, siendo capaz de considerar el tiempo como una dimensión adicional en estudios de cambio climático y de cambio dinámico del medio ambiente a escala local y regional (Bantayan y Bishop, 1998, Dai et al., 2001).

### **2.5.1 ÍNDICES DE VULNERABILIDAD**

Los índices de vulnerabilidad formales pueden ser útiles como parte de una estrategia de adaptación. Sin embargo, siguen siendo desafíos metodológicos sustanciales en particular, la estimación del riesgo de efectos adversos del cambio climático y la interpretación de la vulnerabilidad relativa en situaciones diversas (UN, 2014).

El uso adecuado de estos índices puede ayudar a identificar y apuntar a regiones vulnerables, sectores o poblaciones, crear conciencia, así mismo puede contribuir a una estrategia de seguimiento.

### **2.5.2 EXPOSICIÓN, SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD ADAPTATIVA**

La utilidad mayor de conocer la vulnerabilidad de un sistema consiste en establecer su vínculo con la estimación de riesgos.

*Vulnerabilidad = f(Exposición, Sensibilidad, Capacidad Adaptativa)*

**Exposición:** La exposición se refiere al grado de estrés climático sobre una unidad particular de análisis, puede estar representada por cambios en las condiciones climáticas o bien por cambios en la variabilidad climática, donde se incluye la magnitud y frecuencia de eventos extremos (Downing et al., 2001).

**Sensibilidad:** La sensibilidad es el grado en el que un sistema es potencialmente modificado o afectado por un disturbio, interno, externo o un grupo de ellos. La medida determina el grado en el que un sistema se puede ver afectado por un estrés, antrópicas y/o ambientales que pueden empeorar o disminuir los impactos por un determinado fenómeno.

**Capacidad adaptativa:** Se refiere a la capacidad de un sistema de enfrentar los efectos del cambio climático, al potencial de implementar medidas que ayuden a disminuir los posibles impactos identificados. La capacidad adaptativa de una sociedad refleja su capacidad de modificar sus características o comportamientos para enfrentar de una mejor manera o anticiparse a los factores que impulsan el cambio.

### **2.5.3 VULNERABILIDAD EN EL PERÚ**

El Perú está considerado como el tercer país más vulnerable del mundo al cambio climático (Adger et al., 2004); y presenta cuatro de las cinco características de vulnerabilidad reconocidas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): zonas costeras bajas; zonas áridas y semiáridas; zonas expuestas a inundaciones, sequía y desertificación; y ecosistemas montañosos frágiles. En adición, el crecimiento poblacional y la ocupación de territorios con amenazas crecientes continúa.

Las evaluaciones de vulnerabilidad desarrolladas en el Perú, a partir de escenarios de cambio climático, han resultado en una primera identificación de las necesidades de adaptación del país, que requieren ser ajustadas y priorizadas por área geográfica o ecosistemas.

Estudios de vulnerabilidad de ecosistemas a nivel de áreas protegidas se han reportado a escala regional, utilizando hot spots, modelos de cambio climático y escenarios de emisiones (Giorgi, 2006). Se generó el Índice Regional de Cambio Climático (IRCC), basado en variables de exposición climática (temperatura aérea, precipitación mensual) y no climática (actividades en la reserva, accesibilidad, tasa de crecimiento poblacional), y capacidad adaptativa (capacitación técnica, relación de actores), concluyéndose que la vulnerabilidad aumenta su intensidad con el avance del tiempo, siendo las de mayor variación las áreas al norte y sur del Perú (SERNANP, 2014).

La generación de escenarios climáticos se ha realizado tanto al nivel nacional como al de cuencas prioritizadas, mostrando variaciones climáticas que generan impactos sociales y económicos importantes. En 2003, con el Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM), se inició un trabajo integrado de vulnerabilidad y adaptación, aplicando escenarios de cambio climático en las cuencas de los Ríos Piura, Mantaro y Santa (proyecciones al 2012-2035). Posteriormente, en 2007, el Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA) comenzó la generación de escenarios con énfasis en los efectos sobre el retroceso de los glaciares para las cuencas de los Ríos Urubamba y Mantaro (proyecciones al 2100). Más recientemente, en el marco de la Segunda Comunicación Nacional del Perú a la CMNUCC (SCN) se ha generado escenarios para las cuencas de los ríos Mayo y Santa; así como escenarios climáticos al nivel nacional (MINAM, 2010), que han concluido en lo siguiente:

- En la costa y sierra norte, parte de la sierra central y selva sur, se estiman incrementos de precipitación de hasta 20%; por el contrario, en la selva norte y parte de la sierra central y sur se prevén disminuciones, también de hasta 20%.
- Las lluvias extremas mostrarían un probable decrecimiento en los próximos 30 años en gran parte del territorio.
- Se espera un incremento de temperaturas extremas en gran parte del país tanto en la mínima como en la máxima.
- El incremento de la temperatura máxima llegaría hasta 1.6°C en promedio (0.53°C/década), mientras que para la mínima el mayor incremento alcanzaría 1.4°C (0.47°C/década). Los mayores incrementos de las temperaturas se presentarían en la costa y sierra y selva norte, en la sierra central y sur del país.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en ocho distritos altoandinos de la sierra central, correspondientes a cinco departamentos (Figura 7)

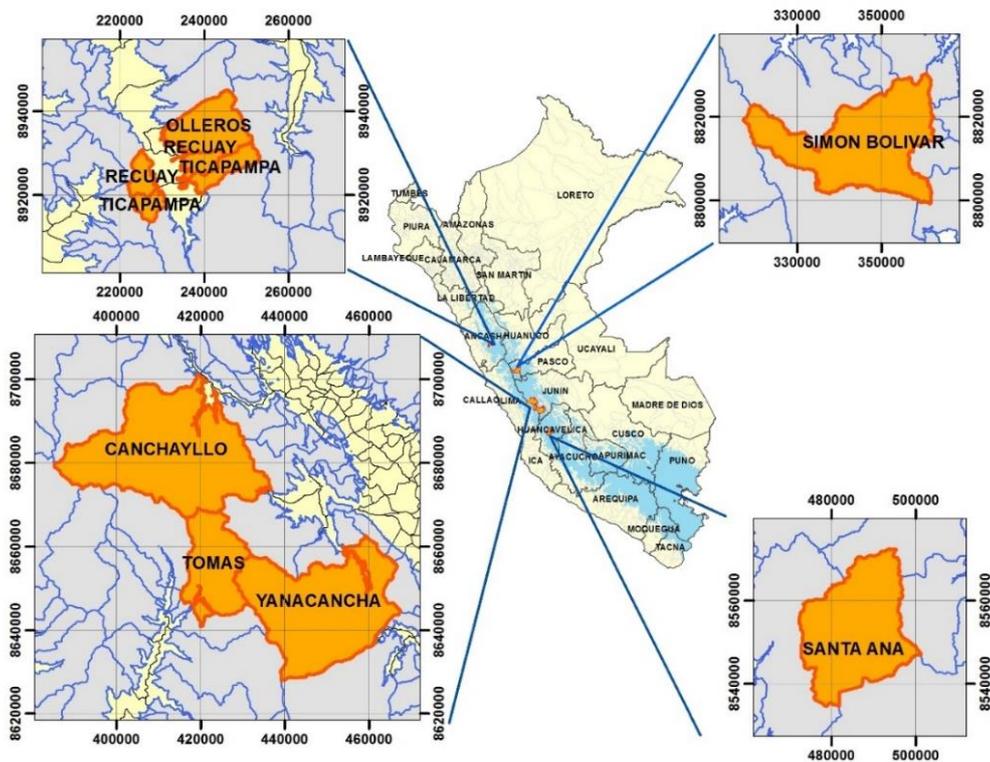


Figura 7. Localización de los distritos de estudio.

Las áreas de estudio elegidas fueron las áreas ubicadas a más de 3800 msnm de 8 distritos en los departamentos de Ancash, Pasco, Junín, Lima y Huancavelica; sumando un área de estudio de 349 777.71 ha, sin considerar cuerpos de agua y glaciares (Tabla 5).

Tabla 5. Distribución de los distritos de estudio y el área respectiva en hectáreas (ha).

Distrito	Área (ha)	Área de estudio (ha)
Olleros	23,098.05	15,673.41
Recuay	14,948.61	9,128.61
Ticapampa	14,624.36	10,125.18
Simón Bolívar	69,092.93	65,883.78
Canchayllo	94,621.16	86,335.65
Yanacancha	76,595.71	74,748.42
Tomas	29,271.26	28,243.08
Santa Ana	64,301.90	59,639.58
<b>TOTAL</b>	<b>386,553.98</b>	<b>349,777.71</b>

La fisiografía del área se caracteriza por una compleja distribución de superficies fluvio-glaciares, colinas y montañas, entre los 3800 a 5448 msnm. La zona climática corresponde a paramo y tundra alpina, con una precipitación promedio anual de 960 mm, de la cual el 70% se acumula en la estación de crecimiento de diciembre a marzo. La temperatura media anual es 6.4°C con temperaturas mínimas mensuales de 1.56°C en Julio y máximo de 18°C en Noviembre.

### 3.2 DATOS ESPACIALIZADOS

Los sets de datos utilizados en este estudio para generar las variables de análisis y construcción de mapas temáticos incluyen: (1) Imágenes Landsat 4 - 5, 7 y 8 correspondiente al período 2011-2014 (2) Modelos de elevación digital ASTER GDEM para la estimación de elevaciones y pendientes; (3) datos socioeconómicos y biofísicos de cada área obtenido de entidades del gobierno o entidades relacionadas; y (4) datos de campo colectados para adicionar mayor detalle en caso de que no haya la información requerida para áreas en específico. Las variables se seleccionaron en base a lo propuesto por Li et al (2011) y a la disponibilidad de datos espaciales y sociales para los distritos de estudio (Tabla 6).

Tabla 6. Variables climáticas, cartográficas, sociales y de producción para el mapeo de degradación y vulnerabilidad al cambio climático

Variable	Unidad	Formato original de datos	Método de procesamiento de datos	Fuente
Precipitación	mm	Raster	Interpolación kriging	32 estaciones SENAMHI
Temperatura	°C	Raster	Interpolación kriging	42 estaciones SENAMHI
Altitud	m	Raster	--	ASTER GDEM , GPS
Pendiente	°	Raster	Basado en DEM-ASTER	ASTER GDEM
Suelos – Geología	--	Polígono	Digitalización	Carta Geológica Nacional 1 /100000 Carta Nacional, ANA, Carta Geológica Nacional 1 /100000, GPS, Digitalización de imágenes Google Earth 2015.
Hidrología	--	Polilinea	Digitalización	GPS, Digitalización de imágenes Google Earth 2015.
Vegetación (NDVI)	--	Raster	Interpolación kriging	Landsat 4, 5, 7 TM - 8
Densidad poblacional	Hab/Km <sup>2</sup>	Polígono	Digitalización	INEI – MINSA
Carreteras	--	Polilinea	Digitalización	Carta Nacional – MTC, GPS, Digitalización de imágenes Google Earth 2015.
Poblados	--	Puntos	Digitalización	INEI – ESCALE, GPS, Digitalización de imágenes Google Earth 2015.
Densidad de ganado	UA/Ha	Polígono	Digitalización	INEI 1994 – 2012
Áreas Protegidas	--	Polígono	Digitalización	SERNANP 2015

Fuente: Adaptado de Li et al, (2011).

### 3.3 VARIABLES DE ANÁLISIS

Las variables espacializadas permitieron la elaboración de mapas temáticos y sus respectivos atributos, cuyos resultados se detallan en la Tabla 8.

Tabla 7. Variables, método de procesamiento de datos y mapas temáticos generados.

<b>Variable</b>	<b>Método de procesamiento</b>	<b>Producto</b>
Precipitación anual (mm)	Interpolación kriging	Mapa de Precipitación.
Temperatura media anual (°C)	Interpolación kriging	Mapa de temperatura acumulada.
Elevación (msnm)	Calculado de DEM ASTER	Mapa de elevación
Pendiente (°)	Calculado de DEM ASTER	Mapa de Pendientes
Intemperismo	Suelos - Geología --> Litología - Mineralogía	Mapa de intemperismo
Distancia a Lagunas (m)	Extracción - Distancia euclidiana	Mapa de distancia a lagunas
Distancia a ríos (m)	Extracción - Distancia euclidiana	Mapa de distancia a ríos
Fracción de Cobertura Vegetal (%)	Obtenido en base al NDVI	Mapa de Fracción de cobertura vegetal
Densidad poblacional (Hab/km <sup>2</sup> )	Proyección	Tablas
Distancia Vías nacionales y departamentales (m)	Extracción - Distancia euclidiana	Mapa de distancia a vías nacionales y departamentales (m)
Distancia Vías vecinales y trochas (m)	Extracción - Distancia euclidiana	Mapa de distancia Vías vecinales y trochas
Distancia a centros poblados (m)	Digitalización	Mapa de distancia a centros poblados
Densidad animal (UO/Ha)	Proyección	Tablas
Áreas de Reserva	Recorte - Rasterización	Mapa de Áreas de reserva

Fuente: Elaboración propia

### **A. PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)**

Se utilizaron datos de precipitación diaria de 32 estaciones del SENAMHI, correspondientes al periodo 2011- 2014, de los cuales se calculó la precipitación anual definida como acumulación de precipitaciones durante el año (ANEXO 1, 3, 22, 23). Los datos obtenidos se interpolaron con el programa ArcGIS 10.2.2 utilizando la herramienta *Spatial Analyst Tools > Interpolation > Spline Tense*. Este método de interpolación multivariante de datos dispersos como la precipitación es considerado un método preciso, flexible y eficiente para la interpolación (Mitasova et al., 1995).

## B. TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)

Se utilizaron datos de temperatura diaria de 39 estaciones del SENAMHI (ANEXO 2, 3, 24, 25), correspondiente al periodo 2011- 2014, de los cuales se calculó la temperatura media anual definida como el promedio de la temperatura. Los datos se procesaron mediante la metodología propuesta por Andreas et al., (2011), la cual indica debe existir una correlación positiva alta entre la temperatura media anual (TMA) y la elevación de la estación meteorológica, de acuerdo a la siguiente ecuación

$$TMA_{det} = TMA_{estacion} + (r \cdot (Z_{det} - Z_{estacion})) \dots (1)$$

óDónde:

$r$  es la correlación entre temperatura media anual de la estación meteorológica y su elevación.

$TMA_{det}$  es la temperatura media anual estimada a una altitud de referencia.

$TMA_{estacion}$  es la temperatura media anual de la estación meteorológica.

$Z_{det}$  es la altitud de referencia (3750 msnm).

$Z_{estacion}$  es la altitud de la estación meteorológica.

Los datos obtenidos de  $TMA_{det}$  se interpolaron utilizando la herramienta *Spatial Analyst Tools > Interpolation > Kriging* del programa ArcGIS 10.2.2, dado que según Spadavecchia y Williams (2009) este método se considera mejor cuando se trabaja medias mensuales o anuales, minimizando los errores estocásticos.

Para la restitución de la distribución de la temperatura en base a la gradiente altitudinal a cada pixel interpolado se utilizó el modelo de elevación digital ASTER (DEM ASTER), a una resolución de 30 m (ANEXO 26), según la siguiente ecuación:

$$TMA_{(x,y)} = TMA_{det} + (r \cdot (Z_{(x,y)}^{MED} - Z_{det})) \dots (2)$$

Dónde:

$TMA_{(x,y)}$  es la temperatura media anual estimada para el pixel con una altitud basada en el DEM ASTER.

$TMA_{det}$  es la temperatura media anual estimada a una altitud de referencia.

$Z_{(x,y)}^{MED}$  es la altitud de del pixel DEM ASTER.

$Z_{det}$  es la altitud de referencia (3750 msnm).

### **C. ELEVACIÓN (msnm)**

Se utilizó como base el Modelo de elevación digital ASTER GDEM 2011 (ANEXO 26), el cual se georreferenció y se seleccionaron los píxeles que se encontraban dentro de las áreas de estudio mediante la herramienta *Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask* del programa ArcGIS 10.2.2.

### **D. PENDIENTE (°)**

Se utilizó como base el mapa de elevación generado previamente a partir del ASTER GDEM 2011 (ANEXO 26), y se convirtió en valores de pendiente en grados generando mapas temáticos de pendientes (ANEXO 62), utilizando la herramienta *Spatial Analyst Tools > Surface > Slope* del programa ArcGIS 10.2.2.

### **E. INTEMPERISMO**

Para la generación de este mapa se utilizó el mapa de la carta geológica nacional correspondiente a las áreas de estudio (Cartas 20h, 20i, 22j, 22k, 24k, 24l, 25l, 25m, 26m, 27) (ANEXO 4), clasificado mediante la escala de meteorización de Jackson y Sherman (Tabla 8). Dado que no se dispone de mapas de suelos para el nivel de estudio llevado a cabo, se utilizó los datos de la carta geológica nacional a escala 1:100 000, de los cuales se analizó la litología de la capa superficial y la mineralogía predominante para luego ser traducidas a la escala de intemperismo de Jackson y Sherman (Bonh et al., 1979), e intersectada con un mapa de NDVI obtenida en base a datos promediados del sensor MODIS. Las áreas con un NDVI mayor a 0.14 fueron seleccionadas como áreas con vegetación, lo cual incrementa el grado de intemperismo de la formación litológica, dando como resultado final un mapa de intemperismo de las áreas en estudio (ANEXO 27).

Tabla 8. Escala de meteorización

ETAPA DE INTEMPERISMO	MINERALES REPRESENTATIVOS	METEORIZACION
1	Sales solubles, yeso, halita	
2	Calcita, Dolomita, apatita, aragonita	
3	Olivinos, Piroxenos, Anfiboles, Hornablenda	Fácilmente
4	Biotita, Glauconita, Clorita, Serpentina, Mica	Meteorizables
5	Anortita, Albita, Plagioclasa, Ortoclasa, Microclina, Feldespato	
6	Cuarzo, Cristobalita	Minerales más resistentes
7	Illita, Moscovita	
8	Vermiculita	
9	Montmorillonita, Clorita alumínica	Minerales secundarios, todos los primarios han desaparecido en esta etapa
10	Halloysita, Caolinita	
11	Gibsita, Alofana, Oxidos de aluminio	
12	Goetita, Hematita, Limonita	
13	Zircón, Rutilo, Oxidos de titanio, Coridon, Anatasa	

Jackson y Sherman (1953), adaptado por Bonh et al. (1979)

#### F. DISTANCIA A LAGUNAS Y RÍOS (m)

Para la generación de este mapa se utilizó la información recopilada de la Carta Nacional, Autoridad Nacional del Agua (ANA) y de la Carta Geológica Nacional, contrastando la información dentro de las áreas de estudio con visitas a campo y para las zonas más alejadas y poco accesibles con imágenes del servidor Google Earth 2015. Se utilizó la herramienta *Spatial Analyst Tools > Distance> Euclidean distance* del programa ArcGIS 10.2.2, definiendo el tamaño de celda a 30 m (ANEXO 30), esta distancia representa la distancia más cercana de un cuerpo de agua dulce, en línea recta, a cada pixel (Kummu, 2011).

#### G. FRACCIÓN DE COBERTURA VEGETAL (FCV %)

Para la obtención de este mapa se utilizó como base un mapa de NDVI generado de imágenes Landsat TM 4-5, 7 y 8, para el periodo 2011-2014, el cual fue convertido a Fracción de Cobertura vegetal (FCV) y validado con datos de Cobertura vegetal (CV) en visitas de campo correspondientes al mes de agosto 2014 en las zonas de estudio (ANEXO 28, 29),

#### H. DENSIDAD POBLACIONAL (Hab/km<sup>2</sup>)

Este mapa se confeccionó a partir de información de los censos nacionales de población y vivienda de 1993 y 2007 por distrito, y proyectados de acuerdo a los métodos de proyección de poblaciones, aritmética y geométrica y logarítmica. Los valores proyectados se promediaron y dividieron entre el área del distrito, y se utilizaron en el análisis asignando el valor de densidad poblacional por año a cada pixel de cada distrito en estudio (ANEXO 5, 6, 7, 8).

#### **I. DISTANCIA VÍAS NACIONALES, DEPARTAMENTALES, VECINALES, TROCHAS Y CENTROS POBLADOS (m)**

Para la generación de este mapa se utilizó la información recopilada de la Carta Nacional, Mapa vial y Carta Geológica Nacional, contrastando la información dentro de las áreas de estudio con visitas a campo y para las zonas más alejadas y poco accesibles con imágenes del servidor Google Earth 2015. Se utilizó la herramienta *Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean distance* del programa ArcGIS 10.2.2, definiendo el tamaño de celda a 30 m (ANEXO 31, 32), esta distancia representa la distancia más cercana de una vía de acceso o centros poblado en línea recta, a cada pixel (Kummu, 2011).

#### **J. DENSIDAD ANIMAL (UO/Ha)**

Este mapa se confeccionó a partir de información de los censos nacionales agropecuarios de los años 1994 y 2012 para cada distrito, por especie y llevados a unidades ovino (UO) y proyectados de acuerdo a los métodos de proyección de poblaciones, aritmética y geométrica y logarítmica. Los valores proyectados se promediaron y dividieron entre el área de puna del distrito, y se utilizaron en el análisis asignando el valor de densidad animal por año a cada pixel de cada distrito en estudio (ANEXO 9 - 21).

#### **K. ÁREAS DE RESERVA**

Para la obtención de este mapa se utilizó el mapa de áreas naturales protegidas del SERNANP, y recortando los polígonos dentro del área de estudio con la herramienta *Geoprocessing tools > Clip*, para luego ser llevadas a una capa raster de 30 m utilizando la herramienta *Conversion toolbox > To Raster toolset > Polygon to raster* del programa ArcGIS 10.2.2, (ANEXO 27).

### 3.4 SELECCIÓN DE VARIABLES

#### 3.4.1 ANÁLISIS FACTORIAL

El Análisis Factorial es una técnica de reducción de la dimensionalidad de los datos, cuyo propósito consiste en buscar el número mínimo de dimensiones capaces de explicar el máximo de información contenida en los datos.

Fundamentalmente lo que se pretende con el Análisis Factorial (Análisis de Componentes Principales o de Factores Comunes) es simplificar la información que nos da una matriz de correlaciones para hacerla más fácilmente interpretable, (Bisquerra, 1989).

##### 3.4.1.1 ANÁLISIS DE LA MATRIZ DE CORRELACIÓN

La finalidad de analizar la matriz de las correlaciones muestrales  $r = (R_{ij})$ , donde  $r_{ij}$  es la correlación muestral observada entre las variables  $(X_i, X_j)$ , es comprobar si sus características son las adecuadas para realizar un Análisis Factorial. Uno de los requisitos que deben cumplirse es que las variables se encuentran altamente intercorrelacionadas. También se espera que las variables que tengan correlación muy alta entre sí la tengan con el mismo factor o factores. En consecuencia, si las correlaciones entre todas las variables son bajas, tal vez no sea apropiado el Análisis Factorial.

#### A. TEST DE ESFERICIDAD DE BARLETT

Contrasta, bajo la hipótesis de normalidad multivariante, si la matriz de correlación de las  $p$  variables observadas  $(R_p)$  es la identidad. Si una matriz de correlación es la identidad significa que las intercorrelaciones entre las variables son cero. Si se confirma la hipótesis nula  $H_0: |R_p| = 1$  o  $R_p = I$ , las variables no están intercorrelacionadas.

El test de esfericidad de Barlett se obtiene mediante una transformación del determinante de la matriz de correlación. El estadístico del test viene dado por:

$$d_R = - \left[ n - 1 - \frac{1}{6}(2p + 5) \right] \log|R| = - \left[ n - \frac{(2p+11)}{6} \right] \sum_{j=1}^p \log(\lambda_j) \quad \dots (3)$$

Dónde:

$n$  es el número de individuos de la muestra.

$\lambda_j$  ( $j=1, \dots, p$ ) son los valores propios de  $R$ .

Bajo la hipótesis nula, el estadístico se distribuye asintóticamente según una  $\chi^2_{p(p-1)/2}$ , si la hipótesis nula es cierta, los valores propios valdrán uno, o su logaritmo será nulo y, por tanto, el estadístico del test valdría cero (Gorsuch, 1983).

Por el contrario, si con el test de Barlett se obtienen valores altos de  $\chi^2$ , o un determinante bajo, hay variables con correlaciones altas (un determinante próximo a cero indica que una o más variables podrían ser expresadas como combinación lineal de otras variables).

En definitiva, si el estadístico del test toma valores grandes o un determinante próximo a cero se rechaza la hipótesis nula con cierto grado de significación. En caso de aceptarse la hipótesis nula, las variables no están intercorreladas y debería reconsiderarse la aplicación de un Análisis Factorial, entonces:

Si: Sig. (p-valor) < 0.05 aceptamos  $H_0$  (hipótesis nula): se puede aplicar el análisis factorial.

Si: Sig. (p-valor) > 0.05 rechazamos  $H_0$ : no se puede aplicar el análisis factorial.

## B. MEDIDAS DE ADECUACIÓN DE LA MUESTRA

El coeficiente de correlación parcial es un indicador del grado de relaciones entre dos variables, eliminando la influencia del resto. Si las variables comparten factores comunes, el coeficiente de correlación parcial entre pares de variables es bajo, puesto que se eliminan los efectos lineales de las otras variables. Las correlaciones parciales son estimaciones de las correlaciones entre los factores únicos, debiendo ser próximas a cero cuando el Análisis Factorial es adecuado, dado que se supone que los factores únicos están incorrelados entre sí. Por lo tanto si existe un número elevado de coeficientes de este tipo distintos de cero es señal de que las hipótesis del modelo factorial no son compatibles con los datos (Jobson, 1992).

Una manera de cuantificar este hecho es con la Media de Adecuación de la Muestra KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) (Jobson, 1992):

$$KMO = \frac{\sum_{j \neq i} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} r_{ij(p)}^2} \quad 0 \leq KMO \leq 1 \quad \dots (4)$$

Dónde:

$r_{ij(p)}$  es el coeficiente de correlación parcial entre ( $X_i, X_j$ ), eliminando la influencia del resto de las variables.

El índice KMO se utiliza para comparar las magnitudes de los coeficientes de correlación parcial, de forma que cuánto más pequeño sea su valor, mayor será el valor de los coeficientes de correlación parciales  $r_{ij(p)}$  y, en consecuencia, menos apropiado es realizar un Análisis Factorial. Kaiser, Meyer y Olkin aconsejan que si  $KMO \geq 0,75$  la idea de realizar un análisis factorial es buena, si  $0,75 > KMO \geq 0,5$  la idea es aceptable y si  $KMO < 0,5$  es inaceptable (Jobson, 1992).

También se puede calcular una Medida de Adecuación Muestral para cada variable de forma similar al índice KMO. En esta prueba sólo se incluyen los coeficientes de la variable que se desea comprobar. La fórmula es:

$$MSA_i = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} r_{ij(p)}^2}; \quad i = 1, \dots, p \quad \dots (5)$$

Un valor bajo de  $MSA_i$  indica que las hipótesis hechas por el modelo del Análisis Factorial son poco compatibles para el caso de la variable  $X_i$ . De esta forma si el KMO es bajo es posible localizar las variables responsables de dichos valores y, si el Análisis Factorial resultara poco exitoso, dichas variables podrían ser eliminadas del análisis siempre y cuando su importancia teórica no lo permitiera (Visauta, 1998).

La experiencia práctica aconseja que es precipitado tomar estos índices como única medida de adecuación de la muestra a las hipótesis del modelo de Análisis Factorial, sobre todo si hay un número pequeño de variables consideradas. Conviene complementar dicha información con otras fuentes como pueden ser las comunalidades de cada variable, los residuos del modelo y la interpretabilidad de los factores obtenidos a la hora de tomar la decisión de eliminar una variable del estudio. (García et al, 2000).

### **3.5 MAPEO DE LA DEGRADACIÓN**

El mapeo de la degradación para este estudio comprende el análisis de la fracción de cobertura vegetal obtenida a través de los valores NDVI de imágenes Landsat de las áreas

de estudio en los periodos 2011 - 2014, clasificada en rangos según la escala propuesta por Gao et al. (2006), la cual nos daría un indicador el estado de degradación del Pixel, basado en Cobertura vegetal.

Para la estimación del grado de degradación se utilizó la Fracción de Cobertura Vegetal (FCV) que se define como la relación del área de proyección vertical de la vegetación (hojas, tallos, ramas) en el suelo respecto al área total de vegetación. La FCV es un parámetro importante que se utiliza para medir la superficie de la cobertura vegetal; adicionalmente, es un índice importante para la investigación de la aerosfera, pedosfera, hidrosfera y la biosfera, así como sus interacciones. FCV es un parámetro biofísico importante para simular el intercambio entre la superficie de la tierra y el nivel límite atmosférico usando el modelo de transferencia suelo-vegetación-atmósfera (Chen et al., 1997; Bausch y Neale., 1987).

La estimación de la FCV en campo y la estimación basada en productos de sensores remotos son dos enfoques que se utilizan para obtener valores confiables de FCV. Los métodos basados en sensores remotos se puede dividir en dos métodos: el modelo- físico y el modelo empírico. El modelo físico considera que el proceso complejo de transferencia radiativa de la canopia, que implica reflectancia, transmitancia, y absorción por las hojas y otros elementos. Por lo tanto, la FCV es difícil de calcular directamente utilizando el modelo físico y debe ser obtenido utilizando una tabla de búsqueda o mediante la simplificación del proceso de recuperación con otros métodos de aprendizaje.

La emisividad efectiva de una superficie rugosa general expresada en términos de radiancia nos permite relacionarla con el porcentaje de vegetación o fracción de cobertura vegetal, obtenido del índice diferencial de vegetación normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1973).

$$NDVI = \frac{\rho_{IRC} - \rho_{ROJO}}{\rho_{IRC} + \rho_{ROJO}} \quad \dots (6)$$

El uso de un modelo empírico de FCV se calcula ya sea en un modelo estadístico simple o una relación de regresión, por lo general, se establece una relación empírica entre NDVI y la FCV, para estimar la FCV a partir del NDVI. Wittich y Hansing (1995) estudiaron la relación entre el NDVI y fracción de vegetación en cinco áreas de prueba en Alemania, y demostraron que, en una primera aproximación, la FCV se describió adecuadamente por la expresión lineal de NDVI en una amplia gama de distribución en densidades de vegetación

heterogéneas. Otros estudios también demostraron una relación lineal fuerte entre la cubierta vegetal fraccionada y NDVI (e.g.Kustas et al., 1993; Ormsby et al., 1987; Phulpin et al., 1990).

Para este estudio se utilizaron imágenes Landsat utilizadas corresponden a los años 2011, 2012, 2013 y 2014, las cuales fueron interpretadas en pseudo color en la composición RGB 432 en el software ENVI 5.2, y transformadas a la proyección y Datum UTM WGS84 respectivamente, para luego proceder a una corrección radiométrica y atmosférica mediante el algoritmo FLAASH. Finalmente se procedió a calcular el NDVI para el análisis de la FCV según la ecuación propuesta por Gutman y Ignatov (1998), donde el NDVI de un pixel mixto está representado como:

$$NDVI = fNDVI_{\infty} + (1 - f)NDVI_S \quad \dots (7)$$

Dónde:

$NDVI_{\infty}$  es el valor del NDVI para la vegetación con un IAF (índice de área foliar) infinito.

$NDVI_S$  es el valor del NDVI para suelo desnudo.

Entonces la FCV puede ser representada de la siguiente forma:

$$f = FCV = \frac{NDVI - NDVI_S}{NDVI_{\infty} - NDVI_S} \quad \dots (8)$$

### 3.5.1 COLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

La colección de datos de campo se realizó en el mes de agosto del 2015, fechas que coinciden con adquisición de las imágenes Landsat utilizadas (7/68; 7/67; 8/67). Se utilizaron 32 áreas de evaluación adecuadas dentro de pixeles, distribuidas en las 8 zonas de estudio (ANEXO 41), se evaluó la cobertura vegetal cada 20 metros dentro de cada pixel, en cuadrantes de 1 por 1 m, distribuidos a modo de una transecta lineal (Figura 8) , para después ser promediados dentro de cuadrantes Landsat y poder ser validado con la cobertura dentro del pixel que se evaluó visualmente mediante la comparación del índice de determinación ( $r^2$ ) en diferentes modelos de regresión.

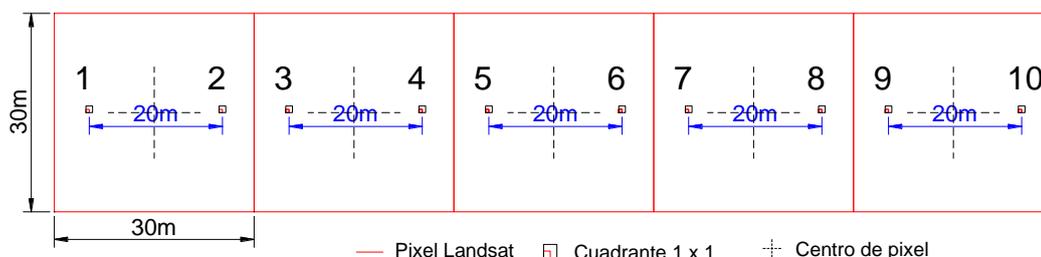


Figura 8. Distribución de cuadrantes para evaluación de cobertura vegetal en porcentaje.

Para la actualización de caminos y fuentes de agua se realizó una inspección visual de las fuentes y su registro con GPS, para la actualización de los mapas respectivos. Para las zonas alejadas y poco accesibles se utilizaron imágenes del servidor Google Earth 2015, para su verificación.

### 3.5.2 CONSTRUCCIÓN DEL MAPA DE PORCENTAJE DE COBERTURA VEGETAL EN CALIBRACIÓN CON FCV

Para la calibración de los datos de cobertura vegetal con la FCV obtenida a partir de imágenes Landsat, se extrajo el valor correspondiente a cada píxel y calibrado con diferentes modelos de regresión, para extraer la mejor correlación que explique la validez de la correlación.

### 3.5.3 DEGRADACIÓN Y FCV

Gao et al., (2006), define los grados de Degradación de un píxel en cinco clases, los cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Sistema de evaluación de índices, criterio y clasificación de la degradación de pastizales usando sensores remotos.

Parámetro de evaluación	Grado de Degradación	Degradación de pastizales Rangos
Fracción de cobertura vegetal (FCV)	No degradado (ND)	FCV > 90%
	Ligeramente Degradado (LD)	75% < FCV < 90%
	Moderadamente Degradado (MD)	60% < FCV < 75%
	Seriamente Degradado (SD)	30% < FCV < 60%
	Extremadamente Degradado (ED)	FCV < 30%

Fuente: Gao et al. (2006),

Basado en los grados de degradación Gao et al. (2006), propone el uso de un Índice de Degradación de Pastizales (IDP), que expresa el estado de degradación de los pastizales de una región espacial como una comunidad, distrito, provincia o departamento. Expresado en la siguiente ecuación:

$$IDP = \frac{(\sum_{i=1}^5 D_i \times A_i)}{A} \quad \dots (9)$$

Dónde:

IDP, Índices de degradación de pastizales

Di es el grado de degradación de un pastizal

Ai es el área correspondiente al grado de degradación i (ha)

A es el área total (ha). Los IDP

La clasificación por rangos de degradación se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Evaluación integrada del índice de evaluación de pastizales.

Índice de Degradación de Pastizales (IDP)	Estado de la degradación del pastizal de una región
$IDP \leq 1$	No degradado (ND)
$1 < IDP \leq 2$	Ligeramente Degradado (LD)
$2 < IDP \leq 3$	Moderadamente Degradado (MD)
$3 < IDP \leq 4$	Seramente Degradado (SD)
$4 < IDP$	Extremadamente Degradado (ED)

Fuente: Gao et al. (2006)

### 3.5.4 ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS FACTORES DETERMINANTES

La posible incidencia de cada factor sobre la degradación de los pastizales fue analizada en conjunto mediante análisis multivariado. Los datos procuraron ser analizados en su mayoría como datos continuos sin ningún tipo de reclasificación con el objetivo de capturar la mayor variabilidad entre píxeles.

La metodología de degradación está basada en modelo numérico desarrollado por Li et al. (2011). Para su evaluación en el presente estudio se extrajo el punto central de cada píxel Landsat dentro del área de estudio generando una capa de puntos georreferenciados, para

seguidamente completar la información correspondiente a las demás variables en una tabla para su posterior análisis multivariado en el programa SPSS V 20.0.

El análisis multivariado fue aplicado a todas las variables en estudio utilizándose para la selección de las variables un análisis factorial basado en la interdependencia de variables cuyo objetivo es explicar la estructura causal que origina las relaciones entre un conjunto de variables, así como la variación específica de cada una de ellas y su aporte a la variabilidad total. Este análisis nos permite reducir las variables poco significativas, para lo cual se analizó por cada año, esperando hallar variables con poca significancia en todos los años, y observar el grado de explicación de la variabilidad total de las variables en conjunto en los patrones espaciales y temporales de la degradación de pastizales.

Estos métodos de reducción de variables son comunes en estudios de patrones espaciales y siguen el modelo conceptual especificado por Chomitz y Gray (1996), quienes se basan en el modelo Von Thünen, en el cual la cobertura de la tierra está determinado en base a la rentabilidad de la tierra. Este concepto no es aplicable completamente a las clases de degradación, no obstante se asume una similitud en la localización de una clase específica de degradación como resultado de la interacción entre procesos biofísicos, socioeconómicos y políticas de conservación. Por lo tanto, se asume que las variables resultantes del análisis factorial pueden ser usadas como predictores de la presencia de diferentes clases de degradación.

En adición, se utilizó el análisis de regresión logística multinomial para explicar la frecuencia de las diferentes clases de degradación. El modelo de regresión logística es utilizado principalmente para predecir las probabilidades de pertenencia de cada caso a la categoría señalada basada en un set de variables independientes, dado que muchas veces son más de dos las alternativas de donde elegir para tomar una decisión. Se utilizaron 3'886,419 píxeles correspondiente a todas las áreas de estudio, como casos por cada año analizado con los cuales se creó una base de datos que contenía información de las variables mencionadas en el apartado de datos.

Una de las opciones de análisis de estos datos es el modelo logit de datos el cual permite hallar los efectos de manera más explícita, cuya expresión es la siguiente:

$$\log\left(\frac{p_{itk}}{1-p_{itk}}\right) = \beta_0 + \beta_n X_{nit} + v_t + \varepsilon_{it} \quad \dots (10)$$

Dónde:

$p_{itk}$  es la probabilidad de encontrar una clase de degradación k en comparación a la clase de referencia (degradación moderada).

$v_t$  representa la heterogeneidad no observada.

$\varepsilon_{it}$  representa el error

$\log(\cdot)$  representa el logaritmo natural.

La operacionalización de estas variables y su incorporación dentro del modelo numérico de estimación de la degradación de pastizales se puede observar en la Figura 9.

Se llevó a cabo un análisis Kappa para determinar el ajuste de los datos de FCV hallados mediante el método propuesto por Gao et al. (2006), y los datos de categoría pronosticada al modelo de regresión logística. Este análisis nos da evidencia estadística de la calidad de los predictores el cual puede ser comparado con diferentes modelos, además resume la performance de un modelo de regresión en un amplio rango de valores de probabilidad. El coeficiente kappa refleja la concordancia inter-observador y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores. El coeficiente kappa puede tomar valores entre -1 y +1. Mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más cercano a -1, mayor es el grado de discordancia inter-observador. Un valor de  $\kappa = 0$  refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar (López et al., 1999) (Tabla 11).

Tabla 11. Valoración del coeficiente Kappa.

Coeficiente kappa	Fuerza de la concordancia
< 0,00	Pobre
0,00 - 0,20	Leve
0,21 - 0,40	Aceptable
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Considerable
0,81 - 1,00	Casi perfecta

Adaptado de Landis y Koch (1977).

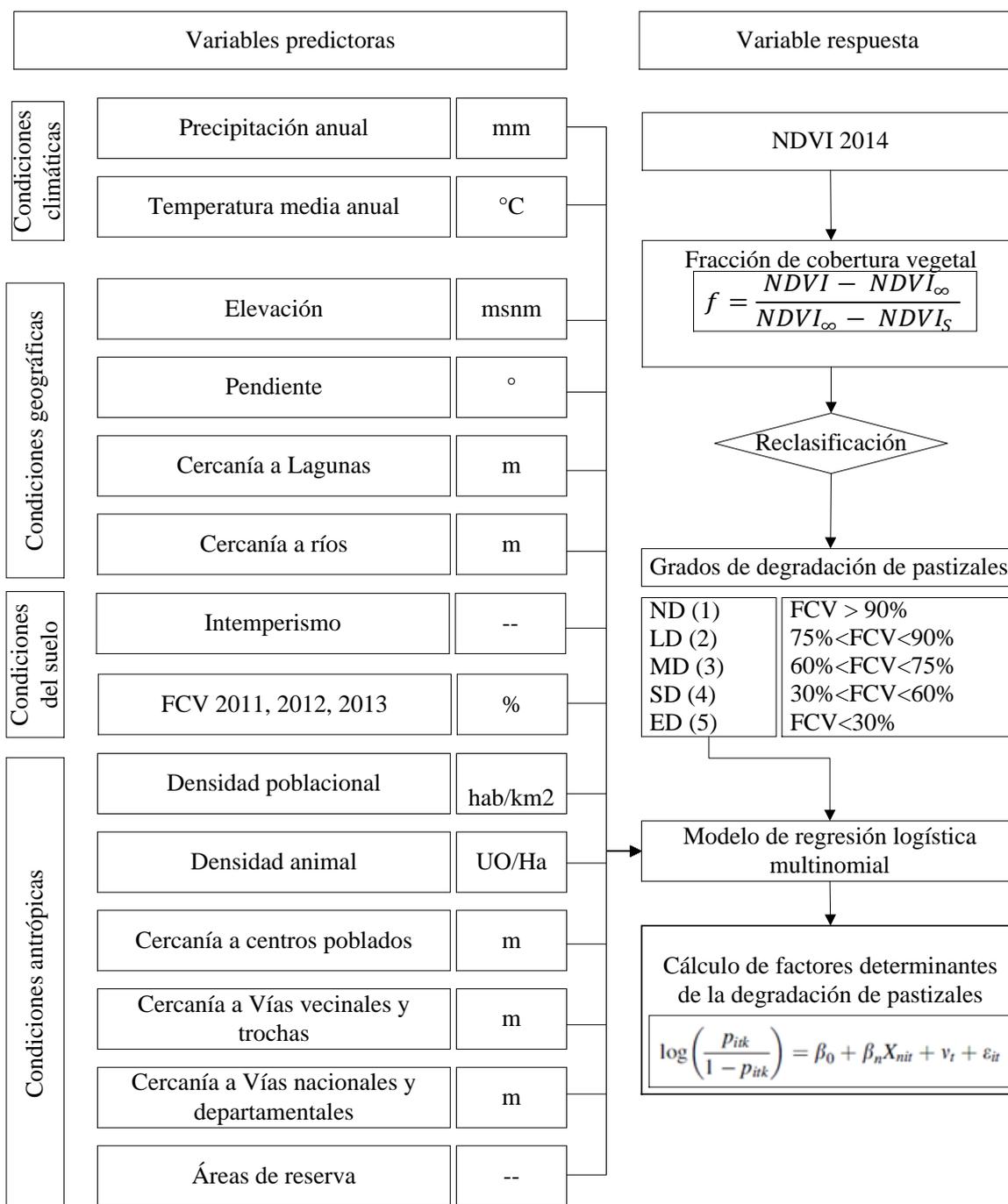


Figura 9. Representación esquemática del modelo numérico de mapeo de la degradación de pastizales, adaptado de Li et al. (2012).

### 3.6 MAPEO DE LA VULNERABILIDAD

El marco propuesto para la evaluación de la vulnerabilidad eco-ambiental se basa en una combinación de un modelo analítico jerárquico difuso (FAHP), con Sistemas de información geográfica (SIG) (Figura. 10). De acuerdo con este marco, la evaluación se compone principalmente de tres etapas: (i) la selección de indicadores y peso, (ii) la recopilación de

datos y normalización, y (iii) la evaluación integrada y cartografía. El método FAHP se utiliza para establecer un indicador, a la ponderación de cada elemento de evaluación asignado por la opinión de expertos y el método proceso analítico jerárquico (AHP). Cada indicador de evaluación está vinculada a un archivo raster compuesto de píxeles de 30 x 30 m ( $P_n$ ). Por último, el mapa resultante se utiliza para destacar las diferencias espaciales en el índice de vulnerabilidad.

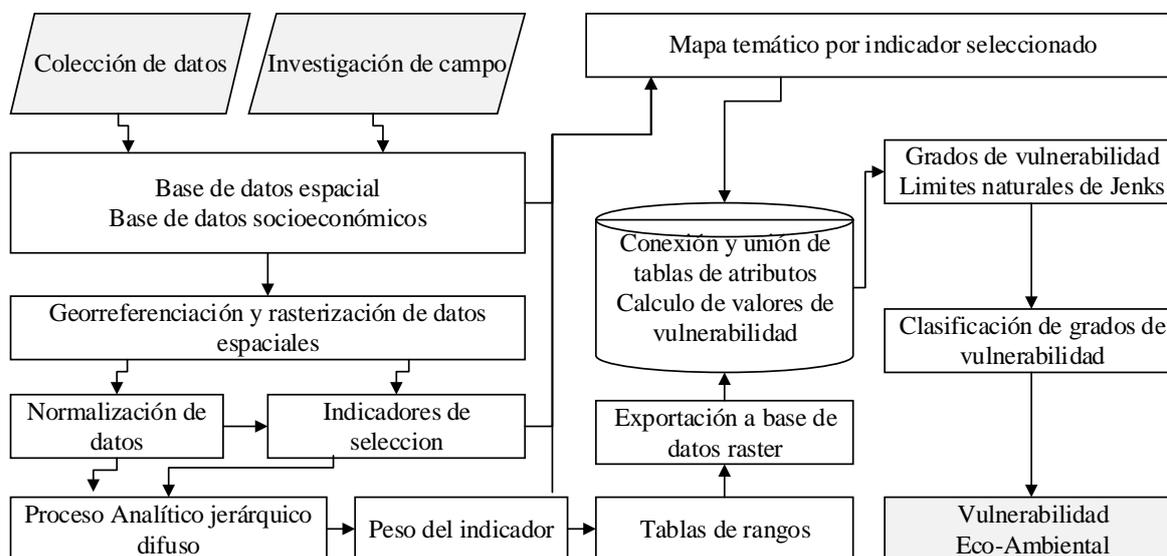


Figura 10. Representación esquemática del modelo numérico de mapeo de la vulnerabilidad de pastizales, adaptado de Wang et al. (2012).

### 3.6.1 SELECCIÓN DE INDICADORES Y PESO DE LAS VARIABLES

#### 3.6.1.1 SELECCIÓN DE INDICADORES

Se utilizaron una serie de indicadores basada en la información espacializada disponible a las áreas de estudio y procesadas mediante un análisis factorial para eliminar las variables con menor aporte a la variabilidad total (ANEXO 37-40), seleccionándose 14 variables para el cálculo de la vulnerabilidad al cambio climático en pastizales altoandinos.

#### A. INDICADORES DE EXPOSICIÓN

La exposición es dependiente del lugar y se refiere a la naturaleza y magnitud de los cambios climáticos de variables tales como la temperatura, y precipitación y fenómenos meteorológicos extremos (Brenkert y Malone, 2005). Se incluyeron dos indicadores: precipitación anual y temperatura media anual (Tabla 12).

## **B. INDICADORES DE SENSIBILIDAD**

La sensibilidad se refiere a cómo los sistemas pueden verse afectados por el cambio climático; (Brenkert y Maloney 2005).

La pendiente y elevación del lugar son factores cruciales para la formación y erosión del suelo. Variaciones en estos factores pueden tener un impacto en los suelos, el transporte, efectos climáticos locales y otros procesos que podrían afectar la vulnerabilidad del medio ambiente (Vadrevu et al., 2008).

La estabilidad del suelo y el mantenimiento de los ciclos de agua y nutrientes son esenciales para reducir el riesgo de desertificación en los pastizales. Cualquier cambio en estos procesos podría hacer que los pastizales sean particularmente vulnerables al cambio climático considerando que la degradación del suelo es un proceso no lineal con umbrales que hacen que estos sistemas sensibles y vulnerables. (Puigdefábregas, 1998).

En este estudio, seis aspectos, fueron considerados: elevación, pendiente, cercanía a lagunas, cercanía a ríos, como condiciones geográficas del pastizal y fracción de cobertura vegetal e intemperismo como condiciones del suelo del pastizal. (Tabla 12).

## **C. INDICADORES DE CAPACIDAD ADAPTATIVA**

Los efectos de la interacción del calentamiento de la atmósfera, el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono, y la modificación de los patrones de precipitación influirán sobre los regímenes de incendios, el contenido de carbono del suelo, la cantidad y calidad del forraje. Esto, a su vez, afectará la producción ganadera, la composición de la comunidad de plantas y su distribución, los animales y las enfermedades.

Para hacer frente a las consecuencias del cambio climático la capacidad adaptativa incluye características de un sistema para adaptarse a los cambios climáticos de modo que el bienestar se establece, cualquier mejora se maximice y las pérdidas se minimicen (Brenkert y Malone, 2005).

Por lo cual las acciones humanas para minimizar los impactos negativos y capturar las oportunidades potenciales necesitan ser espacialmente específicas para lidiar eficazmente con las consecuencias del cambio climático.

Se consideraron para este estudio como indicadores de capacidad adaptativa las condiciones antrópicas ligadas a los ecosistemas de pastizales tales como: densidad poblacional, densidad animal, cercanía a centros poblados, cercanía a vías vecinales y trochas, cercanía a vías nacionales y departamentales y áreas de reserva (Tabla 12).

Tabla 12. Variables, seleccionadas para el análisis de vulnerabilidad

Objetivo (A)	Componente (B)	Clase	Índice (C)	Unidad
Vulnerabilidad	Exposición (B <sub>1</sub> )	Condiciones climáticas	Precipitación anual (C <sub>1</sub> )	mm
			Temperatura media anual (C <sub>2</sub> )	°C
	Sensibilidad (B <sub>2</sub> )	Condiciones geográficas	Elevación (C <sub>3</sub> )	msnm
			Pendiente (C <sub>4</sub> )	°
			Cercanía a Lagunas (C <sub>5</sub> )	m
			Cercanía a ríos (C <sub>6</sub> )	m
			Fracción de cobertura vegetal (C <sub>7</sub> )	%
			Intemperismo (C <sub>8</sub> )	--
	Capacidad Adaptativa (B <sub>3</sub> )	Condiciones antrópicas	Densidad poblacional (C <sub>9</sub> )	Hab/km <sup>2</sup>
			Densidad animal (C <sub>10</sub> )	UO/Ha
			Cercanía a centros poblados (C <sub>11</sub> )	m
			Cercanía a Vías vecinales y trochas (C <sub>12</sub> )	m
			Cercanía a Vías nacionales y departamentales (C <sub>13</sub> )	m
			Áreas de reserva (C <sub>14</sub> )	--

### 3.6.1.1.1 DETERMINACIÓN DEL PESO DE CADA INDICADOR

#### A. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Utilizando el método AHP se clasificaron las variables en cuatro niveles (Figura 11). El primer nivel es la vulnerabilidad entorno integrado. El segundo nivel está compuesto por los componentes de vulnerabilidad: Exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. El tercer nivel consta de los factores concretos que afectan a la vulnerabilidad ecológica del medio ambiente. El cuarto nivel se compone de cada unidad de evaluación (pixel).

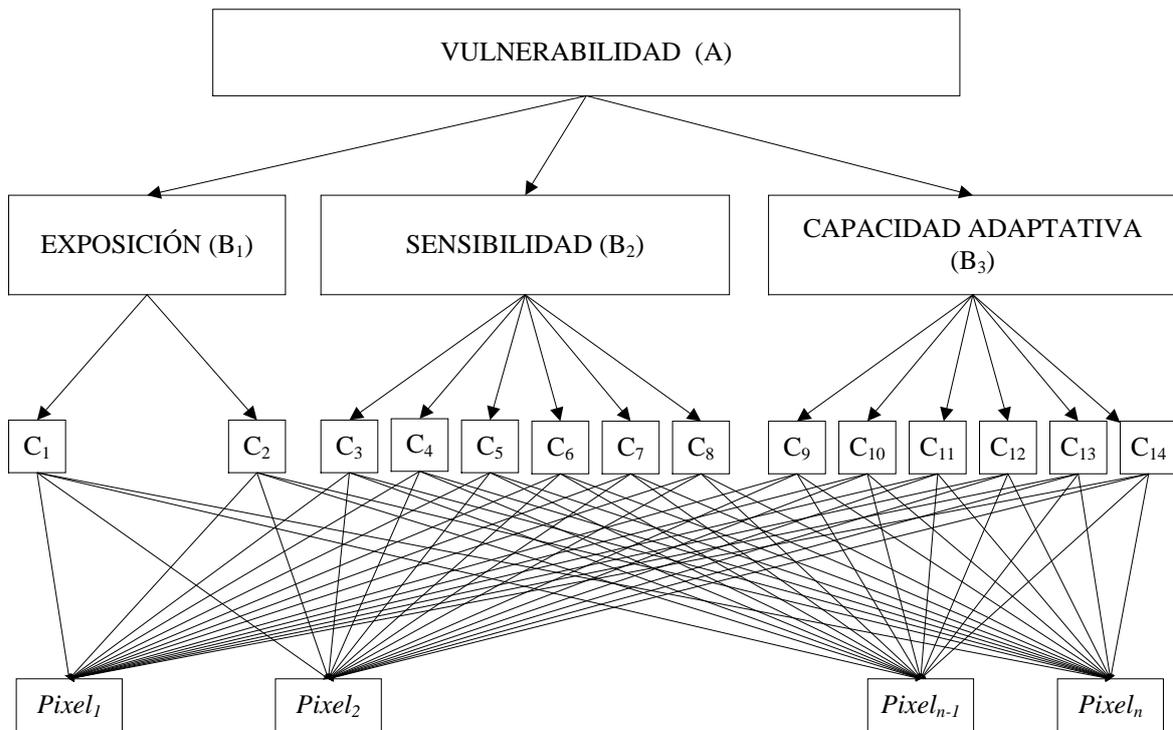


Figura 11. Estructura jerárquica para la estimación de la vulnerabilidad Eco-ambiental.

## B. MATRIZ DE COMPARACIONES PAREADAS

En este estudio, tres expertos fueron invitados como tomadores de decisiones. En relación al tipo de expertos, se trabajó con el siguiente equipo: experto en ecología de pastizales, experto en manejo de pastizales y experto en evaluación de pastizales. Los tres expertos tienen estudios realizados relacionados al tema de estudio y están familiarizados con los lugares de estudio, por lo tanto, podrían dar directamente las puntuaciones de comparaciones pareadas.

Se pidió a cada tomador de decisiones expresar la importancia relativa entre dos elementos de decisión desde el mismo nivel utilizando una escala de nueve puntos (Tabla 13). Las puntuaciones de las comparaciones por pares fueron tomadas y utilizadas para formar matrices de comparación para cada uno de los tomadores de decisiones, siendo las matrices de juzgamiento A-B, B<sub>1</sub>-C, B<sub>2</sub>-C y B<sub>3</sub>-C, luego el promedio geométrico de cada valor obtenido de los tres expertos se usó como valor de importancia para cada indicador (Deng et al., 2012).

Tabla 13. Escala de factores y su explicación en la matriz de comparaciones pareadas.

<b>Escala Numérica</b>	<b>Escala verbal</b>	<b>Explicación</b>
<b>1</b>	<b>Igual</b> importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
<b>2</b>	Entre igual y moderadamente preferible	
<b>3</b>	<b>Moderadamente</b> más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
<b>4</b>	Entre moderada y fuertemente preferible	
<b>5</b>	<b>Fuertemente</b> más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
<b>6</b>	Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	
<b>7</b>	<b>Mucho más fuerte</b> la importancia de un elemento que la del otro,	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
<b>8</b>	Entre muy fuertemente preferible y extremadamente preferible	
<b>9</b>	<b>Importancia extrema</b> de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Fuente: Adaptado de Saaty, 1986

### C. COMPROBACIÓN DE LA CONSISTENCIA

Se analizaron las matrices para determinar la consistencia de los puntajes para lo cual se comparó la prioridad de los elementos mediante el cálculo de autovalores y autovectores.

$$R \cdot w = \lambda_{max} \cdot w$$

Dónde:

$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  es el vector de prioridades locales medidas en escala de razón y normalizadas para tener unicidad.

$R=(r_{ij})$  es la matriz recíproca de comparaciones pareadas

$\lambda_{max}$  el autovalor principal.

Una forma sencilla de obtener el valor de  $\lambda_{max}$  si se conoce el valor exacto de  $w$  (o estimación) en forma normalizada, es sumar las columnas de  $A$  y multiplicar el vector resultante por el vector de prioridades  $w$ . En general, utilizando el teorema de Perron Frobenius, se puede probar que  $\lambda_{max} \geq n$  para el método de Saaty (Saaty, 1986).

El índice de consistencia (IC) y el ratio de consistencia (RC) es definido de la manera siguiente (Satty, 1977):

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}; \lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n B \cdot W_j}{n \cdot W_i}$$

$$RC = \frac{IC}{ICA_n}$$

Dónde:

n es el número de ítems a ser comparados en la matriz R

ICA<sub>(n)</sub> es el índice de consistencia aleatorio generado para una matriz de igual tamaño (Tabla 14).

B es el valor de la matriz de juzgamiento.

Si la RC < 0.1, la consistencia de los resultados se consideran aceptables y la distribución de pesos es la esperada, no obstante si el análisis de consistencia no es satisfactorio, los valores de importancia asignados en la matriz de comparaciones pareadas deben ser revisados por los tomadores de decisiones (Laarhoven, 1983).

Tabla 14. Índice de consistencia aleatorio.

Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
índice de consistencia aleatorio ICA(n)	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

### 3.6.2 NORMALIZACIÓN DE VARIABLES

En el proceso de evaluación de la vulnerabilidad eco ambiental, un paso fundamental es asegurar un sistema de medición estandarizada para todos los factores considerados. En este estudio la mayoría de las imágenes tienen valores de pixel en las unidades originales del mapa, tienen que ser estandarizados a una escala de clasificación uniforme, en este caso entre 1 y 5 para facilitar el análisis. La asignación de valores a los factores específicos requiere reglas de decisión específicos en la forma de umbrales para cada factor. Varias guías estadísticas y empíricas relacionadas con la literatura revisada se utilizaron para determinar los valores de límite. Como pauta general, se emplea una correlación positiva entre el valor

adjudicado y la vulnerabilidad. Los límites de clase y medidas estandarizadas empleadas para cada factor se muestran en la Tabla 15. Los números enteros que van de 1 a 5 fueron asignados como ligero, leve, moderado, pesado, extremo, respectivamente.

Tabla 15. Valores estandarizados de las variables de evaluación.

Factor	Puntaje				
	1	2	3	4	5
Precipitación anual	>1200	1000-1200	800-1000	600-800	<600
Temperatura media anual	>10	7-10	05-7	03-5	<3
Elevación	<3800	3800-4200	4200-4600	4600-5000	>5000
Pendiente	<6	7-15	15-25	25-40	>40
Cercanía a Lagunas	>1000	1000-3000	3000-5000	5000-10000	>10000
Cercanía a ríos	>500	500-1000	1000-2000	2000-3000	>3000
Fracción de cobertura vegetal	>0.82	0.75-0.82	0-6-075	0.3-0.65	<0.3
Intemperismo	9-10	7-8	5-6	3-4	1-2
Densidad poblacional	<2	02-05	05-10	10-20	>20
Densidad animal	<0.1	0.1-0.7	0.7-1.4	1.4-2.0	>2
Cercanía a centros poblados	>10000	5000-10000	3000-5000	1000-3000	<1000
Cercanía a Vías vecinales y trochas	>6000	3000-6000	1500-3000	500-1500	<500
Cercanía a Vías nacionales y departamentales	>20000	5000-20000	3000-5000	1000-3000	<1000
Áreas de reserva	PN	RP	RP	SP	SP

### 3.6.3 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO

Después de la estandarización de las variables, se calculó el Índice de Vulnerabilidad al cambio climático (IVC), utilizando la herramienta *Raster calculator* de ArcGIS 10.2, como plataforma de soporte para creación, edición de un mapa de vulnerabilidad. Utilizando los valores en una ecuación lineal ponderada y multiplicado por cada criterio por el peso asignado por el valor de escala para ese criterio y sumando los productos parciales de todos los parámetros de la siguiente manera:

$$IVC = \sum_{i=1}^n A_i W_j$$

Dónde:

$i$  es el número de indicador ( $i = 1,2,3,\dots,n$ ).

$A_i$  es el puntaje de cada componente.

$W_j$  es el peso de cada componente.

Una vez calculado el IVC en cada pixel de evaluación (30 x 30m), los diferentes niveles de vulnerabilidad se clasificaron con la función “Limites naturales”. Este método está basado en la teoría de optimización estadística de Jenks. Esto indica que la suma de la varianza de cada pixel se reduce al mínimo. (de Paz et al., 2006; Wang et al., 2005).

### 3.7 RELACIÓN ENTRE DEGRADACIÓN Y VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO

Para determinar la relación entre degradación y vulnerabilidad al cambio climático en este estudio se optó por utilizar los análisis de concordancias de Tau-b de Kendall y Tau-c de Kendall y las correlaciones de Spearman y la R de Pearson, para lo cual se creó una capa de puntos mediante la herramienta *Raster to point* del programa ArcGIS 10.2 y se extrajo los valores de degradación y vulnerabilidad de cada pixel mediante la herramienta *Multivalues to points*, para ser exportada a una tabla en formato DBF y procesada con la herramienta Análisis > Estadísticos descriptivos > Tablas de contingencia > Tau-b de Kendall, Tau-c de Kendall, Correlación de Spearman, R de Pearson, del paquete estadístico SPSS® V.22.

- **Tau-b de Kendall.** Medida no paramétrica de la correlación para variables ordinales o de rangos que tiene en consideración los empates. El signo del coeficiente indica la dirección de la relación y su valor absoluto indica la fuerza de la relación. Los valores mayores indican que la relación es más estrecha. Los valores posibles van de -1 a 1, pero un valor de -1 o +1 sólo se puede obtener a partir de tablas cuadradas.
- **Tau-c de Kendall.** Medida no paramétrica de asociación para variables ordinales que ignora los empates. El signo del coeficiente indica la dirección de la relación y su valor absoluto indica la fuerza de la relación. Los valores mayores indican que la relación es más estrecha. Los valores posibles van de -1 a 1, pero un valor de -1 o +1 sólo se puede obtener a partir de tablas cuadradas.
- **Correlaciones.** Para las tablas en las que tanto columnas como las filas contienen valores ordenados, las correlaciones da como resultado la rho, que es el coeficiente de correlación de Spearman (sólo datos numéricos). La rho de Spearman es una medida de asociación entre órdenes de rangos. Cuando ambas variables de tabla (factores) son cuantitativas, las correlaciones da como resultado  $r$ , que es el coeficiente de correlación de Pearson, que respresenta una medida de asociación lineal entre las variables.

Tabla 16. Rango de correlaciones.

<b>Valor</b>	<b>Significado</b>
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 SELECCIÓN DE VARIABLES QUE DETERMINAN LA DEGRADACIÓN

#### 4.1.1 ANÁLISIS FACTORIAL

El resultado del Análisis Factorial mostrado en la Tabla 17 utilizando como método de extracción la técnica de componentes principales muestran que los datos agrupados se adecuan a un modelo factorial (sig. 0.00) y representan una medida de adecuación muestral global aceptable para este modelo en todos los años evaluados ( $KMO > 0.5$ ), por lo cual podemos afirmar que las variables se encuentran intercorrelacionadas.

Tabla 17. Análisis factorial para la selección de variables evaluadas.

		Año				Prom
Variable		2011	2012	2013	2014	
MSA <sub>i</sub>	Precipitación anual (mm)	0.68	0.60	0.63	0.47	0.60
	Temperatura media anual (°C)	0.50	0.50	0.55	0.49	0.51
	Elevación (m.s.n.m)	0.50	0.50	0.56	0.48	0.51
	Pendiente (°)	0.49	0.53	0.64	0.50	0.54
	Cercanía a Lagunas (m)	0.68	0.71	0.61	0.70	0.68
	Cercanía a ríos (m)	0.86	0.84	0.76	0.86	0.83
	Fracción de cobertura vegetal (%)	0.79	0.77	0.80	0.82	0.80
	Intemperismo	0.68	0.61	0.40	0.48	0.54
	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )	0.68	0.63	0.69	0.72	0.68
	Densidad animal (UO/Ha)	0.76	0.72	0.78	0.66	0.73
	Cercanía a centros poblados (m)	0.70	0.68	0.77	0.77	0.73
	Cercanía a Vías vecinales y trochas (m)	0.69	0.63	0.65	0.67	0.66
	Cercanía a Vías nacionales y departamentales (m)	0.53	0.59	0.77	0.71	0.65
	Áreas de reserva	0.39	0.52	0.79	0.46	0.54
	Prueba de esfericidad de Bartlett		0.00	0.00	0.00	0.00
Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)		0.59	0.59	0.67	0.60	0.61
Varianza explicada (%)		69.46	62.33	69.17	68.14	67.28
Numero de components extraídos		5	4	5	5	4.75

En el análisis de Medida de Adecuación Muestral (MSAi) para cada variable, se considera eliminar una variable si durante al menos tres años de análisis presenta un valor de  $MSA_i < 0.5$ , dado que cada una presenta un valor mayor o cercano a 0.5. A pesar de que el KMO es bajo, las variables con valores de  $MSA < 0.5$  podrían ser eliminadas del análisis, no obstante este no es el caso, dado que el promedio de MSA de las variables para los cuatro años de estudio son mayores a 0.5, y según Visauta (1998), cuando una variable en análisis representa una importancia teórica en el desarrollo del estudio, debería reconsiderarse su eliminación (ANEXO 37, 38, 39, 40). Así mismo se observa que las variables en análisis podrían ser agrupadas en cinco componentes principales que explicarían el 67.28 % de la varianza total.

Este método de selección y agrupación de factores, ha sido ampliamente utilizado en estudios exploratorios de diversa temática en la selección de factores responsables de la covarianza total dentro de un grupo de variables independientes, siendo uno de los objetivos, la reducción de variables utilizadas con el fin de explicar relaciones entre variables, aplicable en el desarrollo de modelos explicativos, y de toma de decisiones en la gestión de pastizales, Rowan et al, (1994), logró agrupar y seleccionar 15 variables de un total de 31 distribuidas entre grupos de producción de forraje, pastoreo y técnicas de manejo de pastizales como factores principales a ser considerados en el diseño de un plan de manejo de pastizales.

## **4.2 MAPEO DE LA DEGRADACIÓN DE PASTIZALES**

### **4.2.1 CÁLCULO Y VALIDACION DE LA FRACCIÓN DE COBERTURA VEGETAL**

Los valores de  $NDVI_{\infty}$  y  $NDVI_S$  hallados en las áreas de suelo desnudo y de vegetación densa cercana a las transectas de muestreo el año 2014 fueron utilizados como referencia de validación para los valores de FCV halladas en las 32 transectas con 10 píxeles de observaciones por cada una, extrayéndose la información de estas áreas para los años anteriores. (Tabla 18).

Tabla 18. Valores de Valores NDVI – Vegetación (NDVI<sub>∞</sub>) y suelo (NDVI<sub>S</sub>) seleccionadas para el cálculo de FCV.

Año	NDVI <sub>∞</sub>	NDVI <sub>S</sub>	Diferencia
2011	0.6000	0.1200	0.4800
2012	0.6500	0.1200	0.5300
2013	0.6300	0.1400	0.4900
2014	0.6400	0.1300	0.5100
Promedio	0.6300	0.1275	0.5025

Los valores de FCV obtenidos en campo (FCV<sub>Evaluación</sub>) fueron contrastadas con los valores de FCV halladas mediante el procesamiento de imágenes Landsat (FCV<sub>Landsat</sub>) en diferentes modelos de regresión, siendo el modelo de regresión lineal, el mejor modelo que explica la relación entre la FCV<sub>Landsat</sub> y FCV<sub>Evaluación</sub> para el año 2014 (Figura 12). ( $R^2=0.868$ ,  $p<0.0001$ ; bias (%) = -2.035), entonces el modelo lineal puede ser expresado de la siguiente manera:

$$FCV_{Evaluación} = 0.8348 \times FCV_{Landsat} + 12.429$$

El valor de bias = -2.035, hallado en la validación de FCV en este estudio indica que el método utilizado subestima ligeramente la fracción de vegetación reportada en campo, que según Huete et al. (1985) puede ser explicado por un incremento no lineal de la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) cuando la cobertura vegetal se encuentra debajo de 90%, asociado a una acumulación rápida de biomasa verde con un ligero incremento gradual del porcentaje de cobertura.

El valor de bias se encuentra por debajo de los valores reportados por Jiang et al. (2006) que reporta valores de bias en diferentes tipos de cobertura contrastada con los modelos de estimación de FCV basados el índice de diferencia de vegetación escalonada (SDVI), relación de Gutman y Ignatov (1998), Carlson y Ripley (1997) y la desarrollada por Baret et al. (1995), con valores de -4.79%, 11.72%, 1.81%, 2.73% respectivamente. Xiao et al., (2005), utilizando el modelo de estimación de FCV propuesto por Gutman y Ignatov reporta valores de  $R^2$  en diferentes coberturas entre 0.71 y 0.89, y Li et al. (2011) reporta un  $R^2$  de 0.643.

Lobell y Asner (2004), sugieren que la relación entre fracciones de NDVI y extremos del índice no es lineal por lo tanto no debería ser utilizado en análisis espectrales mixtos (SMA) derivados de imágenes satelitales.

En este estudio se trabajó mediante el supuesto de que existe una relación lineal de la FCV, como una combinación lineal de valores de fracciones de NDVI de máxima vegetación y suelo desnudo, la fuerte relación observada entre  $FCV_{Landsat}$  y  $FCV_{Evaluación}$  (Fig. 20) muestra que la suposición lineal es válida para este estudio en particular.

Por otra parte Dymond et al. (1992), reporta que existen errores asociados al cálculo de FCV basados en NDVI, debido a una combinación de factores asociados a la variación espacial de la textura del suelo, tipo de vegetación, vigor de la vegetación, errores de localización de píxeles y cambios de tipo de cobertura entre la fecha de adquisición de las imágenes y la fecha de colección de datos en campo (ANEXO 41, 42).

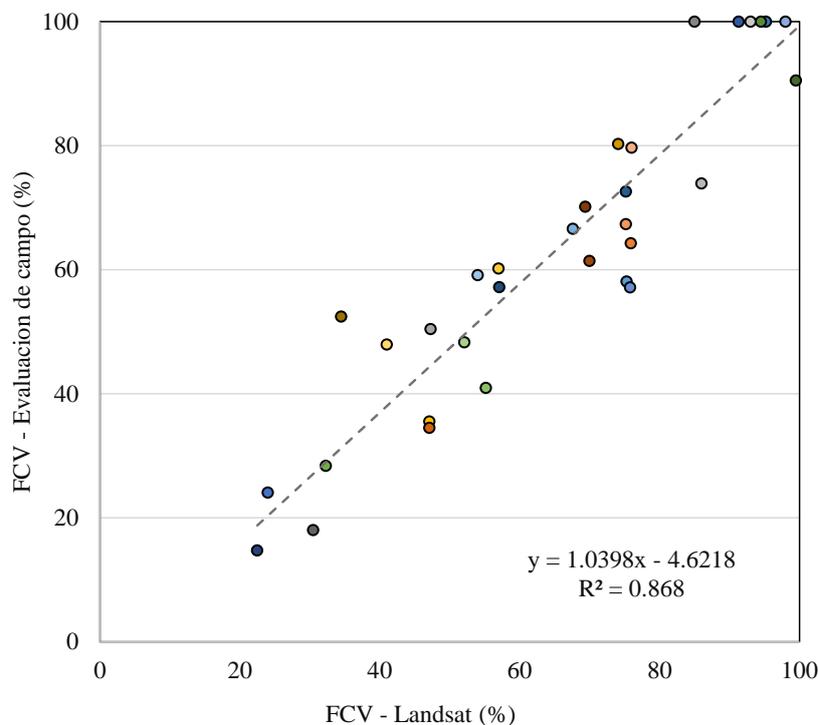


Figura 12. Relación entre FCV (%) estimada en campo y su homólogo derivado del NDVI de imágenes Landsat, ( $NDVI_{\infty}=0.6400$  y  $NDVIS=0.1300$ ).

#### 4.2.2 INTERPRETACION REMOTA DE LA DEGRADACION DE PASTIZALES

En los 4 años de análisis comprendidos en este estudio se halló que los pastizales altoandinos presentan diferentes grados de degradación, que no solo se extiende al entorno ecológico de las praderas, sino también sobre la comunidad que lo rodea.

La degradación de los pastizales altoandinos en base a los valores relativos de FCV sigue la siguiente secuencia: No degradado →Ligeramente Degradado →Moderadamente Degradado →Seriamente Degradado →Extremadamente Degradado (Gao et al., 2006).

Bajo este sistema de clasificación de la degradación de pastizales, del área total evaluada para el año 2011 se presentó una proporción de pastizales degradados entre seriamente degradado y extremadamente degradado, del 84.41 %, sumando un área de  $29.53 \times 10^4$  ha, incrementándose para el año 2012 en un 6.26 % llegando a cubrir el 90.68% del total de área evaluada. El año 2012, fue el que presento la mayor proporción de área degradada respecto a los demás años; para el año 2013 el porcentaje de áreas degradadas disminuyeron en un 16.45 %, con un incremento de 7.52 % para el año 2014 en el cual el la proporción de áreas degradadas alcanzo el 81.74% (ANEXO 33,34, 43).

En promedio el porcentaje de áreas extremadamente degradadas y seriamente degradadas abarcan un 82.76% del área de estudio total, seguido de un 3.56% de áreas con degradación moderada y un 2.47% de áreas con degradación ligera a no degradada (Tabla 19).

Tabla 19. Degradación de pastizales en áreas de Puna de las zonas de estudio.

		No degradado	Ligeramente Degradado	Moderadamente Degradado	Seriamente Degradado	Extremadamente Degradado
2011	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	0.98	1.46	3.01	15.19	14.34
	%	2.80	4.18	8.60	43.42	40.99
2012	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	0.40	0.80	2.06	16.44	15.28
	%	1.14	2.29	5.89	46.99	43.68
2013	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	1.62	2.16	5.23	16.83	9.13
	%	4.63	6.19	14.96	48.12	26.10
2014	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	1.05	1.41	3.93	18.75	9.84
	%	3.00	4.02	11.23	53.60	28.14
Prom	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	1.01	1.46	3.56	16.80	12.15
	%	2.89	4.17	10.17	48.03	34.73

La distribución espacio temporal de degradación (Figura 13) muestra una tendencia lineal de crecimiento de las áreas No degradadas, con Degradación Ligera, Moderada y Seria, en el periodo 2011 – 2014, siendo las áreas que presentan degradación extrema, las únicas con tendencia a disminuir su extensión debido posiblemente a un incremento de la precipitación anual en estas áreas; cabe resaltar el ajuste lineal de las áreas que presentan degradación seria ( $R^2 = 0.9397$ ).

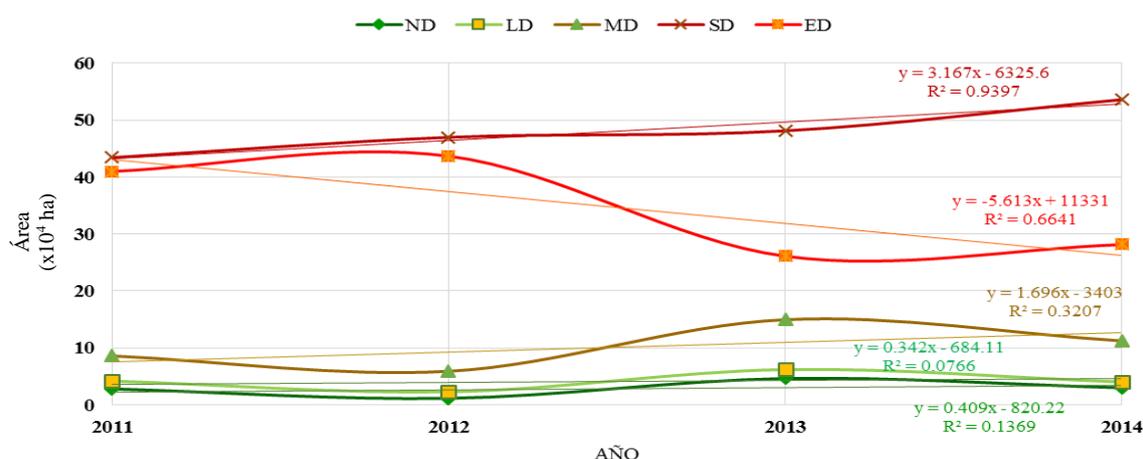


Figura 13. Dinámica de la degradación de pastizales para el periodo 2011 – 2014.

Nota: ED—Extremadamente degradado; SD—Seriamente degradado; MD—Moderadamente degradado; LD—Ligeramente degradado; ND—No degradado

En el año 2014 se observa que los pastizales de Recuay y Ticapampa presentan niveles de degradación similar, siendo la proporción de pastizales en degradación extrema y degradación seria dominantes, dado que comparten características climáticas y de topografía similar (Figura 14, 16 y Tabla 20). Estos resultados difieren ligeramente de la proporción presentada para el distrito de Olleros, el cual presenta una mayor área de pastizales no degradados, dado que su topografía comprende un mayor número de quebradas y áreas de vegetación correspondiente bofedales. La presencia de bofedales implica un mayor índice de FCV y esto puede significar una subestimación del grado de degradación. En Olleros se mantiene una proporción baja de pastizales ligeramente degradados y no degradados, la proporción de pastizales en degradación moderada en todas las áreas de estudio se consideran bajos en comparación a los trabajos desarrollados por Gao et al. (2006), por lo cual podemos afirmar que los pastizales de puna presentan una mayor proporción de áreas degradadas.

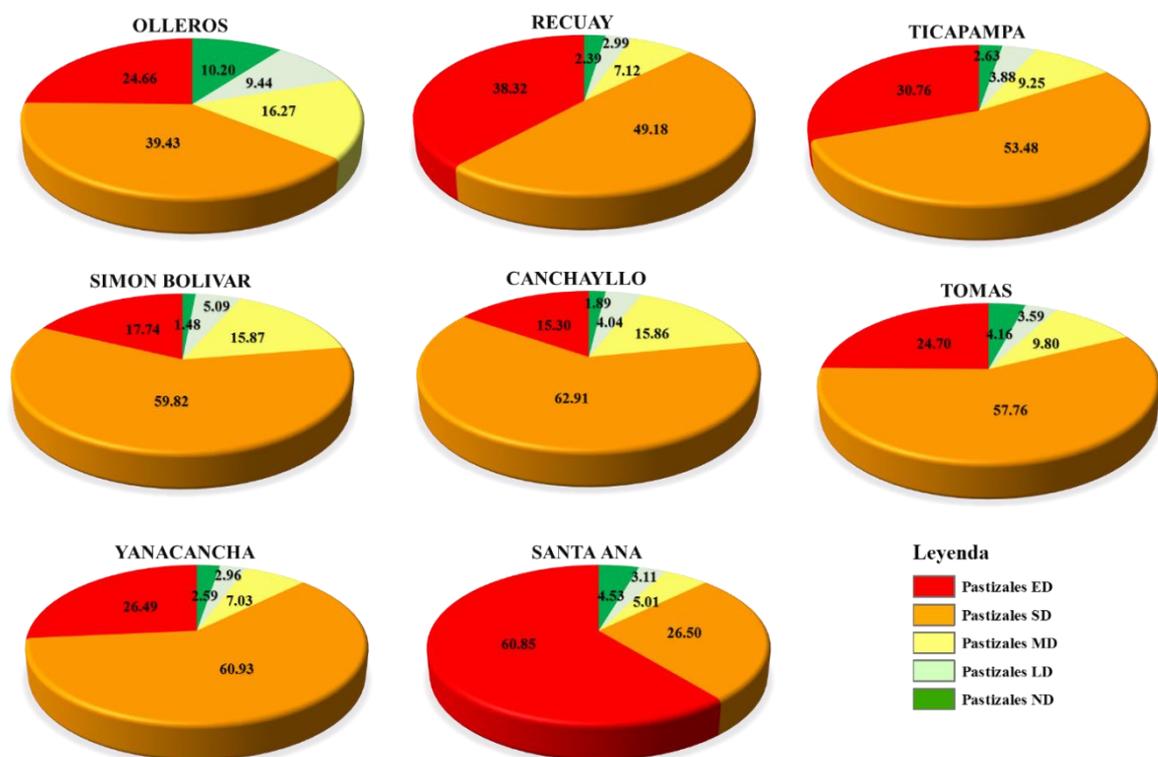
Tabla 20. Degradación de pastizales en áreas de Puna por zona de estudio en x10<sup>2</sup> ha.

Año	DEG.	Olleros	Recuay	Ticapampa	Simón Bolívar	Canchayllo	Tomas	Yanacancha	Santa Ana
2011	ND	30.22	6.19	7.70	22.26	4.97	3.30	8.91	14.50
	LD	24.93	8.37	10.60	63.48	8.24	3.44	15.02	12.28
	MD	29.12	16.10	20.45	150.88	23.35	7.08	33.22	20.64
	SD	45.16	44.23	45.17	324.70	469.64	113.63	340.21	136.04
	ED	27.29	16.39	17.34	97.51	357.16	154.97	350.13	412.94
2012	ND	3.72	0.15	0.44	7.96	2.61	3.09	9.02	12.98
	LD	5.51	0.60	0.72	30.62	6.10	3.82	18.56	14.15
	MD	10.21	1.46	2.39	97.51	20.74	8.17	42.37	23.24
	SD	64.07	17.19	27.59	418.78	451.55	126.03	399.47	138.96
	ED	73.22	71.88	70.11	103.97	382.35	141.32	278.06	407.07
2013	ND	23.06	2.71	4.98	22.25	33.76	10.18	36.83	28.23
	LD	18.78	2.93	5.75	60.76	61.53	9.15	39.03	18.56
	MD	27.93	6.38	12.90	148.45	193.22	22.85	82.02	29.45
	SD	53.91	41.80	50.24	339.17	437.50	159.69	455.42	145.33
	ED	33.05	37.47	27.39	88.20	137.35	80.56	134.19	374.83
2014	ND	15.98	2.19	2.66	9.75	16.32	11.75	19.36	27.00
	LD	14.79	2.73	3.92	33.54	34.92	10.13	22.15	18.57
	MD	25.51	6.50	9.37	104.55	136.91	27.67	52.54	29.88
	SD	61.81	44.89	54.15	394.11	543.10	163.13	455.44	158.04
	ED	38.65	34.98	31.15	116.89	132.10	69.75	198.00	362.91

Nota: ED—Extremadamente degradado; SD—Seriamente degradado; MD—Moderadamente degradado; LD—Ligeramente degradado; ND—No degradado

El distrito de Simón Bolívar presenta una proporción de 59.82% de áreas de pastizales seriamente degradados, seguido de un 17.74% de áreas en degradación extrema, superando la estimación promedio de 60% de áreas degradadas por Flores (1996). Este distrito tiene la menor proporción de áreas no degradadas reportadas.

Los pastizales de los distritos de Canchayllo, Yanacancha y Tomas, presentan grados de degradación similares, dado que las condiciones ambientales son similares. Sin embargo, el distrito de Tomas presenta una mayor proporción de pastizales en degradación extrema a pesar que gran parte de estos pastizales se encuentran dentro de una reserva paisajística.



Nota: ED—Extremadamente degradado; SD—Seriamente degradado; MD—Moderadamente degradado; LD—Ligeramente degradado; ND—No degradado.

Figura 14. Proporción de diferentes grados de degradación de pastizales altoandinos en el año 2014.

El distrito de Santa Ana presenta una mayor proporción de pastizales en estado de degradación extrema (60.85%), no obstante también se ubica en el segundo lugar en poseer una proporción de pastizales no degradados (4.53%) después de Olleros (10.20%), dado que en Santa Ana se presentan bofedales en grandes extensiones.

Los distritos de Olleros, Recuay y Ticapampa tienen una menor extensión que los distritos de Simón Bolívar, Canchayllo, Tomás Yanacancha y Santa Ana (Figura 15); por lo que Sta. Ana sería el distrito con mayor número de hectáreas de pastizales en Degradación extrema y No degradados y Canchayllo con una mayor extensión de pastizales en degradación seria, seguido de Yanacancha y Simón Bolívar.

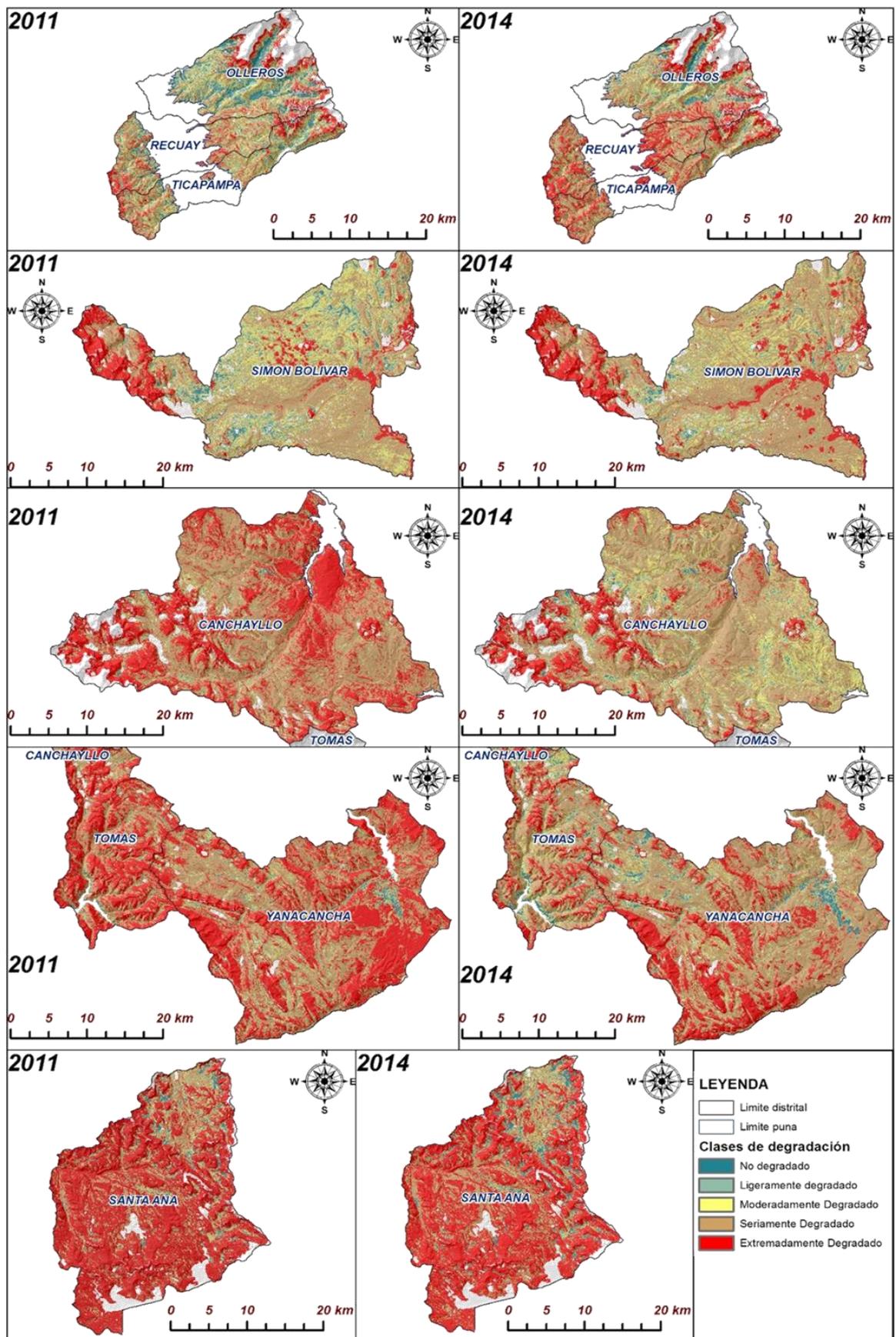


Figura 15. Mapas de degradación de pastizales altoandinos en los distritos estudiados en los periodos 2011 y 2014.

La comparación basada en proporciones y áreas separadamente genera confusión al momento de clasificar el grado de degradación de las zonas de estudio, por lo cual las proporciones de pastizales degradados requieren ser comparados en función a su extensión y proporción de degradación conjuntamente, para luego generar un ranking.

#### 4.2.2.1 INDICE DE DEGRADACION DE PASTIZALES

En base a la distribución proporcional de degradación de pastizales, y la extensión en hectáreas de las zonas de estudio se calculó el Índice de degradación de pastizales (IDP), para cada año obteniéndose un valor promedio de 4.08 para el área total en los cuatro años de evaluación. El año 2012 fue el año con mayor índice de degradación con un valor de 4.30, y el menor fue el año 2013, con un valor de 3.85, el cual se encontraría en un grado de degradación seria. En el año 2014, la degradación cambió a extrema. En resumen los pastizales evaluados en su totalidad se encuentran en promedio en estado de degradación extrema (Figura 16).

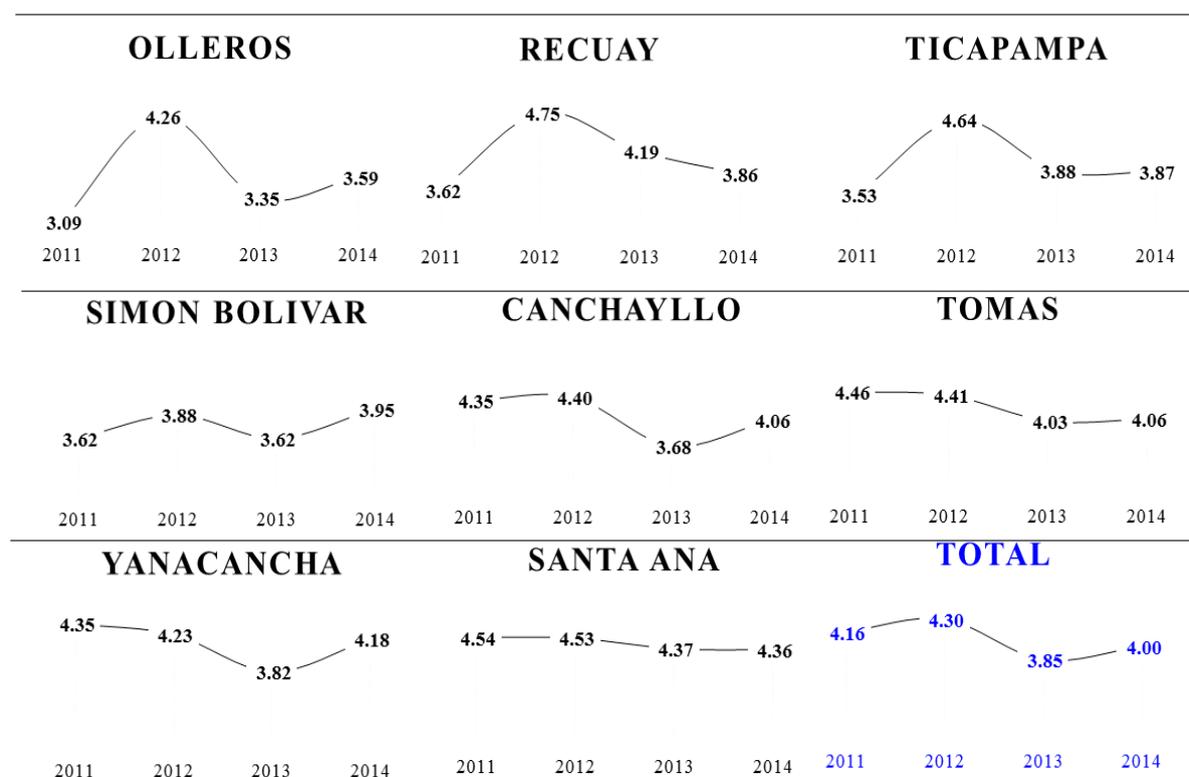


Figura 16. Dinámica del Índice de Degradación de Pastizales (IDP) en los distritos estudiados.

El análisis individual del IDP para cada zona por época evaluada muestra que los distritos de Olleros, Recuay, Ticapampa y Simón Bolívar presentan una tendencia a incrementar el

IDP. Por otra parte Canchayllo, Tomas, Yanacancha y Santa Ana, presentan una tendencia a disminuir el IDP. La tendencia general del IDP, es de disminuir el IDP en todas las zonas.

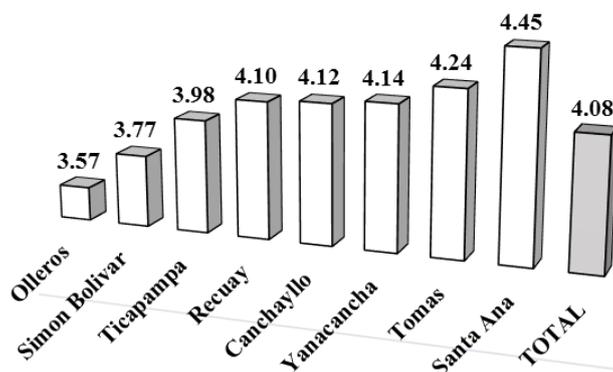


Figura 17. IDP promedio de las zonas estudiadas.

El rango individual promedio del IDP por zona de estudio oscila entre 3.57 y 4.45, en el cual el distrito de Olleros es el que presenta menor índice de degradación con 3.57, seguido del distrito de Simón Bolívar con 3.77 y Ticapampa con 3.98, hallándose dentro de la categoría de Degradación seria. Los distritos de Recuay, Canchayllo, Yanacancha, Tomas y Santa Ana se encuentran con un índice de degradación extrema, siendo el distrito de Santa Ana es el que posee el mayor índice de degradación con 4.45 (Figura 17).

#### 4.3 ANALISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE FACTORES DETERMINANTES DE LA DEGRADACIÓN

Los resultados, muestran que el modelo de regresión logística multinomial se ajusta a los datos analizados ( $X^2 = 5053109,206$   $gl=68$ ,  $p<0.001$ ); así mismo presenta una bondad de ajuste general de Pearson significativo, ( $p<0.001$ ), y el valor de  $R^2$  de Cox y Snell, indica que el modelo explica un 72.8% de la varianza de la variable dependiente,  $R^2$  de Nagelkerke, 80.5%, y  $R^2$  de McFadden, el 55.5% (ANEXO 44). En la Tabla 21 se muestra los valores de la intersección por estado de degradación de pastizales y los coeficientes asociados a cada variable de análisis.

El análisis de regresión logística multinomial indica que en función de las variables predictoras utilizadas en el modelo existe un 80.20% de probabilidad de acertar en el resultado del grado de degradación de un pixel aleatorio, cuando se conoce los valores de las variables predictoras utilizadas (ANEXO 45),

Para contrastar el grado de acierto entre la degradación basado en FCV y el hallado mediante el modelo de regresión logística multinomial se aplicó adicionalmente el análisis Kappa donde se obtuvo un valor considerable (66.64%), el cual le da mayor confiabilidad al modelo (ANEXO 46).

Se halló que el valor de Wald para la mayoría de las variables probadas en los diferentes grados de degradación aportan significativamente a la predicción del grado de degradación ( $p < 0.001$ ), siendo la excepción la influencia del grado de intemperismo en áreas con degradación seria ( $p < 0.024$ ), por lo cual los resultados obtenidos pueden ser generalizados a la totalidad de los píxeles en estudio.

Tabla 21. Coeficientes estimados y ratio de odds de la regresión logística multinomial (todos los coeficientes son significativos  $p < 0.01$ ).

	LD		MD		SD		ED	
	Coef.	Odds	Coef.	Odds	Coef.	Odds	Coef.	Odds
Intersección	23.19		34.01		-3.62		-53.51	
Precipitación anual (mm)	6.40E-04	1.00	1.81E-03	1.00	4.34E-03	1.00	0.01	1.01
Temperatura media anual (°C)	-0.45	0.64	-0.51	0.60	1.08	2.93	2.71	15.08
Elevación (msnm)	-3.38E-03	1.00	-4.68E-03	1.00	2.75E-03	1.00	0.01	1.01
Pendiente (°)	-0.02	0.98	-0.01	0.99	2.20E-03	1.00	0.01	1.01
Intemperismo	0.03	1.03	3.93E-03	1.00	-0.06	0.94	-0.11	0.89
Distancia a Lagunas (m)	-1.70E-04	1.00	0.00	1.00	-2.95E-04	1.00	0.00	1.00
Distancia a ríos (m)	-2.01E-04	1.00	-1.76E-04	1.00	1.29E-04	1.00	1.53E-04	1.00
FCV 2011	-5.09	0.01	-9.61	0.00	-16.58	0.00	-26.72	0.00
FCV 2012	-1.93	0.15	-2.99	0.05	-5.31	0.00	-9.07	0.00
FCV 2013	-3.25	0.04	-7.99	0.00	-15.26	0.00	-22.4	0.00
Densidad poblacional (Hab/km <sup>2</sup> )	0.09	1.10	0.16	1.17	0.25	1.28	0.35	1.42
Distancia Vías nacionales y departamentales (m)	1.13E-04	1.00	1.84E-04	1.00	2.64E-04	1.00	3.45E-04	1.00
Distancia Vías vecinales y trochas (m)	1.09E-04	1.00	2.40E-04	1.00	2.96E-04	1.00	2.81E-04	1.00
Distancia a centros poblados (m)	6.29E-05	1.00	1.26E-04	1.00	1.81E-04	1.00	3.12E-04	1.00
Densidad animal (UO/Ha)	0.39	1.47	0.88	2.40	1.85	6.38	2.81	16.55
Áreas de Reserva (0 : Sin protección)	0.78	2.19	1.08	2.95	0.78	2.18	1.07	2.92
Áreas de Reserva (1 : Reserva paisajística)	0.49	1.63	1.1	3.00	1.37	3.92	2.19	8.89
Áreas de Reserva (2 : Parque nacional)	0b		0b		0b		0b	
	Exactitud global				80.20%			
	Índice de Kappa				66.64%			

Nota: ED—Extremadamente degradado; SD—Seriamente degradado; MD—Moderadamente degradado; LD—Ligeramente degradado; ND—No degradado.

Cuando interpretamos las odds ratios de cada variable, se asume que el resto de variables independientes se mantienen fijas. Interpretaremos cada una de las variables independientes entre los distintos tipos de degradación tomando como referencia “No degradado”.

#### **4.3.1 PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)**

Los resultados se presentan considerando un aumento en 1 mm de la precipitación anual, por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(1*b)$ . A medida que aumenta en 1 mm la precipitación anual, la ventaja de presentar degradación ligera frente a no estar degradado queda multiplicado por 1.001 veces, ( $\exp(1* 0.00064)$ ). La ventaja de un área de presentar degradación moderada, seria y extrema se multiplica por 1.002, 1.004, y 1.007 veces respectivamente, frente a no presentar degradación, a medida que aumenta en 1 mm la precipitación anual. Es decir, si se incrementa la precipitación en áreas de degradación extrema, el daño es más perjudicial dado que en áreas donde la cobertura vegetal es escasa, las fuertes lluvias pueden contribuir a la pérdida de la fertilidad del suelo por erosión y lixiviación. Por otra parte, las altas precipitaciones durante períodos cortos pueden influir en la compactación de los suelos.

Estos resultados concuerdan con el obtenido por Padilla et al. (2009) quien afirma que las sequías prolongadas pueden reducir el vigor y la capacidad de competencia del pastizal, dejando espacios abiertos para el establecimiento de plantas invasoras y el período seco puede ser decisivo también al desencadenar el proceso de ocupación de áreas por plantas invasoras en pastos previamente empobrecido por la quema u otros factores de estrés. El exceso de humedad durante la época lluviosa también puede favorecer la proliferación de plagas y enfermedades.

#### **4.3.2 TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)**

Los resultados se presentan considerando un aumento en 1 °C de la temperatura media anual, por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(1*b)$ . A medida que aumenta un 1 grado la temperatura media anual, la ventaja de presentar degradación ligera frente a no estar degradado queda multiplicado por 0.637 veces, ( $\exp(1* -0.45044)$ ). La ventaja de un área de presentar degradación moderada, se multiplica por 0.603 veces respectivamente, frente a no presentar degradación, a medida que aumenta en un 1°C la temperatura media anual, esto indica que un incremento de la temperatura en estas áreas contribuye a su mejora siendo probable el cambio a un grado de degradación menor.

Por otra parte un incremento de la temperatura afectaría en mayor medida a áreas con degradación seria ( $e^{\beta} = 2.935$ ), o extrema ( $e^{\beta} = 15.079$ ), acentuando su efecto especialmente en áreas de degradación extrema donde las probabilidades llegan a incrementarse hasta 15 veces que mayores niveles de temperatura favorecen la probabilidad de presentar una mayor degradación en estas áreas, dado el caso de que las tasas de descomposición aumentan rápidamente con la temperatura, siempre que haya suficiente agua (Schimel, 1988; Holland et al., 1992; Ojima et al., 1993; Parton et al., 1993; Townsend et al., 1992; Burke et al., 1995), y estas áreas se caracterizan por tener baja cantidad de agua en el suelo, por lo cual el efecto sería adverso.

La temperatura también afecta a la composición de especies C3 / C4 de praderas (Sims, 1988) debido a las diferencias en las condiciones óptimas de crecimiento. La distribución (Terri y Stowe, 1976; Tieszen et al., 1979) y las actividades de temporada de gramíneas C3 y C4 (Kemp y Williams, 1980; Hicks et al., 1990), a menudo están altamente correlacionados con la temperatura. Sin embargo, esto no es necesariamente igual para las plantas dicotiledóneas tales como las legumbres (Ehleringer y Field, 1993), por lo cual la respuesta también debería centrarse en futuros trabajos en la composición probable de especies por pixel.

### **4.3.3 ELEVACIÓN (msnm)**

Los resultados se presentan considerando un aumento en 1 m en elevación del área, por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(1*b)$ . A medida que aumenta un 1 m elevación del área, la ventaja de presentar degradación ligera frente a no estar degradado queda multiplicado por 0.997 veces, ( $\exp(1* -0.0047)$ ). La ventaja de un área de presentar degradación moderada, se multiplica por 0.995 veces respectivamente, frente a no presentar degradación, a medida que aumenta en un 1 m elevación del área. Es decir, a menor elevación es probable una mejora en el estado de degradación del área, siendo posible el cambio a un estado de menor degradación.

Para el caso de áreas con degradación seria ( $e^{\beta} = 1.003$ ) y extrema ( $e^{\beta} = 1.012$ ), se observa una relación directa, siendo mayor la probabilidad de incrementar el grado de degradación conforme se incrementa la elevación del área. Dado que la vegetación y la capacidad de regeneración del suelo en pastizales degradados están restringidas por las condiciones

climáticas y topográficas, estos impactan directamente en la desertificación, y reducción a largo plazo en la cantidad o diversidad de la vegetación natural (UNEP 1992) y la alteración del ciclo hidrológico (Roth et al., 1996).

#### **4.3.4 PENDIENTE (°)**

Al igual que factores anteriormente descritos los resultados se presentan considerando un aumento en un 1% de la pendiente del área en grados, por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(1 \cdot b)$ . Entonces a medida que aumenta un 1 grado la pendiente del área, la ventaja de presentar degradación ligera y moderada frente a no estar degradado queda multiplicado por 0.981 y 0.991 veces respectivamente, hallándose una relación inversa. Esto significaría que pese a que los pastizales, ubicadas en pendientes empinadas de zonas semiáridas, son propensos a la erosión del suelo, el pastoreo continuo y el sobrepastoreo reducirían la cobertura vegetal que protege el suelo, causando la erosión del suelo y compactación en áreas de baja pendiente dado que son más accesibles. (Branson et al., 1981).

El ganado tiende a congregarse en áreas planas, tales como lechos de arroyos, zonas ribereñas, y cimas, evitando el pastoreo en áreas que tienen pendientes más pronunciadas (Holechek et al., 1999). Tal es el caso de que pastizales en estado de degradación seria ( $e^{\beta} = 1.002$ ) o extrema ( $e^{\beta} = 1.007$ ), ya que la degradación se agravaría conforme la pendiente se incrementa, siendo mayor esta probabilidad en áreas con degradación extrema. Una razón es que los factores y procesos de formación de suelo asociado a la pendiente promueven diferencias en las propiedades del suelo (Brubaker et al., 1993) y la producción primaria (Jones et al., 1989).

La intensidad de pastoreo es mayor al pie de las colinas respecto a partes elevadas (Liao et al., 2003; Oztas et al., 2003). Por lo cual los efectos de las actividades humanas son mayores en los lugares con menor elevación y pendiente. En adición a la pendiente, la orientación y elevación influyen en las propiedades químicas del suelo y el crecimiento de las plantas afectando la distribución de la energía, nutrientes y vegetación y a su vez la actividad orgánica, procesos de escorrentía, drenaje natural, y exposición del suelo al viento y la precipitación (Buol et al., 1989).

#### 4.3.5 INTEMPERISMO

Los resultados consideran un aumento en un 1 grado de erosión según la escala de intemperismo, por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(1*b)$ . Entonces a medida que aumenta en 1 el valor de la escala de intemperismo, la ventaja de presentar degradación ligera frente a no estar degradado queda multiplicado por 1.032, lo cual indica que a formaciones fácilmente meteorizables influyen directamente sobre la degradación del pastizal, dado que son los principales formadores del suelo en el área (King y Hobbs, 2006). Presentar degradación moderada, resulta no estar relacionado con el grado de intemperismo ( $p=0.024$ ).

Por otra parte un incremento del índice de intemperismo afectaría en mayor medida a áreas con degradación seria ( $e^\beta = 0.939$ ), o extrema ( $e^\beta = 0.892$ ), considerando que sería beneficioso siempre en cuando las formaciones sean resistentes a la erosión, dado que la exposición del suelo puede acelerar el potencial de los procesos de erosión hídrica y eólica, y puede conducir a la pérdida de suelo. Los procesos de erosión acelerada, junto con la compactación del suelo por los animales de pastoreo, pueden reducir la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, reduciendo el desarrollo radicular de la planta, el crecimiento, ciclo de nutrientes y capacidad de almacenamiento (Wilcox et al., 1988; McGinty et al, 1995). Este proceso es conocido como “espiral de degradación”, que es un conjunto de procesos escalonados que se retroalimentan y conllevan a la degradación de los pastizales (King y Hobbs, 2006; Whisenant, 1999). Sin embargo, hay pocos estudios relativos a este proceso como la causa de la degradación en comparación con la erosión.

#### 4.3.6 DISTANCIA A LAGUNAS Y RÍOS

Los resultados consideran un aumento en 30 m de distancia a un río, dado que este valor es coincidente con la resolución espacial de un pixel Landsat TM por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(30*b)$ . A medida que la distancia del pastizal al río se incrementa en 30 m, la ventaja de presentar degradación ligera y moderada frente a no estar degradado queda multiplicado por 0.994 y 0.995, respectivamente, siendo probable un cambio de una categoría de menor de degradación, cuando se aleja de una fuente de agua.

Para el caso de áreas con degradación seria ( $e^{30*\beta} = 1.004$ ) y extrema ( $e^{30*\beta} = 1.005$ ), se muestra que las probabilidades de seguir degradándose se incrementan, especialmente en

áreas de degradación extrema, si el pastizal se halla más alejado de un río. Un comportamiento diferente se observa cuando la distancia se incrementa respecto a las lagunas, , donde la ventaja de presentar degradación ligera, moderada, seria y pesada queda multiplicada por ,0.995, 0.993, 0.991 y 0.990 respectivamente, mejorando la posibilidad de que un pastizal se encuentre menos degradado cuando la fuente de agua cercana es una laguna.

Los resultados hallados para el caso de distancia a ríos concuerdan con lo reportado por Pinchak (1991), quien afirma que en zonas con topografía diversa, el ganado sobreutiliza las áreas planas adyacentes a las fuentes de agua, conduciendo al sobrepastoreo y degradación de la tierra, dando lugar a un eventual deterioro de la salud de los pastizales, a pesar de que la oferta de forraje sea la adecuada para el ganado en pastoreo.

Por otro lado, Shang y Long, (2005) consideran el retroceso glaciario como entre las causas directas de la degradación de pastizales, particularmente en áreas conocidas como "playas negras", que son zonas altamente erosionadas en lugares elevados. Aunque el retroceso de los glaciares tendrá, impactos sobre el ciclo hídrico (en particular para los usuarios aguas abajo), no está claro cómo la pérdida de glaciares en sí afectaría a las condiciones de los pastizales, ni cuál es el mecanismo directo.

#### **4.3.7 FRACCIÓN DE COBERTURA VEGETAL (%)**

Se evaluó un aumento en un 1 % de la cobertura vegetal basado en datos de píxeles de tres años anteriores a la fecha de evaluación, por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(1 \cdot b)$ .

Entonces a medida que el porcentaje en cobertura vegetal se incrementa en 1%, la ventaja de presentar degradación ligera frente a no estar degradado queda multiplicado por 6.18E-03, 1.45E-01 y 3.88E-02, para los años 2011, 2012 y 2013, respectivamente, siendo probable un cambio a una categoría menor de degradación.

Para áreas con degradación moderada si el porcentaje en cobertura vegetal se incrementa en 1%, la ventaja de presentar degradación moderada frente a no estar degradado queda multiplicado por 6.68E-05, 5.03E-02, 3.40E-04, para los años 2011, 2012 y 2013, respectivamente, siendo probable un cambio a una categoría menor de degradación.

Para áreas con degradación seria, si el porcentaje en cobertura vegetal se incrementa en 1%, la ventaja de presentar degradación seria frente a no estar degradado queda multiplicado por 6.31E-08, 4.94E-03, 2.36E-07, para los años 2011, 2012 y 2013, respectivamente, siendo probable un cambio a una categoría menor de degradación.

Para áreas con degradación extrema si porcentaje en cobertura vegetal se incrementa en 1%, la ventaja de presentar degradación extrema frente a no estar degradado queda multiplicado por 2.49E-12, 1.15E-04, 1.86E-10, para los años 2011, 2012 y 2013, respectivamente, siendo probable un cambio a una categoría menor de degradación.

Para todos los casos analizados se halla un cambio de categoría de degradación en cuanto se incrementa la FCV, siendo los tres años anteriores altamente significativos sobre su categorización actual. Tucker et al. (1991), afirma que la cobertura vegetal de los pastizales tiene relación con la biomasa verde que está asociada a las precipitaciones, las cuales generan una respuesta rápida en las gramíneas anuales atribuyendo estas fluctuaciones a una variación climática más que a un efecto antrópico.

Li et al. (2002) y Xie (2009) afirman que el suelo y la vegetación son dos componentes que interactúan, y no pueden ser divididos dado que cualquier impacto sobre uno de ellos inducirá a cambios de la otra. Especialmente cuando la cobertura de vegetación herbácea es baja, entonces el suelo se seca y la retención de agua disminuyen drásticamente (Wang, 2003). Por esta razón, el cambio de retención de agua en el suelo tiene estrecha relación con los cambios en la vegetación de pastizales.

#### **4.3.8 DENSIDAD POBLACIONAL (Hab/km<sup>2</sup>)**

Se consideró un aumento en un 1 hab/km<sup>2</sup>, por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(1*b)$ . A medida que aumenta en 1 hab/km<sup>2</sup> la densidad poblacional, la ventaja de presentar degradación ligera frente a no estar degradado queda multiplicado por 1.098 veces, ( $\exp(1*0.093738)$ ). La ventaja de un área de presentar degradación moderada, seria y extrema se multiplica por 1.171, 1.281, y 1.415 veces respectivamente, frente a no presentar degradación, a medida que aumenta en 1 hab/km<sup>2</sup> la densidad poblacional.

Para todos los grados de degradación analizados, se halló que a medida que se incrementa la densidad poblacional, se incrementa el grado de degradación, siendo resaltante el caso de áreas con degradación extrema, donde la probabilidad de encontrarse en este estado de degradación, respecto a un área no degradada se incrementa hasta en 1.4 veces.

Talbot (1986) menciona que el incremento de las poblaciones humanas, intensifica la demanda de los recursos de los pastizales más allá de la capacidad de las tierras y de los sistemas de gestión tradicionales. El incremento del número de cabezas de ganado que sobrepasa la capacidad de carga de los pastizales por la expansión de la frontera agrícola en centros poblados con mayor densidad, es agravado por una creciente presión demográfica, siendo con demasiada frecuencia el resultado, la hambruna.

Pardini (2009) menciona que en el pasado la baja densidad poblacional y las tecnologías primitivas disponibles en el pasado mantuvieron la capacidad de los pastizales para sustentar la vida sin cambios durante muchos siglos. Liao et al. (2003) indica que los pastores generalmente viven en las terrazas aluviales cercanas a fuentes de agua en el inicio de los valles; y que la densidad poblacional es mayor a menor altitud.

#### **4.3.9 DISTANCIA A CENTROS POBLADOS (m)**

Con respecto a la distancia a centros poblados se presentarán los resultados considerando un aumento en 30 m de distancia a centros poblados, dado que este valor es coincidente con la resolución espacial de un pixel Landsat TM por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(30*b)$ .

A medida que la distancia del pastizal a un centro poblado se incrementa en 30 m, la ventaja de presentar degradación ligera, moderada, seria y extrema frente a no estar degradado queda multiplicado por 1.002, 1.004, 1.005 y 1.009, respectivamente, siendo la tendencia creciente, por lo tanto existe una relación directa entre una mayor distancia a un centro poblado y mayor degradación del área, el cual difiere de lo mencionado por Liu et al. (2000), quien afirma que la degradación de pastizales tiene una relación lineal con la distancia de los asentamientos, dado que cuanto más cerca este el centro poblado a las zonas de pastoreo, será mayor el tránsito y el efecto del pisoteo.

Leggett et al. (2004), en un estudio de movimiento de animales demostró que los animales domésticos, vacunos, asnos, caballos, ovejas y cabras que viven cerca de los centros poblados y a fuentes de agua, pastorean todo el año, y que el movimiento del ganado es altamente dependiente de la distribución de forraje, alcanzando un rango máximo de 5 – 7 Km durante la estación seca. En el caso de caballos y asnos su distribución está asociada directamente a la densidad poblacional y fuentes de agua.

No obstante, en las áreas evaluadas se observó una mayor presencia de cobertura vegetal cerca a las estancias de pastores, especialmente en las áreas donde el ganado duerme generando un incremento de la materia orgánica en el suelo, la cual es conocida en la práctica como majadeo (Rodríguez, 2006). Esta actividad es realizada involuntariamente por los pastores, a pesar del impacto sobre la vegetación por el hecho de que el ganado duerma en estas. Urbano (1985) reporta que la técnica de majadeo con ganado ovino a una densidad de 1 UO/m<sup>2</sup> permite una acumulación de estiércol de hasta 8 t/ha por noche; sin embargo, no hay estudios que corroboren cifras exactas el aporte de materia orgánica al suelo.

#### **4.3.10 DISTANCIA VÍAS NACIONALES – DEPARTAMENTALES Y VECINALES - TROCHAS (m)**

La distancia a vías de acceso a las áreas de pastizal consideró un aumento en 30 m de distancia a dichas vías, dado que este valor es coincidente con la resolución espacial de un pixel Landsat TM por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(30*b)$ .

Entonces a medida que la distancia del pastizal a una vía nacional o departamental incrementa en 30 m, la ventaja de presentar degradación ligera, moderada, seria y extrema frente a no estar degradado queda multiplicado por 1.003, 1.006, 1.008 y 1.010 respectivamente, siendo la tendencia creciente. Es decir, existe una relación directa entre una mayor distancia a una vía nacional o departamental y una mayor degradación del área, siendo esta tendencia creciente, especialmente para las clases de degradación seria y extrema.

Para el caso de distancia a vías vecinales y trochas se aplica el mismo criterio siendo la ventaja de presentar degradación ligera, moderada, seria y extrema frente a no estar degradado multiplicado por 1.003, 1.007, 1.009 y 1.008, esta tendencia es la misma que para vías nacionales y departamentales.

La mayoría de los estudios sugieren que la construcción de carreteras es un factor de fragmentación de ecosistemas, que afecta la dinámica de la fauna (Forman et al., 2002), incrementa especies invasoras (Forman, 2000) y promueve la degradación asociada a el incremento de la actividad humana en estas áreas (Gao et al., 2007). Sin embargo, algunos estudios encuentran que los caminos no conducen necesariamente a la destrucción de pastizales (Zhang et al., 2002, Williams et al., 2006). El impacto de las carreteras en los pastizales depende del tipo de carretera y el tipo de pastizal. En un estudio en la región de origen del río Amarillo de China, Zhang et al. (2006) no halló impactos negativos en los pastizales a causa de los caminos.

Gao et al. (2007) también encontró que, si bien los pastizales han mostrado claros signos de degradación en algunas de las regiones de alta elevación del norte de Tíbet, en otras áreas (especialmente en aquellas áreas en las que la actividad humana es relativamente intensa), las carreteras en realidad han dado lugar al mejoramiento de las praderas siendo de mayor calidad. Debido a la escasez de estudios sobre los pastizales y carreteras, la falta de datos y los defectos metodológicos no existiría consenso en algunos hallazgos al respecto (Zhang et al., 2002, Gao et al., 2007).

#### **4.3.11 DENSIDAD ANIMAL (UO/Ha)**

La densidad animal consideró un aumento en 1 UO/ha, por lo que las odds ratio serán igual a  $\exp(1 \cdot b)$ . A medida que aumenta en 1 UO/ha la densidad animal, la ventaja de presentar degradación ligera frente a no estar degradado queda multiplicado por 1.474 veces, ( $\exp(1 \cdot 0.388)$ ). La ventaja de un área de presentar degradación moderada, seria y extrema se multiplica por 2.404, 6.384 y 16.551 veces respectivamente, frente a no presentar degradación, a medida que aumenta en 1 UO/ha la densidad animal. Es decir, si se incrementa la densidad animal en áreas de degradación extrema será más perjudicial dado que la probabilidad de estar degradado se incrementa hasta en 16.5 veces.

Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Angerer (2012), quien afirma que si el sobre pastoreo es constante en el tiempo, puede derivar en la degradación. Por lo cual se recomienda que la carga animal debe ser ajustada de acuerdo a la disponibilidad de forraje para evitar condiciones que conducen a la degradación. Sin embargo, en los países en desarrollo, el ajuste de la capacidad de carga, pueden llevar mucho tiempo y generar costos, debido a la carencia de herramientas para recopilar, almacenar y evaluar datos.

#### 4.3.12 ÁREAS DE RESERVA

Se analizó el rol de áreas de reserva como Parque Nacional, Reserva Paisajística y áreas no protegidas. Los Parques Nacionales son considerados áreas intangibles de protección de la integridad ecológica de uno o más ecosistemas, por lo que las actividades que supongan la explotación de los recursos naturales están prohibidas. Se pudo observar que el valor positivo de  $\exp(1 \cdot b)$  para la primera categoría (Sin protección) indica que en las áreas de pastizales no pertenecientes a áreas naturales protegidas, tienen mayor probabilidad de encontrarse en estado de degradación ligera ( $e^{\beta} = 2.186$ ), moderada ( $e^{\beta} = 2.945$ ), seria ( $e^{\beta} = 2.180$ ) y extrema ( $e^{\beta} = 2.917$ ), respecto a áreas de pastizales de áreas protegidas consideradas no degradadas.

Al comparar áreas de pastizal dentro de una Reserva Paisajística respecto a un Parque Nacional, se muestra que la probabilidad de encontrar pastizales en estado de degradación ligera ( $e^{\beta} = 1.633$ ), moderada ( $e^{\beta} = 2.996$ ), seria ( $e^{\beta} = 3.918$ ) y extrema ( $e^{\beta} = 8.894$ ) es mayor respecto a hallar áreas de pastizal no degradados.

A pesar que las áreas naturales protegidas, según la Ley 26834, estipulan un control del manejo ecológico y regulaciones en la extracción de recursos de estas áreas, los resultados de este estudio evidencian una mayor degradación en los pastizales de reservas paisajísticas, mientras que para áreas no consideradas dentro del marco de la ley de protección se evidencia una menor probabilidad de degradación, la probabilidad de degradación viene a ser constante para todos los casos.

Florez y Malpartida (1988) mencionan que el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) reportó 3'724.711 hectáreas de áreas protegidas que deberían ser entregadas para la protección de cuencas hidrológicas y refugios para animales silvestres, las cuales estaban siendo utilizadas como tierras de pastoreo. Desde el año 1969, la gestión de pastoreo en tierras privadas expropiadas por la reforma agraria ha estado a cargo de las comunidades campesinas asumiendo un manejo empresarial, perdiendo el estado los derechos de gestión de estas áreas. Sin embargo, actualmente estas tierras son administradas mayormente bajo una economía de subsistencia, siendo el manejo del ganado en pastos comunales influenciado principalmente por el conocimiento ecológico local, generalmente destinando a su uso todo el año de forma continua (Alvarado 1995; Bonilla 1988; De Romaña 1993). Como se ilustra por "La tragedia de los comunes" de Hardin, (2009), a los pastores les resulta

rentable aumentar su tamaño del hato en terrenos comunales. Sin embargo, como los pastores aumentan el tamaño del hato, sobrepasan la capacidad de carga de los pastizales que resulta en un sobrepastoreo y en consecuencia la degradación de las tierras.

En el Perú no existe una legislación para regular la utilización y conservación de los pastizales. La mayor parte de la tierra de pastizales está bajo el control de la comunidad, avalada por la “Ley General de Comunidades” (Ley 24656), obligando de esta manera al gobierno y otras entidades a trabajar necesariamente con las comunidades y desarrollar e implementar programas de conservación de los pastizales basados en los intereses e instituciones locales (Florez & Malpartida 1988; Flores 1996.) Sin embargo, el Ministerio de Economía y Finanzas, a través de la Dirección General de Inversión Pública (2015), considerando que la diversidad biológica es patrimonio de la Nación y que se ve afectado por la acción humana en los inadecuados procesos de uso de los bienes y servicios ecosistémicos que proporciona así como por los efectos del cambio climático, establece los lineamientos para la formulación de proyectos de inversión pública en diversidad biológica y servicios ecosistémicos.

Estos son concordantes con los lineamientos de Política de Inversión Pública en materia de Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos 2015 – 2021, que constituyen una opción para poder recuperar los servicios ecosistémicos en diferentes contextos ecológicos, considerándose dentro de estos los ecosistemas altoandinos, promoviendo la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales y la diversidad biológica con participación ciudadana, y contribuyendo a la mejora de la calidad de vida de las personas en ecosistemas saludables (DGIP-MEF, 2015)

#### **4.4 VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO**

De los tres principales indicadores de vulnerabilidad en pastizales, la sensibilidad del sistema es el que tiene mayor importancia (0.6902) siendo las variables que determinan principalmente la vulnerabilidad de un pastizal la FCV (C<sub>7</sub>) y la pendiente del área (C<sub>4</sub>), seguidas de intemperismo (C<sub>8</sub>) y Precipitación anual (C<sub>1</sub>) (Figura 18 y Anexos 47, 48, 49,

50).

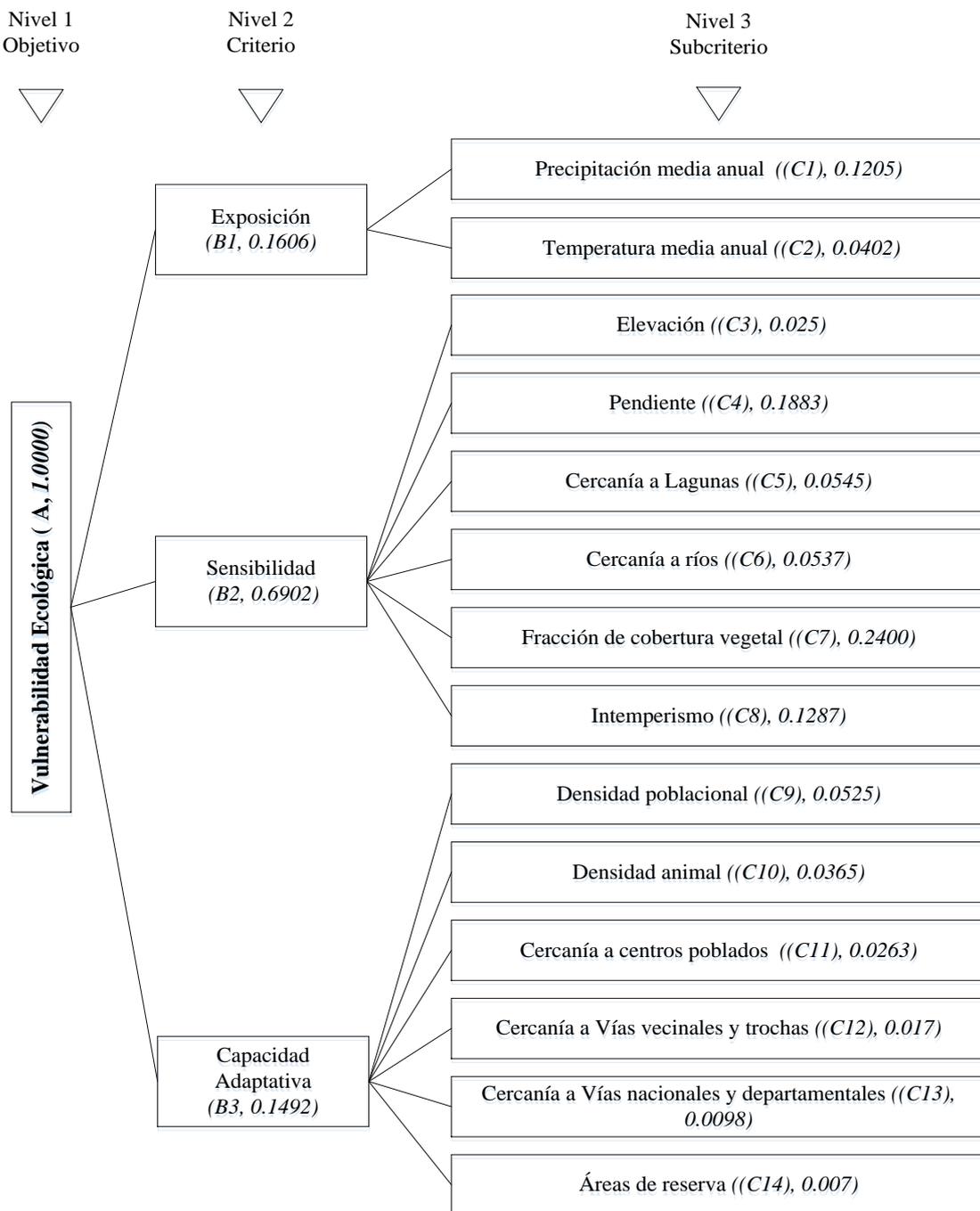


Figura 18. Estructura jerárquica de la vulnerabilidad al cambio climático (Los valores numéricos entre paréntesis son los pesos de cada indicador).

#### 4.4.1 INDICADOR DE EXPOSICION

El distrito de Tomas presenta un mayor valor de exposición al cambio climático (varía de 0.533 a 0.545), alcanzando el máximo valor en el año 2012, para luego disminuir hasta el año 2014. El índice de exposición está sobre el promedio en los distritos de Ticapampa y

Recuay y Tomas en el periodo 2011-2014, mientras que en el distrito de Santa Ana, el índice de exposición es similar a la media total y los distritos de Yanacancha, Simón Bolívar, Olleros y Canchayllo presentan un índice de exposición debajo del promedio. Las diferencias se acentúan en el año 2014, donde los valores de exposición tienden a disminuir para la mayoría de distritos excepto los distritos de Santa Ana, Yanacancha y Simón Bolívar donde tiende ligeramente a incrementarse este índice (Figura 19).

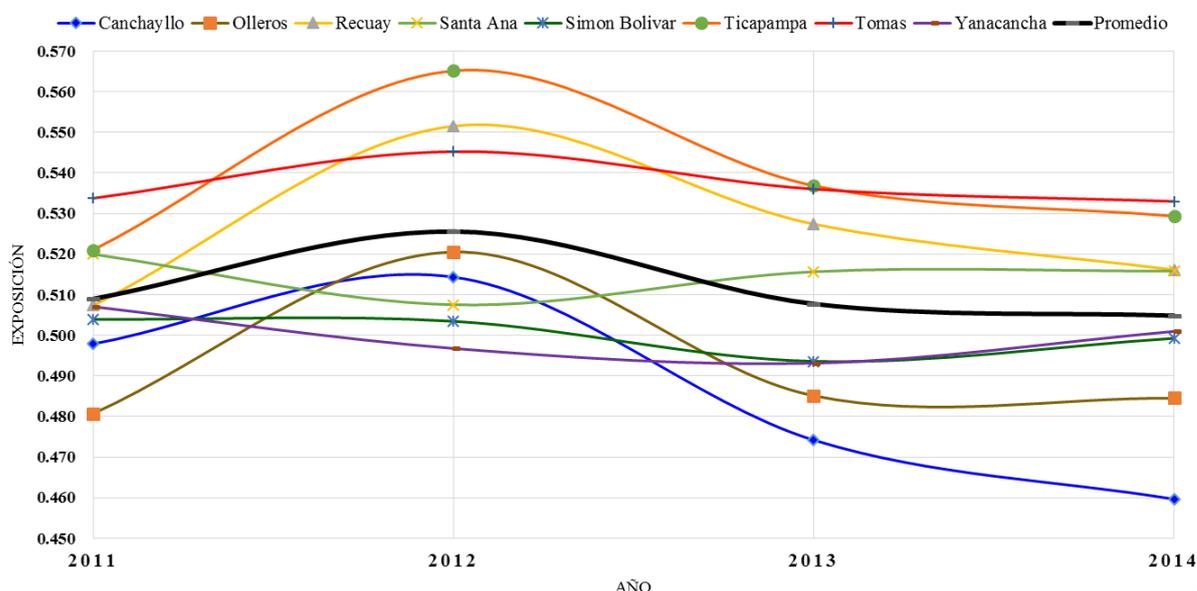


Figura 19. Valores del indicador de exposición al cambio climático para el periodo 2011 – 2014 en los 8 distritos estudiados.

El índice de exposición de los distritos de Ticapampa y Recuay son similares dado que se encuentran contiguos geográficamente, no obstante el distrito de Olleros pese a hallarse también contiguo presenta diferente índice de exposición y se encuentra debajo del promedio del índice de exposición; Los distritos de Canchayllo, Yanacancha y Tomas, presentan localizaciones geográficas contiguas, no obstante también presentan diferentes índices de exposición.

Las correlaciones más altas respecto a este índice corresponden a la precipitación anual respecto a la temperatura media anual (Tabla 22), siendo significativos en todos los casos. Para el distrito de Ticapampa, no se halla una correlación, dado que el valor de la precipitación anual interpolada resulta ser la misma para todo el distrito.

Tabla 22. Correlaciones entre los componentes de exposición y el índice de exposición al cambio climático para los ocho distritos.

<b>R<sup>a</sup></b>	<b>Precipitación anual</b>	<b>Temperatura media anual</b>
<b>Olleros</b>	0.326**	0.523**
<b>Recuay</b>	0.171**	0.258**
<b>Ticapampa</b>	. <sup>b</sup>	0.358**
<b>Simón Bolívar</b>	0.520**	0.350**
<b>Canchayllo</b>	0.174**	0.034**
<b>Tomas</b>	0.392**	0.011**
<b>Yanacancha</b>	0.228**	0.158**
<b>Santa Ana</b>	0.493**	0.253**
<b>TOTAL</b>	0.345**	0.190**

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

a. DISTRITOS

b. No se puede calcular porque al menos una variable es constante.

Los distritos de Simón Bolívar y Santa Ana presentan una mayor correlación del índice de exposición con la precipitación, por lo cual una disminución de la precipitación anual causaría un incremento de la vulnerabilidad al cambio climático en estos distritos. Los demás distritos presentan correlaciones bajas, siendo los menos asociados los distritos de Canchayllo y Recuay.

La correlación asociada a la temperatura media anual es moderada para el distrito de Olleros, por lo cual la temperatura es un factor importante de contribución al grado de exposición para este distrito. En los demás distritos las correlaciones son bajas, siendo las más bajas en los distritos de Canchayllo, Tomas y Yanacancha.

Estudios similares de vulnerabilidad frente al cambio climático resaltan que un incremento de la temperatura y una disminución de la precipitación aumenta el índice de riesgo frente al cambio climático en áreas naturales protegidas (SERNANP, 2014).

Por otra parte la disminución en las precipitaciones causarían una reducción en la disponibilidad de agua en el suelo, que afecta el crecimiento de las plantas y acorta la época de crecimiento, reduciendo la disponibilidad de forraje y la composición de especies vegetales y la fenología de las plantas afectando la calidad del forraje (Craine et al., 2009).

Un incremento de la temperatura favorece la proliferación de especies invasoras, que en muchos casos son dañinas para el ganado (Wang et al., 2014)

#### 4.4.2 INDICADOR DE SENSIBILIDAD

El índice de sensibilidad de los distritos de Ticapampa y Tomas se hallan por sobre el promedio durante el periodo evaluado, y tienen una tendencia a disminuir su sensibilidad; siendo el distrito de Tomas quien presenta una mayor sensibilidad (varia de 2.274 a 2.343),. Los distritos de Olleros y Canchayllo presentan un índice de sensibilidad menor al promedio en todos los años, con tendencia disminuir el índice de sensibilidad, tendencia compartida con los distritos de Santa Ana y Recuay (Figura 20).

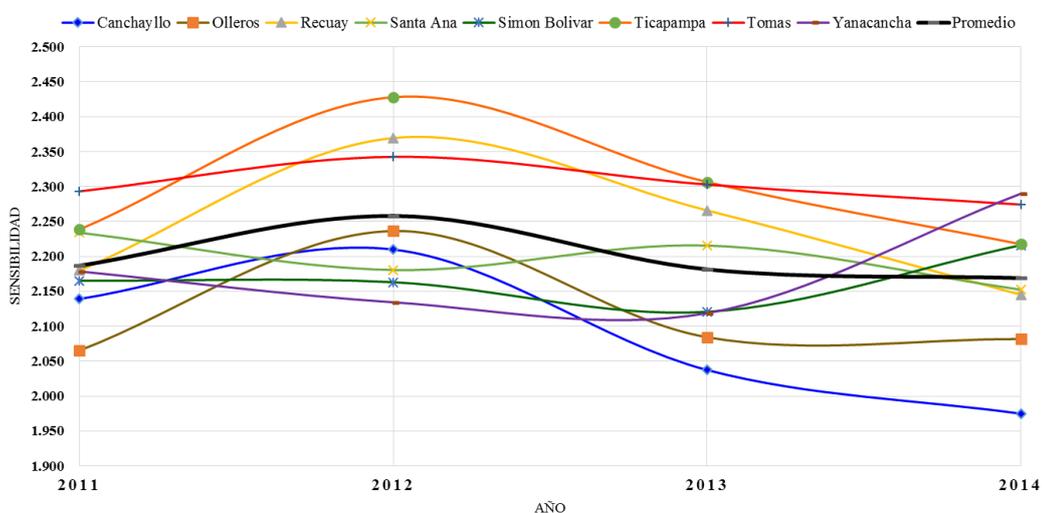


Figura 20. Valores del indicador de sensibilidad del sistema para el periodo 2011 – 2014 en los 8 distritos estudiados.

Los distritos de Yanacancha y Simon Bolivar presentan un índice de sensibilidad por debajo del promedio los tres primeros años, presentando un incremento del índice por sobre el promedio el año 2014, siendo los distritos con tendencia a incrementar el índice de sensibilidad.

Los distritos de Ticapampa, Recuay, Tomas, Olleros, Santa Ana y Canchayllo, presentaron un incremento del índice de sensibilidad en el año 2012, para disminuir gradualmente, este incremento no se observa en los distritos de Simon Bolivar y Yanacancha.

Las correlaciones más altas asociadas a la sensibilidad del sistema están determinadas por la fracción de cobertura vegetal del pastizal, hallándose en el rango de moderadas a altas, siendo resaltante en el distrito de Olleros (Tabla 23).

La elevación del pastizal esta correlacionada moderadamente al índice de sensibilidad en la mayoría de casos, siendo más evidente esta relación en el distrito de Simón Bolívar donde la elevación presenta una alta correlación al índice de sensibilidad.

La pendiente del pastizal presenta correlaciones entre muy bajas y moderadas respecto a la sensibilidad, siendo consideradas moderadas las correspondientes a los distritos de Olleros y Simón Bolívar.

La distancia del pastizal a ríos presenta correlaciones bajas, siendo la excepción el distrito de Simón Bolívar donde existe una correlación moderada.

La distancia del pastizal a lagunas presenta correlaciones muy bajas, respecto a la sensibilidad del sistema, siendo resaltante en el distrito de Tomas, también se muestran correlaciones negativas para los distritos de Olleros, Simón Bolívar y Yanacancha.

El índice de Intemperismo presenta una correlación entre muy baja y baja respecto a el índice de sensibilidad, así mismo se emuestra una correlación baja negativa en los distritos de Olleros, Recuay y Ticapampa, por lo cual un mayor índice de intemperismo tiene una interacción diferente por zonas.

La Fracción de Cobertura Vegetal es el componente mejor asociado a la sensibilidad del sistema, presentado una correlación positiva alta.

Tabla 23. Correlaciones entre los componentes de sensibilidad y el índice de sensibilidad por distritos.

<b>R<sup>a</sup></b>	<b>Distancia a Lagunas</b>	<b>Distancia a ríos</b>	<b>Elevación</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Fracción de cobertura vegetal</b>	<b>Intemp.</b>
<b>Olleros</b>	-0.012**	0.387**	0.641**	0.503**	0.860**	-0.234**
<b>Recuay</b>	0.203**	0.186**	0.624**	0.292**	0.756**	-0.143**
<b>Ticapampa</b>	0.081**	0.355**	0.662**	0.369**	0.782**	-0.059**
<b>Simon Bolivar</b>	-0.004**	0.524**	0.732**	0.423**	0.780**	0.086**
<b>Canchayllo</b>	0.215**	0.230**	0.655**	0.017**	0.701**	0.397**
<b>Tomas</b>	0.402**	0.026**	0.696**	0.100**	0.689**	0.359**
<b>Yanacancha</b>	-0.061**	0.292**	0.698**	0.246**	0.798**	0.234**
<b>Santa Ana</b>	0.128**	0.286**	0.543**	0.182**	0.799**	0.177**
<b>TOTAL</b>	0.121**	0.299**	0.246**	0.597**	0.739**	0.212**

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

a. DISTRITOS

#### 4.4.3 INDICADOR DE CAPACIDAD ADAPTATIVA

Los valores promedios por distrito para el indicador de capacidad adaptativa asociado a las características que lo definen para el periodo 2011-2014, serán interpretados que a un menor valor de este índice, se evidencia una mejor capacidad adaptativa, (Figura 21).

Los distritos de Yanacancha y Simón Bolívar, presentan un mejor índice de capacidad adaptativa, con valores menores al promedio, así mismo se ve que para el periodo 2012, mostraron una ligera variación de la capacidad adaptativa en comparación a los demás distritos.

Respecto a las tendencias de capacidad adaptativa, los distritos de Ticapampa, Recuay, Tomas, Olleros, Simón Bolívar y Canchayllo, tienden a mejorar el índice de capacidad adaptativa, se observa una tendencia inversa en los distritos de Santa Ana y Yanacancha.

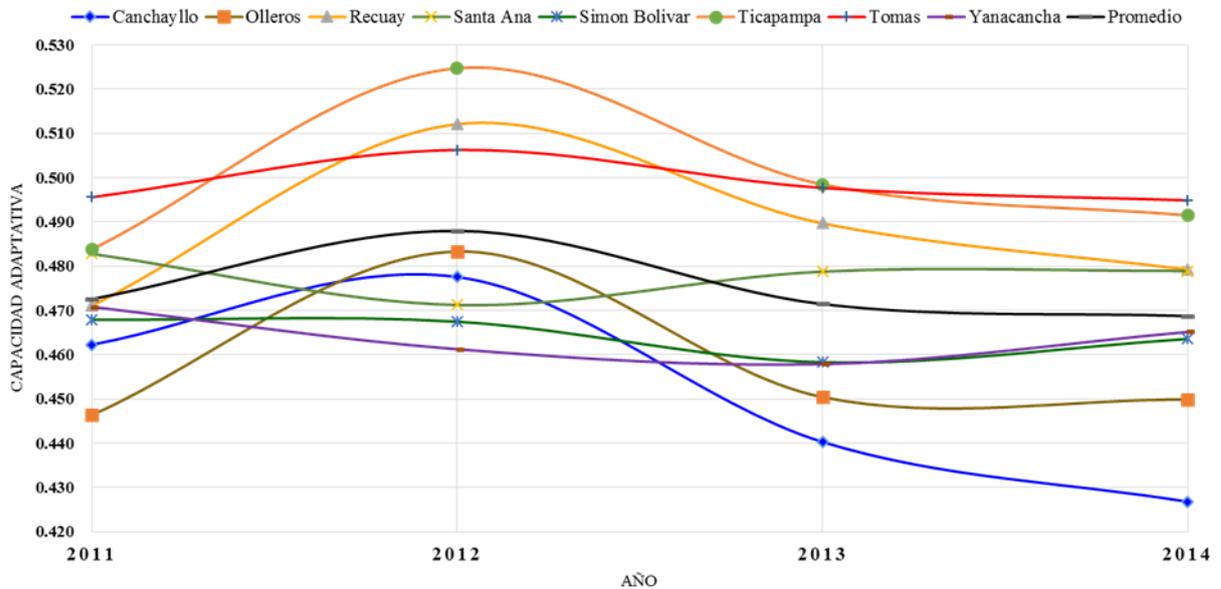


Figura 21. Valores del indicador de capacidad adaptativa del sistema para el periodo 2011 – 2014 en los distritos estudiados.

Las correlaciones entre las variables del indicador de capacidad adaptativa y sus componentes se analizaron de acuerdo al método de Pearson (Tabla 24), donde no se presentan correlaciones para los componentes de densidad poblacional y densidad animal, dado que los valores tomados son únicos para cada distrito, , siendo posible solo hallar correlaciones en caso de que se comparen todos los distritos en conjunto con el componente, así mismo para los distritos de Simón Bolívar, Yanacancha y Santa Ana, no se hallaron correlaciones con Áreas de reserva, dado que dichos distritos no cuentan con áreas de reserva..

La distancia a centros poblados presenta correlaciones negativas para los distritos de Olleros, Recuay, Ticapampa, Simón Bolívar, Yanacancha y Santa Ana, donde una menor distancia a un centro poblado el pastizal tendría una mejor capacidad adaptativa, este comportamiento es distinto a los distritos de Canchayllo y Tomas, donde a una menor distancia de un centro poblado se experimentaría una pérdida de la capacidad adaptativa del pastizal.

La Distancia a vías vecinales y trochas, se muestran correlaciones negativas, entonces a una menor distancia a vías vecinales y trochas, se observaría un incremento en la capacidad adaptativa del sistema, siendo la excepción la del distrito de Santa Ana.

El componente de distancia a vías nacionales y departamentales muestra una correlación positiva en los distritos de Olleros, Recuay, Ticapampa, Canchayllo y Tomas, donde una cercanía a este tipo de vías provocaría una pérdida de la capacidad adaptativa, no obstante para los distritos de Ticapampa, Simón Bolívar, Yanacancha y Santa Ana, la capacidad adaptativa aumenta.

El componente de Áreas de reserva se muestra que las correlaciones son negativas, por lo tanto si un pastizal se encuentra dentro de un área de reserva, contribuiría a una pérdida de la capacidad adaptativa del pastizal.

Tabla 24. Correlaciones entre los componentes de capacidad adaptativa y el índice de capacidad adaptativa por distritos.

R <sup>a</sup>	Densidad pobl.	Densidad animal	Distancia a centros poblados	Distancia Vías vecinales y trochas	Distancia Vías nacionales y departamentales	Áreas de reserva
Olleros	.b	.b	-0.214**	-0.303**	0.060**	-0.221**
Recuay	.b	.b	-0.043**	-0.039**	0.203**	-0.069**
Ticapampa	.b	.b	-0.071**	-0.069**	-0.090**	-0.114**
Simón Bolívar	.b	.b	-0.128**	-0.271**	-0.128**	.b
Canchayllo	.b	.b	0.156**	-0.001	0.110**	-0.006**
Tomas	.b	.b	0.356**	-0.163**	0.237**	-0.184**
Yanacancha	.b	.b	-0.030**	-0.026**	-0.078**	.b
Santa Ana	.b	.b	-0.116**	0.004**	-0.295**	.b
<b>TOTAL</b>	<b>0.233**</b>	<b>0.238**</b>	<b>0.170**</b>	<b>-0.047**</b>	<b>0.083**</b>	<b>0.219**</b>

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

a. DISTRITOS

#### 4.4.4 RELACIÓN ENTRE VULNERABILIDAD Y COMPONENTES

La vulnerabilidad de pastizales esta correlacionada positivamente con 12 de los indicadores utilizados, siendo la excepción distancia a vías vecinales y trochas. En el análisis de degradación se sugiere también una mejora del pastizal cuando hay presencia de vías de acceso menores (Tabla 25).

Tabla 25. Relación entre el índice de vulnerabilidad y los componentes utilizados.

INDICADOR	COMPONENTE	R
Exposición	Precipitación anual	0.320
Exposición	Temperatura media anual	0.179
Sensibilidad	Fracción de cobertura vegetal	0.673
Sensibilidad	Pendiente	0.550
Sensibilidad	Distancia a ríos	0.275
Sensibilidad	Elevación	0.233
Sensibilidad	Intemperismo	0.188
Sensibilidad	Distancia a Lagunas	0.116
Capacidad adaptativa	Densidad poblacional	0.212
Capacidad adaptativa	Densidad animal	0.211
Capacidad adaptativa	Áreas de reserva	0.201
Capacidad adaptativa	Distancia a centros poblados	0.158
Capacidad adaptativa	Distancia Vías nacionales y departamentales	0.074
Capacidad adaptativa	Distancia Vías vecinales y trochas	-0.04

En el componente de exposición al cambio climático, la precipitación presenta una correlación positiva baja, por lo cual existe una relación que a menor precipitación habrá un mayor índice de vulnerabilidad. La temperatura media anual en este estudio presentó una correlación muy baja, por lo cual existiría una relación débil entre un incremento de la temperatura media anual y un incremento de la vulnerabilidad.

En el componente de sensibilidad del sistema las correlaciones más altas desde el primer orden son Fracción de Cobertura Vegetal y pendiente los cuales son las más influyentes en todas las correlaciones, siendo la relación de que a menor fracción de cobertura vegetal y mayor pendiente se elevaría el índice de vulnerabilidad del pastizal. para para la distancia a ríos y elevación del área presentan valores de correlación positivos bajos con la vulnerabilidad del pastizal. En adición, los indicadores de sensibilidad intemperismo y distancia a lagunas, se consideran bajas y menor correlacionadas a la vulnerabilidad del pastizal, lo que puede ser explicado por el hecho de que la distribución espacial del área total de pastizales cercanos a lagunas será menor en comparación al área total de los pastizales; por otra el material parental de los suelos en puna, se encuentran poco ligadas a factores que provoquen un intemperismo acelerado.

Los componentes relacionados a capacidad adaptativa presentan correlaciones entre bajas y muy bajas siendo las de mayor valor e importancia en orden, la densidad poblacional y

animal, respectivamente. Estas tendrían mayor impacto dentro de este indicador, y mayor relación con la vulnerabilidad del pastizal.

#### 4.4.5 MAPEO DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO

La vulnerabilidad al cambio climático de los pastizales evaluados se clasificó en cinco niveles (Potencial, Ligera, Media, Pesada y Extrema), cuyos límites se calcularon mediante el análisis de Límites Naturales de Jenks (Tabla 26). Los límites se hallan separados por nueve decimales, con el fin de evitar el cambio de clase por efecto del redondeo. El cálculo de superficies se halló mediante la multiplicación del número de celdas por 30 x 30 m, correspondiente al tamaño de un pixel Landsat.

Tabla 26. Escala de vulnerabilidad – límites naturales de Jenks.

Límites	Valor	Descripción
1.49000000 - 2.060705882	1	Potencial
2.060705883 - 2.678000000	2	Ligera
2.678000001 - 3.260352941	3	Media
3.260352942 - 3.877647059	4	Pesada
3.877647060 - 4.460000000	5	Extrema

La clasificación global de vulnerabilidad para el periodo 2011-2014 es mayormente media (52.43%), seguida de vulnerabilidad pesada (35.24%), ligera (9.88%), extrema (1.80%) y potencial (0.65%) (Tabla 27 y Anexos 35, 36, 51). Estos resultados denotan una situación intermedia de vulnerabilidad total para las áreas evaluadas, donde la suma de vulnerabilidad media y pesada es de 87.67%.

Tabla 27. Vulnerabilidad de pastizales en áreas de Puna de las zonas de estudio.

	Potencial	Ligera	Media	Pesada	Extrema	
2011	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	0.11	2.87	17.98	13.47	0.55
	%	0.30	8.21	51.41	38.51	1.56
2012	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	0.11	1.99	18.35	13.87	0.66
	%	0.31	5.69	52.47	39.65	1.87
2013	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	0.35	4.59	17.95	11.36	0.72
	%	1.01	13.13	51.31	32.48	2.06
2014	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	0.34	4.36	19.07	10.61	0.60
	%	0.97	12.48	54.52	30.32	1.70
Prom.	Área (x10 <sup>4</sup> ha)	0.23	3.45	18.34	12.33	0.63
	%	0.65	9.88	52.43	35.24	1.80

La distribución espacio temporal de vulnerabilidad muestra una tendencia lineal de crecimiento de las áreas con vulnerabilidad Potencial, Ligera, Media y Extrema, en el periodo 2011 – 2014, siendo las áreas con vulnerabilidad pesada, las que presenta tendencia decreciente (Figura 22). Así mismo resaltan los índices de determinación para las áreas con vulnerabilidad pesada y potencial, por lo que la tendencia de incremento y disminución global de estas áreas presentan un comportamiento lineal.

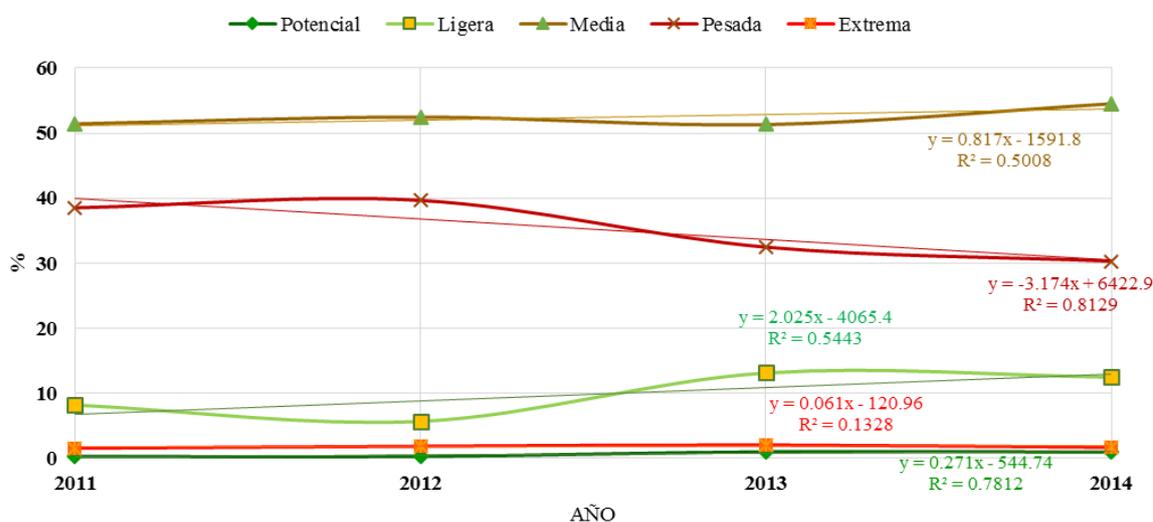


Figura 22. Dinámica de la vulnerabilidad de pastizales para el periodo 2011 – 2014.

Se observa una disminución de áreas de vulnerabilidad extrema en la mayoría de distritos evaluados, excepto los distritos de Tomas, Yanacancha y Santa Ana. Así mismo se observa una distribución de la superficie de áreas con vulnerabilidad pesada hacia vulnerabilidad extrema o media, dicho comportamiento es similar en todos los distritos.

En el distrito de Canchayllo se observa un comportamiento diferente en la distribución de la vulnerabilidad potencial, donde se incrementa su superficie en 6.57 veces entre los años 2011 y 2014, así mismo se observa un cambio de categoría gradual de pastizales con vulnerabilidad pesada a media y ligera sucesivamente, denotando un caso particular de mejora del índice de vulnerabilidad al cambio climático (Tabla 28; Figura 25).

Joyce et al (2013) menciona que la interacción entre la exposición al cambio climático, sensibilidad del sistema y la capacidad adaptativa disponible interactúan generando múltiples estados de vulnerabilidad, donde en muchos casos una mejora de la capacidad adaptativa puede ser acción suficiente para sostener los medios de subsistencia del sistema y mejorar el índice de vulnerabilidad; así mismo la adaptación implica la adopción n técnicas

y medios de vida alternativos que reorganizan el sistema y el uso de los servicios ecosistémicos (Kates et al., 2012).

Tabla 28. Vulnerabilidad al cambio climático de pastizales en áreas de Puna por zona de estudio en  $\times 10^2$  ha.

Año	Clases	Olleros	Recuay	Ticapampa	Simón Bolívar	Canchayllo	Tomas	Yanacancha	Santa Ana
2011	1	1.40	-	0.12	0.24	3.38	0.73	3.12	1.65
	2	42.10	11.00	9.71	70.49	65.91	8.67	45.22	34.04
	3	64.44	40.44	37.92	370.89	524.43	103.01	402.28	254.83
	4	46.49	39.26	50.33	186.24	268.20	163.04	295.26	298.23
	5	2.29	0.59	3.18	30.97	1.43	6.98	1.60	7.65
2012	1	0.27	-	0.00	0.57	1.06	0.45	3.83	4.79
	2	9.39	0.64	0.65	41.29	35.87	6.65	61.22	43.42
	3	67.49	19.12	17.67	444.72	453.07	81.36	452.83	299.04
	4	78.00	70.19	75.39	141.69	368.02	181.58	228.08	243.89
	5	1.59	1.34	7.55	30.57	5.34	12.39	1.53	5.27
2013	1	1.48	0.00	0.01	2.12	19.88	1.51	5.46	4.91
	2	34.14	4.95	6.04	81.76	170.40	16.45	92.49	52.99
	3	71.55	32.11	30.66	414.97	482.67	89.16	431.58	242.13
	4	47.81	53.52	59.56	127.19	189.48	158.99	214.62	285.07
	5	1.74	0.70	4.98	32.79	0.93	16.32	3.33	11.29
2014	1	2.12	0.01	0.12	1.61	22.21	1.44	1.88	4.65
	2	32.27	4.71	5.00	52.97	208.38	17.42	63.21	52.53
	3	73.43	45.37	37.51	437.68	538.01	94.22	438.84	242.05
	4	47.59	40.86	55.99	140.63	94.66	156.12	239.32	285.43
	5	1.32	0.33	2.63	25.95	0.10	13.23	4.23	11.74

Nota: 1—Potencial; 2—Ligera; 3—Media; 4—Pesada; 5—Extrema

Según los resultados presentados en el periodo 2014 se observa que la proporción dominante de vulnerabilidad corresponde al nivel de vulnerabilidad media, abarcando más del 50% en los distritos de Simón Bolívar, Canchayllo y Yanacancha (Figura 23). Por otra parte se observa que los distritos de Olleros, Recuay y Santa Ana presentan una vulnerabilidad predominante distribuida entre media y pesada, y para los distritos de Ticapampa y Tomas se observa una predominancia de las áreas con vulnerabilidad pesada.

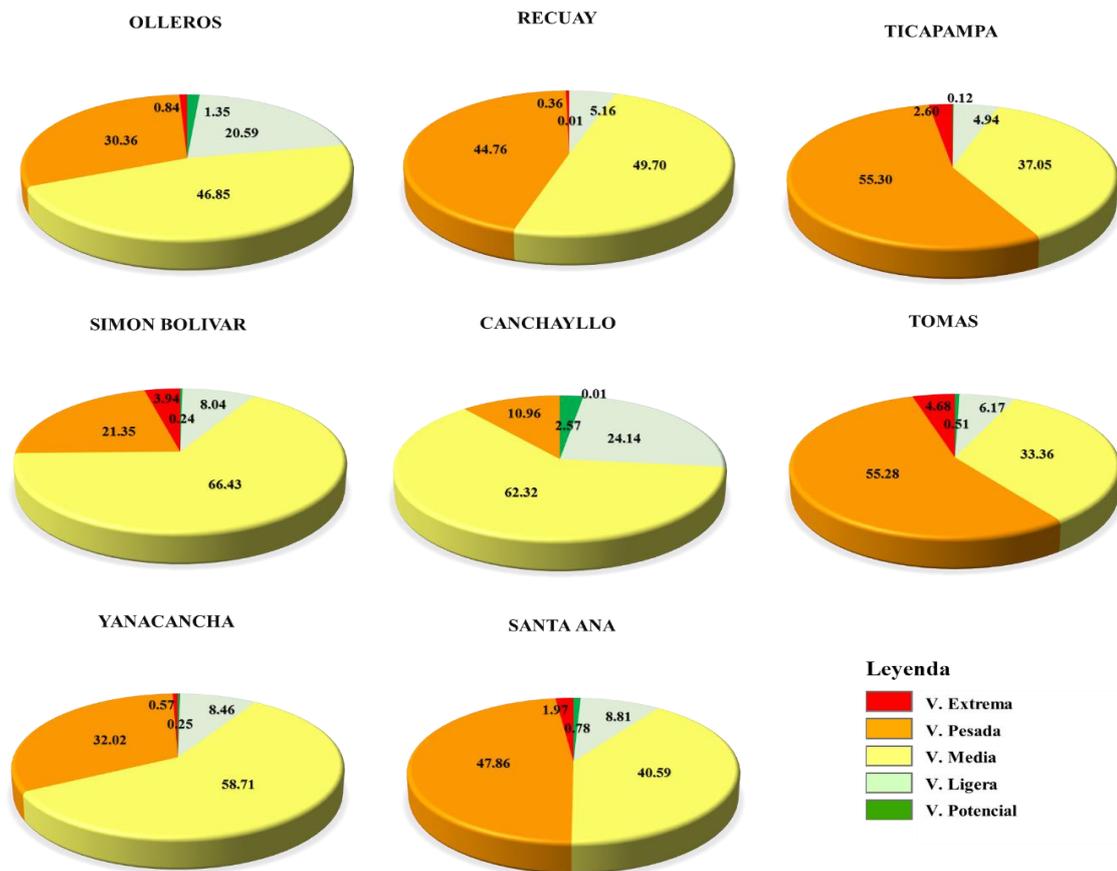


Figura 23. Proporción de niveles de vulnerabilidad de pastizales altoandinos en el periodo 2014.

Las áreas que presentan vulnerabilidad ligera son hallados en mayor proporción en los distritos de Canchayllo y Tomas, donde abarcan aproximadamente un 20% del área del distrito. Así mismo cabe resaltar que las áreas con vulnerabilidad potencial y ligera son las que presentan una menor proporción en todos los distritos, siendo la mayor hallada para el nivel potencial en el distrito de Canchayllo y la menor en el distrito de Olleros. Mientras que para el nivel de vulnerabilidad extrema, se considera como predominante el distrito de Tomas y el distrito con menor proporción de estas áreas el distrito de Canchayllo.

El análisis de áreas dentro de cada nivel de vulnerabilidad por distrito muestra que Canchayllo es el distrito que presenta mayores áreas dentro del nivel de vulnerabilidad media, así mismo viene a ser el que presenta mayores áreas con vulnerabilidad ligera y potencial (Figura 25). Los distritos de Simón Bolívar y Yanacancha presentan áreas con vulnerabilidad media similares, pero difieren en áreas con vulnerabilidad pesada y extrema, siendo estas mayores en el distrito de Yanacancha.

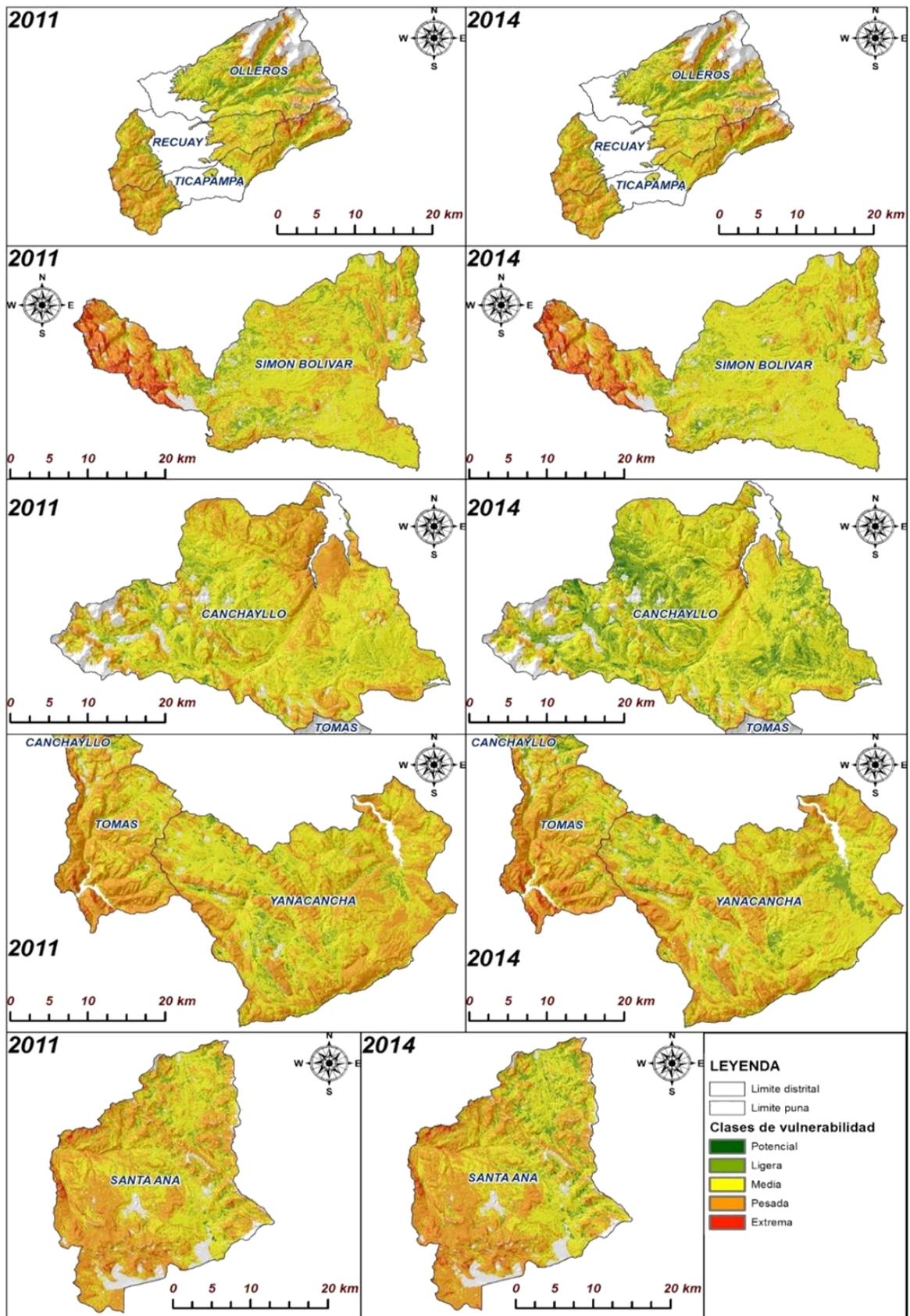


Figura 24. Mapas de vulnerabilidad de pastizales alto andinos al cambio climático en los distritos estudiados en los periodos 2011 y 2014.

Los distritos de Olleros, Recuay y Ticapampa presentan una distribución similar de áreas de vulnerabilidad media, siendo la diferencia en el distrito de Ticapampa, donde se observan mayores áreas con vulnerabilidad pesada. El distrito de Tomas presenta áreas similares con vulnerabilidad pesada con el distrito de Simón Bolívar, pese a la diferencia resaltante entre áreas. El distrito de Santa Ana es el que presenta mayores áreas con vulnerabilidad pesada, respecto a los demás distritos y el distrito de Simón Bolívar mayores áreas con vulnerabilidad extrema.

#### 4.4.6 DINAMICA DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

La dinámica de evolución de la vulnerabilidad ecológica por distritos para el periodo 2011-2014 (Figura 25), muestra que hubo un incremento en el valor promedio de vulnerabilidad para el periodo 201-2012, para luego experimentar un descenso en el periodo 2013-2014, siendo el año con un mayor valor de vulnerabilidad el año 2012 con un valor de 3.27, y el menor el año 2014, con un valor de 3.14, según la clasificación adoptada de Jenks, estos valores se encuentran entre una vulnerabilidad media para el año 2011, pesada para el año 2012, y media para los años 2013 y 2014.

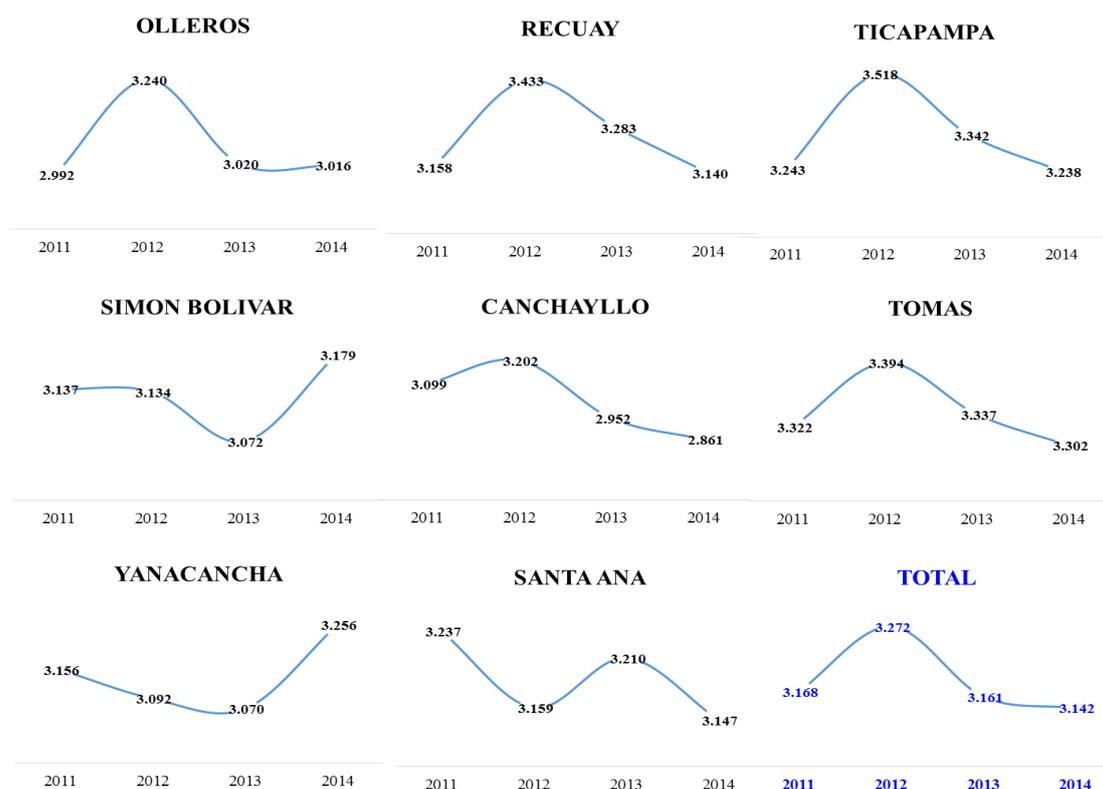


Figura 25. Dinámica Temporal de la vulnerabilidad al cambio climático de pastizales de las zonas estudiadas.

El análisis individual de vulnerabilidad, muestra que los distritos de Olleros, Recuay, Ticapampa, Canchayllo, y Tomas presentan un Comportamiento similar de vulnerabilidad, y una misma tendencia a disminuir su vulnerabilidad, por otra parte los distritos de Simón Bolívar y Yanacancha, presentan una tendencia a incrementar su vulnerabilidad, el distrito de santa Ana presenta una tendencia cíclica de incremento y disminución de su vulnerabilidad dentro de la vulnerabilidad clasificada como media; tendencia general de vulnerabilidad es de decremento en el promedio general de distritos. El rango individual promedio de vulnerabilidad por distrito de estudio oscila entre 3.03 y 3.34 (Figura 26). El distrito de Canchayllo es el que presenta menor vulnerabilidad con 3.03, vulnerabilidad media, manteniéndose esta clasificación hasta el distrito de Recuay. Los distritos de Ticapampa y Tomas son los que presentan una mayor vulnerabilidad, vulnerabilidad pesada.

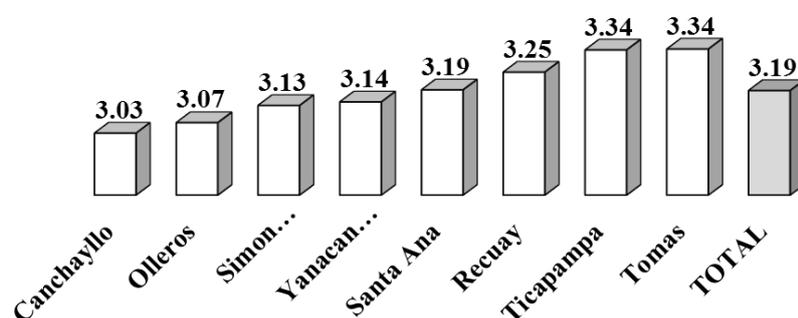


Figura 26. Vulnerabilidad al cambio climático promedio de los pastizales en los distritos estudiados.

Los resultados de vulnerabilidad al cambio climático hallados en este estudio son coincidentes con estudios de vulnerabilidad de pastizales utilizando diversas metodologías como los desarrollados en la estepa Mongola por Yang et al. (2014), Wang et al. (2005), Tao y Zhao. (2002) y Li et al. (2005), donde afirman que los pastizales de zonas áridas y semiáridas son altamente sensibles a los efectos del cambio climático y por lo tanto su vulnerabilidad a esta perturbación es alta.

#### 4.5 CORRELACIÓN ENTRE DEGRADACIÓN Y VULNERABILIDAD

Según Bartholomew (1995), cuando se trabajan con variables cualitativas, sin un patrón de distribución definido se recomienda el análisis por métodos no paramétricos, como es el caso de grados y niveles entre degradación y vulnerabilidad, por lo cual las concordancias de Tau-b de Kendall, Tau-c de Kendall y la Correlación de Spearman serían las más adecuadas para el desarrollo de este análisis.

Cohen et al. (1983) menciona que el coeficiente de correlación de Pearson, fue diseñado para variables cuantitativas, no obstante es aplicable a este estudio si consideramos los grados y niveles de degradación y vulnerabilidad en orden numérico. Así, los rangos de degradación irían en el siguiente orden: No degradado (ND) = 1, Ligeramente Degradado (LD) = 2, Moderadamente Degradado (MD) = 3, Seriamente Degradado (SD) = 4, Extremadamente Degradado (ED) = 5; y los rangos de vulnerabilidad tomarían los valores en el siguiente orden: Potencial = 1, Ligeramente = 2, Media = 3, Pesada = 4, Extrema = 5

Los resultados mostrados en la Tabla 29 muestran relaciones positivas entre vulnerabilidad y degradación de un pastizal en todos los análisis, hallándose un mayor valor en las correlaciones de Pearson.

Tabla 29. Relación entre vulnerabilidad y degradación de pastizales.

<b>Degradación basada en FCV vs Vulnerabilidad</b>		Valor	Sig.
Ordinal por ordinal	Tau-b de Kendall	0.610	0.000
	Tau-c de Kendall	0.462	0.000
	Correlación de Spearman	0.649	0.000
Intervalo por intervalo	R de Pearson	0.671	0.000
<b>Degradación pronosticada RLM vs Vulnerabilidad</b>			
Ordinal por ordinal	Tau-b de Kendall	0.540	0.000
	Tau-c de Kendall	0.391	0.000
	Correlación de Spearman	0.575	0.000
Intervalo por intervalo	R de Pearson	0.587	0.000

Las concordancias y correlaciones estadísticas para la comparación bilateral entre Degradación basada en FCV y Vulnerabilidad al climático del pastizal, son mayores a la comparación a la degradación la pronosticada por el modelo de regresión Logística (RLM) y Vulnerabilidad al cambio climático del pastizal, y ambas correlaciones se consideran moderadas.

La importancia de esta relación está dada por la naturaleza de las variables utilizadas, dado que en un modelo de equilibrio de la dinámica de un pastizal, se considera las actividades antropogénicas como el principal factor de disturbarían del ecosistema, el cual puede llegar a provocar procesos de degradación. Dado que en los ecosistemas pastoriles de puna, la crianza de ganado es la principal fuente de ingreso y se percibe que a un mayor número de

animales mayores ingresos, y la condición está más cercana a los umbrales de degradación es más fácil perder la regulación de los recursos implicados en los procesos bióticos y abióticos, provocando una espiral de degradación sucesiva Le Houerou, (1984), por otra parte De Leeuw & Tothill, (1990) considera que es necesario desarrollar un concepto de capacidad de carga dinámica de acuerdo a la variabilidad espacial y temporal del pastizal, considerando la influencia del tipo de suelo, la presión de pastoreo, frecuencia de incendios, y variables de composición y grados de cobertura vegetal

La alta densidad de ganado afecta la estructura y composición de la cobertura vegetal, lo cual reduce la productividad de los pastizales e incrementa la vulnerabilidad del sistema frente a eventos de disminución de la precipitación (Breman y de Wit, 1983; Schlesinger et al., 1990; Illius y O'Connor, 1999).

Por otra parte el estudio comprende variables que pueden ser incluidas en un modelo de no equilibrio, donde se considera como principales agentes de disturbancia a los factores que presentan un comportamiento estocástico (Westoby et al., 1989). Desde este punto de vista se considera en orden de importancia la Precipitación anual, dejando de lado la presión de pastoreo como un impacto marginal sobre la productividad de la cobertura vegetal. Es decir, después de la época seca, considerando una estación de lluvia constante siguiendo el mismo patrón durante varios años se podría restaurar el estado y la productividad de la cobertura vegetal (Ellis y Swift, 1988; Sullivan & Rohde, 2002).

Briske et al. (2003) sugiere que para entender los procesos que determinan la dinámica de un pastizal, es necesario utilizar los enfoques de equilibrio y no equilibrio de un pastizal simultáneamente, considerando que la importancia relativa depende las características del pastizal en estudio; dado que un enfoque de no equilibrio da importancia relativa a la dinámica de la vegetación y enfatiza los cambios continuos y reversible de muchos ecosistemas (Fernandez-Gimenez y Allen-Diaz, 1999), y un enfoque de equilibrio se asume la alta estabilidad de un ecosistema de pastizales altamente productivo (Walker & Wilson, 2002), por lo cual se requiere un modelo que cuantifique y determine la utilización de ambos enfoques y delimite una escala espacial y temporal de evaluación y monitoreo.

## V. CONCLUSIONES

1. El modelo de regresión logística fue más efectiva para predecir e identificar los factores que determinan el grado de degradación de un pastizal, a partir del uso de datos de campo, socioeconómicos y de sensores remotos.
2. La mayor proporción de los pastizales estudiados se encuentran en estado de degradación extrema, y degradación seria, siendo la tendencia de incrementar las áreas de pastizales con proporción seria, confirmando la fragilidad de estos ecosistemas.
3. La mayor proporción de los pastizales presentan vulnerabilidad pesada, y vulnerabilidad media, potencial debido a una mayor exposición, alta sensibilidad y baja capacidad adaptativa
4. Los factores más importantes para evaluar la degradación de pastizales fueron baja fracción de cobertura vegetal (FCV) de años pasados, mayor temperatura, mayor densidad animal, deficientes políticas de protección, mayor densidad poblacional y mayor intemperismo. Estos coinciden parcialmente con los factores principales de evaluación de la vulnerabilidad de pastizales.
5. Existe una asociación positiva bilateral moderada entre degradación y vulnerabilidad, por lo tanto, pastizales con mayor grado de degradación serán más vulnerables a los efectos del cambio climático.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Implementar una base de datos espacial para estudios ecológicos, para una completa caracterización de los factores implicados en los procesos de degradación de pastizales y la estimación de la vulnerabilidad en un entorno de cambio climático a nivel nacional.
2. Desarrollar estudios comparativos a este incluyendo un mayor número de variables de tipo social y económico para cuantificar el impacto de estos sobre la degradación y vulnerabilidad del pastizal.
3. Comparar los resultados obtenidos en este estudio con los de otros modelos de estimación de la degradación de pastizales en zonas altoandinas, para mejorar su poder predictivo y la inclusión de nuevas variables espacializadas.
4. Realizar estudios del impacto económico de la degradación de pastizales, sobre los servicios ecosistémicos que brinda, y definir estrategias de lucha contra este proceso.
5. Desarrollar estudios de degradación y vulnerabilidad de pastizales considerando un tiempo mayor al presente (al menos 20 años), especialmente donde se cuente con información histórica de variables ecológicas, climáticas, sociales y económicas y que permitan hacer proyecciones a futuro.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADGER, W. N.; BROOKS, N.; KELLY M.; BENTHAM G.; AGNEW M.; AND Eriksen S. (2004). New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity. Tyndall Centre project IT.
- ADGER, W.N., (2006). Vulnerability. *Glob. Environ. Change* 16, 268–281
- ALONSO, C. I. (2002). Tercer mundo, desarrollo, desastres y tecnología: una mirada desde la geografía. Universidad de Alcalá. Servicio de Publicaciones. Serie Geográfica, 2001-2002, n. 10, p. 11-26. ISSN 1136-5277.
- ALVARADO, J. (1995). Los Derechos de Propiedad de la Tierra: una aproximación desde la economía. *Debate Agrario* 23: 1-12.
- ANDERSON, R.C., (2006). Evolution and origin of the Central Grassland of North America: climate, fire, and mammalian grazers. *J. Torrey Bot. Soc.* 133, 626-647
- ANDREAS FRIES, RÜTGER ROLLENBECK, THOMAS NAUß, THORSTEN PETERS, JÖRG BENDIX, (2011), Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization, *Agricultural and Forest Meteorology* 152 (2012) 17– 30.
- ANGERER, J.P., (2012). Gobi forage livestock early warning system. In: Coughenour, M.B., Makkar, H.P.S. (Eds.), *Conducting National Feed Assessments*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, pp. 115-130.
- ARONSON, J., AND E. LE FLOCH. (1996). Vital landscape attributes: missing tools for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4:377–387.
- ASNER, G. P., & HEIDEBRECHT, K. B. (2002). Spectral unmixing of vegetation, soil and dry carbon cover in arid regions: comparing multispectral and hyperspectral observations. *International Journal of Remote Sensing*, 23(19), 3939-3958.
- ASPINALL, R., PEARSON, D., (2000). Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape ecology, environmental modelling and GIS. *J. Environ. Manag.* 59, 299–319

- ASRAR, G., FUCHS, M., KANEMASU, E. T., & HATFIELD, J. L. (1984). Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy journal*, 76(2), 300-306.
- BANTAYAN, N.C., BISHOP, I.D. (1998). Linking objective and subjective modeling for land-use decision-making. *Landscape and Urban Planning* 43, 35 - 48.
- BARET, F., CLEVERS, J. G. P. W., & STEVEN, M. D. (1995). The robustness of canopy gap fraction estimations from red and near-infrared reflectances: A comparison of approaches. *Remote Sensing of Environment*, 54, 141–151.
- BARTHOLOMEW, D. J. (1995). Spearman and the origin and development of factor analysis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 48(2), 211-220.
- BASHARI, H., SMITH, C., & BOSCH, O. J. H. (2008). Developing decision support tools for rangeland management by combining state and transition models and Bayesian belief networks. *Agricultural Systems*, 99(1), 23-34.
- BASTIN, G. N., PICKUP, G., & PEARCE, G. (1995). Utility of AVHRR data for land degradation assessment: a case study. *International Journal of Remote Sensing*, 16(4), 651-672.
- BAUSCH, W. C., & NEALE, C. M. (1987). Crop coefficients derived from reflected canopy radiation: a concept. *Transactions of the ASAE*, 30(3), 703-0709.
- BEDUNAH, D. J., & ANGERER, J. P. (2012). Rangeland degradation, poverty, and conflict: how can rangeland scientists contribute to effective responses and solutions?. *Rangeland Ecology & Management*, 65(6), 606-612.
- BEERI O, PHILLIPS R, HENDRICKSON J, ET AL . (2007). Estimating forage quantity and quality using aerial hyperspectral imagery for northern mixed-grass prairie. *Remote Sens Environ*;110:216-25.
- BEHNKE, R. H., & SCOONES, I. (1992). Rethinking range ecology: implications for rangeland management in Africa. London: IIED 43p. En IIED Dryland Networks Programme Issues Paper, (33).
- BERGER, J. J. (1993). Ecological restoration and nonindigenous plant species: a review. *Restoration Ecology* 1:74–82.
- BISQUERRA, R. (1989). Introducción conceptual al análisis multivariable. Un enfoque informático con los paquetes SPSS-X, BMDP, LISREL y SPAD. Barcelona: PPU.
- BONILLA, H. (1988). Comunidades indígenas y estado nación en el Perú. Págs. 13-27. En: Flores, A. (ed.). *Comunidades Campesinas: Cambios y permanencias*.

Publicación Técnica Conjunta. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Centro de Estudios Sociales Solidaridad.

- BRANSON FA, GIFFORD GF, RENARD KG, HADLEY RF. (1981). Evaporation and transpiration. In Rangeland Hydrology, Reid EH (ed). 2nd Edition Society of Range Management. Kendall/Hunt Publ: Dubuque, IA.
- BREGAS, J. P. (1998). Ecological impacts of global change on drylands and their implications for desertification. *Land degradation & development*, 9, 393-406.
- BREMAN H, DE WIT CT (1983) Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. *Science*, 221, 1341–1347.
- BRENKERT, A. L., AND MALONE, E. L. (2005). Modeling vulnerability and resilience to climate change: a case study of India and Indian states. *Climatic Change* 72, 57–102. doi:10.1007/s10584-005-5930-3.
- BRESHEARS, D. D., J. A. LUDWIG, S. N. MARTENS, P. C. BEESON, B. P. WILCOX, AND C. D. ALLEN. (2001). Runoff and erosion thresholds: implications for rangeland degradation and restoration. *Ecological Society of America Annual Meeting Abstracts* 86:8–9.
- BRISKE DD, FUHLENDORF SD, SMEINS FE (2003) Vegetation dynamics on rangelands: a critique of the current paradigms. *Journal of Applied Ecology*, 40, 601–614.
- BROWN, C.G., WALDRON, S.A. AND LONGWORTH, J.W. (2008) Sustainable Development in Western China: Managing People, Livestock and Grasslands in Pastoral Areas. Edward Elgar, Cheltenham, UK and Northampton, Massachusetts, 294 p.
- BROWN, J. R., BLANK, R. R., MCPHERSON, G. R., & KENNETH, K. T. (2005). Rangelands and Global Change. Society for Range Management, Lakewood, CO.
- BROWMAN, D. L. (1987). Pastoralism in highland Peru and Bolivia. Pages 121-149 in D. L. Browman, editor. *Arid land use strategies and risk management in the Andes. A regional anthropological perspective*. Westview, Boulder, Colorado, USA.
- BRUBAKER, S. C., JONES, A. J., FRANK, K., & LEWIS, D. T. (1994). Regression models for estimating soil properties by landscape position. *Soil Science Society of America Journal*, 58(6), 1763-1767.
- BRYAN, R.B., CAMPBELL, I.A. (1986). Runoff and sediment discharge in a semi-arid drainage basin. *Geomorphol.* 58, 121–143

- BUOL, S.W., HOLE, F.D., MCCRACKEN, R.J., (1989). Soil Genesis and Classification. Iowa State Univ. Press, Ames. IA 50010.
- BURKE, I. C., YONKER, C. M., PARTON, W. J., COLE, C. V., SCHIMMEL, D. S., & FLACH, K. (1989). Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soils. Soil science society of America journal, 53(3), 800-805. Burke, I.C., W.K. Lauenroth, and D.P. Coffin, 1995: Recovery of soil organic matter and N mineralization in semiarid grasslands: implications for the Conservation Reserve Program. Ecological Applications.
- CAO, X., GU, Z., CHEN, J., LIU, J., & SHI, P. (2006). Analysis of human-induced steppe degradation based on remote sensing in Xilin Gole, Inner Mongolia, China. Acta Phytocological Sinica, 30(2), 268-277. (En chino con resumen en inglés).
- CARLSON, T. N., & RIPLEY, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. Remote sensing of Environment, 62(3), 241-252.
- CARRIÓN, J. S., FERNÁNDEZ, S., JIMÉNEZ-MORENO, G., FAUQUETTE, S., GIL-ROMERA, G., GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P., & FINLAYSON, C. (2010). The historical origins of aridity and vegetation degradation in southeastern Spain. Journal of arid environments, 74(7), 731-736.
- CCD/PNUMA. (1995). Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Texto con anexos. Suiza. 71 págs.
- CLINE, W. R. (2007). Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Peterson Institute.
- COHEN, J., & COHEN, P. (1983). Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- CONSERVATION FOUNDATION. (1984). State of the environment: An assessment at mid-decade: Washington, D.C., 586 p.
- CRAINE JM, TOWN EG, JOERN A, AND HAMILTON RG. (2009). Consequences of climate variability for the performance of bison in tallgrass prairie. Glob Change Biol 15: 772–79.
- CRIDER, F. J. (1955). Root-growth stoppage resulting from defoliation of grass (No. 1102). US Department of Agriculture.
- DAI, F.C., LEE, C.F., ZHANG, X.H. (2001). GIS-aid geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. Engineering Geology 61, 257 -271.

- DAVIS, A. J., CALDEIRA, K., AND MATTHEWS, H. D. (2010). Future CO2 emissions and climate change from existing energy infrastructure. *Science* 329, 1330–1333. doi:10.1126/science.1188566
- DE LEEUW, P. N., & TOTHILL, J. C. (1990). *The concept of rangeland carrying capacity in sub-Saharan Africa: Myth or reality*. London: Overseas Development Institute, Pastoral Development Network.
- DE ROMAÑA M. (1993). Estudio técnico-económico para la instalación de tambos alpaqueros en las alturas de Arequipa. Asociación Internacional de la Alpaca.
- DE ULLIBARRI GALPARSORO, L., & PITA FERNÁNDEZ, S. (1999). Medidas de concordancia: el índice de Kappa. *Cad Aten Primaria*, 6, 169-171.
- DENG, X., LI, J. M., ZENG, H. J., CHEN, J. Y., & ZHAO, J. F. (2012). Research on computation methods of AHP wight vector and its applications. *Mathematics in practice and theory*, 42(7), 93-100.
- DGIP-MEF (Dirección General de Inversión Pública-Ministerio de Economía y Finanzas). (2015). *Lineamientos para la Formulación de Proyectos de inversión pública en Diversidad Biológica y Servicios Ecosistemicos*. Lima: DGIP-MEF.
- DÍAZ, R. O. (2007). *Utilización de pastizales naturales*. Editorial Brujas.
- DOMAÇ, A., & SÜZEN, M. L. (2006). Integration of environmental variables with satellite images in regional scale vegetation classification. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7), 1329-1350.
- DOWNING, T. E., BUTTERFIELD, R., COHEN, S., HUQ, S., MOSS, R., RAHMAN, A., ... & STEPHEN, L. (2001). *Vulnerability indices: Climate change impacts and adaptation*. Policy Series 3. United Nations Environment Programme.
- DUKES, J.S.; CHIARIELLO, N.R.; CLELAND, E.E.; MOORE, L.A.; SHAW, M.R.; THAYER, S.; TOBECK, T.,; MOONEY, H.A.; FIELD, C.B. (2005). Responses of grassland production to single and multiple global environmental changes. *PLoS Biology*. 3: e319.
- DYMOND, J. R., STEPHENS, P. R., NEWSOME, P. F., & WILDE, R. H. (1992). Percentage vegetation cover of a degrading rangeland from SPOT. *International Journal of Remote Sensing*, 13(11), 1999-2007.
- EAKIN, H., & LUERS, A. L. (2006). Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 31, 365-94.
- EHLERINGER, J. R., & FIELD, C. B. (1993). *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*. Academic Press, New York, NY, 388 pp.

- ELLIS, J. E., & SWIFT, D. M. (1988). Stability of African pastoral ecosystems: alternate paradigms and implications for development. *Journal of Range Management Archives*, 41(6), 450-459.
- FERNANDEZ-GIMENEZ ME., ALLEN-DIAZ B. (1999) Testing a nonequilibrium model of rangeland vegetation dynamics in Mongolia. *Journal of Applied Ecology*, 36, 871–885.
- FAHMY, H.M.A. (2001). Reliability evaluation in distributed computing environments using the AHP. *Comput. Networks* 36, 597–615.
- FLORES, E. R. (1996). Reality, Limitations and Research Needs of the Peruvian Livestock Sector. In *Latin America Livestock Regional Assessment Workshop: San José, Costa Rica, April 15-18, 1996* (p. 83). IICA.
- FLORES, E.R. (2004) *Gestión ambiental y uso racional de la tierra*. Lima: Centro de Investigación y Capacitación Campesina, pp. 1-13
- FLORES, E.R. (2013). *Pastores de Puna, Cambio climático y Seguridad Alimentaria*. En conferencia: *Pastores de Puna: Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático*. Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales – UNALM.
- FLÓREZ, A., & MALPARTIDA, E. (1988). Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Fondo del Libro, Tomo I, Banco Agrario del Perú. Lima.
- FORD, J. D., SMIT, B., & WANDEL, J. (2006). Vulnerability to climate change in the Arctic: a case study from Arctic Bay, Canada. *Global Environmental Change*, 16(2), 145-160.
- FORMAN, R. T. (2000). Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation biology*, 14(1), 31-35.
- FORMAN, R. T., REINEKING, B., & HERSPERGER, A. M. (2002). Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape. *Environmental management*, 29(6), 782-800.
- FUJISADA, H., & ONO, A. (1994). Observational performance of ASTER instrument on EOS-AM1 spacecraft. *Advances in Space Research*, 14(3), 147-150.
- GAN, Y. M., LI, Z. D., ZE, B., FEI, D. P., LUO, G. R., WANG, Q., & WANG, X. L. (1995). The Changes of grassland soil nutrition at different degradation alpine meadow of north-west in Sichuan. *Acta Prataculturae Sinica*, 14, 38-42.

- GAO, Q. Z., WAN, Y. F., XU, H. M., LI, Y., JIANGCUN, W. Z., & BORJIGIDAI, A. (2010). Alpine grassland degradation index and its response to recent climate variability in Northern Tibet, China. *Quaternary International*, 226(1), 143-150.
- GAO, Q., LI, Y. E., WAN, Y., LIN, E., XIONG, W., JIANGCUN, W., & LI, W. (2006). Grassland degradation in Northern Tibet based on remote sensing data. *Journal of Geographical Sciences*, 16(2), 165-173.
- GAO, Q., Y. WAN, Y. LI, W. SHENG, W. JIANGCUN, B. WANG, AND W. LI (2007), 'Trends of grassland NPP and its response to human activity in Northern Tibet', *Acta Ecologica Sinica* 27(11): 4612–4619
- GARCÍA JIMENEZ, E.; GIL FLORES, J. Y RODRIGUEZ GOMEZ, G. (2000). *Análisis Factorial*. . Cuadernos de Estadística. Editorial La Muralla.
- GARCIA, E. y OTTO, M. Caracterización ecohidrológica de humedales alto andinos usando imágenes de satélite multitemporales en la cabecera de cuenca del Río Santa, Ancash, Perú. *Ecol. apl.* [online]. 2015, vol.14, n.2 [citado 2016-09-30], pp. 115-125. Disponible en: <[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162015000200004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162015000200004&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1726-2216.
- GEERKEN, R., & ILAIWI, M. (2004). Assessment of rangeland degradation and development of a strategy for rehabilitation. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 490-504.
- GIORGI, F. (2006) Climate change hot-spots. 33, 1-4. 36 *Geophysical Research Letters*,
- GOWRIE, M. N. (2003). Environmental vulnerability index for the island of Tobago, West Indies. *Conservation Ecology*, 7(2), 11.
- GRAINGER, A., 1992. Characterization and assessment of desertification processes. In: Chapman, G.P. Ed., *Desertified Grasslands. Their Biology and Management*. Academic Press, London, pp. 17–33.
- GUTMAN, G., & IGNATOV, A. (1998). The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *International Journal of remote sensing*, 19(8), 1533-1543.
- HARDIN, G. (2009). The Tragedy of the Commons\*. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1(3), 243-253.

- HAVSTAD KM, PETERS DPC, SKAGGS R, BROWN J, BESTELMEYER B, FREDRICKSON E, HERRICK J, WRIGHT J (2007) Ecological services to and from rangelands of the United States. *Ecolog Econ* 61:261-268
- HERNÁNDEZ, G (1995). Modelo geomorfométrico aplicado al estudio de la erosión en cárcavas. *Rev. Geográfica de América Central* 3 : 59-95.
- HOBBS, R. J., AND J. A. HARRIS. (2001). Restoration ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millenium. *Restoration Ecology* 9:236–246.
- HOLECHEK, J. L., GOMEZ, H., MOLINAR, F., & GALT, D. (1999). Grazing studies: what we've learned. *Rangelands*, 12-16.
- HOLECHEK, J., PIEPER, R.D., HERBEL, C.H. (1995). *Range Management: Principles and Practices*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, xvi, 526 pp.
- HOLLAND, E. A., PARTON, W. J., DETLING, J. K., & COPPOCK, D. L. (1992). Physiological responses of plant populations to herbivory and their consequences for ecosystem nutrient flow. *American Naturalist*, 685-706.
- HUETE, A. R., JACKSON, R. D., & POST, D. F. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, 17,37–53.
- ILLIUS, A. W., & O'CONNOR, T. G. (1999). On the relevance of nonequilibrium concepts to arid and semiarid grazing systems. *Ecological Applications*, 9(3), 798-813.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC], (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- IZAURRALDE, R.C., A.M. THOMSON, J.A. MORGAN, P.A. FAY, H.W. POLLEY, AND J.L. HATFIELD. (2011). Climate Impacts on Agriculture: Implications for Forage and Rangeland Production. *Agron. J.* 103:371-380.
- JACOBY, P. W. (1989). *A glossary of terms used in range management*. Society for Range Management, Denver CO.
- JENKINSON, D. S. (1977). Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from <sup>14</sup>C labelled ryegrass decomposing under field conditions. *Journal of Soil Science*, 28(3), 424-434.

- JIANG, Z., HUETE, A. R., CHEN, J., CHEN, Y., LI, J., YAN, G., & ZHANG, X. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote sensing of environment*, 101(3), 366-378.
- JING, X., WENBIN, G., GUOFA, C., GE, S., JIQUAN, C., MEI, W., & ZIDA, Q. (2009). Soil moisture characteristics of different types of vegetation in Xilingol grassland. *Journal of Northeast Forestry University*, 37(1), 45-48. (En chino, con resumen en ingles).
- JOBSON, J.D. (1992) *Applied Multivariate Data Analysis. Volume II: Categorical and Multivariate Methods*. Springer-Verlag.
- JONES, A. J., MIELKE, L. N., BARTLES, C. A., & MILLER, C. A. (1989). Relationship of landscape position and properties to crop production. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44(4), 328-332.
- JOYCE LA, BRISKE DD, BROWN JR, et al. (2013). Climate change and North American rangelands: assessment of mitigation and adaptation strategies. *Rangeland Ecol Manag.* 66: 512–28.
- KATES RW, TRAVIS WR, AND WILBANKS TJ. (2012). Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *P Natl Acad Sci USA* 109: 7156–61.
- KEMP, P. R., & WILLIAMS, G. J. (1980). A physiological basis for niche separation between *Agropyron smithii* (C3) and *Bouteloua gracilis* (C4). *Ecology*, 61(4), 846-858.
- KING, E. G., & HOBBS, R. J. (2006). Identifying linkages among conceptual models of ecosystem degradation and restoration: towards an integrative framework. *Restoration Ecology*, 14(3), 369-378.
- KNIGHT, J. F., LUNETTA, R. S., EDIRIWICKREMA, J., & KHORRAM, S. (2006). Regional scale land cover characterization using MODIS-NDVI 250 m multi-temporal imagery: A phenology-based approach. *GIScience & Remote Sensing*, 43(1), 1-23.
- KOSMAS, C., DANALATOS, N.G., CAMMERAAT, L.H., CHABART, M., DIAMANTOPOULOS, J., FARAND, R., GUTIERREZ, L., JACOB, A., MARQUES, H., MARTINEZ-FERNANDEZ, J., MIZARA, A., MOUSTAKAS, N., NICOLAU, J.M., OLIVEROS, C., PINNA, G., PUDDU, R., PUIGDEFABREGAS, J., ROXO, M., SIMAO, A., STAMOU, G., TOMASI, N., USAI, D., VACCA, A.,

- (1997). The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena* 29, 45–59
- KUMMU, M., DE MOEL, H., WARD, P. J., & VARIS, O. (2011). How close do we live to water? A global analysis of population distance to freshwater bodies. *PLoS One*, 6(6), e20578.
  - KUSTAS, W. P., SCHMUGGE, T. J., HUMES, K. S., JACKSON, T. H., PARRY, R., WELTZ, M. A., ET AL. (1993). Relationships between evaporative fraction and remotely sensed vegetation index and microwave brightness temperature for semiarid rangelands. *Journal of Applied Meteorology*, 32, 1781–1790.
  - LAI, V.S., WONG, B.K., CHEUNG, W. (2002). Group decision making in a multiple criteria environment: a case using the AHP in software selection. *Eur. J. Operational Res.* 137, 134–144.
  - LANDIS, J. R., & KOCH, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.
  - LANG, H. R., & WELCH, R. (1999). Algorithm theoretical basis document for ASTER digital elevation models. Standard Product AST14 Report, The Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Los Angeles, CA.
  - LANGLEY, S. K., CHESHIRE, H. M., & HUMES, K. S. (2001). A comparison of single date and multitemporal satellite image classifications in a semi-arid grassland. *Journal of Arid Environments*, 49(2), 401-411.
  - LARSEN KS, ANDRESEN LC, BEIER C, ET AL. (2011). Reduced N cycling in response to elevated CO<sub>2</sub>, warming, and drought in a Danish heathland: synthesizing results of the CLIMAITE project after two years of treatments. *Glob Change Biol* 17: 1884–99.
  - LAUENROTH, W. K., & SALA, O. E. (1992). Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecological Applications*, 2(4), 397-403.
  - LAYCOCK, W. A. (1991). Stable states and thresholds of range condition on North American rangelands: a viewpoint. *Journal of Range Management* 44:427–433.
  - LEGGETT, K., FENNESSY, J., & SCHNEIDER, S. (2004). A study of animal movement in the Hoanib River catchment, northwestern Namibia. *African Zoology*, 39(1), 1-11.
  - LE HOUEROU, H. N. (1984). Rain use efficiency: a unifying concept in arid-land ecology. *Journal of Arid Environments*, 7(3), 213-247.

- LEE S. (2007). Application and verification of fuzzy algebraic operators landslide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, 52, 615-623.
- LI, A., WANG, A., LIANG, S., & ZHOU, W. (2006). Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS—a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modelling*, 192(1), 175-187.
- LI, B., & YUN, S. (1990). *Natural resources and environment research in Ordos Plateau*. Science Press, Beijing.
- LI, H. X., & LIU, S. Z. (2007). Research on grassland degradation assessment model based on ETM+ image—a case study in Naqu county of Tibet. *Journal of Desert Research*, 3, 412-418. (En chino, con resumen en ingles)
- LI, K. R., CAO, M. K., YU, L., AND WU, S. H. (2005). Assessment of vulnerability of natural ecosystems in China under the changing climate. *Geographical Research* 5, 653–663.
- LI, S. L., CHEN, Y. J., GUAN, S. Y., & KANG, S. A. (2002). Relationships between soil degradation and rangeland degradation. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 16(1), 92-95.
- LI, S., VERBURG, P. H., LV, S., WU, J., & LI, X. (2012). Spatial analysis of the driving factors of grassland degradation under conditions of climate change and intensive use in Inner Mongolia, China. *Regional Environmental Change*, 12(3), 461-474.
- LI, Z. W., ZENG, G. M., ZHANG, H., YANG, B., & JIAO, S. (2007). The integrated eco-environment assessment of the red soil hilly region based on GIS—a case study in Changsha City, China. *Ecological modelling*, 202(3), 540-546.
- LIAO, S., & SUN, J. (2003). GIS Based Spatialization of Population Census Data in Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1, 004.
- LIN, Z.C., YANG, C.B. (1996). Evaluation of machine selection by the AHP method. *J. Mater. Process. Technol.* 57, 253–258.
- LIU, L., ZHANG, Y., BAI, W., YAN, J., DING, M., SHEN, Z., LI, S., & ZHENG, D. (2006). Characteristics of grassland degradation and driving forces in the source region of the Yellow River from 1985 to 2000. *Journal of Geographical Sciences*, 16(2), 131-142. (En chino, con resumen en ingles).

- LIZCANO, A, M. C. HERRERA Y J. C. SANTAMARINA. (2006). Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia, *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura* 6 (2): 167-196.
- LO, C. P., & CHOI, J. (2004). A hybrid approach to urban land use/cover mapping using Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) images. *International Journal of Remote Sensing*, 25(14), 2687-2700.
- LOBELL, D. B., & ASNER, G. P. (2004). Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 93, 412–422.
- LÓPEZ D., BRAN D. Y SIFFREDI G. (2009). Modelo de estados y transiciones: un enfoque para el manejo y recuperación de los pastizales naturales patagónicos. *Revista Presencia* N° 53, INTA Bariloche
- LU, D., & WENG, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing*, 28(5), 823-870.
- MCGINTY, A., THUROW, T. L., & TAYLOR, C. A. (1995). Improving rainfall effectiveness on rangeland. Texas Agricultural Extension Service, Texas A & M University System.
- MILCHUNAS DG, MORGAN JA, MOSIER AR, ET AL. (2005). Root dynamics and demography in shortgrass steppe under elevated CO<sub>2</sub>, and comments on minirhizotron methodology. *Glob Change Biol* 11:1837–55.
- MILLY, P. C. D., DUNNE, K. A., AND VECCHIA, A. V. (2005). Global pattern of trends in stream flow and water availability in a changing climate. *Nature* 438, 347–350. doi:10.1038/nature04312
- MILTON, S. J., W. R. J. DEAN, M. A. DU PLESSIS, AND W. R. SIEGFRIED. (1994). A conceptual model of arid rangeland degradation: the escalating cost of declining productivity. *Bioscience* 44:70–76.
- MINAM. (2010) [en línea]: Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático. [fecha de consulta: 05 febrero 2015]. Disponible en: <<http://cdam.minam.gob.pe/novedades/perucambioclimatico/resumen.pdf>>.
- MITASOVA, H., MITAS, L., BROWN, W. M., GERDES, D. P., KOSINOVSKY, I., & BAKER, T. (1995). Modelling spatially and temporally distributed phenomena: new methods and tools for GRASS GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(4), 433-446.

- MOYO, B., DUBE, S., LESOLI, M., MASIKA, P.J. (2008). Communal area grazing strategies: institutions and traditional practices. *African Journal of Range & Forage Science* 52(2), 47-54.
- NEWSON, M. D. (1985). Forestry and water on the uplands of Britain-the background of hydrological research and options for harmonious land use. *J. Forestry*, 79, 113-120.
- OJIMA, D. S., VALENTINE, D. W., MOSIER, A. R., PARTON, W. J., & SCHIMEL, D. S. (1993). Effect of land use change on methane oxidation in temperate forest and grassland soils. *Chemosphere*, 26(1), 675-685.
- ORMSBY, J. P., CHOUDHURY, B. J., & OWE, M. (1987). Vegetation spatial variability and its effect on vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, 8(9), 1301-1306.
- OZTAS, T., KOC, A., & COMAKLI, B. (2003). Changes in vegetation and soil properties along a slope on overgrazed and eroded rangelands. *Journal of Arid Environments*, 55(1), 93-100.
- PADILLA, C., CRESPO, G., & SARDIÑAS, Y. (2009). Degradación y recuperación de pastizales *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 43, núm. 4, 2009, pp. 351-354 Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(4), 351-354.
- PARDINI A. (2009), *Rangeland Management, Biodiversity conservation and habitat management*, (2): 236 -260.
- PARK, Y. S., CHON, T. S., KWAK, I. S., & LEK, S. (2004). Hierarchical community classification and assessment of aquatic ecosystems using artificial neural networks. *Science of the Total Environment*, 327(1), 105-122.
- PARTON, W.J., J.M.O. SCURLOCK, D.S. OJIMA, T.G. GILMANOV, R.J. SCHOLES, D.S. SCHIMEL, T. KIRCHNER, J.C. MENAUT, T. SEASTEDT, E. GARCIA MOYA, A. KAMNALRUT, AND J.L. KINYAMARIO. (1993). Observations and modeling of biomass and soils organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochemical Cycles*, 7(4), 785-809.
- PARTON, W.J.; MORGAN, J.A.; WANG, G.; DEL GROSSO, S. (2007). Projected ecosystem impact of the Prairie Heating and CO<sub>2</sub> Enrichment experiment. *New Phytologist*. 174: 823–834.

- PETERSON, D., PRICE, K., MARTINKO, E. (2002). Discriminating between cool season and warm season grassland cover types in northeastern Kansas. *International Journal of Remote Sensing* 23(23), 5015-5030.
- PHULPIN, T., NOILHAN, J., & STOLL, M. (1990). Parameters estimates of a soil vegetation model using AVHRR data. Proceedings of the 4th AVHRR data users meeting, Rothenburg, Germany, 5–8 Sept. 1989 (pp. 125–129). Darmstadt: EUMETSAT EUM P 06
- PICKUP, G., BASTIN, G. N., & CHEWINGS, V. H. (1994). Remote-sensing-based condition assessment for nonequilibrium rangelands under large-scale commercial grazing. *Ecological Applications*, 4(3), 497-517.
- PINCHAK, W. E., SMITH, M. A., HART, R. H., & WAGGONER JR, J. W. (1991). Beef cattle distribution patterns on foothill range. *Journal of Range Management*, 267-275.
- POLLEY, H. W., D. D. BRISKE J.A.MORGAN, K.WOLTER, D. W. BAILEY, AND J.R.BROWN. (2013). Climate change and North American rangelands: evidence, trends, and implications. *Rangeland Ecology & Management* 66:493–511.
- POSTIGO, J. C., YOUNG, K. R., & CREWS, K. A. (2008). Change and continuity in a pastoralist community in the high Peruvian Andes. *Human Ecology*, 36(4), 535-551.
- RAMANATHAN, R., GANESH, L.S. (1995). Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: an integrated model using goal programming and AHP. *Socio. Econ. Plan. Sci.* 29 (3), 197–218.
- REED, M.S., DOUGILL, A.J. (2002). Participatory selection process for indicators of rangeland condition in the Kalahari. *Geographical Journal* 168(3), 224-234.
- ROTH, N. E., ALLAN, J. D., & ERICKSON, D. L. (1996). Landscape influences on stream biotic integrity assessed at multiple spatial scales. *Landscape ecology*, 11(3), 141-156.
- ROWAN, R. C., LADEWIG, H. W., & WHITE, L. D. (1994). Perceptions vs. recommendations: a rangeland decision-making dilemma. *Journal of Range Management*, 344-348.
- SAATY, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management science*, 32(7), 841-855.
- SAFRIEL, U. N. (2007). The assessment of global trends in land degradation. *Climate and Land Degradation*. Springer, 1-38.

- SALA, O. E., LAUENROTH, W. K., & PARTON, W. J. (1992). Long-Term Soil Water Dynamics in the Shortgrass Steppe. *Ecology*, 73(4), 1175-1181.
- SALA, O. E., PARTON, W. J., JOYCE, L. A., & LAUENROTH, W. K. (1988). Primary production of the central grassland region of the United States. *Ecology*, 69(1), 40-45.
- SCHIMMEL, D.S. (1988). Calculation of microbial growth efficiency from nitrogen-15 immobilization. *Biogeochemistry*, 6(3), 239-243.
- SCHLESINGER, W. H., REYNOLDS, J. F., CUNNINGHAM, G. L., HUENNEKE, L. F., JARRELL, W. M., VIRGINIA, R. A., & WHITFORD, W. G. (1990). Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 247(4946), 1043-1048.
- SENAMHI. (2015). Generación de base de datos de precipitación mensual grillada de alta resolución a nivel nacional 1981-2013. [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/hidro\\_2015\\_Gen\\_base\\_datos\\_pre\\_m\\_en\\_gril\\_alt\\_res\\_niv\\_nac\\_1981-2013.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/hidro_2015_Gen_base_datos_pre_m_en_gril_alt_res_niv_nac_1981-2013.pdf)
- SERNANP; WWF; Cooperación Alemana. (2014). Análisis de la vulnerabilidad de las áreas naturales protegidas frente al cambio climático al 2030, 2050 y 2080. Documento de trabajo. Proyecto Iniciativa Trinacional: Fortalecimiento de los Sistemas Nacionales de Áreas Naturales Protegidas en Colombia, Ecuador y Perú (IT).
- SHANG, Z., & LONG, R. (2007). Formation causes and recovery of the “Black Soil Type” degraded alpine grassland in Qinghai-Tibetan Plateau. *Frontiers of Agriculture in China*, 1(2), 197-202.
- SCHROEDER, T. A., COHEN, W. B., SONG, C., CANTY, M. J., & YANG, Z. (2006). Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote sensing of environment*, 103(1), 16-26.
- SHELEY, R. L., AND J. KRUEGER-MANGOLD. (2003). Principles for restoring invasive plant-infested rangeland. *Weed Science* 51:260–265.
- SIMS, P.L. (1988). Grasslands. In: *North American Terrestrial Vegetation* [Barbour, M.G. and W.D. Billings (eds.)]. Cambridge University Press, New York, NY, 434 pp.
- SPADAVECCHIA, L., & WILLIAMS, M. (2009). Can spatio-temporal geostatistical methods improve high resolution regionalisation of meteorological variables?. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6), 1105-1117.

- STRINGER, L., REED, M. (2007). Land degradation assessment in southern Africa: integrating local and scientific knowledge bases. *Land Degradation & Development* 18(1), 99-116.
- STUART, N., BARRATT, T., & PLACE, C. (2006). Classifying the Neotropical savannas of Belize using remote sensing and ground survey. *Journal of Biogeography*, 33(3), 476-490.
- SULLIVAN, S., & ROHDE, R. (2002). On non-equilibrium in arid and semi-arid grazing systems. *Journal of Biogeography*, 29(12), 1595-1618.
- TALBOT, L. M. (1986). Demographic factors in resource depletion and environmental degradation in East African rangeland. *Population and Development Review*, 441-451.
- TANSER, F. C., & PALMER, A. R. (1999). The application of a remotely-sensed diversity index to monitor degradation patterns in a semi-arid, heterogeneous, South African landscape. *Journal of arid environments*, 43(4), 477-484.
- TAO, X. D., AND ZHAO, H. J. (2002). Study on the vulnerability assessment, restoration and regeneration of ecology in the Hexi Corridor. *Arid Zone Research* 19, 7–11.
- TEERI, J. A., & STOWE, L. G. (1976). Climatic patterns and the distribution of C4 grasses in North America. *Oecologia*, 23(1), 1-12.
- TIESZEN, L. L., SENYIMBA, M. M., IMBAMBA, S. K., & TROUGHTON, J. H. (1979). The distribution of C3 and C4 grasses and carbon isotope discrimination along an altitudinal and moisture gradient in Kenya. *Oecologia*, 37(3), 337-350.
- TONG, C., WU, J., YONG, S. P., YANG, J., & YONG, W. (2004). A landscape-scale assessment of steppe degradation in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 59(1), 133-149.
- TONGWAY, D. J. A. N. L. HINDLEY. (2004). *Landscape function analysis: methods for monitoring and assessing landscapes, with special reference to minesites and rangelands*. CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra, Australia.
- TONGWAY, D. J., AND J. A. LUDWIG. (1996). Rehabilitation of semiarid landscapes in Australia. I. Restoring productive soil patches. *Restoration Ecology* 4:388–397.
- TOUTIN, T. (2008). ASTER DEMs for geomatic and geoscientific applications: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 29(7), 1855-1875.

- TSO, BRANDT. & OLSEN, R. C. (2005). Combining spectral and spatial information into hidden Markov models for unsupervised image classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(10), 2113-2133.
- TUCKER, C. J., DREGNE, H. E., & NEWCOMB, W. W. (1991). Expansion and contraction of the Sahara Desert. *Science*, 253, 299-301.
- UNITED NATIONS (UN). (2014). [en línea]: United Nations Framework Convention on Climate Change . Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change, [fecha de consulta: 25 Noviembre 2014]. Disponible en: <[http://unfccc.int/adaptation/nairobi\\_work\\_programme/knowledge\\_resources\\_and\\_publications/items/5506.php](http://unfccc.int/adaptation/nairobi_work_programme/knowledge_resources_and_publications/items/5506.php)>.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME [UNEP] . (1992). *World Atlas of Desertification*. Edward Arnold, London.
- VAN LAARHOVEN, P. J. M., & PEDRYCZ, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*, 11(1-3), 229-241.
- VARSHNEY, P. K., & ARORA, M. K. (2004). *Advanced image processing techniques for remotely sensed hyperspectral data*. Springer Science & Business Media.
- VILLA, F., & McLEOD, H. E. L. E. N. A. (2002). Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. *Environmental management*, 29(3), 335-348.
- VISAUTA VINACUA, B. (1998). *Análisis estadístico con SPSS para Windows*. Editorial McGraw-Hill.
- WALKER, S., & WILSON, J. B. (2002). Tests for nonequilibrium, instability, and stabilizing processes in semiarid plant communities. *Ecology*, 83(3), 809-822.
- WANG, G. X., SHEN, Y. P., QIAN, J., & WANG, J. D. (2003). Study on the influence of vegetation change on soil moisture cycle in alpine meadow. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 25(6), 653-659.
- WANG, G., QIAN, J., CHENG, G., & LAI, Y. (2001). Eco-environmental degradation and causal analysis in the source region of the Yellow River. *Environmental Geology*, 40(7), 884-890.
- WANG, J. Y., ZHAO, G. X., AND DU, C. X. (2005). Analysis on the regional ecological environment vulnerability based on the information of spatial structure of

landscapes – a case study in Kenli Country located in the Yellow River Delta. *Arid Zone Research* 22, 317–321.

- WANG, Y., WANG, J., LI, S., & QIN, D. (2014). Vulnerability of the Tibetan pastoral systems to climate and global change. *Ecology and Society*, 19(4), 8.
- WANG, X., CAO, Y., ZHONG, X., & GAO, P. (2012). A New Method of Regional Eco-environmental Quality Assessment and Its Application. *Journal of environmental quality*, 41(5), 1393-1401.
- WEAVER, J. E. AND CLEMENTS, F. E. (1938) *Plante Ecology*, Mcgraw-hill, New York.
- WESSELS, K., PRETORIUS, D., PRINCE, S. (2008). Reality of rangeland degradation mapping with remote sensing: the South African experience. *Ecological Applications* 17(3), 815–827.
- WESTOBY, M., WALKER, B., & NOY-MEIR, I. (1989). Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of range management*, 266-274.
- WESTREICHER, C. A., MÉREGA, J. L., & PALMILI, G. (2007). The economics of pastoralism: Study on current practices in South America. *Nomadic Peoples*, 11(2), 87-105.
- WHISENANT, S.G. (1999), *Repairing damaged wildlands—A process-oriented, landscape-scale approach*: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 328 p.
- WHISENANT, S.G. (2002). Manipulation of the physical environment. Terrestrial systems. In: Perrow, M.R., Davy, A.J. (Eds.), *Handbook of Ecological Restoration. Principles of Restoration*, vol. 1. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 83–105.
- WHITE, R.P., S. MURRAY, AND M. ROHWEDER (2000), *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Grasslands Ecosystems*.
- WICKHAM, J. D., JONES, K. B., RIITERS, K. H., WADE, T. G., & O'NEILL, R. V. (1999). Transitions in forest fragmentation: implications for restoration opportunities at regional scales. *Landscape Ecology*, 14(2), 137-145.
- WILCOX, B. P., WOOD, M. K., & TROMBLE, J. M. (1988). Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *Journal of Range Management*, 197-206.
- WILLIAMS JW, JACKSON ST (2007) Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. *Front Ecol Environ* 5:475-482

- WILLIAMS, N. S., MORGAN, J. W., MCCARTHY, M. A., & MCDONNELL, M. J. (2006). Local extinction of grassland plants: the landscape matrix is more important than patch attributes. *Ecology*, 87(12), 3000-3006.
- WINOGRAD, M. (1995). Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras / Manuel Winograd, en colaboración con: Proyecto nCA/GTZ, Organización de los Estados Americanos, Instituto de Recursos Mundiales. - San José, CR. : nCA, 1995. 84 p.; 28 cm.
- WITTICH, K. P., & HANSING, O. (1995). Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data. *International Journal of Biometeorology*, 38(4), 209-215.
- WU, B., & CI, L. J. (2002). Landscape change and desertification development in the Mu Us Sandland, Northern China. *Journal of Arid Environments*, 50(3), 429-444.
- WU, L., LIU, Y., ZHANG, J., MA, X.J., WEI, Z.Y., TIAN, Y., ET AL. (2002). *Geographic Information System—Principle, Method and Application*. Science Press, Beijing.
- XIANHUA, L., ZUOZHONG, C., & KIYAMA, T. A. (2000). Modeling the spatial pattern of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) under a post-nomadic sedentary grazing system. *Acta Phytocologica Sinica*, 24(6), 662-666.
- XIAO, J., & MOODY, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sensing of Environment*, 98(2), 237-250.
- XIE, Y., SHA, Z., & YU, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of plant ecology*, 1(1), 9-23.
- XIONG Y, ZENG G, CHEN G, TANG L, WANG K, HUANG D. (2007). Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality — A case study of Hunan Province China. *Ecological Modeling* 209:97- 109
- YANG, T., LI, P., WU, X., HOU, X., LIU, P., & YAO, G. (2014). Assessment of vulnerability to climate change in the Inner Mongolia steppe at a county scale from 1980 to 2009. *The Rangeland Journal*, 36(6), 545-555.
- YING, X., ZENG, G. M., CHEN, G. Q., TANG, L., WANG, K. L., & HUANG, D. Y. (2007). Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—a case study of Hunan Province, China. *Ecological modelling*, 209(2), 97-109.

- ZHANG, Y.L., J.Z. YAN, L.S. LIU, W.Q. BAI, C.S. LI, AND D. ZHENG (2002), ‘Impact of Qinghai-Xizang Highway on land use and landscape pattern change: from Golmud to Tanggulashan Pass’, *Acta Geographica Sinica* 57(3): 253–266.
- ZHENG, Y. R., XIE, Z. X., ROBERT, C., JIANG, L. H., & SHIMIZU, H. (2006). Did climate drive ecosystem change and induce desertification in Otindag sandy land, China over the past 40 years?. *Journal of Arid Environments*, 64(3), 523-541.

## **VIII. ANEXOS**

**ANEXO 1.** Resumen de Precipitación anual de las estaciones utilizadas.

N°	Estación	Lat.	Long	Alt.	Departament o	Provincia	Distrito	Año			
								2011	2012	2013	2014
1	Aija	-77607250	-9781639	3440	Ancash	Aija	Aija	457.70	377.10	551.20	617.70
2	Chavin	-77175528	-9586333	3137	Ancash	Huari	Chavin de Huantar	749.40	711.80	687.70	720.90
3	Chiquian	-77150278	-10150278	3382	Ancash	Bolognesi	Chiquian	592.30	756.20	658.80	425.50
4	Santiago Antunez de Mayolo	-77524861	-9516528	3079	Ancash	Huaraz	Independencia	571.00	819.80	780.70	989.30
5	Recuay_1	-77454028	-9729472	3444	Ancash	Recuay	Recuay	822.80	862.40	835.90	995.90
6	San Pedro de Cachi	-74358611	-13065278	2990	Ayacucho	Huamanga	Santiago de Pischa	934.10	737.90	688.40	790.80
7	Huachos	-75542222	-13220278	2598	Huancavelica	Castrovirreyna	Huachos	539.70	525.80	366.30	310.00
8	Lircay	-74728611	-12982500	3513	Huancavelica	Angaraes	Lircay	935.10	981.80	775.20	791.50
9	Tunel Cero	-75084722	-13254167	4475	Huancavelica	Huaytara	Pilpichaca	925.20	938.00	817.30	833.40
10	Cusicancha	-75305000	-13491389	2657	Huancavelica	Huaytara	San Antonio de Cusicancha	575.80	618.70	413.70	436.30
11	Choclococha	-75033611	-13100278	5069	Huancavelica	Castrovirreyna	Santa Ana	1,157.70	1,421.20	1,344.10	1,325.20
12	Huancalpi	-75237222	-12542222	4450	Huancavelica	Huancavelica	Vilca	1,082.02	827.70	753.00	842.60
13	Huayao	-75338889	-12033611	3360	Junin	Chupaca	Huachac	911.20	691.00	657.70	793.54
14	Jauja	-75479400	-11783100	3360	Junin	Jauja	Jauja	607.00	818.40	713.30	792.30
15	Junin	-75999722	-11135278	4120	Junin	Junin	Junin	1,631.60	991.20	1,060.70	913.00
16	Ricran	-75525278	-11542222	3687	Junin	Jauja	Ricran	1,034.40	867.50	845.10	745.30
17	San Juan de Jarpa	-75431944	-12125000	3650	Junin	Chupaca	San Juan de Jarpa	1,069.50	869.90	899.60	810.90
18	La Oroya	-75965556	-11576111	4007	Junin	Yauli	Santa Rosa de Sacco	831.00	785.90	788.00	1,325.20

...continuación

N°	Estación	Lat.	Long	Alt.	Departament o	Provincia	Distrito	Año			
								2011	2012	2013	2014
19	Tarma	-75691667	-11396944	3200	Junin	Tarma	Tarma	289.70	259.00	193.40	133.00
20	Viques	-75234167	-12162500	3186	Junin	Huancayo	Viques	1,117.70	877.80	629.50	895.90
21	Laive	-75355278	-12252222	3831	Junin	Chupaca	Yanacancha	932.90	1,121.30	991.90	1,101.40
22	Carania	-75866944	-12350278	3802	Lima	Yauyos	Carania	488.30	446.00	412.10	339.60
23	Carania	-75872417	-12344667	3875	Lima	Yauyos	Carania	646.10	490.10	525.30	403.50
24	Vilca	-75826361	-12114944	3810	Lima	Yauyos	Huancaya	981.10	686.10	778.40	850.40
25	San lazaro de escomarca	-76350278	-12183611	3840	Lima	Huarochiri	Langa	417.90	494.40	528.00	632.80
26	Oyon	-76766944	-10666944	3676	Lima	Oyon	Oyon	646.90	625.40	514.00	642.20
27	Picoy	-76733611	-10916944	3075	Lima	Huaura	Santa Leonor	593.60	625.90	549.30	545.20
28	Yauyos	-75910611	-12492056	2294	Lima	Yauyos	Yauyos	393.40	452.60	309.00	296.40
29	Cerro de pasco	-76254167	-10694444	4260	Pasco	Pasco	Chaupimarca	1,001.40	1,067.30	1,135.50	1,042.40
30	Yanahuanca	-76508056	-10491389	3190	Pasco	Daniel Alcides Carrion	Yanahuanca	1,074.90	966.60	856.50	1,052.70
31	Mayorarca	-77416944	-10166944	3200	Ancash	Bolognesi	Cajacay	441.00	496.10	509.60	545.90
32	Carhuacayan	-76283611	-11200278	4150	Junin	Yauli	Santa Barbara de Carhuacayan	1,092.80	1,038.30	1,026.70	1,071.90
33	Yauricocha	-75722917	-12316667	4675	Lima	Yauyos	Alis	917.90	1,039.80	681.10	700.30
34	Ayaviri	-76133611	-12383611	3228	Lima	Yauyos	Ayaviri	515.40	656.40	626.10	777.90
35	Milloc	-76350278	-11571556	4361	Lima	Huarochiri	Carampoma	994.50	1,153.50	893.00	1,079.10
36	Huañec	-76139925	-12291939	3194	Lima	Yauyos	Huañec	474.90	515.90	447.00	486.80
37	Huancata	-76216944	-12216944	3875	Lima	Huarochiri	San Lorenzo de Quinti	396.94	360.40	261.70	358.00
38	Parquin	-76716944	-10966944	3590	Lima	Huaura	Santa Leonor	360.30	987.90	834.90	923.30
39	Tanta	-76016944	-12116944	4355	Lima	Yauyos	Tanta	1,211.10	1,051.80	905.30	1,175.80

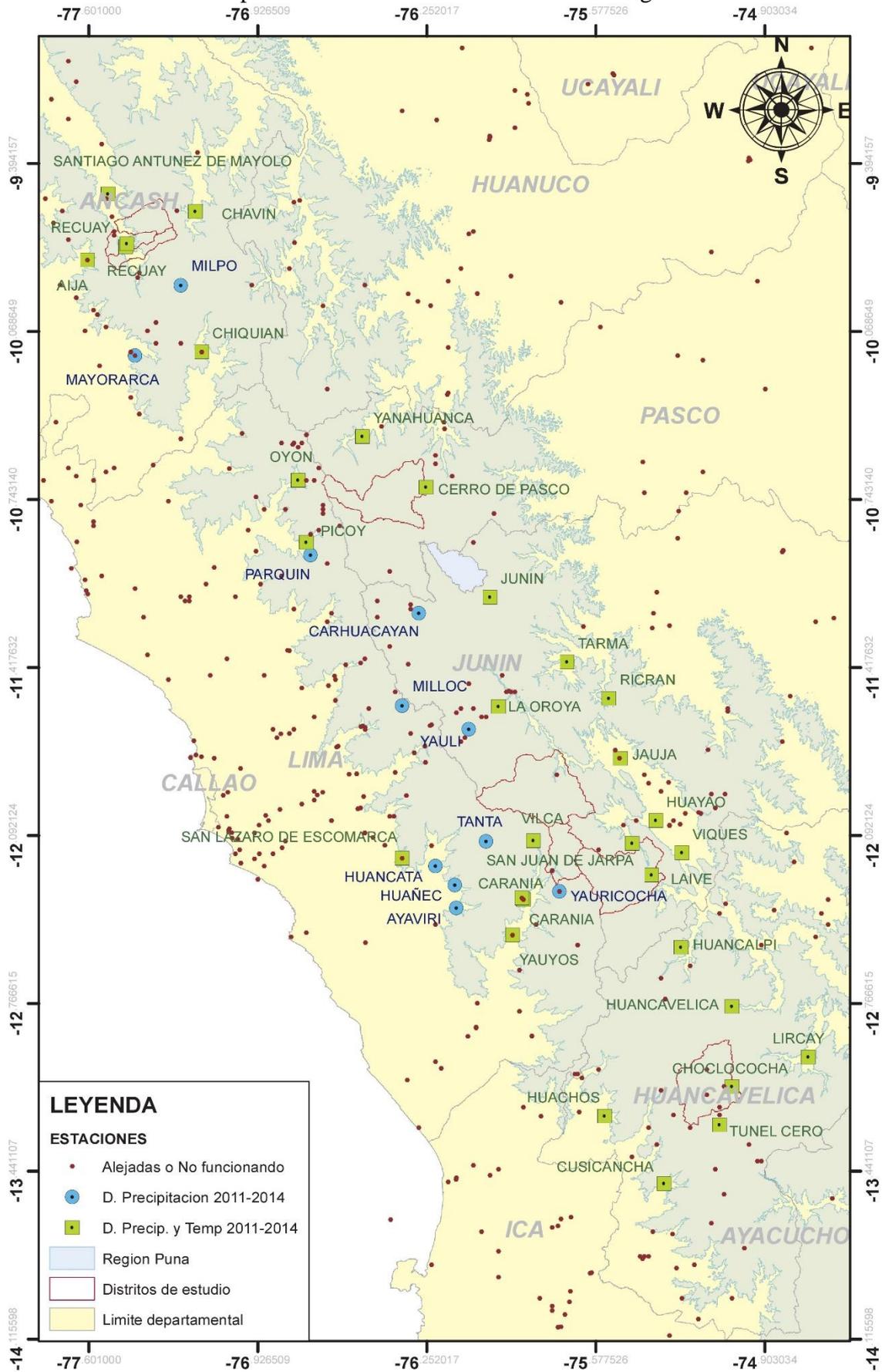
**ANEXO 2.** Resumen de Temperatura media anual de las estaciones utilizadas.

N°	Estación	Lat.	Long	Alt.	Departament o	Provincia	Distrito	Año			
								2011	2012	2013	2014
1	Aija	-77607250	-9781639	3440	Ancash	Aija	Aija	9.07	9.92	9.27	8.95
2	Chavin	-77175528	-9586333	3137	Ancash	Huari	Chavin de Huantar	13.43	13.46	15.02	14.04
3	Chiquian	-77150278	-10150278	3382	Ancash	Bolognesi	Chiquian	12.31	12.61	12.64	12.65
4	Santiago Antunez de Mayolo	-77524861	-9516528	3079	Ancash	Huaraz	Independencia	14.33	14.93	15.40	15.54
5	Recuay_1	-77454028	-9729472	3444	Ancash	Recuay	Recuay	12.29	12.67	13.06	11.94
6	Recuay_2	-77450278	-9716944	3532	Ancash	Recuay	Recuay	11.66	11.14	12.66	13.66
7	San Pedro de Cachi	-74358611	-13065278	2990	Ayacucho	Huamanga	Santiago de Pischa	14.72	14.28	14.46	14.66
8	Huacavelica	-75033889	-12779167	3770	Huancavelica	Huancavelica	Ascencion	8.50	7.77	7.68	8.14
9	Huachos	-75542222	-13220278	2598	Huancavelica	Castrovirreyna	Huachos	14.79	15.39	15.80	16.24
10	Lircay	-74728611	-12982500	3513	Huancavelica	Angaraes	Lircay	12.34	12.26	12.47	12.75
11	Tunel Cero	-75084722	-13254167	4475	Huancavelica	Huaytara	Pilpichaca	4.69	4.85	4.74	5.34
12	Cusicancha	-75305000	-13491389	2657	Huancavelica	Huaytara	San Antonio de Cusicancha	13.88	14.03	13.12	13.19
13	Choclococha	-75033611	-13100278	5069	Huancavelica	Castrovirreyna	Santa Ana	4.84	4.83	5.17	5.22
14	Huancalpi	-75237222	-12542222	4450	Huancavelica	Huancavelica	Vilca	9.93	9.96	9.80	9.95
15	Huayao	-75338889	-12033611	3360	Junin	Chupaca	Huachac	12.42	12.37	12.88	12.57
16	Jauja	-75479400	-11783100	3360	Junin	Jauja	Jauja	12.72	12.40	12.09	12.71
17	Junin	-75999722	-11135278	4120	Junin	Junin	Junin	6.44	6.21	6.43	6.59
18	Ricran	-75525278	-11542222	3687	Junin	Jauja	Ricran	8.43	8.29	8.45	8.46
19	San Juan de Jarpa	-75431944	-12125000	3650	Junin	Chupaca	San Juan de Jarpa	9.50	9.18	6.99	9.59
20	La Oroya	-75965556	-11576111	4007	Junin	Yauli	Santa Rosa de Sacco°	8.69	8.52	8.91	5.22
21	Tarma	-75691667	-11396944	3200	Junin	Tarma	Tarma	12.28	12.51	12.53	12.09

...continuación

N°	Estación	Lat.	Long	Alt.	Departament o	Provincia	Distrito	Año			
								2011	2012	2013	2014
22	Viques	-75234167	-12162500	3186	Junin	Huancayo	Viques	13.05	13.09	13.43	13.42
23	Laive	-75355278	-12252222	3831	Junin	Chupaca	Yanacancha	6.47	6.72	7.00	7.28
24	Carania	-75866944	-12350278	3802	Lima	Yauyos	Carania	8.12	8.45	8.87	8.31
25	Carania	-75872417	-12344667	3875	Lima	Yauyos	Carania	9.27	9.87	9.80	9.93
26	Vilca	-75826361	-12114944	3810	Lima	Yauyos	Huancaya	11.02	11.67	11.66	11.72
27	San lazaro de escomarca	-76350278	-12183611	3840	Lima	Huarochiri	Langa	7.45	8.05	9.50	9.22
28	Oyon	-76766944	-10666944	3676	Lima	Oyon	Oyon	10.39	10.77	10.98	10.80
29	Picoy	-76733611	-10916944	3075	Lima	Huaura	Santa Leonor	11.82	12.17	12.42	12.75
30	Yauyos	-75910611	-12492056	2294	Lima	Yauyos	Yauyos	16.59	17.78	17.20	17.06
31	Cerro de pasco	-76254167	-10694444	4260	Pasco	Pasco	Chaupimarca	5.70	5.50	5.98	5.79
32	Yanahuanca	-76508056	-10491389	3190	Pasco	Daniel Alcides Carrion	Yanahuanca	13.37	13.23	13.45	13.94

**ANEXO 3.** Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas.



#### ANEXO 4

Descripción de unidades geológicas y determinación del índice de intemperismo por distrito de estudio.

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
CANCHAYLLO	119	T-gd	24K	Terciario, granodiorita	Granodiorita	Plagioclasa, Biotita, Feldespato, cuarzo	5
	161	Q-g	24K	Dep. Glaciares.	Depositos morrenicos antiguos		3
	167	Ks-ce	24L	Fm. Celendin	Rocas carbonatadas en estratos delgados, que son margas y calizas arcillosas, calizas y dolomitas. Bivalvos son comunes.	Calcita, magnesita	2
	193	Pueblo	24L	Poligono de Pueblo			
	194	Laguna	25L	Poligono de Laguna			
	215	KsP-ca	24L	Fm. Casapalca	Areniscas rojas friables, suaves, margas, lodolitas y conglomerados que tienen un color rojo característico. Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige, lodolitas calcareas arcillosas grises con fauna pelagica e indicios de bioturbacion, depositadas también en la profundidad 0.	oxido de hierro, calcita, feldespatos	3
	221	Ki-chu	24L	Fm. Chulec	Areniscas finas con limolitas y esporadicos mnglomerados mn dastos subangulosos a subredondeados de 2 cm de diámetro, envueltos en una matriz limosa	Calcita	2
	247	Ki-cha	25L	Fm. Chayllacatana	Depositos de travertinos en los fondos de los valles	granos(cuarzo, feldespatos, sericita, clorita, caolinita, circón, biotita, apatito, epidota y turmalina)	5
	291	Q-tr	24L	Depositos travertinos	Rocas clásticas, rojizas, lutitas, margas y calizas ,conglomerado cuarcítico , algo calcáreo de matíz rosácea con cantos redondeados de 1 a 10 cm. ; gravas pequeñas y bloques grandes dentro de una matriz areno-limosa	calcita	2
	297	KsP-c	24L	Fm. Casapalca	Calizas gris azulinas interstratifican en estratos delgados a gruesos, en la mayoría de los casos formando monoclinales.	feldespatos, plagioclasa, cuarzo, micas	5
	298	Ks-ju	24L	Fm. Jumasha		Calcita	2
307	N-r	24L	Rocas subvolcanicas, riolita	Rocas subvolcanicas, riolita	cuarzo, feldespato, oligoclasa, biotita, anfíbol y piroxeno	5	

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
CANCHAYLLO	310	N-gd	24L	Rocas intrusivas - Granodiorita	Rocas intrusivas - Granodiorita	cuarzo, feldespatos, plagioclasas	6
	316	Q-g3	24L	Dep. ligados 3ra glaciación.	Se encuentra frecuentemente otros arcos con formas aun mas frescas pero siempre bien colonizados por la vegetacion.		3
	319	Q-go	24L	Pequeña edad glaciación	Arcos morrenicos muy frescos desprovistos de vegetacion, depositos aluviales del lecho mayor de los rios		3
	321	N-i	24L	Neogeno, Intrusivos indiferenciados	Neogeno, Intrusivos indiferenciados		3
	329	Q-g1	24L	Dep. ligados a la primera glaciación	Conglomerados heterometricos, con abundante matriz arenosa y guijarrosa y bloques subangulosos estriados que fueron conservados por estar cementados por calcita.		3
	335	Ki-pt	24L	Fm. Pariatambo, Calizas.	Facies calcareo-margosa amarilla y rosada, alternancia de calizas y margas, las calizas son algo arenosas en estratos de 20 a 40 cm, su color varia de gris-beige a ocre claro y rosado, este ultimo color parece relacionado al intemperismo.	Calcita, arcilla, siderita, cuarzo	2
	341	N-ti	24L	Travertinos Incahuasi	Travertinos	calcita, aragonito y limonita	2
	357	N-vy	24L	Fm. Yanacancha	Lavas, brechas y conglomerados, de composición andesitica a basaltica, de colores oscuros que varia de violaceo a pardo y verde	plagioclasa, biotita y hornblenda	4
	361	Q-d	24L	Deslizamientos	Deslizamientos		3
	486	Q-t1	24L	Cuaternario terraza 1	Acumulaciones morrenicas se relacionarian con las terrazas t3, t2 y t1. Los depositos con mayor expresion morfologica son las morrenas g2, representadas por crestas muy conspicuas en el terreno.		3
487	Q-t2	24L	Cuaternario terraza 2	Terrazas de conglomerados y arenas pardas amarillentas poco consolidados. Es de notar que, en la parte baja de estas laderas, encima del nivel de las terrazas Q-t2, estos travertinos Q-ert cimentan tambien restos de terrazas antiguas Q-t3.		3	

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
CANCHAYLLO	490	Nm-h	24L	Fm. Huarochiri	Arenisca constituida por material volcanico, de estructura brechoide y coloraciones rojizas; y andesitas verde violaceas, que se intercalan con horizontes conglomeradicos de color violaceo que intemperizan a color blanquecino.	feldespato, mica, cuarzo	5
	559	N-b	24L	Neogeno, intrusivos, intermedios y basicos indiferenciados	Neogeno, intrusivos, intermedios y básicos indiferenciados		3
	562	Pl2-m	24L	Grupo Jauja, Fm. Mataula. Grupo Jauja	Conglomerados y arenas gruesas deformados por anticlinales y flexuras. Secuencia limoarcillitica monótona finamente estratificada (laminar) de color marrón beige, actualmente adosado discordantemente a la Formación Oyon		3
	563	Ki-gp	24L	Gpo. Goyllarisquisga-Fm. Pariahuanca.	Arenisca cuarcitica, limolitas rojas con cemento calcáreo y a veces dolomitizado e intercalados con deloadas capas de margas arenosas y estratificaciones oblicuas. Los 100 m superiores de la formacion son unicamente carbonatos	calcita	2
	570	N-to/di	24L	Tonalitas/Dioritas	Tonalitas/Dioritas	cuarzo y plagioclasa, hornblenda y biotita	4
	727	N-mdi	24L	Microdioritas	Microdioritas	plagioclasa, hornblenda y biotita	4
	903	T-di	24K	Terciario, diorita	Diorita	a. plagioclasa, biotita	5
	1,171	Ji-co	25L	Fm. Condorsinga	Caliza gris con algunos cherts, de grano fino, con algunos oolitos y pseudo-oolitos, estos últimos formados por calcareo limonitico. Contiene secciones de pelecipodos, gastropodos y algas.	Calcita	2

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
CANCHAYLLO	2,923	Ki-pt	24L	Fm. Pariatambo	Fm. Pariatambo, secuencia marina calcárea gris blanquecina con intercalaciones de areniscas calcarea. Dolomitas claras poco a medianamente bituminosas ricas en amonites y foraminiferos (globigerinas), dolomitas con cherts, muy frecuentes en la mitad superior	Calcita	2
	3,631	N-gd/to	24L	granodiorita tonalita	granodiorita tonalita	cuarzo, feldespatos, plagioclasa	5
	3,923	Q-e	24L	escombros	formaciones rocosas carbonatadas, por grados diferentes de encosframiento calcareo, que provienen de manantiales de aguas ricas en carbonato de calcio	calcita	2
	4,055	Q-g2	24L	Glaciacion Punrun	Arcos morrenicos g2 bien desarrollados alrededor del lago de Junín. Pensamos sin embargo haberlo hecho en el valle del rio Cochas-Pachacayo. en cuya parte media, entre la hacienda Cochas y la confluencia con el rio Pinascochas	Calcita, arcilla, siderita,	2
	4,229	Ji-c	24L	Fm. Condorsinga	Caliza bioclastica de color gris a gris parduzco de granularidad faneritica que consta esencialmente de calcita y restos de equinoideos, dolomitas, lutitas son escasas, granos de cuarzo, arenas de grano grueso.	Calcita	2
	4,237	KTi-c	24K	Fm. Casapalca	Rocas clásticas, rojizas, conglomerado cuarcítico , algo calcáreo de matiz rosacea con cantos redondeados de 1 a 10 cm. De diámetro; en menor proporcion existen gravas pequeñas y algunos bloques grandes dentro de una matriz areno-limosa	feldespatos, plagioclasa, cuarzo, micas	5
	4,277	Ks-j	24K	Fm. Jumasha	Calizas en estratos delgados tabulares intercalados con delgados estratos de limoarcillitas grises.	Calcita	2
	4,294	Np-m	24L	Fm. Mataula	Arenas y areniscas poco consolidadas frecuentemente de color rosado. Depósitos glaciarios plegados, limoarcillitica monotona finamente estratificada. Además está depositado sobre conglomerados fluviales de clastos cuarcíticos y andesíticos	plagioclasa, biotita, oxido de hierro	5
	4,295	Jm-chu	25L	Fm. Chunumayo	Caliza arenosa ocre, arenisca purpura laminada	Calcita	2
	4,296	Jim-ce	25L	Fm. Cercapuquio	Calizas de color amarillo herrumbroso, Lutitas rojas con capas delgadas de areniscas calcáreas de color amarillo	Calcita	2

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
CANCHAYLLO	4,372	Ki-go	25L	Gpo. Goyllarisquizga	Areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas, areniscas macizas, limpias, a menudo conglomeradicas, y forma un farallon seguido por una sucesion de depresiones limo-arenosas o limo-carbonosas y de crestones arenosos y conglomeradicos.	cuarzo, feldespato y micas.	5
	4,791	Ki-chp	24L	Fm. Chulec-pariatambo.	Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige. Dolomitas con cherts, muy frecuentes en la mitad superior de la formacion; los cherts constituyen nódulos o lechos de silexita continuos. Intercalaciones de yeso	Calcita	2
	19	Nm-cb/gd,to	20i	Batolito de la cordillera Blanca	leucogranodiorita de grano grueso, tonalita	Anfibol, Plagioclasa, Biotita, Feldespato, cuarzo, esfena	5
	175	Js-chic	20i	Fm. Chicama.	Areniscas grises, areniscas cuarzosas, subliticas a subarcosicas, interestratificadas con Iutitas gris oscuras, pizarrosas	Cuarzo, clorita, yeso	4
	194	Laguna	20i	Poligono de Laguna			
OLLEROS	263	Qh-al	20i	Depositos aluviales	Gravas y arenas mal seleccionados en matriz, limoarenosa, rocas graniticas.	cuarzo, yeso, feldespato y mica	4
	281	Qh-gf	20i	Cuaternario holoceno glacio-fluvial	Cuaternario holoceno glacio-fluvial	sericita, calcita, hojuelas de clorita	3
	373	Q-mo	20i	Depositos morrenicos	Bloques angulosos, Arenas, gravas y limos.	sericita, calcita, hojuelas de clorita	4
	736	Q-mo1	20i	Depositos morrenicos	Rocas graniticas	Cuarzo, feldespato y mica	4
	737	Q-mo2	20i	Depositos morrenicos	Rocas graniticas	Cuarzo, feldespato y mica	4
4,137	PN-ca_i	20i	Gpo. Calipuy inferior	Flujos y tobas de cenizas , Flujo y toba de lapilli, Miembros y aglomerados , Flujo finamente laminado y toba de lapilli , Conglomerado Basal	plagioclasa, cuarzo, biotita, clorita	5	

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
RECUAY	175	Js-chic	20i	Fm. Chicama.	Areniscas grises, areniscas cuarzosas, subliticas a subarcosicas, interestratificadas con lutitas gris oscuras, pizarrosas	Cuarzo, clorita, yeso	4
	194	Laguna	20i	Poligono de Laguna			
	263	Qh-al	20i	Depositos aluviales	Gravas y arenas mal seleccionados en matriz, limoarenosa, rocas graniticas.	cuarzo, yeso, feldespato y mica	4
	373	Q-mo	20i	Depositos morrenicos	Bloques angulosos, Arenas, gravas y limos.	sericita, calcita, hojuelas de clorita	4
	582	PN-ca_s	20H	Grupo Calipuy	Tobas soldadas, Ignimbritas	Cuarzo, plagioclasa, biotita	5
	588	N-rd/da	20H	Intrusivos Neogenas	Dacitas, riocacitas	augita y leucita sanidina, cuarzo, biotita, anfíbol	5
	736	Q-mo1	20i	Depositos morrenicos	Rocas graniticas	cuarzo, feldespato y mica	4
	2,503	Qpl-mo	20H	Depositos Morrenicos	Fragmentos angulosos a subangulosos, diametro variable en matriz.	sericita, calcita, hojuelas de clorita	4
SANTAANA	4,137	PN-ca_i	20H	Gpo. Calipuy inferior	Flujos y tobas de cenizas, Flujo y toba de lapilli, Miembros y aglomerados, Flujo finamente laminado y toba de lapilli, Conglomerado Basal	plagioclasa, cuarzo, biotita, clorita	5
	194	Laguna	27M	Laguna			
	263	Qh-al	26M	Depositos aluviales	Gravas y arenas mal seleccionados en matriz, limoarenosa.	cuarzo, yeso, feldespato y mica	5
	297	KsP-c	26M	Fm. Casapalca	Intercalaciones de areniscas, lutitas, limoarcillitas, conglomerados calcáreos de coloraciones rojizas a marrones. Flujo andesítico basal subordinado, arenisca guijarrosa y conglomerado calcáreo cuarcítico.	feldespatos, plagioclasa, cuarzo, micas	5
	518	Nm-ca	27M	Fm. Caudalosa	Flujos andesiticos intercalados con brechas andesiticas y tobas, coladas de andesitas y brechas de flujo igualmente andesiticas, de colores gris oscuros y verdosos.		3
	1,198	Nm-ap_s/bx	26M	Fm. Apacheta	brecha monomictica	Cuarzo, plagioclasa	5
1,245	P-sa	26M	Fm. Sacsaquero	Toba arenosa brechoide gris con tintes verdosos, en el tope un estrato de arenisca rojiza dura	feldespato, cuarzo, oxido de hierro	5	

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
SANTA ANA	1,428	KsP-ca	26M	Fm. Casapalca	Intercalaciones de areniscas, lutitas, limoarcillitas, conglomerados calcareos de coloraciones rojizas a marrones. Flujo andesítico basal subordinado, arenisca guijarrosa y conglomerado calcareo cuarcítico.	feldespatos, plagioclasa, cuarzo, micas	5
	1,444	Qh-al2	27M	Dep. Aluviales 2	Gravas, arenas mal seleccionados en matriz arenolimososa.		3
	1,445	Qh-al1	27M	Dep. Aluviales 1	Gravas, arenas mal seleccionados en matriz arenolimososa.		2
	1,910	Qpl-fg	26M	Depositos Fluvioglaciares	Material de acarreo reciente, acumulado junto al lecho de ríos y en su desembocadura a lagunas		2
	2,296	PN-di	26M	Rocas intrusivas	Diorita. conjunto de intrusiones cuya composición varia de gabro a granito	plagioclasa,biotita	5
	2,503	Qpl-mo	27M	Depositos Morrenicos	Fragmentos angulosos a subangulosos, diámetro variable en matriz.		4
	2,547	N-dl/an	27M	Domo volcanico Carhuarazo.	Andesitas porfíricas, Morfoestructuras volcanicas - Domos volcanicos - Flujos andesíticos	plagioclasa, biotita, anfíboles	4
	2,693	PN-an	27M	Subvolcanica de composicion intermedia	litologia calcarea, presencia de rocas volcánicas sugiere un ambiente local con influencia de un antepais tectonicamente activo que aportaba rocas igneas y subvolcanicas de composición intermedia.	calcita	2
	3,330	AH	27M	Alteracion hidrotermal	depositas tipo pórfido de cobre	feldespatos, plagioclasa, cuarzo	5
	3,415	PN-c_s	26M	Fm. Castrovirreyna	Arenisca roja grano grueso, calizas tobas, brechas tobaceas y lavas	calcita, limolita, clorita, caolinita	3
	3,461	P-sa/tb	27M	Fm. Sacsaquero	Fm. Sacsaquero - Toba arenosa brechoide gris con tintes verdosos, en el tope un estrato de arenisca rojiza dura, toba gris con tonos rosaceos contienen plioclasas, pomez, liticos, en matriz silicea redepositadas; tambien se intercalan areniscas	feldespato, cuarzo, oxido de hierro	5
	3,469	P-tt/bx	27M	Fm. Tantara	Secuencia de brecha polimicticas de clastos sub-angulosos a subredondeados de hasta 60 cm. Derrames andesíticos, riódacíticos y dacíticos de color gris y pardo violáceo; con textura porfírica y a veces afaníticas.	feldespato, plagioclasa, biotita, cuarzo	5
4,062	N-cj/an	26M	Morfoestruct. Volcan - Centro volcanico Carhuajasa	Flujos andesíticos	plagioclasa, piroxeno, biotita y hornblenda	4	

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
SANTA ANA	4,062	N-cj/an	26M	Morfoestruct. Volcan - Centro volcanico Carhuajasa	Flujos andesiticos	plagioclasa, piroxeno, biotita y hornblenda	4
	4,063	N-dl/an	26M	Domo volcanico Carhuarazo.	Andesitas porfiríticas, Morfoestructuras volcanicas - Domos volcanicos - Flujos andesiticos	plagioclasa, biotita, anfiboles	4
	4,084	N-az/an	26M	Centro volcanico Antarazo	Lavas andesiticas fluidales. - Rocas sedimentarias piroclasticas	plagioclasa, biotita, anfiboles	4
	4,304	P-tt	26M	Fm. Tantara	Derrames andesiticos, riocaciticos y daciticos de color gris y pardo violaceo; con textura porfirítica y a veces afaníticas. En forma subordinada y esporádica presentan intercalaciones de brechas andesíticas a dacíticas y tobas andesíticas	feldespato, plagioclasa, biotita, cuarzo	5
	4,306	PN-c	26M	Fm. Castrovirreyna	Arenisca y brecha tobacea, Arenisca roja grano grueso y conglomerado con ocasionales cantos pequeños y grandes de roca volcanica		3
	5,134	Nm-au	27M	Fm. Auquivilca	Areniscas tobaceas de grano fino medio a grueso, color plumizo con tinte verdoso y grisáceo, en capas medianas, ocasionalmente en capas de 10 cm. a 2 m. En la parte superior intercalación de caliza gris en capas de 60 cm. y arenisca tobacea pardo amarillo	calcita, feldespatos	3
SIMON BOLIVAR	50	Ki-g	22K	Gpo. Goyllarisquizga	Limolitas, lutitas gris verdosas, areniscas cuarzosas blanquesinas, lentes de carbón, areniscas gris claras alternando con lutitas grises a limolitas rojizas.	cuarzo, feldespato y micas.	5
	68	Ki-ch	22K	Fm. Chulec	Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige. Calizas grises en estratos métricos con algunas margas negras laminadas	Calcita	2
	108	Q-al	22K	Dep. Aluviales.	Gravas, arenas y limos. Los clastos son subredondeados a redondeados		3
	168	KP-ca	22K	Fm. Casapalca	Areniscas, limolitas y limolitas calcareas, calizas de coloracion rojiza, calizas masivas, de color rojizo claro.	oxido de hierro, calcita, feldespatos	3

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
SIMON BOLIVAR	194	Laguna	22K	Poligono de Laguna			
	228	Ks-c	22J	Fm. Cajamarca.	Secuencias calcáreas que cubren los flancos de las quebradas, Se le correlaciona con la parte superior del Fm. Jumasha de calizas en el centro del Perú.	Calcita, arcilla, siderita, cuarzo, hematita	3
	298	Ks-ju	22K	Fm. Jumasha	Calizas en estratos delgados tabulares intercalados con delgados estratos de limoarcillitas grises.	Calcita, arcilla, siderita, cuarzo, hematita	3
	335	Ki-pt	22K	Fm. Pariatambo, Calizas.	Facies calcáreo-margosa amarilla y rosada, alternancia de calizas y margas, las calizas son algo arenosas en estratos de 20 a 40 cm, su color varia de gris-beige a ocre claro y rosado, este ultimo color parece relacionado al intemperismo.	Calcita, arcilla, siderita, cuarzo	2
	371	KTi-vca	22J	Volcanico Calipuy	Lavas andesiticas purpuras, piroclasticos gruesos, tufos finamente estratificados, basaltos, riolitas y dacita.	cuarzo, latita	6
	373	Q-mo	22J	depósitos morrenicos	Bloques y gravas en una matriz areno- limosa, pobremente clasificada, a veces leve pseudoestratificacion corno testigo de fusiones estacionales durante el periodo glaciario.		4
	492	Nm-r	22K	Fm. Rumichaca.	Derrames de lavas basálticas, tobas riocácicas y sedimentos lacustrinos.	olivina	3
	532	TrJi-pu	22K	Gpo. Pucara	Calizas gris azulinas en bancos mediana gruesos con nodulos de chert. clastos de filita y cuarzo, dolomitas con niveles de chert negro, cineritas y niveles rojos que pueden representar superficies endurecidas.	Calcita	2
	623	SD-e	22K	Grupo Excelsior	Pizarras y filitas intercaladas con cuarcitas de grano fino y algunas capas de calizas	moscovita, clorita y cuarzo, calcita	5
	632	Q-fg	22K	Dep. Fluvioglaciares	Grava gruesa y fina, bien clasificada, con elementos redondeados y asociados con capas de arena, limo y arena arcillosa en proporciones variables.		3
	636	PN-vca	22K	Volcanico Calipuy	Lavas andesiticas purpuras, piroclasticos gruesos, tufos finamente estratificados, basaltos, riolitas y dacitas.	cuarzo, latita	6
664	Nm-an,d	22K				3	

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
SIMON BOLIVAR	856	KTi-p	22J	Rocas Intrusivas - Perfidicos.	Cristales porfiriticos de plagioclasa dispuestos en una matriz de grano fino fonnacla de cuarzo y ofiosa.	cuarzo	5
	4,225	Ps-m	22K	Gpo. Mitu	Arenisca rojiza y gris cubierta por un conglomerado arenoso, lutita, derrames volcánicos y piroclastos riolíticos a andesíticos	feldespato, mica, cuarzo	5
	4,275	KTi-ca	22J	Fm. Casapalca	Areniscas y margas de colores rojo y verde con algunos lechos de conglomerados y ocasionales horizontes lenticulares de calizas grises.	oxido de hierro, calcita, feldespatos	3
	4,277	Ks-j	22J	Fm. Jumasha	Calizas en estratos delgados tabulares intercalados con delgados estratos de limoarcillitas grises.	Calcita, arcilla, siderita, cuarzo, hematita	3
	4,280	Tr-ch	22K	Grupo Pucara - Fm. Chambara	Calizas grises en capas delgadas a medias, calizas mudstone y wackestone en estratos que pueden llegar a 1 m de espesor, con niveles de calizas rudstone fosilíferas, con gasteropodos y pellets.	Calcita	2
	4,289	T-vh	22J	Volcanico Huaron.	volcánicos es de edad cretácea y viene a ser el equivalente lateral de alguna porción de la secuencia sedimentaria cretácea.	biotita	4
TICAPAMPA	19	Nm-cb/gd,to	20i	Batolito de la cordillera Blanca	leucogranodiorita de grano grueso, tonalita	Anfibol, Plagioclasa, Biotita, Feldespato, cuarzo, esfena,	5
	175	Js-chic	20i	Fm. Chicama.	Areniscas grises, areniscas cuarzosas, subliticas a subarcosicas, interestratificadas con lutitas gris oscuras, pizarrosas	Cuarzo, clorita, yeso	4
	194	Poligono rios	20i	Poligono rios			
	263	Qh-al	20i	Depósitos aluviales	Gravas y arenas mal seleccionados en matriz, limoarenosa, rocas graníticas.	cuarzo, yeso, feldespato y mica	3
	281	Qh-gf	20i	Cuaternario holoceno glacio-fluvial	Cuaternario holoceno glacio-fluvial	sericita, calcita, hojuelas de clorita	3
	373	Q-mo	20i	depósitos morrenicos	Bloques angulosos, Arenas, gravas y limos.	sericita, calcita, hojuelas de clorita	4
	582	PN-ca_s	20H	Grupo Calipuy	Tobas soldadas, Ignimbritas	Cuarzo, plagioclasa, biotita augita y leucita	5

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
TICAPAMPA	588	N-rd/da	20i	Intrusivos Neogenas	Dacitas, riodacitas	plagioclasa rica en sodio, sanidina, cuarzo, biotita, anfíbol	5
	736	Q-mo1	20i	Depositos morrenicos	Rocas graníticas	cuarzo, feldespato y mica	4
	737	Q-mo2	20i	Depositos morrenicos	Rocas graníticas	cuarzo, feldespato y mica	4
	2,503	Qpl-mo	20H	Depositos Morrenicos	Fragmentos angulosos a subangulosos, diámetro variable en matriz.	sericita, calcita, hojuelas de clorita	4
	167	Ks-ce	25L	Fm. Celendin	Rocas carbonatadas en estratos delgados, que son margas y calizas arcillosas, calizas y dolomitas. Bivalvos son comunes.	Calcita, magnesita	2
	194	Laguna	25L	Poligono de Laguna			
TOMAS	215	KsP-ca	25L	Fm. Casapalca	Areniscas rojas friables, suaves, margas, lodolitas y conglomerados que tienen un color rojo característico.	óxido de hierro, calcita, feldespatos	3
	221	Ki-chu	25L	Fm. Chulec	Calizas arenosas, areniscas calcáreas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige, lodolitas calcáreas arcillosas grises con fauna pelagica e indicios de bioturbacion, depositadas también en la profundidad 0.	Calcita	2
	247	Ki-cha	25L	Fm. Chayllacatana	Areniscas finas con limolitas y esporadicos mnglomerados en clastos subangulosos a subredondeados de 2 cm de diámetro, envueltos en una matriz limosa	granos(cuarzo, feldespatos, sericita, clorita, caolinita, circón, biotita, apatito, epidota y turmalina)	5
	298	Ks-ju	25L	Fm. Jumasha	Calizas gris azulinas interstratifican en estratos delgados a gruesos, en la mayoría de los casos formando monoclinales.	Calcita, arcilla, siderita,	2
	302	Ks-ce2	25L	Fm. Celendin	Margas, calizas arcillosas en estratos delgados. Horizontes de yeso asociados a veces con calizas, lutitas rojas a beige y hasta areniscas.	Calcita, magnesita	2
	310	N-gd	25L	Rocas intrusivas - Granodiorita	Rocas intrusivas - Granodiorita	cuarzo, feldespatos, ,plagioclasas	6

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
TOMAS	361	Q-d	25L	Deslizamientos	Deslizamientos		3
	579	Ks-Ce1	25L	Fm. Celendin	Horizonte de yeso asociado con calizas, lutitas rojas. Rocas carbonatadas en estratos delgados, que son margas y calizas arcillosas, calizas y dolomitas.	Calcita, magnesita	2
	581	JsKi-och	25L	Grupo Goyllarisquizga - Fm. Oyon/Chimu	Areniscas macizas, limpias, a menudo conglomeradicas, y forma un farallon seguido por una sucesion de depresiones limo-arenosas o limo-carbonosas y de crestones arenosos y conglomeradicos.		3
	1,171	Ji-co	25L	Fm. Condorsinga	Caliza gris con algunos cherts, de grano fino, con algunos oolitos y pseudo-oolitos, estos ultimos formados por calcareo limonitico. Contiene secciones de pelecipodos, gastropodos y algas. En los 30 cm. superiores los bancos tienen 100 cm. y contiene	Calcita	2
	2,923	Ki-pt	25L	Fm. Pariatambo	Fm. Pariatambo, secuencia marina calcarea gris blanquecina con intercalaciones de areniscas calcarea.	Calcita	2
	4,055	Q-g2	25L	Glaciacion Punrun	Arcos morrenicos g2 bien desarrollados alrededor del lago de Junin. Pensamos sin embargo haberlo hecho en el valle del rio Cochac-Pachacayo. en cuya parte media, entre la hacienda Cochac y la confluencia con el rio Pinascochas	Calcita, arcilla, siderita,	2
	4,195	N-di	25L	Diorita, Neogena	Diorita, Neogena	plagioclasa,biotita	5
	4,295	Jm-chu	25L	Fm. Chunumayo	Caliza arenosa ocre, arenisca purpura laminada	Calcita	2
	4,296	Jim-ce	25L	Fm. Cercapuquio	Calizas de color amarillo herrumbroso, Lutitas rojas con capas delgadas de areniscas calcareas de color amarillo	Calcita	2
	4,372	Ki-go	25L	Gpo. Goyllarisquizga	Areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas, areniscas macizas, limpias, a menudo conglomeradicas, y forma un farallon seguido por una sucesion de depresiones limo-arenosas o limo-carbonosas y de crestones arenosos y conglomeradicos.	cuarzo, feldespato y micas.	5

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
YANACANCHA	127	Q-e	25M	Dep. eolico	Arena		2
	167	Ks-ce	25L	Fm. Celendin	Rocas carbonatadas en estratos delgados, que son margas y calizas arcillosas, calizas y dolomitas. Bivalvos son comunes.	Calcita, magnesita	2
	194	Laguna	25M	Poligono de Laguna			
	215	KsP-ca	25M	Fm. Casapalca	Areniscas con intercalaciones de conglomerados y lutitas, calizas bien estratificadas, concrecionadas y a veces con "chert", blancas o amarillentas	oxido de hierro, calcita, feldespatos	3
	221	Ki-chu	25M	Fm. Chulec	Calizas arenosas, areniscas calcáreas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige, Margas laminadas de color gris oscuro, Caliza gris que intemperiza a amarillento con 30 cm. de lumaquela ocre brillante en el tope	Calcita	2
	237	Jm-ch	25M	Fm. Churumayo	Calizas grises en capas delgadas, arenisca calcárea color crema. Caliza arenosa ocre, con un banco de caliza blanca en el tope, Arenisca púrpura laminada, bancos de caliza arenosa ocre	Calcita	2
	247	Ki-cha	25L	Fm. Chayllacatana	Areniscas finas con limolitas y esporadicos aglomerados en clastos subangulosos a subredondeados de 2 cm de diametro, envueltos en una matriz limosa	granos(cuarzo, feldespatos, sericita, clorita, caolinita, circón, biotita, apatito, epidota y turmalina)	5
	291	Q-tr	25M	Depositos travertinos	Depositos de travertinos en los fondos de los valles	calcita	2
	298	Ks-ju	25L	Fm. Jumasha	Calizas gris azulinas interstratifican en estratos delgados a gruesos, en la mayoría de los casos formando monoclinales.	Calcita, arcilla, siderita,	2
	302	Ks-ce2	25L	Fm. Celendin	Margas, calizas arcillosas en estratos delgados. Horizontes de yeso asociados a veces con calizas, lutitas rojas a beige y hasta areniscas.	Calcita, magnesita	2
	329 Q-g1		25M	Dep. ligados a la primera glaciacion	Conglomerados heterometricos, con abundante matriz arenosa y guijarrosa y bloques subangulosos estriados que fueron conservados por estar cementados por calcita.		3

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
YANACANCHA	487	Q-t2	25M	Cuatenario terraza 2	Terrazas de conglomerados y arenas pardas amarillentas poco consolidados. Es de notar que, en la parte baja de estas laderas, encima del nivel de las terrazas Q-t2, estos travertinos Q-ert cimentan también restos de terrazas antiguas Q-t3.		3
	575	N-gb	25L	Rocas intrusivas - Gabros	Rocas intrusivas - Gabros	plagioclasa cálcica y piroxeno	3
	579	Ks-Ce1	25L	Fm. Celendin	Horizonte de yeso asociados con calizas, lutitas rojas. Rocas carbonatadas en estratos delgados, que son margas y calizas arcillosas, calizas y dolomitas.	Calcita, magnesita	2
	1,171	Ji-co	24L	Fm. Condorsinga	Caliza gris con algunos cherts, de grano fino, con algunos oolitos y pseudo-oolitos, estos últimos formados por calcáreo limonítico. Contiene secciones de pelecipodos, gasterópodos y algas. En los 30 cm. superiores los bancos tienen 100 cm. y contiene como, verbigracia, en la margen izquierda del Río Canipaco. La porción inferior de la Formación vienen a ser el relleno de parte de la depresión	Calcita	2
	1,909	Qh-dl	25M	Depositos de deslizamientos			3
	2,600	Laguna seca	25M	Laguna seca			
	2,923	Ki-pt	25M	Fm. Pariatambo	Caliza negruzca bituminosa que intemperiza a gris blanquizco, en lentes o bancos lenticulares, intercalada con lutitas arenosas calcáreas de color negro que intemperizan a gris oscuro; contienen restos de gasterópodos y pelecipodos.	Calcita	2
	4,055	Q-g2	25L	Glaciación Punrun	Arcos morrenicos g2 bien desarrollados alrededor del lago de Junín. Pensamos sin embargo haberlo hecho en el valle del río Cochas-Pachacayo. en cuya parte media, entre la hacienda Cochas y la confluencia con el río Pinascochas	Calcita, arcilla, siderita,	2
	4,067	N-in	25M	Fm. Ingahuasi	Tobas de cristales de coloraciones blanquesinas, travertinos amarillentos y blancos, en bancos hasta de 10 m. de grosor; esta roca es resistente y forma acantilados a menudo espectaculares	calcita, limolita, clorita, caolinita	3
	4,068	N-ya	25M	Fm. Yanacancha	Intercalación de flujos andesíticos, tobas, brechas y domos andesíticos porfíricos- Se trata de lavas, brechas y conglomerados, de composición andesítica a basáltica, de colores oscuros que varía de violáceo a pardo y verde.	plagioclasa, biotita y hornblenda	4

Distrito	CODI	Nombre	Hoja	Descripción	LITOLOGIA	Mineralogía	E. Intemp.
YANACANCHA	4,195	N-di	25L	Diorita, Neogena	Diorita, Neogena	plagioclasa,biotita	5
	4,295	Jm-chu	25L	Fm. Chunumayo	Caliza arenosa ocre, arenisca purpura laminada	Calcita	2
	4,296	Jim-ce	24L	Fm. Cercapuquio	Calizas de color amarillo herrumbroso, Lutitas rojas con capas delgadas de areniscas calcareas de color amarillo	Calcita	2
	4,372	Ki-go	25L	Gpo. Goyllarisquizga	Areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas, areniscas macizas, limpias, a menudo conglomeradicas, y forma un farallon seguido por una sucesión de depresiones limo-arenosas o limo-carbonosas y de crestones arenosos y conglomeradicos.	cuarzo, feldespato y micas.	5
	4,372	Ki-go	25M	Gpo. Goyllarisquizga	Areniscas verdosas a purpuras, blandas, en bancos de 70 cm. aproximadamente, con estratificación cruzada y grano fino.	cuarzo, feldespato y micas.	5

**ANEXO 5.** Proyección Aritmética de la población de los distritos estudiados y cálculo de densidad poblacional.

<b>POBLACIÓN</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>1993 HAB</b>	<b>2007 HAB</b>	<b>2011 HAB</b>	<b>2012 HAB</b>	<b>2013 HAB</b>	
YANACANCHA	2832	3294	3426	3459	3492	
TOMAS	939	1077	1116	1126	1136	
SANTA ANA	1815	1983	2031	2043	2055	
SIMON BOLIVAR	15424	13681	13183	13059	12934	
RECUAY	6050	5015	4719	4645	4571	
TICAPAMPA	2788	2436	2335	2310	2285	
OLLEROS	3432	2581	2338	2277	2216	
CANCHAYLLO	1894	1774	1740	1731	1723	
<b>DENSIDAD POBLACIONAL</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>Área (Km2)</b>	<b>1993 Hab/km2</b>	<b>2007 Hab/km2</b>	<b>2011 Hab/km2</b>	<b>2012 Hab/km2</b>	<b>2013 Hab/km2</b>
YANACANCHA	765.96	3.70	4.30	4.47	4.52	4.56
TOMAS	292.71	3.21	3.68	3.81	3.85	3.88
SANTA ANA	643.02	2.82	3.08	3.16	3.18	3.20
SIMON BOLIVAR	690.93	22.32	19.80	19.08	18.90	18.72
RECUAY	149.49	40.47	33.55	31.57	31.08	30.58
TICAPAMPA	146.24	19.06	16.66	15.97	15.80	15.63
OLLEROS	230.98	14.86	11.17	10.12	9.86	9.60
CANCHAYLLO	946.21	2.00	1.87	1.84	1.83	1.82

**ANEXO 6.** Proyección Logarítmica de la población de los distritos estudiados y cálculo de densidad poblacional.

<b>POBLACION</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>1993 HAB</b>	<b>2007 HAB</b>	<b>2011 HAB</b>	<b>2012 HAB</b>	<b>2013 HAB</b>	
YANACANCHA	2832	3294	3439	3477	3514	
TOMAS	939	1077	1120	1131	1142	
SANTA ANA	1815	1983	2034	2047	2060	
SIMON BOLIVAR	15424	13681	13220	13107	12996	
RECUAY	6050	5015	4753	4690	4628	
TICAPAMPA	2788	2436	2344	2321	2299	
OLLEROS	3432	2581	2379	2331	2284	
CANCHAYLLO	1894	1774	1741	1733	1725	
<b>DENSIDAD POBLACIONAL</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>Área (Km2)</b>	<b>1993 Hab/km2</b>	<b>2007 Hab/km2</b>	<b>2011 Hab/km2</b>	<b>2012 Hab/km2</b>	<b>2013 Hab/km2</b>
YANACANCHA	765.96	3.70	4.30	4.49	4.54	4.59
TOMAS	292.71	3.21	3.68	3.83	3.86	3.90
SANTA ANA	643.02	2.82	3.08	3.16	3.18	3.20
SIMON BOLIVAR	690.93	22.32	19.80	19.13	18.97	18.81
RECUAY	149.49	40.47	33.55	31.80	31.37	30.96
TICAPAMPA	146.24	19.06	16.66	16.03	15.87	15.72
OLLEROS	230.98	14.86	11.17	10.30	10.09	9.89
CANCHAYLLO	946.21	2.00	1.87	1.84	1.83	1.82

**ANEXO 7.** Proyección Geométrica de la población de los distritos estudiados y cálculo de densidad poblacional.

<b>POBLACION</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>1993 HAB</b>	<b>2007 HAB</b>	<b>2011 HAB</b>	<b>2012 HAB</b>	<b>2013 HAB</b>	
YANACANCHA	2832	3294	3439	3477	3514	
TOMAS	939	1077	1120	1131	1142	
SANTA ANA	1815	1983	2034	2047	2060	
SIMON BOLIVAR	15424	13681	13220	13107	12996	
RECUAY	6050	5015	4753	4690	4628	
TICAPAMPA	2788	2436	2344	2321	2299	
OLLEROS	3432	2581	2379	2331	2284	
CANCHAYLLO	1894	1774	1741	1733	1725	
<b>DENSIDAD POBLACIONAL</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>Área (Km2)</b>	<b>1993 Hab/km2</b>	<b>2007 Hab/km2</b>	<b>2011 Hab/km2</b>	<b>2012 Hab/km2</b>	<b>2013 Hab/km2</b>
YANACANCHA	765.96	3.70	4.30	4.49	4.54	4.59
TOMAS	292.71	3.21	3.68	3.83	3.86	3.90
SANTA ANA	643.02	2.82	3.08	3.16	3.18	3.20
SIMON BOLIVAR	690.93	22.32	19.80	19.13	18.97	18.81
RECUAY	149.49	40.47	33.55	31.80	31.37	30.96
TICAPAMPA	146.24	19.06	16.66	16.03	15.87	15.72
OLLEROS	230.98	14.86	11.17	10.30	10.09	9.89
CANCHAYLLO	946.21	2.00	1.87	1.84	1.83	1.82

**ANEXO 8.** Promedio de la densidad poblacional proyectada por distrito estudiando.

<b>DISTRITO</b>	<b>1993 Hab/km2</b>	<b>2007 Hab/km2</b>	<b>2011 Hab/km2</b>	<b>2012 Hab/km2</b>	<b>2013 Hab/km2</b>
YANACANCHA	3.70	4.30	4.48	4.53	4.58
TOMAS	2.82	3.08	3.16	3.18	3.20
SANTA ANA	3.21	3.68	3.82	3.86	3.90
SIMON BOLIVAR	22.32	19.80	19.12	18.95	18.78
RECUAY	19.06	16.66	16.01	15.85	15.69
TICAPAMPA	40.47	33.55	31.72	31.27	30.83
OLLEROS	14.86	11.17	10.24	10.01	9.79
CANCHAYLLO	2.00	1.87	1.84	1.83	1.82

**ANEXO 9.** Total de cabezas de ganado vacuno y su equivalente en UA por distrito de estudio - Censo Agropecuario 1994.

<b>POBLACIÓN DE VACUNOS - 1994</b>							
<b>DISTRITO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Vacas</b>	<b>Vaquillonas</b>	<b>Terneros (as)</b>	<b>Toros</b>	<b>Torettes</b>	<b>Bueyes</b>
<b>OLLEROS</b>	<b>2311</b>	892	217	386	628	171	17
<b>RECUAY</b>	<b>2977</b>	1361	129	447	701	131	208
<b>TICAPAMPA</b>	<b>1847</b>	815	204	348	236	136	108
<b>SANTA ANA</b>	<b>377</b>	224	44	47	32	30	0
<b>YANACANCHA</b>	<b>3877</b>	1791	660	721	467	196	42
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>4644</b>	2235	672	1220	138	176	203
<b>TOMAS</b>	<b>1313</b>	629	200	338	66	80	0
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>3397</b>	1872	481	682	178	178	6
<b>POBLACIÓN DE VACUNOS EN UA - 1994</b>							
<b>OLLEROS</b>	<b>2290</b>	892	195	116	942	120	26
<b>RECUAY</b>	<b>3066</b>	1361	116	134	1052	92	312
<b>TICAPAMPA</b>	<b>1714</b>	815	184	104	354	95	162
<b>SANTA ANA</b>	<b>347</b>	224	40	14	48	21	0
<b>YANACANCHA</b>	<b>3502</b>	1791	594	216	701	137	63
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>3841</b>	2235	605	366	207	123	305
<b>TOMAS</b>	<b>1065</b>	629	180	101	99	56	0
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>2910</b>	1872	433	205	267	125	9

**ANEXO 10.** Total de cabezas de ganado vacuno y su equivalente en UA por distrito de estudio - Censo Agropecuario 2012.

<b>POBLACIÓN DE VACUNOS - 2012</b>								
<b>DISTRITO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Vacas</b>	<b>Vaquillonas</b>	<b>Vaquillas</b>	<b>Terneros</b>	<b>Toros</b>	<b>Torettes</b>	<b>Bueyes</b>
<b>OLLEROS</b>	<b>1085</b>	296	63	64	139	434	89	0
<b>RECUAY</b>	<b>1971</b>	691	81	123	381	530	165	0
<b>TICAPAMPA</b>	<b>1545</b>	571	119	167	435	164	88	1
<b>SANTA ANA</b>	<b>330</b>	162	40	28	24	44	32	0
<b>YANACANCHA</b>	<b>7215</b>	3301	631	857	1791	233	400	2
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>3843</b>	1708	175	355	1358	94	153	0
<b>TOMAS</b>	<b>1528</b>	639	197	206	324	56	106	0
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>2817</b>	1218	284	370	627	131	187	0
<b>POBLACIÓN DE VACUNOS EN UA - 2012</b>								
<b>OLLEROS</b>	<b>1153</b>	296	56.7	44.8	41.7	651	62.3	0
<b>RECUAY</b>	<b>1875</b>	691	72.9	86.1	114.3	795	115.5	0
<b>TICAPAMPA</b>	<b>1233</b>	571	107.1	116.9	130.5	246	61.6	1.5
<b>SANTA ANA</b>	<b>313</b>	162	36	19.6	7.2	66	22.4	0
<b>YANACANCHA</b>	<b>5636</b>	3301	567.9	599.9	537.3	349.5	280	3
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>2770</b>	1708	157.5	248.5	407.4	141	107.1	0
<b>TOMAS</b>	<b>1216</b>	639	177.3	144.2	97.2	84	74.2	0
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>2248</b>	1218	255.6	259	188.1	196.5	130.9	0

**ANEXO 11.** Total de cabezas de ganado ovino y su equivalente en UO por distrito de estudio - Censo Agropecuario 1994.

<b>POBLACIÓN DE OVINOS - 1994</b>					
<b>DISTRITO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Borregos</b>	<b>Borregas</b>	<b>Borreguillas</b>	<b>Capones</b>
<b>OLLEROS</b>	<b>8844</b>	2591	4185	1807	261
<b>RECUAY</b>	<b>17407</b>	5085	8904	2861	557
<b>TICAPAMPA</b>	<b>5176</b>	903	3097	1099	77
<b>SANTA ANA</b>	<b>11735</b>	1285	7835	2585	30
<b>YANACANCHA</b>	<b>25561</b>	5300	13743	4932	1586
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>112700</b>	7134	50058	30573	24935
<b>TOMAS</b>	<b>6394</b>	783	4580	1029	2
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>81003</b>	13717	44424	14687	8175
<b>POBLACIÓN DE OVINOS EN UO - 1994</b>					
<b>OLLEROS</b>	<b>9778.1</b>	3886.5	4185	1445.6	261
<b>RECUAY</b>	<b>19377.3</b>	7627.5	8904	2288.8	557
<b>TICAPAMPA</b>	<b>5407.7</b>	1354.5	3097	879.2	77
<b>SANTA ANA</b>	<b>11860.5</b>	1927.5	7835	2068	30
<b>YANACANCHA</b>	<b>27224.6</b>	7950	13743	3945.6	1586
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>110152.4</b>	10701	50058	24458.4	24935
<b>TOMAS</b>	<b>6579.7</b>	1174.5	4580	823.2	2
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>84924.1</b>	20575.5	44424	11749.6	8175

**ANEXO 12.** Total de cabezas de ganado ovino y su equivalente en UO por distrito de estudio - Censo Agropecuario 2012.

<b>POBLACIÓN DE OVINOS - 2012</b>							
<b>DISTRITO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Corderos</b>	<b>Borreguillas</b>	<b>Borregas</b>	<b>Carnerillos</b>	<b>Carneros</b>	<b>Capones</b>
<b>OLLEROS</b>	<b>3251</b>	679	443	982	236	863	48
<b>RECUAY</b>	<b>10146</b>	2335	1616	3498	948	1718	31
<b>TICAPAMPA</b>	<b>5251</b>	1521	955	1826	418	500	31
<b>SANTA ANA</b>	<b>12292</b>	2090	1615	6366	907	1292	22
<b>YANACANCHA</b>	<b>24972</b>	4424	4552	13790	1167	1034	5
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>22363</b>	5826	1471	3554	4865	6617	30
<b>TOMAS</b>	<b>6562</b>	1142	1098	3943	71	297	11
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>69332</b>	16166	12267	29785	5908	4222	984
<b>POBLACIÓN DE OVINOS EN UO - 2012</b>							
<b>OLLEROS</b>	<b>3027.1</b>	135.8	354.4	982	212.4	1294.5	48
<b>RECUAY</b>	<b>8719</b>	467	1292.8	3498	853.2	2577	31
<b>TICAPAMPA</b>	<b>4051.4</b>	304.2	764	1826	376.2	750	31
<b>SANTA ANA</b>	<b>10852.3</b>	418	1292	6366	816.3	1938	22
<b>YANACANCHA</b>	<b>20922.7</b>	884.8	3641.6	13790	1050.3	1551	5
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>20230</b>	1165.2	1176.8	3554	4378.5	9925.5	30
<b>TOMAS</b>	<b>5570.2</b>	228.4	878.4	3943	63.9	445.5	11
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>55466</b>	3233.2	9813.6	29785	5317.2	6333	984

**ANEXO 13.** Total de cabezas de camélidos sudamericanos más otras especies adicionales y su equivalente en UA por distrito de estudio - Censo Agropecuario 1994.

<b>POBLACIÓN ANIMAL VARIOS - 1994</b>								
<b>DISTRITO</b>	<b>Alpacas</b>	<b>Llamas</b>	<b>Guanacos</b>	<b>Caballos</b>	<b>Yeguas</b>	<b>Burros</b>	<b>Mulas</b>	<b>Caprino</b>
<b>OLLEROS</b>	125	0	0	209	339	507	893	151
<b>RECUAY</b>	116	0	0	217	406	451	982	75
<b>TICAPAMPA</b>	132	0	0	85	171	94	179	13
<b>SANTA ANA</b>	19885	5052	0	51	96	1	1	135
<b>YANACANCHA</b>	1663	809	2	214	375	318	527	23
<b>CANCHAYLLO</b>	6083	0	0	94	891	16	33	6
<b>TOMAS</b>	5066	1964	0	66	184	38	74	70
<b>SIMON BOLIVAR</b>	4297	3477	27	263	799	33	86	149

<b>POBLACIÓN ANIMAL VARIOS EN UA - 1994</b>									
<b>DISTRITO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Alpacas</b>	<b>Llamas</b>	<b>Guanacos</b>	<b>Caballos</b>	<b>Yeguas</b>	<b>Burros</b>	<b>Mulas</b>	<b>Caprino</b>
<b>OLLEROS</b>	<b>2483</b>	31.25	0	0	313.5	339	608.4	1160.9	30.2
<b>RECUAY</b>	<b>2593</b>	29	0	0	325.5	406	541.2	1276.6	15
<b>TICAPAMPA</b>	<b>680</b>	33	0	0	127.5	171	112.8	232.7	2.6
<b>SANTA ANA</b>	<b>6689</b>	4971.25	1515.6	0	76.5	96	1.2	1.3	27
<b>YANACANCHA</b>	<b>2426</b>	415.75	242.7	0.6	321	375	381.6	685.1	4.6
<b>CANCHAYLLO</b>	<b>2616</b>	1520.75	0	0	141	891	19.2	42.9	1.2
<b>TOMAS</b>	<b>2295</b>	1266.5	589.2	0	99	184	45.6	96.2	14
<b>SIMON BOLIVAR</b>	<b>3500</b>	1074.25	1043.1	8.1	394.5	799	39.6	111.8	29.8

**ANEXO 14.** Total de cabezas de alpacas y su equivalente en UAL por distrito de estudio - Censo Agropecuario 2012.

<b>POBLACIÓN ANIMAL ALPACAS - 2012</b>							
<b>DISTRITO</b>	<b>Total</b>	<b>Crías</b>	<b>Tuis hembras</b>	<b>Madres</b>	<b>Tuis macho</b>	<b>Padrillos</b>	<b>Capones</b>
<b>OLLEROS</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>RECUAY</b>	7	1	2	1	1	1	1
<b>TICAPAMPA</b>	10	5	0	2	1	1	1
<b>SANTA ANA</b>	32297	5572	3902	17767	2294	2275	487
<b>YANACANCHA</b>	4129	955	546	2053	330	201	44
<b>CANCHAYLLO</b>	5511	1153	504	2503	450	401	500
<b>TOMAS</b>	10042	1877	1293	5696	581	528	67
<b>SIMON BOLIVAR</b>	36960	7544	8403	16010	3198	1710	95

<b>POBLACIÓN ANIMAL ALPACAS EN UAL - 2012</b>							
<b>DISTRITO</b>	<b>Total</b>	<b>Crías</b>	<b>Tuis hembras</b>	<b>Madres</b>	<b>Tuis macho</b>	<b>Padrillos</b>	<b>Capones</b>
<b>OLLEROS</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>RECUAY</b>	5.7	0.4	1.6	1	0.8	1	0.9
<b>TICAPAMPA</b>	6.7	2	0	2	0.8	1	0.9
<b>SANTA ANA</b>	27665.9	2228.8	3121.6	17767	1835.2	2275	438.3
<b>YANACANCHA</b>	3376.4	382	436.8	2053	264	201	39.6
<b>CANCHAYLLO</b>	4578.4	461.2	403.2	2503	360	401	450
<b>TOMAS</b>	8534.3	750.8	1034.4	5696	464.8	528	60.3
<b>SIMON BOLIVAR</b>	30103.9	3017.6	6722.4	16010	2558.4	1710	85.5

**ANEXO 15.** Total de cabezas de camélidos sudamericanos más otras especies adicionales y su equivalente en UA por distrito de estudio - Censo Agropecuario 2012.

<b>POBLACIÓN ANIMAL VARIOS - 2012</b>							
<b>DISTRITO</b>	<b>LLAMAS</b>	<b>GUANACOS</b>	<b>CABALLOS</b>	<b>YEGUAS</b>	<b>BURROS</b>	<b>MULAS</b>	<b>CAPRINO</b>
<b>OLLEROS</b>	1	0	80	0	399	0	10
<b>RECUAY</b>	212	0	285	0	642	0	10
<b>TICAPAMPA</b>	0	0	75	0	96	0	6
<b>SANTA ANA</b>	3259	0	59	0	3	0	27
<b>YANACANCHA</b>	1188	0	221	0	503	0	7
<b>CANCHAYLLO</b>	0	0	829	0	111	0	10
<b>TOMAS</b>	1601	0	163	0	100	0	13
<b>SIMON</b>	5793	0	330	0	11	0	117
<b>BOLIVAR</b>							
<b>POBLACIÓN ANIMAL VARIOS EN UA - 2012</b>							
<b>OLLEROS</b>	0.3	0	120	0	478.8	0	2
<b>RECUAY</b>	63.6	0	427.5	0	770.4	0	2
<b>TICAPAMPA</b>	0	0	112.5	0	115.2	0	1.2
<b>SANTA ANA</b>	977.7	0	88.5	0	3.6	0	5.4
<b>YANACANCHA</b>	356.4	0	331.5	0	603.6	0	1.4
<b>CANCHAYLLO</b>	0	0	1243.5	0	133.2	0	2
<b>TOMAS</b>	480.3	0	244.5	0	120	0	2.6
<b>SIMON</b>	1737.9	0	495	0	13.2	0	23.4
<b>BOLIVAR</b>							

**ANEXO 16.** Resumen de total de poblaciones de animales expresados en UA y UO para el año 1994.

DISTRITO	VACUNO	OVINO	ALPACA	LLAMAS	GUANACOS	CABALLOS	YEGUAS	BURROS	MULAS	CAPRINO	UA	UO
OLLEROS	2,290.3	1,955.6	31.3	-	-	313.5	339.0	608.4	1,160.9	30.2	<b>6,729.2</b>	<b>33,645.9</b>
RECUAY	3,066.4	3,875.5	29.0	-	-	325.5	406.0	541.2	1,276.6	15.0	<b>9,535.2</b>	<b>47,675.8</b>
TICAPAMPA	1,714.2	1,081.5	33.0	-	-	127.5	171.0	112.8	232.7	2.6	<b>3,475.3</b>	<b>17,376.7</b>
SANTA ANA	346.7	2,372.1	4,971.3	1,515.6	-	76.5	96.0	1.2	1.3	27.0	<b>9,407.7</b>	<b>47,038.3</b>
YANACANCHA	3,502.0	5,444.9	415.8	242.7	0.6	321.0	375.0	381.6	685.1	4.6	<b>11,373.3</b>	<b>56,866.4</b>
CANCHAYLLO	3,840.5	22,030.5	1,520.8	-	-	141.0	891.0	19.2	42.9	1.2	<b>28,487.0</b>	<b>142,435.2</b>
TOMAS	1,065.4	1,315.9	1,266.5	589.2	-	99.0	184.0	45.6	96.2	14.0	<b>4,675.8</b>	<b>23,379.2</b>
SIMON BOLIVAR	2,910.1	16,984.8	1,074.3	1,043.1	8.1	394.5	799.0	39.6	111.8	29.8	<b>23,395.1</b>	<b>116,975.4</b>

**ANEXO 17.** Resumen de total de poblaciones de animales expresados en UA y UO para el año 2012.

DISTRITO	VACUNO	OVINO	ALPACA	LLAMAS	GUANACOS	CABALLOS	YEGUAS	BURROS	MULAS	CAPRINO	UA	UO
OLLEROS	1,152.5	605.4	-	0.3	-	120.0	-	478.8	-	2.0	<b>2,359.0</b>	<b>11,795.1</b>
RECUAY	1,874.8	1,743.8	1.4	63.6	-	427.5	-	770.4	-	2.0	<b>4,883.5</b>	<b>24,417.6</b>
TICAPAMPA	1,234.6	810.3	1.7	-	-	112.5	-	115.2	-	1.2	<b>2,275.5</b>	<b>11,377.3</b>
SANTA ANA	313.2	2,170.5	6,916.5	977.7	-	88.5	-	3.6	-	5.4	<b>10,475.3</b>	<b>52,376.7</b>
YANACANCHA	5,638.6	4,184.5	844.1	356.4	-	331.5	-	603.6	-	1.4	<b>11,960.1</b>	<b>59,800.7</b>
CANCHAYLLO	2,769.5	4,046.0	1,144.6	-	-	1,243.5	-	133.2	-	2.0	<b>9,338.8</b>	<b>46,694.0</b>
TOMAS	1,215.9	1,114.0	2,133.6	480.3	-	244.5	-	120.0	-	2.6	<b>5,310.9</b>	<b>26,554.6</b>
SIMON BOLIVAR	2,248.1	11,093.2	7,526.0	1,737.9	-	495.0	-	13.2	-	23.4	<b>23,136.8</b>	<b>115,683.9</b>

**ANEXO 18.** Proyección Aritmética de la población animal de los distritos estudiados y cálculo de densidad animal.

<b>POBLACIÓN ANIMAL EN UO</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>1994</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	
	<b>UO</b>	<b>UO</b>	<b>UO</b>	<b>UO</b>	<b>UO</b>	
OLLEROS	<b>33646</b>	13009	<b>11795</b>	10581	9367	
RECUAY	<b>47676</b>	25710	<b>24418</b>	23126	21833	
TICAPAMPA	<b>17377</b>	11711	<b>11377</b>	11044	10711	
SANTA ANA	<b>47038</b>	52080	<b>52377</b>	52673	52970	
YANACANCHA	<b>56866</b>	59638	<b>59801</b>	59964	60127	
CANCHAYLLO	<b>142435</b>	52013	<b>46694</b>	41375	36056	
TOMAS	<b>23379</b>	26378	<b>26555</b>	26731	26907	
SIMON BOLIVAR	<b>116975</b>	115756	<b>115684</b>	115612	115540	
<b>DENSIDAD ANIMAL</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>AREA (ha)</b>	<b>1994</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
		<b>UO/ha</b>	<b>UO/ha</b>	<b>UO/ha</b>	<b>UO/ha</b>	<b>UO/ha</b>
OLLEROS	<b>19,964.75</b>	1.69	0.65	0.59	0.53	0.47
RECUAY	<b>9,190.23</b>	5.19	2.80	2.66	2.52	2.38
TICAPAMPA	<b>10,865.83</b>	1.60	1.08	1.05	1.02	0.99
SANTA ANA	<b>64,301.90</b>	0.73	0.81	0.81	0.82	0.82
YANACANCHA	<b>75,769.57</b>	0.75	0.79	0.79	0.79	0.79
CANCHAYLLO	<b>92,196.03</b>	1.54	0.56	0.51	0.45	0.39
TOMAS	<b>28,907.14</b>	0.81	0.91	0.92	0.92	0.93
SIMON BOLIVAR	<b>69,092.93</b>	1.69	1.68	1.67	1.67	1.67

**ANEXO 19.** Proyección Logarítmica de la población animal de los distritos estudiados y cálculo de densidad animal.

<b>POBLACIÓN ANIMAL EN UO</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>1994</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	
	<b>UO</b>	<b>UO</b>	<b>UO</b>	<b>UO</b>	<b>UO</b>	
OLLEROS	<b>33646</b>	12502	<b>11795</b>	11128	10498	
RECUAY	<b>47676</b>	25342	<b>24418</b>	23527	22668	
TICAPAMPA	<b>17377</b>	11648	<b>11377</b>	11113	10854	
SANTA ANA	<b>47038</b>	52065	<b>52377</b>	52690	53006	
YANACANCHA	<b>56866</b>	59634	<b>59801</b>	59968	60136	
CANCHAYLLO	<b>142435</b>	49679	<b>46694</b>	43889	41252	
TOMAS	<b>23379</b>	26367	<b>26555</b>	26743	26933	
SIMON BOLIVAR	<b>116975</b>	115755	<b>115684</b>	115613	115541	
<b>DENSIDAD ANIMAL</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>AREA (ha)</b>	<b>1994</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
		<b>UO/ha</b>	<b>UO/ha</b>	<b>UO/ha</b>	<b>UO/ha</b>	<b>UO/ha</b>
OLLEROS	<b>19,964.75</b>	1.69	0.63	0.59	0.56	0.53
RECUAY	<b>9,190.23</b>	5.19	2.76	2.66	2.56	2.47
TICAPAMPA	<b>10,865.83</b>	1.60	1.07	1.05	1.02	1.00
SANTA ANA	<b>64,301.90</b>	0.73	0.81	0.81	0.82	0.82
YANACANCHA	<b>75,769.57</b>	0.75	0.79	0.79	0.79	0.79
CANCHAYLLO	<b>92,196.03</b>	1.54	0.54	0.51	0.48	0.45
TOMAS	<b>28,907.14</b>	0.81	0.91	0.92	0.93	0.93
SIMON BOLIVAR	<b>69,092.93</b>	1.69	1.68	1.67	1.67	1.67

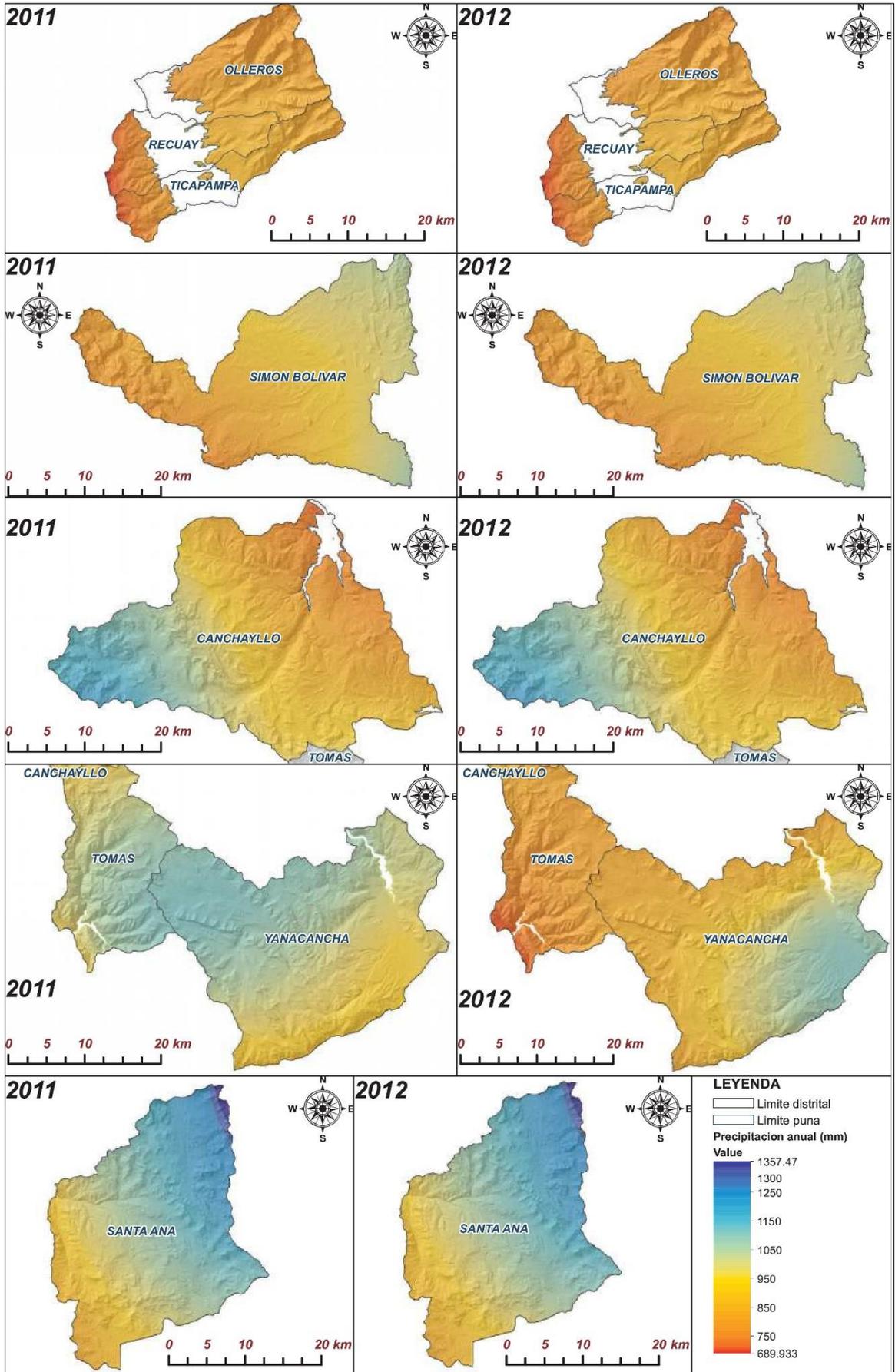
**ANEXO 20.** Proyección Geométrica de la población animal de los distritos estudiados y cálculo de densidad animal.

<b>POBLACIÓN ANIMAL EN UO</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>1994</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	
	<i>UO</i>	<i>UO</i>	<i>UO</i>	<i>UO</i>	<i>UO</i>	
OLLEROS	<b>33646</b>	12502	<b>11795</b>	11128	10498	
RECUAY	<b>47676</b>	25342	<b>24418</b>	23527	22668	
TICAPAMPA	<b>17377</b>	11648	<b>11377</b>	11113	10854	
SANTA ANA	<b>47038</b>	52065	<b>52377</b>	52690	53006	
YANACANCHA	<b>56866</b>	59634	<b>59801</b>	59968	60136	
CANCHAYLLO	<b>142435</b>	49679	<b>46694</b>	43889	41252	
TOMAS	<b>23379</b>	26367	<b>26555</b>	26743	26933	
SIMON BOLIVAR	<b>116975</b>	115755	<b>115684</b>	115613	115541	
<b>DENSIDAD ANIMAL</b>						
<b>DISTRITO</b>	<b>AREA (ha)</b>	<b>1994</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
		<i>UO/ha</i>	<i>UO/ha</i>	<i>UO/ha</i>	<i>UO/ha</i>	<i>UO/ha</i>
OLLEROS	<b>19,964.75</b>	1.69	0.63	0.59	0.56	0.53
RECUAY	<b>9,190.23</b>	5.19	2.76	2.66	2.56	2.47
TICAPAMPA	<b>10,865.83</b>	1.60	1.07	1.05	1.02	1.00
SANTA ANA	<b>64,301.90</b>	0.73	0.81	0.81	0.82	0.82
YANACANCHA	<b>75,769.57</b>	0.75	0.79	0.79	0.79	0.79
CANCHAYLLO	<b>92,196.03</b>	1.54	0.54	0.51	0.48	0.45
TOMAS	<b>28,907.14</b>	0.81	0.91	0.92	0.93	0.93
SIMON BOLIVAR	<b>69,092.93</b>	1.69	1.68	1.67	1.67	1.67

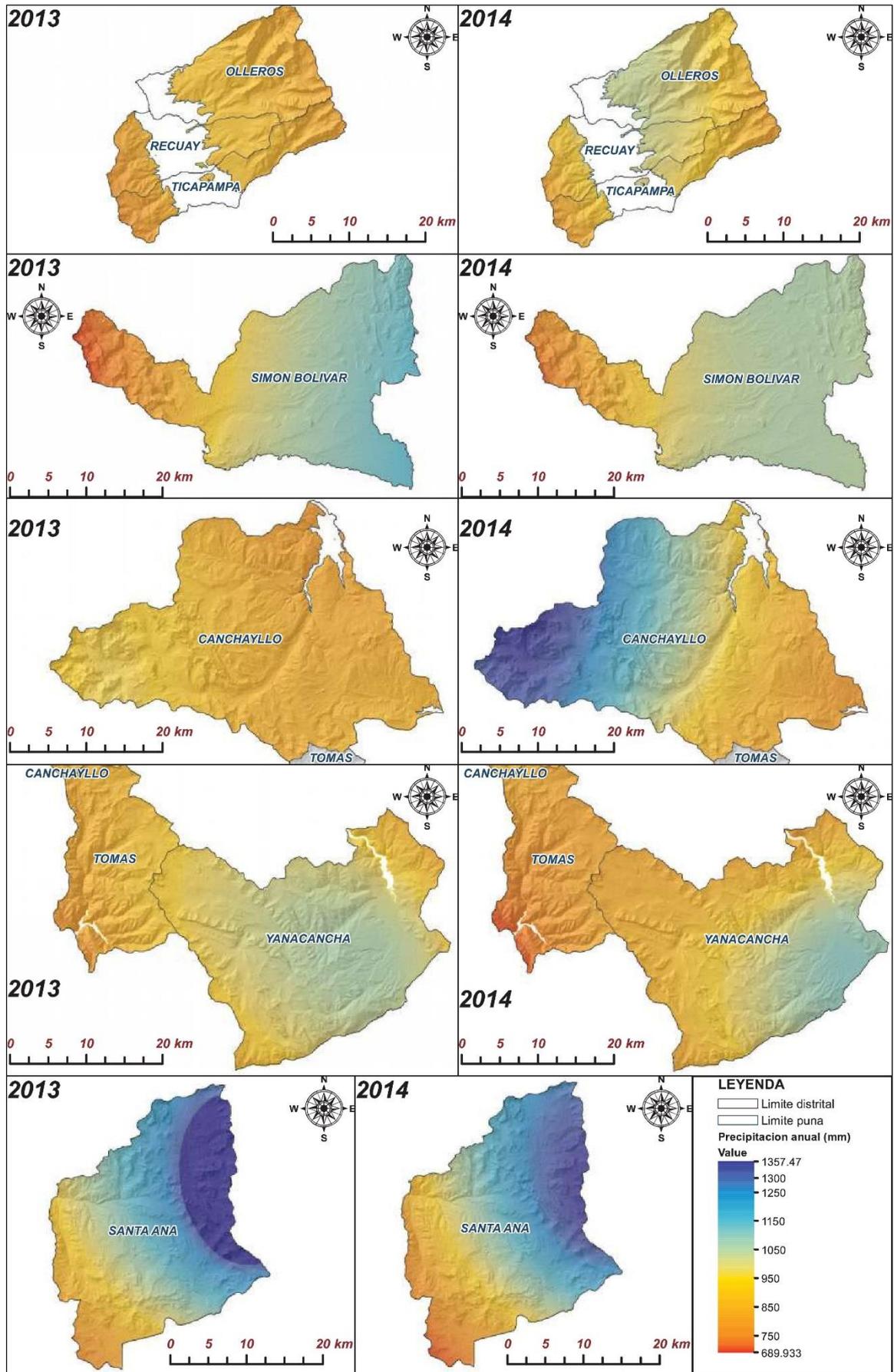
**ANEXO 21.** Promedio de la densidad animal proyectada por distrito estudiando.

<b>DISTRITO</b>	<b>1994</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
	<i>UO/ha</i>	<i>UO/ha</i>	<i>UO/ha</i>	<i>UO/ha</i>	<i>UO/ha</i>
OLLEROS	1.69	0.63	0.59	0.55	0.51
RECUAY	5.19	2.77	2.66	2.55	2.44
TICAPAMPA	1.60	1.07	1.05	1.02	0.99
SANTA ANA	0.73	0.81	0.81	0.82	0.82
YANACANCHA	0.75	0.79	0.79	0.79	0.79
CANCHAYLLO	1.54	0.55	0.51	0.47	0.43
TOMAS	0.81	0.91	0.92	0.92	0.93
SIMON BOLIVAR	1.69	1.68	1.67	1.67	1.67

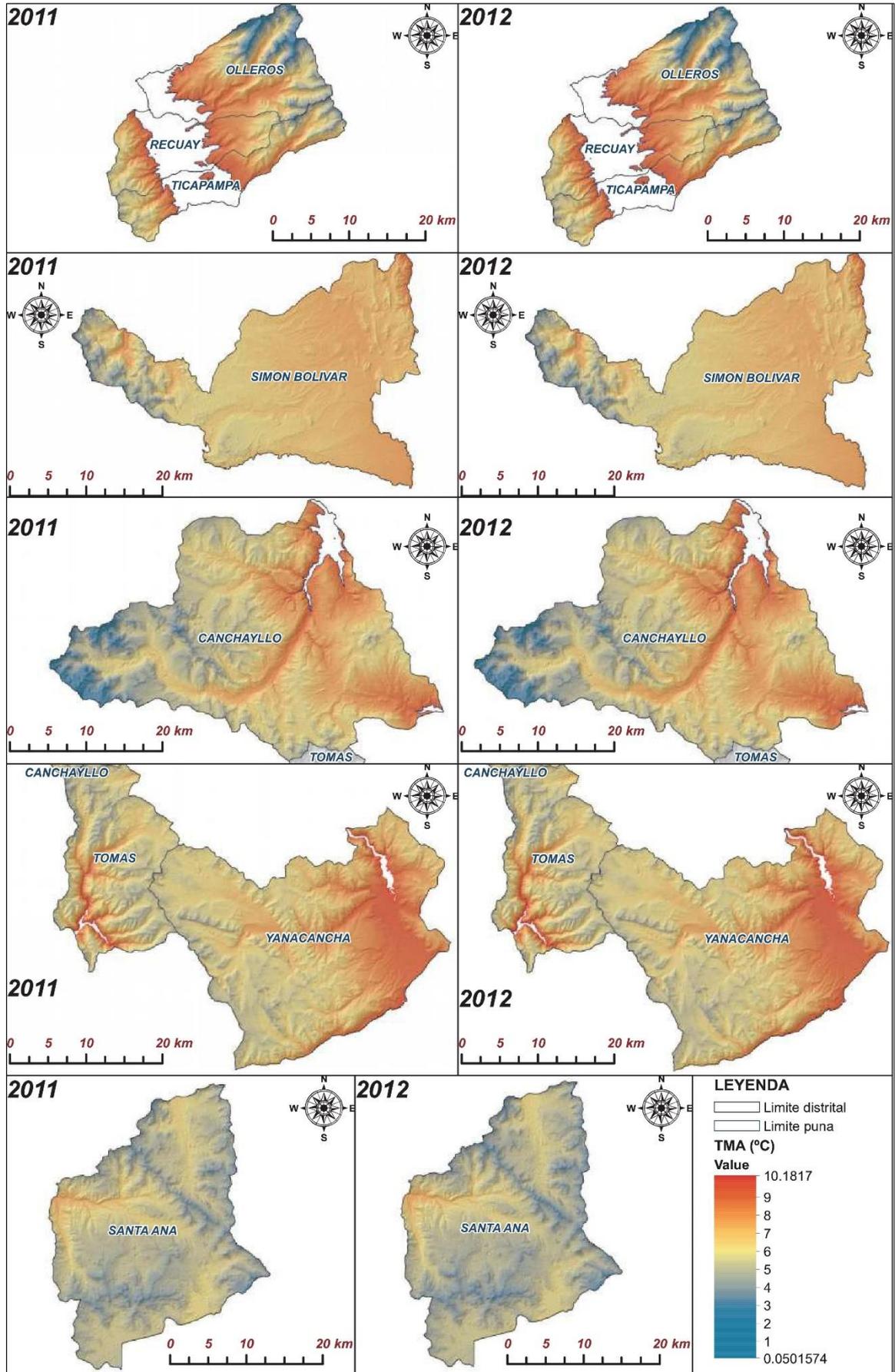
ANEXO 22. Mapas de precipitación anual 2011- 2012.



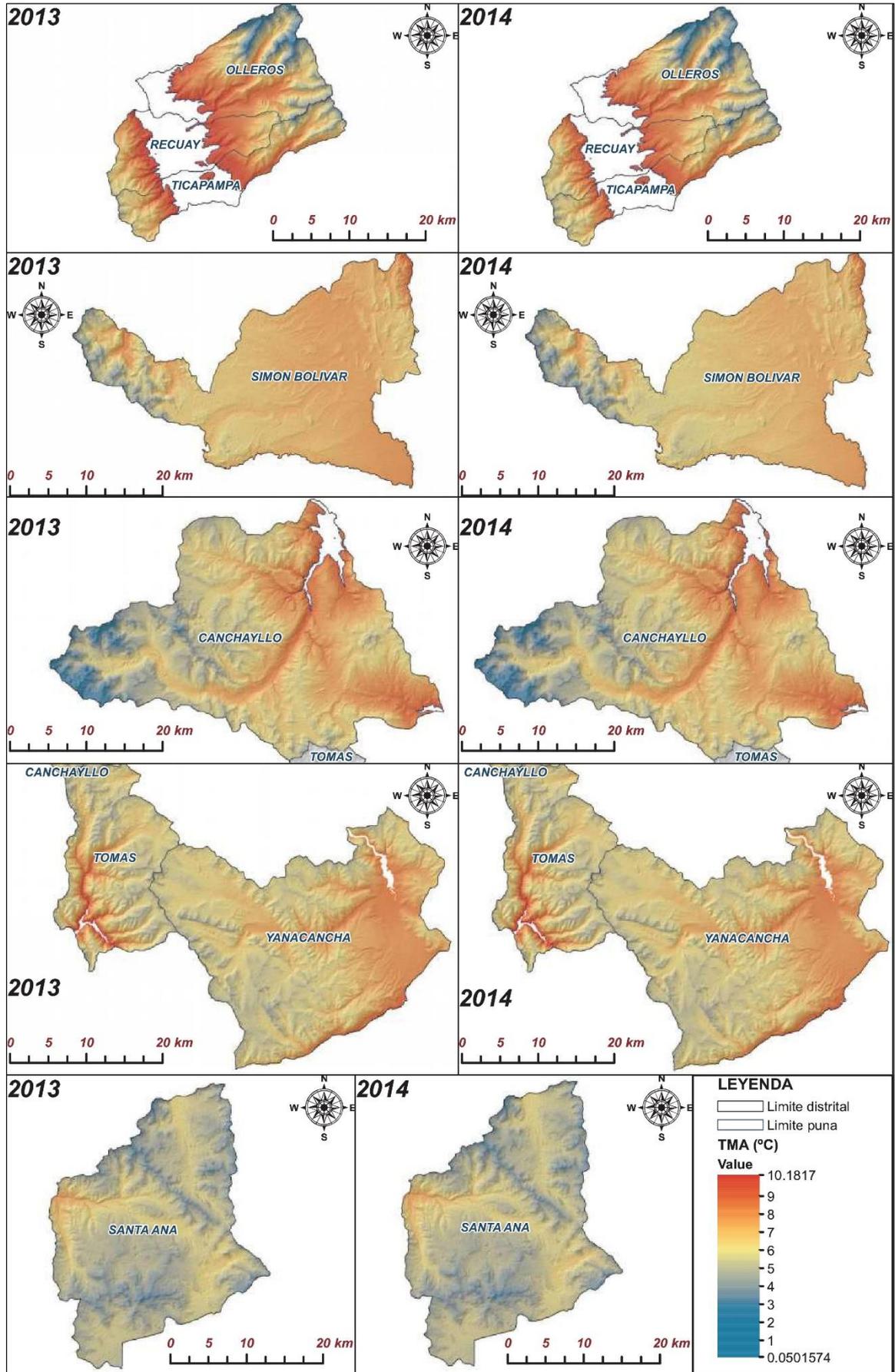
ANEXO 23. Mapas de precipitación anual 2013- 2014.



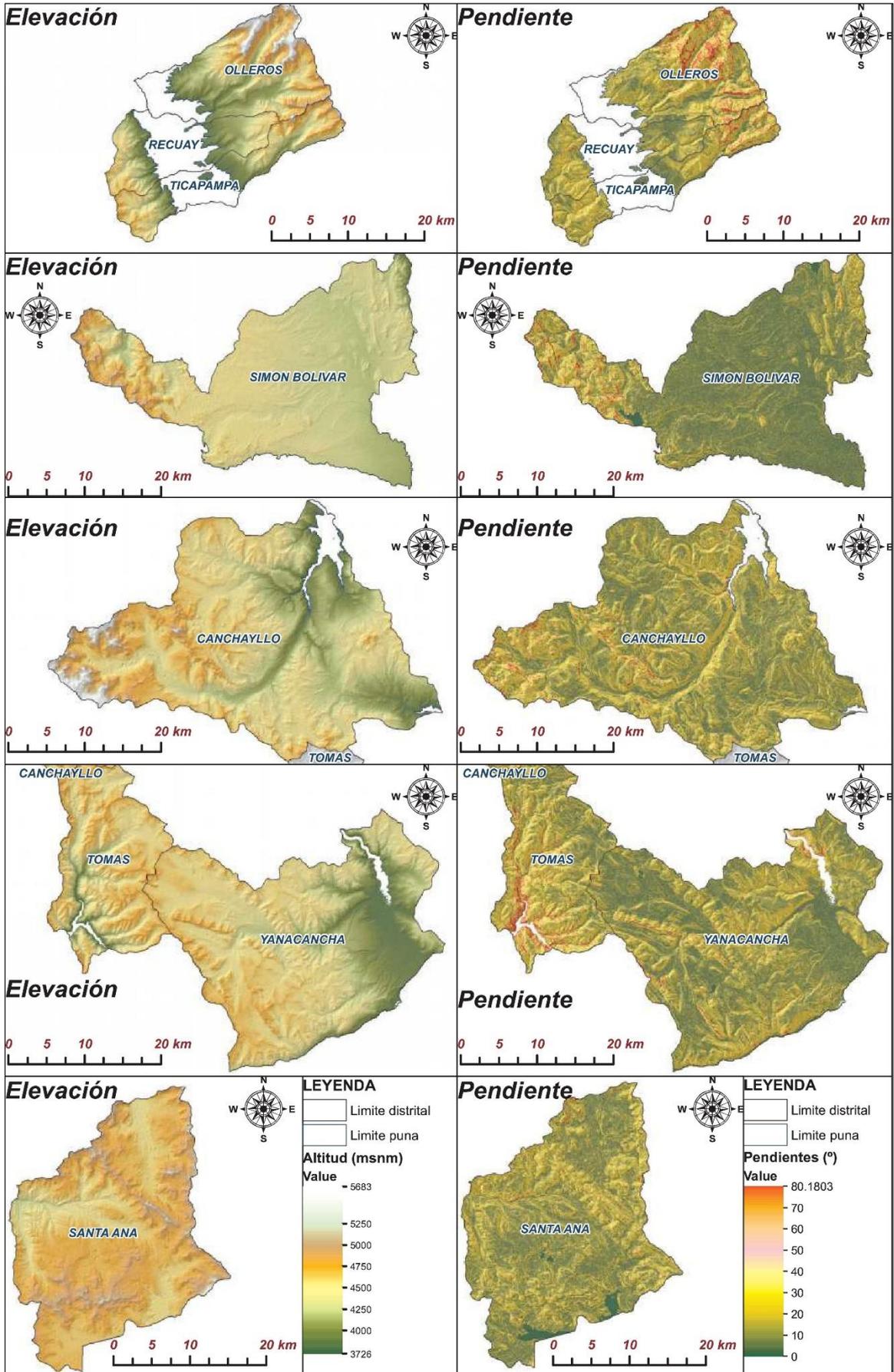
ANEXO 24. Mapas de temperatura media anual 2011- 2012.



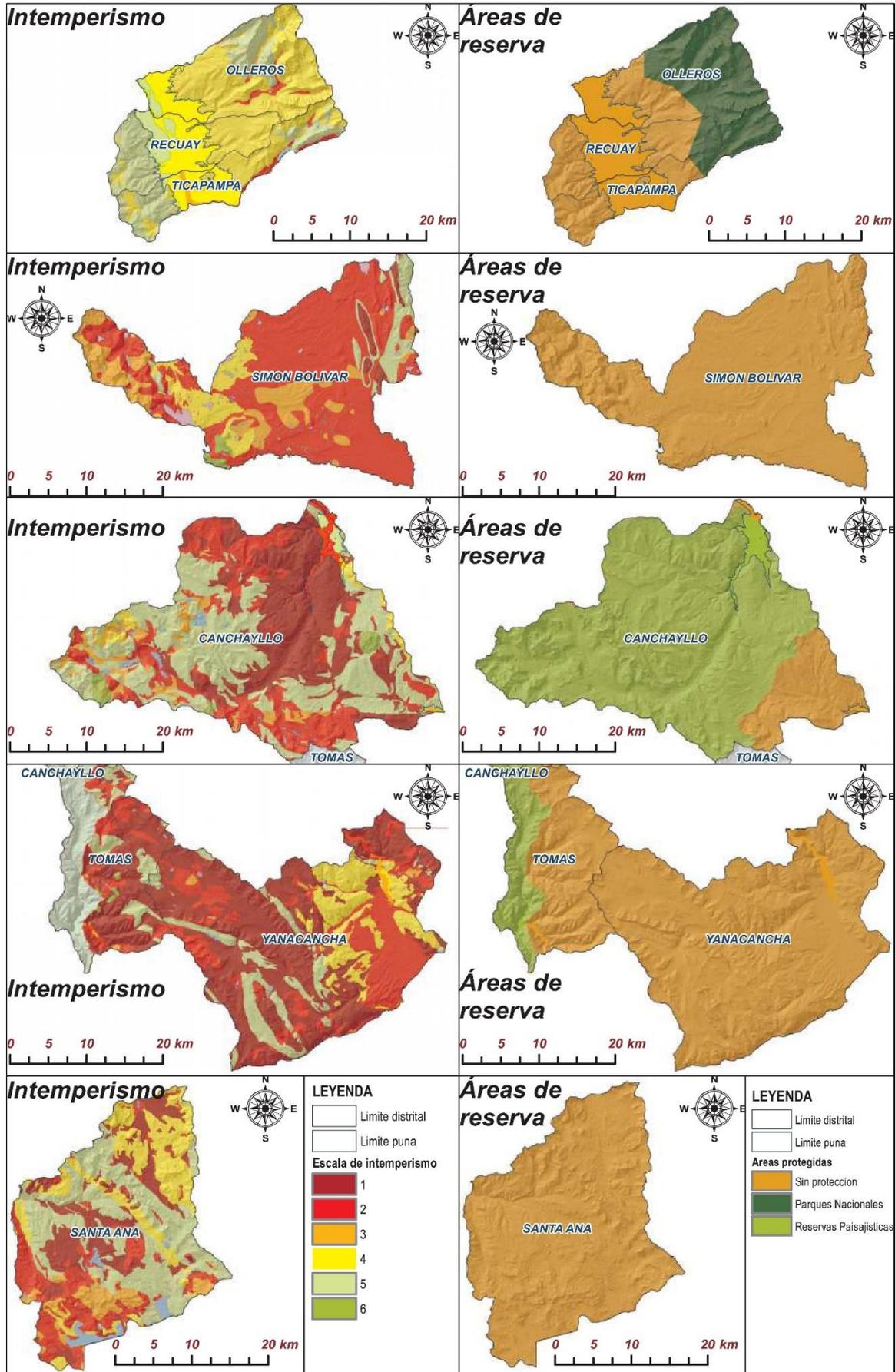
ANEXO 25. Mapas de temperatura media anual 2013- 2014.



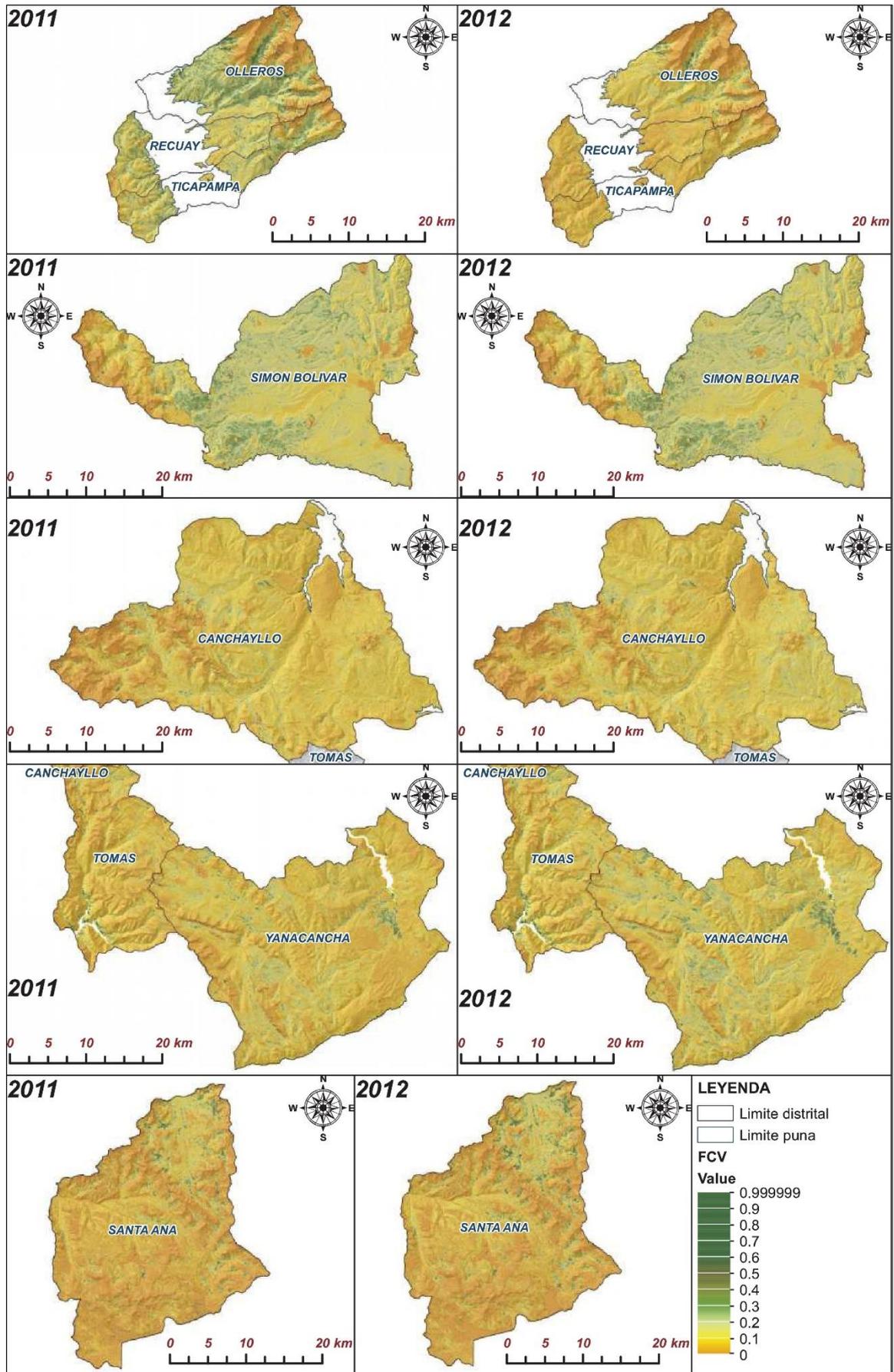
ANEXO 26. Mapas de elevaciones y pendientes.



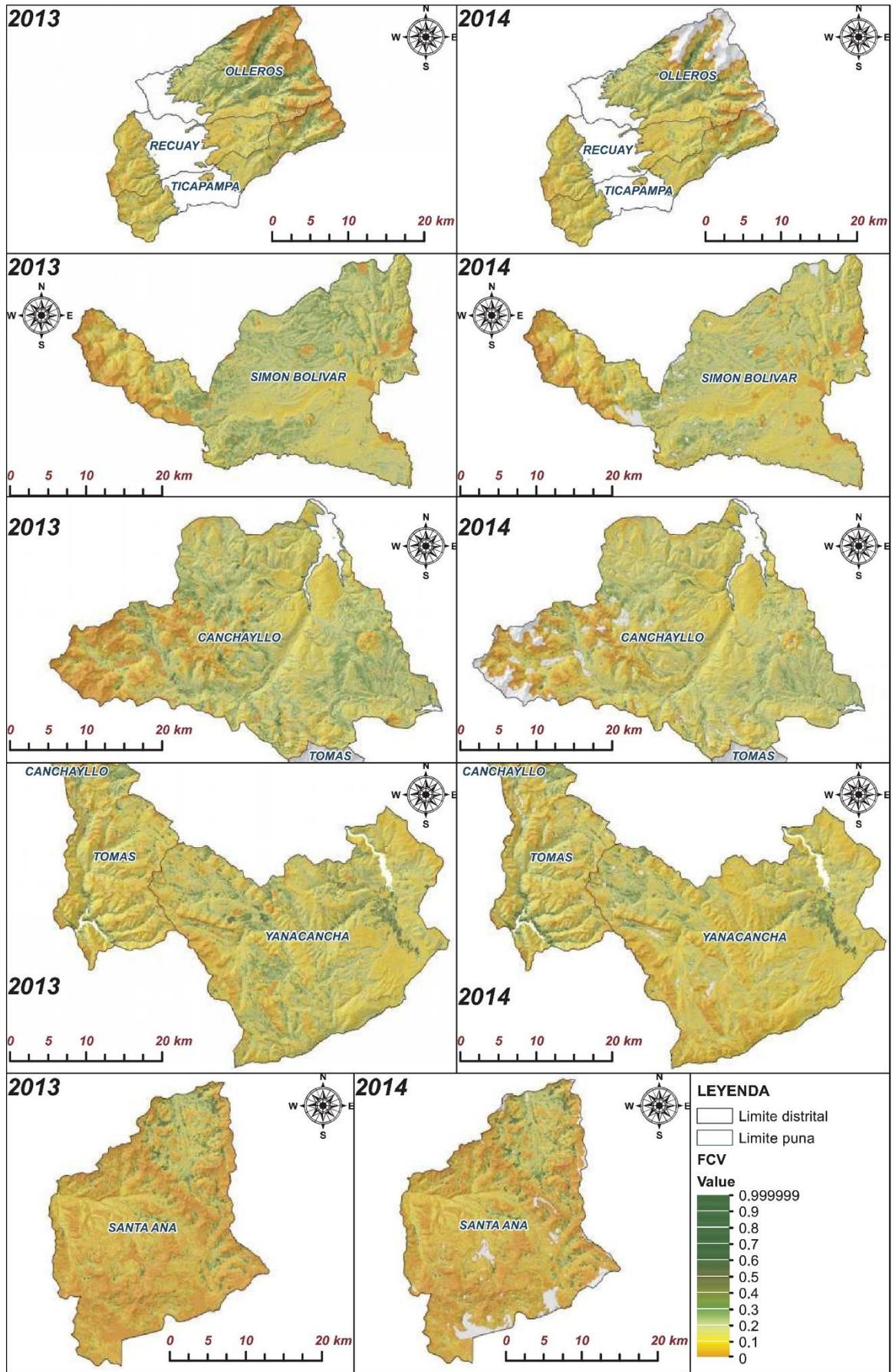
ANEXO 27. Mapas de Intemperismo y Áreas protegidas.



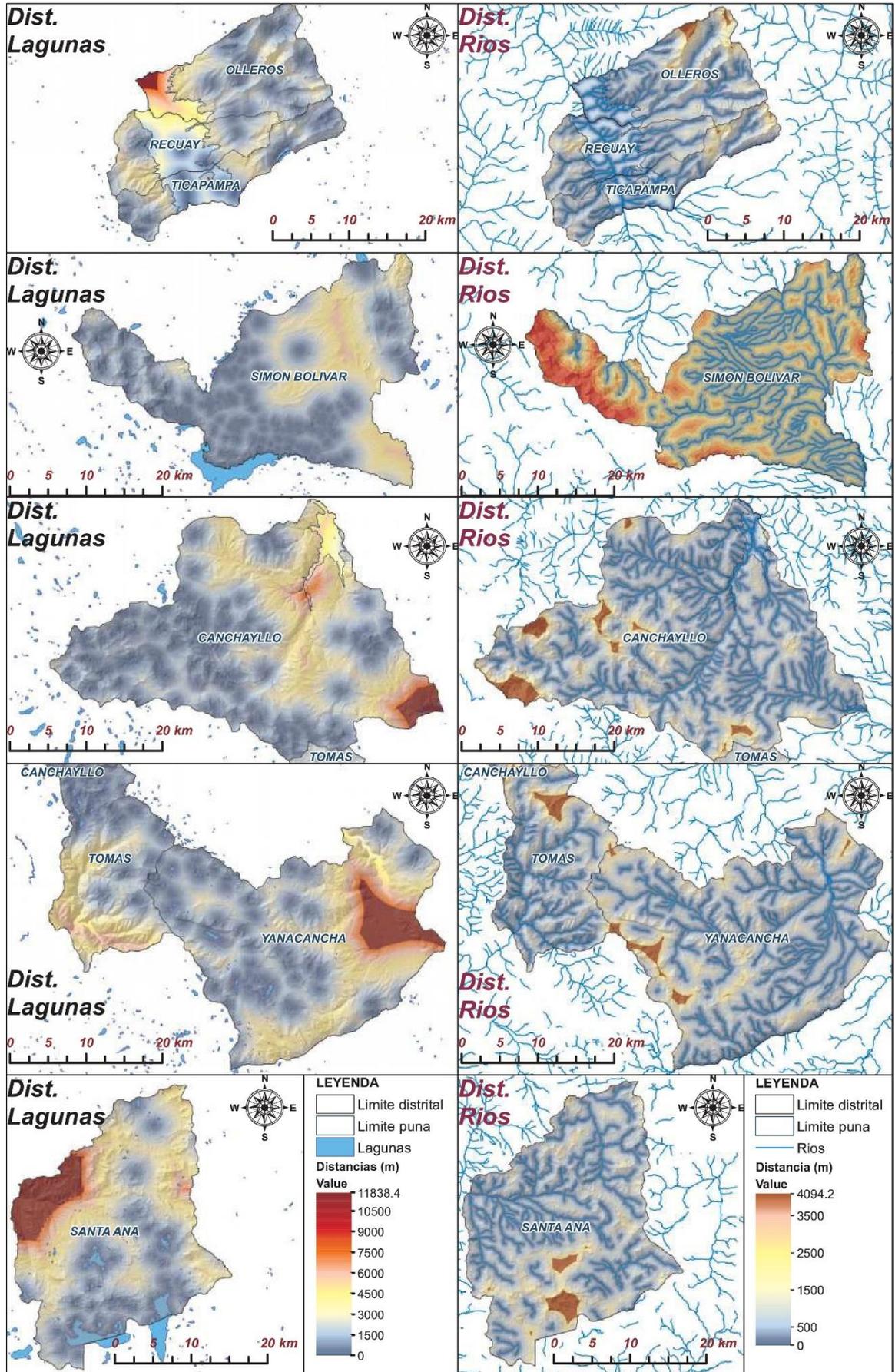
ANEXO 28. Mapas de Fracción de cobertura vegetal (FCV) 2011-2012.



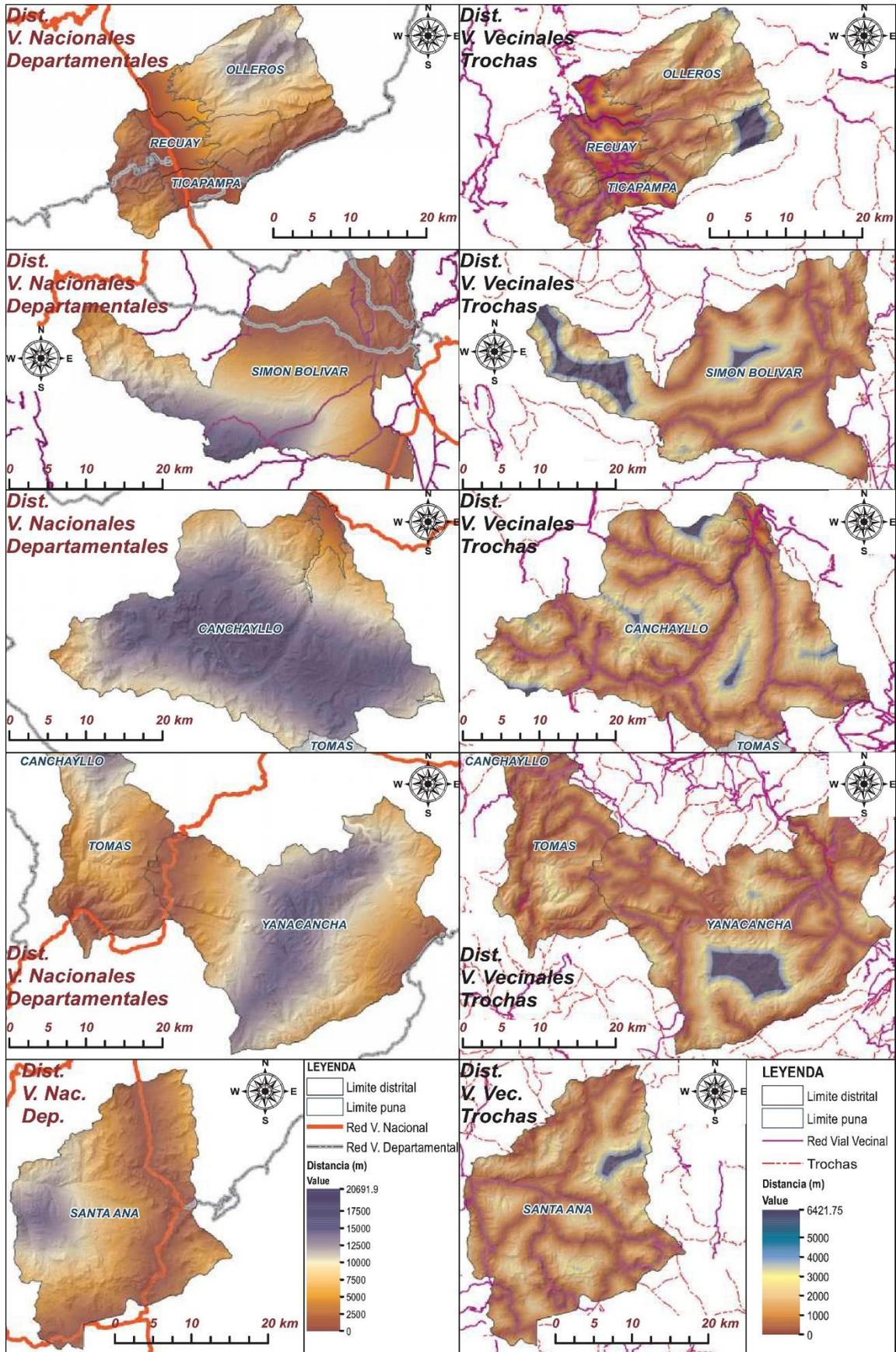
ANEXO 29. Mapas de Fracción de cobertura vegetal (FCV) 2013-2014.



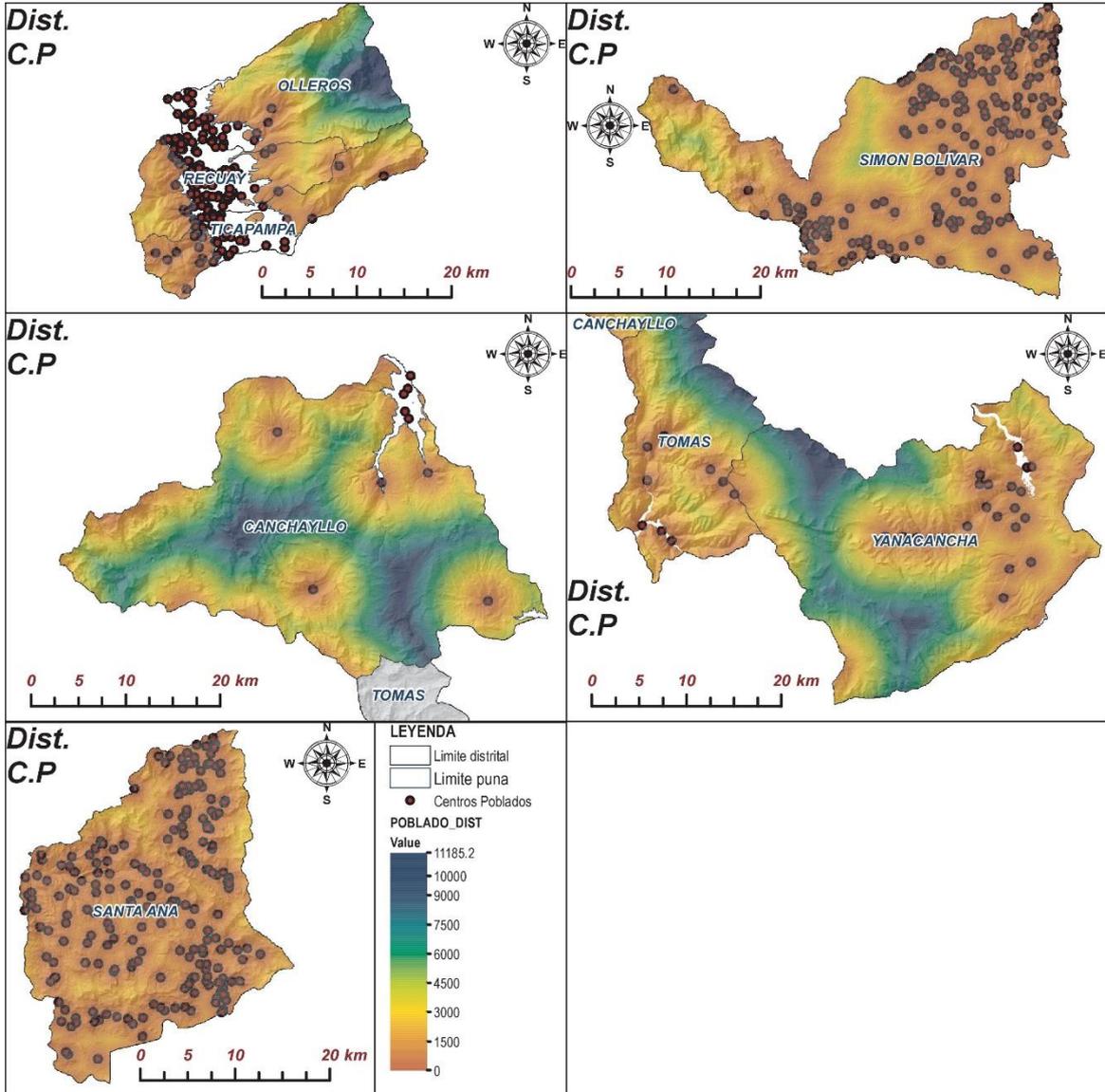
ANEXO 30. Mapas de distancia euclidiana lagunas y ríos.



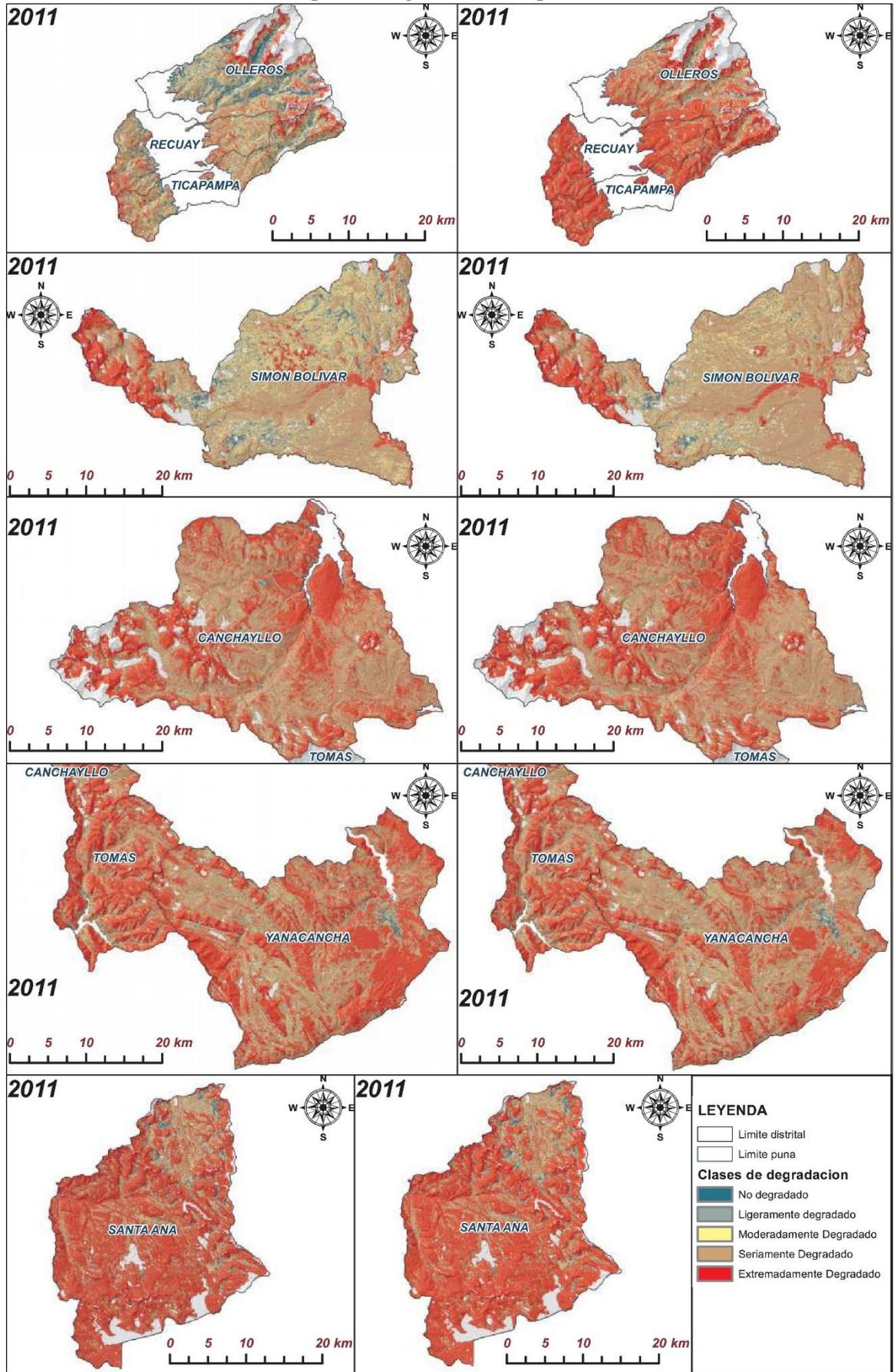
ANEXO 31. Mapas de distancia euclidiana a Vías Nacionales y Departamentales, Vías Vecinales y trochas.



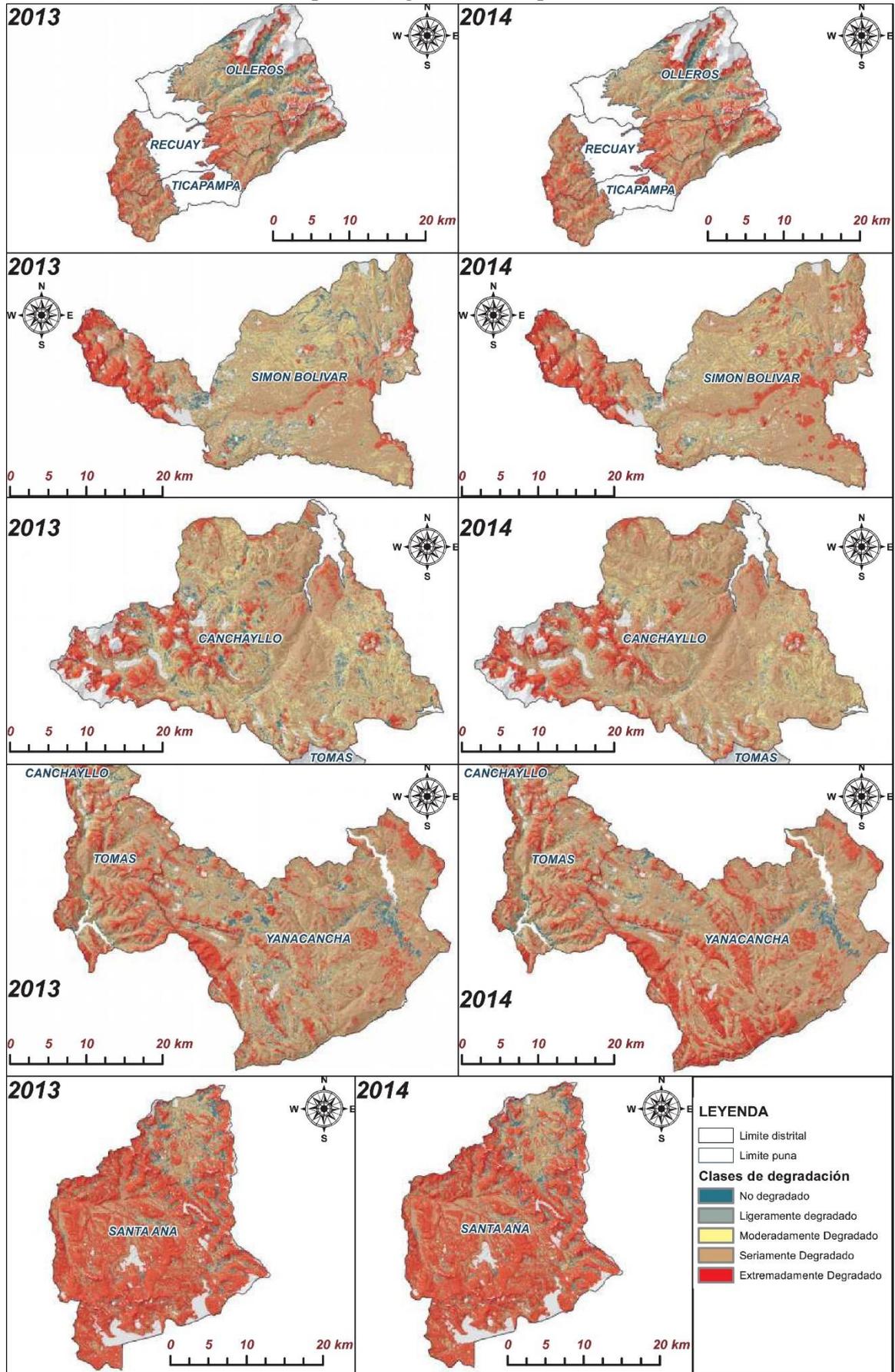
ANEXO 32. Mapas de distancia euclidiana a Centros Poblados.



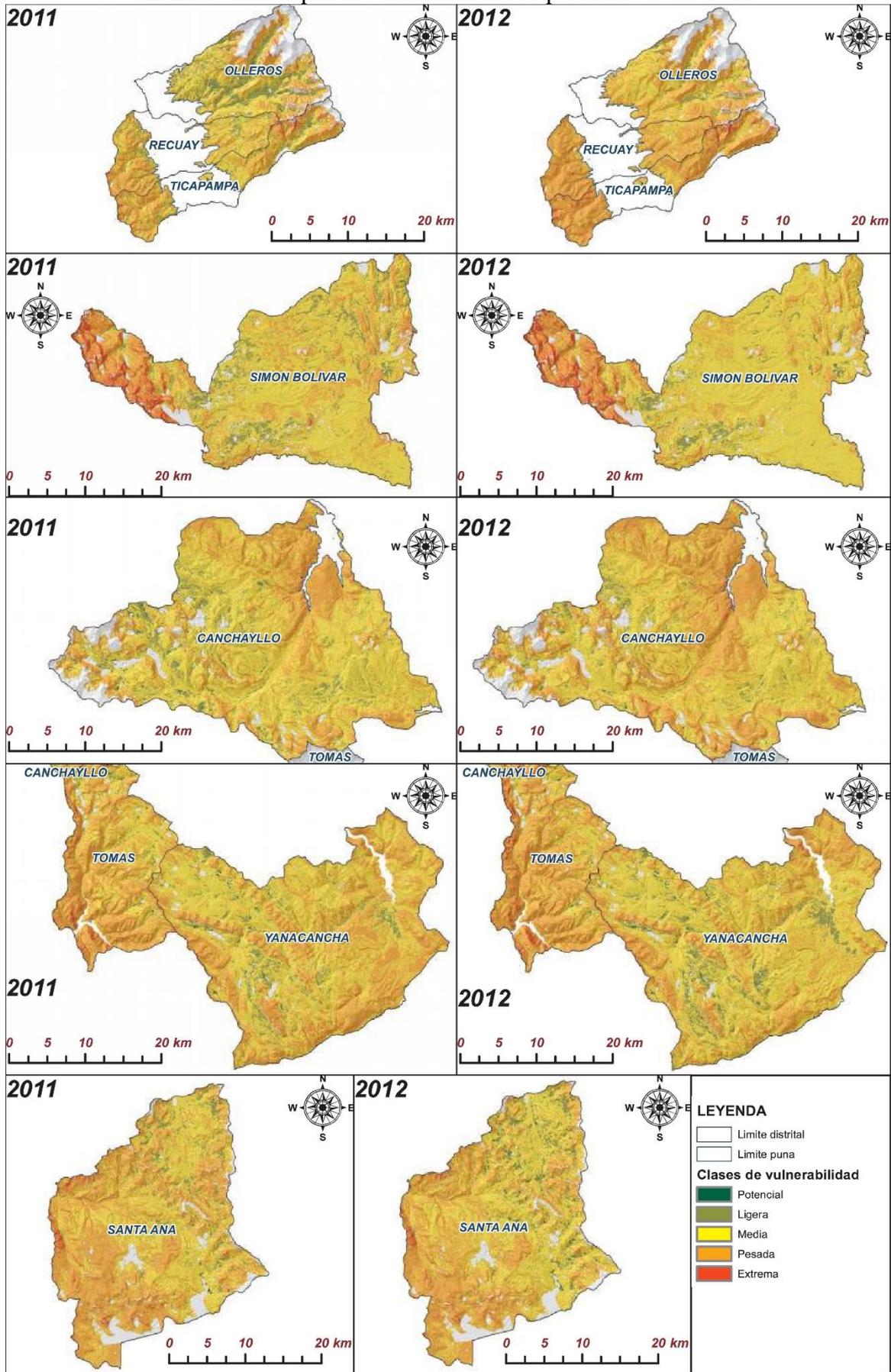
ANEXO 33. Mapas de degradación de pastizales 2011-2012.



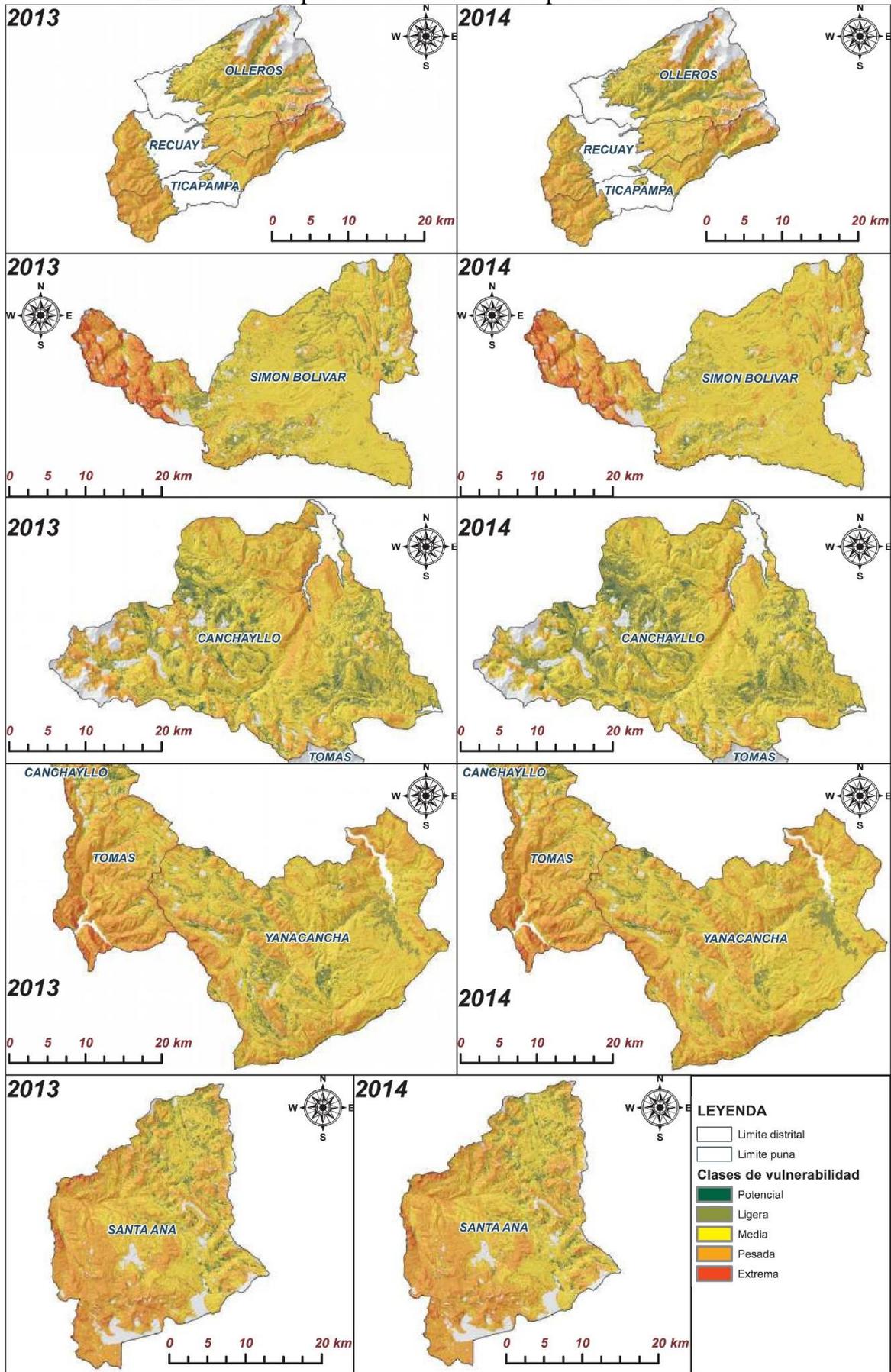
ANEXO 34. Mapas de degradacion de pastizales 2013-2014.



ANEXO 35. Mapas de vulnerabilidad de pastizales 2011-2012.



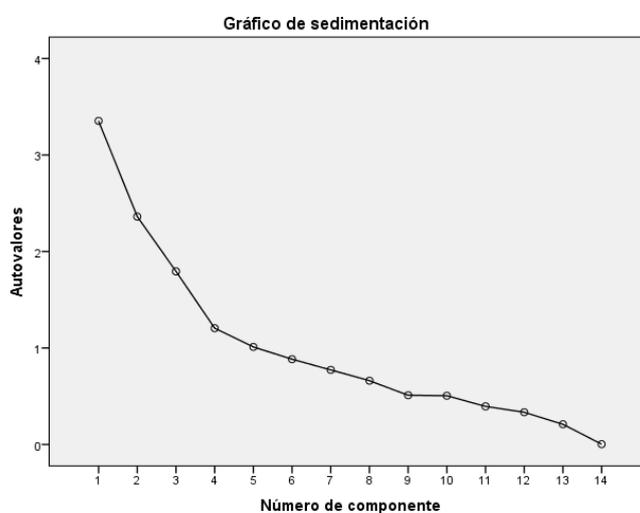
ANEXO 36. Mapas de vulnerabilidad de pastizales 2013-2014.



### ANEXO 37. Análisis factorial por componentes principales – 2011.

<b>KMO y prueba de Bartlett</b>									
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.									,591
Chi-cuadrado aproximado									33454440,587
Prueba de esfericidad de Bartlett	gl								91
	Sig.								,000
<b>Varianza total explicada</b>									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,353	23,949	23,949	3,353	23,949	23,949	2,768	19,769	19,769
2	2,361	16,865	40,814	2,361	16,865	40,814	2,612	18,661	38,430
3	1,794	12,814	53,628	1,794	12,814	53,628	1,774	12,674	51,104
4	1,205	8,607	62,235	1,205	8,607	62,235	1,484	10,597	61,700
5	1,011	7,220	69,456	1,011	7,220	69,456	1,086	7,755	69,456
6	,884	6,314	75,769						
7	,773	5,521	81,291						
8	,662	4,725	86,016						
9	,510	3,645	89,661						
10	,506	3,611	93,273						
11	,395	2,821	96,094						
12	,334	2,386	98,480						
13	,209	1,496	99,977						
14	,003	,023	100,000						

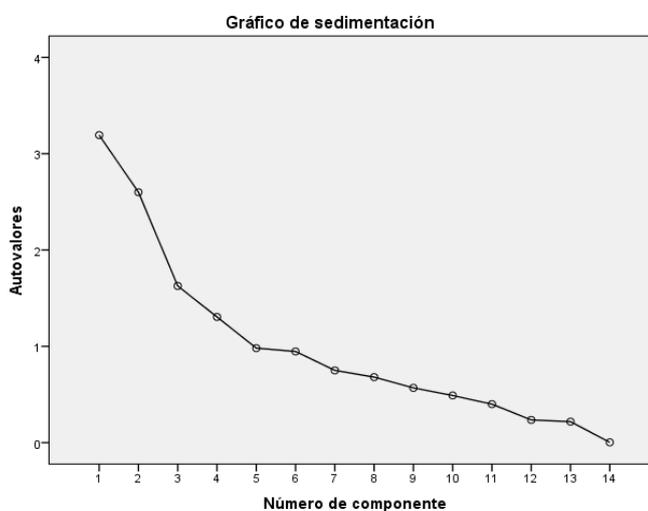
Método de extracción: Análisis de Componentes principales.



### ANEXO 38. Análisis factorial por componentes principales – 2012.

<b>KMO y prueba de Bartlett</b>									
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.									,591
Chi-cuadrado aproximado									33981975,477
Prueba de esfericidad de Bartlett	gl								91
	Sig.								,000
<b>Varianza total explicada</b>									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,193	22,808	22,808	3,193	22,808	22,808	2,544	18,173	18,173
2	2,600	18,574	41,382	2,600	18,574	41,382	2,397	17,120	35,293
3	1,627	11,624	53,005	1,627	11,624	53,005	2,259	16,134	51,427
4	1,305	9,323	62,328	1,305	9,323	62,328	1,526	10,900	62,328
5	,981	7,010	69,337						
6	,947	6,761	76,099						
7	,750	5,360	81,459						
8	,680	4,861	86,319						
9	,569	4,061	90,381						
10	,490	3,499	93,880						
11	,400	2,856	96,735						
12	,236	1,684	98,420						
13	,218	1,556	99,976						
14	,003	,024	100,000						

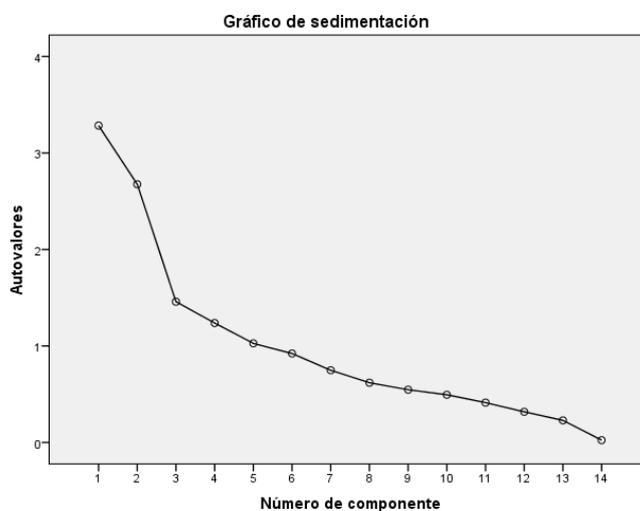
Método de extracción: Análisis de Componentes principales.



### ANEXO 39. Análisis factorial por componentes principales – 2013.

<b>KMO y prueba de Bartlett</b>									
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.									,671
Chi-cuadrado aproximado									25590917,950
Prueba de esfericidad de Bartlett									91
Sig.									,000
<b>Varianza total explicada</b>									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,284	23,460	23,460	3,284	23,460	23,460	3,132	22,372	22,372
2	2,676	19,112	42,572	2,676	19,112	42,572	2,413	17,238	39,610
3	1,459	10,422	52,994	1,459	10,422	52,994	1,702	12,155	51,765
4	1,238	8,842	61,836	1,238	8,842	61,836	1,376	9,827	61,592
5	1,027	7,337	69,173	1,027	7,337	69,173	1,061	7,581	69,173
6	,922	6,588	75,761						
7	,748	5,345	81,106						
8	,620	4,425	85,531						
9	,547	3,906	89,437						
10	,495	3,532	92,969						
11	,413	2,950	95,920						
12	,318	2,270	98,189						
13	,229	1,637	99,826						
14	,024	,174	100,000						

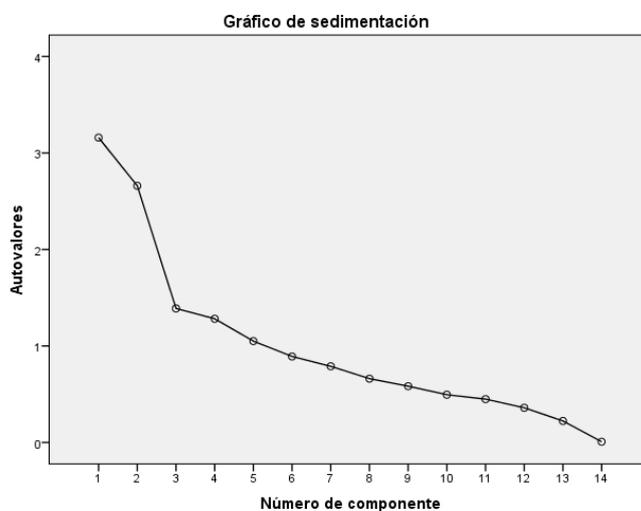
Método de extracción: Análisis de Componentes principales.



## ANEXO 40. Análisis factorial por componentes principales – 2014.

<b>KMO y prueba de Bartlett</b>									
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.									,597
Chi-cuadrado aproximado									28866134,266
Prueba de esfericidad de Bartlett									91
gl									91
Sig.									,000
<b>Varianza total explicada</b>									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3,159	22,563	22,563	3,159	22,563	22,563	2,969	21,205	21,205
2	2,660	18,998	41,560	2,660	18,998	41,560	2,637	18,836	40,041
3	1,389	9,924	51,484	1,389	9,924	51,484	1,375	9,824	49,865
4	1,282	9,157	60,641	1,282	9,157	60,641	1,288	9,197	59,062
5	1,050	7,503	68,144	1,050	7,503	68,144	1,272	9,082	68,144
6	,891	6,365	74,509						
7	,789	5,638	80,147						
8	,661	4,723	84,870						
9	,583	4,167	89,037						
10	,495	3,535	92,572						
11	,449	3,210	95,782						
12	,360	2,569	98,351						
13	,223	1,593	99,944						
14	,008	,056	100,000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.



### ANEXO 41. Transectas y valores utilizados para la validación de FCV.

ID	Unidad	Tipo Vegetación	Este	Norte	Altitud	FCV – Landsat (%)	FCV – Eval. (%)	Residual (%)
1	Canchayllo	Pajonal	422144	8683933.5	4176	58.09	75.3	<b>-17.21</b>
2	Canchayllo	Pajonal	422072	8683827.5	4253	64.24	75.9	<b>-11.66</b>
3	Canchayllo	Pajonal	422868.5	8684497.5	4283	50.42	47.3	<b>3.12</b>
4	Canchayllo	Césped de Puna	422601	8687856	4035	35.52	47.1	<b>-11.58</b>
5	Cordillera Blanca	Pajonal	238399	8928988	4100	24.06	24	<b>0.06</b>
6	Cordillera Blanca	Pajonal	236752.799	8930459.69	4002	28.36	32.3	<b>-3.94</b>
7	Cordillera Blanca	Pajonal	238705.5	8928800.5	4107	72.58	75.2	<b>-2.62</b>
8	Cordillera Blanca	Pajonal	235127.28	8929955.61	3821	61.41	70	<b>-8.59</b>
9	Cordillera Blanca	Césped de Puna	237781.5	8929224.5	4088	17.98	30.5	<b>-12.52</b>
10	Cordillera Blanca	Césped de Puna	238649.09	8931010.3	4089	52.44	34.5	<b>17.94</b>
11	Cordillera Blanca	Césped de Puna	235993.916	8929574.54	3973	14.71	22.5	<b>-7.79</b>
12	Cordillera Blanca	Bofedal	241604.5	8932748.5	4026	90.5	99.5	<b>-9</b>
13	Racco	Césped de Puna	346908.5	8807103.5	4400	66.6	67.6	<b>-1</b>
14	Racco	Pajonal	344627	8806134	4441	67.33	75.2	<b>-7.87</b>
15	Racco	Pajonal	344790	8806980	4418	73.91	86	<b>-12.09</b>
16	Racco	Pajonal	347504	8806597.5	4381	60.2	57	<b>3.2</b>
17	Racco	Pajonal	346166.5	8805887	4375	57.13	75.8	<b>-18.67</b>
18	Santa Ana	Césped de Puna	487271.06	8554258.45	4559	40.95	55.2	<b>-14.25</b>
19	Santa Ana	Bofedal	487731.5	8553812.5	4523	100	95.2	<b>4.8</b>
20	Santa Ana	Pajonal	475272.49	8556425.89	4337	34.48	47.1	<b>-12.62</b>
21	Santa Ana	Bofedal	485833	8554526.5	4548	100	85	<b>15</b>
22	Santa Ana	Césped de Puna	491092.5	8561429	4595	80.27	74.1	<b>6.17</b>
23	Santa Ana	Bofedal	490569	8559254.5	4584	100	91.3	<b>8.7</b>
24	Santa Ana	Bofedal	490818.5	8558268	4611	100	94.5	<b>5.5</b>
25	Tomas	Pajonal	431022.5	8656245.5	4627	59.11	54	<b>5.11</b>
26	Tomas	Césped de Puna	431427	8655005.5	4612	79.69	76	<b>3.69</b>
27	Tomas	Bofedal	432170.5	8657002	4563	100	93	<b>7</b>
28	Tomas	Pajonal	430160.5	8657338.5	4610	47.94	41	<b>6.94</b>
29	Tomas	Bofedal	429693.5	8658511.5	4502	100	98	<b>2</b>
30	Tomas	Césped de Puna	432312.5	8654093.5	4602	48.28	52.1	<b>-3.82</b>
31	Tomas	Césped de Puna	430952	8650331	4558	57.16	57.1	<b>0.06</b>
32	Tomas	Pajonal	432305.5	8651280.5	4530	70.14	69.4	<b>0.74</b>

### ANEXO 42. Índices de regresión Lineal para calibración de FCV.

*La variable independiente es FCV – Landsat.*

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros	
	R <sup>2</sup>	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
Lineal	,868	197,383	1	30	,000	12,429	,835
Logarítmica	,821	137,268	1	30	,000	-101,963	41,308
Inversa	,640	53,391	1	30	,000	92,570	-1364,421
Compuesto	,818	134,905	1	30	,000	23,874	1,015
Potencia	,860	184,762	1	30	,000	2,691	,770
S	,754	91,868	1	30	,000	4,646	-26,948
Crecimiento	,818	134,905	1	30	,000	3,173	,015
Exponencial	,818	134,905	1	30	,000	23,874	,015

**ANEXO 43.** Inventario histórico (2011-2014) de degradación de pastizales en áreas de Puna por zona de estudio obtenidos mediante Teledetección.

2011	No degradado		Ligeramente Degradado		Moderadamente Degradado		Seriamente Degradado		Extremadamente Degradado	
	Área (× 10 <sup>2</sup> ha)	%	Área (× 10 <sup>2</sup> ha)	%	Área (× 10 <sup>2</sup> ha)	%	Área (× 10 <sup>2</sup> ha)	%	Área (× 10 <sup>2</sup> ha)	%
Olleros	30.22	19.28	24.93	15.91	29.12	18.58	45.16	28.82	27.29	17.41
Recuay	6.19	6.78	8.37	9.17	16.10	17.64	44.23	48.46	16.39	17.96
Ticapampa	7.70	7.60	10.60	10.46	20.45	20.19	45.17	44.62	17.34	17.12
Simon Bolivar	22.26	3.38	63.48	9.64	150.88	22.90	324.70	49.28	97.51	14.80
Canchayllo	4.97	0.58	8.24	0.95	23.35	2.70	469.64	54.40	357.16	41.37
Tomas	3.30	1.17	3.44	1.22	7.08	2.51	113.63	40.23	154.97	54.87
Yanacancha	8.91	1.19	15.02	2.01	33.22	4.44	340.21	45.51	350.13	46.84
Santa Ana	14.50	2.43	12.28	2.06	20.64	3.46	136.04	22.81	412.94	69.24
<b>2012</b>										
Olleros	3.72	2.37	5.51	3.51	10.21	6.52	64.07	40.88	73.22	46.72
Recuay	0.15	0.17	0.60	0.66	1.46	1.60	17.19	18.83	71.88	78.74
Ticapampa	0.44	0.44	0.72	0.71	2.39	2.36	27.59	27.25	70.11	69.24
Simon Bolivar	7.96	1.21	30.62	4.65	97.51	14.80	418.78	63.56	103.97	15.78
Canchayllo	2.61	0.30	6.10	0.71	20.74	2.40	451.55	52.30	382.35	44.29
Tomas	3.09	1.09	3.82	1.35	8.17	2.89	126.03	44.62	141.32	50.04
Yanacancha	9.02	1.21	18.56	2.48	42.37	5.67	399.47	53.44	278.06	37.20
Santa Ana	12.98	2.18	14.15	2.37	23.24	3.90	138.96	23.30	407.07	68.25
<b>2013</b>										
Olleros	23.06	14.71	18.78	11.99	27.93	17.82	53.91	34.40	33.05	21.09
Recuay	2.71	2.97	2.93	3.21	6.38	6.99	41.80	45.79	37.47	41.05
Ticapampa	4.98	4.92	5.75	5.67	12.90	12.74	50.24	49.62	27.39	27.05
Simon Bolivar	22.25	3.38	60.76	9.22	148.45	22.53	339.17	51.48	88.20	13.39
Canchayllo	33.76	3.91	61.53	7.13	193.22	22.38	437.50	50.67	137.35	15.91
Tomas	10.18	3.60	9.15	3.24	22.85	8.09	159.69	56.54	80.56	28.53
Yanacancha	36.83	4.93	39.03	5.22	82.02	10.97	455.42	60.93	134.19	17.95
Santa Ana	28.23	4.73	18.56	3.11	29.45	4.94	145.33	24.37	374.83	62.85
<b>2014</b>										
Olleros	15.98	10.20	14.79	9.44	25.51	16.27	61.81	39.43	38.65	24.66
Recuay	2.19	2.39	2.73	2.99	6.50	7.12	44.89	49.18	34.98	38.32
Ticapampa	2.66	2.63	3.92	3.88	9.37	9.25	54.15	53.48	31.15	30.76
Simon Bolivar	9.75	1.48	33.54	5.09	104.55	15.87	394.11	59.82	116.89	17.74
Canchayllo	16.32	1.89	34.92	4.04	136.91	15.86	543.10	62.91	132.10	15.30
Tomas	11.75	4.16	10.13	3.59	27.67	9.80	163.13	57.76	69.75	24.70
Yanacancha	19.36	2.59	22.15	2.96	52.54	7.03	455.44	60.93	198.00	26.49
Santa Ana	27.00	4.53	18.57	3.11	29.88	5.01	158.04	26.50	362.91	60.85

**ANEXO 44.** Información de ajuste para el modelo de Regresión Logística Mutinomial para el análisis de degradación.

<b>Información del ajuste del modelo</b>				
Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	9103775,183			
Final	4050665,977	5053109,206	68	,000
<b>Bondad de ajuste</b>				
	Chi-cuadrado	gl	Sig.	
Pearson	23819590651630620,000	15545604	,000	
Desviación	4050665,977	15545604	1,000	
<b>Pseudo R-cuadrado</b>				
Cox y Snell	,728			
Nagelkerke	,805			
McFadden	,555			
<b>Contrastes de la razón de verosimilitud</b>				
Efecto	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	4050665,977 <sup>a</sup>	,000	0	.
DOV14	4088069,188	37403,211	4	,000
DPB14	4124266,990	73601,014	4	,000
DIST_POBLAD	4066684,728	16018,751	4	,000
DIST_VVT	4054968,299	4302,322	4	,000
DIST_VND	4123632,991	72967,014	4	,000
DIST_LAGUNAS	4059793,700	9127,723	4	,000
DIST_RIOS	4054020,518	3354,541	4	,000
ELEVACIÓN	4081253,544	30587,567	4	,000
PEND_GRAD	4055436,180	4770,203	4	,000
INTEMPER	4054715,386	4049,409	4	,000
F2014_pma_SPL_TENS	4097002,077	46336,100	4	,000
F2014_tma_KRIG	4079401,817	28735,840	4	,000
fcv_2013e5	4477132,581	426466,604	4	,000
fcv_2012e5	4099760,000	49094,023	4	,000
fcv_2011_e5	4565247,433	514581,456	4	,000
AREAS_PROT	4059084,706	8418,729	8	,000

El estadístico de chi-cuadrado es la diferencia en las -2 log verosimilitudes entre el modelo final y el modelo reducido. El modelo reducido se forma omitiendo un efecto del modelo final. La hipótesis nula es que todos los parámetros de ese efecto son 0.

a. Este modelo reducido es equivalente al modelo final ya que la omisión del efecto no incrementa los grados de libertad.

**ANEXO 45. Modelo de regresión logística para degradación de pastizales.**

DEGRADACION	B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
							Límite inferior	Límite superior
Intersección	23,186	,967	574,298	1	,000			
DOV14	,388	,018	449,823	1	,000	1,474	1,422	1,527
DPB14	,094	,002	3,867,743	1	,000	1,098	1,095	1,102
DIST_POBLAD	,000	,000	476,840	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_VVT	,000	,000	489,890	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_VND	,000	,000	7,927,304	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_LAGUNAS	,000	,000	3,290,467	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_RIOS	,000	,000	293,918	1	,000	1,000	1,000	1,000
ELEVACIÓN	-,003	,000	398,783	1	,000	,997	,996	,997
2,00 PEND_GRAD	-,019	,001	1,153,204	1	,000	,981	,980	,982
INTEMPER	,031	,003	93,693	1	,000	1,032	1,025	1,038
F2014_pma_SPL_TENS	,001	,000	247,239	1	,000	1,001	1,001	1,001
F2014_tma_KRIG	-,450	,034	171,770	1	,000	,637	,596	,682
fcv_2013e5	-3,250	,042	5,900,942	1	,000	,039	,036	,042
fcv_2012e5	-1,931	,030	4,153,824	1	,000	,145	,137	,154
fcv_2011_e5	-5,086	,035	21,664,833	1	,000	,006	,006	,007
[AREAS_PROT=0]	,782	,023	1,188,638	1	,000	2,186	2,091	2,286
[AREAS_PROT=1]	,490	,031	250,687	1	,000	1,633	1,537	1,735
[AREAS_PROT=2]	0 <sup>b</sup>	.	.	0	.	.	.	.
Intersección	34,008	,982	1,198,892	1	,000			
DOV14	,877	,019	2,145,263	1	,000	2,404	2,316	2,494
DPB14	,158	,002	10,218,725	1	,000	1,171	1,168	1,175
DIST_POBLAD	,000	,000	1,728,415	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_VVT	,000	,000	2,261,501	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_VND	,000	,000	19,231,895	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_LAGUNAS	,000	,000	6,087,035	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_RIOS	,000	,000	206,118	1	,000	1,000	1,000	1,000
ELEVACIÓN	-,005	,000	740,942	1	,000	,995	,995	,996
3,00 PEND_GRAD	-,009	,001	246,847	1	,000	,991	,990	,992
INTEMPER	,004	,003	1,382	1	,240	1,004	,997	1,011
F2014_pma_SPL_TENS	,002	,000	1,805,843	1	,000	1,002	1,002	1,002
F2014_tma_KRIG	-,506	,035	210,113	1	,000	,603	,563	,646
fcv_2013e5	-7,988	,043	34,899,072	1	,000	,000	,000	,000
fcv_2012e5	-2,990	,032	8,530,447	1	,000	,050	,047	,054
fcv_2011_e5	-9,614	,037	66,406,012	1	,000	6.68E-02	6.21E-02	7.19E-02
[AREAS_PROT=0]	1,080	,023	2,233,429	1	,000	2,945	2,816	3,080
[AREAS_PROT=1]	1,097	,032	1,155,440	1	,000	2,996	2,813	3,192
[AREAS_PROT=2]	0 <sup>b</sup>	.	.	0	.	.	.	.

“continuación”

4,00	Intersección	-3,620	1,016	12,698	1	,000			
	DOV14	1,854	,020	8,552,318	1	,000	6,384	6,138	6,640
	DPB14	,247	,002	22,530,912	1	,000	1,281	1,277	1,285
	DIST_POBLAD	,000	,000	3,268,743	1	,000	1,000	1,000	1,000
	DIST_VVT	,000	,000	3,160,540	1	,000	1,000	1,000	1,000
	DIST_VND	,000	,000	35,766,422	1	,000	1,000	1,000	1,000
	DIST_LAGUNAS	,000	,000	7,931,151	1	,000	1,000	1,000	1,000
	DIST_RIOS	,000	,000	100,140	1	,000	1,000	1,000	1,000
	ELEVACIÒN	,003	,000	238,847	1	,000	1,003	1,002	1,003
	PEND_GRAD	,002	,001	13,284	1	,000	1,002	1,001	1,003
	INTEMPER	-,062	,003	319,426	1	,000	,939	,933	,946
	F2014_pma_SPL_TENS	,004	,000	9,340,989	1	,000	1,004	1,004	1,004
	F2014_tma_KRIG	1,077	,036	888,638	1	,000	2,935	2,734	3,150
	fcv_2013e5	-	,045	112,937,281	1	,000	2.36E-04	2.16E-04	2.58E-04
	fcv_2012e5	-5,311	,036	21,500,887	1	,000	,005	,005	,005
	fcv_2011_e5	-	,041	164,813,924	1	,000	6.32E-05	5.83E-05	6.84E-05
	[AREAS_PROT=0]	,779	,023	1,100,596	1	,000	2,180	2,082	2,283
	[AREAS_PROT=1]	1,365	,034	1,567,848	1	,000	3,918	3,661	4,191
	[AREAS_PROT=2]	0 <sup>b</sup>	.	.	0	.	.	.	.
	5,00	Intersección	-	1,092	2,401,709	1	,000		
DOV14		53,506	,021	17,615,283	1	,000	16,551	15,879	17,251
DPB14		,347	,002	40,448,457	1	,000	1,415	1,410	1,420
DIST_POBLAD		,000	,000	8,465,149	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_VVT		,000	,000	2,499,125	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_VND		,000	,000	53,534,554	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_LAGUNAS		,000	,000	9,091,661	1	,000	1,000	1,000	1,000
DIST_RIOS		,000	,000	126,353	1	,000	1,000	1,000	1,000
ELEVACIÒN		,012	,000	3,728,740	1	,000	1,012	1,011	1,012
PEND_GRAD		,011	,001	272,169	1	,000	1,011	1,009	1,012
INTEMPER		-,114	,004	926,222	1	,000	,892	,885	,898
F2014_pma_SPL_TENS		,007	,000	21,178,605	1	,000	1,007	1,007	1,007
F2014_tma_KRIG		2,713	,039	4,891,364	1	,000	15,079	13,975	16,270
fcv_2013e5		-	,049	205,670,542	1	,000	1.86E-07	1.69E-07	2.05E-07
fcv_2012e5		-22,403	,044	43,348,007	1	,000	,000	,000	,000
fcv_2011_e5		-	,047	321,414,181	1	,000	2.49E-09	2.27E-09	2.74E-09
[AREAS_PROT=0]		1,071	,025	1,812,789	1	,000	2,917	2,777	3,064
[AREAS_PROT=1]		2,185	,038	3,309,082	1	,000	8,894	8,256	9,581
[AREAS_PROT=2]		0 <sup>b</sup>	.	.	0	.	.	.	.



**ANEXO 47. Análisis de vulnerabilidad: Comparación por pares - Vulnerabilidad Ecológica.**

Ítem	Numero de ítem	1	2	3
	Variable	Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa
1	Exposición	1.00	1/4	1
2	Sensibilidad	4.00	1.00	5
3	Capacidad Adaptativa	1.00	0.20	1.00
	Suma	6.00	1.45	7.00

**MATRIZ ESTANDARIZADA**

		Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa	PESO
1	Exposición	0.17	0.17	0.14	<b>16.1%</b>
2	Sensibilidad	0.67	0.69	0.71	<b>69.0%</b>
3	Capacidad Adaptativa	0.17	0.14	0.14	<b>14.9%</b>

**Calculo IC and RC**

		Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa	SUMA	SUMA/Peso
1	Exposición	0.16	0.17	0.15	0.48	3.00
2	Sensibilidad	0.64	0.69	0.75	2.08	3.01
3	Capacidad Adaptativa	0.16	0.14	0.15	0.45	3.00
	CONTEO					3.000
	Lambda Max					3.006
Índice de Consistencia	IC					0.003
Relación de Consistencia	RC					0.005
	constante					0.580

**ANEXO 48. Análisis de vulnerabilidad: Comparación por pares - Exposición.**

Ítem	Numero de ítem	1	2
	Variable	Precipitación anual	Temperatura media anual
1	Precipitación anual	1.00	3
2	Temperatura media anual	1/3	1.00
	Suma	1.33	4.00

**MATRIZ ESTANDARIZADA**

		Precipitación anual	Temperatura media anual	PESO
1	Precipitación anual	0.75	0.75	<b>75.0%</b>
2	Temperatura media anual	0.25	0.25	<b>25.0%</b>

**Calculo IC and RC**

		Precipitación anual	Temperatura media anual	SUMA	SUMA/Peso
1	Precipitación anual	0.75	0.75	1.50	2.00
2	Temperatura media anual	0.25	0.25	0.50	2.00
	CONTEO				2.00
	Lambda Max				2.000
Índice de Consistencia	IC				0.000
Relación de Consistencia	RC				<b>0.00E+00</b>
	constante				0.1

**ANEXO 49.** Análisis de vulnerabilidad: Comparación por pares - Sensibilidad.

Numero de ítem	1	2	3	4	5	6
Variable	Elevación	Pendiente	Cercanía a Lagunas	Cercanía a ríos	Fracción de cobertura vegetal	Intemperismo
Elevación	1.00	1/5	1/6	1/2	1/7	1/6
Pendiente	5.00	1.00	6	6	1	1
Cercanía a Lagunas	6.00	0.17	1.00	1/4	1/6	1/5
Cercanía a ríos	2.00	0.17	4.00	1.00	1/6	1/5
Fracción de cobertura vegetal	7.00	1.00	6.00	6.00	1.00	3
Intemperismo	1.00	1.00	5.00	5.00	0.33	1.00
Suma	22.00	3.53	22.17	18.75	2.81	5.57

**MATRIZ ESTANDARIZADA**

	Elevación	Pendiente	Cercanía a Lagunas	Cercanía a ríos	Fracción de cobertura vegetal	Intemperismo	PESO
Elevación	0.05	0.06	0.01	0.03	0.05	0.03	<b>3.6%</b>
Pendiente	0.23	0.28	0.27	0.32	0.36	0.18	<b>27.3%</b>
Cercanía a Lagunas	0.27	0.05	0.05	0.01	0.06	0.04	<b>7.9%</b>
Cercanía a ríos	0.09	0.05	0.18	0.05	0.06	0.04	<b>7.8%</b>
Fracción de cobertura vegetal	0.32	0.28	0.27	0.32	0.36	0.54	<b>34.8%</b>
Intemperismo	0.05	0.28	0.23	0.27	0.12	0.18	<b>18.6%</b>

**Calculo IC and RC**

	Elevación	Pendiente	Cercanía a Lagunas	Cercanía a ríos	Fracción de cobertura vegetal	Intemperismo	SU MA	SUMA /Peso	
Elevación	0.04	0.05	0.01	0.04	0.05	0.03	0.22	6.18	
Pendiente	0.18	0.27	0.47	0.47	0.35	0.19	1.93	7.07	
Cercanía a Lagunas	0.22	0.05	0.08	0.02	0.06	0.04	0.46	5.78	
Cercanía a ríos	0.07	0.05	0.32	0.08	0.06	0.04	0.61	7.79	
Fracción de cobertura vegetal	0.25	0.27	0.47	0.47	0.35	0.56	2.37	6.83	
Intemperismo	0.04	0.27	0.39	0.39	0.12	0.19	1.09	5.86	
CONTEO								6.00	
Lambda Max								6.585	
Índice de Consistencia			IC					0.117	
Relación de Consistencia			RC					<b>0.09</b>	
								constante	1.24

**ANEXO 50. Análisis de vulnerabilidad: Comparación por pares. – Capacidad Adaptativa.**

Ítem	Numero de ítem	1	2	3	4	5	6
	Variable	Densidad poblacional	Densidad animal	Cercanía a centros poblados	Cercanía a Vías vecinales y trochas	Cercanía a Vías nacionales y departamentales	Áreas de reserva
1	Densidad poblacional	1.00	2	3	5	5	4
2	Densidad animal	0.50	1.00	3	3	4	4
3	Cercanía a centros poblados	0.33	0.33	1.00	4	4	4
4	Cercanía a Vías vecinales y trochas	0.20	0.33	0.25	1.00	4	4
5	Cercanía a Vías nacionales y departamentales	0.20	0.25	0.25	0.25	1.00	3
6	Áreas de reserva	0.25	0.25	0.25	0.25	0.33	1.00
	Suma	2.48	4.17	7.75	13.50	18.33	20.00

<b>MATRIZ ESTANDARIZADA</b>								
		Densidad poblacional	Densidad animal	Cercanía a centros poblados	Cercanía a Vías vecinales y trochas	Cercanía a Vías nacionales y departamentales	Áreas de reserva	<b>PESO</b>
1	Densidad poblacional	0.40	0.48	0.39	0.37	0.27	0.20	<b>35.2%</b>
2	Densidad animal	0.20	0.24	0.39	0.22	0.22	0.20	<b>24.5%</b>
3	Cercanía a centros poblados	0.13	0.08	0.13	0.30	0.22	0.20	<b>17.6%</b>
4	Cercanía a Vías vecinales y trochas	0.08	0.08	0.03	0.07	0.22	0.20	<b>11.4%</b>
5	Cercanía a Vías nacionales y departamentales	0.08	0.06	0.03	0.02	0.05	0.15	<b>6.6%</b>
6	Áreas de reserva	0.10	0.06	0.03	0.02	0.02	0.05	<b>4.7%</b>

<b>Calculo IC and RC</b>										
		Densidad poblacional	Densidad animal	Cercanía a centros poblados	Cercanía a Vías vecinales y trochas	Cercanía a Vías nacionales y departamentales	Áreas de reserva	SUMA	SUMA /Peso	
1	Densidad poblacional	0.35	0.49	0.53	0.57	0.33	0.19	2.46	6.98	
2	Densidad animal	0.18	0.24	0.53	0.34	0.26	0.19	1.74	7.12	
3	Cercanía a centros poblados	0.12	0.08	0.18	0.46	0.26	0.19	1.28	7.27	
4	Cercanía a Vías vecinales y trochas	0.07	0.08	0.04	0.11	0.26	0.19	0.76	6.66	
5	Cercanía a Vías nacionales y departamentales	0.07	0.06	0.04	0.03	0.07	0.14	0.41	6.21	
6	Áreas de reserva	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.05	0.22	4.76	
		<b>CONTEO</b>								6.00
		<b>Lambda Max</b>								6.501
	Índice de Consistencia	<b>IC</b>								0.100
	Relación de Consistencia	<b>RC</b>								<b>0.08</b>
		<b>constante</b>								1.24

**ANEXO 51.** Inventario historico (2011-2014) de vulnerabilidad de pastizales en areas de  
Puna por zona de estudio.

2011	Potencial		Ligera		Media		Pesada		Extrema	
	Área (× 10 <sup>2</sup> ha)	%								
Olleros	1.40	13.17	42.10	14.66	64.44	3.58	46.49	3.45	2.29	4.19
Recuay	-	-	11.00	3.83	40.44	2.25	39.26	2.91	0.59	1.08
Ticapampa	0.12	1.12	9.71	3.38	37.92	2.11	50.33	3.74	3.18	5.80
Simón Bolívar	0.24	2.27	70.49	24.55	370.89	20.62	186.24	13.83	30.97	56.62
Canchayllo	3.38	31.77	65.91	22.96	524.43	29.16	268.20	19.91	1.43	2.62
Tomas	0.73	6.84	8.67	3.02	103.01	5.73	163.04	12.10	6.98	12.76
Yanacancha	3.12	29.33	45.22	15.75	402.28	22.37	295.26	21.92	1.60	2.93
Santa Ana	1.65	15.50	34.04	11.85	254.83	14.17	298.23	22.14	7.65	13.99
<b>Distritos</b>	<b>2012</b>									
Olleros	0.27	2.43	9.39	4.71	67.49	3.68	78.00	5.62	1.59	2.43
Recuay	-	-	0.64	0.32	19.12	1.04	70.19	5.06	1.34	2.04
Ticapampa	0.00	0.01	0.65	0.32	17.67	0.96	75.39	5.44	7.55	11.51
Simón Bolívar	0.57	5.23	41.29	20.73	444.72	24.23	141.69	10.22	30.57	46.62
Canchayllo	1.06	9.63	35.87	18.02	453.07	24.69	368.02	26.54	5.34	8.14
Tomas	0.45	4.10	6.65	3.34	81.36	4.43	181.58	13.09	12.39	18.90
Yanacancha	3.83	34.90	61.22	30.74	452.83	24.67	228.08	16.45	1.53	2.33
Santa Ana	4.79	43.71	43.42	21.80	299.04	16.29	243.89	17.59	5.27	8.03
<b>Distritos</b>	<b>2013</b>									
Olleros	1.48	4.19	34.14	7.44	71.55	3.99	47.81	4.21	1.74	2.42
Recuay	0.00	0.01	4.95	1.08	32.11	1.79	53.52	4.71	0.70	0.97
Ticapampa	0.01	0.02	6.04	1.31	30.66	1.71	59.56	5.24	4.98	6.91
Simón Bolívar	2.12	5.98	81.76	17.80	414.97	23.12	127.19	11.19	32.79	45.50
Canchayllo	19.88	56.18	170.40	37.11	482.67	26.89	189.48	16.68	0.93	1.29
Tomas	1.51	4.28	16.45	3.58	89.16	4.97	158.99	13.99	16.32	22.63
Yanacancha	5.46	15.45	92.49	20.14	431.58	24.05	214.62	18.89	3.33	4.62
Santa Ana	4.91	13.89	52.99	11.54	242.13	13.49	285.07	25.09	11.29	15.67
<b>Distritos</b>	<b>2014</b>									
Olleros	2.12	6.24	32.27	7.39	73.43	3.85	47.59	4.49	1.32	2.22
Recuay	0.01	0.04	4.71	1.08	45.37	2.38	40.86	3.85	0.33	0.56
Ticapampa	0.12	0.36	5.00	1.15	37.51	1.97	55.99	5.28	2.63	4.42
Simon Bolivar	1.61	4.73	52.97	12.14	437.68	22.95	140.63	13.26	25.95	43.59
Canchayllo	22.21	65.21	208.38	47.74	538.01	28.21	94.66	8.93	0.10	0.17
Tomas	1.44	4.23	17.42	3.99	94.22	4.94	156.12	14.72	13.23	22.22
Yanacancha	1.88	5.53	63.21	14.48	438.84	23.01	239.32	22.56	4.23	7.10
Santa Ana	4.65	13.66	52.53	12.03	242.05	12.69	285.43	26.91	11.74	19.72