

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONÓMICA



**CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL EN LA CUENCA DEL RIO
ZAPATILLA ILAVE - JULI**

TESIS

PRESENTADO POR:

ILDE ELÉ QUISPE MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONÓMICA

**CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL EN LA CUENCA
DEL RIO ZAPATILLA ILAVE - JULI**

TESIS PRESENTADO POR

ILDE ELÉ QUISPE MAMANI

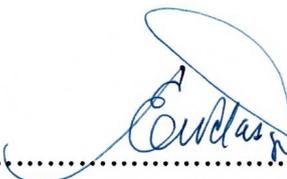
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



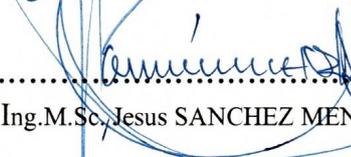
PRESIDENTE

: 
D.Sc. Eleodoro Placido CHAHUARES VELASQUEZ

PRIMER MIEMBRO

: 
Ing. Julio MENDOZA MAICA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Ing.M.Sc. Jesus SANCHEZ MENDOZA

DIRECTOR DE TESIS

: 
Ing. M.Sc. Flavio ORTIZ CALCINA

ASESOR DE TESIS

: 
Ing. Herbert PHOCCO MACHACA

TEMA: Ciencias Agrícolas
ÁREA: Cambio Climático y Agricultura

FECHA DE SUSTENTACIÓN 17 DE OCTUBRE DEL 2019

DEDICATORIA

Primeramente, a nuestro creador Dios todo poderoso por permitirme la vida y haberme conducido por el camino del bien y continuar el camino aun por recorrer.

A mis queridos padres Jaime Quispe y Prudencia Mamani por su amor, cariño y anhelo para mi formación profesional.

A mi esposa Danitza por su apoyo incondicional para la culminación de este trabajo.

A mi hija Cielo que es la fuerza e impulso para alcanzar mis metas y continuar teniendo éxitos durante mi vida profesional.

A mi hermano Elver Quispe por su motivación constante y comprensión.

.

A mi Abuela Julia que en paz descanse, por compartir mis preocupaciones en mi vida y mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido concluir esta etapa de mi vida y así corresponder a los que confiaron en mí.

A la Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y a los Docentes por su apoyo incondicional.

Al Ing. M.Sc. Flavio Ortiz Calcina y Ing. Herbert Phocco Machaca por su apoyo profesional incondicional en las diferentes etapas del trabajo, por sus valiosos concejos y observaciones.

A los miembros del jurado por la revisión y enriquecimiento de la tesis.

A todas aquellas personas y amigos que directa e indirectamente han contribuido en la realización del presente proyecto de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN.....	144
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	155
1.2. ANTECEDENTES.....	177
1.2.1. EN PERÚ.....	177
1.2.2. EN PUNO.	177
1.2.3. ESTUDIOS A NIVEL DE LOS CIP's	188
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	188
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	188
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	188
II. REVISIÓN DE LITERATURA	199
2.1. MARCO TEÓRICO	19
2.1.1. CAMBIOS EN LA COBERTURA.....	199
2.1.2. LOS CAMBIOS DE USOS Y COBERTURA DEL SUELO	199
2.1.3. MARCO CONCEPTUAL	211
2.1.3.1. Tierra.....	211
2.1.3.2. Usos de la tierra	211
2.1.3.3. Cobertura vegetal.....	222
2.1.3.4. Cobertura y uso del suelo	222
2.1.3.5. CAUSAS DIRECTAS DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL.....	22
2.1.3.5.1. Agricultura y ganadería intensiva según la FAO (2006)	222
2.1.3.5.2. Deforestación.....	233
2.1.3.5.3. Minería	233
2.1.4. PLATAFORMA LANDSAT.....	244
2.1.5. RESOLUCIÓN ESPACIAL	244
2.1.6. RESOLUCIÓN ESPECTRAL.....	255
2.1.7. RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	266
2.1.8. RESOLUCIÓN TEMPORAL	266
2.1.9. PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATÉLITE	277
2.1.9.1. Errores y Correcciones	277

2.1.9.2.	Realce de imágenes.....	299
2.1.9.3.	Clasificación digital de imágenes de satélite	299
2.1.9.4.	Satélite Landsat.	311
2.1.9.5.	Imagen satelital según Martínez y Díaz (2005).....	311
2.1.9.6.	Bandas espectrales adecuadas.....	322
2.1.9.7.	Composición de la imagen satelital Landsat utilizando combinaciones de bandas según MINAM-DGOT (2015).	333
2.1.9.7.1.	Color real - Landsat 5/Landsat 7 TM (321); Landsat 8 (432).	333
2.1.9.7.2.	Combinación falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (742).....	333
2.1.9.7.3.	Falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (543); Landsat 8 (654) ..	333
2.1.9.7.4.	Falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (453); Landsat 8 (564) ..	333
III.	MATERIALES Y METODOS	355
3.1.	METERIALES.....	355
3.1.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	355
3.2.	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	366
3.2.1.	Recursos materiales.....	366
3.2.2.	Recopilación de información	377
3.2.3.	Información digital básica	37
3.2.4.	Información de los datos históricos de SENAMHI	388
3.2.5.	Operacionalización de variables	388
3.3.	EQUIPO Y SOFTWARES.....	399
3.4.	MODELAMIENTO DE VARIABLE	400
3.5.	DESCARGA DE BANDAS	411
3.6.	UNIÓN DE BANDAS.	411
3.7.	CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA.....	422
3.8.	COMBINACIÓN DE BANDAS CORREGIDAS LANDSAT	444
3.8.1.	Elaboración de áreas de entrenamiento	466
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	477
4.1.	ÍNDICE DE KAPPA (K)	477
4.2.	SUPERFICIES	533
4.3.	TABLAS CRUZADAS DE COBERTURA DEL SUELO	544
4.4.	SUPERFICIES DE CAMBIO.....	566

4.5. TASA DE CAMBIO	600
4.6. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA HIPÓTESIS	611
4.7. COMPARANDO RESULTADOS CON PARÁMETROS METEOROLÓGICOS	655
V. CONCLUSIONES	666
VI. RECOMENDACIONES.....	677
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	688
ANEXOS	733

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de cambio que han de ser considerados al estudiar el cambio global actual o futuro.....	20
Figura 2. Metodología del flujo de trabajo realizado y estudio.....	40
Figura 3. Elección de Imágenes para descarga de EarthExplorer – Home e INPE.....	41
Figura 4. Geo TIFF with Metadata Imagen Satelital con 6 bandas.....	42
Figura 5. Imagen no corregida de landsat	43
Figura 6. Imagen corregida de landsat	43
Figura 7. Combinación de bandas 543 landsat (1987)	44
Figura 8. Combinación de bandas 543 landsat 5 (1994)	44
Figura 9. Combinación de bandas 543 landsat 5 (2001)	45
Figura 10. Combinación de bandas 543 landsat 5 (2008)	45
Figura 11. Áreas de entrenamiento.....	46
Figura 12. Resultados de clasificación del año 1987	48
Figura 13. Matriz de confusión del año 1987.....	48
Figura 14. Extensión de variables del año 1987.....	48
Figura 15. Resultados de clasificación del año 1994	49
Figura 16. Matriz de confusión del año 1994.....	49
Figura 17. Extensión de variables del año 1994.....	49
Figura 18. Resultados de clasificación del año 2001	50
Figura 19. Matriz de confusión del año 2001.....	50
Figura 20. Extensión de variables del año 2001	50
Figura 21. Resultados de clasificación del año 2008	51
Figura 22. Matriz de confusión del año 2008.....	51
Figura 23. Extensión de variables del año 2008.....	51
Figura 24. Resultados de clasificación del año 2015	52
Figura 25. Matriz de confusión del año 2015.....	52
Figura 26. Extensión de variables del año 2015.....	52
Figura 27. Extensión en hectáreas de variables 1987-2015	53
Figura 28. Índices de cambio (%) Bofedales.....	58
Figura 29. Índices de cambio (%) de variable Pastos Naturales.	58
Figura 30. Índices de cambio (%) de variable Superficie de Rocas.....	59
Figura 31. Índices de cambio (%) de variable Suelo Desnudo.....	59

Figura 32. Índices de cambio (%) de variable Pajonales-Arbustos.....	59
Figura 33. Tasas de cambio (%) correspondientes a las variables entre los años 1987 - 2015	61
Figura 34. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas	62
Figura 35. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas	62
Figura 36. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas	63
Figura 37. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas	64
Figura 38. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. la serie de satélites Landsat, desde el año 1972 dan una de las mayores series históricas de la evolución del planeta.	24
Tabla 2. Colores de la clasificación jerárquica de las coberturas y usos del suelo.....	34
Tabla 3. Información general del satélite LANDSAT-5	37
Tabla 4. Información general del satélite LANDSAT-8	37
Tabla 5. Datos históricos de estaciones hidrometeorológicos	38
Tabla 6. Superficies (en ha) correspondientes a los años establecidos, obtenido en base al área Total.	53
Tabla 7. Tabla cruzada entre el año 1987 y 1994 en (ha).....	54
Tabla 8. Tabla cruzada entre el año 1994 y 2001 en (ha).....	55
Tabla 9. Tabla cruzada entre el año 2001 y 2008 en (ha).....	55
Tabla 10. Tabla cruzada entre el año 2001 y 2008 en (ha).....	55
Tabla 11. Índices de cambio (%), por periodo para cada variable, con respecto al área total de estudio.....	57
Tabla 12. Tasas de cambio y cambio neto de las variables (%) correspondientes a los años establecidos, respecto el área Total.	60
Tabla 13. Prueba estadística no paramétrica de variable Bofedales (BOF).	61
Tabla 14. Prueba estadística no paramétrica de variable Pastos Naturales (PN).....	62
Tabla 15. Prueba estadística no paramétrica de variable Superficie de Rocas (SR). ...	63
Tabla 16. Prueba estadística no paramétrica de variable Suelo Desnudo (SD).....	63
Tabla 17. Prueba estadística no paramétrica de variable Pajonal-Arbusto (PA).....	64
Tabla 18. Comparación de parámetros meteorológicos	65

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

PROCLIM	: Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire.
CCUS	: Cambios de cobertura y uso de suelo.
PETT	: Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural.
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
PNUMA	: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
NDVI	: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.
INRENA	: Instituto Nacional de Recursos Naturales.
SIG	: Sistema de información geográfica.
IGN	: Instituto Geográfico Nacional (Argentina).
MINAG	: Ministerio de Agricultura.
PEJSIB	: Proyecto Especial Jaen San Ignacion Bagua.
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global.
UTM	: Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator.
ROIs	: Región de Interés.
SIG	: Sistemas de Información Geográfica.
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
USGS / EROS	: Centro de Observación y Ciencia de los Recursos Terrestres.

RESUMEN

El estudio se realizó en la cuenca del río Zapatilla, ubicado a 3850 – 4459 m.s.n.m. entre los distritos de Ilave – Juli del departamento de Puno, el área de evaluación fue de 31374.34 has. Se planteó como los objetivos de la investigación (1) analizar la multitemporalidad de la cobertura vegetal en la cuenca Zapatilla a partir del año base 1987 al 2015, (2) analizar la multitemporalidad de la cobertura rocosa en la cuenca Zapatilla a partir del año base 1987 al 2015 y (3) modelar la tasa de cambio de la cobertura vegetal y parámetros meteorológicos. El método de la investigación fue modelamiento de variables, la metodología para el trabajo de gabinete se utilizó el software ENVI 5.3, ArcGis 10.6 y el mapa base y tomando como información básica sensores Landsat y senamhi. Los resultados del objetivo 1 pastos naturales se obtuvieron una pérdida de 497.10 hectáreas en los últimos 28 años y en el mismo periodo se observó bofedales tiene perdida de 24.10 hectáreas, en cambio pajonales - arbustos incrementó 1500.10 hectáreas y en suelo desnudo tiene un aumento de 16.59 hectáreas en los últimos 28 años: Objetivo 2. La cobertura rocosa presentó cambios significativos en la cuenca del río Zapatilla Ilave – Juli de la región de Puno. Donde del año 1987 a 2015 se observó el aumento de 1.38 hectáreas respecto a su superficie inicial: Objetivo 3. Los parámetros meteorológicos (temperatura, evaporación precipitación, humedad relativa, y velocidad del viento), se concluyó la temperatura promedio de periodo 1 a periodo 4 incrementó de 0.80 °C; evaporación de ese mismo periodo aumentó de 0.30 mm/añual promedio; en cambio la precipitación de periodo 1 a periodo 4 se observó un descenso de -55.50 mm/ promedio anual; parámetro humedad relativa se encontró alrededor de 62.4 % y la velocidad del viento ha incrementado 0.20 m/seg.

Palabras Clave: Imágenes satelitales, Análisis multitemporal, Tasa de cambio.

ABSTRACT

The study was conducted in the river Zapatilla, located at 3850 – 4459 m.s.n.m. between the districts of Ilave – Juli of the department of Puno, the evaluation area was 31374.34 has. It was set as the objectives of the research (1) to analyze the multitemporality of plant cover in the Zapatilla basin from the base year 1987 to 2015, (2) to analyze the multitemporality of the rocky coverage in the Sneaker basin from the base year 1987 to 2015 and (3) model the rate of change of plant coverage and weather parameters. The research method was variable modeling, the methodology for cabinet work was used the software ENVI 5.3, ArcGis 10.6 and the basemap and taking as basic information Landsat and senamhi sensors. The results of the target 1 natural pastures were obtained a loss of 497.10 hectares in the last 28 years and in the same period was observed bofedales had loss of 24.10 hectares, instead pajonales - shrubs increased 1500.10 hectares and in nude soil has an increase of 16.59 hectares over the past 28 years: Target 2. The rocky cover presented significant changes in the zapatilla Ilave – Juli river basin of the Puno region. Where from 1987 to 2015 the increase of 1.38 hectares was observed compared to its initial area: Target 3. Weather parameters (temperature, precipitation evaporation, relative humidity, and wind speed) were completed the average temperature from period 1 to period 4 increased from 0.80 oC; evaporation of the same period increased from 0.30 mm/annual average; in contrast, precipitation from period 1 to period 4 was observed a decrease of -55.50 mm/annual average; relative humidity parameter was found around 62.4% and wind speed has increased by 0.20 m/sec.

Keywords: Satellite images, Multitemporal analysis, Exchange rate.

I. INTRODUCCIÓN

La relación entre el ser humano y el agua, el suelo y cobertura vegetal es tan antigua como nuestra historia como especie, desde los inicios de la agricultura el hombre ha desarrollado maneras de manipular el suelo, agua y las laderas en su beneficio (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007). Debido a que el agua, suelo es un factor indispensable para el desarrollo de esta actividad económica, la ecología de las cuencas tiene una gran importancia para la población. La seguridad alimentaria depende en buena parte del agua, suelo y los sedimentos que con este llegan, una mala gestión de las cuencas genera numerosos problemas. La deforestación, erosión, pérdida de cobertura vegetal malas prácticas agrícolas en las laderas y el exceso de pastoreo pueden incrementar los escurrimientos (Cervantes, 2012).

Los cambios en la cobertura del suelo repercuten a escala regional y nacional, en la cual se ve afectada la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, modificando los ciclos hidrológicos y regímenes climáticos, así como la degradación de los suelos. En general, los cambios de uso del suelo han sido provocados por diversos factores dentro de los que se puede resaltar la implementación de políticas gubernamentales que incluyen incentivos fiscales, discontinuidad de impuestos, subsidios y concesiones de tierra y madera, la construcción de infraestructura de comunicaciones y transportes, así como programas oficiales de apoyo para el desmonte en favor de la ganadería y la agricultura (Cervantes, 2012).

En tal sentido, el presente estudio buscó analizar y modelar la multitemporalidad de cambio de cobertura vegetal entre los años 1987, 1994, 2001, 2008 y 2015 de la cuenca Zapatilla que se encuentra entre los distritos de Ilave y Juli a través de imágenes

satelitales landsat de una resolución 30 m., se utilizó la clasificación y con el clasificador MLC y con la ayuda de NDVI, NDWI para diferenciarlas variables de cobertura vegetal (bofedales, pastos naturales y pajonales-arbustos), suelo desnudo y superficie rocoso, en donde se procedió a clasificar las imágenes del año 1 (1987) año 2 (1994) año 3 (2001) año 4 (2008) y año 5 (2015), esta metodología permitió que el trabajo se realice de forma simultánea garantizando una clasificación directa de los cambios de cobertura del suelo de acuerdo a las variables previamente establecidas.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La conservación de los recursos naturales es fundamental sostener la viabilidad de nuestro planeta, con la finalidad de mantener la vitalidad de los ecosistemas naturales, y de esta manera garantizar sus funciones ambientales. Cada vez es mayor la presión de la población sobre los recursos naturales, que no toman conciencia de que dichos recursos constituyen la base para la supervivencia (Morales y Tullume 2015, p. 8).

La erosión de suelos agrícolas en la cuenca Zapatilla es un problema muy serio, de amplias repercusiones económicas, sociales y ecológicas, que afecta en diferentes grados de severidad en la agricultura; las causas son los factores naturales, que indirectamente generan riesgos asociados que a menudo se presentan, como las inundaciones producidas por las precipitaciones pluviales y la degradación del suelo ocasionado por la intervención del hombre, por practicar una actividad social desordenada y de abandono, que cada día se hace más crítica, a esto se suma el crecimiento demográfico poblacional, que cada vez más se incrementa.

El problema se manifiesta en el uso e implicancias de la cobertura vegetal con las actividades y prácticas socio-económicas de la población, especialmente el

sobrepastoreo, los efectos del cambio climático y el inadecuado manejo del suelo, que la van conduciendo hacia la pérdida vegetal, y por ende está poniendo en riesgo los recursos naturales, así como la supervivencia de los ecosistemas. Por otro lado, también la ausencia de planificación del gobierno provincial, también está incidiendo en la disminución de la vegetación. Así mismo se sabe que a lo largo del tiempo, la cubierta vegetal de la provincia ha sufrido períodos climáticos favorables o desfavorables, que han influido en su ascensión y retracción, mientras que el crecimiento de las actividades antrópicas de los últimos años también ha colaborado en la disminución de la cobertura vegetal, por el uso en actividades económicas como el pastoreo, deforestación para terrenos para uso agrícola, y otras actividades. Estas actividades actualmente se están propagando con intensidad, generando la conversión, destrucción y degradación de ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2015).

La cuenca zapatilla tiene una superficie de 31374.34 hectáreas y un perímetro de 88212.04 metros., las principales actividades que se realizan son la agricultura y la ganadería en las partes altas, constituyendo esto el único medio de sustento económico de la zona en estudio. La sostenibilidad de la utilización de las tierras agrícolas en la cuenca en estudio se ve amenazada por la degradación de los suelos agrícolas a causa de diferentes factores naturales, creando grandes dificultades y deficiencia en la producción de cultivos como papa, quinua, cañihua, oca entre otros productos demandados por la población local, De esto se desprende la necesidad de identificar las áreas que presentan riesgo por erosión del suelo.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ESTUDIOS EN PERÚ

Estudio realizado en Puerto Maldonado titulado Análisis de cambio de cobertura con imágenes de satélite del tramo 3 de la carretera interoceánica (IIRSA -SUR) entre los años 2005 – 2011. Donde se analizó el área total de 1099733.13 ha, área en la cual se realizó la clasificación supervisada con árboles de decisión de dos periodos 2005-2011. El resultado de cambio de uso de cobertura fue de 6502.50 ha, posterior a ello se analizaron visualmente las zonas de cambio y se obtuvo de 217.87 ha cambiaron de bosque a bosque secundario, representando el 3,4% del total del cambio, concluyendo que el 96,6% del cambio representa el total de deforestación en la zona de estudio. (López, 2016).

Estudio realizado en la región de Piura, Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura - Perú. Resultado el 38% del área del bosque seco permaneció sin variación, mientras que 13% mejoró su condición y el otro 23% tiende a la reducción de su cobertura. El procesamiento digital de imágenes de satélite permite agilizar el proceso y ser más precisos que la interpretación visual utilizada en el estudio de línea de base del INRENA. (Quiroz,2011).

1.2.2. ESTUDIOS EN PUNO.

En el distrito de Paratía se realizó el proyecto de investigación “Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, caso distrito de Paratía - Puno, periodo (1988 - 2016)”. El resultado de cobertura vegetal disminuye de 39537.41 a 35752.9 ha, suelo desnudo tendencias a incrementarse 378.24 a 539.59 ha, superficie de rocas se tiene un incremento de 34624.03 a 38322.78 ha, constante incremento de las concesiones mineras en el distrito que en la actualidad suman (34486.0723 ha.) (Cabana, 2017).

1.2.3. ESTUDIOS A NIVEL DE LOS CIP's

Se realizó el proyecto de investigación “Modelación de las potencialidades de tierras, agua, cobertura vegetal y propuesta de manejo agroforestal en Sistemas de Información Geográfica y teledetección en CIP Ituata presentados por los bachilleres Sandro, Sardón Nina y Salvador, Mamani Cosi en el año 2012. Concluyendo que según su clasificación de capacidad de uso mayor se han identificados las siguientes categorías: 5.53 has (3.59 %), tierras aptas para cultivos permanentes, pertenecientes a la subclase: C2s, 115.76 has (75.32 %), tierras aptas para producción forestal, perteneciente a las Subclases: F2e, F3e, F3se y F3sec., y 32.41 has (21.09 %). tierras de protección. Por otro lado, Según la demanda de agua, en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo no requiere de riego suplementario por sus excesivas precipitaciones pluviales (Sardón y Mamani, 2012)

1.3.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar y modelar la multitemporalidad de cambio de cobertura vegetal y rocoso en la cuenca Zapatilla Ilave – Juli.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analizar la multitemporalidad de la cobertura vegetal en la cuenca Zapatilla a partir del año base 1987 al 2015.
- Analizar la multitemporalidad de la cobertura rocosa en la cuenca Zapatilla a partir del año base 1987 al 2015.
- Modelar la tasa de cambio de la cobertura vegetal y parámetros meteorológicos

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. CAMBIOS EN LA COBERTURA

Según Bustamante (1995), el tema principal del conflicto social y socio ambiental es el aumento de la deforestación, en este caso de un área con aptitud forestal, donde puede extraerse además de madera otros productos que en ninguna otra parte del país pueden encontrar, como es el caso de la castaña. Este conflicto ocurre cuando el concesionario ve que dentro del área de su concesión una familia de agricultores ha talado parte del bosque para hacer su chacra y el problema de la deforestación es que reduce la productividad de la castaña.

Bocco (2001), señalan que las principales causas de deforestación se atribuyen a la construcción de carreteras ya que la deforestación por agricultura migratoria y ganadería está en relación directa con la accesibilidad a los bosques.

2.1.2. LOS CAMBIOS DE USOS Y COBERTURA DEL SUELO

Terradas (2012), indica que Las cobertura terrestres o superficiales de la Tierra son el centro de un gran número de procesos biofísicos clave en el funcionamiento del sistema medioambiental global. Sus cambios de usos impactan directamente sobre la diversidad biológica mundial y contribuyen al cambio climático local y regional, son la principal fuente de degradación del suelo y afectan a la capacidad de los sistemas naturales de mantener las necesidades humanas (Vitousek et al., 1997). Los cambios en la cobertura del suelo también incluyen los cambios en la productividad primaria actual y potencial, calidad del suelo, y tasas de escorrentía y sedimentación (Steffen et al.,

1992). Ante ciertos cambios significativos, hoy se sabe que las comunidades se reorganizan y su composición se modifica, a veces de modo sustancial (Terradas, 2012).

El cambio, visto como proceso de variación en las condiciones ambientales y en la composición, estructura y funcionamiento de las comunidades, no ha sido la excepción, sino la regla en la historia de la naturaleza (Fig. 1). La paleontología aporta información sobre la historia antigua del planeta, indicando que la vida ha cambiado mucho, en su constante evolución. Las eras geológicas se describen a partir de los cambios florísticos y faunísticos en los registros fósiles.

La Tierra tiene una historia que podemos considerar agitada, y la vida ha evolucionado constantemente. Se podría argumentar que todo esto ha sucedido a lo largo de muchos millones de años, y que no tiene demasiada importancia a la hora de pensar en las comunidades concretas. Aunque, se traten de estudiar algunos aspectos de los tiempos relativamente recientes, el clima ha estado, por lo que sabemos, en permanente evolución, y los paisajes también (Terradas, 2012).

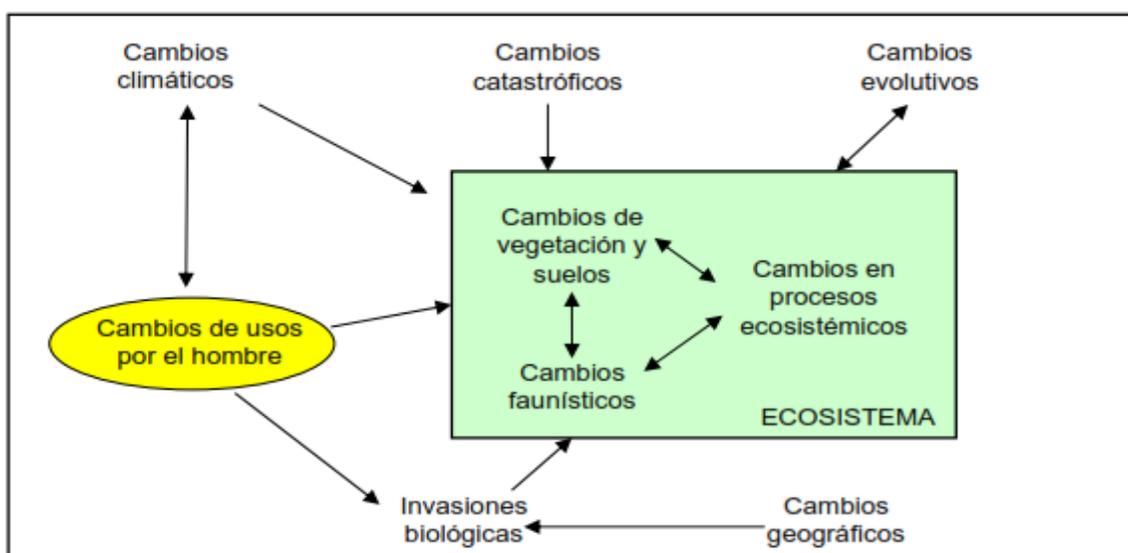


Figura 1. Procesos de cambio que han de ser considerados al estudiar el cambio global actual o futuro.

2.1.3. MARCO CONCEPTUAL

2.1.3.1. Tierra

La tierra es un área de la superficie del globo terrestre que se puede delinear, abarcando todos los atributos de la biosfera inmediatamente por encima y por debajo de su superficie, incluyendo el clima en la zona cercana a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica incluyendo lagos poco profundos, ríos, humedales y pantanos, las capas sedimentarias cercanas a la superficie y las reservas de aguas subterráneas asociadas a las mismas, las poblaciones de la flora y la fauna, las formas de colonización de la población humana y los resultados físicos de la actividad humana anterior y actual, terrazas, estructuras para reserva o drenaje de aguas, caminos, construcciones, etc. Por lo tanto, Tierra, de acuerdo a la definición de la FAO, incluye el clima, mientras que suelo incluye propiedades de la superficie de la tierra excluyendo los datos de clima (FAO 1995).

2.1.3.2. Usos de la tierra

Con frecuencia se dice que el uso de la tierra ocurre solo cuando esta se manipula físicamente el área sin intervención física tiene así su cobertura natural y el área intervenida, su cobertura artificial. Entre ambas áreas se visualiza la frontera agrícola. Este enfoque "desde la ciudad" significa un entendimiento parcial y estático del uso de la tierra. Se ha visto que los problemas más graves con respecto al uso de la tierra (que debe ser sostenible) ocurre alrededor de la frontera agrícola en las áreas marginales con pendientes fuertes, suelos no profundos, lluvias muy erosivas, agricultura marginal con poca atención, apoyo técnico - financiero por parte del estado y otros (Martinez, 2012).

2.1.3.3. Cobertura vegetal

Comprende la vegetación que ocupa un espacio determinado dentro de un ecosistema, cumple funciones de gran importancia como la captación y almacenamiento de energía, refugio de la fauna, agente antierosivo del suelo, medio regulador del clima local, atenuador y reductor de la contaminación atmosférica y del ruido, fuente de materia prima y bienestar para el hombre. (Municipio de Miranda 2000).

2.1.3.4. Cobertura y uso del suelo

Los cambios de cobertura y uso del suelo se han reconocido en muchos países como una de las principales causas de deterioro ambiental, por ello están ubicados en el centro de la investigación ambiental y representan un punto importante en diferentes ámbitos como medio para entender los mecanismos de este proceso de deterioro y guía para la toma razonable de decisiones sobre el uso del territorio (Quiroz, 2011).

2.1.3.5. CAUSAS DIRECTAS DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL

2.1.3.5.1. Agricultura y ganadería intensiva según la FAO (2006)

En el decenio de 1990, la superficie forestal mundial se redujo unos 94.000 kilómetros al año, superficie equivalente a la del Portugal. La mayor parte de las tierras desbrozadas y quemadas se destinaron al cultivo y al pastoreo. En América Latina, en particular, casi todas las tierras deforestadas se convirtieron en pastizales para criar ganado en sistemas extensivos de pastoreo.

Comúnmente, el proceso de deforestación comienza con la construcción de carreteras que atraviesan los bosques y los abren a la tala y la minería. Una vez desbrozado el bosque a lo largo de la carretera, llegan los agricultores comerciales o de subsistencia y comienzan a producir cultivos. Pero el suelo de los bosques tiene muy pocos nutrientes

y es demasiado frágil para sustentar los cultivos durante mucho tiempo. Al cabo de dos o tres años, los suelos se han agotado, la producción disminuye y los agricultores dejan crecer la hierba y se van a otra parte.

2.1.3.5.2. Deforestación

La deforestación obedece a menudo al deseo de adquirir la tierra como garantía, comparable a una reserva de riquezas o a una cobertura contra la inflación. Para introducir cambios en la dinámica de la deforestación de la titulación de las tierras, será preciso diseñar programas de políticas orientados a la reducción de los incentivos para la remoción de la cubierta forestal (FAO, 2000).

El hombre en su búsqueda por satisfacer sus necesidades personales o comunitarias utiliza la madera para fabricar muchos productos. La madera también es usada como combustible o leña para cocinar y calentar. Por otro lado, las actividades económicas en el campo requieren de áreas para el ganado o para cultivar diferentes productos. Esto ha generado una gran presión sobre los bosques (IIRSA, 2006).

Este fenómeno de deforestación se ve agravado por la lluvia ácida, la desertificación, y los incendios forestales. En el caso de los pequeños agricultores, considerados como pobres, al asentarse cerca de los bosques deben talar una parcela de tierra y utilizarla para la plantación de cultivos de subsistencia o comerciales. Sin embargo, ese tipo de prácticas degrada rápidamente el suelo, y el agricultor se ve forzado a talar otra porción de bosque para transformarlo en tierras de cultivos (IIRSA, 2006).

2.1.3.5.3. Minería

Productos químicos peligrosos utilizados en las distintas fases de procesamiento de los metales, como cianuro, ácidos concentrados y compuestos alcalinos terminan en el sistema de drenaje. La alteración y contaminación del ciclo hidrológico tiene efectos

muy graves que afectan a los ecosistemas cercanos, de manera especialmente agravada a los bosques, y a las personas (Lillo, 2006).

2.1.4. PLATAFORMA LANDSAT

Fernández (2001), mencionan que con el lanzamiento del satélite Landsat 1 en 1972 se abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces. Este satélite dotado de sensores empleados en teledetección fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. En base a este objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin.

Tabla 1

la serie de satélites Landsat, desde el año 1972 dan una de las mayores series históricas de la evolución del planeta.

	Landsat 1-3	Landsat 4-6	Landsat 7
Altitud	907 – 915 km	705 km	705 km
Inclinación	99.2°	98.2°	98.2°
Orbita	Polar, Solar sincrónico	Polar, Solar sincrónico	Polar, Solar sincrónico
Paso por el Ecuador	9h30 a.m	9h30 a.m	10h a.m
Periodo de revolución	103 m	99 m	99 m

Fernández. (2001)

2.1.5. RESOLUCIÓN ESPACIAL

Pérez (2012), menciona que la Resolución Espacial es la mínima distancia entre dos objetos que puede registrar un sensor en el terreno y posteriormente representarlo en la imagen. En un sistema fotográfico suele medirse la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la misma fotografía.

Chuvieco (2002), menciona que este concepto de resolución espacial designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen.

Chuvieco (2002), señala que lo más normal es que un píxel tenga una naturaleza heterogénea, pudiendo englobar en el caso de una zona urbana, a una manzana de casas, un jardín o una autopista. Las diferencias locales se diluirán en la respuesta promedio, y este efecto crea una ilusión sobre la existencia de zonas de transición y zonas de contacto gradual entre distintas unidades de paisaje. Dicho efecto no se manifiesta cuando existe un contraste brusco entre dos usos del suelo contiguos; por ejemplo, un movimiento de tierras reciente en el interior de un bosque cerrado. La existencia de un contraste brusco puede permitir observar en una imagen objetos cuyas dimensiones sean inferiores a las de un píxel.

2.1.6. RESOLUCIÓN ESPECTRAL

Labrador y Évora (2012), indica que es el ancho de la banda de un sensor o un número de bandas expresado en longitud de onda. Entre los sensores espaciales la menor resolución espectral corresponde al sistema de detección y RADAR a diferencia de los sensores de óptica electrónica que ofrecen un amplio rango de bandas como es el caso de TM o mapeador temático del sistema Landsat.

Labrador y Arbelo (2012), menciona que los índices de vegetación se construyen como funciones de las reflectividades a distintas longitudes de onda, de manera que dada la diferente respuesta espectral de las superficies naturales, permiten dar información sobre la vegetación, atenuando la contribución del suelo, la iluminación, la atmósfera, así como la influencia de factores meteorológicos como las nubes y el viento, en los valores medidos por el satélite.

Eatsan y Chuvieco (2002), mencionan que los índices de vegetación se utilizan para discriminar masas vegetales de alta actividad fotosintética de otras coberturas en

fases fenológicas iniciales y se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación. El comportamiento espectral característico de la vegetación sana muestra un alto contraste entre las bandas visibles, especialmente la banda roja (0,6-0,7 mm) y la del infrarrojo cercano (0.7 - 1.1 mm).

2.1.7. RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA

Chuvieco (2002), dice que se refiere a la capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. En el caso de los sistemas óptico-electrónicos la imagen se presenta en formato digital, gracias a una conversión analógico-digital realizada a bordo del satélite. El número máximo de valores que incluye ese rango es decir el número máximo de niveles digitales de la imagen suele identificarse con la resolución radiométrica del sensor.

Fernández (2001), señala que la resolución radiométrica o sensibilidad radiométrica se refiere al número de niveles digitales empleados para expresar los datos recogidos por el sensor. En general, a mayor número de niveles, mayor es el detalle en la información. Los satélites con mayor resolución radiométrica son preferibles frente a los de menor, ya que permitirán una mejor interpretación de la imagen. Sin embargo, nuevamente es necesario tener en cuenta la razón señal-ruido a la hora de aumentar la resolución de un sistema.

2.1.8. RESOLUCIÓN TEMPORAL

Martínez (2016), dice que es la frecuencia en el tiempo con la cual el sensor obtiene imágenes de una misma área. La resolución temporal es un elemento importante cuando se estudian cambios en la superficie de la tierra o del océano. Mientras en la superficie de la tierra los cambios se producen en días o en años, en la atmosfera de la

superficie del mar se producen en horas. También interesa la hora del día pues, al medio día se eliminan las sombras que constituyen un elemento perturbador para el estudio de vegetación, pero como acentúan el relieve puede favorecer los estudios geológicos.

Martino (2007), menciona que el objetivo principal de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas, con distintos estados fenológicos en la vegetación, de cara a la obtención de un incremento en la precisión de las clasificaciones. La integración de imágenes de satélite relativas a una misma área, pero de fechas sucesivas, se realiza a través de un procedimiento de registro multitemporal de las imágenes. Este proceso consiste, en líneas generales, en obtener la posición de una imagen con respecto a otra que proporciona la máxima correlación en el espacio de los datos radiométricos. El resultado final que se obtiene es una sola imagen que posee tantos canales espectrales como bandas suman las imágenes procesadas.

2.1.9. PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATÉLITE

2.1.9.1. Errores y Correcciones

Álzate (2001), mencionan que los errores radiométricos son aquellos que modifican el valor real de la energía captada por el sensor del satélite. Entre las causas de los errores radiométricos se encuentran aquellas debidas a la presencia de la atmosfera, a la orografía del terreno, a la propia geometría en la captura de información, a un mal funcionamiento del sensor y a fallos en la transmisión o recepción de las imágenes. Por otro lado, los errores geométricos modifican la geometría de la imagen. Siendo estos últimos debidos a la curvatura de la tierra, a su propio movimiento giratorio, a variaciones en la posición del satélite y a distorsiones provocadas por el sensor.

Chuvieco (2002), menciona que las correcciones geométricas incluyen la corrección de distorsiones debidas a la diferencia entre el sensor y la geometría de la tierra, y la conversión de los datos a coordenadas de la superficie de la Tierra (p. ej. latitud y longitud). Todas las imágenes de percepción remota están sujetas a distorsiones geométricas. Estas se deben a distintas causas, tanto instrumentales como naturales, como: la perspectiva del sensor, el movimiento del sistema de barrido, el movimiento del satélite, su altura y velocidad, el relieve del terreno, y la curvatura y rotación de la Tierra. Las correcciones geométricas intentan corregir estas distorsiones para que la representación de la imagen pueda ser más real. Muchas de estas variaciones son sistemáticas, es decir, predecibles si conocemos ciertos datos del sensor y la geometría de la Tierra. Pero otras variaciones se deben a errores no sistemáticos o al azar, por lo que debemos realizar el registro geométrico de la imagen a un sistema de coordenadas conocido.

Chuvieco (2002), señala que las correcciones que se realizan sobre las imágenes tienden a eliminar los ruidos causados a la señal que llega al satélite luego de haber atravesado la atmósfera, el efecto de la distorsión de la señal produce errores en la localización como en los Niveles Digitales (ND) de los píxeles. Pueden presentar alteraciones radiométricas y geométricas de forma que no coincida con el tono, posición y tamaño de los objetos. Algunas técnicas, para corregir estos efectos, son incorporadas de modo rutinario por las estaciones receptoras de las imágenes, pero en otros casos se requieren correcciones más detalladas como en los estudios multitemporales o cuando se requiere incorporar información auxiliar.

2.1.9.2. Realce de imágenes

Según, Alzate y Esteban (2013), el realce de imagen comprende funciones cuyo propósito es mejorar la visualización de la imagen para ayudar en la interpretación visual y el análisis. A menudo, los métodos estándar de fotointerpretación nos ayudan a clasificar nuestra imagen, sin embargo, existe un gran número de manipulaciones matemáticas que pueden ser aplicadas a la imagen para auxiliar en su interpretación visual. En la imagen original, los valores digitales para cada banda se encuentran concentrados en una pequeña porción del rango de valores digitales. El estiramiento de contraste o estiramiento de histograma cambia los valores originales de los píxeles para distribuirlos mejor en todo el rango, aumentando así el contraste que percibimos. Un concepto clave es el histograma de la imagen, que no es más que la representación de los valores de radiancia que componen a una imagen en el eje x, junto a su frecuencia en el eje y. Se puede realizar un estiramiento lineal o un estiramiento de histograma ecualizado. Los filtros espaciales también se aplican para resaltar o suprimir características específicas en la imagen. Estos se basan en su frecuencia espacial, o sea, su frecuencia en la imagen. Los filtros espaciales realizan cálculos matemáticos en cada píxel usando los valores de píxeles vecinos.

2.1.9.3. Clasificación digital de imágenes de satélite

Chuvieco (2002), señala que el método supervisado pretende definir clases informacionales, mientras que el método no supervisado tiende a identificar las clases espectrales presentes en la imagen. También se puede deducir que ninguno de los métodos proporciona una solución inmediata a todos los problemas que entraña una clasificación digital.

Parimbelli (2005), refiriéndose a la clasificación supervisada, afirma que el analista, basado en la información previa sobre las características espectrales de estas clases, entrena al equipo para generar límites en el espacio de características dentro de las cuales cada píxel debe caer. En contraste con esto, en la clasificación no supervisada al equipo se le pide agrupar cada píxel en base a las clases espectrales presentes en los valores de la imagen de gris. Algunos criterios de separabilidad determinados estadísticamente son utilizados para tales agrupaciones. Posteriormente, el analista de la imagen determina la clase de cobertura del suelo asociado a cada grupo espectral desde el conocimiento previo.

Farías y Dimundo (2003), señalan que los píxeles son asignados a distintos cluster sin que se sepa nada del área examinada, ni de la existencia de posibles patrones homogéneos en ella. El objetivo es relacionar las clases obtenidas con objetos reales cuya existencia, características y diferencias se pueden comprobar en el campo.

Mostacedo (2000), mencionados por Eatsman (2003) afirman que se puede establecer la captura de información e inferencias en áreas tan extensas y de condiciones tan adversas como son los bosques naturales, eventualmente se podría realizar por medio de las técnicas de teledetección, teniendo en cuenta que, como regla, todos los análisis realizados bajo esta técnica requieren información de campo adicional ó conocimiento del área para la interpretación de las imágenes. También manifiestan que se considera que las técnicas de teledetección son las únicas herramientas prácticas para estimar la deforestación a nivel pantropical, sin las cuales el reto de los mecanismos REDD sería aún mayor. El uso de esta tecnología es requerido debido a las limitaciones de acceso de muchas áreas en el trópico y lo poco práctico que son los muestreos basados en fotografías aéreas. En el monitoreo de las áreas degradadas, la dificultad gira en torno a

la determinación de la alteración del área ocurrida dentro de la matriz boscosa. La complejidad de la determinación radica en la heterogénea composición del bosque degradado, ya que es una mezcla de diferentes tipos de coberturas (vegetación arbustiva, árboles muertos, suelos, sombra) y la firma espectral característica de los procesos de degradación, cambia rápidamente.

2.1.9.4. Satélite Landsat.

Con el lanzamiento del satélite LANDSAT-1 el 07 de marzo de 1972 se abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces. Este satélite, dotado de sensores empleados en teledetección, fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. En base a este objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin. Este sensor es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestal, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización medioambiental. Sobre todo, está ligado a estudios territoriales en los que el parámetro fundamental es el medio ambiente (Fernández y Coppel 2001).

2.1.9.5. Imagen satelital según Martínez y Díaz (2005)

Una imagen satelital es una matriz digital de puntos (igual a una fotografía digital) capturada por un sensor montado a bordo de una satélite que órbita alrededor de la tierra. A medida que el satélite avanza en su órbita, "barre" la superficie con un conjunto de detectores que registran la energía reflejada. Las imágenes de satélite, se encuentran en formato ráster, el cual consiste en una matriz de miles de píxeles, en donde cada píxel tiene un valor digital o de reflectancia; ejemplificando, si la resolución de la imagen es de 30 metros, cada píxel muestra un área en la superficie terrestre de 30x30 metros

(900m²), con esto, la firma espectral o reflectancia de todos los objetos existentes en una superficie de 900 m² será promediada para darle su valor digital al pixel.

2.1.9.6. Bandas espectrales adecuadas.

A partir de datos multiespectrales se generan composiciones a color RGB (Red, Green, Blue) donde las bandas individuales o combinaciones específicas de ellas son adecuadas para observar ciertos objetos (firmas espectrales). Cuando se trata de combinar, la selección de bandas más adecuada depende del tipo de sensor usado y la aplicación del proyecto. Entre las combinaciones más comunes tenemos la 321 (color verdadero, RGB), 432 (falso color infrarrojo), la 543 (falso color, NRG), la 453 (falso color, NSR) y la 753; entre otras (Chuvienco, 2002).

No obstante, hay que tener en cuenta que las bandas rara vez se utilizan en solitario, normalmente se usan en combinaciones de tres bandas (SRGIS 2010). SRGIS (2010) clasifica las distintas longitudes de ondas:

Azul visible: Cartografía de aguas someras. Diferenciación de suelo y vegetación.

Verde visible: Diferenciación de la vegetación por su salud.

Rojo visible: Diferenciación de la vegetación por especies.

Infrarrojo cercano: Cartografía de la vegetación Cartografía del vigor/salud de la vegetación. Diferenciación de la vegetación por especies.

Infrarrojo medio: Diferenciación de los tipos de rocas por composición. Detección de humedad en la vegetación y suelo Cartografía de la estructura geológica Trazado de límites tierra/agua.

2.1.9.7. Composición de la imagen satelital Landsat utilizando combinaciones de bandas según MINAM-DGOT (2015).

2.1.9.7.1. Color real - Landsat 5/Landsat 7 TM (321); Landsat 8 (432).

Resulta también ideal para estudios de aguas poco profundas, batimetría y carga de sedimentos. Dado que es la combinación que posee la mayor penetración en agua, lo que también determina su falta de discriminación entre suelo y capas de agua poco profundas.

2.1.9.7.2. Combinación falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (742); Landsat 8 (753)

Útil para delinear unidades litológicas. Es también utilizada para identificar morfología y estructuras morfológicas del terreno. La vegetación saludable (verde brillante) y puede saturar en épocas de crecimiento intenso, pastizales (verdes), suelos áridos (rosado).

Vegetación seca (naranja) y el agua (azul). Arenas, suelos y minerales son destacados en multitud de colores, áreas quemadas (rojo). Áreas urbanas (rango de tonos de magenta). Pastos son verde claro. Tonos de Verde oliva a verde intenso muestran áreas arboladas.

2.1.9.7.3. Falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (543); Landsat 8 (654)

Esta combinación es útil para estudios de vegetación. Como la TM451, esta combinación da al usuario una gran cantidad de información y contraste de color.

Vegetación saludable aparece verde brillante y suelos son lila. Mientras TM 742 incluye la banda 7 con información litológica, esta contiene la banda 5 con información agrícola.

2.1.9.7.4. Falso color Landsat 5/Landsat 7 TM (453); Landsat 8 (564)

Utilizada para estudio de vegetación y uso de suelo. El uso la banda roja y las del infrarrojo medio y cercano, ofrece especial definición del borde tierra-agua y destaca detalles sutiles no fácilmente distinguibles en las bandas visibles solas. Tipos vegetación

y sus condiciones se distinguen por su color, variando entre cafés, verdes y naranjos como también por su tonalidad. Esta combinación revela también diferencias de humedad, por lo que es útil para análisis de condiciones del suelo y su vegetación. Suelos húmedos aparecen más oscuros debido a la capacidad de absorción del agua en el infrarrojo.

Tabla 2

Colores de la clasificación jerárquica de las coberturas y usos del suelo.

Coberturas y usos (nivel 1)		Coberturas y usos (nivel 2)		R	G	B
Agua oceánica		Ma		190	232	255
		Cursos de ríos		115	223	255
Agua continental		Balsas de riego		0	197	255
		Embalses		0	169	230
		Erial de borde urbano		255	190	232
Espacios abiertos		Playas y dunas		255	235	190
		Residencial baja densidad		255	190	190
Coberturas artificiales		Residencial media densidad		255	127	127
		Residencial alta densidad		255	0	0
		Áreas de recreo		255	115	223
		Industrial y comercial		255	0	197
		Vertederos, canteras, etc.		168	0	132
		Equipamientos		115	0	76
		Autopista		255	255	0
		Carretera general		255	255	115
		Carretera comarcal		230	230	0
		Accesos		255	255	190
		Ferrocarril		168	168	0
Cultivos de secano		Cultivos de secano		255	211	127
Cultivos de regadío		Cultivos de regadío		255	170	0
		Invernaderos y plásticos		168	112	0
Bosque		Pinar		38	115	0
		Pinar disperso con matorral		56	168	0
		Reploblación de pinar		56	168	0
		C.A. Pinar		38	115	0
		C.A. Pinar disperso con matorral		56	168	0
Herbáceas y arbustivo		Matorral disperso		163	255	115
		Matorral denso		85	255	0
		Vegetación de rambla		152	230	0
		C.A. Matorral disperso		163	255	115
		C.A. Matorral denso		85	255	0

Fuente: Dr. J. Peña

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

- **Ubicación política**

El área de estudio del presente proyecto de investigación se desarrolló en la cuenca del Rio Zapatilla que se encuentra entre las provincias el Collao y Chucuito de Juli y distritos de Ilave - Juli de departamento de Puno.

- País : Perú
- Región : Puno
- Provincias : Chucuito Juli y El Collao
- Distritos : Juli e Ilave
- Localidad : Cuenca Zapatilla

- **Ubicación Geográfica**

Para la ubicación geográfica se ha tomado datos con un GPS navegador cuyas coordenadas es:

- UTM 19s : WGS84 DATUM
- Coordenada X : 433403 m W
- Coordenada Y : 8200421 m S
- Altitud : 3850 a 4440 m.s.n.m.

La cuenca Zapatilla tiene una superficie de 31374.34 Hectáreas y un perímetro de 88212.04 metros

- **La cuenca Zapatilla colinda con las siguientes cuencas:**

Norte – Cuenca del rio Ilave

Este – Sub cuenca del rio salado

Sur – Cuenca del Rios Callacame y Cuenca del rios Ilave

Oeste – Cuenca del Rio Ilave.

3.2. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

3.2.1. Recursos materiales

De campo

- **Materiales**

Lapiceros, cuaderno de campo, marcadores (pintura y brocha).

- **Herramientas**

Botas de jebe, poncho impermeable.

- **Instrumentos y Equipos**

Navegador GPS, Cámara fotográfica digital y brújula.

- **Logístico**

Motocicleta y Camioneta.

- **Materiales**

Papel bond A4 DE 80 g, lapiceros y lápices.

- **Imágenes**

Imagen LANDSAT 5, 7 y 8 con resolución de 30 m.

- **Software**

Microsoft Windows 10 pro, Microsoft Office 2016, ENVI 5.3, ERDAS 2014 y ArcGIS 10.6

3.2.2. Recopilación de información

Se recopiló información bibliográfica y cartográfica existente de instituciones como el Instituto Geológico Metalúrgico y Minero (INGEMMET), Instituto Nacional de estadística e Informática (INEI), Ministerio del ambiente (MINAM).

3.2.3. Información digital básica

Se utilizaron imágenes de satélite Landsat 5 TM de los años 1987, 1994, 2001, 2008 y en el año 2015 Imagen Satelital Landsat 8 TM.

Tabla 3

Información general del satélite LANDSAT-5, 7

BANDAS	LONGITUD DE ONDA (μm)	GSD (m)
1 - COASTAL AEROSOL	300	30
2 - AZUL	450 - 510	30
3 - VERDE	530 - 590	30
4 - ROJO	640 - 670	30
5- INFRAROJOS	850 - 880	30
6 - SWIR 1	1570 - 1650	30
7 - SWIR 2	2110 - 2290	30
8- PANCRÓMÁTICA	500 - 680	15
9- CIRRUS	1360 - 1380	30
10- INFRAROJOS TÉRMICOS 1	10600 - 11190	100 (*30)
11- INFRAROJOS TÉRMICOS 2	11500 - 12510	100 (*30)

Fuente: Parimbelli H. (2005)

Tabla 4

Información general del satélite LANDSAT-8

BANDAS	LONGITUD DE ONDA (μm)	GSD (m)
1 - COASTAL AEROSOL	300	30
2 - AZUL	450 - 510	30
3 - VERDE	530 - 590	30
4 - ROJO	640 - 670	30
5- INFRAROJOS	850 - 880	30
6 - SWIR 1	1570 - 1650	30
7 - SWIR 2	2110 - 2290	30
8- PANCRÓMÁTICA	500 - 680	15
9- CIRRUS	1360 - 1380	30
10- INFRAROJOS TÉRMICOS 1	10600 - 11190	100 (*30)
11- INFRAROJOS TÉRMICOS 2	11500 - 12510	100 (*30)

Fuente: Fernández y Coppel (2001).

3.2.4. Información de los datos históricos de SENAMHI

Para la evaluación la zona en estudio, se ha utilizado datos históricos de los 28 años, registrados en SENAMHI de los años 1987, 1994, 2001, 2008 y 2015 de las estaciones meteorológicas de Capazo, Pizacoma, Mazocruz - Condoriri, Desaguadero, Yunguyo, Juli, Ilave Puno, Lampa, Laraqueri.

Tabla 5

Datos históricos de estaciones meteorológicas

ID	ESTACIÓN	X	Y	Z	PRECIP. (mm)	HR (%)	TEMP. °c	VV (m/seg)
1	CAPAZO	421788	8099530	4530	578.8	80.3	14.0	6.5
2	PIZACOMA	460774	8130703	3930	571.2	39.0	17.3	7
3	MAZOCRUZ-C	423737	8149181	4003	448.1	55.0	17.5	8.4
4	DESAGUADERO	495721	8168178	3860	620.6	60	15.3	10
5	YUNGUYO	492018	8197012	3891	677.6	62	15.1	6
6	JULI	450863	8208702	3812	841.6	60	14.1	8
7	ILAVE	429200	8223485	3871	651.3	61	16.1	10
8	PUNO	391618	8250023	3812	701.5	59	16.4	7
9	LAMPA	352948	8266710	3892	647.8	60	17.1	10
10	LARAQUERI	385967	8213658	3900	645	75	16.7	8.9

Fuente: SENAMHI - Puno

3.2.5. Operacionalización de variables

- Cobertura
- Variable. – continua
- Variables.
 - a) Cobertura Vegetal (Pajonales y Arbustos, Bofedales y Pastos Naturales) (CV)
 - b) Superficie de Rocas (SR)
 - c) Suelo Desnudo (SD)

Cuerpo de Agua (CP)

son las extensiones de agua que se encuentran por la superficie terrestre tanto naturales como artificiales (embalses) y tanto de agua salada (océanos, mares) como dulce (lagos, ríos, etc.).

Superficie de Rocas (SR)

En geología se le denomina roca a la asociación de uno o varios minerales como resultado de un proceso geológico definido.

Suelo Desnudo (SD)

Se refiere a aquel que no cuenta con una capa superficial que lo protege de la intemperie, por lo que está en riesgo de ser erosionado por agua, o viento.

Cobertura Vegetal (CV)

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos.

3.3. EQUIPO Y SOFTWARES

- Computadora Samsung Intel R Core TM i5, Escritorio
- Laptop personal de HP Core i5
- ArcGis 10.6
- ERDAS IMAGINE 2014 Intergraph Corporation
- ENVI 5.3
- QGIS 2.8
- SOFTWARE de Microsoft Office 2016 (Word, Excel, PPT)

3.4. MODELAMIENTO DE VARIABLE

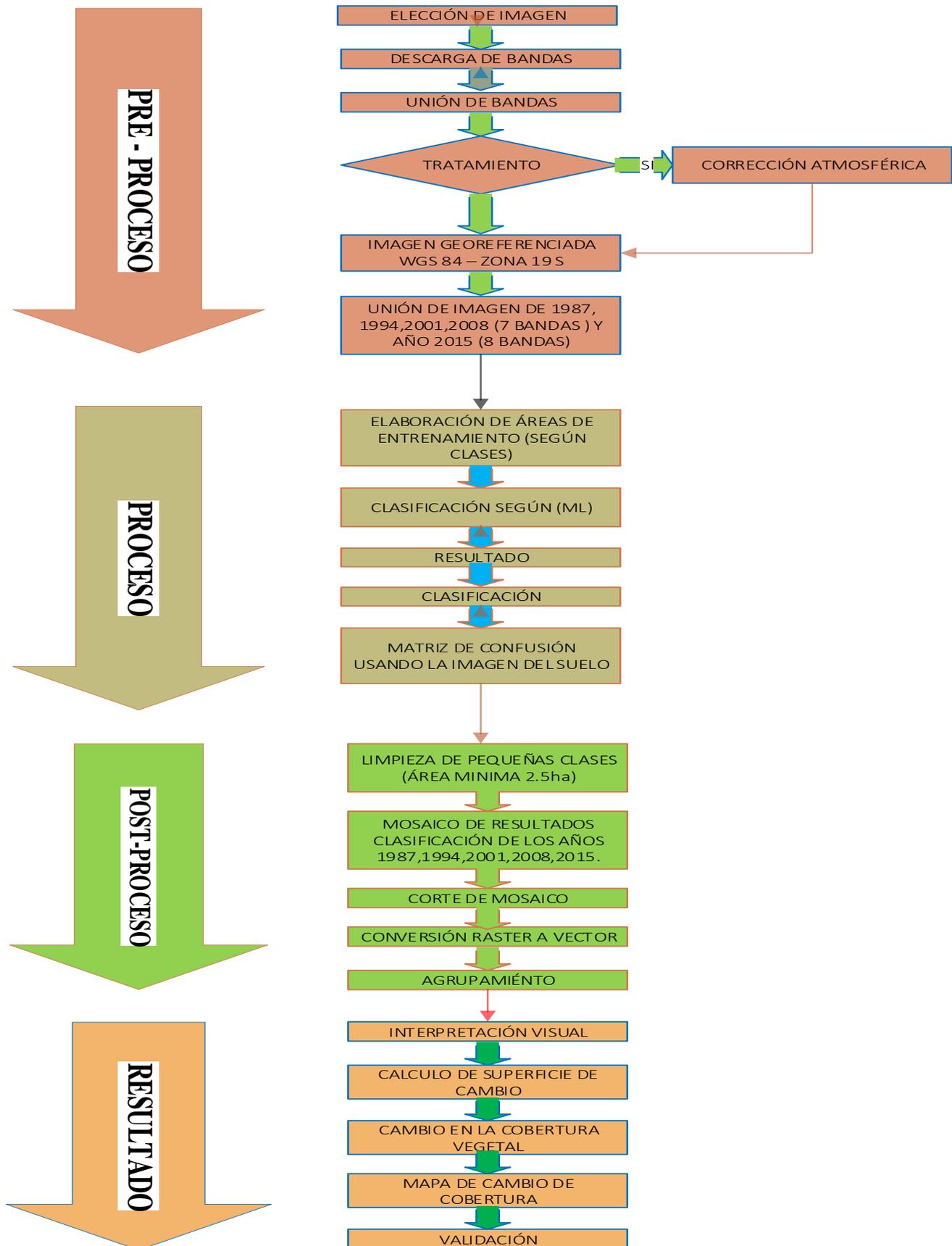


Figura 2. Metodología del flujo de trabajo realizado y estudio.

3.5. DESCARGA DE BANDAS

Se descargaron 7 bandas de cada una de las 3 imágenes, provenientes de la página del EarthExplorer – Home EEUU. El tiempo de descarga por imagen fue de aproximadamente 10 minutos, es decir, un tiempo total de descarga de 40 minutos, utilizando un espacio aproximado de 8 gigabytes (GB), para el almacenamiento de las imágenes del año 1987, 1994, 2001, 2008. Las imágenes del año 2015 utilizaron un espacio aproximado de 2 gigabytes adicionales, haciendo un total de 5 GB en total por las 5 imágenes.

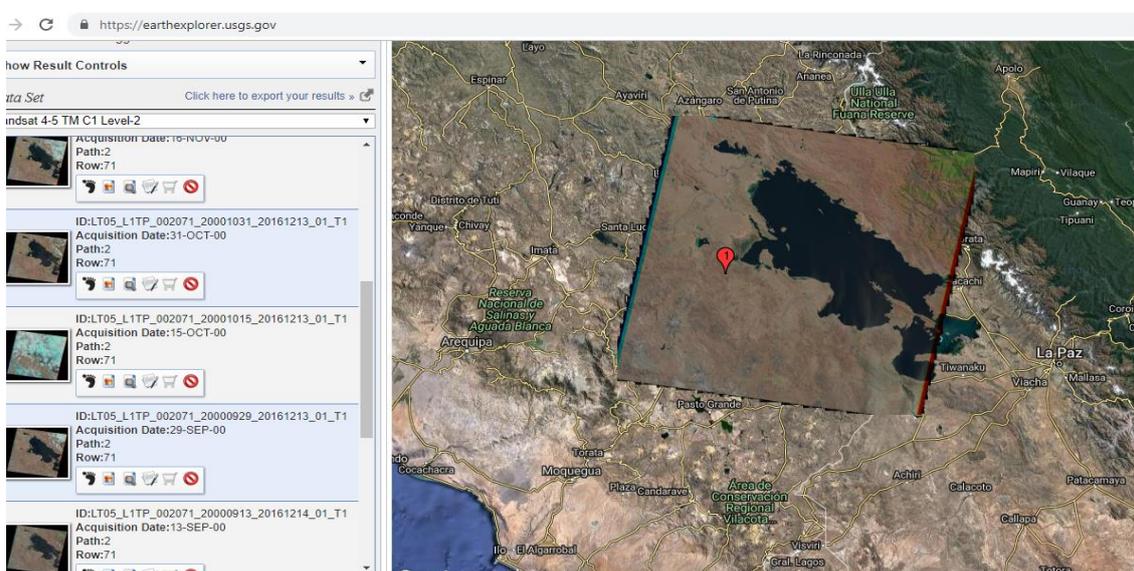


Figura 3. Elección de Imágenes para descarga de EarthExplorer – Home e INPE

Se procedió a seleccionar las imágenes de satélite como se puede apreciar en la Figura 4, en donde se pueden ver las escenas trabajadas. Posterior a ello, dentro de la página EarthExplorer – Home (<https://earthexplorer.usgs.gov>), se eligieron las imágenes con mayor información, es decir, imágenes con meta data completa, porcentaje promedio de nubosidad menor al 10 % y que contuvieran las 7 bandas completas.

3.6. UNIÓN DE BANDAS.

De las imágenes del año 2005 solo se unieron 6 bandas, debido a que la banda termal, no fue necesaria para el trabajo realizado. Se usó la herramienta de Software (ENVI

5.3) Geo TIFF with Metadata como se puede apreciar, obteniéndose una imagen con 6 bandas como se puede apreciar en la Figura 5.

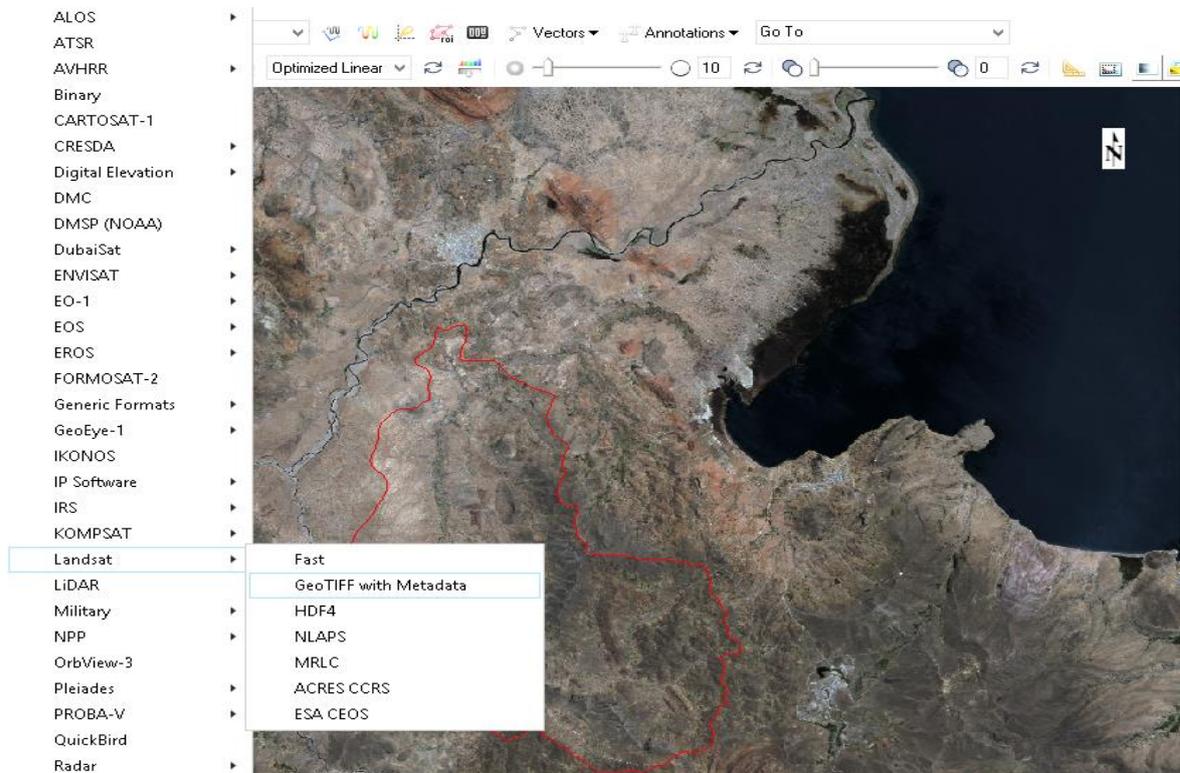


Figura 4. Geo TIFF with Metadata Imagen Satelital con 6 bandas

Fuente: Elaboración propio

3.7. CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

La corrección atmosférica trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmosfera introduce en los valores mínimos de una imagen de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre, el proceso de corrección atmosférica se hizo en el software ENVI 5.3 entrando a la opción toolbox luego a la herramienta de radiometric correction and luego en opción atmospheric correction module finalmente del módulo FLAASH atmospheric correction del software ENVI 5.3 de ello como resultado tenemos la figura 7 con mayor visibilidad y así se realizó las correcciones de imagen satelital LANDSAT para los siguientes años 1987, 1994, 2001, 2008 y 2015.

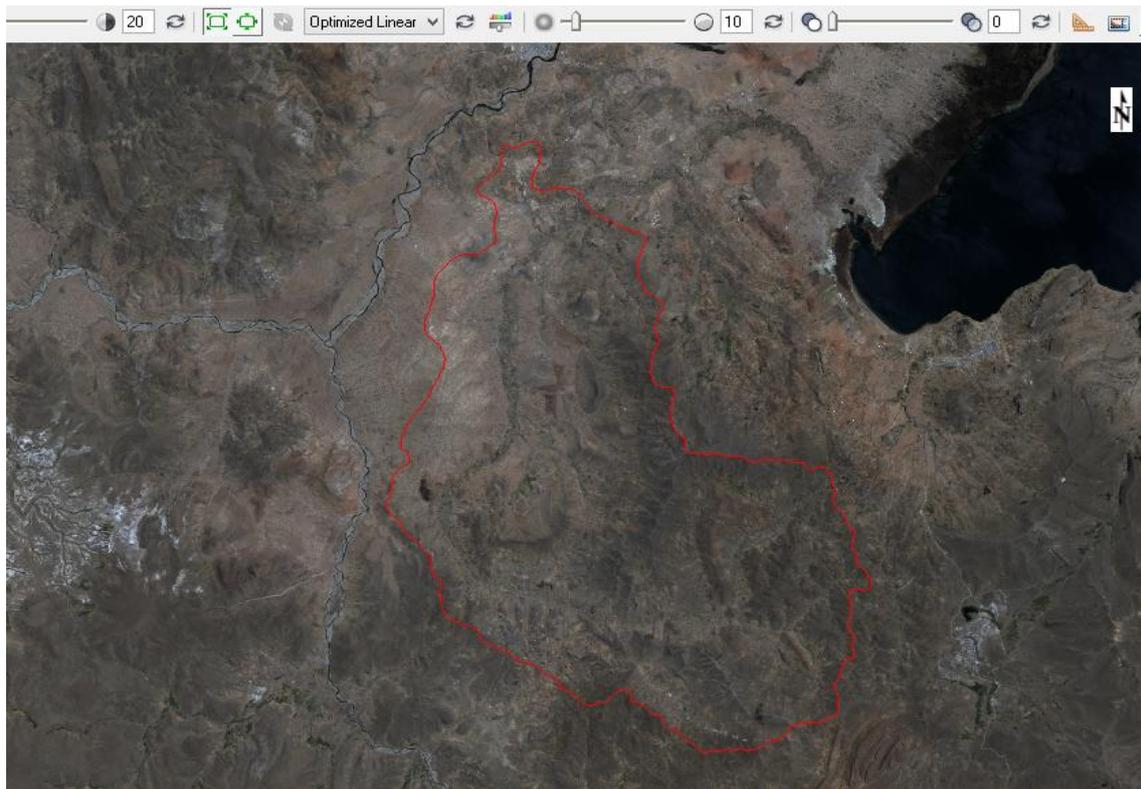


Figura 5. Imagen no corregida de landsat
Fuente: Elaboración propio

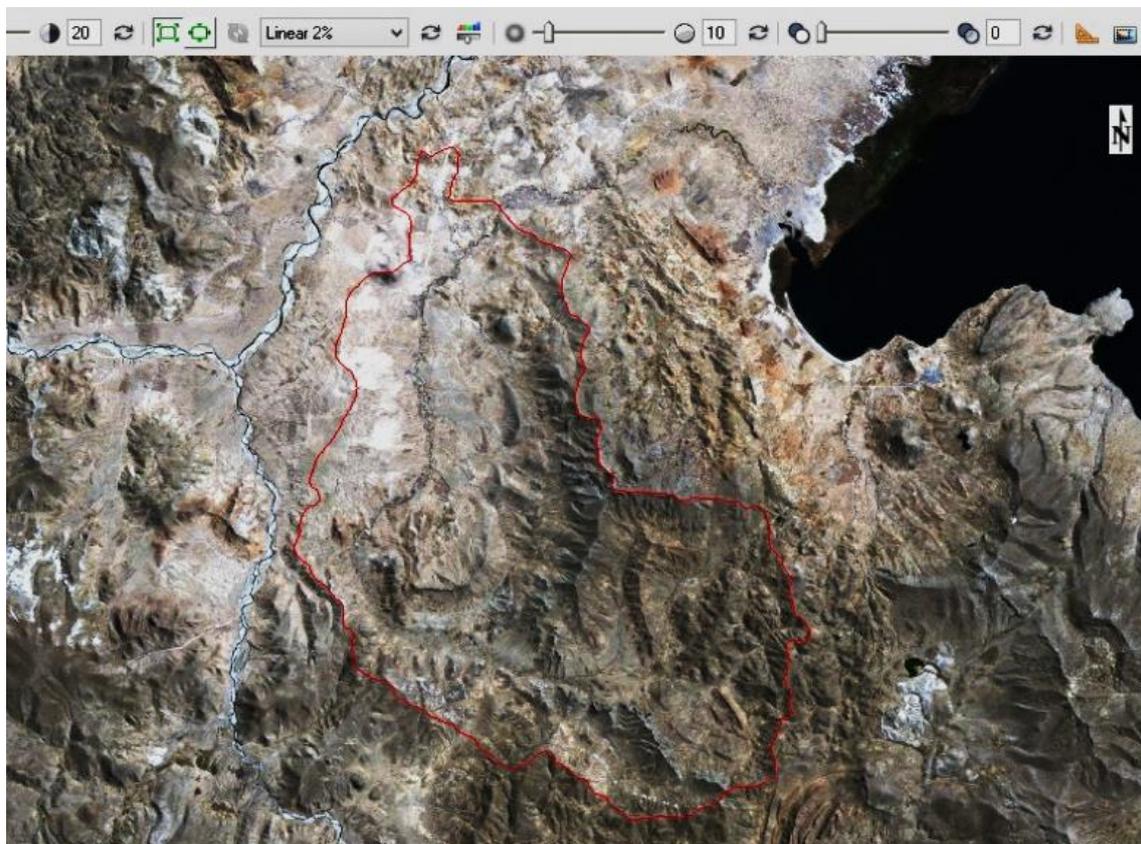


Figura 6. Imagen corregida de landsat
Fuente: Elaboración propio

3.8. COMBINACIÓN DE BANDAS CORREGIDAS LANDSAT

Distintas combinaciones de bandas se pueden combinar de 3 en 3 (con bandas visibles) y (con 2 bandas infrarrojas) son combinadas a los que ya se ha aplicado el realce. El procedimiento de realce visual es similar al explicado para cada una de las bandas.

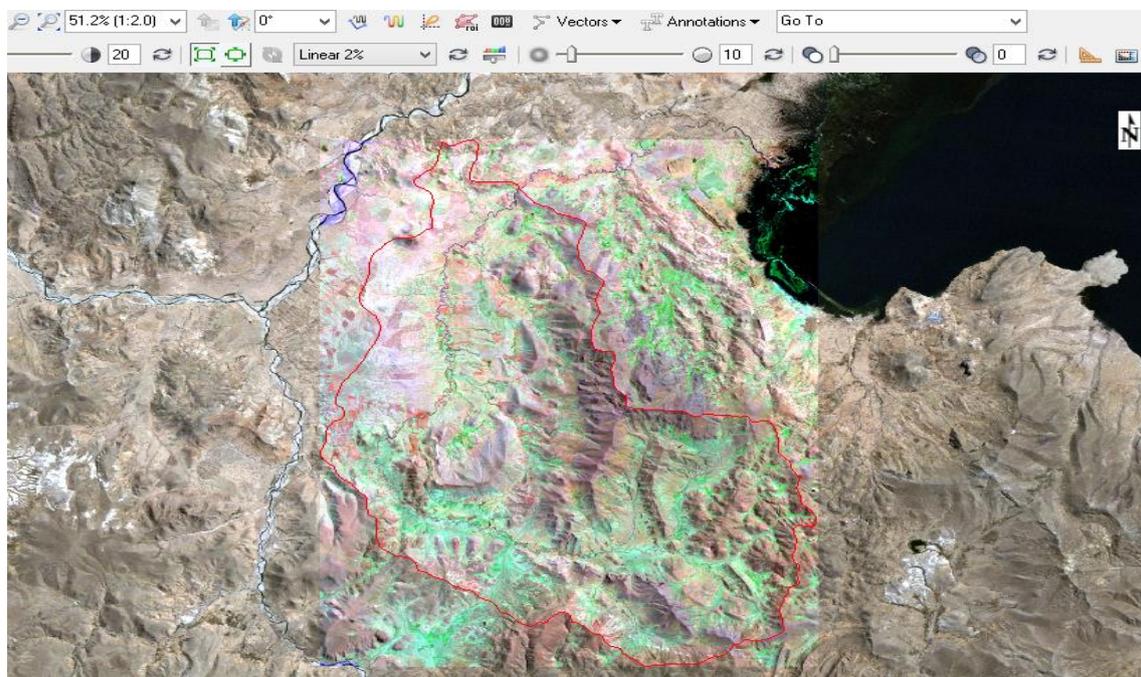


Figura 7. Combinación de bandas 543 landsat (1987)

Fuente: Elaboración propio

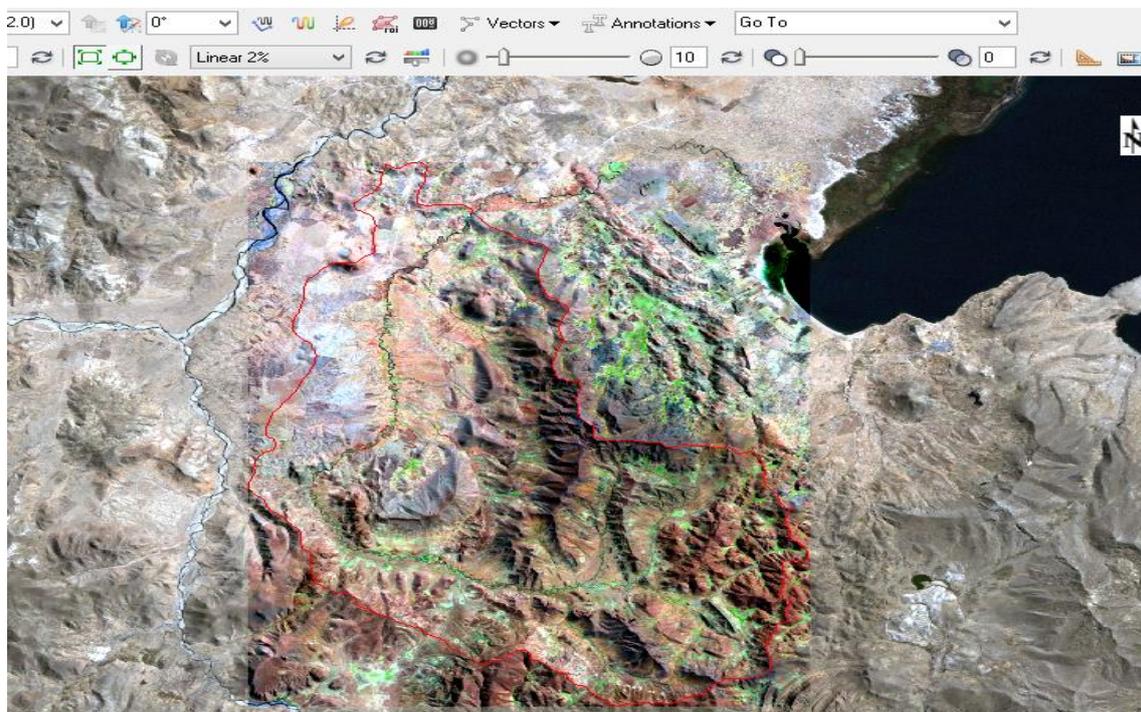


Figura 8. Combinación de bandas 543 landsat 5 (1994)

Fuente: Elaboración propio

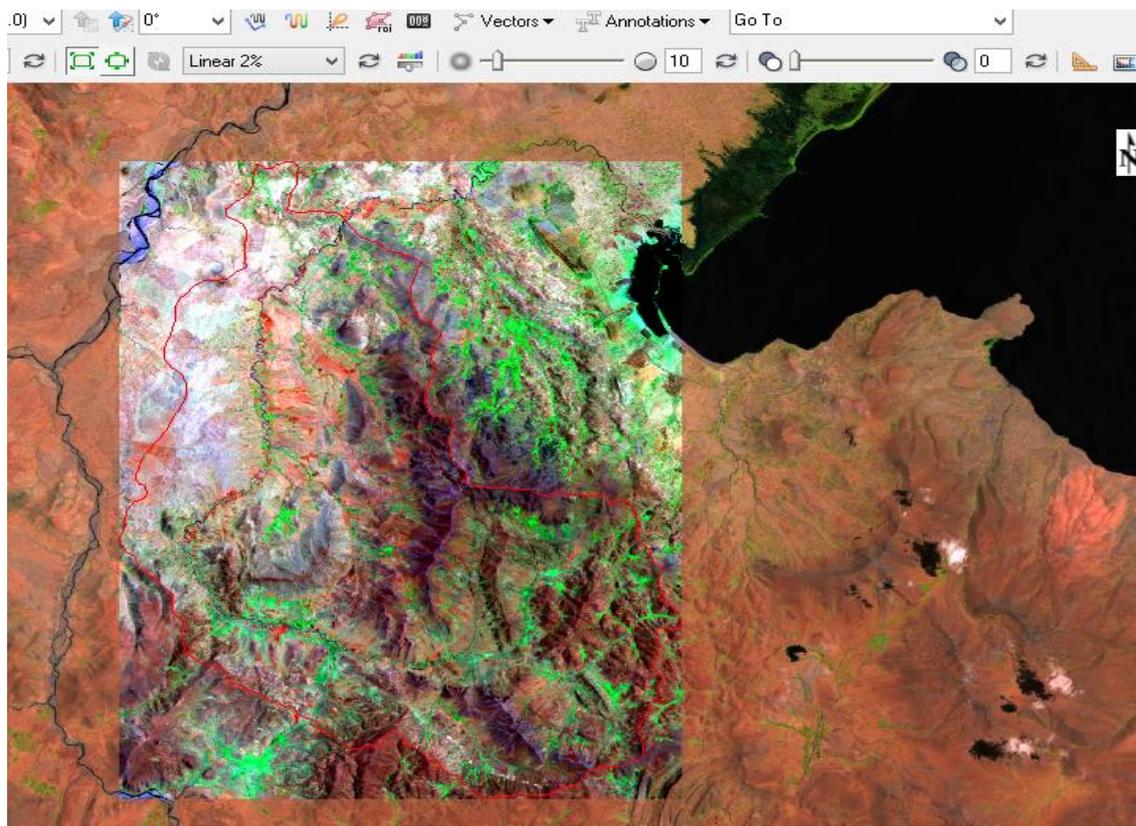


Figura 9. Combinación de bandas 543 landsat 5 (2001)
Fuente: Elaboración propio

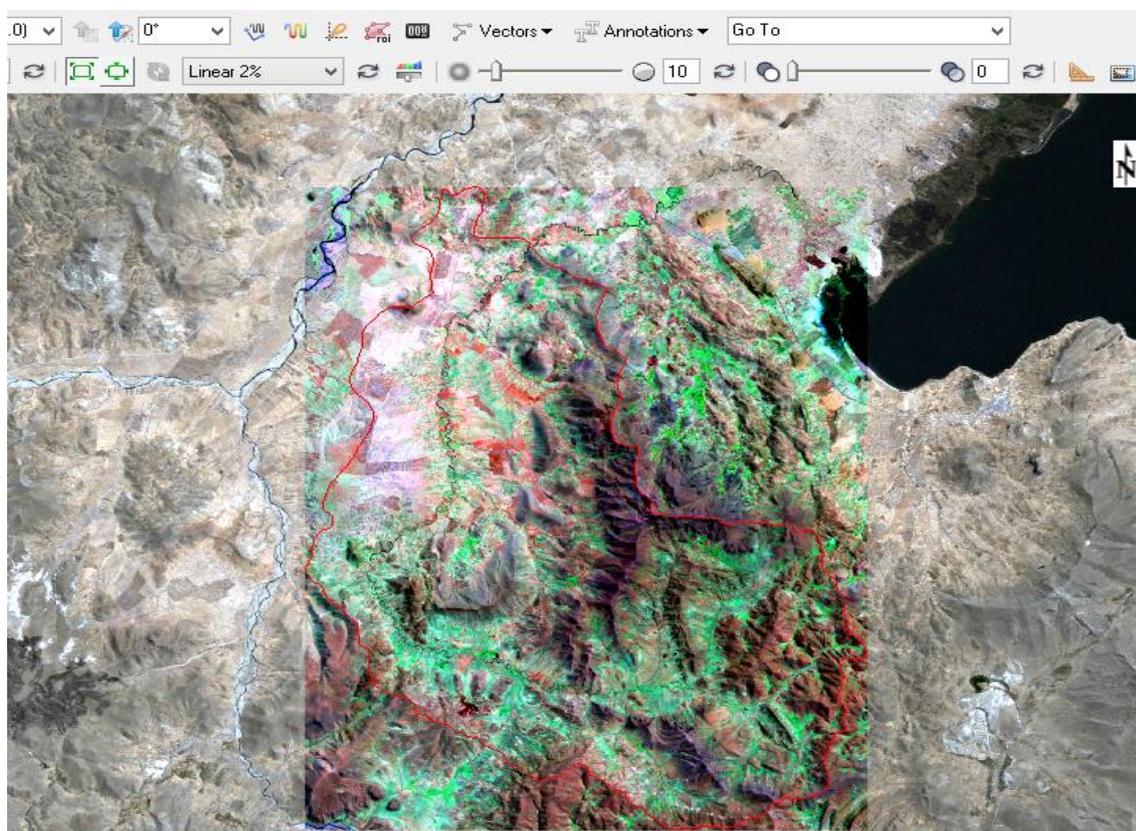


Figura 10. Combinación de bandas 543 landsat 5 (2008)
Fuente: Elaboración propio

3.8.1. Elaboración de áreas de entrenamiento

Las áreas de entrenamiento son polígonos que se crean en función a la leyenda previamente establecida, se elaboraron los polígonos de las clases de cobertura teniendo como base las imágenes de satélite como se puede apreciar en la Figura 11, los polígonos se realizaron en zonas donde existía mayor respuesta espectral, con mayor amplitud y las áreas fueron pequeñas para que no existiera confusión en la iteración. (Guailas, 2015).

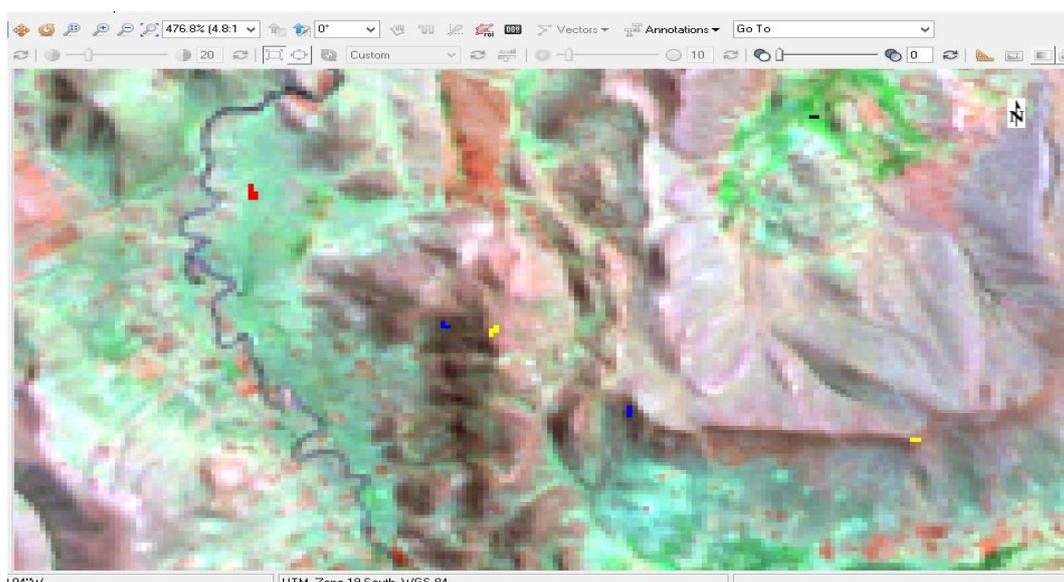


Figura 11. Áreas de entrenamiento

Fuente: Elaboración propio

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ÍNDICE DE KAPPA (K)

El coeficiente kappa refleja la concordancia inter-observador y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores (para la evaluación de concordancia de tres o más observadores se utilizan el coeficiente kappa. 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 $k = 0$ refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar (Eliecer, 2001).

Como se aprecia en la figura 12 se ve el resultado de clasificación del año 1987 en el área de estudio, así mismo se ve en la figura 13 donde coeficiente de Kappa es 0.99 lo que significa que la clasificación realizada esta correctamente clasificada. También se tuvo las extensiones en hectáreas con la ayuda de software de ArcGis 10.6 teniendo como resultado en la dicha figura 14 y así mismo se puede interpretar en los siguientes.

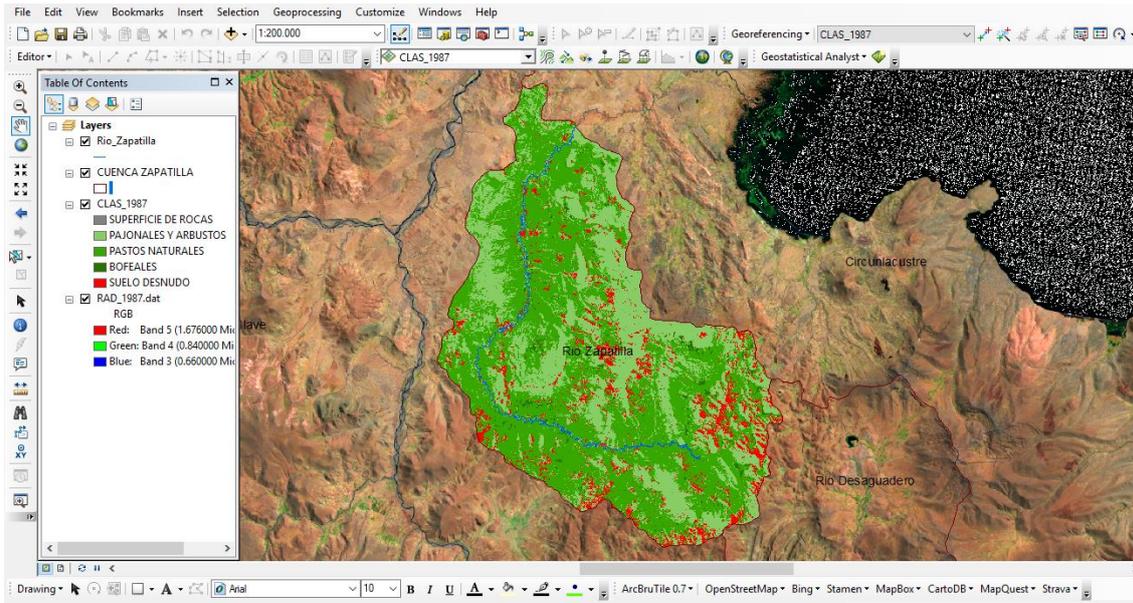


Figura 12. Resultados de clasificación del año 1987

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: D:\1991...IMAGES_LANSAT_IEQM_2019\IMAGENES_LANSAT_TESIS\1.-IMAGEN_1987

Overall Accuracy = (179/180) 99.4444%

Kappa Coefficient = 0.9924

Class	SUELO DESNUDO	BOFE DALES	PASTOS NATURALES	PAJONALES Y ARBUSTOS	SUPERFICIE DE ROCAS
Unclassified	0	0	0	0	0
4-Suelo Desnu	14	0	0	0	0
1-Bofedales	0	47	0	0	0
2-Pastos Natu	1	0	67	0	0
3-Pajonales y	0	0	0	42	0
5-Superficie	0	0	0	0	9
Total	15	47	67	42	9

Class	Total
Unclassified	0
4-Suelo Desnu	14
1-Bofedales	47
2-Pastos Natu	68
3-Pajonales y	42
5-Superficie	9
Total	180

Class	SUELO DESNUDO	BOFE DALES	PASTOS NATURALES	PAJONALES Y ARBUSTOS	SUPERFICIE DE ROCAS
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Suelo Desnu	93.33	0.00	0.00	0.00	0.00
1-Bofedales	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
2-Pastos Natu	6.67	0.00	100.00	0.00	0.00
3-Pajonales y	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
5-Superficie	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Figura 13. Matriz de confusión del año 1987

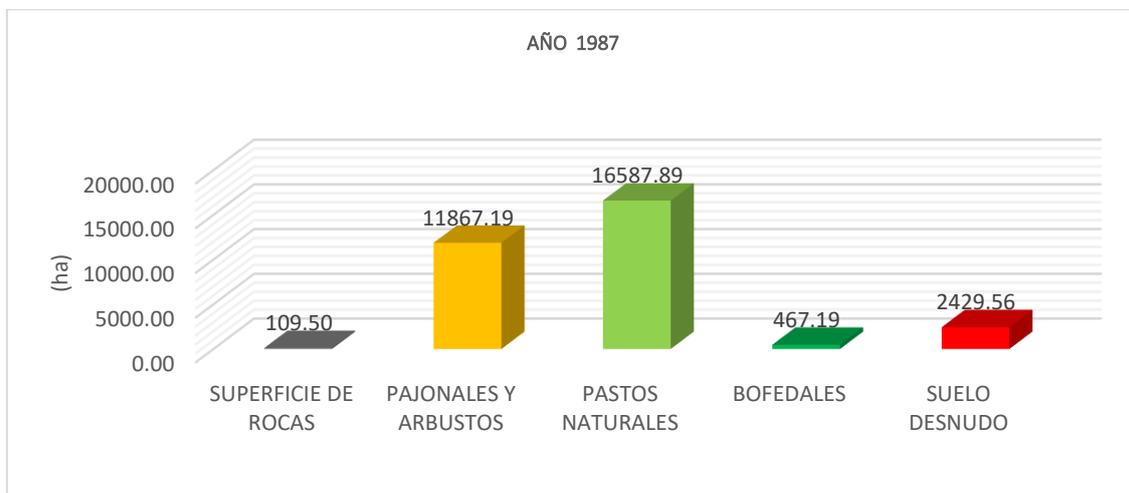


Figura 14. Extensión de variables del año 1987

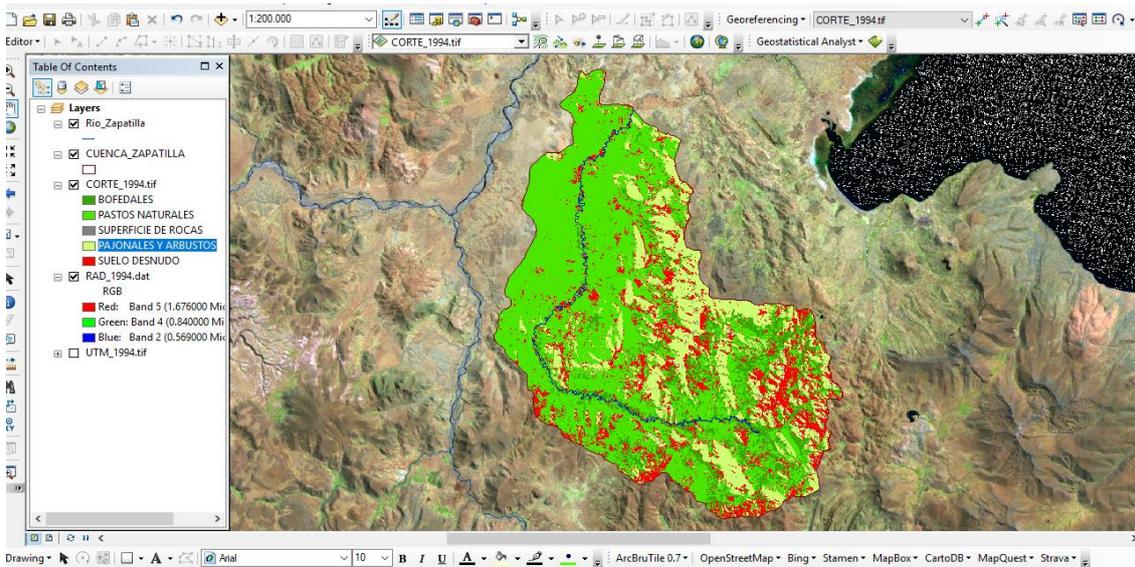


Figura 15. Resultados de clasificación del año 1994

Confusion Matrix: D:\1991\IMAGES_LANSAT_IEQM_2019\IMAGENES_LANDSAT_TESIS\2.-IMAGEN_1

Overall Accuracy = (446/466) 95.7082%
Kappa Coefficient = 0.9416

Class	5.-- BOFEDALES	4.-- PASTOS NAT	3.-- SUPERFICIE	2.-- PAJOMALES	1.-- SUELO DE
Unclassified	0	0	0	0	0
1.--bofedales	72	4	0	0	0
2.--pastos na	0	173	0	0	0
3.--superfici	0	0	8	9	0
4.--pajonales	0	0	5	115	1
5.--suelo des	0	0	0	1	78
Total	72	177	13	125	79

Class	Total
Unclassified	0
1.--bofedales	76
2.--pastos na	173
3.--superfici	17
4.--pajonales	121
5.--suelo des	79
Total	466

Class	5.-- BOFEDALES	4.-- PASTOS NAT	3.-- SUPERFICIE	2.-- PAJOMALES	1.-- SUELO DE
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.--bofedales	100.00	2.26	0.00	0.00	0.00
2.--pastos na	0.00	97.74	0.00	0.00	0.00
3.--superfici	0.00	0.00	61.54	7.20	0.00
4.--pajonales	0.00	0.00	38.46	92.00	1.27
5.--suelo des	0.00	0.00	0.00	0.80	98.73
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Figura 16. Matriz de confusión del año 1994

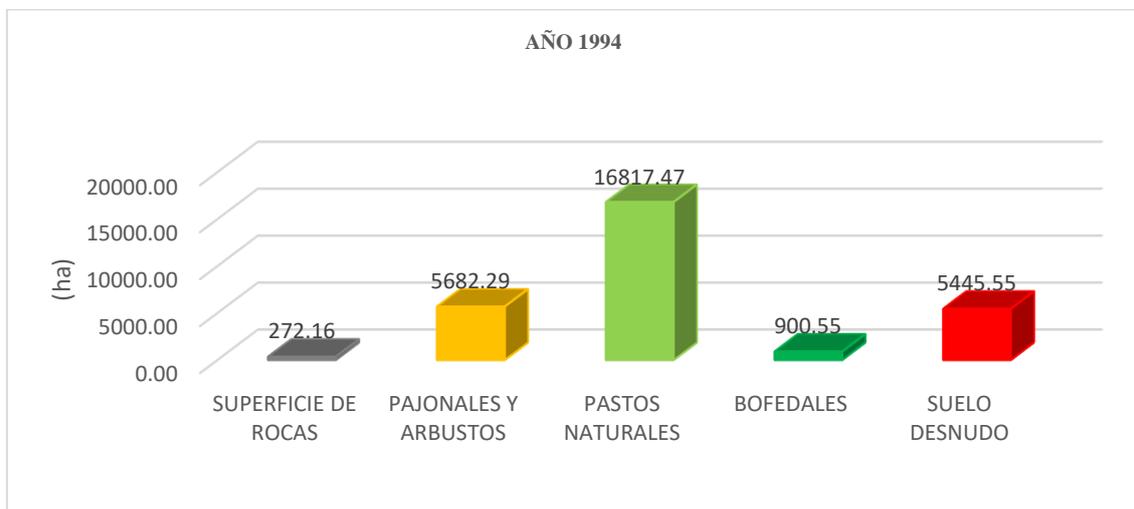


Figura 17. Extensión de variables del año 1994

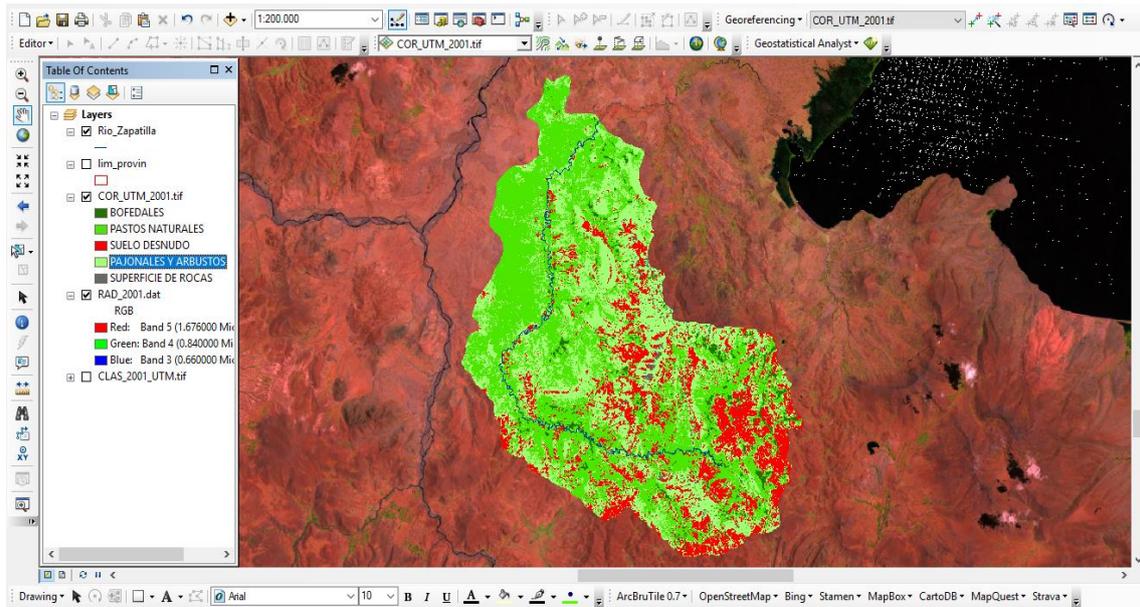


Figura 18. Resultados de clasificación del año 2001

Confusion Matrix: D:\1991___IMAGES_LANSAT_IEQM_2019\IMAGENES_LANSAT_TESIS\3.-IMAGEN_2001

Overall Accuracy = (462/464) 99.5690%
Kappa Coefficient = 0.9940

Class	Ground Truth (Pixels)				
	SUPERFICIE DE PAJONALES Y ASUELO DESNUDO	PAJONALES Y ARBUSTOS	PASTOS NATURALES	BOFEDALES	SUPERFICIE DE ROCAS
Unclassified	0	0	0	0	0
Superficie de pajonales y a suelo desnudo	10	0	0	0	0
pastos natura bofedales	0	71	1	0	0
bofedales	1	0	64	0	0
bofedales	0	0	0	189	0
bofedales	0	0	0	0	128
Total	11	71	65	189	128

Class	Total
Unclassified	0
Superficie de pajonales y a suelo desnudo	10
pastos natura	72
bofedales	65
bofedales	189
bofedales	128
Total	464

Class	Ground Truth (Percent)				
	SUPERFICIE DE PAJONALES Y ASUELO DESNUDO	PAJONALES Y ARBUSTOS	PASTOS NATURALES	BOFEDALES	SUPERFICIE DE ROCAS
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Superficie de pajonales y a suelo desnudo	90.91	0.00	0.00	0.00	0.00
pastos natura	0.00	100.00	1.54	0.00	0.00
bofedales	9.09	0.00	98.46	0.00	0.00
bofedales	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
bofedales	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Figura 19. Matriz de confusión del año 2001

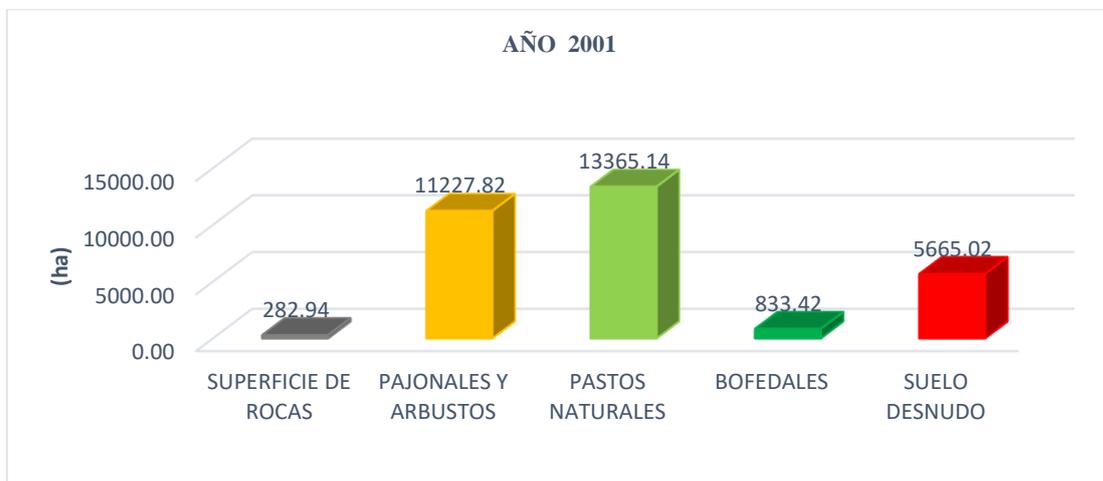


Figura 20. Extensión de variables del año 2001

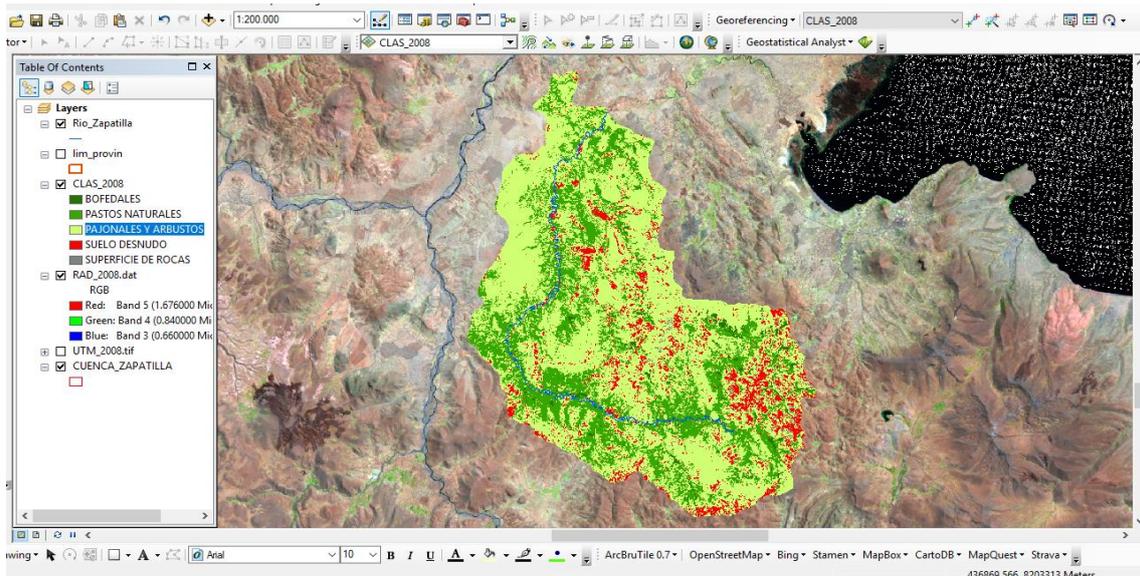


Figura 21. Resultados de clasificación del año 2008

Confusion Matrix: D:\1991__IMAGES_LANSAT_IEQM_2019\IMAGENES LANDSAT_TESIS\4.-IMAGEN_2008\

Overall Accuracy = (380/393) 96.6921%
Kappa Coefficient = 0.9498

Class	Suelo Desnudo	Superficie de Pajonales y Ar	Pastos Natura	Bofedales
Unclassified	0	0	0	0
SUELO DESNUDO	42	0	7	0
SUPERFICIE DE PAJONALES Y A	0	8	2	0
PASTOS NATURA	0	4	56	0
BOFEDALES	0	0	0	204
Total	42	12	65	204

Class	Total
Unclassified	0
SUELO DESNUDO	49
SUPERFICIE DE PAJONALES Y A	10
PASTOS NATURA	60
BOFEDALES	70
Total	393

Class	Suelo Desnudo	Superficie de Pajonales y Ar	Pastos Natura	Bofedales
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00
SUELO DESNUDO	100.00	0.00	10.77	0.00
SUPERFICIE DE PAJONALES Y A	0.00	66.67	3.08	0.00
PASTOS NATURA	0.00	33.33	86.15	0.00
BOFEDALES	0.00	0.00	0.00	100.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Figura 22. Matriz de confusión del año 2008

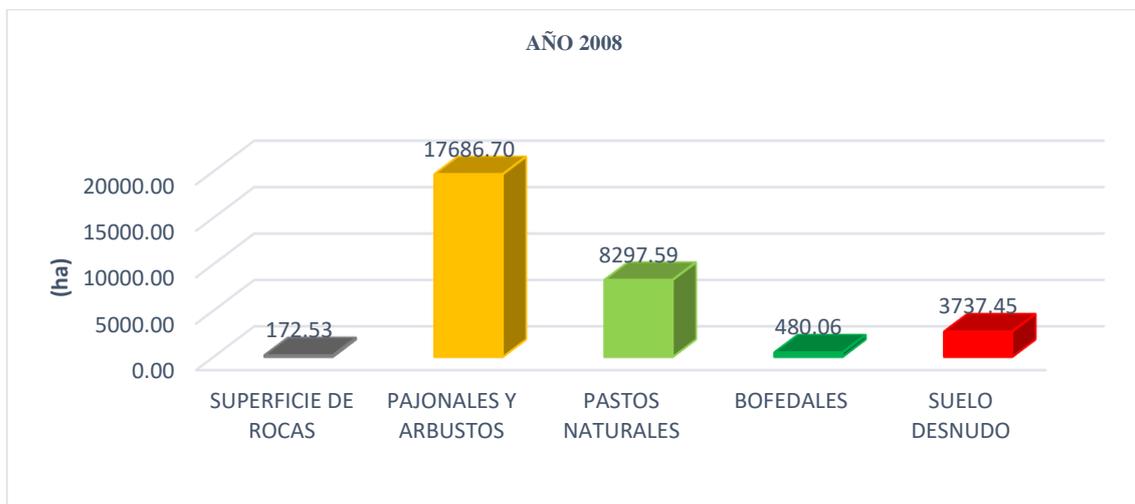


Figura 23. Extensión de variables del año 2008

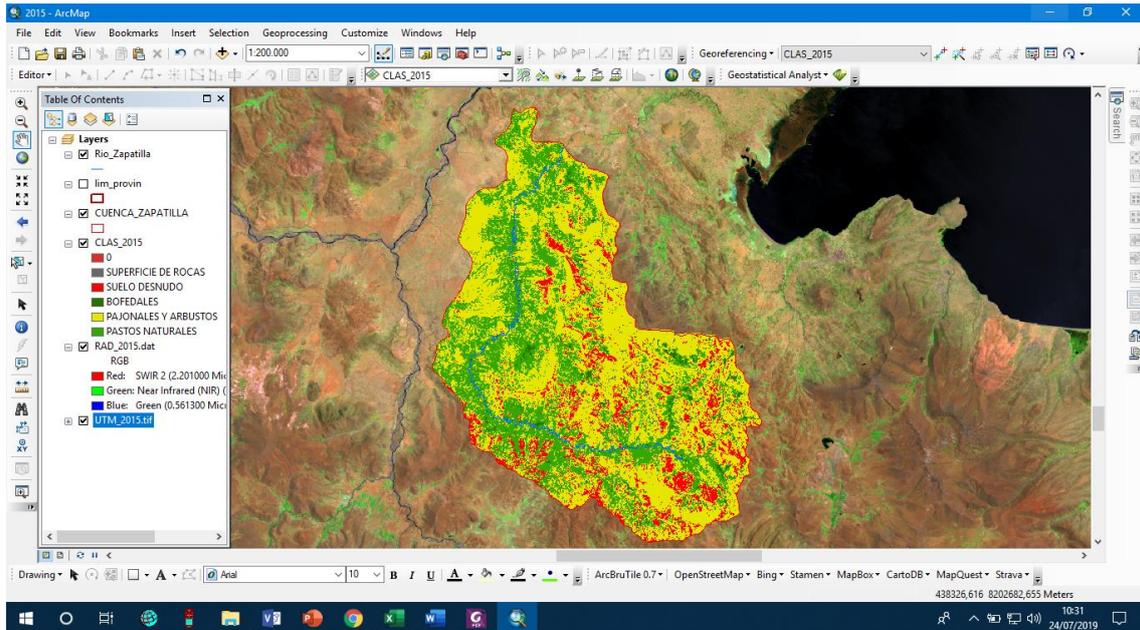


Figura 24. Resultados de clasificación del año 2015

File

Confusion Matrix: D:\1991____IMAGES_LANSAT_IEQM_2019\IMAGENES LANDSAT_TESIS\5.-IMAGEN_2015

Overall Accuracy = (479/489) 97.9550%

Kappa Coefficient = 0.9708

Class	Ground Truth (Pixels)				
	superficie desnudo	desnudo	bofedales	pajonales y apastos natura	
Unclassified	0	0	0	0	0
SUPERFICIE DE SUELO DESNUDO	10	0	0	3	0
SUELO DESNUDO	0	100	0	0	0
BOFEDALES	0	0	41	0	0
PAJONALES Y A	1	1	0	122	3
PASTOS NATURA	0	0	0	2	206
Total	11	101	41	127	209

Class	Ground Truth (Pixels)				
	Total				
Unclassified	0				
SUPERFICIE DE SUELO DESNUDO	13				
SUELO DESNUDO	100				
BOFEDALES	41				
PAJONALES Y A	127				
PASTOS NATURA	208				
Total	489				

Class	Ground Truth (Percent)				
	superficie desnudo	desnudo	bofedales	pajonales y apastos natura	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SUPERFICIE DE SUELO DESNUDO	90.91	0.00	0.00	2.36	0.00
SUELO DESNUDO	0.00	99.01	0.00	0.00	0.00
BOFEDALES	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
PAJONALES Y A	9.09	0.99	0.00	96.06	1.44
PASTOS NATURA	0.00	0.00	0.00	1.57	98.56
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Figura 25. Matriz de confusión del año 2015

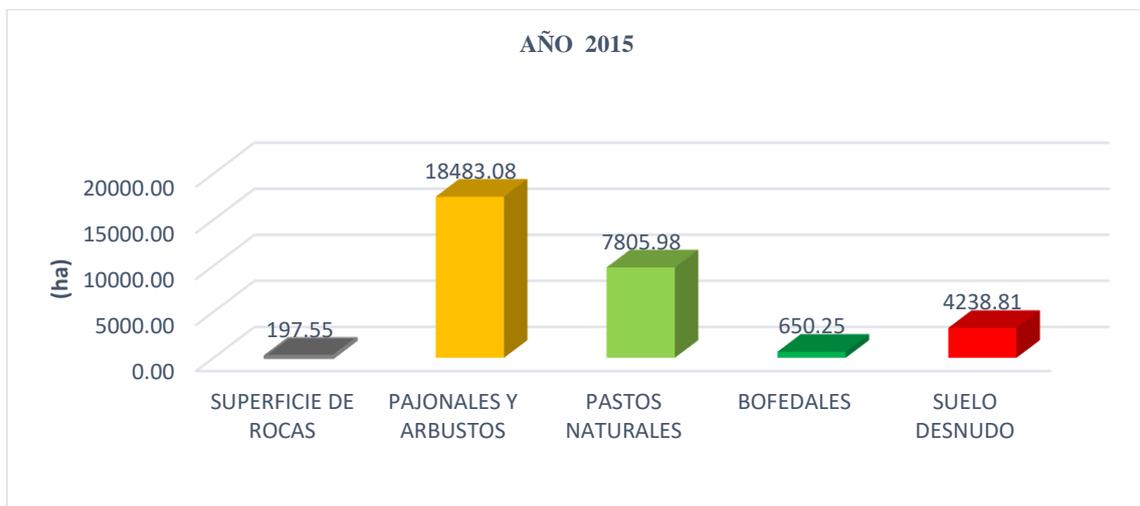


Figura 26. Extensión de variables del año 2015

4.2. SUPERFICIES

Los resultados realizados de las variables y calculado de las áreas correspondientes para cada variable estudiadas en los periodos (1987 – 1994, 1994 – 2001, 2001 – 2008, 2008 -2015) se procedió a elaborar la tabla de superficies. Resultado de los procesos, se obtuvo la siguiente Tabla 6 en el cual se muestra de manera clara los incrementos y decrementos en la superficie de cada variable en los respectivos periodos de estudio en la cuenca del río Zapatilla.

Tabla 6

Superficies (en ha) correspondientes a los años establecidos, obtenido en base al área Total.

AÑO	BOFEDALES	PASTOS NATURALES	PAJONALES Y ARBUSTOS	SUELO DESNUDO	SUPERFICIE DE ROCAS
	Sup.	Sup.	Sup.	Sup.	Sup.
1987	467,19	16587,89	11867,19	2429,56	109,50
1994	900,55	16817,47	5682,29	5445,55	272,16
2001	833,42	13365,14	11227,82	5665,02	282,94
2008	480,06	8297,59	17686,70	3737,45	172,53
2015	650,25	7805.98	18483,08	4238,81	197,55

Fuente: Elaboración propio 2019

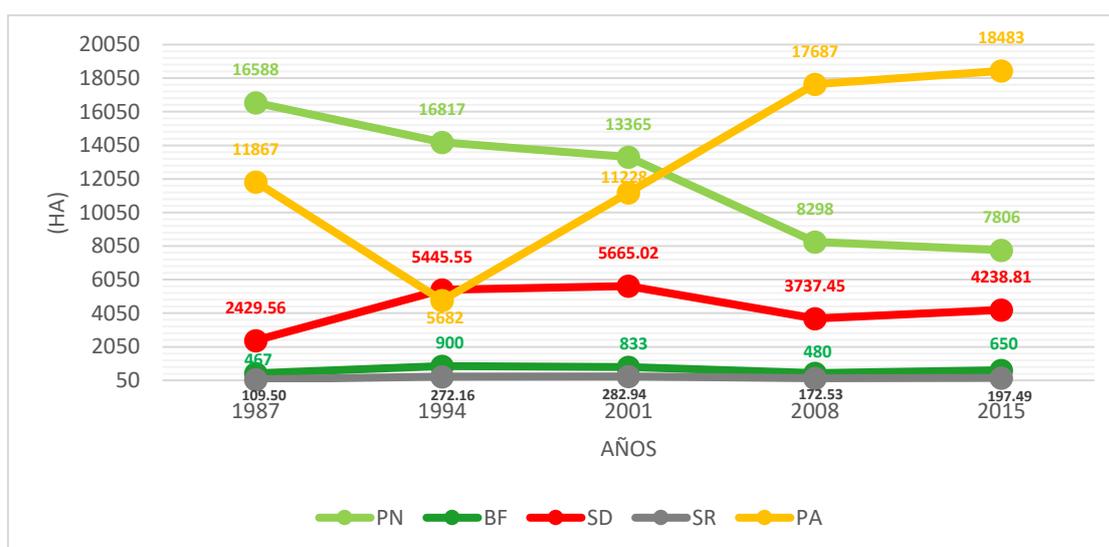


Figura 27. Extensión en hectáreas de variables 1987-2015

Fuente: Elaboración propio

4.3. TABLAS CRUZADAS DE COBERTURA DEL SUELO

Tal como se muestra en los matrices de transición es necesario tener presente unas consideraciones mínimas para asegurar un correcto procesado de los datos. Se tienen que tener dos épocas de una misma área de estudio de igual superficie de área de estudio también. pero para los análisis se utilizan pares de periodos como, (1987 – 1994), (1994 – 2001), (2001 – 2008), (2008, 2015); se realizaron análisis de cambio.

Los mapas a comparar requieren tener el mismo número y tipo de variables de usos o coberturas del suelo. Este número puede oscilar de 2 a infinito número de clases de usos del suelo. No obstante, este número de variables es el que repercute en el tamaño de la matriz de transición. Así, admitir mapas que no contengan diferentes leyendas, ya que impedirían que la matriz de transición fuera cuadrada (mismo número de filas y columnas). Esto se puede evitar reclasificando en categorías de usos más generales.

El primer paso a realizar, es el cálculo de los tránsitos entre los distintos usos por medio de las tablas cruzadas. En las tablas 7, 8, 9, y 10 quedan reflejados para cada combinación de mapas de usos del suelo de fechas consecutivas 1987-1994, 1994-2001, 2001-2008, 2008-2015. Los datos contenidos en el interior de las celdas se pueden expresar en kilómetros cuadrados o hectáreas. La suma total de filas o columnas es igual a la superficie del área de estudio.

Tabla 7

Tabla cruzada entre el año 1987 y 1994 en (ha).

		AÑO 1994				
		BOF	PN	SR	SD	PAJ. ARB.
AÑO 1987	BOF	4671.9	193.32	0.09	2.70	4.23
	PN	2155.32	10440.99	0	614.25	62.37
	SR	0.36	1.35	1.08	1.98	13.50
	SD	375.03	1433.97	18.54	2653.29	194.85
	PAJ. ARB.	27536.49	4814.37	271.89	1343.25	5743.17

Fuente: Elaboración propio 2019

Observamos en la tabla 7 se puede observar las persistencias (diagonal principal), las perdidas (filas) y las ganancias (columnas) para cada variables en el periodo 1987 – 1994, la interpretación es como sigue: En año (1987 – 1994) 467.19 ha de bofedales en ello no sufrió cambio, 193.32 ha paso ser pastos naturales, 0.09 ha paso a ser superficie

de rocas, 2.70 ha paso a ser suelo desnudo y 4.23 ha paso ser pajonales y arbustos, por otro lado, en el mismo periodo 2155.32 ha pastos naturales, 0.36 ha de superficie de rocas, 375.03 ha de suelo desnudo y 27536.49 ha pajonales y arbustos (recubrimiento). Se sigue el mismo modelo interpretativo para el resto de las variables y tablas.

Tabla 8

Tabla cruzada entre el año 1994 y 2001 en (ha).

		AÑO 2001				
		BOF	PN	SR	SD	PAJ. ARB.
AÑO 1994	BOF	27366.21	2092.86	0.45	450.72	535.05
	PN	164.43	10297.71	0.90	1118.88	5302.08
	SR	2.88	1.89	20.61	208.8	57.33
	SD	46.08	526.95	9.90	2257.2	1774.53
	PAJ. ARB.	120.15	452.43	250.83	1634.22	3560.49

Fuente: Elaboración propio 2019

Tabla 9

Tabla cruzada entre el año 2001 y 2008 en (ha).

		AÑO 2008				
		BOF	PN	SR	SD	PAJ. ARB.
AÑO 2001	BOF	27137.79	319.14	1.17	25.47	216.18
	PN	149.76	6223.50	1.17	184.68	6812.73
	SR	0.45	0	36.45	4.59	241.22
	SD	19.44	298.89	104.94	1818.27	3428.28
	PAJ. ARB.	38.79	1459.53	28.89	705.33	8996.94

Fuente: Elaboración propio 2019

Tabla 10

Tabla cruzada entre el año 2001 y 2008 en (ha).

		AÑO 2015				
		BOF	PN	SR	SD	PAJ. ARB.
AÑO 2008	BOF	210.42	222.84	0.45	21.42	26891.1
	PN	190.71	6205.68	0.36	184.68	1719.63
	SR	0.09	0.45	31.77	3.42	136.89
	SD	4.05	250.65	22.23	1001.43	1459.98
	PAJ. ARB.	45.72	4760.91	191.43	1932.84	12764.52

Fuente: Elaboración propio 2019

4.4. SUPERFICIES DE CAMBIO

El análisis de los cambios de cobertura de suelo, dentro de este trabajo, está orientado a distinguir aquellas coberturas que sufrieron transiciones sistemáticas significativas de aquellas que lo hicieron de forma aleatoria, identificar las señales dominantes de cambios de uso y los indicios de cambio por separado en cualquier nivel dado de la persistencia a partir del análisis de dos pares de componentes: Cambios netos e intercambios, así como de las ganancias brutas y pérdidas brutas, con el fin de obtener los cambios totales que sufrieron las categorías (Pontius et al., 2004). Para ello, se construye una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambios que resulta de cruzar los mapas de las fechas en cuestión (1987- 1994, 1994 – 2001, 2001 – 2008, 2008 - 2005). En dicha matriz las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 1 (T1) y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 2 (T2).

Como se menciona los índices de cambio propuestos por (Pontius et al., 2004) sirve para analizar de forma más detallada las matrices de transición. Así bien como siguiente paso se calcularon los índices para cada periodo establecido, en lo cual se obtuvo la Tabla 11, en donde se muestra los índices de cambio en los variables (en %). En donde se aprecia que para el primer periodo la variable que tuvo el mayor cambio de superficie de pajonales y arbustos 336.48 % de cambio respecto al área que ocupaba en el año (1987), seguido 83.25 % pastos naturales, 76.81 % suelo desnudo, 2.81 % bofedales y 0.64 % de superficie de rocas.

En los términos de persistencia para los variables; bofedales, pastos naturales, pajonales-arbustos, suelo desnudo y superficie de rocas. en lo cual lo que más se mantiene en el tiempo es la superficie de rocas (mayores al 92 %).

Los variables de los cuatro periodos muestra cambio de un decremento muy importante a nivel de superficie como, bofedales y pastos naturales en cambio de superficie de rocas (afloramiento rocoso), pajonales-arbustos y suelo desnudo muestra incrementos significativos por lo que ambas ellos representan la dinámica de la superficie total, con tendencias positivas para pajonal-arbustos, suelo desnudo y superficie de rocas (afloramiento de rocas).

Tabla 11

Índices de cambio (%), por periodo para cada variable, con respecto al área total de estudio.

		GANANCIA	PERDIDAS	CAMBIO TOTAL	CAMBIO NETO	INTERCAMBIO	PERSISTENCIA
AÑO 1987 - 1994	VARIABLES						
	BOF	1.51	1.3	2.81	0.21	2.6	98.49
	PN	61.84	21.41	83.25	40.43	42.82	38.15
	SR	0.37	0.27	0.64	0.1	0.54	99.63
	SD	57.49	19.32	76.81	38.17	38.64	42.51
	PAJ. ARB.	95.43	241.05	336.48	145.62	482.10	4.57
<hr/>							
AÑO 1994 - 2001	VARIABLES						
	BOF	98.80	28.52	127.32	70.28	57.04	1.20
	PN	77.01	67.86	144.87	9.15	135.72	22.98
	SR	7.29	4.21	11.50	3.08	8.42	92.71
	SD	39.81	59.72	99.53	19.91	119.44	96.5
	PAJ. ARB.	31.71	64.34	96.05	32.63	128.68	68.29
<hr/>							
AÑO 2001 - 2008	VARIABLES						
	BOF	99.24	6.55	105.79	92.69	13.10	0.76
	PN	74.97	42.56	117.53	32.41	85.12	25.02
	SR	21.12	1.39	22.51	19.73	2.78	78.89
	SD	66.4	81.87	148.27	15.47	163.74	33.6
	PAJ. ARB.	45.68	60.22	105.90	14.54	120.44	54.32
<hr/>							
AÑO 2008 - 2015	VARIABLES						
	BOF	46.67	65.39	112.06	18.72	130.78	53.34
	PN	54.24	52.32	106.56	1.92	104.64	45.75
	SR	12.9	0.45	13.35	12.45	0.90	87.10
	SD	31.85	15.52	47.37	16.33	31.04	68.14
	PAJ. ARB.	29.70	190.95	220.65	161.25	381.90	70.3

Fuente: Elaboración propio 2019

Las tablas anteriores nos dan información de los cambios que sufrieron cada una de las variables estudiadas a lo largo de los periodos, pero para una mejor comprensión y comparación de dichas variaciones entre cada una de las áreas se procedió a realizar gráficos para su mejor visualización. Las Figuras 28, 29, 30, 31 y 32 muestran claramente para los 4 periodos cuales fueron los índices de cambio para las categorías estudiadas.

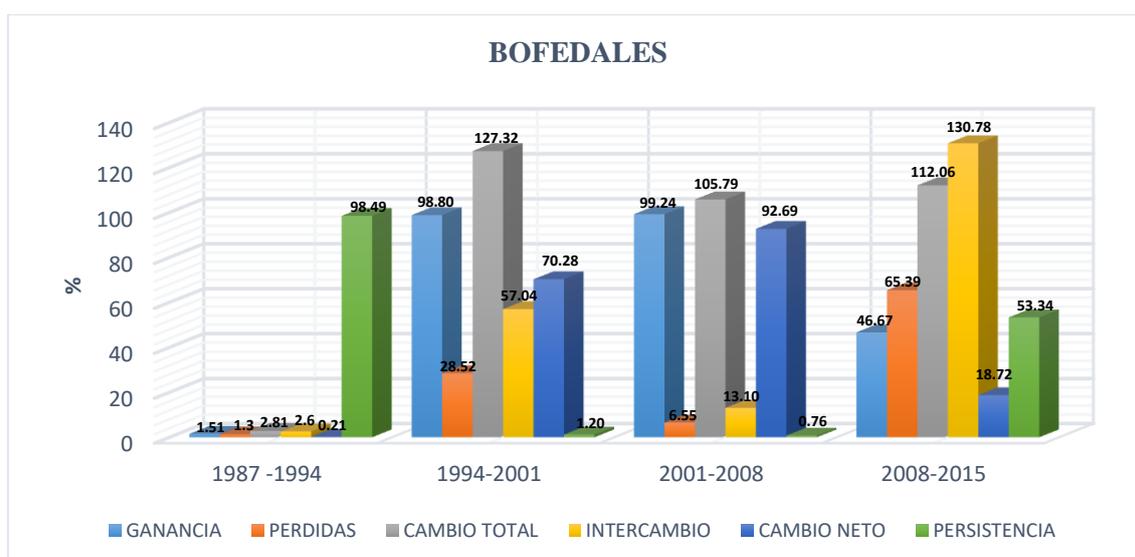


Figura 28. Índices de cambio (%) Bofedales (BOF).

Fuente: Elaboración propio 2019

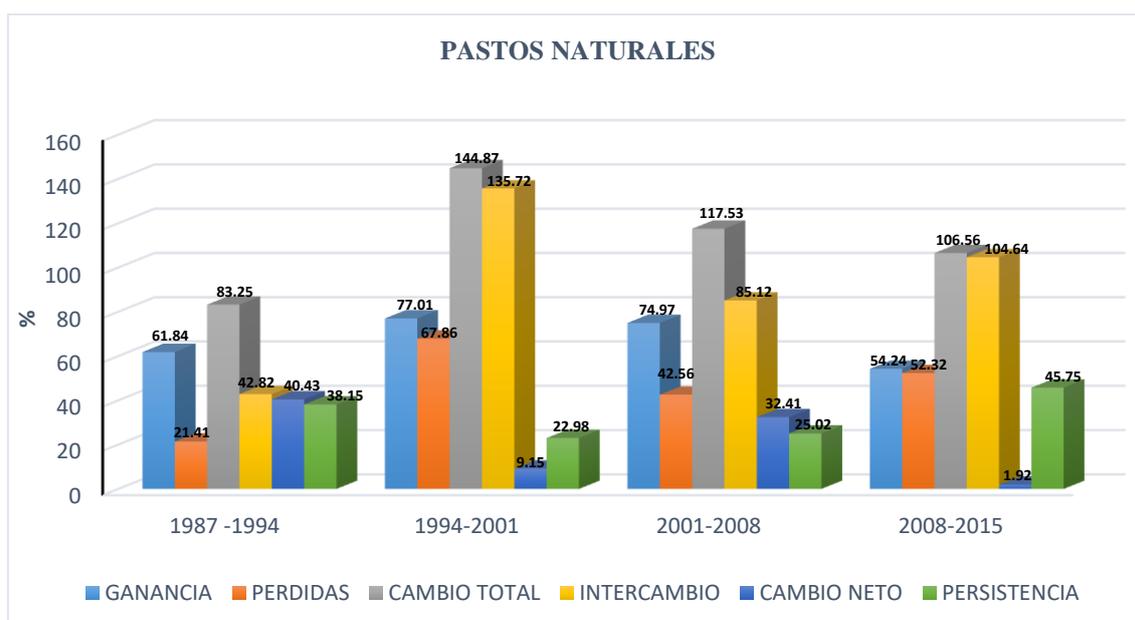


Figura 29. Índices de cambio (%) de variable Pastos Naturales (PN).

Fuente: Elaboración propio 2019

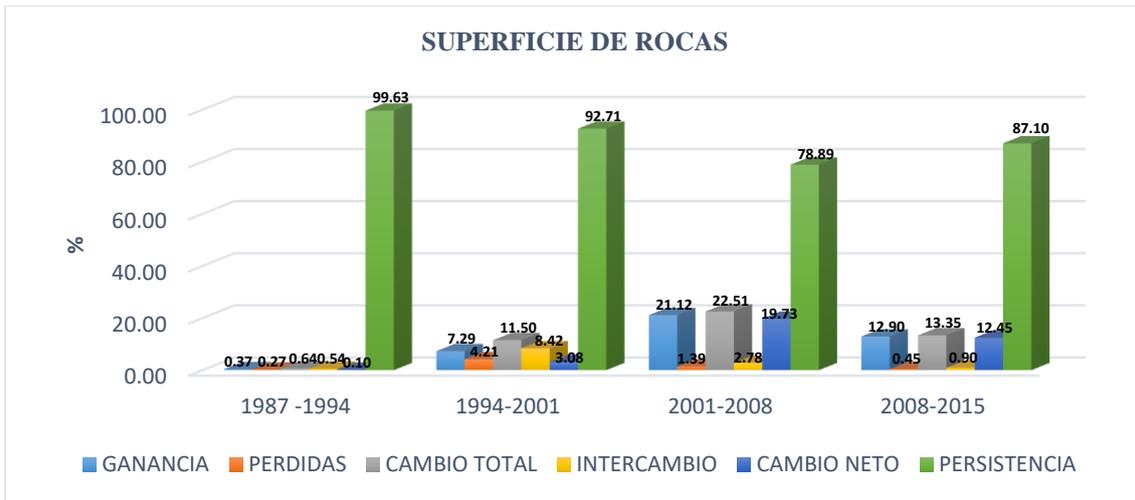


Figura 30. Índices de cambio (%) de variable Superficie de Rocas (SR)
Fuente: Elaboración propio 2019.

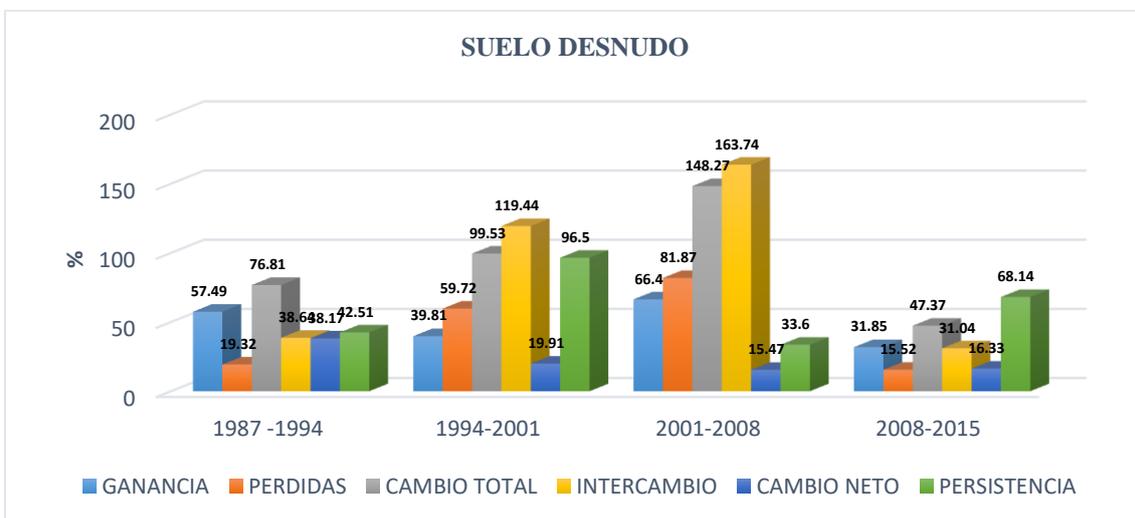


Figura 31. Índices de cambio (%) de variable Suelo Desnudo (SD).
Fuente: Elaboración propio 2019

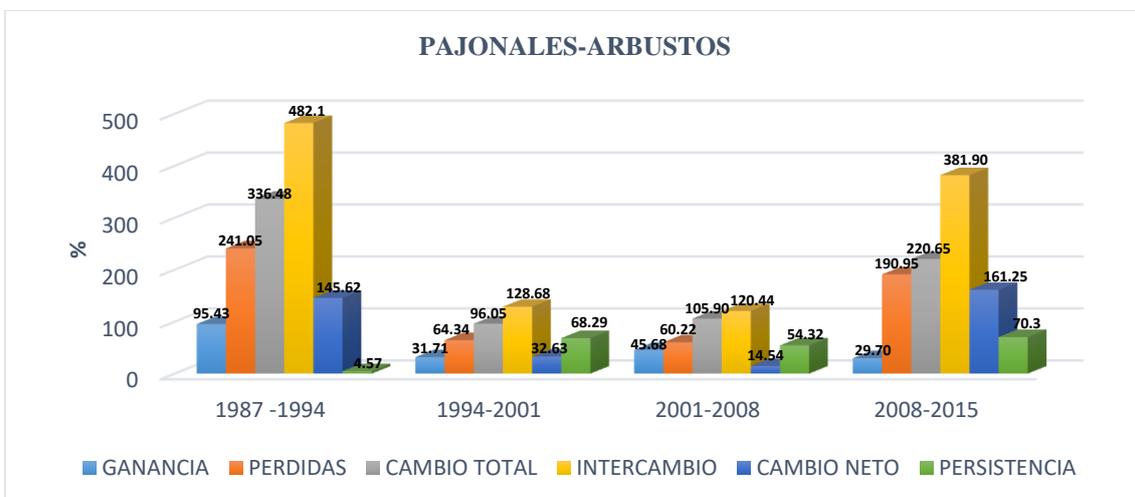


Figura 32. Índices de cambio (%) de variable Pajonales-Arbustos (PA).
Fuente: Elaboración propio 2019

4.5. TASA DE CAMBIO

La tasa de cambio, es el cambio ocurrido durante un período de referencia, normalmente un año. Puede ser expresado en términos absolutos (hectáreas por año) o en términos de porcentaje. Para calcular tasas anuales de cambio expresadas como porcentaje, se aplica normalmente la fórmula de interés compuesto:

$$q = \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{\frac{1}{(t_2 - t_1)}} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

Q = es la tasa anual de cambio expresada en porcentaje,

A1 = Superficie fecha inicial

A2 = Superficie fecha final

T2 y T1 = los años del estudio

El resultado de los procesos de cada de los variables y de cada de los periodos se muestra en la tabla 12 la clara variabilidad como los incrementos y decrementos de cada variable respecto a la tasa de cambio.

Tabla 12. Tasas de cambio y cambio neto de las variables (%) correspondientes a los años establecidos, respecto el área Total.

	BOFEDALES		PASTOS NATURALES		PAJONALES-ARBUSTOS		SUELO DESNUDO		SUPERFICIE DE ROCAS	
	Sup.	Tasa	Sup.	Tasa	Sup.	Tasa	Sup.	Tasa	Sup.	Tasa
1987	467	-	16588	-	11867	-	2430	-	109	-
1994	900	9.82	16817	0.20	5682	-9.99	5449	12.23	344	17.84
2001	833	-1.09	13365	-3.23	11228	10.22	5665	0.56	283	-2.75
2008	480	-7.58	8298	-6.58	17687	8.35	2737	-9.87	173	-6.86
2015	650	4.34	7806	2.42	18483	-1.68	3239	2.43	197	2.03
Promedio		-1.40		-1.81		1.86		1.34		9.62
Anual		-0.20		-0.26		0.27		0.19		1.37
Disminución C.N. en (ha) Anual		-24.10		-497.10						
Incremento C.N. en (ha) Anual						1500.01		16.59		1.38

C.N. = Cambio neto

Fuente: Elaboración propio 2019

La figura 33 se muestra la variación de las tasas de cambio para las 5 variables para cada periodo en donde el cambio más representativo respecto a su superficie pertenece a pastos naturales que en el primer periodo tubo una tasa de 0.20 %, en el segundo -3.23 %, para el tercer periodo -6.58 % y cuarto periodo tiene una ganancia 2.42 % respectivamente, de forma similar se puede interpretar para las otras variables de los periodos.

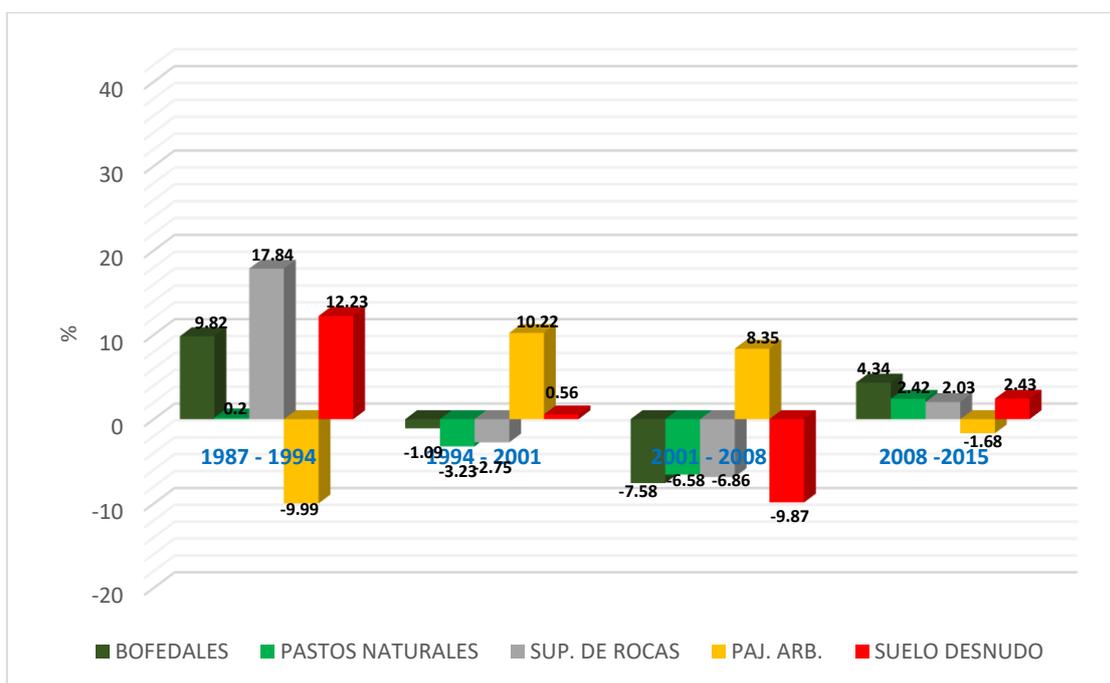


Figura 33. Tasas de cambio (%) correspondientes a las variables entre los años 1987 - 2015

4.6. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA HIPÓTESIS

Tabla 13. Prueba estadística no paramétrica de variable Bofedales (BOF).

RESUMEN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS			
HIPÓTESIS NULA	PRUEBA	SIG.	DECISIÓN
La mediana de las diferencias entre Periodo y Bofedales es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.043	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.05			

Fuente: Elaboración propio 2019

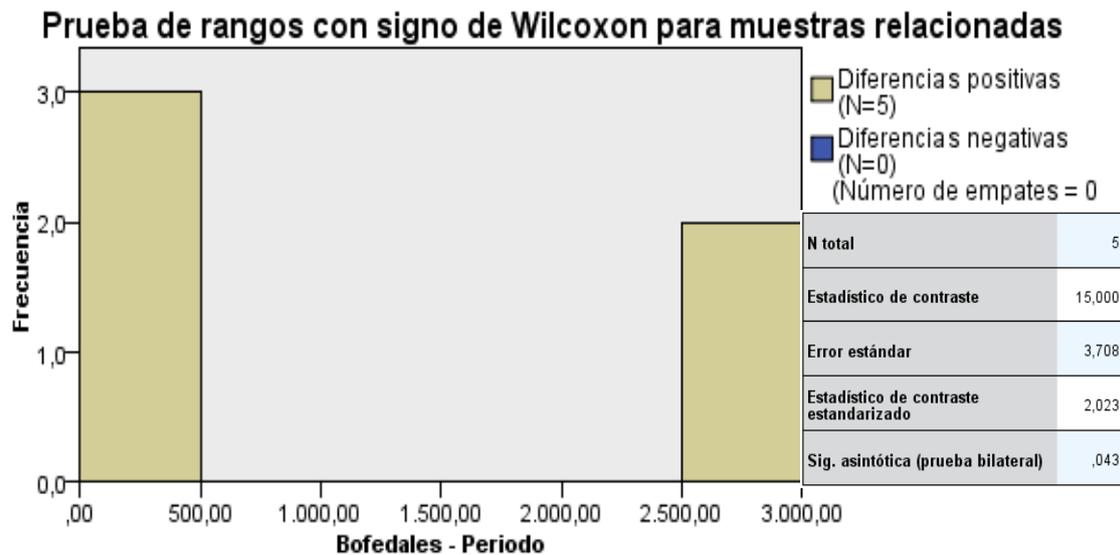


Figura 34. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas
Fuente: Elaboración propio 2019

Tabla 14. Prueba estadística no paramétrica de variable Pastos Naturales (PN).

RESUMEN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS			
HIPÓTESIS NULA	PRUEBA	SIG.	DECISIÓN
La mediana de las diferencias entre Periodo y Pasto Natural es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.043	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.05			

Fuente: Elaboración propio 2019

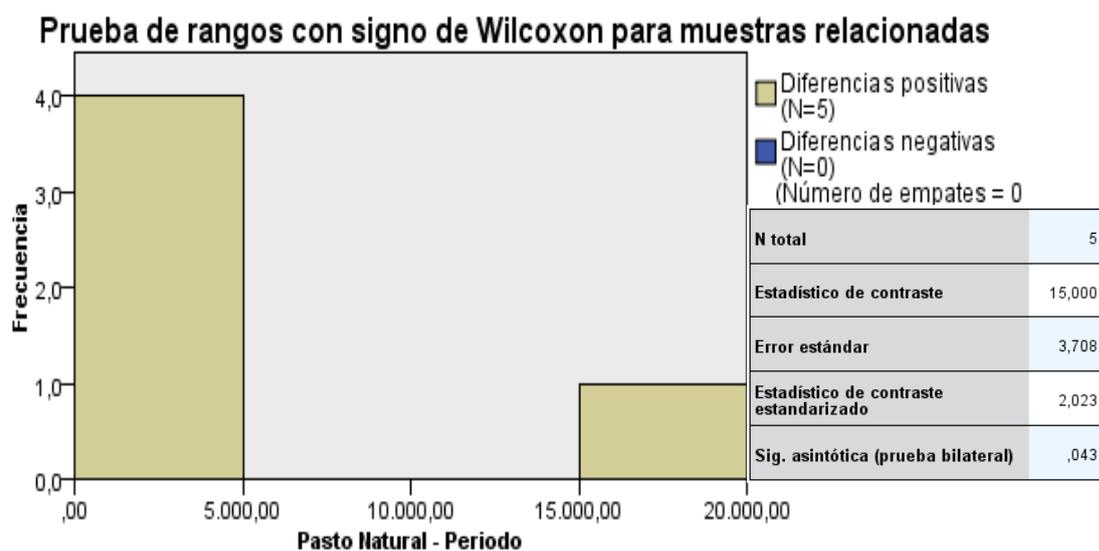


Figura 35. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas
Fuente: Elaboración propio 2019

Tabla 15. Prueba estadística no paramétrica de variable Superficie de Rocas (SR).

RESUMEN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS			
HIPÓTESIS NULA	PRUEBA	SIG.	DECISIÓN
La mediana de las Prueba de rangos con diferencias entre Periodo y Superficie de rocas es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.50	Retener la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.05			

Fuente: Elaboración propio 2019

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas

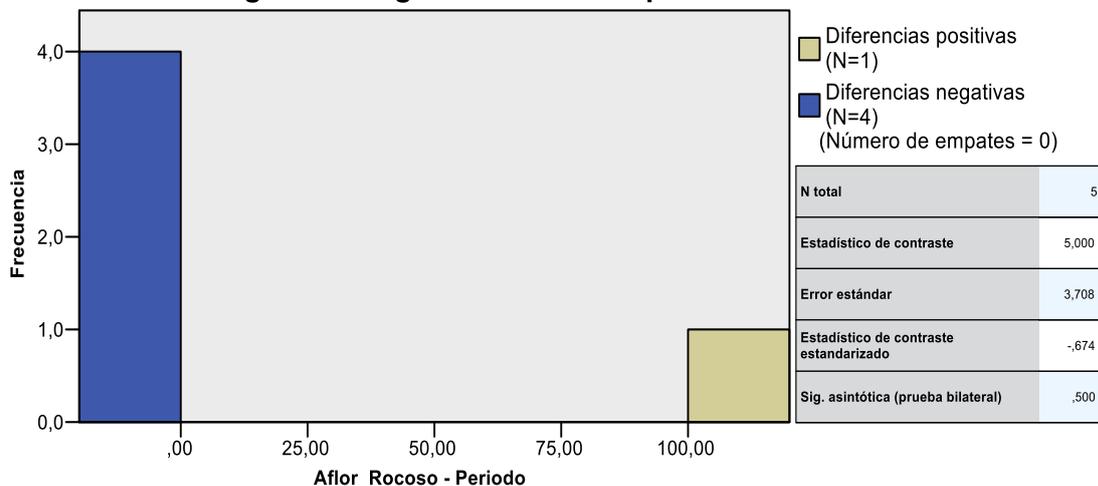


Figura 36. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas

Fuente: Elaboración propio 2019

Tabla 16. Prueba estadística no paramétrica de variable Suelo Desnudo (SD).

RESUMEN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS			
HIPÓTESIS NULA	PRUEBA	SIG.	DECISIÓN
La mediana de las diferencias entre Periodo y Suelo Desnudo es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.043	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.05			

Fuente: Elaboración propio 2019

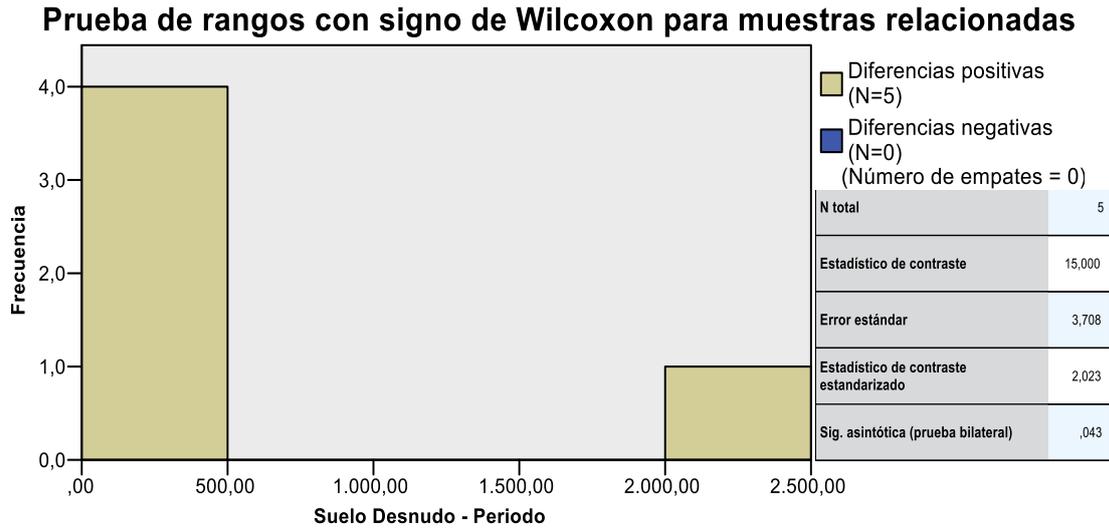


Figura 37. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas
Fuente: Elaboración propio 2019

Tabla 17. Prueba estadística no paramétrica de variable Pajonal-Arbusto (PA).

RESUMEN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS			
HIPÓTESIS NULA	PRUEBA	SIG.	DECISIÓN
La mediana de las diferencias entre Periodo y Pajonal-Arbusto es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.043	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0.05			

Fuente: Elaboración propio 2019



Figura 38. Prueba de rangos con signo de wilcoxon para muestras relacionadas
Fuente: Elaboración propio 2019

4.7. COMPARANDO RESULTADOS CON PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Los resultados obtenidos se realizaron en geostatística con la prueba de Kruskal Wallis, donde los datos de parámetros meteorológicos se llevaron a software ArcGis 10.6, para la interpolación y teniendo resultado los mapas.

Tabla 18. Comparación de parámetros meteorológicos

	1 (1987-1994)	2 (1994-2001)	3 (2001-2008)	4 (2008-2015)
Precipitación (mm/año)	690.6	744.1	860.8	634.6
Humedad relativa (%)	56.4	60.6	66.3	62.4
Temperatura (°C)	14.2	14.3	14.4	15
Evaporación (mm/año)	4.8	5.0	4.9	5.1
Velocidad de viento (m/seg)	9.2	9.41	8.9	9.4
Bofedales (ha)	4671.90	27366.21	27137.79	210.42
Pastos naturales (ha)	10440.90	10297.71	6223.50	6205.68
Pajonales-arbustos (ha)	5743.17	3560.49	8996.94	12764.52
Suelo desnudo (ha)	2653.29	2257.20	1818.27	1001.43
Superficie de rocas (ha)	1.08	20.61	36.45	31.77

Fuente: Elaboración propio 2019

La tabla 18 muestra datos de parámetros meteorológicos de la cuenca Zapatilla, para obtener los datos se realizó en ArcGis 10.6 en la caja herramienta de ArcToolbox y se procedió a la herramienta de extract by mask corte del área de estudio y donde se genera los valores viendo las isoyetas para interpretación de parámetros meteorológicos con estaciones zonales de la región de Puno, muestra en la mapa anexos 4 figura 33 a anexo figura 52 las interpolaciones, la isoyeta, isotermas e isotacas permitió visualizar isolíneas con diferentes datos. En el anexo 29 se interpreta la tabla 18 como se generó los datos para periodo 1 como base la precipitación $\bar{x}=690.6$ mm/año y en el periodo 4 se tiene 634.6 mm/año entonces descenso de la precipitación en los últimos años en la cuenca y de la misma manera se interpreta para los siguientes parámetros meteorológicos humedad relativa $\bar{x}=56.4$ %, temperatura $\bar{x}=14.3$ °C, evaporación $\bar{x}=4.8$ mm/año y velocidad del viento $\bar{x}=9.2$ m/seg. Así también se interpreta para las 5 variables como bofedales de Periodo 1 se tiene 4671.90 ha y periodo 4 bofedales tiene de 210.42 ha una disminución de áreas de bofedales en los últimos 28 años.

V. CONCLUSIONES

- ❖ El presente trabajo de investigación de la cuenca del río Zapatilla cuenta con área total de 31374.34 ha; se concluye resultados del objetivo 1 los cambios son significativos en los 28 años en pastos naturales se tuvo una pérdida de 497.10 hectáreas; en bofedales disminuyó un total de 24.10 hectáreas, así mismo en pajonales - arbustos incremento 1500.10 hectáreas y suelo desnudo se tiene un incremento de 16.59 hectáreas en los últimos 28 años.
- ❖ La cobertura rocosa presenta cambios significativos en la cuenca del río Zapatilla Ilave – Juli de la región de Puno. Donde la superficie de rocas del año base 1987 a 2015 un incremento de 1.38 hectáreas respecto a su superficie inicial.
- ❖ Se observó que los parámetros meteorológicos (temperatura, evaporación, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento), concluimos cada parámetro, temperatura periodo 1 a periodo 4 incrementó promedio anual 0.80 °C y del mismo periodo la evaporación incrementó 0.30 mm/añual, en cambio parámetro precipitación de periodo 1 a periodo 4 un descenso de -56 mm/ promedio anual. se concluye también parámetro humedad relativa se encontró alrededor de 62.4 % y la velocidad del viento ha incrementado 0.20 m/seg los cambios ocurridos los años 1987 a 2015 en la cuenca.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Implementar las estrategias del manejo y conservación de suelos como la rotación de cultivos en áreas permanentes de producción agrícola, la siembra en contornos o en curvas a nivel y la plantación de cultivos de cobertura vegetal (especies forestales nativas) que puedan proteger al suelo de las agresiones de la pérdida de cobertura vegetal y también implementar estudios de investigación a través de la teledetección para el estudio de los ecosistemas vegetales naturales en la cuenca Zapatilla, ya que el análisis multitemporal de la dinámica de cambio en la cobertura del suelo refleja a través del tiempo una dinámica de cambio en contra de la cobertura vegetal natural.

- ❖ Se recomienda a las autoridades locales y de región que den iniciativa estudio de un proyecto de construcción de terrazas, diques. Para formación del suelo, para incrementar la fertilidad del suelo y así evitar la extensión de superficie de rocas en la cuenca Zapatilla.

- ❖ Se recomienda que la presencia de fenómeno de precipitaciones pluviales, temperatura, evaporación, humedad relativa y velocidad del viento es frecuente e inevitable, tomar medidas de prevención podemos contribuir a la buena práctica de silvicultura.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álzate, E. (2001). *Imágenes espaciales de la superficie terrestre. Procesamiento digital, análisis y extracción de información temática. Departamento de geografía.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 61 p.
- Bocco G.; Mendoza, M. E. & Masera, O. (2001). *La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, Boletín N° 44. Instituto de Geografía - UNAM - México.* 18-38 p.
- Bustamante, R. & Grez. A. (2009). *Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. Ciencia y ambiente, 11(2): 58-63.*
- Cárdenas, O. (2005). *Ordenamiento ecológico e impacto ambiental: tendencias globales en el cambio de uso del suelo.* Universidad de Guadalajara. México. 7 p.
- Cabana, E. (2017). *Dinámica de Cambio en la Cobertura/Uso del Suelo, Caso Distrito de Paratia – Puno Periodo (1888 – 2016). De Ing. Agronómica, UNA Puno - Perú.*
- Cervantes, E. (2012). *Zonificación y análisis de la potencialidad agrícola y forestal de las tierras UNA-Puno.* pp. 85 - 89.
- Conservación de los recursos naturales es fundamental sostener la viabilidad del planeta (Morales y Tullume, 2015 p. 8).
- CEPAL. (2014). *La Economía del Cambio Climático en el Perú.*
- Chuvienco, E. (2002). *Teledetección Ambiental.* Barcelona, España.

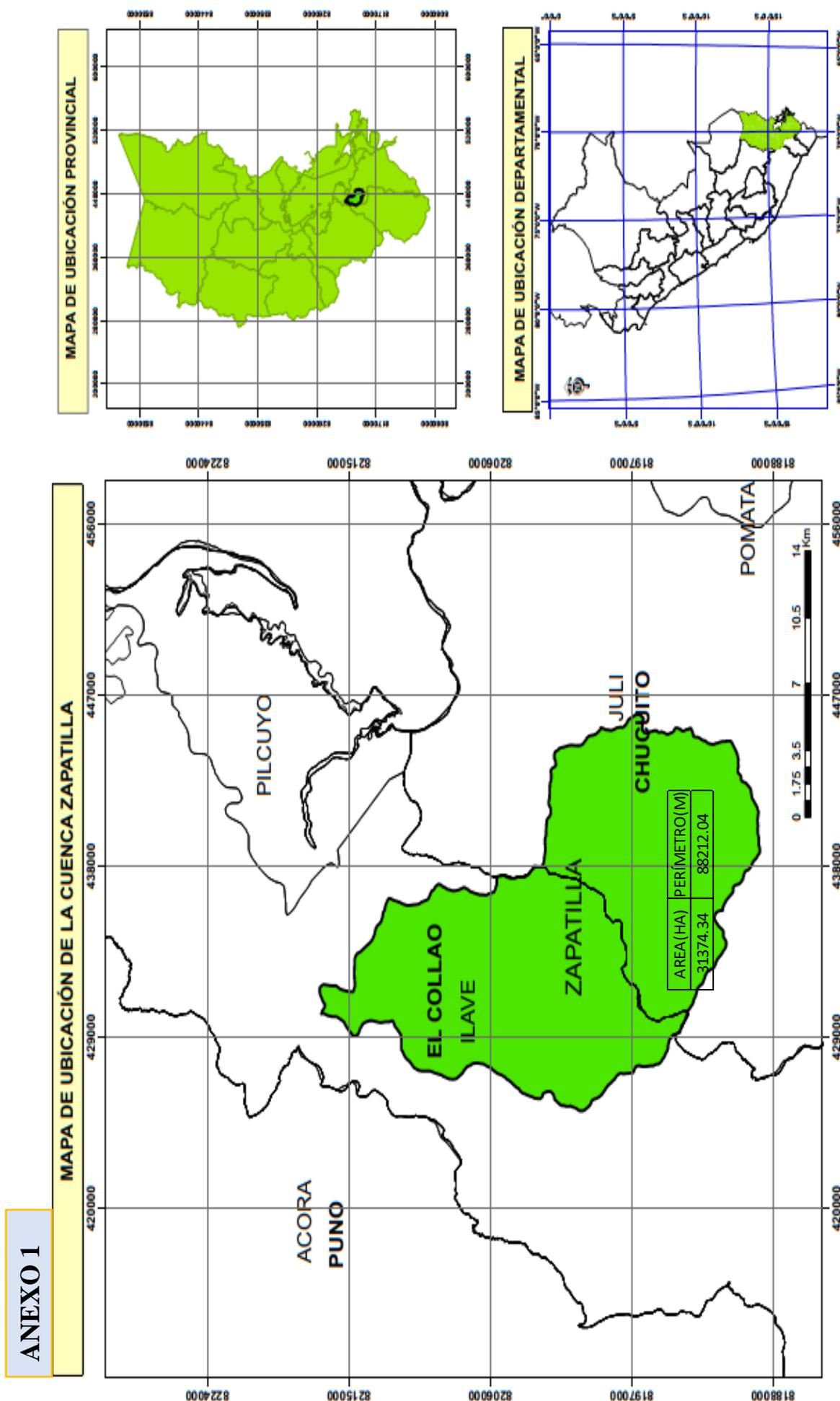
- Dalence, S.; J. GUTIERREZ; G. GUZMAN & G. SEGOVIA. (1999). *Levantamiento semidetallado de suelos en el valle alto. Zona Punata - Arani. Informe de trabajo de campo*. CLAS. Cochabamba-Bolivia. 56 p.
- Eyer, W.B. y B.L. Turner II. (1992), "*Crecimiento de la población humana y uso global de la tierra / cambio de cobertura*", Annu. Rev. Ecol. Syst., N° 23, 39-61 p
- Esteban, V. H. H. (2013). *Identificación y análisis multitemporal de cuatro bofedales en el altiplano norte del departamento de La Paz* (Ulla Ulla, Ancoraimes, Peñas y Tuni Condoriri) (Tesis de Grado), Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Eatsman, R.J. (2003). *IDRISI kilimanjaro. Guía para el SIG y Procesamiento de Imágenes*. Clark University. Manual Versión 14. USA. 312 y 105 p.
- FAO. (1995 y 2000). *Cambios en la cobertura forestal. programa de evaluación de recursos forestales (FRA)*. Documento de Trabajo 36. Roma.55 p.
- Fernández Ignacio & Herrero II. Eliecer. (2001-2008). *El satélite landsat. análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite landsat. área de ingeniería cartográfica, geodesia y fotogrametría*. Universidad de Valladolid. Palencia.
- FAO, (2014). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*.
- Farías, G; Dimundo, C. (2003). *Clasificación No supervisada con Imágenes NDVI*. (en línea). Argentina. Consultado 17 de abril 2012. Disponible en: <http://www.ciomta.com.ar/downloads/clasificacionnosup.pdf>.

- Fernández – Copel, (2001). *El Satelite Landsat. Analisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat. (en línea). Valladolid-España. Consultado 25 de Sep.2012. Disponible en: <http://web.usal.es/~manuel.quiros/landsat-analisisvisual.pdf>*
- Gutiérrez, Y. (2016). *Determinación de la dinámica espacial de bofedales mediante imágenes satelitales landsat frente a escenarios del cambio climático en la cuenca del río Coata durante el Período de 1984 - 2016. De Ing. Topográfica y Agrimensura. UNA Puno - Perú.*
- Guaillas, V. (2015). *Análisis de Cambio de Usos del Suelo Multitemporal en el Cantón Cuenca. De Departamento de Posgrados Maestría en Geomática con Mención en Ordenamiento Territorial. Ecuador.*
- Hernán. Matías, (2005). *Estudio de Detección de Cambios con Multispec. Clasificación supervisada Multispec. Argentina. Universidad CAEICI Técnicas Espaciales de Análisis. pp. 2 - 10.*
- IIRSA-SUR. (2006). *Análisis de la deforestación - EISA corredor vial interoceánico sur*, Turpo, Y. (2016). *Determinación de Retroceso Glaciar de la Cordillera la Raya Mediante Imágenes Satelitales Landsat, 1975 - 2013. De Ing. Topográfica y Agrimensura. UNA Puno - Perú.*
- Lillo, J., (2006). *Impactos de la minería en el medio natural. Grupo de Geología. Universidad Rey Juan Carlos. 35 p.*
- Lopez, D. Martinez (2016). *Análisis de cambio de cobertura en imágenes de satélite del tramo 3 de la carretera interoceánica (IIRSA – SUR) entre los años 2005 – 2012. Ing. Forestal, Universidad Nacional Agraria La Molina.*

- M. Labrador, A. Évora, M. Arbelo Pérez. (2012). *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio*.
- Martino, D. (2007). *Deforestación en la Amazonía: principales factores de presión y perspectivas*. Revista del Sur N° 169. Enero / febrero 2007. 3-22 p.
- Morales Godo, Ángel y Tullume Chavesta, Milton. (2015) *Gestión de almacenamiento de carbono en la conservación de bosques secundarios del Perú*. 1a ed. Lima, Perú: JL Impresiones & Outsourcing S.A.C., 2015. 188p.
- MPJ – Municipalidad Provincial de Jaén. (2007). *Plan maestro del área de conservación municipal “Bosques de Huamantanga”*, Jaén 2007-2016. Jaén – Perú.
- Mostacedo y Todd. (2007). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR) USAID, PL480. Santa Cruz, Bolivia. 87p.
- MM – Municipio de Miranda (2000).
- M. Gallardo y J. Martínez-Vega., Terradas. (2012). *Cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid: Analizando el pasado y simulando el futuro*. Madrid.
- Ñique A., M.; Gutiérrez G., R.; Vivar L., L.; Durand T., E. & Verastegui P., M. (2006). *Experiencias de educación ambiental no formal en áreas adyacentes*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, (2015). Recuperado de, <http://www.fao.org/3/a-i4910s.pdf>

- Peña, Parimbelli, Hernán. Matías. (2005). *Estudio de Detección de Cambios con Multispec. Clasificación supervisada Multispec. Argentina. Universidad CAEICI Técnicas Espaciales de Análisis. pp. 2 - 3.*
- Quiroz, R. (2011). *Evaluación de Cambios en la Cobertura y Uso de la Tierra con Imágenes de Satélite en Piura – Perú.*
- Sardón, S. y S, Mamani. (2012). *Modelación de las potencialidades de tierras, Agua y Propuesta de Manejo Agroforestal Aplicado el Sistema de Información Geográfica y Teledetección del Cip Ituata. pp. 30 - 32*
- Tullume Chavesta, Milton C. (2015). *Influencia del almacenamiento de carbono en la conservación de los bosques secos aéreos del Perú. Caso: bosque seco aéreo del Pomac-región Lambayeque, periodo 2015-2016. Tesis (Doctor en Medio ambiente y desarrollo sostenible). Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villarreal, Escuela Universitaria de Post Grado, 69p*
- Taípe, M. (2011). *Zonificación de áreas de riesgo por erosión hídrica y medidas de mitigación en la cuenca del rio Zapatilla. De Ing. Agrícola. UNA Puno – Perú.*

ANEXOS

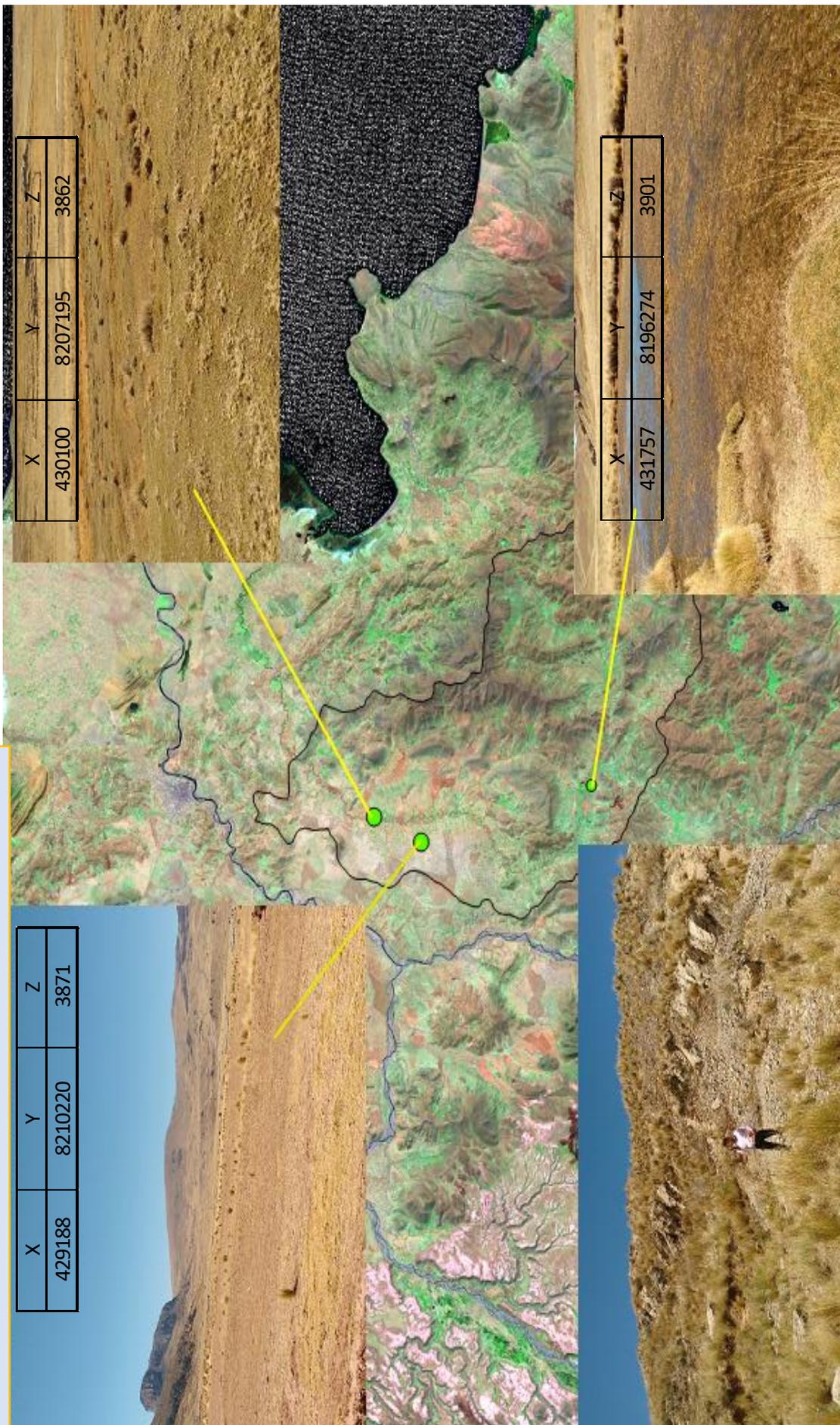


ANEXO 2. Puntos de control

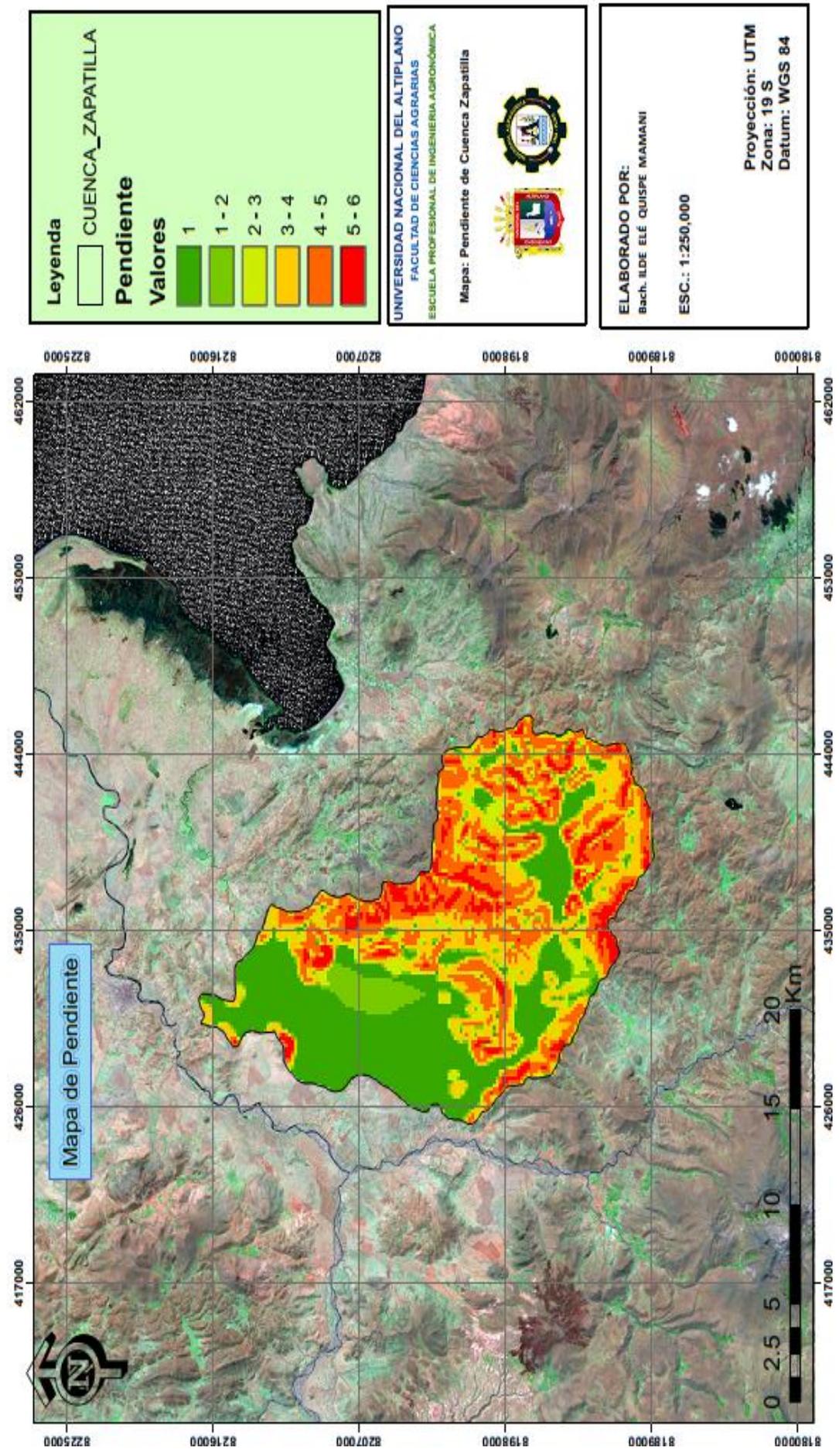
X	Y	Z
429188	8210220	3871

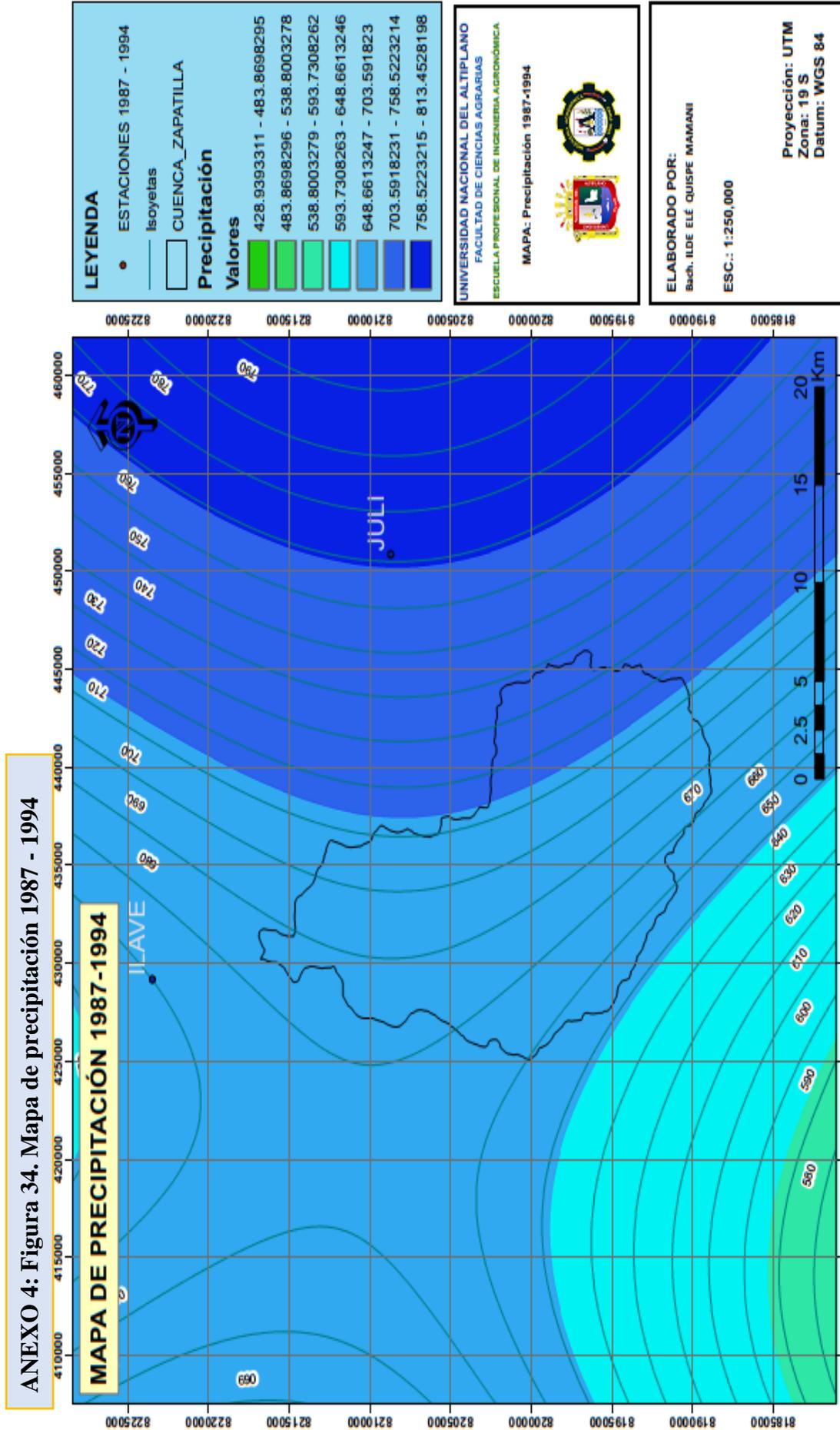
X	Y	Z
430100	8207195	3862

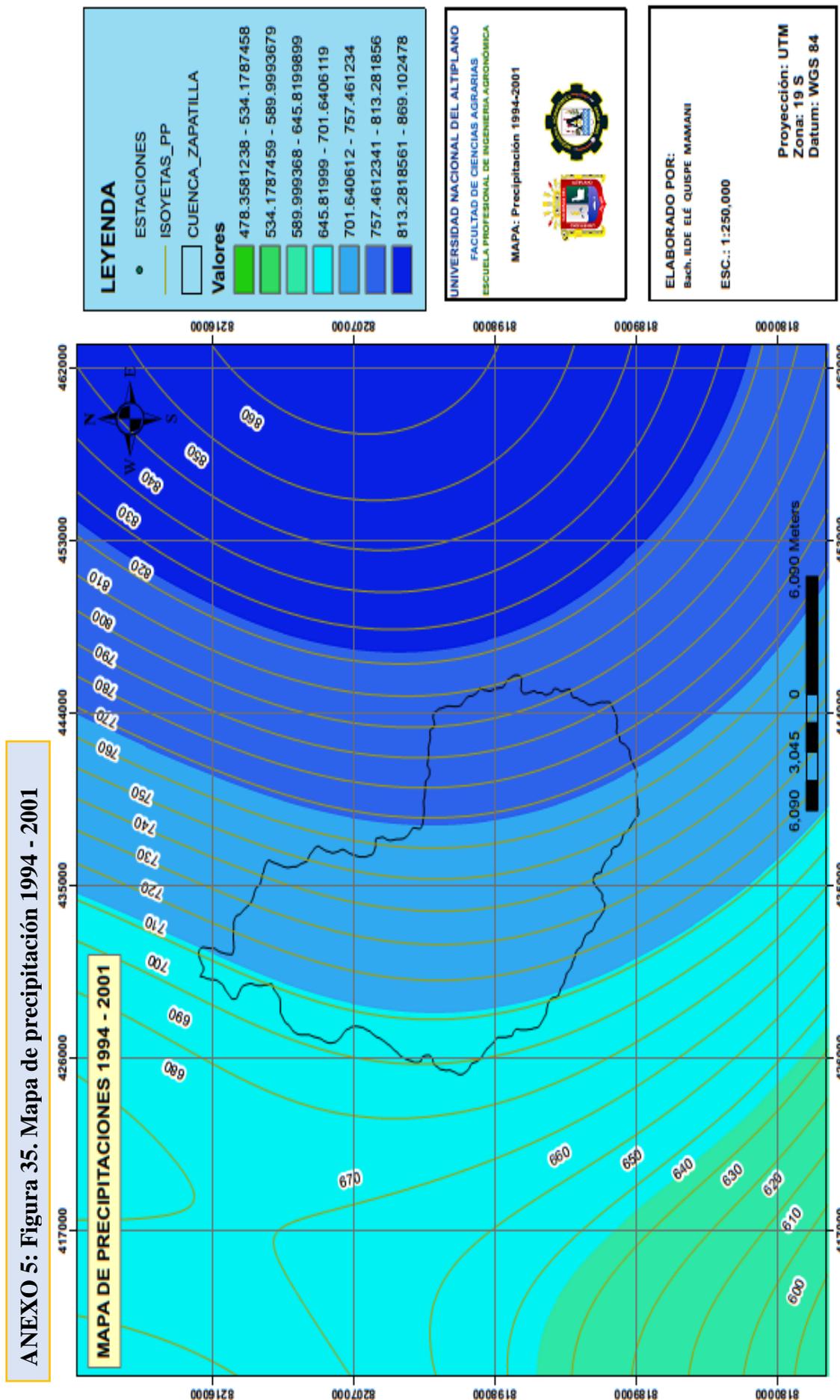
X	Y	Z
431757	8196274	3901

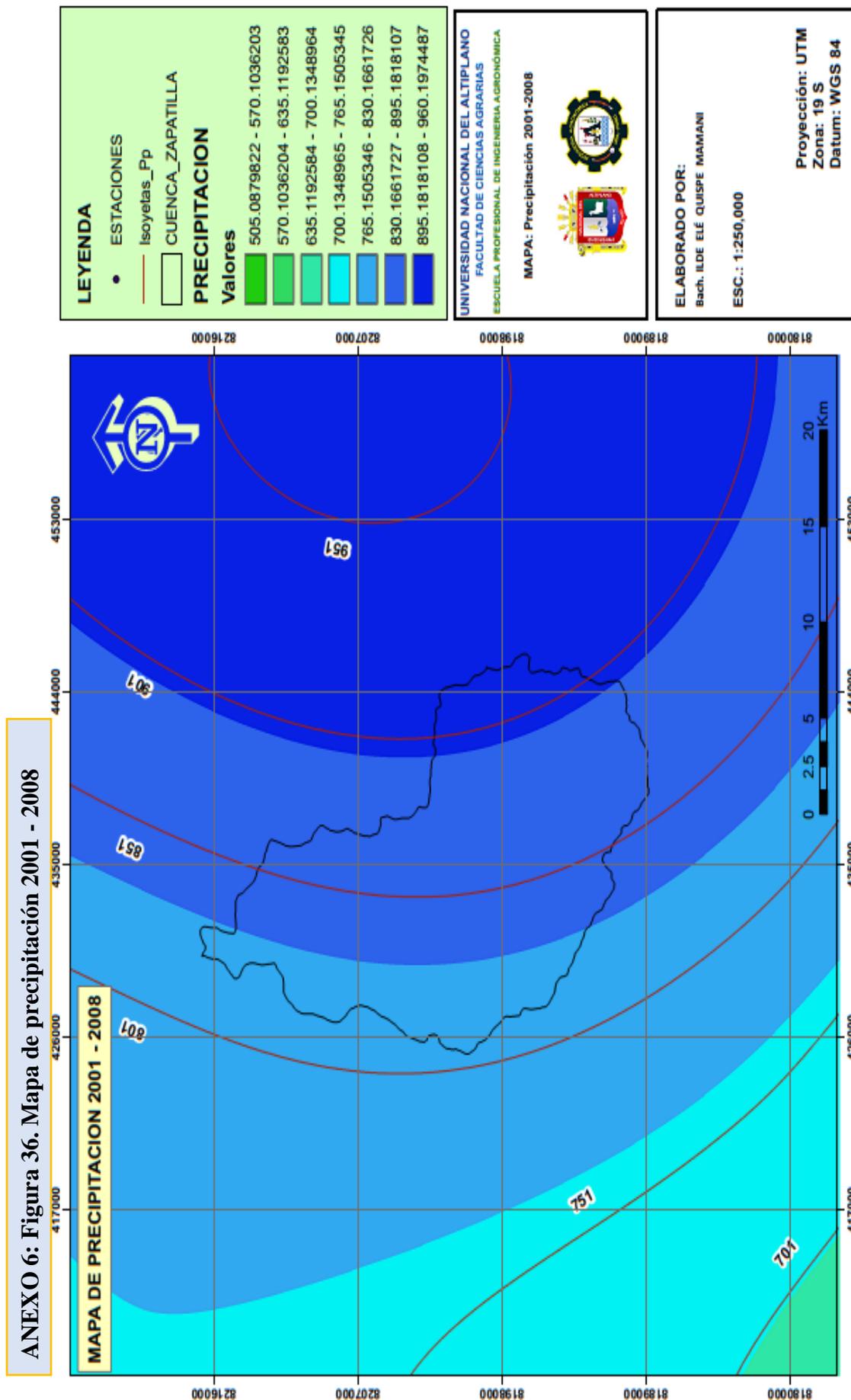


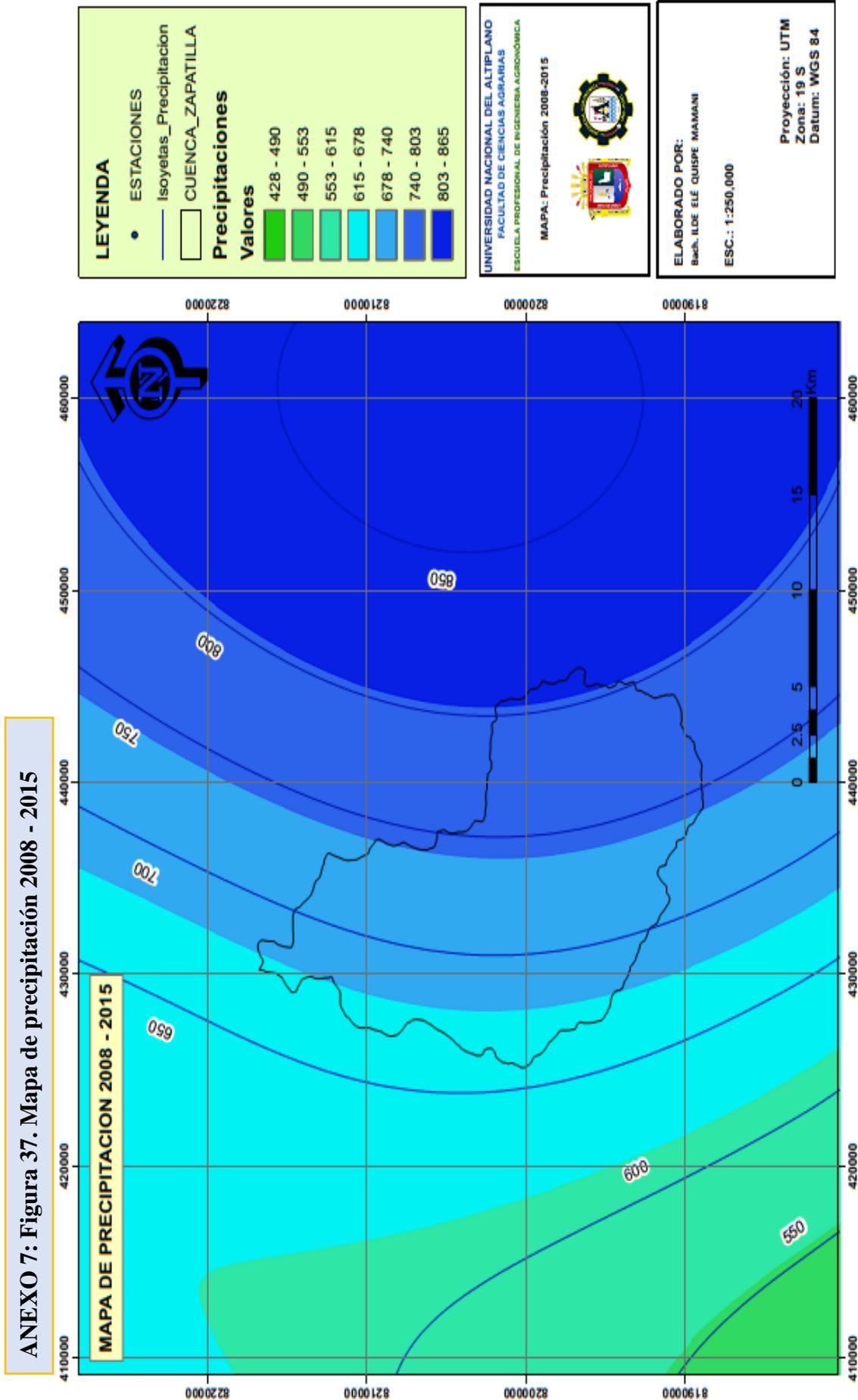
ANEXO 3. Mapa de pendiente de la cuenca Zapatilla

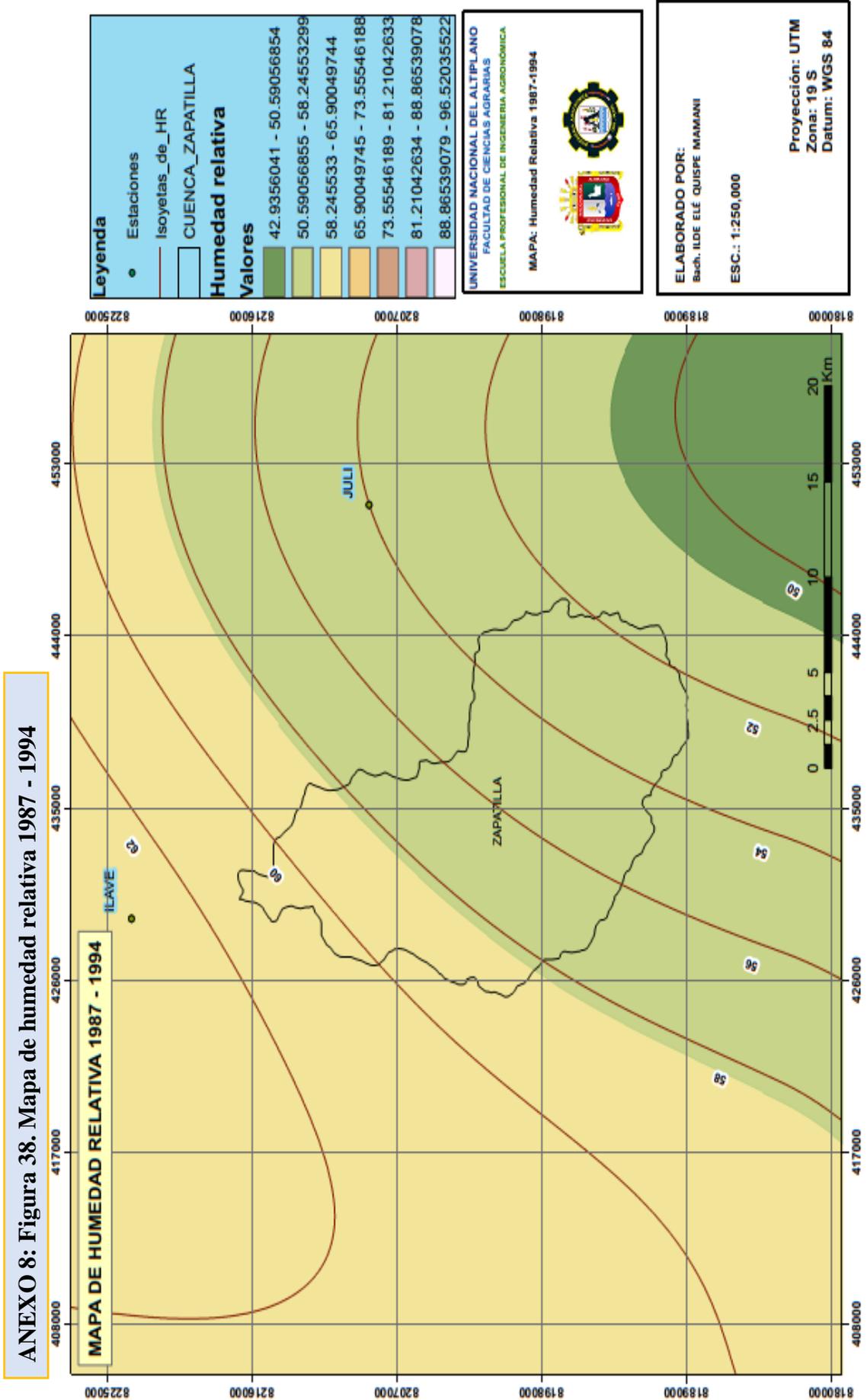




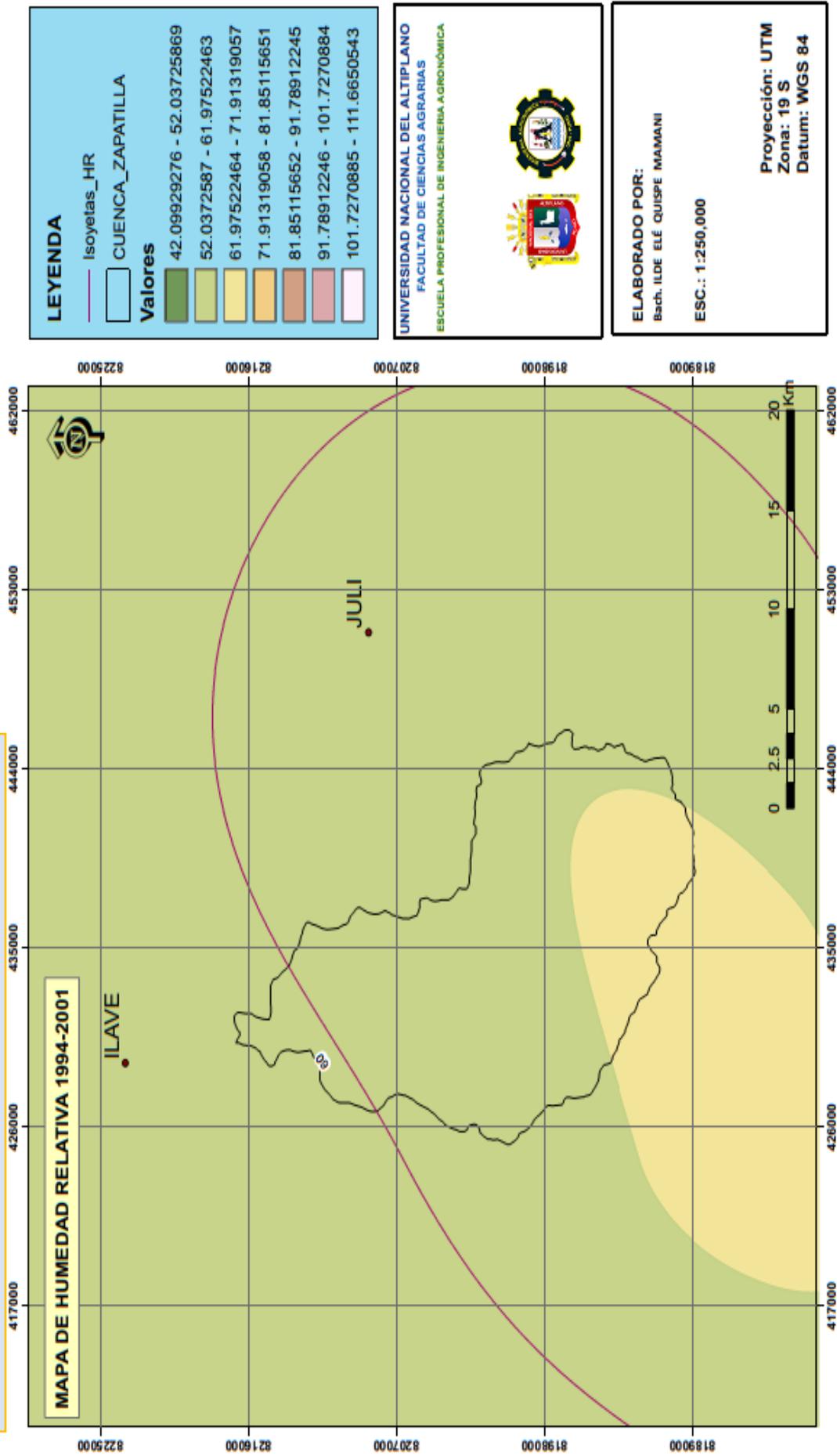




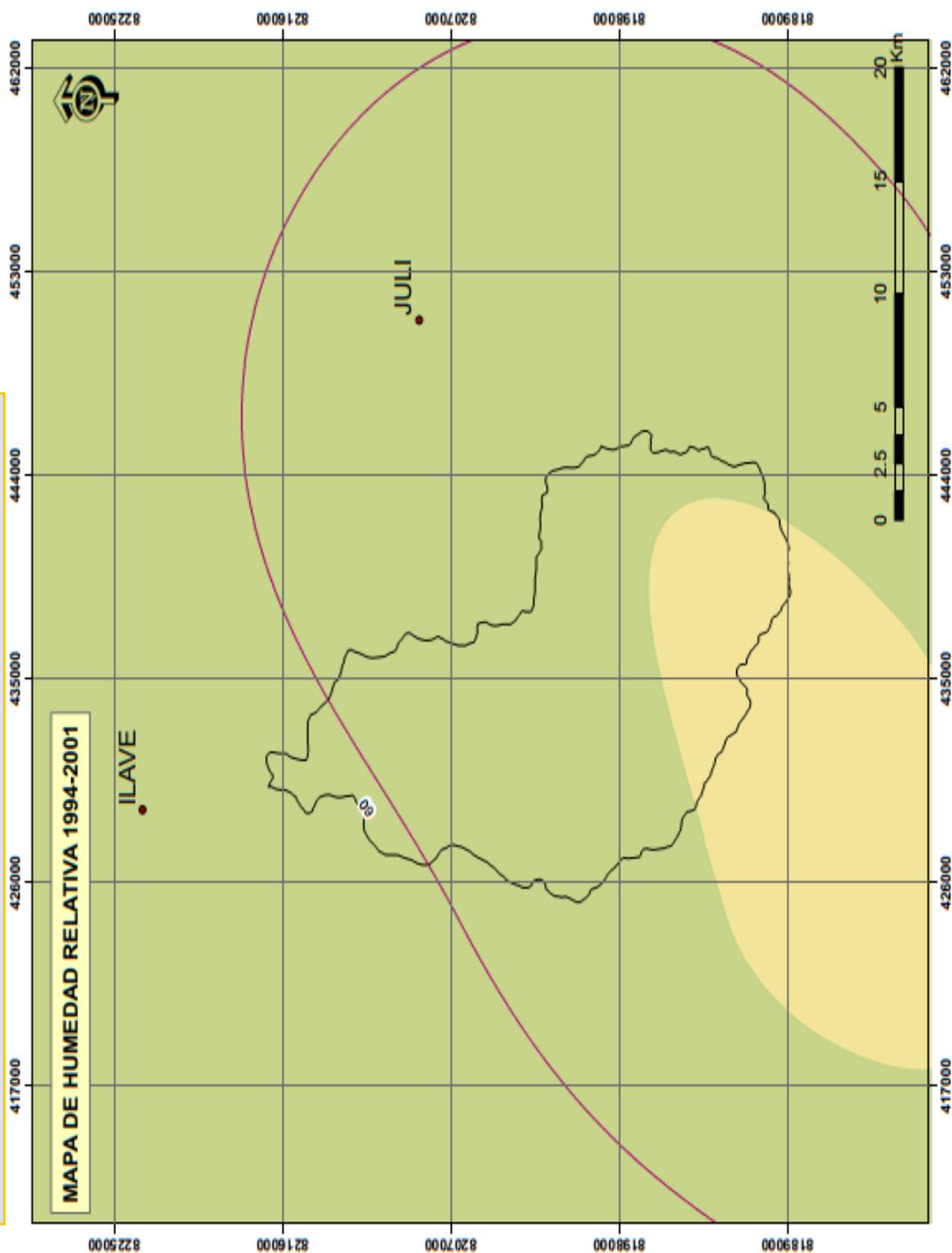




ANEXO 9: Figura 39. Mapa de humedad relativa 1994 - 2001



ANEXO 10: Figura 40. Mapa de humedad relativa 2001 - 2008



LEYENDA

— Isoyetas_HR

□ CUENCA_ZAPATILLA

Valores

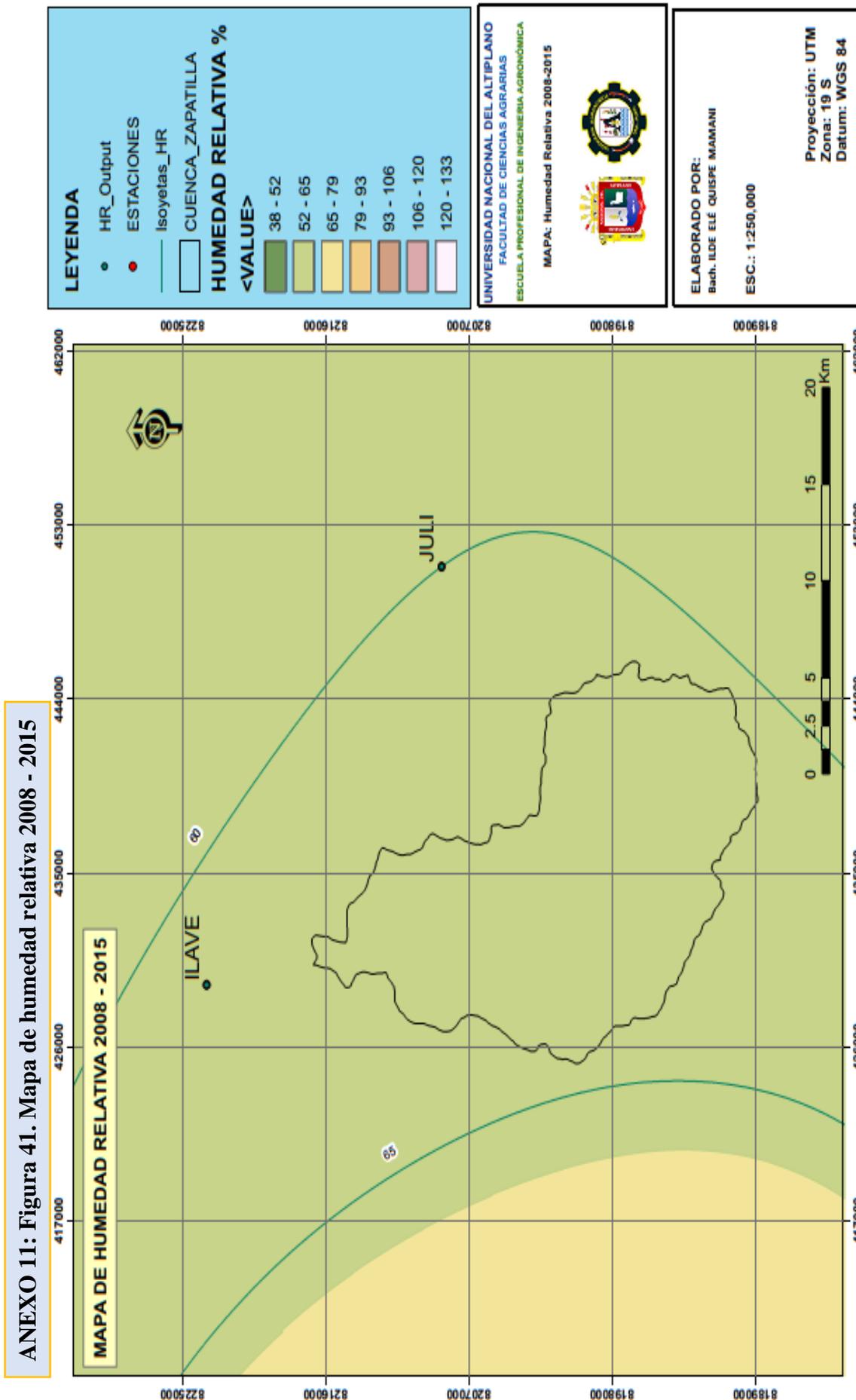
42.09929276 - 52.03725869
52.0372587 - 61.97522463
61.97522464 - 71.91319057
71.91319058 - 81.85115651
81.85115652 - 91.78912245
91.78912246 - 101.7270884
101.7270885 - 111.6650543

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONÓMICA

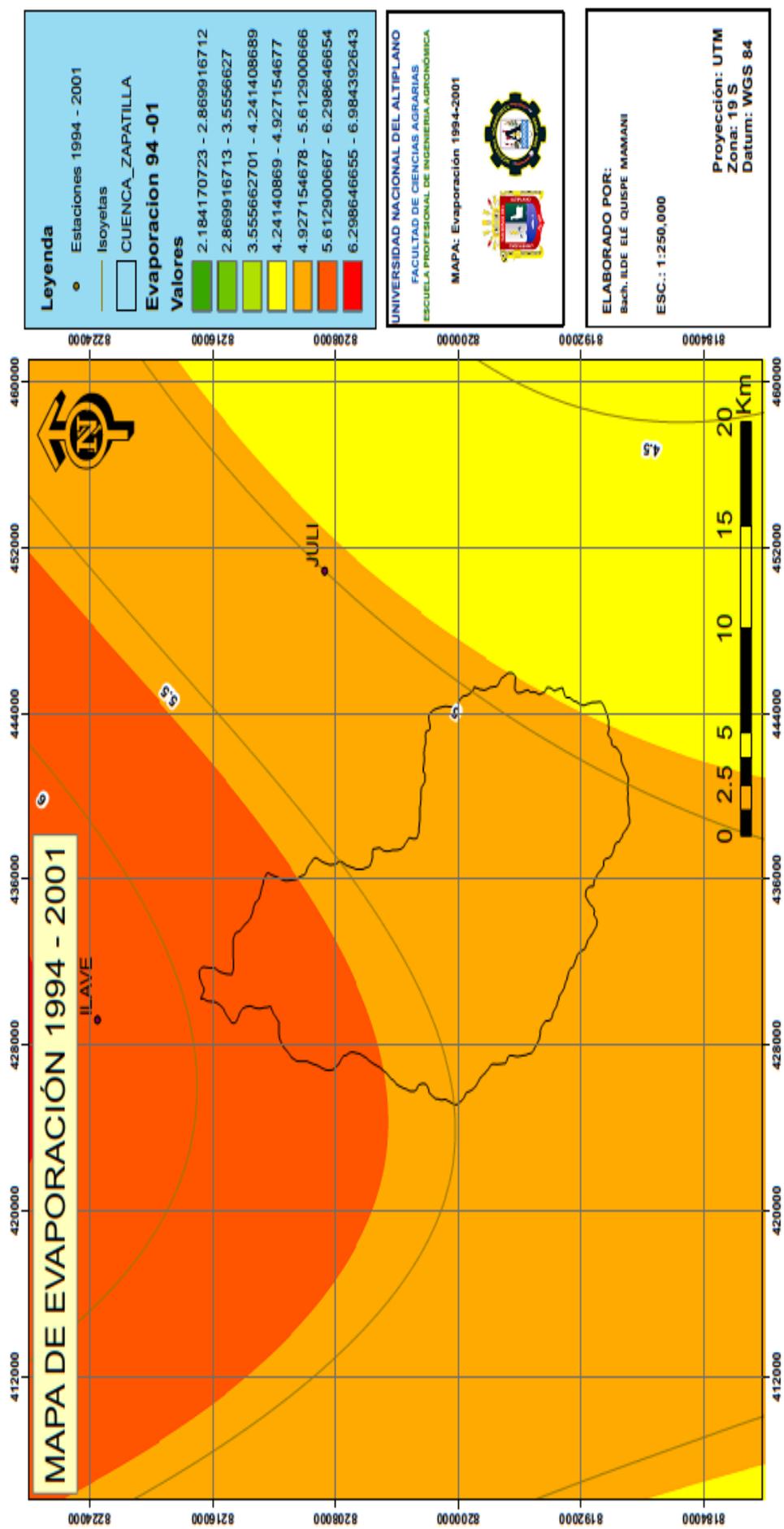
ELABORADO POR:
Bach. ILDE ELÍ QUISPE MAMANI

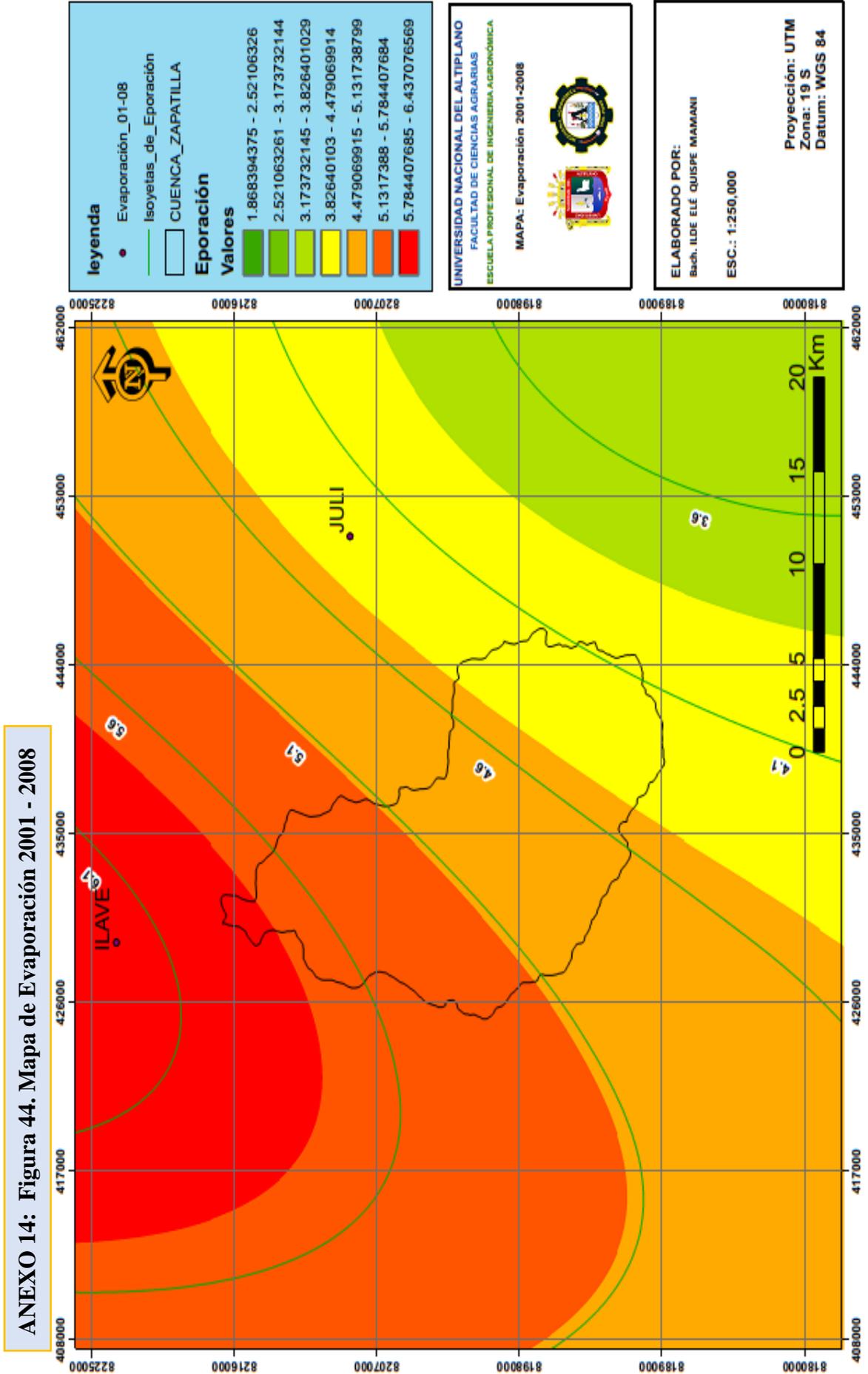
ESC.: 1:250,000

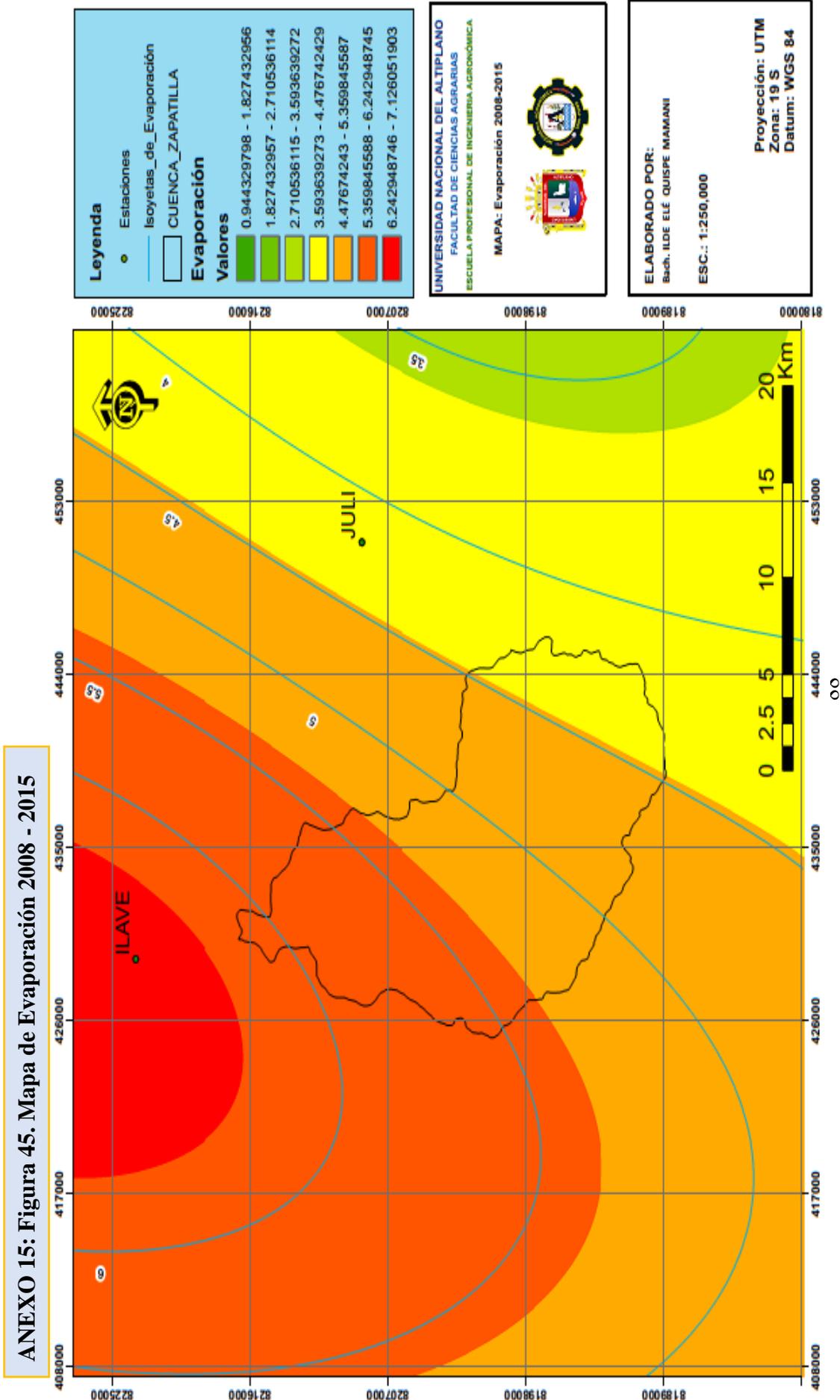
Proyección: UTM
Zona: 19 S
Datum: WGS 84

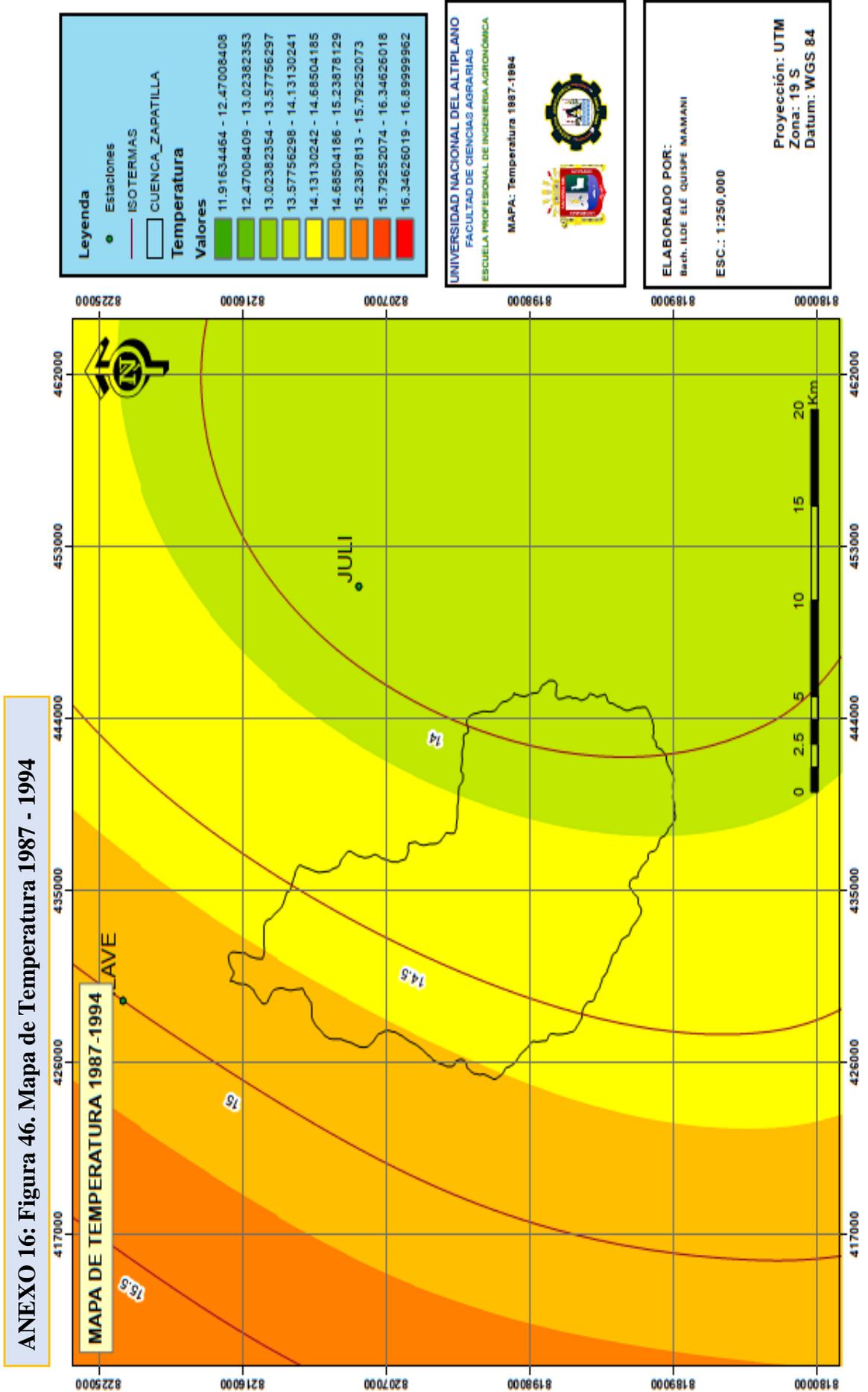


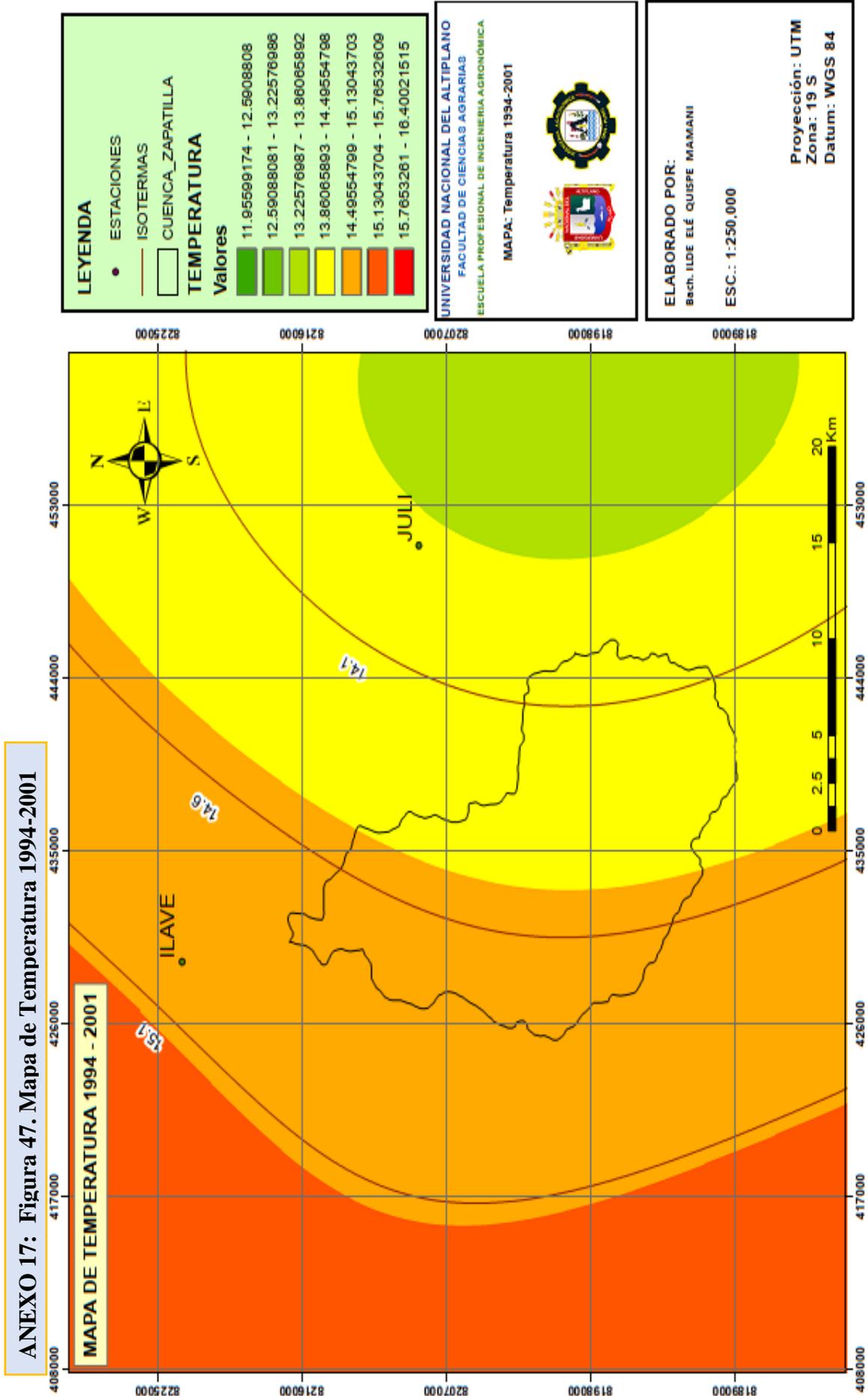
ANEXO 13: Figura 43. Mapa de Evaporación 1994 - 2001

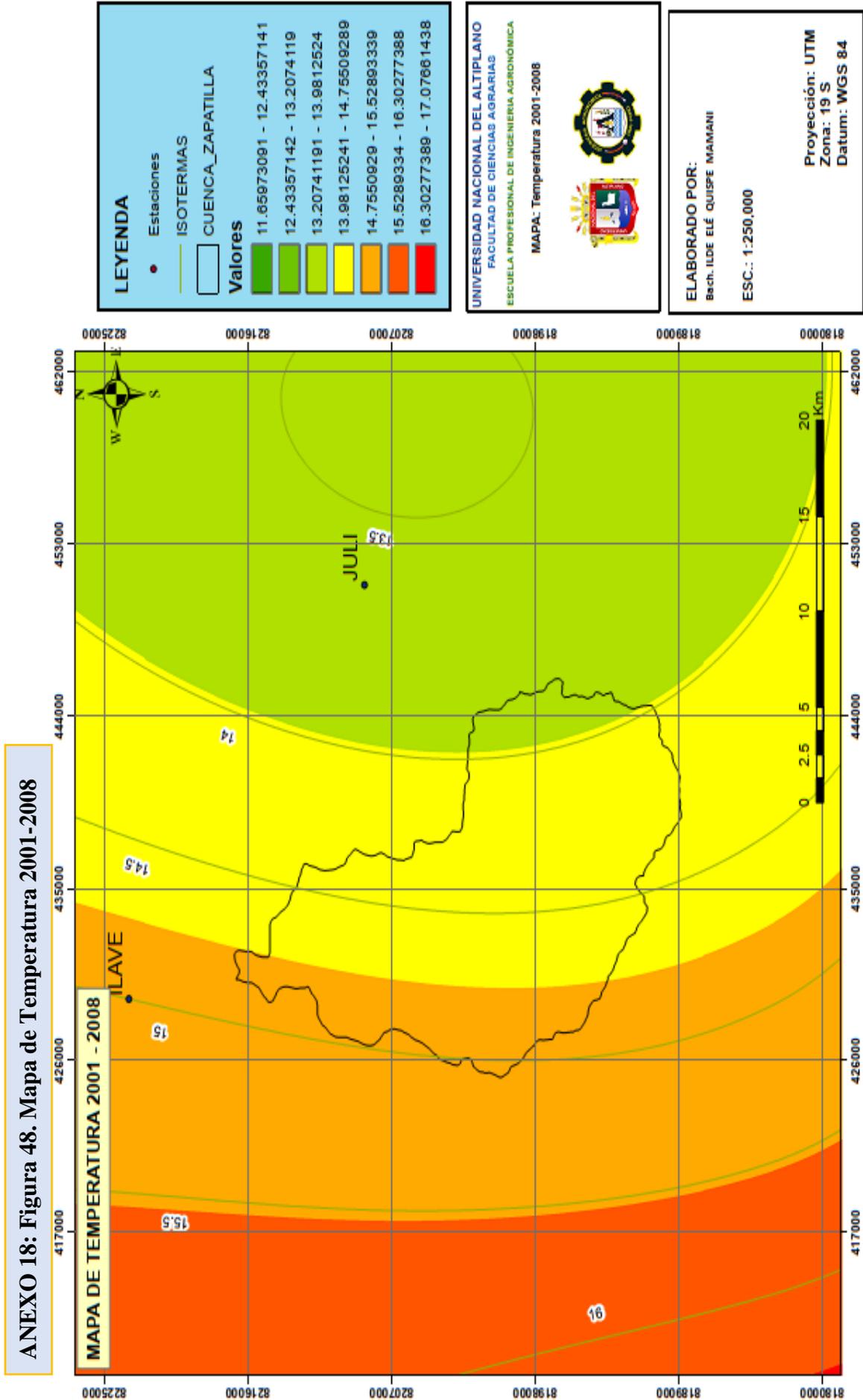


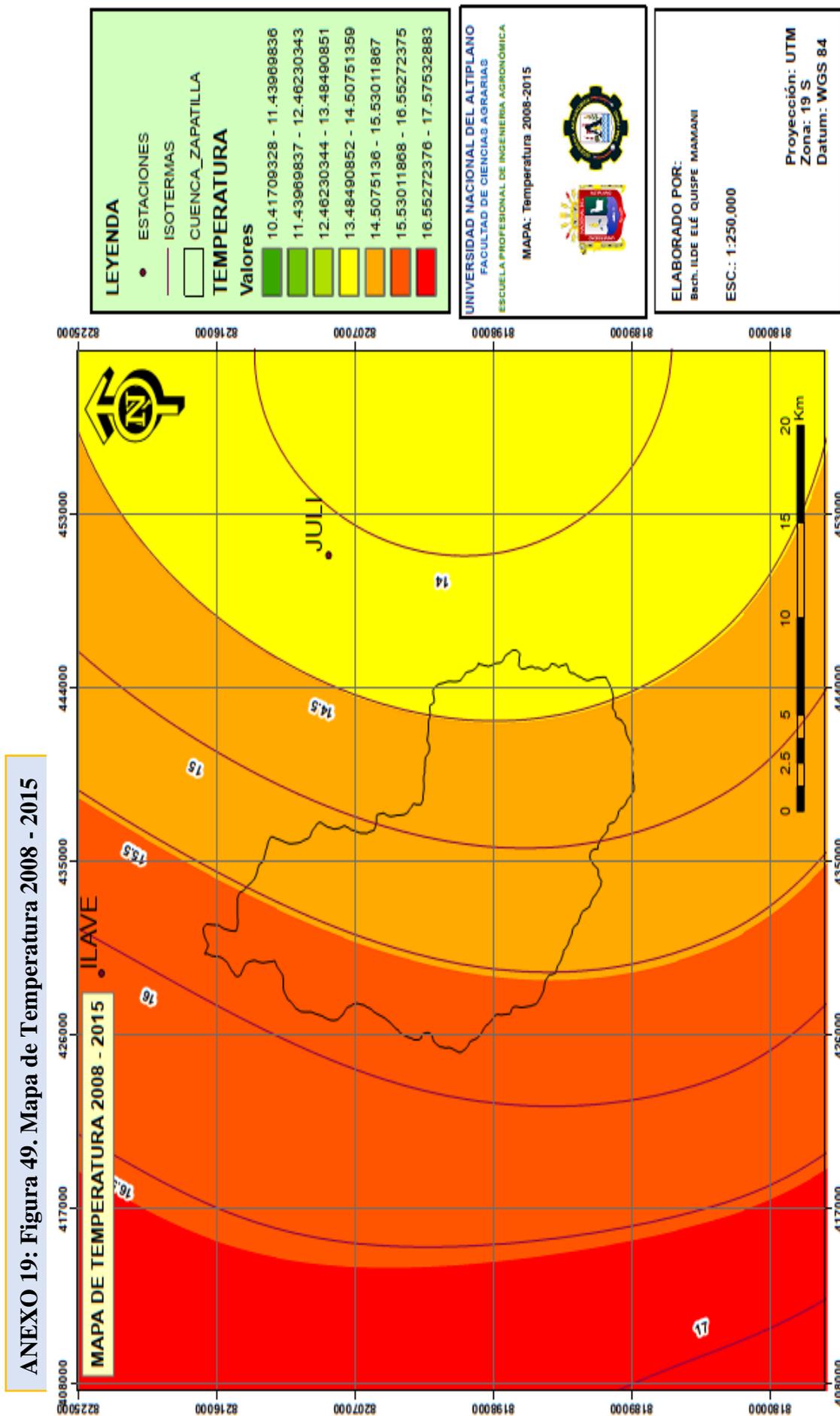


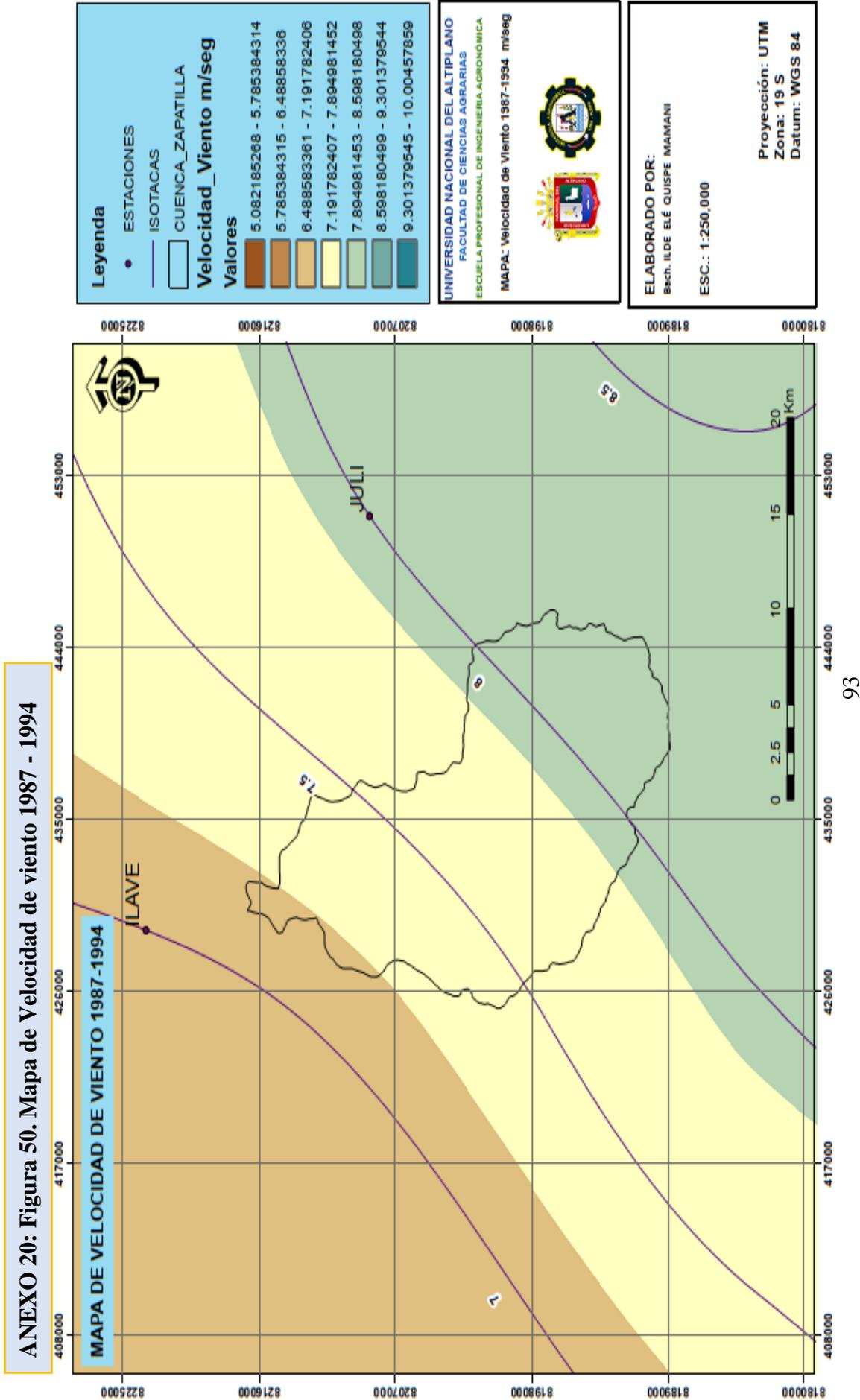


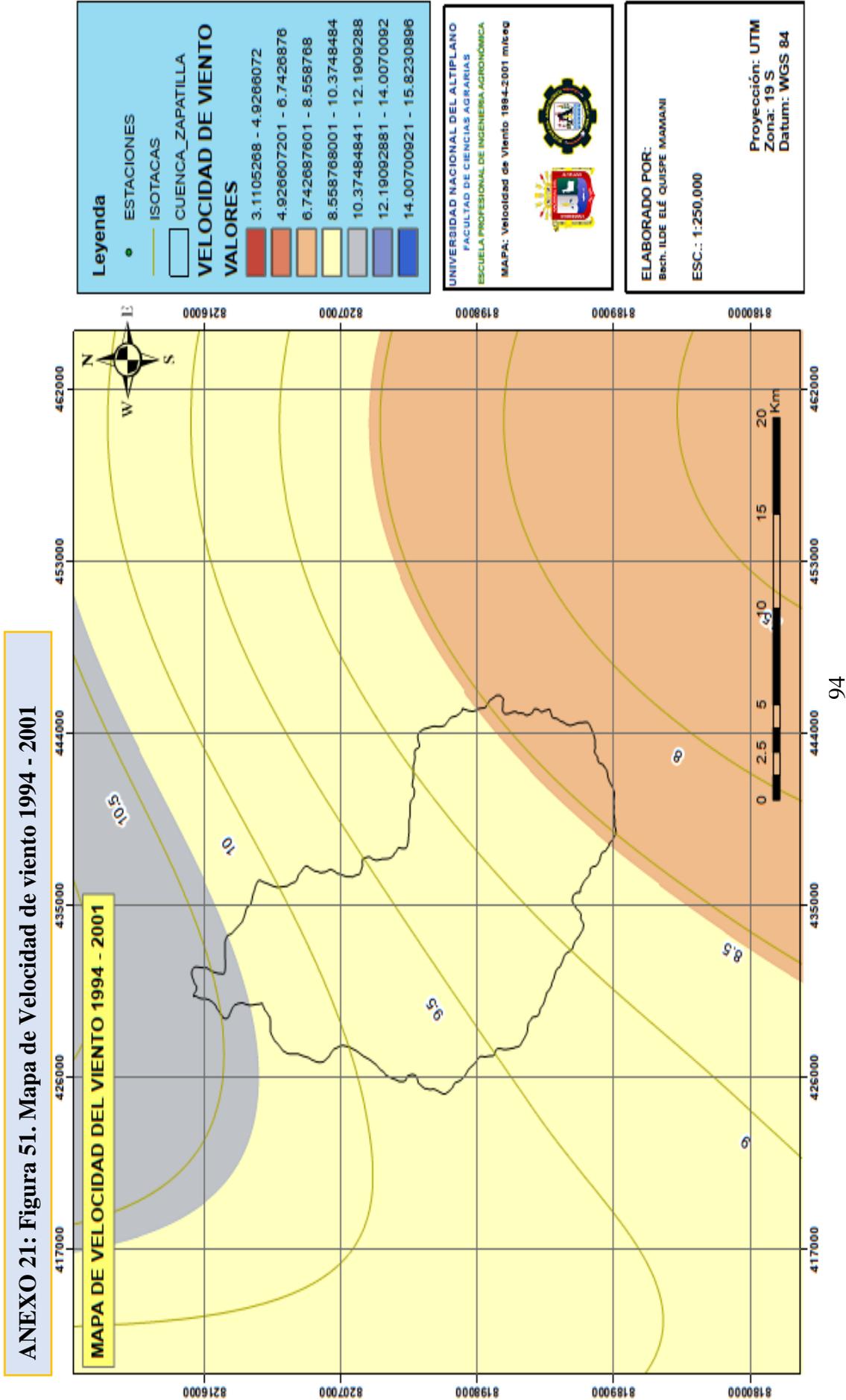


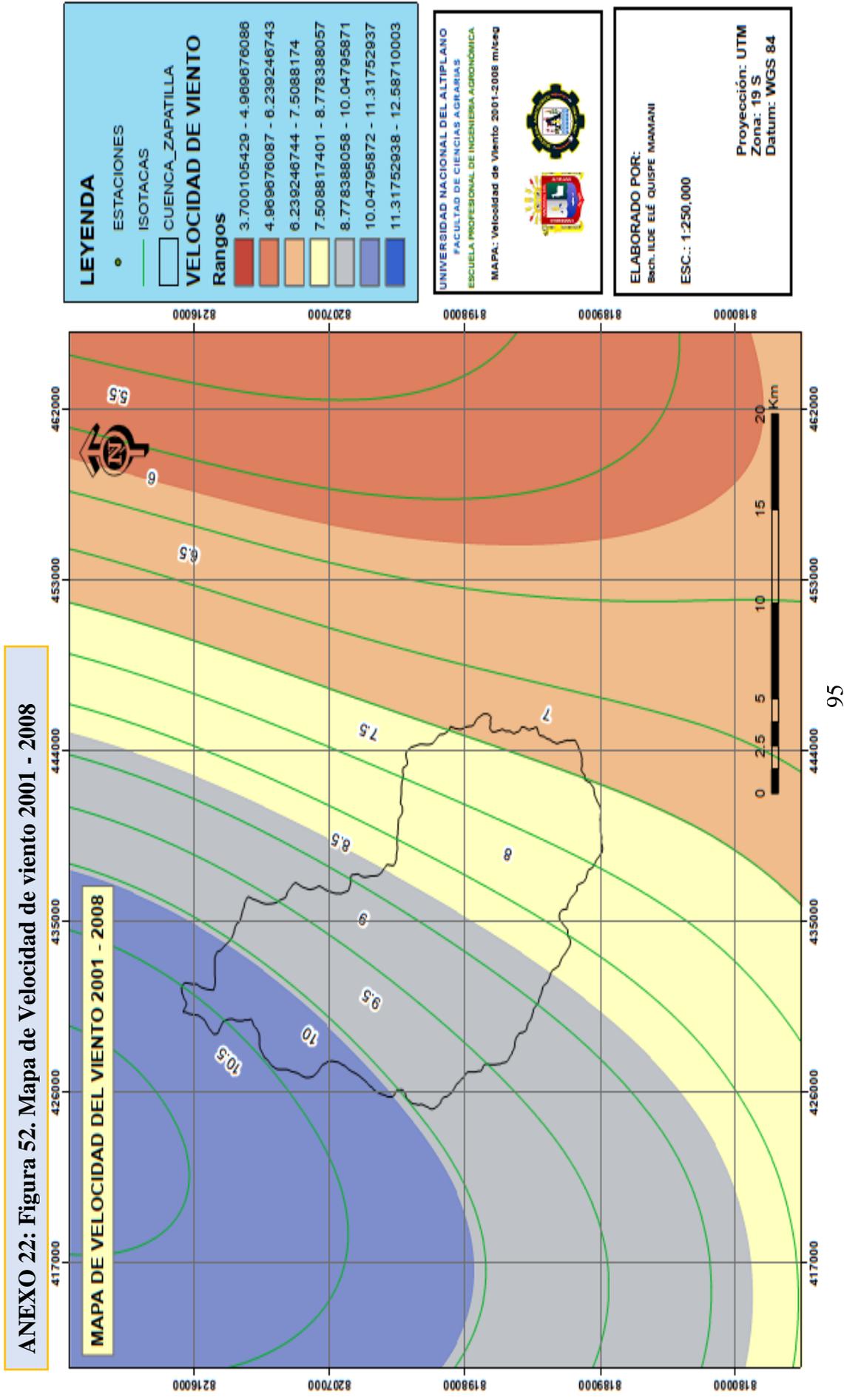


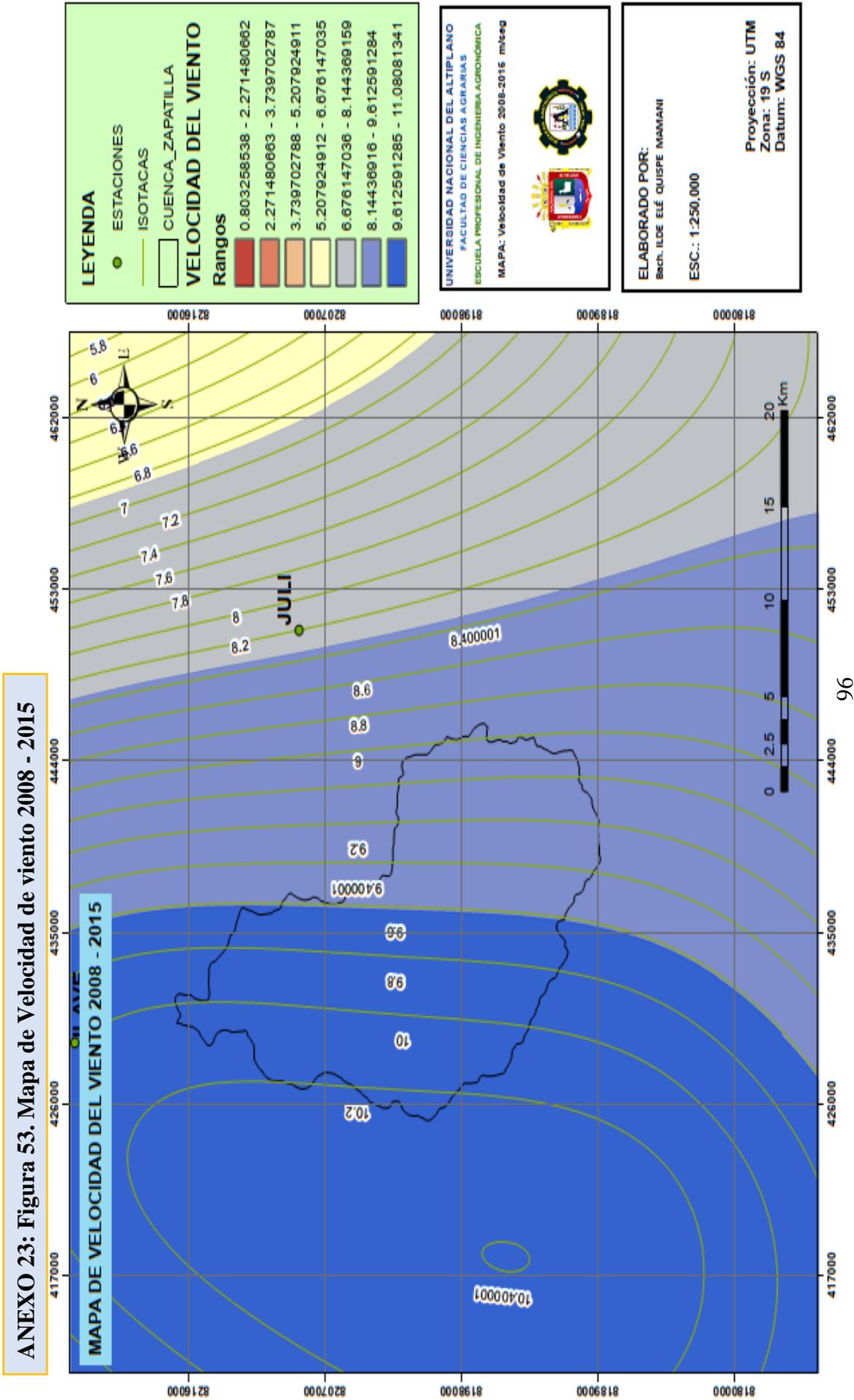








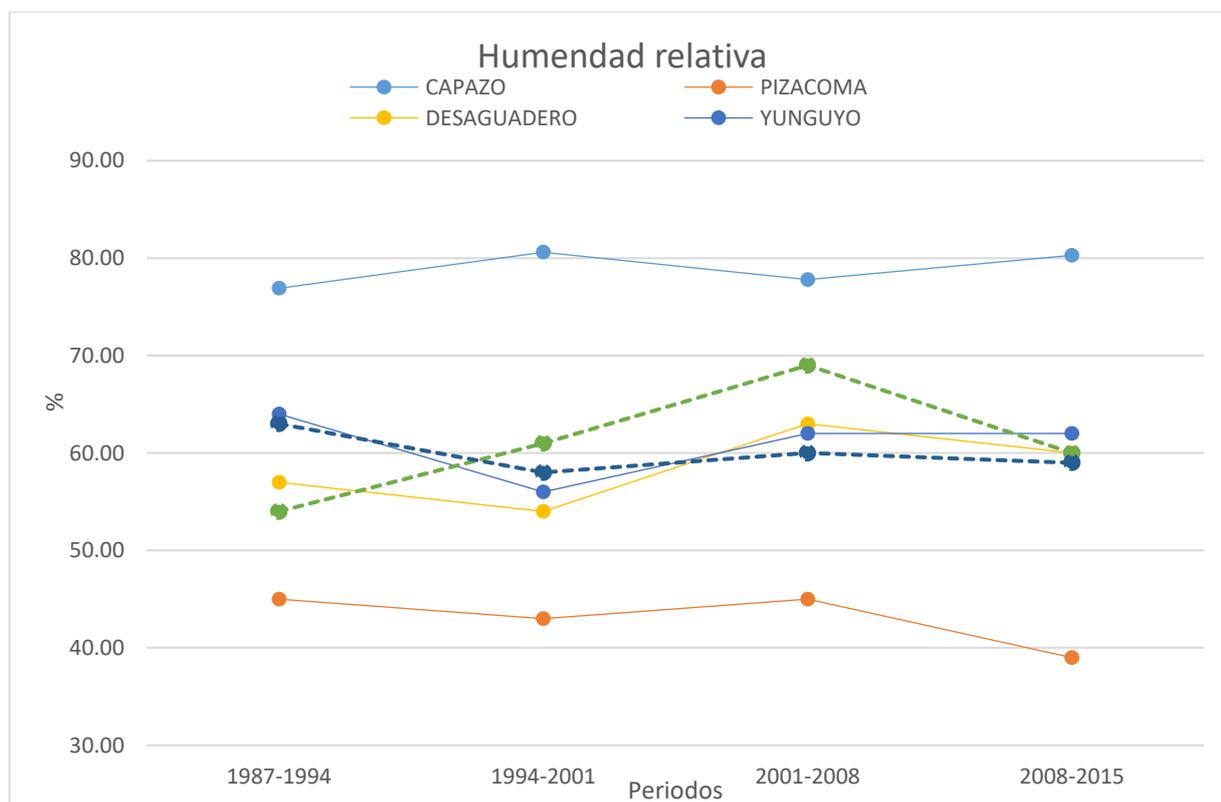




ANEXO 24.
Cuadro 1. Datos históricos humedad relativa de 4 periodos

ID	ESTACIÓN	1987-1994	1994-2001	2001-2008	2008-2015
		HUMEDAD RELATIVA			
1	CAPAZO	76.90	80.60	77.80	80.3
2	PIZACOMA	45.00	43.00	45.00	39.0
3	MAZOCRUZ-C	55.00	58.00	59.00	55.0
4	DESAGUADERO	57	54	63	60
5	YUNGUYO	64	56	62	62
6	JULI	54	61	69	60
7	ILAVE	63	58	60	59
8	PUNO	56	48	59	59
9	LAMPA	58	49	61	60
10	LARAQUERI	59	55	68	75

Fuente: Elaboración propio

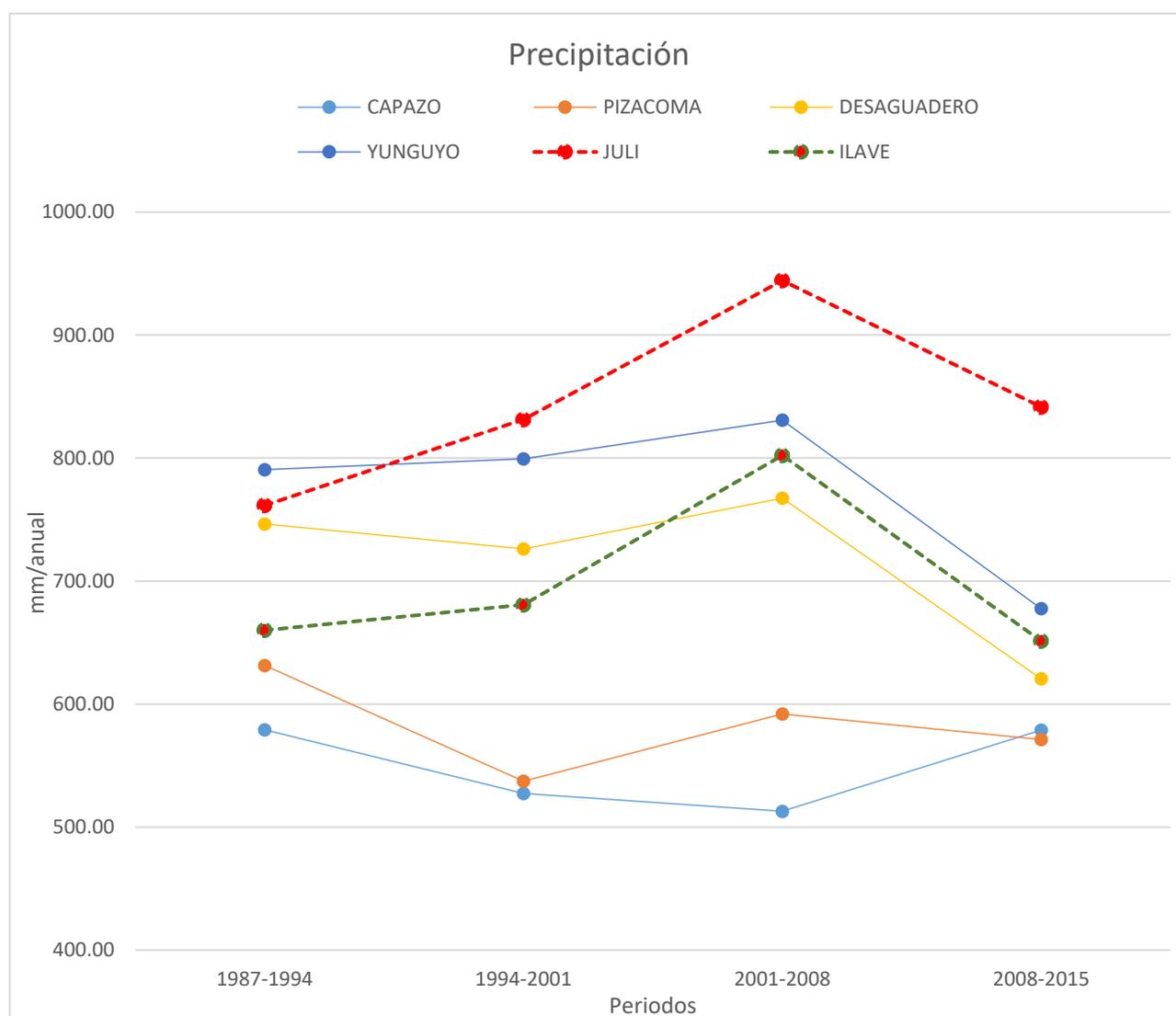


Fuente: Elaboración propio

ANEXO 25.
Cuadro 2. Datos históricos Precipitación de 4 periodos

ID	ESTACIÓN	1987-1994	1994-2001	2001-2008	2008-2015
		PRECIPITACION			
1	CAPAZO	579.15	527.23	512.89	578.81
2	PIZACOMA	631.50	537.30	592.00	571.20
3	MAZOCRUZ-C	440.10	502.30	582.00	448.10
4	DESAGUADERO	746.5	726.2	767.4	620.6
5	YUNGUYO	790.5	799.4	830.8	677.6
6	JULI	761.5	831.3	944.3	841.6
7	ILAVE	660.1	680.7	802.2	651.3
8	PUNO	671.8	767.2	785.5	701.5
9	LAMPA	616.3	666.2	758.8	647.8
10	LARAQUERI	769.0	749	779	645.00

Fuente: Elaboración propio

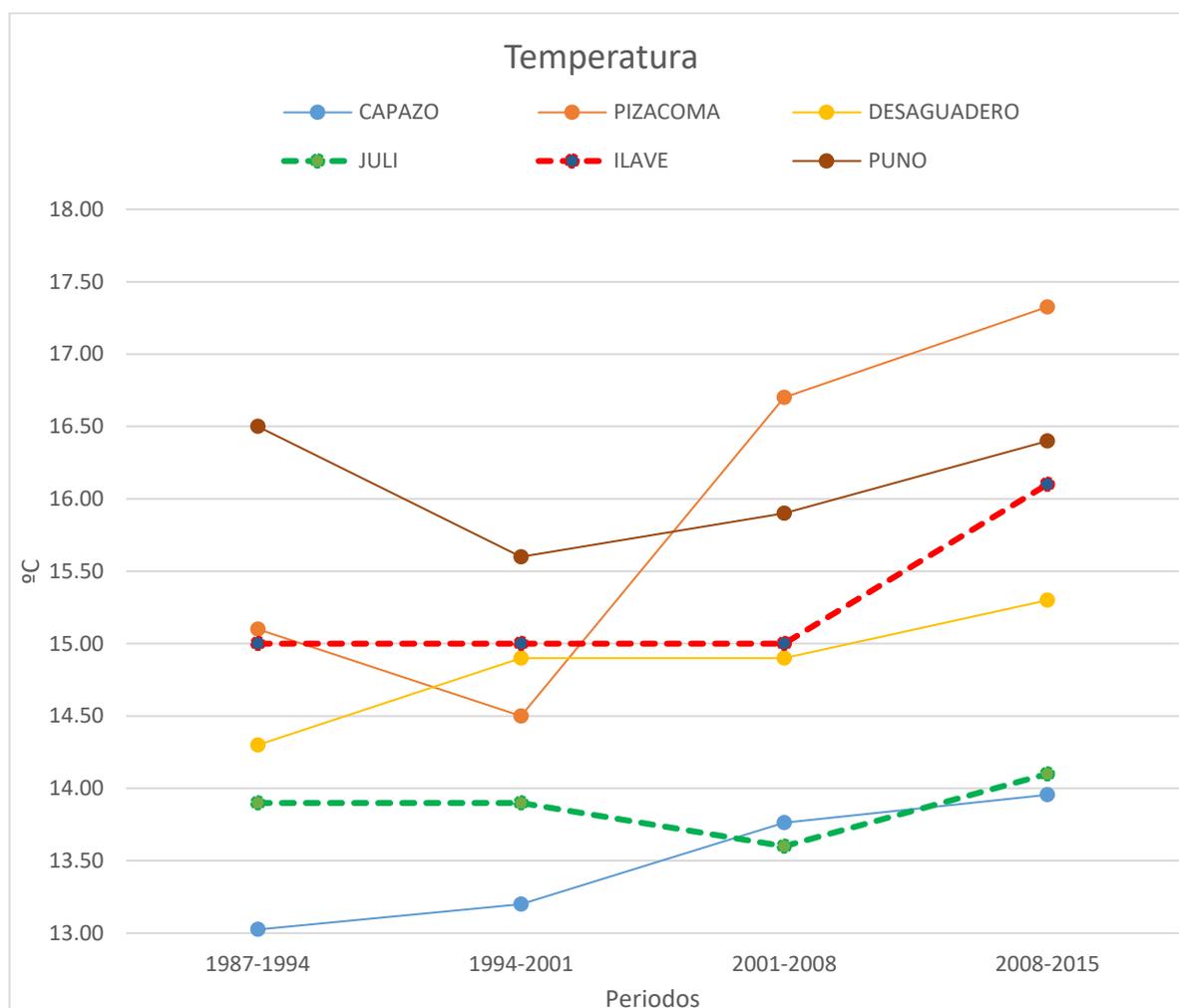


Fuente: Elaboración propio

ANEXO 26.
Cuadro 3. Datos históricos Temperatura de 4 periodos

ID	ESTACIÓN	1987-1994	1994-2001	2001-2008	2008-2015
TEMPERATURA					
1	CAPAZO	13.03	13.20	13.76	13.96
2	PIZACOMA	15.10	14.50	16.70	17.33
3	MAZOCRUZ-C	15.10	15.70	16.60	17.50
4	DESAGUADERO	14.3	14.9	14.9	15.3
5	YUNGUYO	14.3	14.8	14.5	15.1
6	JULI	13.9	13.9	13.6	14.1
7	ILAVE	15	15	15	16.1
8	PUNO	16.5	15.6	15.9	16.4
9	LAMPA	16.9	16.4	16.4	17.1
10	LARAQUERI	16.1	15.3	16.5	16.7

Fuente:Elaboración propio

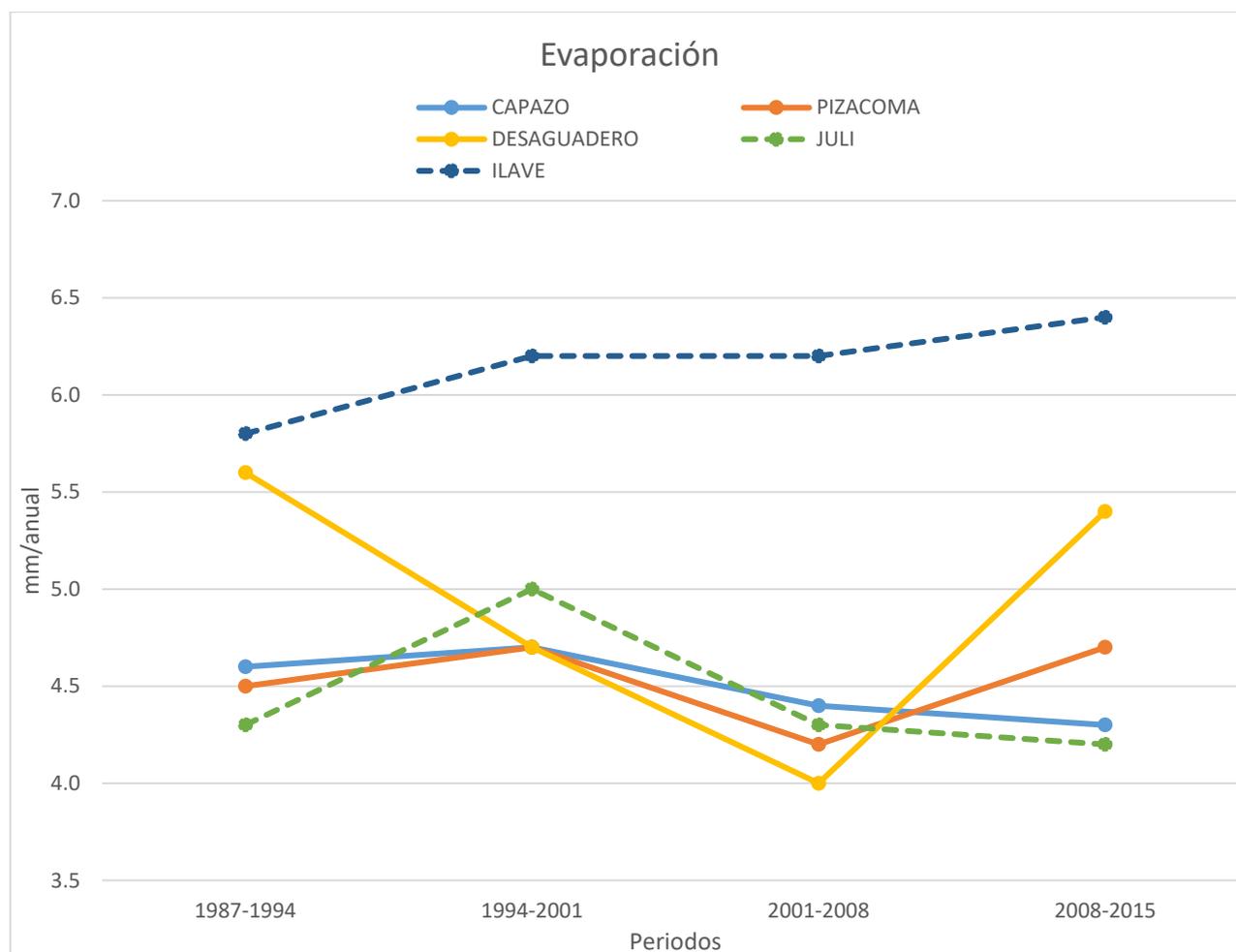


Fuente: Elaboración propio

ANEXO 27.
Cuadro 4. Datos históricos Evaporación de 4 periodos

ID	ESTACIÓN	1987-1994	1994-2001	2001-2008	2008-2015
		EVAPORACION			
1	CAPAZO	4.6	4.7	4.4	4.3
2	PIZACOMA	4.5	4.7	4.2	4.7
3	MAZOCRUZ-C	5.2	5.1	4.4	4.2
4	DESAGUADERO	5.6	4.7	4.0	5.4
5	YUNGUYO	4.7	4.4	4.1	3.9
6	JULI	4.3	5.0	4.3	4.2
7	ILAVE	5.8	6.2	6.2	6.4
8	PUNO	5.4	5.2	3.8	3.6
9	LAMPA	4.2	3.5	3.7	3.8
10	LARAQUERI	3.9	4.1	3.9	3.8

Fuente: Elaboración propio



Fuente: Elaboración propio

ANEXO 28.
Cuadro 6. Tabla cruzada entre el periodo 1987 - 1994

TABLA CRUZADA 1987 - 1994					
Kappa Coefficient = 0.94					
CLASES	BOF. - 1994	P.N. - 1994	S.R. - 1994	S.D. - 1994	P.A. 1994
BOF. - 1987	51910	2148	1	30	47
P.N. - 1987	23948	116011	0	6825	693
S.R. - 1987	4	15	12	22	150
S.D. - 1987	4167	15933	206	29481	2165
P.A. - 1987	305961	53493	3021	14925	63813

Fuente: Elaboración propio

En este anexo 28 cuadro 6, los datos que se encuentran total de píxeles de cada variable del año 1987 - 2015 convertir a ha, Imagen satelital tiene de pixel de 30 x 30 multiplicados los resultados de 900 m², como también una hectárea tiene 10000 m² entonces se resolvió de la siguiente manera igual para los otros periodos.

$$\text{PIXEL} = 900 \text{ m}^2$$

$$\text{VARIABLE} = \text{BF, PN, PA, SD y SR}$$

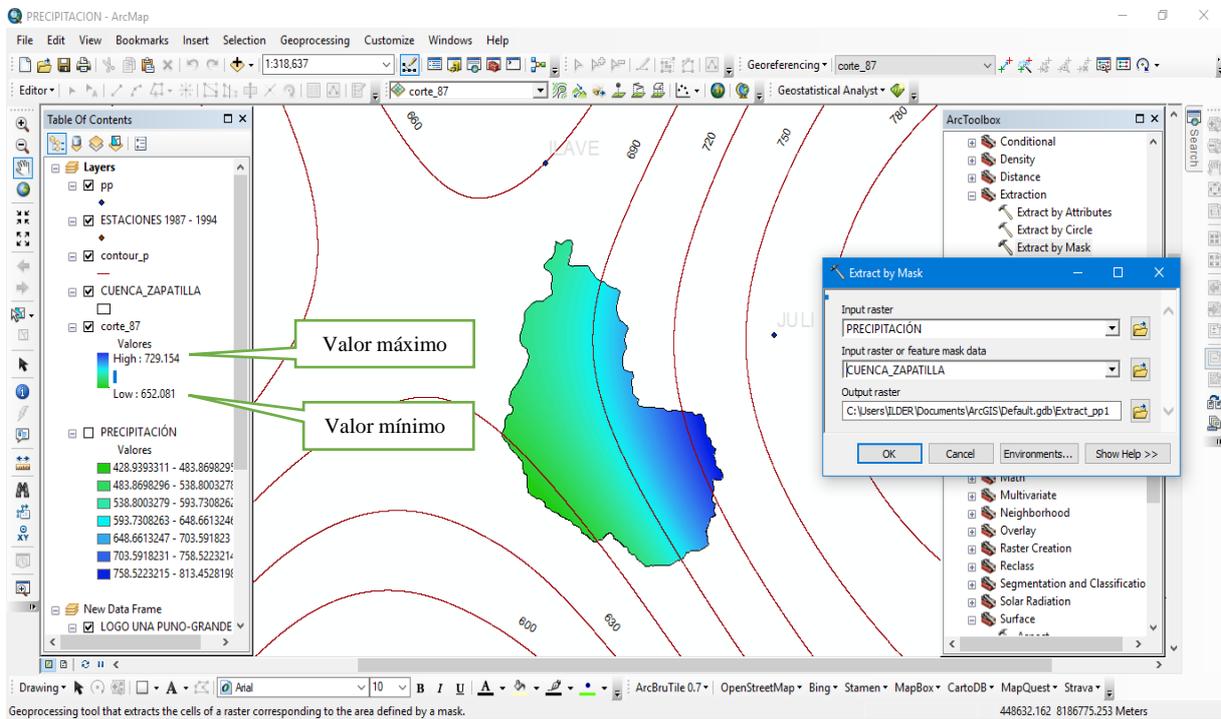
$$\text{HECTÁREA} = 10000 \text{ m}^2$$

$$\text{Ha} = (900 * 51910) / 10000$$

$$\text{Ha} = 4671.90$$

		AÑO 1994				
		BOF	PN	SR	SD	PAJ. ARB.
AÑO 1987	BOF	4671.90	193.32	0.09	2.70	4.23
	PN	2155.32	10440.99	0	614.25	62.37
	SR	0.36	1.35	1.08	1.98	13.50
	SD	375.03	1433.97	18.54	2653.29	194.85
	PAJ. ARB.	27536.49	4814.37	271.89	1343.25	5743.17

ANEXO 29.
Interpretación de la tabla 17 de parámetros meteorológicos



Fuente: Elaboración propio

Para determinar los promedios de la cuenca se realizó corte en ArcGis con la herramienta Extract by Mask específicamente área de estudio y con estaciones meteorológicas como resultado cuenca Zapatilla. Vemos valores máximos y mínimos del área de estudio, muestra valor máximo de 729.154 mm/añual y valor mínimo de 652.081mm/añual. Se suman los dos valores $(729.154 + 652.081) = 1381.235/2 \bar{x} = 690.6$ mm/añual. El procedimiento para cada parámetro se interpreta de la misma manera.

ANEXO 30.
Interpretación de la tabla 12 como se obtuvo datos de cambio neto

BOFEDALES	
	0.21
	-70.28
	-92.69
	18.72
PROMEDIO	= -36.01
ANUAL	$(-36.12) / 7 = -5.16$ $((-5.16) / 100) * 467 = -24.10 \text{ ha}$

Fuente: Elaboración propio

Para resolver cambio neto anual (C.N.) iremos ver los datos de la tabla 11 índices de cambio (%) se tomó datos de cambio neto. Como resultado se obtuvo en los 28 años de cuenca Zapatilla se tiene perdida de un total de 24.10 hectáreas de cobertura vegetal (bofedales). Y de la misma manera se interpreta para los otros variables.