

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIECNIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**DINÁMICA DE CAMBIO EN LA COBERTURA/USO DEL SUELO, CASO
DISTRITO DE PARATÍA-PUNO, PERIODO (1988 – 2016).**

TESIS

PRESENTADA POR:

WALTER ELIAS CABANA MONZON

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MENCIÓN:

GESTIÓN AMBIENTAL

PROMOCIÓN: 2016 - I

PUNO - PERÚ

2017

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

**DINÁMICA DE CAMBIO EN LA COBERTURA/USO DEL SUELO, CASO DISTRITO
 DE PARATÍA-PUNO, PERIODO (1988 – 2016).**

TESIS

PRESENTADA POR:

WALTER ELIAS CABANA MONZON

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MENCIÓN:

GESTIÓN AMBIENTAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 2 DE FEBRERO DE 2017

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :
 D.Sc. ELEODORO PLACIDO CHAHUARES VELASQUEZ

PRIMER MIEMBRO :
 Ing. M.Sc. ELISBAN URIEL HUANCA QUIROZ

SEGUNDO MIEMBRO :
 Ing. M.Sc. ANGEL CARI CHOQUEHUANCA

DIRECTOR DE TESIS :
 Ing. M.Sc. FLAVIO ORTIZ CALCINA

PUNO – PERÚ

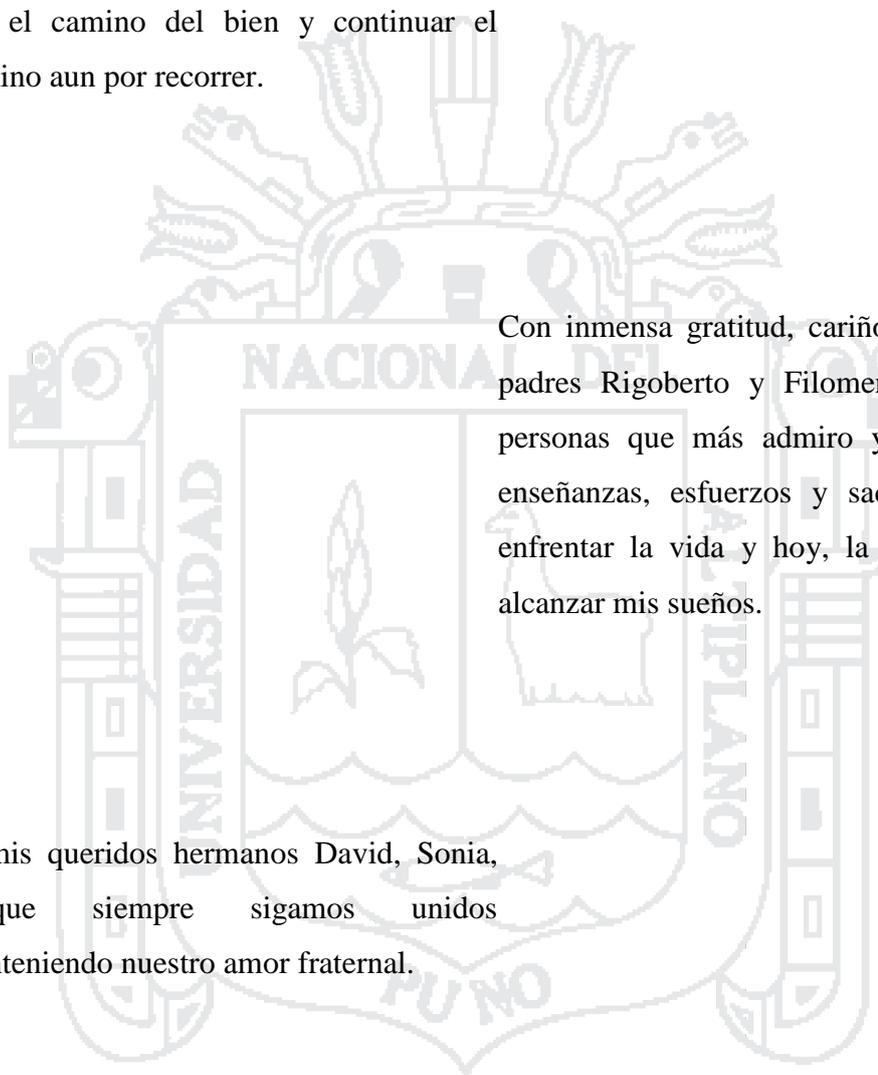
2017

Área : Medio ambiente

Tema : Manejo y conservación de recursos naturales

DEDICATORIA

Por sobre todas las cosas a Dios por permitirme la vida y haberme conducido por el camino del bien y continuar el camino aun por recorrer.



Con inmensa gratitud, cariño y amor a mis padres Rigoberto y Filomena, por ser las personas que más admiro y gracias a sus enseñanzas, esfuerzos y sacrificios, puedo enfrentar la vida y hoy, la oportunidad de alcanzar mis sueños.

A mis queridos hermanos David, Sonia, porque siempre sigamos unidos manteniendo nuestro amor fraternal.

Walter.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Agronómica.

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

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

A la Municipalidad distrital de Paratía por su apoyo en las diferentes fases del proceso de investigación.

A todas las personas que directa e indirectamente intervinieron en la realización de esta tesis.

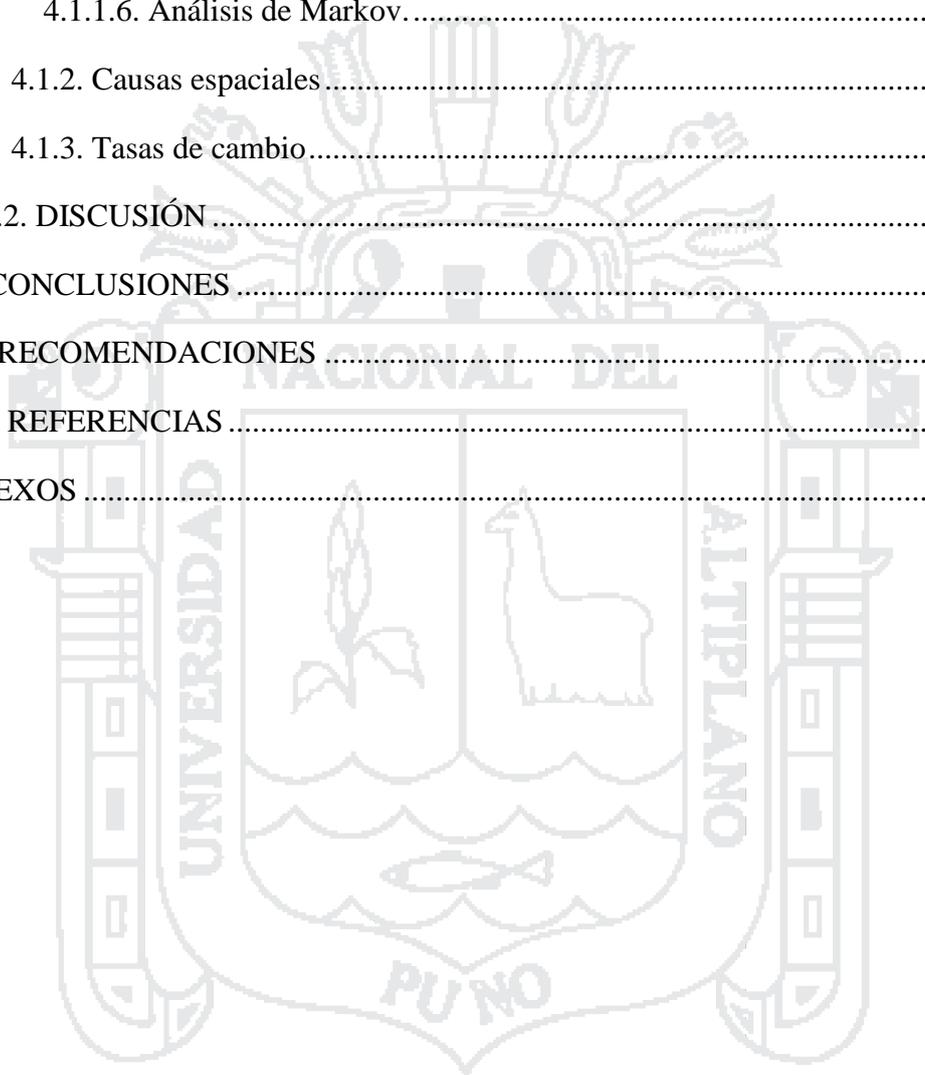
El autor.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	11
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.2.1. A nivel de los CIP's	15
1.2.2. A nivel nacional	15
1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....	16
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4.1. Objetivo General.....	16
1.4.2. Objetivo Específico.....	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1. MARCO TEÓRICO	17
2.1.1. Los cambios de usos y cobertura del suelo.....	17
2.1.2. Clasificación de coberturas y usos del suelo	18
2.1.3. Cambio de cobertura del suelo.....	23
2.1.3.1. Causas directas del cambio de cobertura del suelo.....	24
2.1.3.2. Causas indirectas del cambio de cobertura del suelo.....	25
2.1.3.3. Consecuencias del cambio de cobertura del suelo.....	26
2.1.4. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	27
2.1.5. Imágenes de satélite	28
2.1.5.1. Evolución de las Imágenes de Satélite.....	29
2.1.6. Causas espaciales en los cambios de cobertura.	29
2.1.7. Tasas de cambio en la cobertura vegetal.	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. MATERIALES	31

3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	31
3.1.2. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	34
3.1.2.1. Recursos materiales.	34
3.2. METODOLOGÍA.....	35
3.2.1. Fase previa de gabinete.....	35
3.2.1.1. Recopilación de información disponible	35
3.2.1.2. Operacionalización de variables.....	35
3.2.1.3. Georreferenciación.....	36
3.2.1.4. Delimitación del área de estudio.....	36
3.2.1.5. Imágenes de satélite	36
3.2.1.6. Procesamiento de las Imágenes de Satélite.....	37
3.2.1.7. Realce de la Imagen para mejorar la visualización.....	38
3.2.1.8. Combinación de bandas para la combinación de colores	38
3.2.1.9. Clasificación no supervisada	40
3.2.2. Fase de campo.....	40
3.2.2.1. Verificación en Campo	40
3.2.3. Fase de gabinete.....	40
3.2.3.1. Clasificación supervisada	40
3.2.3.2. Cambios de Uso	41
3.2.3.3. Índices de cambio propuestos por Pontius <i>et al.</i> , (2004).....	41
3.2.3.4. Cadenas de Markov	44
3.2.3.5. Causas espaciales	48
3.2.3.6. Tasa de Cambio	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. RESULTADOS	49
4.1.1. Análisis multitemporal de la dinámica de cambio.....	49
4.1.1.1. Superficies	55

4.1.1.2. Índices de Cambio.	56
4.1.1.3. Tablas cruzadas de coberturas del suelo.	59
4.1.1.4. Matrices de transición de coberturas del suelo.	61
4.1.1.5. Diagramas de flujo.	63
4.1.1.6. Análisis de Markov.	64
4.1.2. Causas espaciales.	66
4.1.3. Tasas de cambio.	69
4.2. DISCUSIÓN.	70
V. CONCLUSIONES.	72
VI. RECOMENDACIONES.	73
VII. REFERENCIAS.	74
ANEXOS.	77



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de cambio que han de ser considerados al estudiar el cambio global actual o futuro.	17
Figura 2. Ejemplo de SIG.	28
Figura 3. Mapa de Ubicación distrito de Paratía	32
Figura 4. Combinación de bandas 543 landsat 5 (1988).	38
Figura 5. Combinación de bandas 543 landsat 7 (2009).	39
Figura 6. Combinación de bandas 654 landsat 8 (2016).	39
Figura 7. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 1988.	50
Figura 8. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 1995.	51
Figura 9. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2002	52
Figura 10. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2009	53
Figura 11. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2016	54
Figura 12. Superficies por categoría, correspondientes a toda el área de estudio.	55
Figura 13. Índices de cambio (en %) de la categoría Cobertura Vegetal (CV).	57
Figura 14. Índices de cambio (en %) de la categoría Cuerpo de Agua (AP).	58
Figura 15. Índices de cambio (en %) de la categoría Suelo Desnudo (SD).	58
Figura 16. Índices de cambio (en %) de la categoría Superficie de Rocas (SR).	58
Figura 17. Diagrama de flujos para la matriz de transición entre 1988-1995.	63
Figura 18. Diagrama de flujos para la matriz de transición entre 1995-2002.	63
Figura 19. Diagrama de flujos para la matriz de transición entre 2002-2009.	64
Figura 20. Diagrama de flujos para la matriz de transición entre 2009-2016.	64
Figura 21. Proyecciones de superficies de uso en (ha) al 2044.	65
Figura 22. Evolución de las concesiones mineras, Paratía (1956-2016).	66
Figura 23. Correlación minería y cobertura vegetal.	66
Figura 24. Evolución de carga animal Paratía (2004-2016).	67
Figura 25. Correlación carga animal y cobertura vegetal.	67
Figura 26. Evolución del área urbana, Paratía (2000-2016).	68
Figura 27. Correlación área urbana y cobertura vegetal.	68
Figura 28. Tasas de cambio (en %), correspondientes a las diferentes categorías entre los años 1988-2016.	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Colores de la clasificación jerárquica de las coberturas y usos del suelo.....	23
Tabla 2. Bandas y aplicaciones de imágenes de satélite LANDSAT	36
Tabla 3. Características de imagen TM (1988).....	37
Tabla 4. Características de imagen ETM + (2009).....	37
Tabla 5. Matriz de transición con ganancias y pérdidas.....	42
Tabla 6. Tabla cruzada entre los años X1 y X2.....	46
Tabla 7. Matriz de transición entre los años X1 y X2.....	46
Tabla 8. Superficies (en ha) correspondientes a los años establecidos, obtenido en base al área Total	55
Tabla 9. Índices de cambio (en %), por periodo para cada categoría, con respecto al área total de estudio.....	56
Tabla 10. Tabla cruzada entre los años 1988 y 1995 en (ha).....	59
Tabla 11. Tabla cruzada entre los años 1995 y 2002 en (ha).....	60
Tabla 12. Tabla cruzada entre los años 2002 y 2009 en (ha).....	60
Tabla 13. Tabla cruzada entre los años 2009 y 2016 en (ha).....	61
Tabla 14. Matriz de transición entre los años. 1988 y 1995 (probabilidades).....	61
Tabla 15. Matriz de transición entre los años. 1995 y 2002 (probabilidades).....	62
Tabla 16. Matriz de transición entre los años. 2002 y 2009 (probabilidades).....	62
Tabla 17. Matriz de transición entre los años. 2009 y 2016 (probabilidades).....	62
Tabla 18. Proyecciones de superficies de uso en (ha) al 2044 de la matriz de transición 2009-2016.....	65
Tabla 19. Tasas de cambio por categoría (en %) correspondientes a los años establecidos, obtenido para el área Total.....	69

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CCUS	Cambios de cobertura y uso de suelo.
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.
SEMARNAT	Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales.
PROCLIM	Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire.
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales.
SIG	Sistema de información geográfica.
PETT	Proyecto Especial de Titulación de Tierras y Catastro Rural.
IGN	Instituto Geográfico Nacional (Argentina).
MINAG	Ministerio de Agricultura.
PEJSIB	Proyecto Especial Jaen San Ignacion Bagua.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global.

RESUMEN

EL trabajo de investigación fue desarrollado en el distrito de Paratía provincia de Lampa departamento de Puno a una altitud de 4,390 msnm. Se tuvo como área de evaluación una superficie total de 75,065.64 ha. Los objetivos del presente estudio fueron: Realizar un análisis multitemporal de la dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía para el periodo 1988-2016, tomando como información básica imágenes de los sensores Landsat. Determinar las causas espaciales que influyen en la dinámica de cambio de la cobertura del suelo en el distrito de Paratía para el período 1988-2016. Determinar la tasa de la dinámica de cambio de la cobertura del suelo en el distrito de Paratía para el periodo 1988 - 2016. De los resultados obtenidos se desprende que: La dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía para el periodo 1988-2016 muestra cambios significativos, ya que el intercambio de superficies se da de forma continua a través del tiempo. Para la cobertura vegetal se tiene una tasa promedio de pérdida anual de -0.05% (-123.30 ha) respecto a su superficie inicial (1998), para cuerpos de agua se tiene una tasa promedio de pérdida anual de -0.23% (-1.54 ha) respecto a su superficie inicial, en cambio suelo desnudo muestra una tasa promedio de incremento anual de 0.26% (19.59 ha) respecto a su superficie inicial (1988), para superficie de rocas se tiene una tasa promedio de incremento anual de 0.05% (146.47 ha) respecto a su superficie inicial (1988). Con lo que se concluye que el examen de los patrones de cobertura espacial presentes y futuros en la zona de estudio, nos permite establecer el cambio hacia un riesgo de desertificación. Sin embargo, el riesgo sólo se hará realidad si las prácticas de uso del suelo de la región son inapropiadas para el medio natural. En lo referente a las causas espaciales, se determinó que la minería es la causa espacial con mayor influencia en la dinámica de cambio del suelo. Finalmente, respecto a tasas de cambio de la cobertura de suelo, la zona de estudio muestra un panorama poco alentador en base a que cobertura vegetal y cuerpos de agua muestran tasas con tendencias negativas a nivel de sistema.

Palabras claves: Imágenes satelitales, análisis multitemporal, dinámica de cambio y tasa anual de cambio.

ABSTRACT

The research work was carried out in the District of Paratía province of Lampa department of Puno at an altitude of 4,390 masl. It had as its evaluation area a total area of 75,065.64 hectares. The objectives of the present study were: To perform a multitemporal analysis of the dynamics of change in soil cover in the Paratía district for the period 1988-2016, taking as basic information images of the Landsat sensors. To determine spatial causes that influence the dynamics of land cover change in the district of Paratía for the period 1988-2016. To determine the rate of land cover change dynamics in the district of Paratía for the period 1988 - 2016. From the results obtained it follows that: The dynamics of change in the land cover in the Paratía district for the period 1988-2016 shows significant changes, since the exchange of surfaces occurs continuously over time. For the vegetation cover, there is an average annual loss rate of -0.05% (-123.30 ha) with respect to its initial surface (1998), for water bodies there is an average annual loss rate of -0.23% (-1.54 ha) With respect to its initial surface. In contrast, bare soil shows an average annual increase rate of 0.26% (19.59 ha) with respect to its initial surface (1988), with an average annual growth rate of 0.05% (146.47 ha) with respect to its initial surface (1988). It concludes that the examination of present and future spatial coverage patterns in the study area allows us to establish the change towards a risk of desertification. However, the risk will only become a reality if the land use practices of the region are inappropriate for the natural environment. Regarding spatial causes, it was determined that mining is the spatial cause with the greatest influence on the dynamics of soil change. Finally, with regard to land cover change rates, the study area shows an unhelpful scenario based on the fact that vegetation cover and water bodies show rates with negative trends at the system level.

Key words: Satellite images, multitemporal analysis, dynamics of change and annual rate of change.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, las sociedades han transformado los ecosistemas en los que viven. Los cambios de cobertura y uso de suelo (CCUS) son parte de procesos históricos globales de transformación del paisaje que tienen consecuencias a varias escalas (Cervantes, 2012).

Las coberturas del suelo son fuentes y sumideros para la mayoría del material y flujos de energía que mantienen la biosfera y geosfera, incluyendo las emisiones de gas y el ciclo hidrológico. Sus cambios determinan, en parte, la vulnerabilidad de los lugares y perturbaciones climáticas, económicas o socio-políticas, lo cual pone en peligro la biodiversidad y los refugios de fauna silvestre (Terradas, 2001).

Los cambios en la cobertura del suelo repercuten tanto a escala regional y nacional, en la cual se ve afectada la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, modificando los ciclos hidrológicos y los 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).

La importancia de realizar un estudio sobre los cambios ocurridos en la cobertura y uso del suelo en el distrito de Paratía, así como las posibles causas de dicho cambio, es que la información será un instrumento de apoyo para la toma de decisiones y el planeamiento del desarrollo futuro de la zona. El presente estudio se basa en un análisis multitemporal con imágenes de satélite, cuya finalidad es analizar la dinámica de cambio/uso del suelo para el periodo 1988-2016, considerando por otra parte la determinación de las causas espaciales en la dinámica de cambio del suelo en el distrito, así como determinar la tasa de cambio de la cobertura en el distrito de Paratía.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cobertura y uso del suelo del mundo está cambiando en cantidad, calidad, de manera negativa. Este proceso se asocia a factores sociales, económicos y ambientales. Según estadísticas publicadas por la FAO (2000), entre 1990 y 1995, se registró una pérdida neta estimada en 56.3 millones de hectáreas de bosque en todo el mundo, lo que entraña una reducción de 65.1 millones de hectáreas en los países en desarrollo, compensada en parte por un aumento de 8.8 millones de hectáreas en los países desarrollados.

El uso del suelo resulta de las actividades productivas y asentamientos humanos que se desarrollan sobre la cobertura del suelo para satisfacer sus necesidades materiales. Las actividades antrópicas como la agricultura, la minería, entre otras, están originando cada año la pérdida de grandes superficies de cobertura del suelo, por lo cual es necesario contar con datos de estas pérdidas para tomar medidas de control como la elaboración de proyectos que ayuden a controlar este problema (Terradas, 2001).

En la municipalidad distrital de Paratía la cobertura del suelo es de mucha importancia, en tanto que representa la principal fuente de alimento y agua para los animales domésticos que habitan en la zona (alpacas, llamas, ovinos y vacunos). Y dada la crisis actual de cambio de cobertura es necesario identificar las transiciones más importantes bajo un contexto histórico para anticiparse a cambios futuros potenciales. Eso en base a los problemas actuales como son: Agresiva desertificación en la zona, avance de la frontera minera, no existe estudios previos (MINAM, 2013).

Ante todo, esto se desprende la siguiente interrogante: ¿Cuál es dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo en el distrito de Paratía-Puno, para el periodo (1988 – 2016)? ¿Cuáles son las principales causas espaciales? Y ¿cuál es la tasa de cambio en la cobertura del suelo en el distrito Paratía en el periodo 1988-2016.?

1.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. A nivel de los CIP's

En el CIP Camacani de la UNA Puno se hizo el proyecto de investigación “zonificación y análisis de la potencialidad agrícola y forestal de las tierras y su ordenamiento territorial con sistema de información geográfica” presentado por el bachiller Eddy, Cervantes Zavala de la escuela profesional de Ingeniería Agronómica en el 2012; con la finalidad de delimitar y ubicar las áreas de muestreo y trabajados en el software de Sistema de Información Geográfica. Llegándose a la siguiente conclusión. Las pendientes en el sector de Camacani son variadas, predominando los terrenos con pendientes empinadas con un área de 21.72 hectáreas, que equivale al 35.76% del área de estudio. Los terrenos con pendientes moderadamente inclinadas, es la segunda predominante con 18.4 hectáreas, que equivale al 30.29% del área de estudio (Cervantes, 2012).

También 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).

1.2.2. A nivel nacional

Se realizó el estudio del bosque seco localizado en la región Piura, Perú con el objetivo de evaluar el cambio de la cobertura y el uso de la tierra, donde se concluyó que 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 (Zorogastúa, 2011).

1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO

- La dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía para el periodo 1988-2016, muestra cambios significativos.
- Las principales causas espaciales que influyen en la dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía son la actividad minera y pecuaria.
- La tasa de la dinámica de cambio de la cobertura vegetal muestra siempre tendencias negativas en el periodo de estudio (1988-2016).

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

- Determinar y analizar la dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo en el distrito de Paratía para el periodo 1988-2016.

1.4.2. Objetivo Específico

1. Realizar un análisis multitemporal de la dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía para el periodo 1988-2016, tomando como información básica imágenes de los sensores Landsat.
2. Determinar las causas espaciales que influyen en la dinámica de cambio de la cobertura del suelo en el distrito de Paratía para el período 1988-2016.
3. Determinar la tasa de la dinámica de cambio de la cobertura del suelo en el distrito de Paratia para el periodo 1988 - 2016.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Los cambios de usos y cobertura del suelo

Terradas (2001), 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.

El autor También indica que 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. Ante ciertos cambios significativos, hoy se sabe que las comunidades se reorganizan y su composición se modifica, a veces de modo sustancial.

El mismo autor indica que 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 (figura 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.

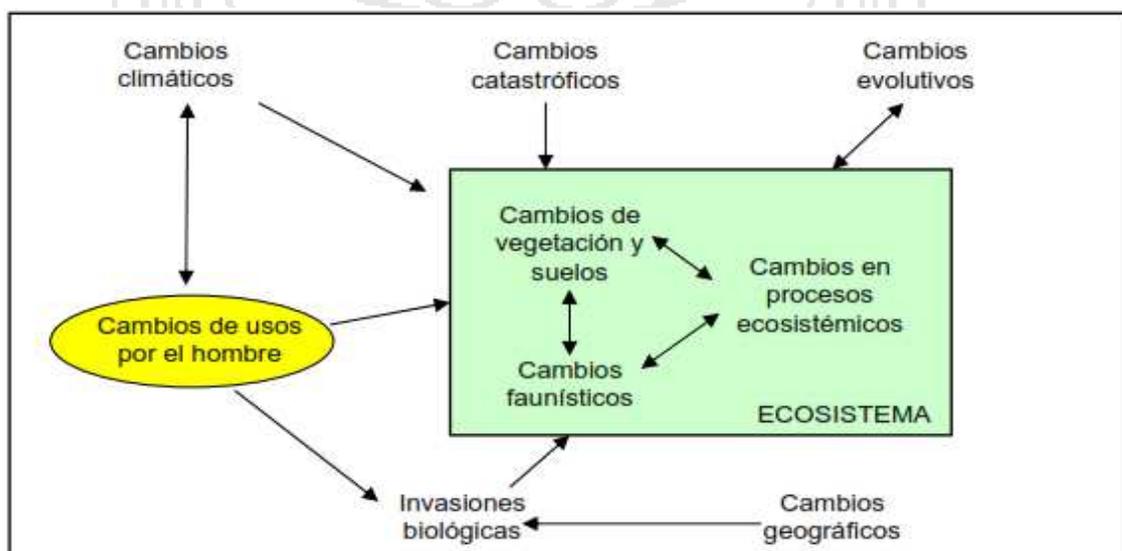


Figura 1. Procesos de cambio que han de ser considerados al estudiar el cambio global actual o futuro.

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, 2001).

Las coberturas del suelo pueden ser cambiadas por procesos naturales. Las variaciones climáticas afectan a los ecosistemas terrestres globalmente, mientras que erupciones volcánicas y cambios en los niveles de ríos y mares son impactos más localizados. Cambios de estos tipos están siempre operando y en algunos casos son difíciles de distinguir de las influencias humanas. Sin tener en cuenta estos, los cambios de cobertura del suelo a nivel mundial en el presente y el pasado reciente son abrumadoramente el resultado de los propósitos de producción y en menor medida, asentamientos humanos. Estos parámetros constituyen los usos del suelo (Cárdenas, 2005).

2.1.2. Clasificación de coberturas y usos del suelo

Clasificación adoptada para los mapas de usos y coberturas vegetales del suelo presenta unas estructuras y contenidos diferentes de los proyectos LUCC y CORINE, si bien su organización jerárquica permitiría, por agregación, asimilarse a las 44 clases del programa CORINE-Land Cover. De esta forma, esta labor es compatible con cualquier demanda de extracción de estadísticas de ocupación del suelo a nivel europeo, o con la futura iniciativa de actualización del programa CORINE-Land Cover.

A. AGUA

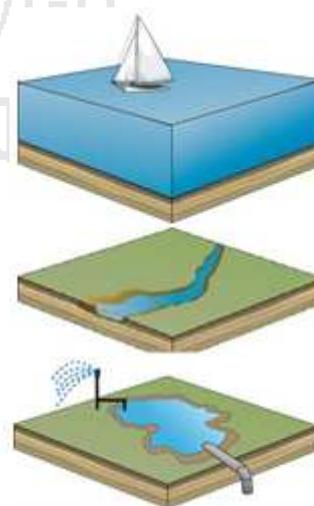
1. Agua oceánica

1.1. Mar: Zona bañada por la marea más baja (Mar Mediterráneo).

2. Agua continental

2.1. Ríos: Cursos de agua natural o artificial.

2.2. Balsas de riego: Depósitos artificiales de agua



2.3. Embalses: Reservas de agua.

B. TIERRA

a. SIN RECUBRIMIENTO VEGETAL

3. Espacios abiertos

3.1. Playa: Playas, dunas y expansiones de arena o piedras en la costa.

3.2. Erial de borde urbano: Espacios con desarrollo de construcciones, excavaciones de suelo o roca, terraplenes, etc.

4. Coberturas artificiales

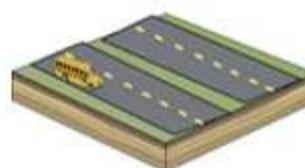
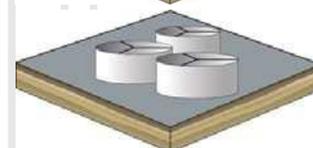
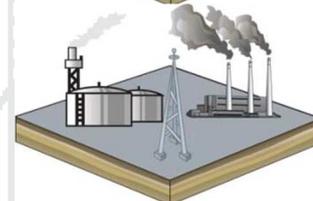
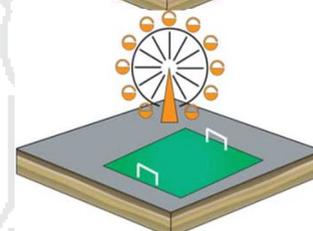
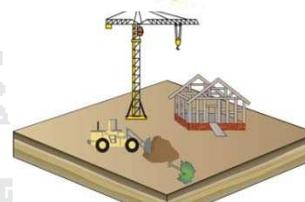
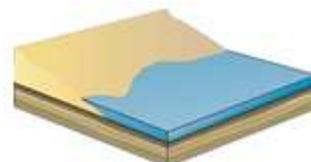
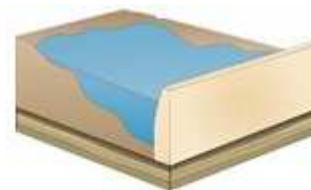
4.1. Áreas de recreo: Zonas de acampada, campos de deporte, parques de recreo, campos de golf, pista de carreras, etc. Incluye parques sin estar rodeados por zonas urbanas.

4.2. Industrial y comercio: Áreas de superficie artificial (con hormigón, asfalto o cemento) desprovisto de vegetación, ocupando la mayor parte del terreno en cuestión, el cual contiene edificios y/o áreas con vegetación.

4.3. Infraestructuras: Aeropuerto, puerto, instalaciones militares, incluyendo muelles, apostaderos, pistas de aterrizaje, edificios y terrenos asociados.

4.4. Vertederos, canteras, etc.: Basureros o depósitos de minas y áreas abiertas de extracción de minerales industriales (canteras de arenas) u otros minerales (minas).

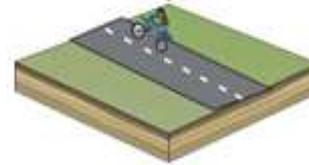
4.5. Autopista: La carretera más rápida para cualquier tipo de transporte motorizado paralela a la línea de costa, está compuesta por dos carriles en ambos sentidos, y es necesario pagar un peaje.



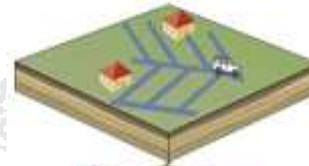
4.6. Carretera General: La carretera secundaria por orden de importancia para cualquier tipo de transporte motorizado junto a la costa (un carril por sentido).



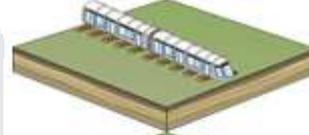
4.7. Carretera comarcal: La carretera que conecta ciudades.



4.8. Accesos: La red de carreteras que conecta con infraestructuras, industria, urbanizaciones y otras carreteras.



4.9. Ferrocarril: La red de vías que conecta las ciudades cerca de la costa.



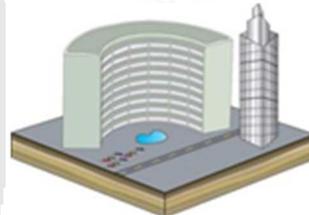
4.10. Residencial de baja densidad: Residencias dispersas compuestas por edificios de una o dos plantas (bungalow, chalet, etc.) con jardín y/o piscina.



4.11. Residencial de media densidad: Edificios normales (4-10 plantas) de una ciudad.



4.12. Residencial de alta densidad: Edificios altos o rascacielos (más de 10 plantas).

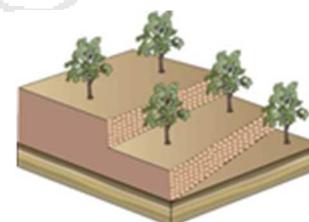


b. CON RECUBRIMIENTO VEGETAL

b1. ÁREAS AGRÍCOLAS

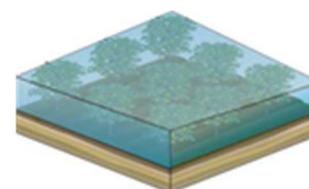
5. Cultivos de secano

5.1. Cultivos de secano: Parcelas plantadas con árboles frutales (viñas, almendros y olivos) asociados permanentemente con recubrimientos herbáceos. Generalmente la arquitectura de estas parcelas está compuesta por un mosaico de terrazas sobre laderas.



6. Cultivos de regadío

6.1. Invernaderos: Cultivo de árboles frutales y huerta bajo plásticos o vidrio.



6.2. Cultivos de regadío: Cereales, leguminosas, frutales, cultivos de forraje y cultivos de barbecho irrigados permanentemente y periódicamente, usando infraestructura permanente (canales de riego, red de drenaje). La mayoría de estos cultivos no podría cultivarse sin su abastecimiento artificial de agua.



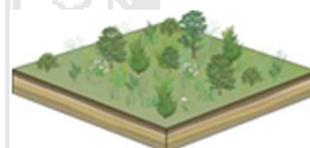
b2. ÁREAS FORESTALES

7. Bosque

7.1. Pinar: Formación vegetal compuesta principalmente por árboles, incluyendo estratos inferiores de matorral alto y matorral bajo, donde las especies de coníferas (*Pinus halepensis* y *Pinus nigra* subsp. *salzmanii*) y encina (*Quercus rotundifolia*) predominan.



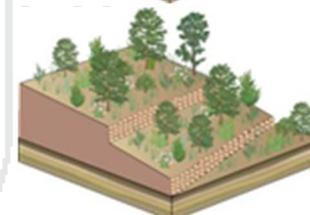
7.2. Pinar disperso con matorral: Formación vegetal compuesta principalmente por árboles (pinos y encinas), incluyendo estratos inferiores de matorral alto y matorral bajo, donde las especies de matorral y coníferas codominan.



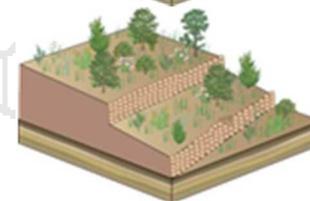
7.3. Repoblación de pinar: Superficies regeneradas artificialmente por medio de la plantación de especies de coníferas (*Pinus halepensis*, *P. pinea*, *P. pinaster* y *P. nigra* subsp. *salzmanii*).



7.4. Campos abandonados con pinar: Cultivos abandonados que han recuperado su recubrimiento llegando a estadios maduros de la sucesión natural hasta formaciones de pinar, se notan de forma suave los escalones que han dejado las terrazas.

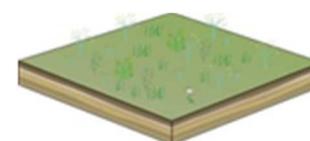


7.5. Campos abandonados con pinar disperso con matorral: Campos abandonados que han recuperado parte de su cobertura a pinar disperso con matorral, están presentes las terrazas y en algunos casos se encuentran alteradas sus estructuras abancaladas.



8. Herbáceas y arbustivo

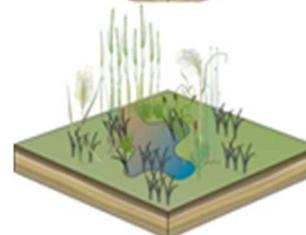
8.1. Matorral disperso: Vegetación con poco recubrimiento, dominada por pequeñas plantas leñosas y plantas herbáceas.



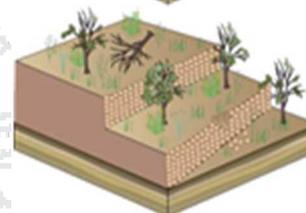
8.2. Matorral denso: Vegetación esclerófila. Incluye las formaciones de máquima y garriga. Comunidades de vegetación densa compuestas por numerosas especies de matorral alto.



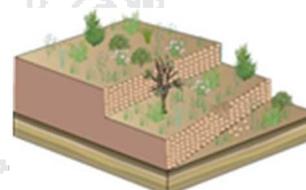
8.3. Vegetación de rambla: Vegetación adaptada a condiciones de humedad de los cauces de los arroyos con régimen torrencial (ramblas).



8.4. Campos abandonados con cobertura de matorral disperso: Cultivos abandonados recientemente que han recuperado de forma natural parte de su cobertura del suelo a matorral bajo, en la mayoría de casos mantienen las terrazas.



8.5. Campos abandonados con cobertura de matorral denso: Cultivos abandonados en las últimas décadas que han recuperado de forma natural parte de su cobertura de suelo a matorral alto, suele mantener las terrazas.



La clasificación de coberturas y usos podría llegar a ser más extensa y contener mayor número de categorías, por ejemplo, diferenciando cultivos de secano (olivos, almendros, viñedos y algarrobos) y de regadío (cítricos, nísperos, etc.). Sin embargo, esta tarea requiere mucho trabajo de campo y esto no es posible para los fotogramas aéreos antiguos (1956 y 1978), ya que no son verificables y resulta difícil la identificación de estos usos tan concretos mediante fotointerpretación; por consiguiente, se pueden llegar a cometer demasiados errores de interpretación sólo sería práctico mediante levantamiento con drones.

Tabla 1. 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		Mar	190	232	255
	Agua continental		Cursos de ríos	115	223	255
			Balsas de riego	0	197	255
			Embalses	0	169	230
	Espacios abiertos		Erial de borde urbano	255	190	232
			Playas y dunas	255	235	190
	Coberturas artificiales		Residencial baja densidad	255	190	190
			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
	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
			Replacación 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

2.1.3. Cambio de cobertura del suelo

En el transcurso de la historia, el suelo ligado a la productividad agropecuaria, además del cambio de cobertura del suelo, se han constituido en factores importantes para el crecimiento y desarrollo de todas las culturas. En los últimos 20 años, ha resurgido la importancia verdadera y real que tiene la conservación de los recursos naturales, y como componente de éstos el recurso suelo como fuente de producción de alimento para la humanidad (Dalence *et al.*, 1999).

El cambio de uso de los suelos, se relaciona con la pérdida de biodiversidad, la disminución del hábitat de especies, el cambio climático global y el desarrollo

sustentable además de tener implicaciones económicas y sociales a diferentes escalas (Robbins *et al.*, 1989).

2.1.3.1. Causas directas del cambio de cobertura del suelo

- **La expansión agropecuaria**

El bosque además de aportar forraje y madera, tiene efectos positivos sobre el medio ambiente. Sin embargo, gran parte de la tierra habilitada para ganadería y agricultura se hace en base al desmonte masivo e irracional (Pérez y Carrera, 2008).

Estudios realizados en el área de influencia indirecta de la Carretera Interoceánica en el sur del Perú, indican que alrededor del 90% de la superficie deforestada se encuentra cubierta por pastizales cultivados. El resto está conformado por cultivos agrícolas anuales (yuca, etc.) y permanentes (plátano, café, cítricos), así como por vegetación secundaria (IIRSA-SUR, 2006).

- **La deforestación**

La deforestación se atribuye a causas directas y subyacentes. Las causas subyacentes o los procesos sociales pueden tener impacto indirecto tanto a nivel nacional como global. Por su parte las causas directas, son las actividades humanas que afectan directamente al ambiente y constituyen la fuente principal del cambio en el uso de suelo. Las causas principales de deforestación incluyen el desarrollo del sistema de transporte carretero, los incentivos del gobierno para la agricultura, el financiamiento de proyectos a gran escala tales como presas hidráulicas, y explotación de la tierra (PNUMA y SEMARNAT, 2006).

- **La Minería**

Lillo (2006), señala que La minería es una actividad a corto plazo pero con efectos a largo plazo. Cuando se realiza actividades mineras en zonas de bosque constituye una depredación. La minería, junto con la explotación de petróleo, amenaza el 30% de las últimas extensiones de bosques primarios del mundo.

El autor también menciona que el enorme consumo de agua que requiere la actividad minera generalmente reduce la napa freática del lugar, llegando a secar pozos de agua y manantiales. El agua termina contaminada con materiales tóxicos que pueden continuar durante muchos años.

El mismo autor hace énfasis en que los 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.

2.1.3.2. Causas indirectas del cambio de cobertura del suelo

- **Las políticas gubernamentales**

Como se recuerda en nuestro país, en la década 1980-1990 se produjo una de las etapas más intensas de la deforestación de la Amazonía. Los Proyectos Especiales (PE) de Colonización de la Amazonia Peruana, promovidos por el estado, se encontraban en fase de ejecución, siendo su principal objetivo la promoción de la ocupación planificada del territorio y la articulación regional a través de la Carretera Marginal de la Selva, incrementar la producción y productividad del agro, lógicamente la ampliación de la infraestructura vial (IIRSA-SUR, 2006).

Actualmente existe la tendencia hacia una recuperación de cobertura proveniente de bosques secundarios y plantaciones forestales. Esto debido a la implementación de políticas de incentivos a la reforestación y conservación del bosque (FAO, 2000).

- **Migración**

En el Perú, así como ha existido la ocupación planificada de las tierras para desarrollar actividades agrícolas, pecuarias y forestales en tierras boscosas, también, ha existido y sigue existiendo la actividad agrícola migratoria ilegal y desordenada, sin ningún tipo de planificación. En ambos casos, la deforestación resulta inminente (IIRSA-SUR, 2006). El autor también indica que el incremento de la población andina, cada vez con menos posibilidades de tener tierras para vivir, como única opción, le queda migrar a la selva y posesionarse del bosque, inicialmente en forma ilegal, luego en forma legal.

- **Apertura de Vías de comunicación**

La apertura de la selva con nuevas carreteras es un importante factor en el proceso de deforestación. Luego de la apertura de un camino comienza el proceso de extracción de madera y de ocupación de tierras por parte de pequeños productores que practican agricultura de tala y quema. Los buscadores de oro son también un factor de presión en la apertura de caminos. Posteriormente llegan los grandes productores y se intensifica el aprovechamiento de la tierra (Martino, 2007).

La construcción de carreteras en la selva amazónica permite el desarrollo de los pueblos, por los múltiples beneficios que implica. Por otro lado, propicia el crecimiento vertiginoso del cambio de uso de la tierra, es decir, la conversión y transformación de los

bosques tropicales originales en áreas con actividad agropecuaria, principalmente (IIRSA-SUR, 2006).

El mismo autor menciona que la construcción de nuevas carreteras implica directamente el asentamiento de nuevos pueblos cuya población va a ejercer una fuerte presión sobre los recursos naturales del bosque, convirtiéndolas al poco tiempo en áreas de cultivos agropecuarios.

2.1.3.3. Consecuencias del cambio de cobertura del suelo

La transformación del paisaje, como consecuencia de las actividades humanas, es un proceso que no solo tiene impactos locales, sino que es uno de los factores más importantes del cambio ambiental global (Turner II, 2001).

Los cambios en la cobertura de vegetación tienen consecuencias sobre la erosión de los suelos, los procesos hidrológicos y el movimiento de nutrientes en las cuencas, la pérdida del hábitat y biodiversidad, las emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero, y en general, sobre la sustentabilidad de la capacidad productiva del territorio (Murdiyarsó y Wasrin, 1995).

- **Cambios en los ecosistemas**

El cambio de la cobertura vegetal natural de un paisaje produce una serie de parches de vegetación remanente rodeados por una matriz de vegetación distinta y/o uso de la tierra. Los efectos primarios de este cambio se reflejan en las alteraciones micro climáticas dentro y alrededor del remanente (parche) y el otro efecto es el aislamiento de cada área con respecto a otras áreas remanentes dentro del paisaje. Es así que, en un paisaje donde ocurre el cambio de la cobertura vegetal natural, existen cambios en el ambiente físico como en el biogeográfico (Saunders *et al.*, 1991).

- **Cambio climático**

Estudios realizados en México indican que las fuentes responsables de emisiones, corresponde 61% al sector energético; 7% a los procesos industriales; 14% al cambio de uso de suelo (deforestación); 8% a la agricultura y 10% a la descomposición de residuos orgánicos, incluyendo las plantas de tratamiento de aguas residuales y los rellenos sanitarios. Dentro del sector energético en particular, la generación de electricidad representa 24% de las emisiones; el uso de combustibles fósiles en el sector manufacturero e industria de la construcción 8%; el transporte 18%; los sectores comercial, residencial y agrícola 5%; y las emisiones fugitivas de metano durante la conducción y distribución del gas natural, otro 5% (Bocco *et al.*, 2001).

En Brasil, gran parte de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) derivan de fuentes no energéticas tales como agricultura y ganadería, cambio de uso de suelo y silvicultura. Una serie de estudios, llevados a cabo de 1992 a 1994, muestran que el cambio de uso de suelo y la silvicultura son las fuentes más importantes de las emisiones de dióxido de carbono, seguidas por la energía y abonos con cal (PNUMA y SEMARNAT, 2006).

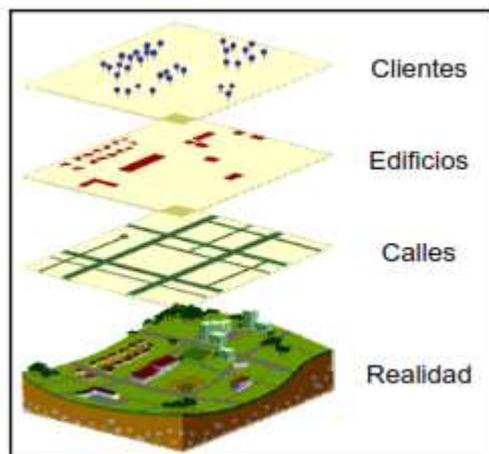
- **Variación de precipitaciones**

En un modelo de circulación general atmosférica elaborado por el Laboratorio de Ciencias Atmosféricas Goddard se ha demostrado que los grandes cambios en la cubierta vegetal afectan a la lluvia. Pero, no es la vegetación el factor determinante, sino más bien la correlación entre la humedad del suelo, la vegetación y la energía (fundamentalmente solar) que se necesita para convertir el agua en vapor de agua que forma parte del aire. (Saunders *et al.*, 1991).

2.1.4. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato (Peña, 2006).

El mismo autor también menciona que es realmente complejo explicar el concepto de SIG y no hay un consenso a la hora de definir un SIG, debido a que integra dentro de un mismo concepto tanto los componentes como las funciones. Asimismo, existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones; pero todas coinciden en que se trata de un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas del conocimiento.



La base de un SIG es, por tanto, una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (formato ráster), o bien capas que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada (Chrisman, 1997; Longley *et al.*, 2001). Esta estructura permite combinar en un mismo sistema.

Figura 2. Ejemplo de SIG.

Mediante los SIG se pueden realizar operaciones entre las capas, y así obtener resultados en formato imagen o en tablas. Todos estos resultados pueden utilizarse para la elaboración de análisis y modelos. Por lo tanto, no hay que considerar a los SIG como una herramienta sólo de captura, almacenamiento, manejo y presentación de mapas (Courboules *et al.*, 1988).

2.1.5. Imágenes de satélite

Las imágenes obtenidas por los satélites de teledetección ofrecen una perspectiva única de la Tierra, sus recursos y el impacto que sobre ella ejercen los seres humanos. La teledetección por satélite ha demostrado ser una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe citar la planificación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, desarrollo de mercados, localización de bienes raíces y muchas otras. Ofrecen una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre y facilitan la comprensión de las relaciones entre ellos que pueden no verse claramente cuando se observan a ras de tierra. El carácter "remote" de la teledetección proporciona una visión parcial del globo desde un lugar específico. Las imágenes de satélite muestran, literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al desvelar detalles ocultos que de otra forma estarían fuera de su alcance (SRGIS, 2005).

El autor también menciona que el valor práctico y la multiplicidad de aplicaciones de las imágenes continúan aumentando a medida que se lanzan nuevos satélites, que se suman a los que ya están en órbita. Al haber más satélites se dispone de imágenes en una cantidad creciente de tamaños de escena, resoluciones espectrales, frecuencias de paso y detalles espaciales. A la vez que estos nuevos sensores espaciales hacen que las imágenes sean

más útiles que nunca, ofrecen a los usuarios actuales mayores dificultades a la hora de escoger las más adecuadas.

2.1.5.1. Evolución de las Imágenes de Satélite

La tecnología de observación de la Tierra de alta resolución a través de satélites se realiza hace 40 años. tecnología satelital, sus orígenes se ubican con el inicio de las actividades aeronáuticas a principio de siglo XX (Alzate, 2001).

El autor también indica que las primeras fotografías se tomaron sobre la tierra con la idea de mirar hacia abajo a su superficie le dio origen a la fotografía aérea, surgida en los 1840 con cuadros tomados desde los globos. Durante la primera Guerra Mundial, cámaras montadas en aviones proporcionaron vistas aéreas de áreas de la superficie bastante grandes que aportaron el reconocimiento militar. Desde entonces hasta principios de los años sesenta, la fotografía aérea seguía siendo la única herramienta estándar para representar la superficie desde una perspectiva vertical u oblicua.

El mismo autor indica que la teledetección desde cohetes tuvo sus orígenes durante los primeros días de la edad del espacio (programas rusos y americanos). Comenzó tomando imágenes de la superficie, usando varios tipos de sensores de plataforma espacial. Durante los años sesenta, los primeros sensores de imágenes sofisticados fueron incorporados en satélites de órbita.

2.1.6. Causas espaciales en los cambios de cobertura

Según la FAO (2000), indica que la ganadería extensiva ha demostrado tener una alta relación con la deforestación a través del tiempo. Así mismo, las cuencas que presentan mayor actividad humana, principalmente las dedicadas a la ganadería y a la agricultura, evidencian un mayor deterioro de su territorio.

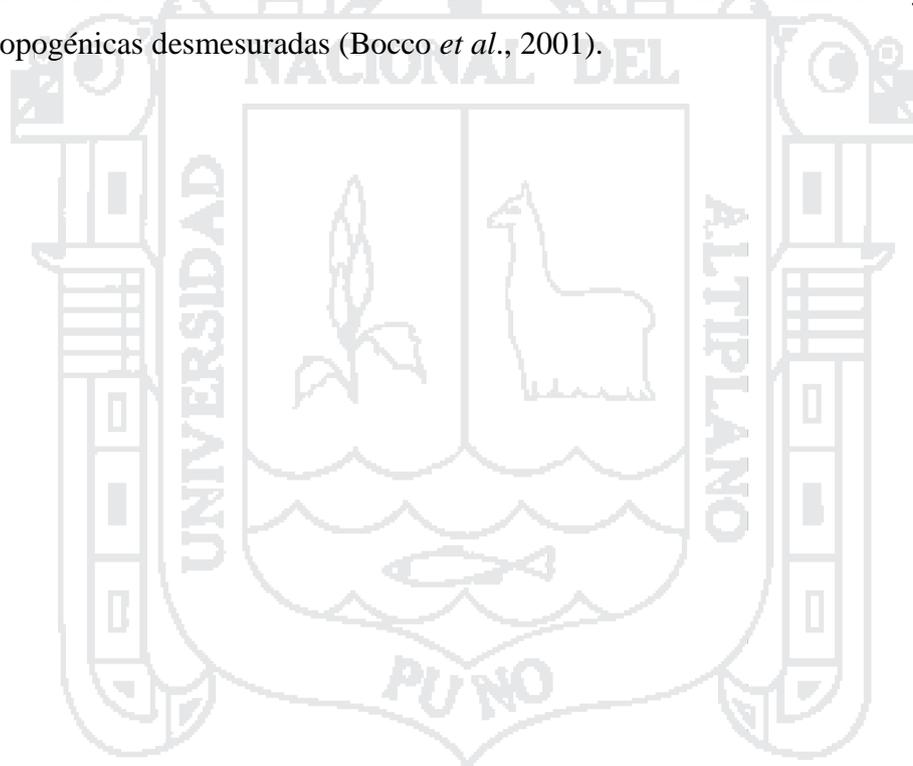
El mismo autor indica que se presentan datos recientes de investigaciones realizadas por el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) en el departamento del Quindío (Colombia) sobre los impactos de la ganadería de pastoreo intensivo para leche sobre el suelo y el agua. Los datos sobre este último recurso son inéditos. Se revisan una serie de alternativas para reducir los daños ocasionados e iniciar una nueva era de ganadería basada en principios de sostenibilidad que incluye una activa gestión en las microcuencas (revegetalización, protección de nacimientos, reducción de vertimientos contaminantes) y la transformación de los pastizales homogéneos en sistemas silvopastoriles.

Los crecimientos urbanos y las actividades antropogénicas como la minería, ganadería, agricultura entre otros tienen impactos directos en la cobertura uso del suelo siempre y cuando se de en forma intensificada (Martino, 2007).

2.1.7. Tasas de cambio en la cobertura vegetal

La FAO (2000), señala que los recursos más esenciales de la naturaleza como son cobertura vegetal y recursos hídricos muestran tasas de decrecimiento continuo en el tiempo a consecuencia de las actividades antropogénicas como la agricultura, expansión agropecuaria, minería etc., todo esto conlleva a la necesidad de tomar medidas de control estrictamente enfocados en el problema.

Cada año la tasa de disminución se incrementa en la cobertura del suelo eso gracias al avance silencioso de la desertización derivado del cambio climático y actividades antropogénicas desmesuradas (Bocco *et al.*, 2001).



III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

- **Ubicación**

El área de estudio del presente trabajo de investigación se desarrolló en el distrito de Paratía que se halla situado en la provincia de Lampa del departamento de Puno, al sur oeste del distrito de Lampa ubicado entre el flanco montañoso de la cordillera occidental. a una distancia de 144 km., de la capital del departamento de Puno y a 100 km., de la ciudad de Juliaca.

País : Perú

Región : Puno

Provincia : Lampa

Distrito : Paratía

- **Ubicación geográfica**

Para la Ubicación geográfica, se ha tomado datos con un GPS navegador, cuyas coordenadas en UTM WGS-84 DATUM es:

N (m) : 308339.505 - 327329.305

E (m) : 8241630.576 - 8251640.271

Altitud : 4,390 - 5,475 msnm

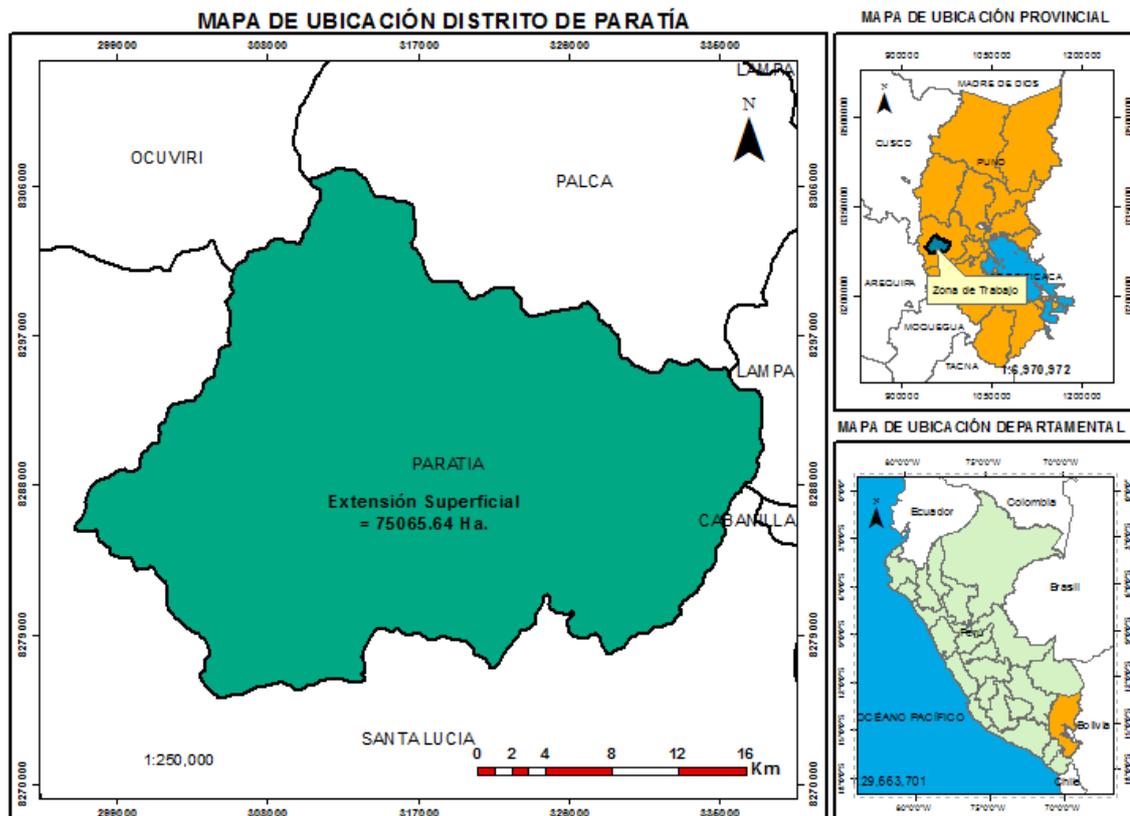


Figura 3. Mapa de Ubicación distrito de Paratía

- **Límites**
 - Norte : Distrito de Palca, VilaVila y Ocuvi.
 - Sur : Distrito de Santa Lucía.
 - Este : Distrito de Lampa.
 - Oeste : Distrito de Santa Lucía y Ocuvi.
- **Hidrografía**

Los ríos perennes y caudalosos de Paratía son de la cuenca de Coarita, que baja de las elevaciones de Pilinco y Piruani, con destino hacia Palca, formando el río Lampa. Río Paratía que baja de Yorac Apacheta, de las alturas de Hokela Apacheta, Churumayu y río de Pacobamba, formando el gran río de Paratía que une con río Chilahuito. Río Sayt'o y río Caqueri K'ucho formando el gran río de Chilahuito que se une con río Paratía. Finalmente, el poderoso Río Verde (q'omer mayu), que baja desde la cordillera Occidental de Quillisani, río de mayor caudal durante todo el año y que alimentan los ríos de Llanca, Millocochapata, Jarpaña, que alcanza al río principal de Paratía con destino a Santa Lucía, Cabanilla, Juliaca, llegando al Lago Titicaca con la nominación Río Coata se encuentra a una distancia de 144 km. De la capital de la Región Puno, y a 100 metros de la ciudad de Juliaca.

Las lagunas más extensas tenemos: Sayt' o Ccocha (Caqueri), Quinsaccocha (tres lagunas de San Antón), Churo (San Antón), Millo Ocochapata, Q'omerccochoa, Suito Cocha. Ananta que pertenece a Paratía y Santa Lucía.

- **Régimen de variación de precipitaciones**

Precipitación media anual 560.13 mm (1995-2002), 810.13 mm (2002-2009), 492.63 mm (2009-2016) (Weiter, 2007)

- **Tipos de suelo**

Leptosol districo - Andosol umbrico - Afloramiento lítico

Leptosol eutrico - Regosol eutrico - Afloramiento lítico

- **Especies de cobertura vegetal**

Gramíneas, Rosaceae (pastos mas kanlli)

Festuca dolichophylla (Chilligua)

Stipa ichu (Ichu)

Humedales (bofedales)

- **Tipos de roca**

Andesita, andesita basáltica, basalto, dacita, traquiandesita.

- **Clima**

Por su localización geográfica, Paratía tiene un clima frío y muy frío, y el glacial de la Janca o Cordillera, poco oxígeno por la misma presión atmosférica, escasa humedad. Diciembre, enero, febrero, marzo y abril temporada de lluvias intensas.

- **Población y características socioeconómicas**

El idioma nato es el quechua, en donde las palabras sólo se formaban a través de tres vocales (a, i, u), en la actualidad con cinco vocales.

En la Población de Paratía predomina el: 53 % de mujeres y el 47 % de varones, y el 35% es la PEA, según los últimos censos.

- **Fisiografía**

Se distingue por tener dos tipos de relieve:

a) Relieve medio plano: Existe una pequeña parte plana como están las comunidades de Chingani, Alpacocho, Chilahuito, Huacullani y Pucarilla.

b) Relieve saliente: La gran extensión de Paratía que está formado por elevados Picos Nevados, cerros y quebradas.

- **La minería actividad económica**

Después del cierre de la mina de Paratía, hace más de 50 años se reapertura en el año 2000, mes de octubre, con el Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros Sociedad Anónima (CIEMSA), por lo que gracias a la mina la población viene desarrollándose en el aspecto económico.

Los minerales que se extraen en la mina de paratía: Oro, Plata, Zing, Plomo.

3.1.2. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

3.1.2.1. Recursos materiales.

De Campo

- Equipos.

Navegador GPS.

- Logística.

motocicleta.

De gabinete

- Equipos.

Computadora.

- Imágenes.

Imagen LANDSAT 5, 7, 8 con resolución de 30 metros.

Imagen ASTER con resolución 15 metros.

- Material cartográfico.

Carta nacional. Escala 1:100 000

- Software

Microsoft Windows 10, Microsoft Office 2016, ENVI 5.3, Arc Gis 10.4, Erdas 2014.

3.2. METODOLOGÍA

Para determinar la dinámica de cobertura del suelo, se siguió la metodología CORINE-Land Cover, para lo cual se utilizó imágenes de satélite LANDSAT tomadas por la NASA de los Estados Unidos. El uso de estas imágenes se realiza principalmente para la elaboración de los mapas temáticos para las áreas extensas (Asner *et al.*, 2005).

3.2.1. Fase previa de gabinete

3.2.1.1. Recopilación de información disponible

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), Municipalidad Distrital de Paratía, entre otros.

3.2.1.2. Operacionalización de variables

- **Variable.-** cobertura
- **Tipo de variable.-** continua
- **Categorización.-**

Cuerpo de Agua (CP)

Cobertura Vegetal (CV)

Superficie de Rocas (SR)

Suelo Desnudo (SD)

- **Definición.-**

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.)

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 biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos.

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)

Suelo desnudo 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.

- **Indicador.-** Tasa de cambio en %
- **Nivel de medición.-** Intervalares
- **Unidad de medida.-** Cuantitativa

3.2.1.3. Georreferenciación

Las imágenes satelitales utilizadas para el estudio fueron georreferenciadas con respecto a los mapas topográficos hidrográficos de escala 1:100 000 del Instituto Geográfico Nacional la cual fue la escala de trabajo, y la escala de publicación es 1:250 000

3.2.1.4. Delimitación del área de estudio

Usando imágenes de satélite de los periodos 1988, y 2016 se delimito el área de estudio tomando como referencia a mapas cartográficos y mapas del Área de Conservación existentes, identificando las zonas de influencia del área, en base a la capacidad de uso actual del suelo.

3.2.1.5. Imágenes de satélite

Se adquirieron imágenes de los sensores HVR (ASTER), TM, ETM y OLI (LANDSAT) del servidor de la NASA (www.earthexplorer.org). Las imágenes ASTER y LANDSAT corresponden al pathrow 3 71, con fechas de toma LANDSAT (1988,1995,2002,2009,2016) y ASTER (2016); se escogieron estas fechas de toma debido a la disponibilidad de imágenes para la cobertura del área de estudio.

Tabla 2. Bandas y aplicaciones de imágenes de satélite LANDSAT

Banda	Denominación	Aplicaciones
1	Azul visible	Mapeo de tipos de bosque, diferenciación entre vegetación y suelos, identificación de rasgos culturales (camino, urbanización, etc.).
2	Verde visible	Diferenciación entre tipos de plantas, determinación del estado de la vegetación, identificación de rasgos naturales.
3	Rojo visible	Diferenciación de especies vegetales y rasgos culturales.
4	Infrarrojo cercano	Determinación de tipos y estado sanitario de vegetación, delimitación de cuerpos de agua.

5	Infrarrojo medio	Distinción entre nubes y nieve, determinación del contenido de humedad del suelo y la vegetación.
---	------------------	---

Fuente: Parimbelli H. (2005).

Tabla 3. Características de imagen TM (1988)

Bandas	Resolución (nm)
TM1 (Azul)	450-520
TM2 (Verde)	520-600
TM3 (Rojo)	630-690
TM4 (Infrarrojo Cercano)	760-900
TM5 (Infrarrojo Medio)	1550-1750
TM6 (Infrarrojo Térmico)	10400-12400
TM7 (Infrarrojo Medio)	2080-2350

Fuente: Fernández y Herrero (2001).

Tabla 4. Características de imagen ETM + (2009)

Banda N°	ETM Nombre	Frecuencia μm	Resolución m	Característica
1	VIS B	0.450-0.515	30	Azul visible
2	VIS G	0.525-0.605	30	Verde visible
3	VIS R	0.630-0.690	30	Rojo visible
4	NIR	0.750-0.900	30	Infrarrojo cercano
5	NIR	1.550-1.750	30	Infrarrojo cercano
6	TIR	10.40-12.50	30	Infrarrojo termal
7	MIR	2.090-2.350	30	Infrarrojo mediano
8	PAN	0.520-0.900	15	Pancromática

Fuente: Fernández y Herrero (2001).

3.2.1.6. Procesamiento de las Imágenes de Satélite

Las imágenes originales fueron corregidas geométricamente con ("ERDAS 2014"), para este estudio se recortó las imágenes (banda por banda) para abarcar el ámbito requerido.

La información para cada píxel en las distintas bandas está dada en niveles digitales (ND) que pueden variar entre 0 y 255 (256 niveles) representadas visualmente por una escala de grises, donde el nivel cero puede ser representado por el color negro y el nivel 255 por el blanco. Como la imagen original ha sido cortada, los ND dentro del ámbito varían entre 0 (negro) y 165 (blanco) en la escala de grises. Las paletas de colores se emplean en las imágenes de satélite cuando distintas bandas se combinan para formar una combinación de colores naturales (bandas azul, verde y rojo) o colores "falsos" donde se emplea por ejemplo una o más bandas infrarrojas que resaltan mejor la vegetación.

3.2.1.7. Realce de la Imagen para mejorar la visualización

Generalmente las imágenes crudas muestra poco contraste lo cual hace difícil distinguir las diferentes cubiertas del suelo. Para lo cual se hizo un realce de imagen con ERDAS 2014 para mejorar el contraste, lo cual permite una mayor nitidez entre las coberturas del suelo.

3.2.1.8. Combinación de bandas para la combinación de colores

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.

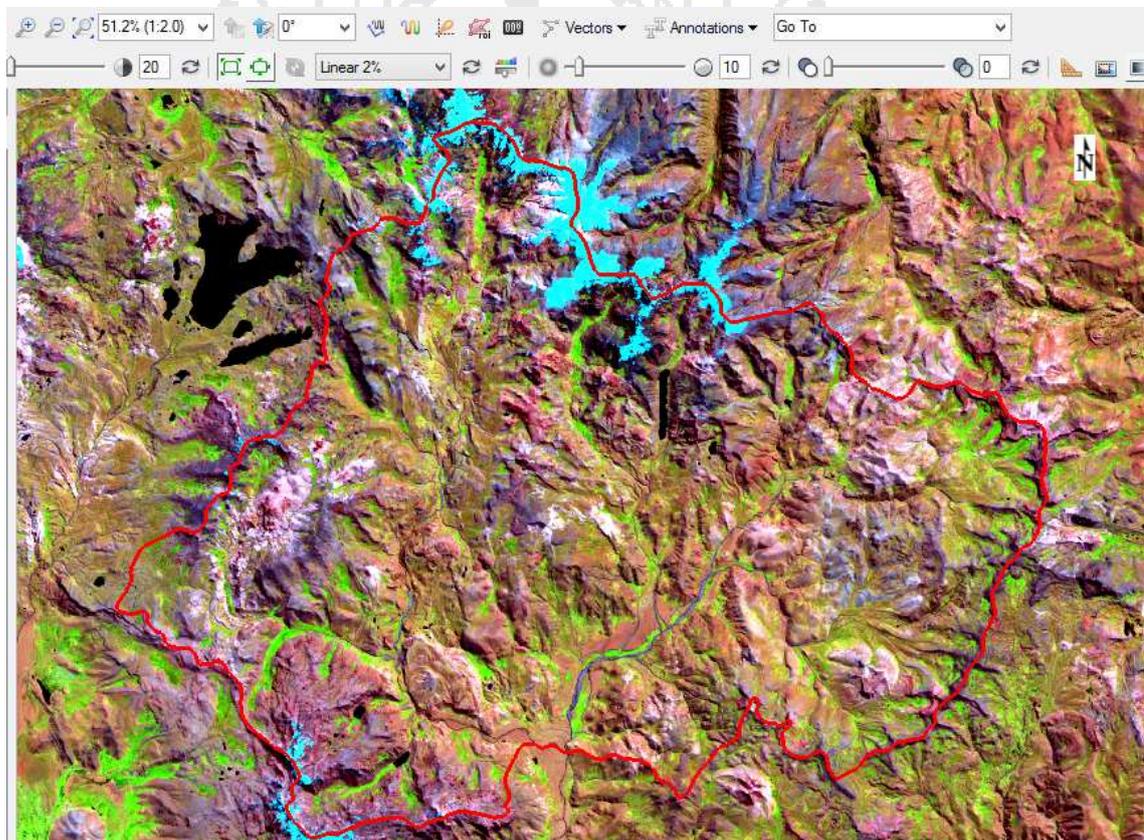


Figura 4. Combinación de bandas 543 landsat 5 (1988).

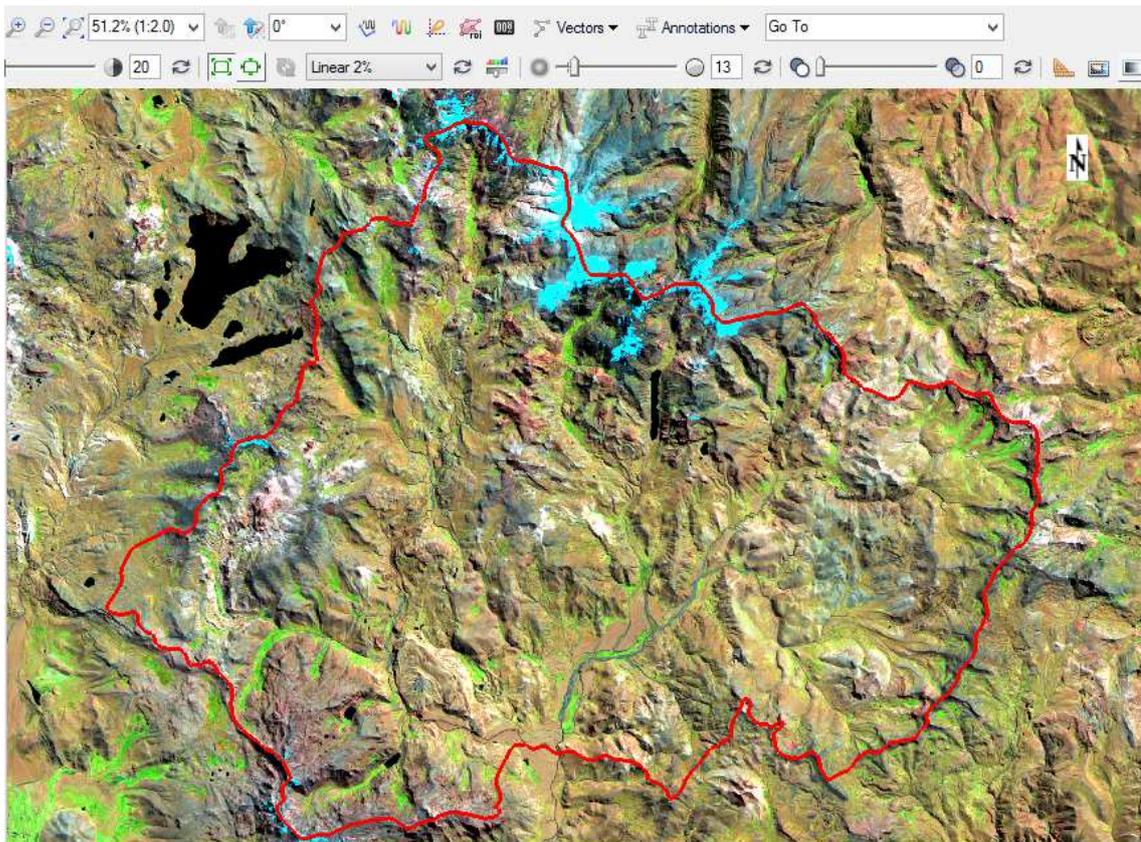


Figura 5. Combinación de bandas 543 landsat 7 (2009).

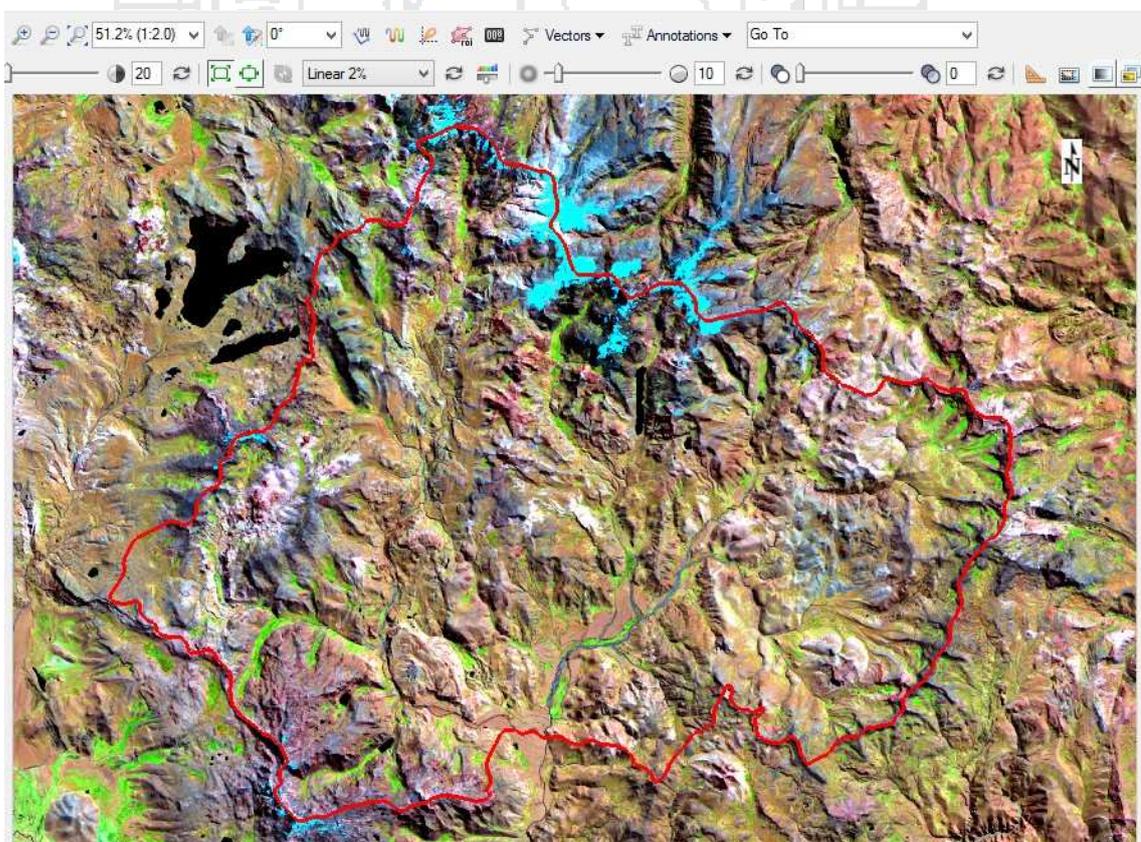


Figura 6. Combinación de bandas 654 landsat 8 (2016).

3.2.1.9. Clasificación no supervisada

En el software ERDAS se realizó clasificaciones de imágenes por el método no supervisado para obtener información preliminar de cobertura y uso de suelo, agrupando los píxeles de la imagen en 4 categorías o firmas espectrales: Cuerpo de Agua (CP), Cobertura Vegetal (CV), Superficie de Rocas (SR), Suelo Desnudo (SD).

3.2.2. Fase de campo

El trabajo de campo se realizó con la intención de correlacionar la clasificación no supervisada con la categoría existente en el área de estudio y para tomar los datos de información requerida los que sirvieron posteriormente para la clasificación supervisada. Para estimar la precisión de la clasificación se generaron 30 muestras aleatorias independientes para cada categoría en cada una de las imágenes,

3.2.2.1. Verificación en Campo

Se realizó un reconocimiento general del área de evaluación, recorriendo el área a través de todas las rutas accesibles en motocicleta y posteriormente con visitas más detalladas a pie a lugares de difícil acceso. Se levantaron áreas de control localizadas de preferencia en parches homogéneos para cada tipo de cobertura/uso. El levantamiento de dichas áreas se realizó registrando las Coordenadas UTM con un Navegador GPS.

De acuerdo a la FAO la verificación en campo con áreas de control (clasificación supervisada), debe realizarse mediante 2 formas: 1. Forma lineal, para áreas menores de 1 ha. y 2. Forma poligonal, cuando las áreas sean superiores a 1 ha.

3.2.3. Fase de gabinete

Se analizó las imágenes satelitales LANDSAT, que fueron proporcionados a nivel de pre procesamiento georreferenciados con la carta nacional del Perú (escala 1: 100 000), realizándose la caracterización multitemporal y referenciándose con los puntos de control obtenidos de campo de cada tipo de cobertura/uso del suelo, los que fueron capturados con el localizador global (GPS) y llevados a una base de datos para ser procesados a través del Software ERDAS 2014 y Arc Gis 10.4.

3.2.3.1. Clasificación supervisada

En base a la clasificación no supervisada se realizó la clasificación supervisada de cada imagen (1988, 1995, 2002, 2009 y 2016), para atribuir categorías predeterminadas de tipos de cobertura (uso del suelo).

El uso de una clasificación supervisada en este contexto representa una herramienta adecuada para la separación de píxeles y el espacio multispectral de cualquier pixel en la imagen.

Con las señales espectrales visibles de la imagen se combinan las bandas visibles (rojo, verde y azul) para identificar la vegetación y suelos. Con los puntos de control tanto lineal y poligonal se validaron en cada imagen, siendo estos puntos recogidos en campo.

Las clasificaciones supervisadas y no supervisadas se efectuaron por periodos: periodo 1 (1988 – 1995), periodo 2 (1995 – 2002), periodo 3 (2002 – 2009), periodo 4 (2009 – 2016).

3.2.3.2. Cambios de Uso

Para determinar el cambio de uso de un área en estudio es importante usar imágenes calibradas traducidas en unidades similares es decir bandas similares de las imágenes; con la finalidad de detectar variación en el uso de la tierra desde un estado inicial hasta un estado final a los cuales se les realizó una clasificación supervisada; el análisis debe comparar el estado inicial de los píxeles en la categoría de uso de la tierra atribuida y su cambio en el estado final.

3.2.3.3. Índices de cambio propuestos por Pontius *et al.*, (2004)

Tradicionalmente la localización y cuantificación de los cambios de la ocupación del suelo se realizan a través de una sobre posición cartográfica y una matriz de transición, generando de esta manera mapas y tablas de cambio que permiten identificar la magnitud y distribución espacial de la dinámica del cambio, como bien fue explicado, aunque es una técnica de análisis muy extendida, la matriz de transición, en muchos casos, no es analizada a profundidad, ya que a veces los análisis llevados a cabo con estos datos pueden llevar a entendimientos erróneos acerca de la dinámica de los cambios de uso del suelo.

Por este motivo, en el presente trabajo se agrega información adicional para ganar en un conocimiento más profundo concerniente a los procesos potenciales que determinan un patrón de cambio de cobertura del suelo. Así, Pontius *et al.*, (2004) propusieron un método basado en la matriz de transición que busca representar la base para la obtención de información que parta de un nivel de análisis general hasta acercarse al nivel detallado de los cambios producidos en el territorio (ganancia, pérdida, intercambio, persistencia, cambio neto y cambio total).

Tabla 5. Matriz de transición con ganancias y pérdidas.

Tiempo2					Total Tiempo1	Perdidas
Tiempo1	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4		
Categoría 1	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₊₁	P ₊₁ - P ₁₁
Categoría 2	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₊₂	P ₊₂ - P ₂₂
Categoría 3	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₊₃	P ₊₃ - P ₃₃
Categoría 4	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄	P ₊	P ₊₄ - P ₄₄
Total Tiempo 2	P ₊₁	P ₊₂	P ₊₃	P ₊₄	1	
Ganancias	P ₊₁ - P ₁₁	P ₊₂ - P ₂₂	P ₊₃ - P ₃₃	P ₊₄ - P ₄₄		

Así bien, de los índices de cambio propuestos por Pontius *et al.*, (2004) tenemos: **la ganancia** (G_{ij}), la cual indica la proporción del paisaje que experimenta un aumento entre la fecha inicial (t1) y la fecha final (t2), y que se calcula obteniendo la diferencia entre la columna del total del tiempo 2 (P_{+j}) y la persistencia (P_{jj}).

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj} \quad (\text{ecuación 1})$$

La pérdida (L_{ij}), que representa la proporción del paisaje que decrece entre ambas fechas, se obtienen calculando la diferencia entre la fila del total del tiempo 1 (P_{j+}) y la persistencia (P_{jj});

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{jj} \quad (\text{ecuación 2})$$

El intercambio (S_j) entre categorías, este concepto involucra simultáneamente ganancia y pérdida de una categoría de ocupación sobre el paisaje, se da cuando la localización de una categoría de ocupación cambia entre dos fechas, mientras su superficie permanece constante, es decir que por cada unidad de ganancia de una categoría hay la misma cantidad de pérdida para otra, se calcula como dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas.

$$S_j = 2 \times \text{MIN} (P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) \quad (\text{ecuación 3})$$

La persistencia (P_{ij}), la cual es la cantidad de superficie de las diferentes clases que se mantuvieron estables durante los diferentes tiempos estudiados (esta es importante en el análisis de cambios de usos, en el sentido de que diversos estudios demuestran que lo estable es lo que predomina en la naturaleza, aun en zonas muy dinámicas), y que puede ser obtenida a partir de la diagonal principal de la matriz.

El cambio total (DTj), el cual es la suma de todas las proporciones del paisaje que cambiaron, mientras que el cambio neto (Dj) indica un cambio definitivo sobre el paisaje, por cuanto representa la diferencia entre el cambio total y el intercambio, dada en valores absolutos.

$$DTj = (Gij + Lij) \quad (\text{ecuación 4})$$

$$Dj = |DTj - Sj| \quad (\text{ecuación 5})$$

Adicionalmente, para reconocer si los cambios producidos entre las categorías corresponden a transiciones sistemáticas, es necesario determinar si estas ganancias y pérdidas son significativas. Para ello se construyen dos matrices denominadas de transición sistemática: una en función de las ganancias (ecuación 6) y otra en relación con las pérdidas (ecuación 7). Lo que se obtiene con estas matrices es la distribución de la ganancia o pérdida de cada categoría entre las demás de acuerdo con la proporción relativa que cada categoría debió presentar en el t2 si el cambio fuera producto de un proceso aleatorio. Finalmente, para identificar si los valores de la matriz de transiciones sistemáticas son significativos, se considera la diferencia entre los valores observados (matriz de cambios) y los valores esperados (matriz de transiciones sistemáticas)

En el caso de las ganancias, (ecuación 6) se asume que la ganancia de cada categoría y la proporción de cada categoría en el t2 son fijas, para después distribuir la ganancia a través de las otras categorías, según la proporción relativa de las otras categorías en el t1, donde Gij es la transición esperada de la categoría i para la categoría j debido a un proceso aleatorio de ganancia, $P_{j+} - P_{jj}$ es la ganancia total observada de la categoría j , P_{i+} es el tamaño de la categoría i en el t1 y P_{i+} es la suma de los tamaños de todas las categorías excluyendo a la categoría j en el t1.

$$Gij = \frac{(p_{+j} - p_{jj}) \times p_{i+}}{1 - p_{+i}} \quad (\text{ecuación 6})$$

Para el cálculo de las pérdidas (ecuación 7) el procedimiento es similar al anterior, donde se asume que la pérdida de cada categoría es fija, y luego se distribuye la pérdida a través de las demás categorías según la proporción relativa de las otras categorías con el t2, donde Lij es la transición esperada de la categoría i para la categoría j debido a un proceso aleatorio de pérdida, $P_{i+} - P_{ii}$ es la pérdida total observada de la categoría i entre los dos

tiempos P_{+i} es el tamaño de la categoría j en el t_2 , y $1 - P_{+i}$ es la suma de los tamaños de todas las categorías excepto la categoría i en el t_2 .

$$L_{ij} = \frac{(p_{i+} - p_{ii}) \times p_{+j}}{1 - p_{+j}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

3.2.3.4. Cadenas de Markov

Los modelos de cadenas de Markov proporcionan un estudio empírico del proceso de conversión de cambios de cobertura del suelo. Éstos están fundamentados en datos observados y su representación de las condiciones actuales, incluyendo las condiciones relacionadas con las medidas realizadas, como las dinámicas espacial y temporal.

En esencia, esta clase de modelo puede utilizarse para analizar el cuánto de los procesos de conversión (o modificación) de las coberturas del suelo. Este modelo empírico puede servir como base sobre la cual pueden ser construidos los modelos mecanicistas y sistemas dinámicos. Estos modelos empíricos se diferencian de los modelos mecanicistas en que son un poco más restrictivos en su habilidad para explicar los procesos subyacentes que controlan el proceso de conversión.

El mecanismo central de una cadena de Markov es la función de probabilidad, que está referida a la probabilidad de transición de una cobertura a otra. La función de probabilidad puede ser estática sobre el tiempo (asumiendo estacionalidad) o puede estar ajustada en intervalos específicos para considerar cambios en la estacionalidad de los procesos controlados por las secuencias de transición. La función de transición y las secuencias de transición pueden estar derivadas de las observaciones directas de los fenómenos espaciales usando fotos aéreas o imágenes de satélite.

Por medio de cadenas de Markov se pudo estimar la tendencia de cambio de un sistema a partir de los estados iniciales. Por lo tanto, si en la zona de estudio se sabe el modo en el cual cambian de un uso del suelo a otro en el tiempo, entonces se podría llegar a conocer cómo estaría formado el paisaje en un futuro cercano. Gracias a las cadenas de Markov es posible representar el comportamiento de un sistema describiendo todos los diferentes estados que pueden ocupar e indicando el modo en el cual cambian de un estado a otro en el tiempo. El principio que siguen estas cadenas es que, a partir de un presente conocido, el futuro es dependiente del pasado.

Condiciones y análisis de las cadenas de Markov

Se considera una secuencia de procesos cuyos valores son: X_1, X_2, \dots , que satisfacen las siguientes dos propiedades:

Cada resultado pertenece a un grupo finito de resultados $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ llamado estado espacial del sistema; si el resultado del n -ésimo proceso es a_i , entonces podemos decir que el sistema está en el estado a_i en el tiempo n o en el n -ésimo paso.

El resultado de cualquier proceso depende sobre todo del proceso inmediatamente precedente y no de otros resultados previos; cada par de estados (a_i, a_j) proporciona la probabilidad p_{ij} de que a_j ocurra inmediatamente después de a_i ocurra.

Este proceso estocástico se llama cadena (finita) de Markov (Lipschutz, 1968). Los números p_{ij} se llaman probabilidades de transición, y se ordenan en una matriz cuadrada (filas = columnas) llamada matriz de transición.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mm} \end{bmatrix}$$

De este modo, a cada estado a_i le corresponde la i -ésima fila $(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im})$ de la matriz de transición P ; si el sistema está en el estado a_i , entonces este vector fila representa las probabilidades de todos los posibles resultados del siguiente proceso y por tanto este es un vector probabilidad.

La matriz de transición P de una cadena de Markov es una matriz estocástica si se cumple que:

- Cada una de las entradas de P es no negativa.
- La suma de las entradas en cada fila es 1

Una propiedad derivada de que P sea una matriz estocástica es que todas las potencias a las que se eleve esta matriz P^n nos darán matrices estocásticas. Y que el producto de dos matrices estocásticas A y B será otra matriz estocástica AB . Así una matriz estocástica P es *regular* si todas las entradas de cualquier potencia P^m son positivas. En el caso de que tenga en alguna entrada de cualquier potencia P^m el 0 no es regular.

La entrada p_{ij} en la matriz de transición P de una cadena de Markov es la probabilidad de que el sistema cambie del estado a_i al estado a_j en un paso: $a_i \rightarrow a_j$. Entonces el n -ésimo paso de la matriz de transición es igual a la n -ésima potencia de P , es decir, $P^{(n)} = P^n$.

Para construir las matrices de transición de los cambios de usos del suelo es necesario utilizar una tabla cruzada (tabla 6) en la cual se comparan los datos cuantitativos de

superficies (píxeles o hectáreas) entre 2 mapas de usos de diferentes edades. En el ejemplo aparecen representadas 8 categorías de usos del suelo que van de la letra A a la H.

Tabla 6. Tabla cruzada entre los años X1 y X2.

		Año X ₂							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Año X ₁	A	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18
	B	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28
	C	a31	a32	a33	a34	a35	a36	a37	a38
	D	a41	a42	a43	a44	a45	a46	a47	a48
	E	a51	a52	a53	a54	a55	a56	a57	a58
	F	a61	a62	a63	a64	a65	a66	a67	a68
	G	a71	a72	a73	a74	a75	a76	a77	a78
	H	a81	a82	a83	a84	a85	a86	a87	a88

Una vez dispuestos estos datos tienen que ser convertidos a probabilidades y cumplir las condiciones necesarias para ser una matriz estocástica (Tabla 7).

Finalmente, se ha de tener presente en la matriz de transición que todas las entradas tienen que ser probabilidades no negativas, es decir, positivas o cero, y que la suma de las entradas de cada fila tiene que ser 1. Así se tendrán todas las probabilidades de cambio de un periodo de tiempo a otro. Por ejemplo, el valor p_{12} es la probabilidad de paso del uso A del año X1 al uso B del año X2.

Tabla 7. Matriz de transición entre los años X1 y X2.

		Año X ₂							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Año X ₁	A	p11	p12	p13	p14	p15	p16	p17	p18
	B	p21	p22	p23	p24	p25	p26	p27	p28
	C	p31	p32	p33	p34	p35	p36	p37	p38
	D	p41	p42	p43	p44	p45	p46	p47	p48
	E	p51	p52	p53	p54	p55	p56	p57	p58
	F	p61	p62	p63	p64	p65	p66	p67	p68
	G	p71	p72	p73	p74	p75	p76	p77	p78
	H	p81	p82	p83	p84	p85	p86	p87	p88

El análisis de Markov se fundamenta en que las condiciones futuras dependen del estado inicial y de las probabilidades de cambio de dicho estado. Los modelos de Markov se aplican a sistemas homogéneos sólo cuando el sistema a ser modelizado tiene tanto unas consistentes probabilidades de transición en el tiempo como unos estados o clases adecuados (Li, 1995). Mediante estos modelos de Markov se pueden reflejar cambios en dinámicas sucesionales en el tiempo (Childress *et al.*, 1998).

El fin de este estudio radica en la estimación de las distribuciones futuras por medio de la distribución inicial y la tendencia de cambio. Pese a ser un modelo teórico simple refleja bien la evolución de los distintos estados en el tiempo en unas condiciones inalterables. La simulación de los datos queda demostrada con la siguiente fórmula:

$$V_1 = V_0 \cdot P$$

$$V_2 = V_1 \cdot P = V_0 \cdot P \cdot P = V_0 \cdot P^2$$

$$V_3 = V_2 \cdot P = V_1 \cdot P \cdot P = V_0 \cdot P \cdot P \cdot P = V_0 \cdot P^3$$

$$V_N = V_0 \cdot P^N$$

Donde:

V_0 es el vector de estado inicial está compuesto por la distribución inicial en probabilidades de cada uno de los n elementos.

P es la matriz de transición de n columnas por n filas integrada por las probabilidades de cambio.

V_N es el vector de estado en el periodo N e indica la distribución de probabilidades de cada uno de los n elementos.

N es el número de periodos que han transcurrido en la simulación.

distribución en el periodo N en probabilidades : $P^N = \left(\begin{array}{cccc} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mm} \end{array} \right)^N$

La matriz de transición P al elevarse a potencias altas termina por consolidar las probabilidades, a causa de dejar de variar P cabe suponer que después de un prolongado número de periodos se alcance un equilibrio estable para VN. El valor temporal de cada periodo (N) se extrae del espacio de tiempo que se ha tomado para realizar la matriz de transición P (Orloci *et al.*, 1993).

3.2.3.5. Causas espaciales

Para determinar las principales causas espaciales en la dinámica de cambio y uso del suelo se debe tomar como parámetros las principales actividades y el crecimiento territorial de la zona de estudio (minera, pecuario, agrícola, etc.) evaluando la evolución de estos parámetros en la zona de estudio a través del tiempo y así poder determinar cuál o cuáles son las principales causas espaciales que influyen en la dinámica de cambio y uso del suelo sirviéndose por otra parte de gráficos de correlación. (Orloci *et al.*, 1993).

3.2.3.6. Tasa de Cambio

La tasa de cambio es un indicador de presión que permite conocer la magnitud y velocidad con que se está presentando este proceso, su evaluación es necesaria para conocer la dinámica y magnitud del cambio, así como sus efectos.

La mejor forma de cuantificar este proceso es mediante el análisis de la dinámica de la cubierta vegetal relacionándola con el espacio y el tiempo (Berry *et al.*, 1996, citado por Velázquez *et al.*, 2002). La FAO (1996) propone la siguiente fórmula que expresa el cambio en porcentaje de la superficie del año inicial:

$$Tc = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

tc = tasa de cambio (en %)

S1= superficie en la fecha inicial

S2 = superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Análisis multitemporal de la dinámica de cambio

A partir de la digitalización y categorización de cada una de las imágenes recabadas para el presente estudio, se obtuvieron los 5 distintos mapas de cobertura del suelo (Figuras 7, 8, 9, 10 y 11) en donde las categorías estudiadas (Cuerpo de Agua, Cobertura Vegetal, Superficie de Rocas, y Suelo Desnudo), muestran cambios en el tiempo, son dinámicos tanto en estructura como en función y patrón espacial, determinando así la dinámica paisajística y creando estructuras cambiantes en el espacio y en el tiempo.

En los mapas obtenidos se puede observar que la cubierta vegetal natural del suelo es uno de los factores más importantes que controla la heterogeneidad espacial del paisaje. Los paisajes heterogéneos proporcionan un particular reto para modelar los cambios a nivel de cobertura.

A partir de los mapas obtenidos de cobertura/uso del suelo para los periodos (1988 – 1995), (1995 – 2002), (2002 – 2009), (2009 – 2016). Se procedió a realizar el análisis multitemporal de la dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía, partiendo de las superficies en cada periodo y finalizando en el análisis de Markov que incluye las proyecciones de la cobertura/uso del suelo en el distrito para el año 2044.

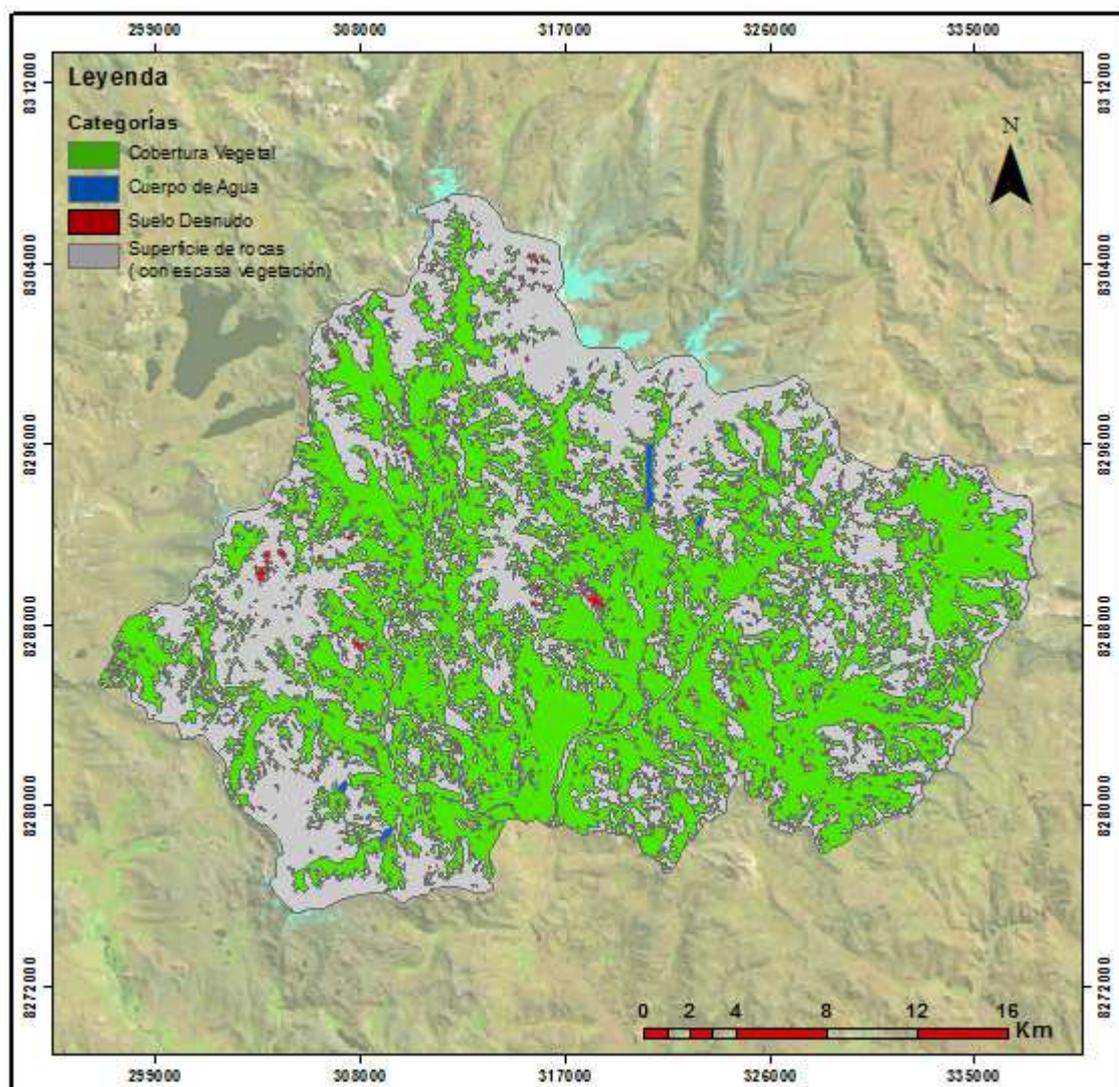


Figura 7. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 1988.



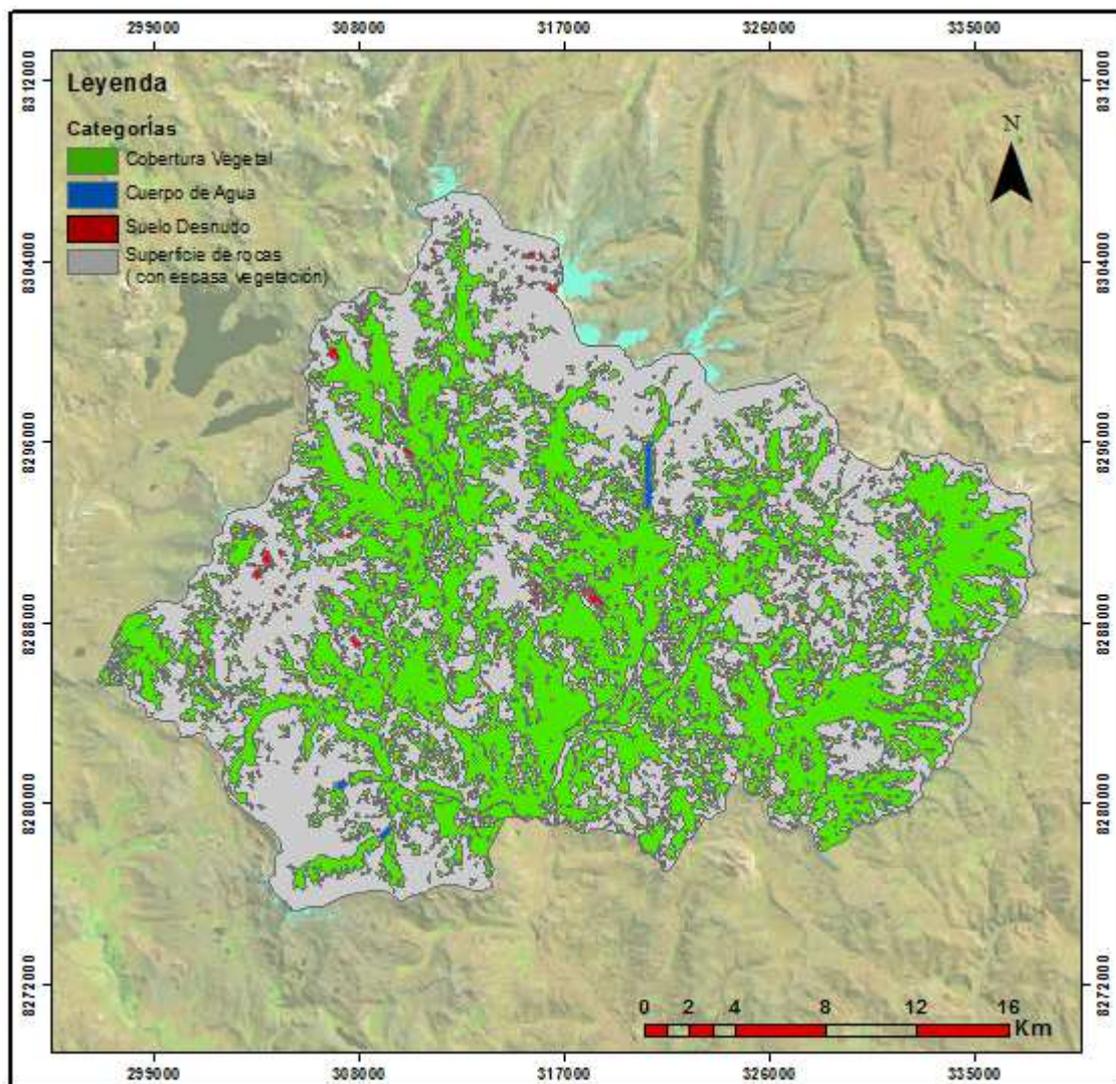
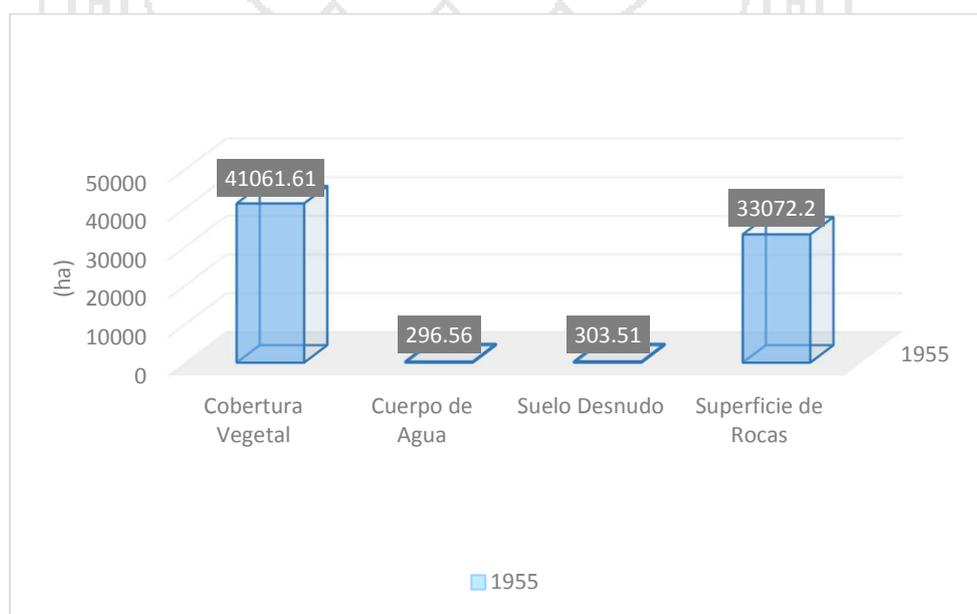


Figura 8. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 1995.



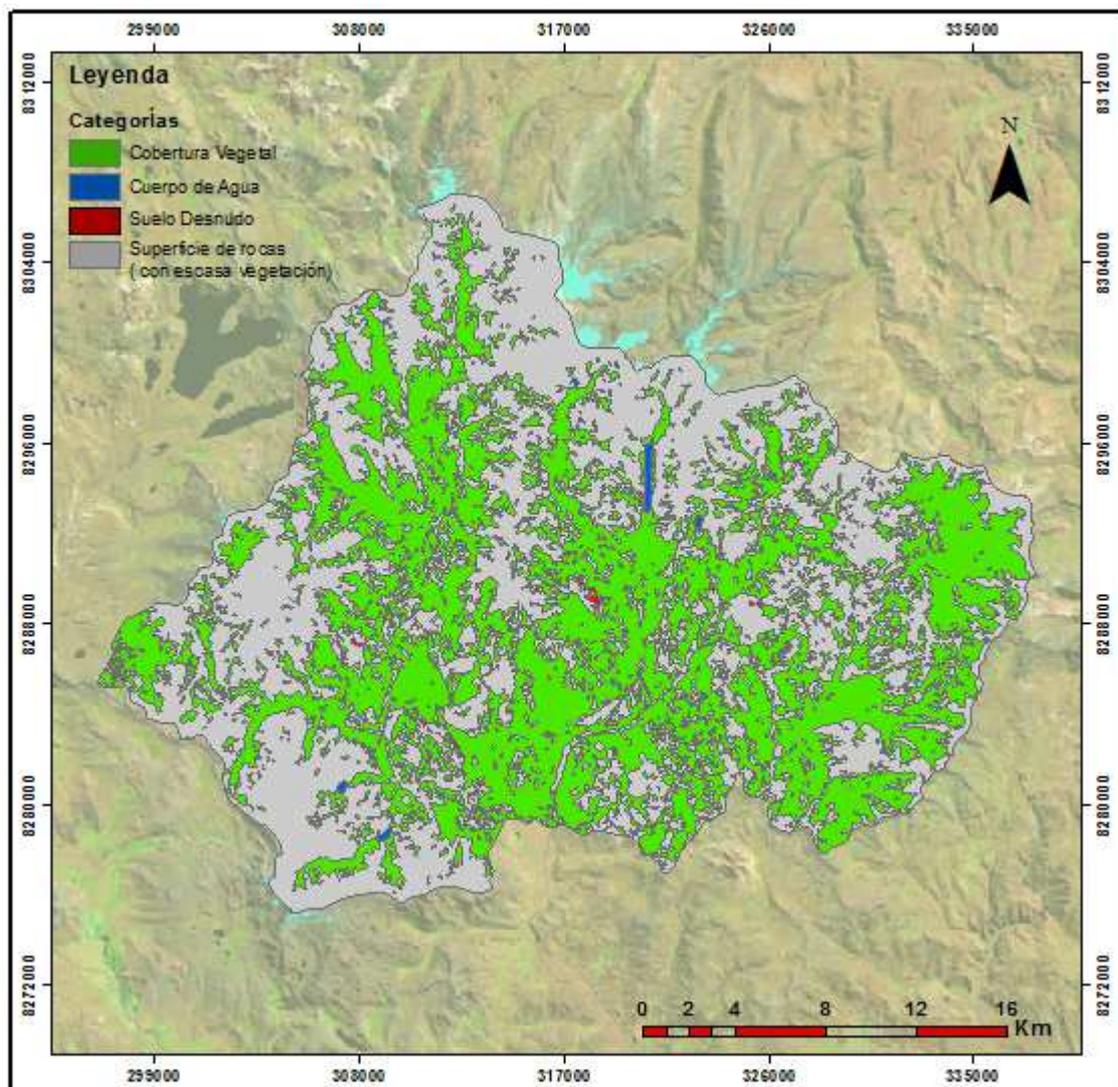


Figura 9. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2002



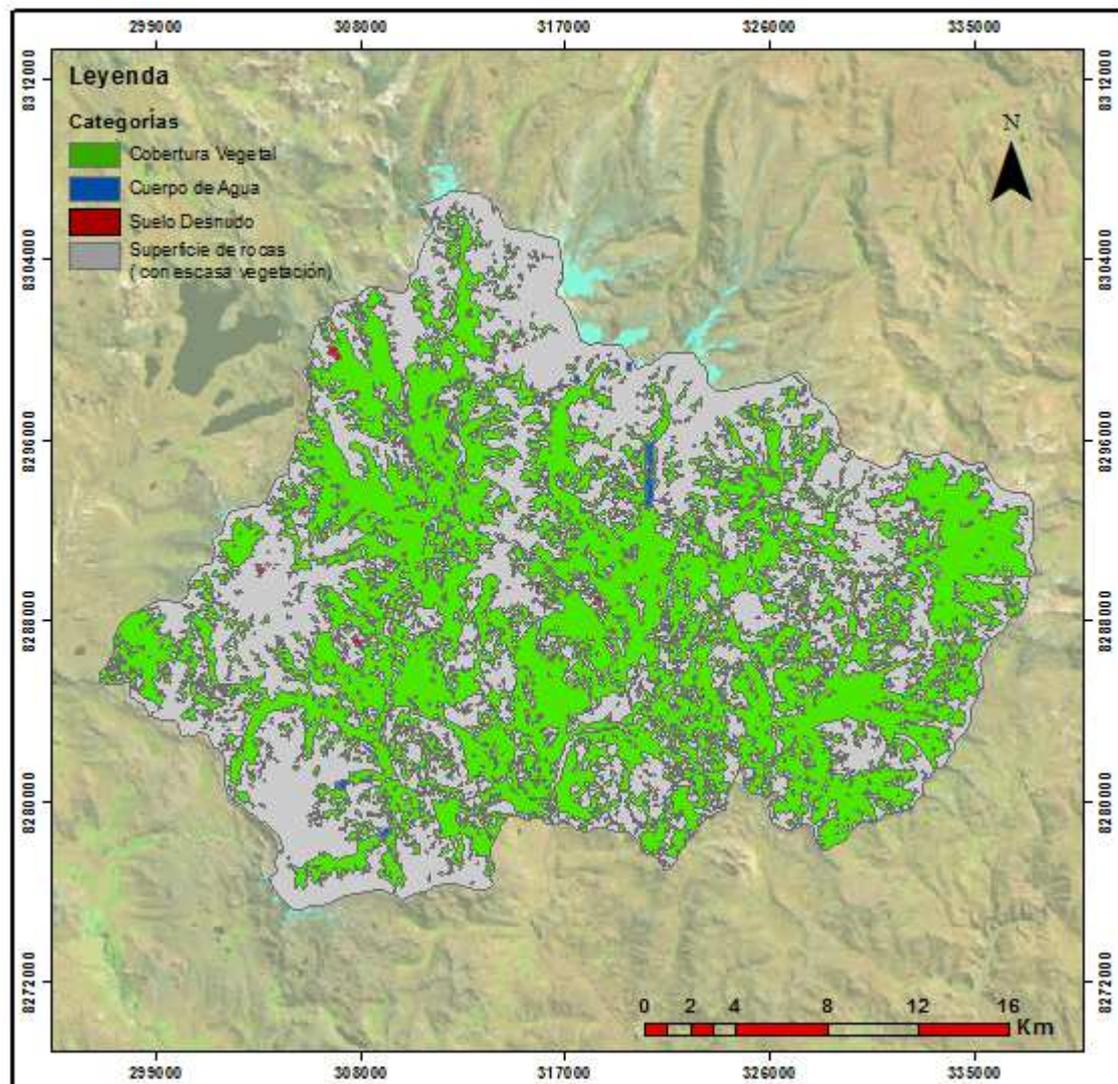
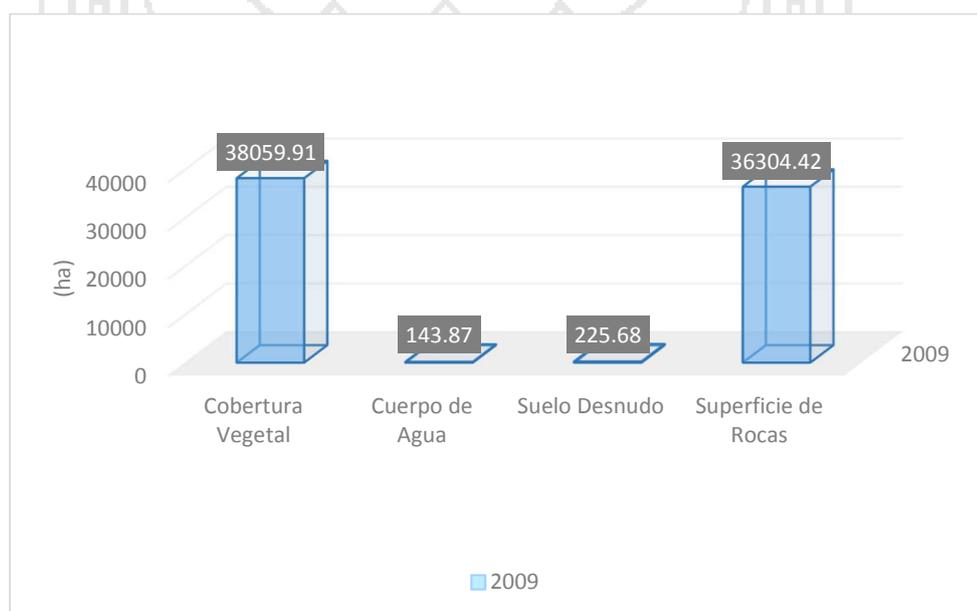


Figura 10. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2009



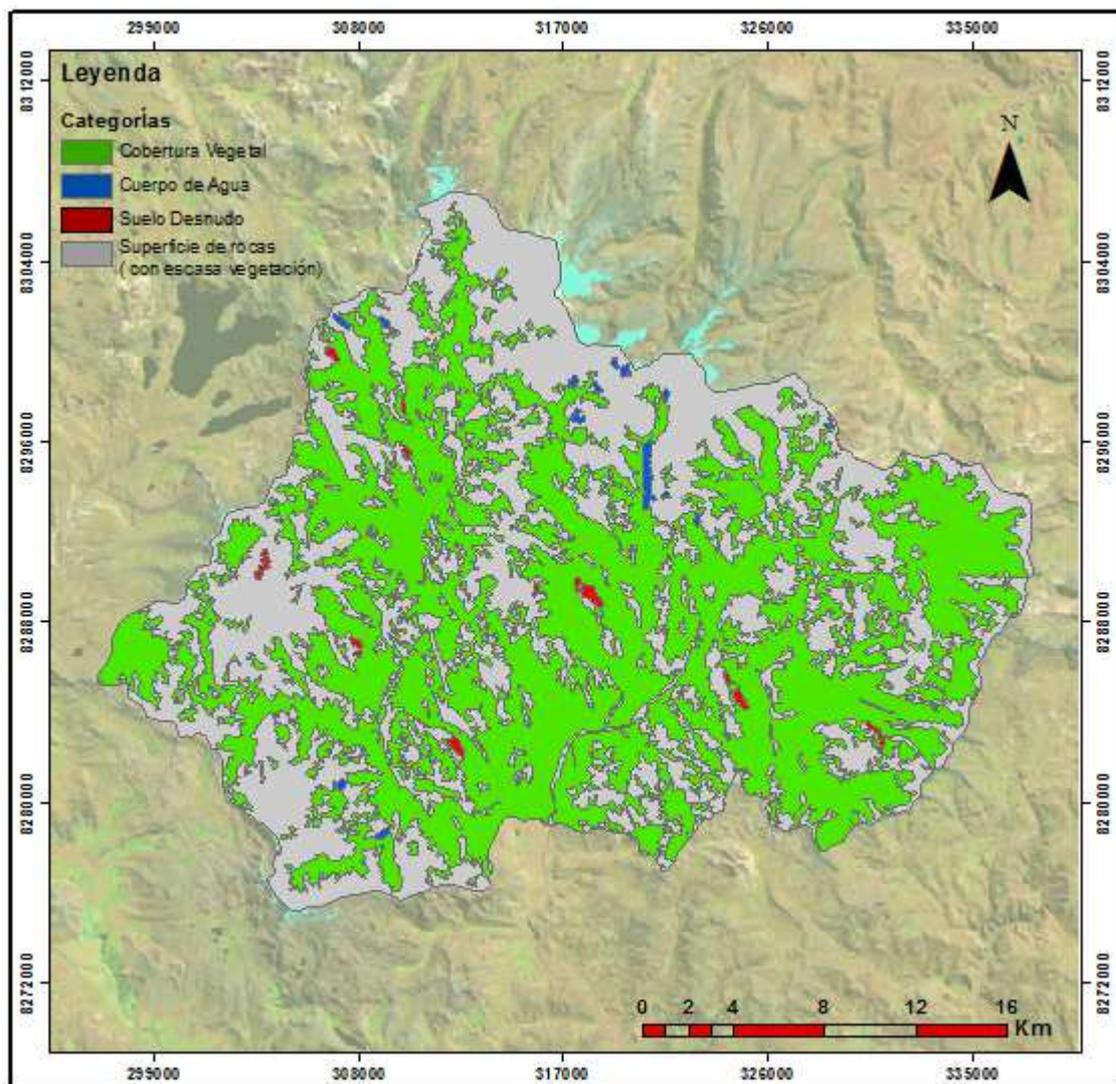
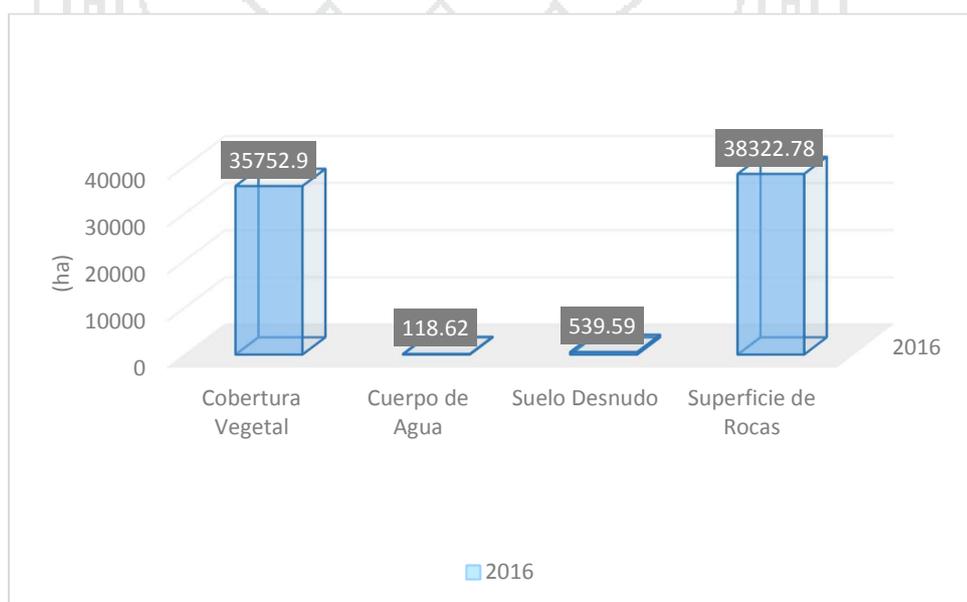


Figura 11. Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2016



4.1.1.1. Superficies

Una vez realizada la categorización y calculado de las áreas correspondientes para las categorías estudiadas en los periodos (1988 – 1995, 1995 – 2002, 2002 – 2009, 2009 - 2016) se procedió a elaborar la tabla de superficies. Así bien, resultado de los procesos, se obtuvo la Tabla 8 en el cual se muestra de manera clara los incrementos y decrementos en la superficie de cada categoría en los respectivos periodos de estudio.

Tabla 8. Superficies (en ha) correspondientes a los años establecidos, obtenido en base al área Total.

	Cobertura Vegetal	Cuerpo de Agua	Suelo Desnudo	Superficie de Rocas
	Sup.	Sup.	Sup.	Sup.
1988	39537.41	194.2	378.24	34624.03
1995	41061.61	296.56	303.51	33072.2
2002	35845.4	166.35	121.57	38600.57
2009	38059.91	143.87	225.68	36304.42
2016	35752.9	118.62	539.59	38322.78

En la Figura 12 se puede observar de mejor forma la dinámica expuesta en el cuadro anterior, observando ésta se puede determinar la relación de cambio de superficie, en donde es claro que mientras unas superficies crecen otras decrecen en los diferentes años que implica el estudio.



Figura 12. Superficies por categoría, correspondientes a toda el área de estudio.

4.1.1.2. Índices de Cambio

Como se mencionó con anterioridad 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, con lo cual se obtuvo la Tabla 9, en donde se muestra los índices de cambio (en %). En donde se aprecia que para el primer periodo la clase que tuvo el mayor cambio de superficie (cambio neto) fue Cuerpos de Agua (CP) con un 52.71% de cambio respecto al área que ocupaba en el año (1988), seguido por los Suelos desnudos (DS) con un 19.76%, Superficie de rocas (SR) con un 4.48% y Cobertura vegetal (CV) con un 3.86%, Para mayores detalles (ver Tabla 9).

En términos de persistencia para los 4 periodos la superficie que más se mantiene en el tiempo es el de rocas (mayores al 90%).

La categoría Cobertura Vegetal muestra un decremento muy importante a nivel de los 4 periodos en cambio superficie de rocas muestra incrementos significativos por lo que ambas clases representan la dinámica de la superficie total, con tendencias negativas para la cobertura vegetal y tendencias positivas para superficie de rocas.

Es importante resaltar que la categoría que más intercambio mostró respecto a su superficie en todos los periodos fue la categoría Suelo Desnudo (SD), lo cual nos muestra una idea general de la dinámica que se da en la zona con respecto a dicha categoría, ya que como se ha podido observar en gráficas anteriores de superficie y de tasas de cambio esta categoría ha tenido cambios continuos aunque no muy representativos respecto al área total a lo largo de los años estudiados en el presente trabajo.

Tabla 9. Índices de cambio (en %), por periodo para cada categoría, con respecto al área total de estudio.

		Guanacias	Perdidas	Cambio Total	Intercambio	Cambio Neto	Persistencia
1988-1995	CV	12.97	9.12	22.09	18.24	3.86	90.88
	CP	66.83	14.12	80.95	28.24	52.71	85.88
	SD	37.98	57.74	95.72	75.96	19.76	42.26
	SR	10.76	15.25	26.01	21.53	4.48	84.75
<hr/>							
1995-2002	CV	9.51	22.21	31.73	19.02	12.70	77.79
	CP	6.86	50.77	57.63	13.72	43.91	49.23

	SD	23.40	83.34	106.74	46.80	59.95	16.66
	SR	28.54	11.82	40.36	23.65	16.72	88.18
2002-2009	CV	12.19	6.01	18.20	12.02	6.18	93.99
	CP	14.69	28.21	42.89	29.38	13.51	71.80
	SD	163.91	78.26	242.17	156.53	85.64	21.74
	SR	5.93	11.87	17.80	11.85	5.95	88.13
2009-2016	CV	4.57	10.63	15.20	9.14	6.06	89.37
	CP	13.12	30.67	43.79	26.24	17.55	69.33
	SD	170.76	31.67	202.44	63.34	139.10	68.33
	SR	11.14	5.58	16.72	11.16	5.56	94.42

Cuerpo de Agua (CP), Cobertura Vegetal (CV), Superficie de Rocas (SR), Suelo Desnudo (SD).

Las tablas anteriores nos dan información de los cambios que sufrieron cada una de las categorías 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 13, 14, 15, y 16 muestran claramente para los 4 periodos cuales fueron los índices de cambio para las categorías estudiadas.

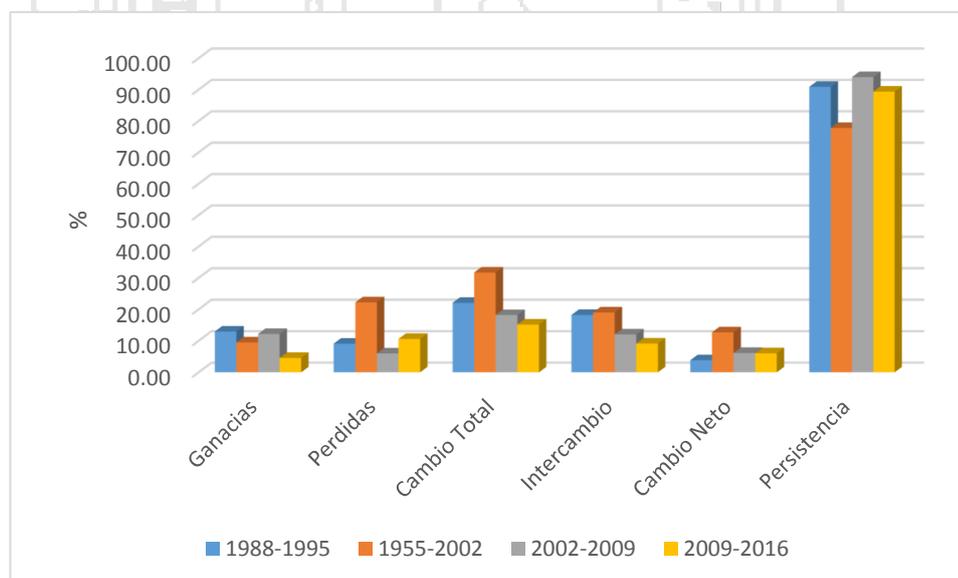


Figura 13. Índices de cambio (en %) de la categoría Cobertura Vegetal (CV).

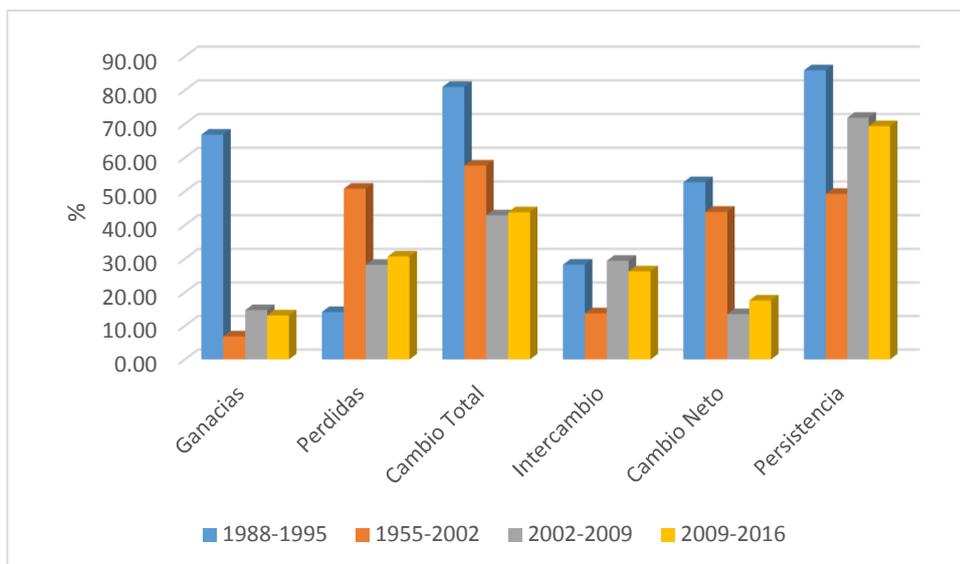


Figura 14. Índices de cambio (en %) de la categoría Cuerpo de Agua (AP).

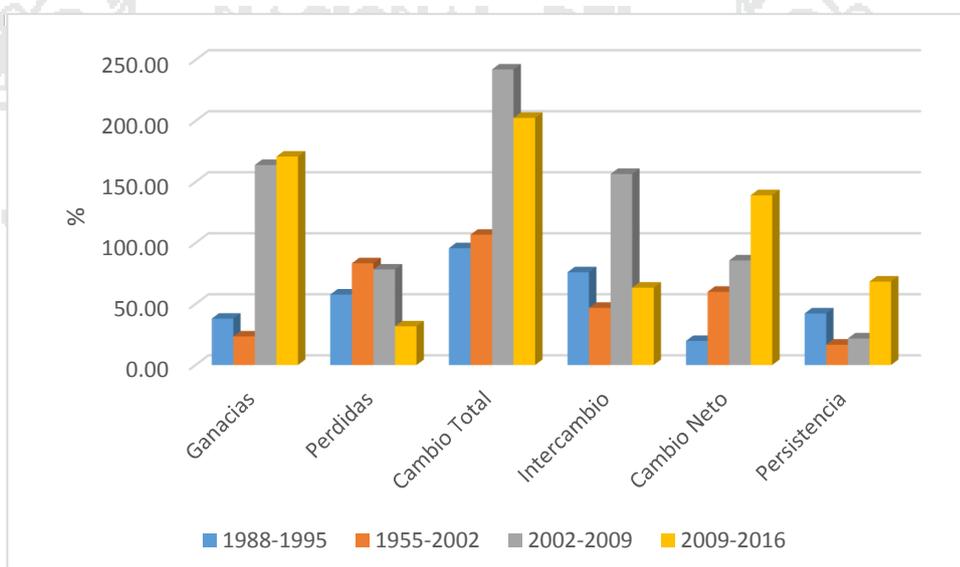


Figura 15. Índices de cambio (en %) de la categoría Suelo Desnudo (SD).

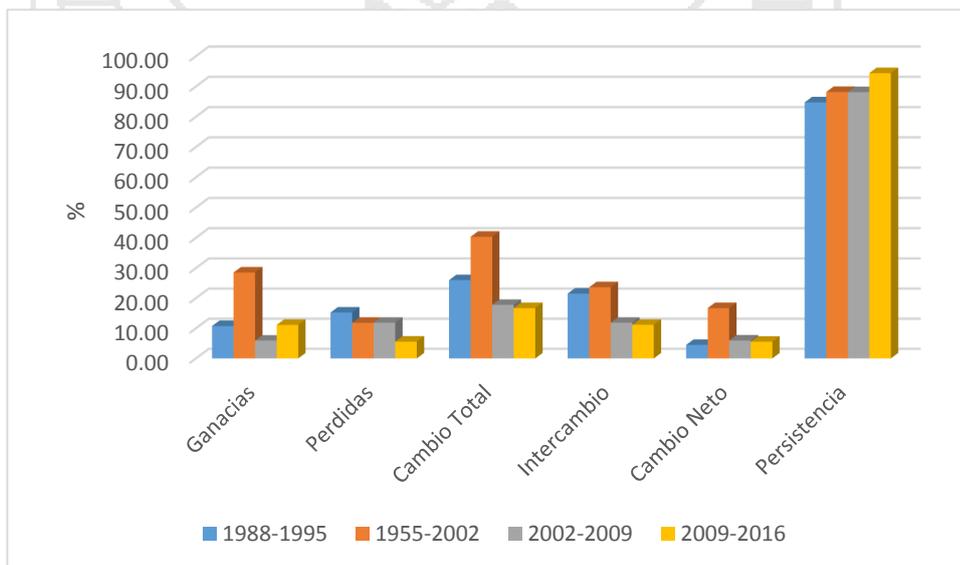


Figura 16. Índices de cambio (en %) de la categoría Superficie de Rocas (SR).

4.1.1.3. Tablas cruzadas de coberturas del suelo

Tal como se había mencionado en los requisitos de las matrices de transición es necesario tener presente unas consideraciones mínimas para asegurar un correcto procesado de los datos:

Como mínimo se tienen que tener dos épocas de una misma área de estudio de igual superficie. Se pueden tener más épocas, pero para los análisis se utilizan pares de periodos. Por ejemplo: para las épocas que se ha caracterizado el proyecto (1988, 1995, 2002, 2009, 2016); y para hacer su análisis de cambio se puede trabajar con los pares de periodos 1988-1995, 1995-2002 o 2002-2009, pero en ningún caso 1988-1995-2002.

Los mapas a comparar requieren tener el mismo número y tipo de categorías 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 categorías es el que repercute en el tamaño de la matriz de transición. Así pues, no se pueden admitir mapas que 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 10, 11, 12, y 13 quedan reflejados para cada combinación de mapas de usos del suelo de fechas consecutivas 1988-1995, 1995-2002, 2002-2009, 2009-2016. Los datos contenidos en el interior de las celdas se pueden expresar en kilómetros cuadrados o hectáreas y corresponden a cada combinación posible que pasan a formar parte de otro uso o cobertura. La suma total de filas o columnas es igual a la superficie del área de estudio.

Tabla 10. Tabla cruzada entre los años 1988 y 1995 en (ha).

		Mapa de uso 1995			
		CV	CP	SD	SR
Mapa de uso 1988	CV	35932.59	3.2	50.15	3551.48
	CP	3.21	166.78	0	24.21
	SD	67.07	0	159.86	151.32
	SR	5058.75	126.58	93.51	29345.2

En la tabla 10 se puede observar las persistencias (diagonal principal), las pérdidas (filas) y las ganancias (columnas) para cada categoría en el periodo 1988 – 1995, la interpretación es como sigue: En el periodo 1988 – 1995 35932.59 ha de cobertura vegetal no sufrió cambio, 3.2 ha paso a ser cuerpos de agua, 50.15 ha paso a ser suelo desnudo y 3551.48 ha paso a ser superficie de rocas, por otro lado en el mismo periodo 3.21 ha de cuerpos de agua paso a ser cobertura vegetal, 67.07 ha de suelo desnudo paso a ser cobertura vegetal y 5058.75 ha de superficie de rocas paso a ser cobertura vegetal(recubrimiento). Se sigue el mismo modelo interpretativo para el resto de las categorías y tablas.

Tabla 11. Tabla cruzada entre los años 1995 y 2002 en (ha).

		Mapa de uso 2002			
		CV	CP	SD	SR
Mapa de uso 1995	CV	31940.1	5.34	41.82	9074.35
	CP	6.41	146	0	144.15
	SD	32.6	0	50.55	220.36
	SR	3866.29	15.01	29.2	29161.71

Tabla 12. Tabla cruzada entre los años 2002 y 2009 en (ha).

		Mapa de uso 2009			
		CV	CP	SD	SR
Mapa de uso 2002	CV	33690.5	0.56	5.11	2149.23
	CP	0.93	119.44	0	45.99
	SD	2.91	0	26.43	92.23
	SR	4365.57	23.87	194.15	34016.98

Tabla 13. Tabla cruzada entre los años 2009 y 2016 en (ha).

		Mapa de uso 2016			
		CV	CP	SD	SR
Mapa de uso 2009	CV	34013.71	0.32	108.61	3937.27
	CP	0.08	99.75	0	44.05
	SD	8.43	0	154.2	63.05
	SR	1730.68	18.55	276.77	34278.41

4.1.1.4. Matrices de transición de coberturas del suelo

Una vez se tienen todas las tablas cruzadas se convierten los datos de superficie (ha) a probabilidades en tanto por uno esto se consigue dividiendo la suma total de una fila entre cada celda de la fila, en las distintas matrices de transición. Es esencial que se cumplan los requisitos necesarios para ser unas matrices de transición. De esta forma serán apropiadas para ser utilizadas más tarde en la proyección futura a partir del estado inicial y las probabilidades de cambio de dicho estado.

Las anteriores tablas cruzadas se han transformado en las siguientes matrices de transición para cada combinación de mapas de edades consecutivas 1988-1995, 1995-2002, 2002-2009, 2009-2016 (tablas 14-15 y tablas 16-17). La suma de las probabilidades de todas las celdas de una misma fila debe ser 1.

Tabla 14. Matriz de transición entre los años. 1988 y 1995 (probabilidades)

		Mapa de uso 1995			
		CV	CP	SD	SR
Mapa de uso 1988	CV	0.91	0.00	0.00	0.09
	CP	0.01	0.56	0.00	0.08
	SD	0.22	0.00	0.53	0.50
	SR	0.15	0.00	0.00	0.89

En la tabla 14 se puede observar las persistencias (diagonal principal), las pérdidas (filas) y las ganancias (columnas) para cada categoría en el periodo 1988 – 1995 (probabilidades), la interpretación es como sigue: En el periodo 1988 – 1995 la probabilidad de la cobertura vegetal no sufra cambios es de 0.91, la probabilidad de que

pase a ser cuerpos de agua es 0, lo mismo para suelo desnudo y la probabilidad de que pase a ser superficie de rocas es 0.09, por otro lado en el mismo periodo la probabilidad de que cuerpos de agua pase a ser cobertura vegetal es de 0.01 , la probabilidad de que suelo desnudo pase a ser cobertura vegetal es de 0.22 y la probabilidad de que superficie de rocas pase a ser cobertura vegetal(recubrimiento) es de 0.15. Se sigue el mismo modelo interpretativo para el resto de las categorías y tablas.

Tabla 15. Matriz de transición entre los años. 1995 y 2002 (probabilidades)

		Mapa de uso 2002			
		CV	CP	SD	SR
Mapa de uso 1995	CV	0.78	0.00	0.00	0.22
	CP	0.02	0.49	0.00	0.49
	SD	0.11	0.00	0.17	0.73
	SR	0.12	0.00	0.00	0.88

Tabla 16. Matriz de transición entre los años. 2002 y 2009 (probabilidades)

		Mapa de uso 2009			
		CV	CP	SD	SR
Mapa de uso 2002	CV	0.94	0.00	0.00	0.06
	CP	0.01	0.72	0.00	0.28
	SD	0.02	0.00	0.22	0.76
	SR	0.11	0.00	0.01	0.88

Tabla 17. Matriz de transición entre los años. 2009 y 2016 (probabilidades)

		Mapa de uso 2016			
		CV	CP	SD	SR
Mapa de uso 2009	CV	0.89	0.00	0.00	0.10
	CP	0.00	0.69	0.00	0.31
	SD	0.04	0.00	0.68	0.28
	SR	0.05	0.00	0.01	0.94

4.1.1.5. Diagramas de flujo

Por medio de diagramas de flujo se pueden esquematizar los tránsitos que ostentan los usos del suelo en los periodos estudiados (Figuras 17-18, Figuras 19-20). Es interesante expresar las matrices de transición en diagramas de flujos para tener una mejor idea de cuáles son las fuentes y cuáles son los sumideros de todas las transiciones entre coberturas y usos del suelo, En las figuras siguientes se muestran los diagramas de flujos.

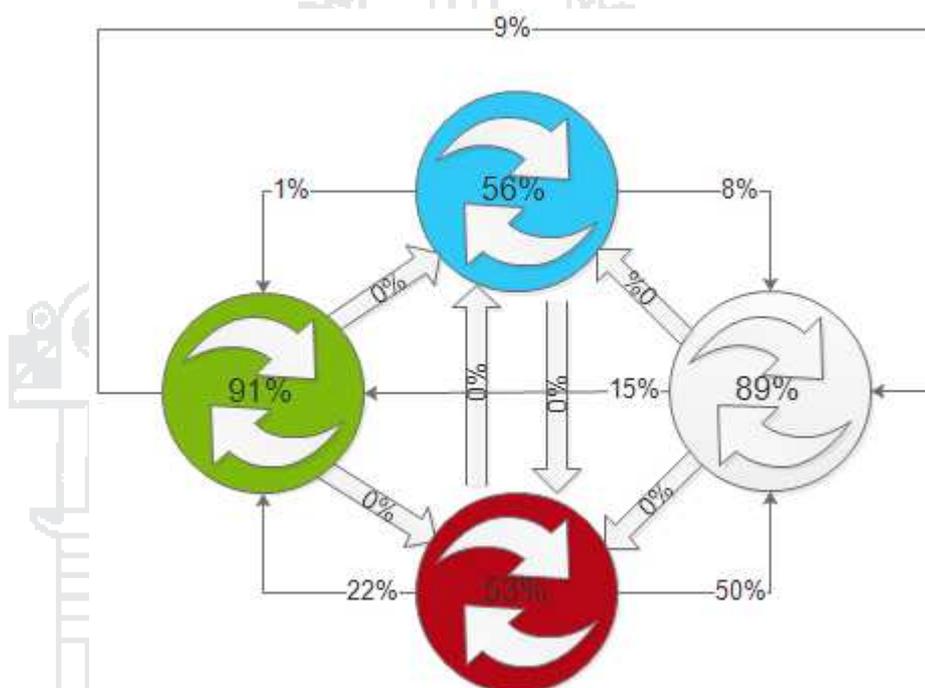


Figura 17. Diagrama de flujos para la matriz de transición entre 1988-1995.

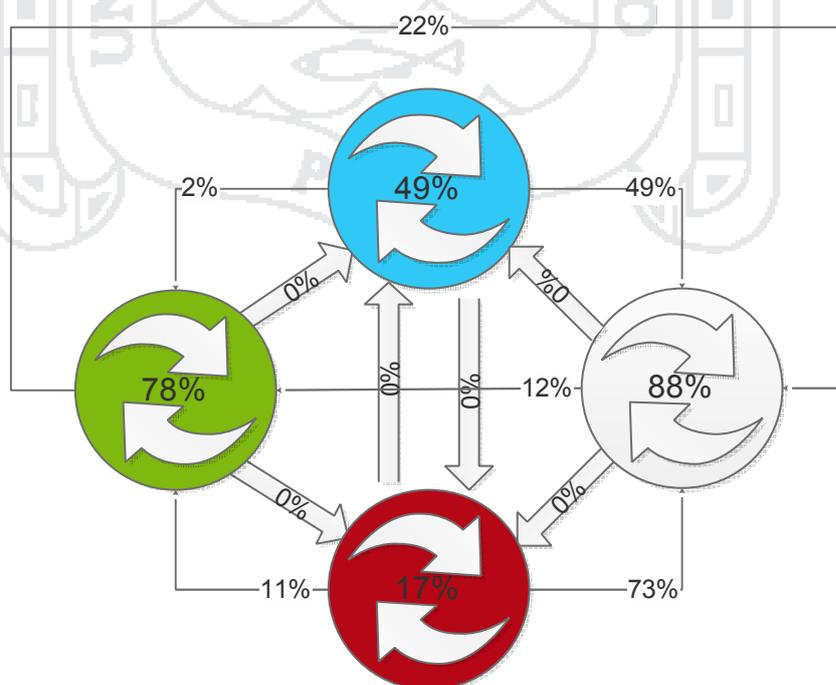


Figura 18. Diagrama de flujos para la matriz de transición entre 1995-2002.

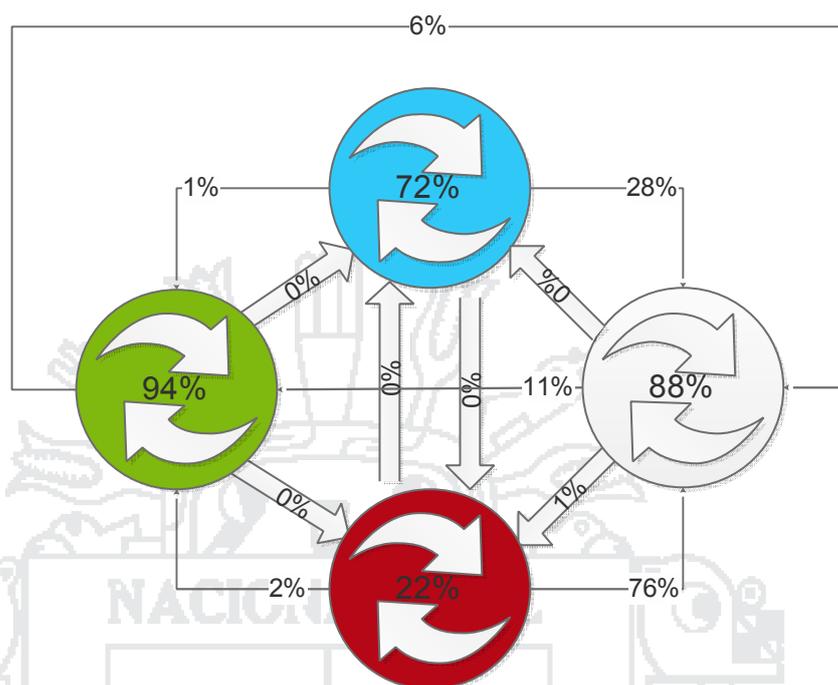


Figura 19. Diagrama de flujos para la matriz de transición entre 2002-2009.

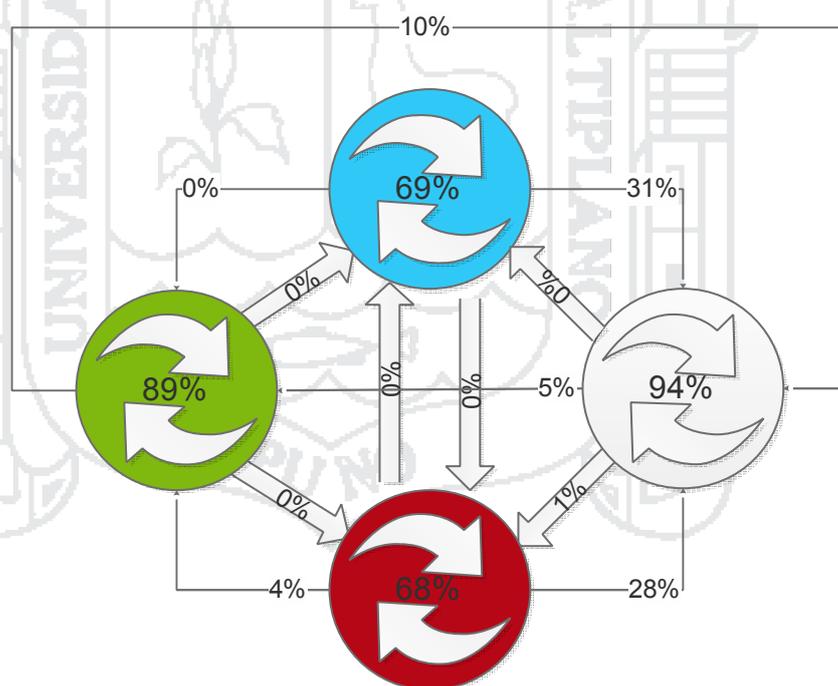


Figura 20. Diagrama de flujos para la matriz de transición entre 2009-2016.

4.1.1.6. Análisis de Markov.

El análisis de Markov se fundamenta en que las condiciones futuras dependen del estado inicial y de las probabilidades de cambio de dicho estado. En pocas palabras, el fin de este estudio radica en la estimación de las distribuciones futuras por medio de la distribución inicial y la tendencia de cambio (matriz de transición).

El análisis de Markov se puede realizar en las 4 matrices de transición (1988-1995, 1995-2002, 2002-2009, 2009-2016) debido a que se cumple que todas las matrices son cuadradas, es decir, tienen los mismos elementos en filas y columnas. Esta condición es un requisito imprescindible para su proyección futura. En este caso se partió de la matriz de transición 2009-2016 ya que es la más próxima a las condiciones actuales.

Tabla 18. Proyecciones de superficies de uso en (ha) al 2044 de la matriz de transición 2009-2016.

PROYECCIONES	2023	2030	2037	2044
Cobertura Vegetal	34710.46	33948.55	28597.01	26983.85
Cuerpo de Agua	172.93	139.60	86.69	77.61
Suelo Desnudo	767.00	920.68	1128.01	1271.86
Superficie de Rocas	37559.31	39725.06	44922.19	46400.56

En la Figura 21 aparecen las columnas de las proyecciones estimados por el análisis de Markov a partir de la matriz de transición de 2009-2016.

De los resultados se puede desprender que sigue las tendencias marcadas por el periodo estudiado, sin prever los cambios socioeconómicos responsables en los cambios de magnitud en las tendencias de cambio. Por ejemplo: la caída de la cobertura vegetal en detrimento de un creciente suelo desnudo es incapaz de predecirse con exactitud, ya que se considera que se mantienen las condiciones iniciales. Por otra parte, advierte con precisión el incremento incesante en las superficies de rocas, favorecido por una caída de la extensión de la cobertura vegetal y cuerpos de agua.



Figura 21. Proyecciones de superficies de uso en (ha) al 2044.

4.1.2. Causas espaciales

En este apartado se busca determinar cuáles son las causas espaciales que influyen en la dinámica de cobertura/uso del suelo, evaluando los principales parámetros en la zona de estudio.

- **Actividad minera**

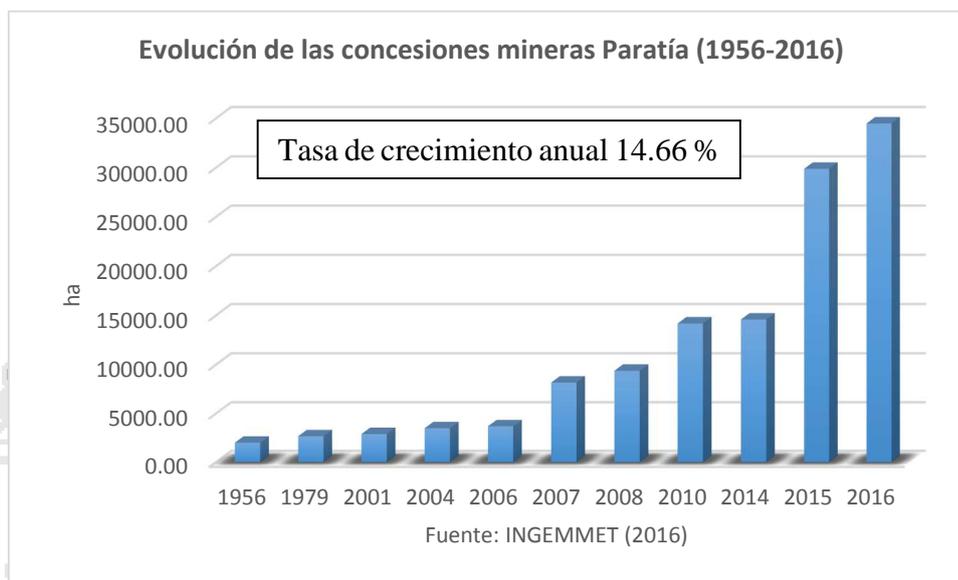


Figura 22. Evolución de las concesiones mineras, Paratía (1956-2016).

En la figura 22 se aprecia el crecimiento en cuanto a superficie de las concesiones mineras que en la actualidad suman 19 (34486.0723 ha.), de los cuales 2 se encuentran en actividad (CONSORCIO DE INGENIEROS EJECUTORES MINEROS S.A.) (2582.4497 ha.) y (MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.) (1000 ha) sumando un total de 3582.4497 ha de potencial incidencia sobre la dinámica de cobertura del suelo.

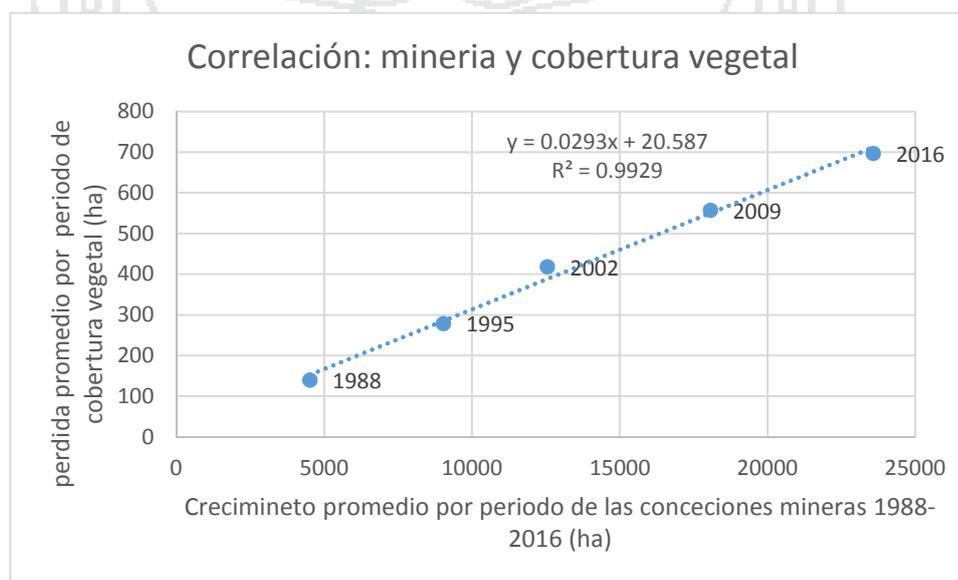


Figura 23. Correlación minería y cobertura vegetal.

En la figura 23 se observa la correlación de minería y cobertura vegetal donde se ve claramente que a mayor crecimiento de concesiones mineras mayor es la pérdida de cobertura vegetal, partiendo de una base de pérdida promedio por periodo (7años) de 140 ha para cobertura vegetal y crecimiento promedio de 4514.8 ha en concesiones mineras.

- **Actividad Pecuaria**

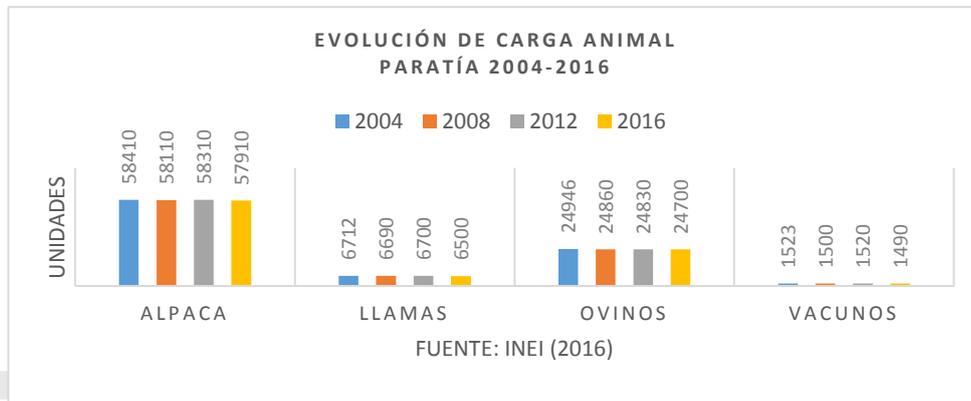


Figura 24. Evolución de carga animal Paratía (2004-2016).

En la figura 24 se puede observar la evolución de la carga animal en el distrito de Paratía para un periodo de 12 años donde se observa tendencias decrecientes esto indica que la actividad pecuaria tiene poca o ninguna incidencia en la dinámica de cobertura/uso del suelo. Interpretando que en tendencias negativas la carga animal tiene pocas probabilidades de incidir en la degradación de suelos (cambio de uso) que en muchas ocasiones se da por el sobrepastoreo.

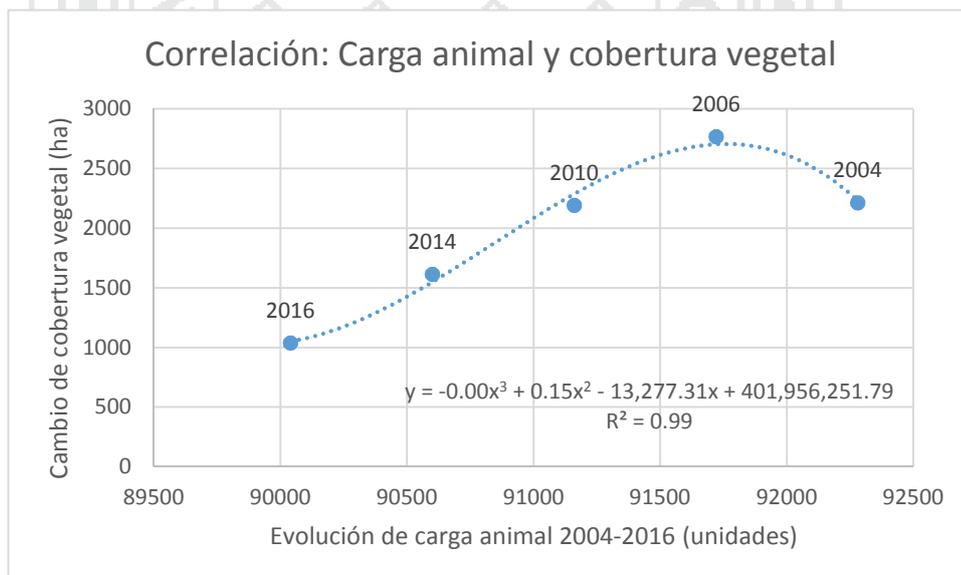


Figura 25. Correlación carga animal y cobertura vegetal.

En la figura 25 se observa la correlación carga animal y cobertura vegetal de donde se deduce que a menor carga animal el cambio de cobertura vegetal disminuye, en

consecuencia, la ecuación que muestra mayor ajuste respecto a r^2 es la ecuación cúbica, con lo que se determina que la carga animal no tiene influencia en la dinámica de cambio del suelo.

- **Crecimiento urbano**

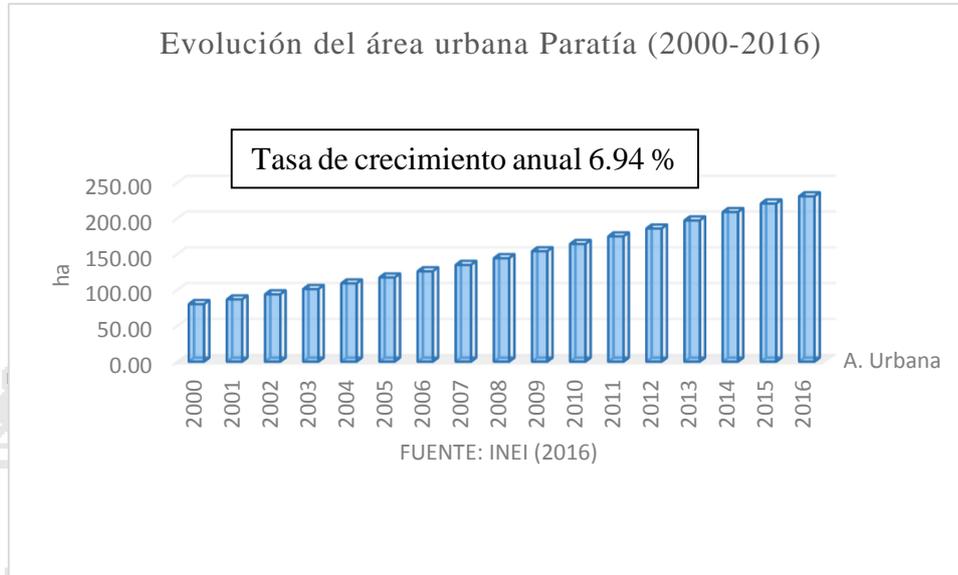


Figura 26. Evolución del área urbana, Paratía (2000-2016).

La figura 26 indica un claro incremento en el área urbana a partir de esto se deduce que el incremento del área urbana tiene incidencia espacial en la dinámica de cobertura/uso del suelo, aunque no de forma significativa ya que paso de 80 a 230 ha en un periodo de 16 años.

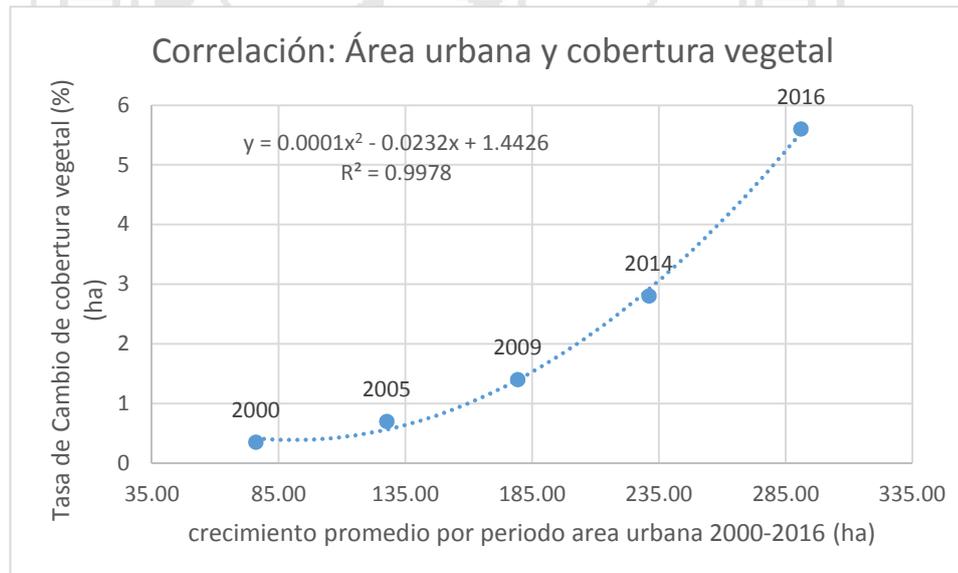


Figura 27. Correlación área urbana y cobertura vegetal.

En la figura 27 se puede observar la correlación área urbana (12 comunidades campesinas un centro poblado y la capital Paratía) y tasa de cambio de cobertura vegetal en donde es claro que el área urbana muestra incrementos en cuanto a superficie con un promedio de 51.705 ha por periodo, mientras que la tasa de cambio en la cobertura vegetal es 0.54% por periodo, en consecuencia, el crecimiento de área urbana muestra influencia en la dinámica de cambio.

4.1.3. Tasas de cambio

Las tasas de cambio fueron obtenidas a partir de los datos de la tabla 8 y utilizando la fórmula recomendada por la FAO (1996).

$$Tc = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

tc = tasa de cambio (en %)

S1= superficie en la fecha inicial

S2 = superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

Así bien, resultado de los procesos, se obtuvo la Tabla 19 en el cual se muestra de manera clara los incrementos y decrementos de cada categoría respecto tasa de cambio.

Tabla 19. Tasas de cambio por categoría (en %) correspondientes a los años establecidos, obtenido para el área Total.

	Cobertura Vegetal		Cuerpo de Agua		Suelo Desnudo		Superficie de Rocas	
	Sup.	Tasa	Sup.	Tasa	Sup.	Tasa	Sup.	Tasa
1988	39537.41	-	194.2	-	378.24	-	34624.03	-
1995	41061.61	0.54	296.56	6.23	303.51	-3.10	33072.2	-0.65
2002	35845.4	-1.92	166.35	-7.93	121.57	-12.25	38600.57	2.23
2009	38059.91	0.86	143.87	-2.05	225.68	9.24	36304.42	-0.87
2016	35752.9	-0.89	118.62	-2.719	539.59	13.26	38322.78	0.78
Promedió		-0.35		-1.62		1.79		0.37
Anual		-0.05		-0.23		0.26		0.05
C.N. en (ha) Anual	-123.30		-1.54		19.59		146.47	

C.N.= cambio neto

En la figura 28 se muestra la variación de las tasas de cambio para las 4 categorías para cada periodo en donde el cambio más representativo respecto a su superficie pertenece a suelo desnudo que en el primer periodo tubo una tasa de -3.10%, en el segundo -12.25%, para el tercer y cuarto periodo tiene una ganancia de 9.24% y 13.26% respectivamente, de forma similar se puede interpretar para las otras categorías.

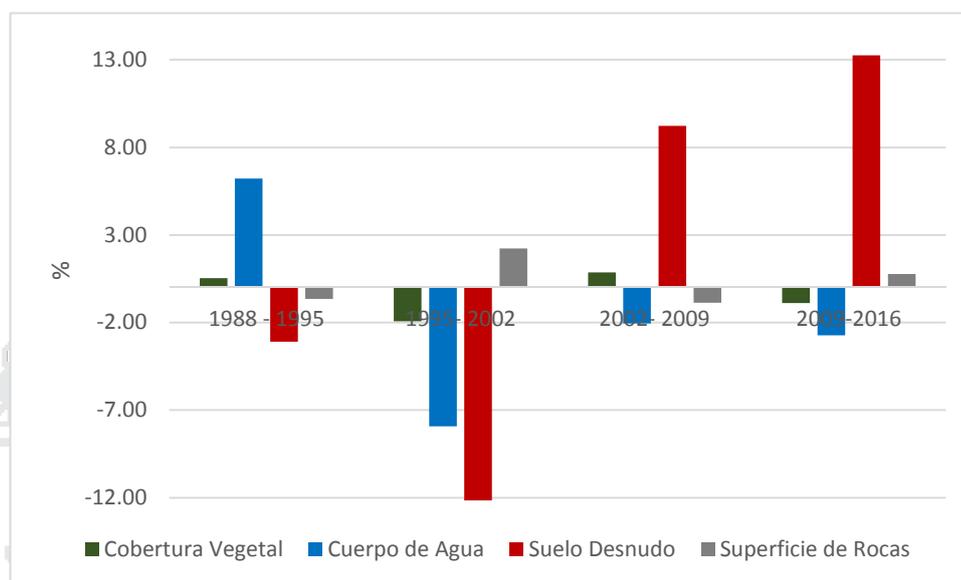


Figura 28. Tasas de cambio (en %), correspondientes a las diferentes categorías entre los años 1988-2016.

4.2. DISCUSIÓN

A partir de los hallazgos encontrados se acepta la hipótesis 1 que establece que La dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo en el distrito de Paratía para el periodo 1988-2016, muestra cambios significativos.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Terradas (2001) y la FAO (1999), quienes señalan que los cambios de cobertura del suelo a nivel mundial en el presente y el pasado reciente son abrumadoramente preocupantes y es el resultado de los propósitos de producción y en menor medida, asentamientos humanos. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla en lo referente a cambios significativos.

En lo que referente a la hipótesis 2 no se acepta el cual establece que Las principales causas espaciales que influyen en la dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía son la actividad minera y pecuaria.

Si bien la actividad minera es una de las principales causas espaciales y de gran influencia en la dinámica de cambio en la cobertura del suelo, la actividad pecuaria no muestra influencia en la dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía.

En cambio, la FAO (2000) indica que la ganadería extensiva ha demostrado tener una alta relación con la deforestación a través del tiempo. Así mismo, las cuencas que presentan mayor actividad humana, principalmente las dedicadas a la ganadería y a la agricultura, evidencian un mayor deterioro de su territorio.

Los resultados respecto a la actividad minera guardan relación con lo que menciona Lillo (2006), quien indica que La minería es una actividad a corto plazo, pero con efectos a largo plazo. Cuando se realiza actividades mineras en zonas de bosque constituye una depredación. La minería, junto con la explotación de petróleo, amenaza el 30% de las últimas extensiones de bosques primarios del mundo.

Respecto a la hipótesis 3 no se acepta el cual establece que la tasa de la dinámica de cambio de la cobertura vegetal muestra siempre tendencias negativas en el periodo de estudio (1988-2016).

En cambio, la FAO (2000), señala que los recursos más esenciales de la naturaleza como son cobertura vegetal y recursos hídricos muestran tasas de decrecimiento continuo en el tiempo a consecuencia de las actividades antropogénicas.

V. CONCLUSIONES

De los resultados del objetivo 1 se concluye que la dinámica de cambio en la cobertura del suelo muestra cambios significativos en el distrito de Paratía para el periodo 1988-2016. Donde la superficie de cobertura vegetal disminuye de 39537.41 a 35752.9 ha en un periodo de 28 años, esto en base a un cambio neto promedio anual de (-123.30 ha) respecto a su superficie inicial en 1988, similar comportamiento muestra cuerpos de agua con una disminución de 194.2 a 118.62 ha eso en base a un cambio neto promedio anual de (-1.54 ha), en cambio suelo desnudo muestra tendencias a incrementarse en el tiempo pasando de 378.24 a 539.59 ha en base a un cambio neto promedio anual de (19.59 ha), para superficie de rocas se tiene un incremento de 34624.03 a 38322.78 ha en base a un cambio neto promedio anual de (146.47 ha) respecto a su superficie inicial en 1988.

De los resultados del objetivo 2 se concluye que la causa espacial con mayor influencia en la dinámica de cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía es la actividad minera, eso en base al constante incremento de las concesiones mineras en el distrito que en la actualidad suman 19 (34486.0723 ha.), de los cuales 2 se encuentran en actividad (CONSORCIO DE INGENIEROS EJECUTORES MINEROS S.A) (2582.4497 ha.) y (MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.) (1000 ha) sumando un total de 3582.4497 ha de influencia directa sobre la dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, en lo referente a crecimiento urbano muestra influencia poco significativa, pasando de 80 a 230 ha en los últimos 16 años.

De los resultados del objetivo 3 se concluye que la tasa de la dinámica de cambio de la cobertura del suelo tiene un comportamiento escalonado en el periodo de estudio 1988-2016, eso en base a que en los años 1988-1995 la tasa de cambio de la cobertura vegetal fue 0.54%, así también en los años 2002-2009 fue 0.86%, sin embargo a nivel de sistema tiende a disminuir, caso similar ocurre con cuerpos de agua, en cambio suelo desnudo y superficie de rocas muestran tendencias a incrementarse en el futuro con tasas de cambio 0.26 y 0.05 % respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

Se propone una nueva línea de investigación a través de la teledetección para el estudio de los ecosistemas vegetales naturales dentro del distrito de Paratia. Ya que el análisis multitemporal de la dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo refleja a través del tiempo una dinámica de cambio en contra de la Cobertura vegetal natural.

Se recomienda un estudio hidrogeológico en el distrito de Paratia, eso en base a que la dinámica de cambio muestra tendencias negativas en los recursos hídricos.

Se recomienda realizar más estudios usando imágenes satelitales de resolución submétrica para confirmar y uniformizar información y que nos permita tomar las mejores decisiones y sirva de herramienta para la zonificación ecológica y económica, para el ordenamiento territorial y para el desarrollo de proyectos en el distrito en coordinación con el Municipio y el área de planeamiento de las empresas mineras que operan en el distrito de Paratía.

Se recomienda determinar los niveles de concentración de metales pesados en los recursos hídricos y suelos eso con el fin de determinar las potenciales incidencias en la salud humana ya que la minería es una actividad creciente en el distrito.

Se propone combinar los escenarios de actividad antropogénica con modelos de riqueza natural para encontrar zonas con alto potencial de riqueza natural pero que a futuro se verían comprometidas por las actividades antropogénicas.

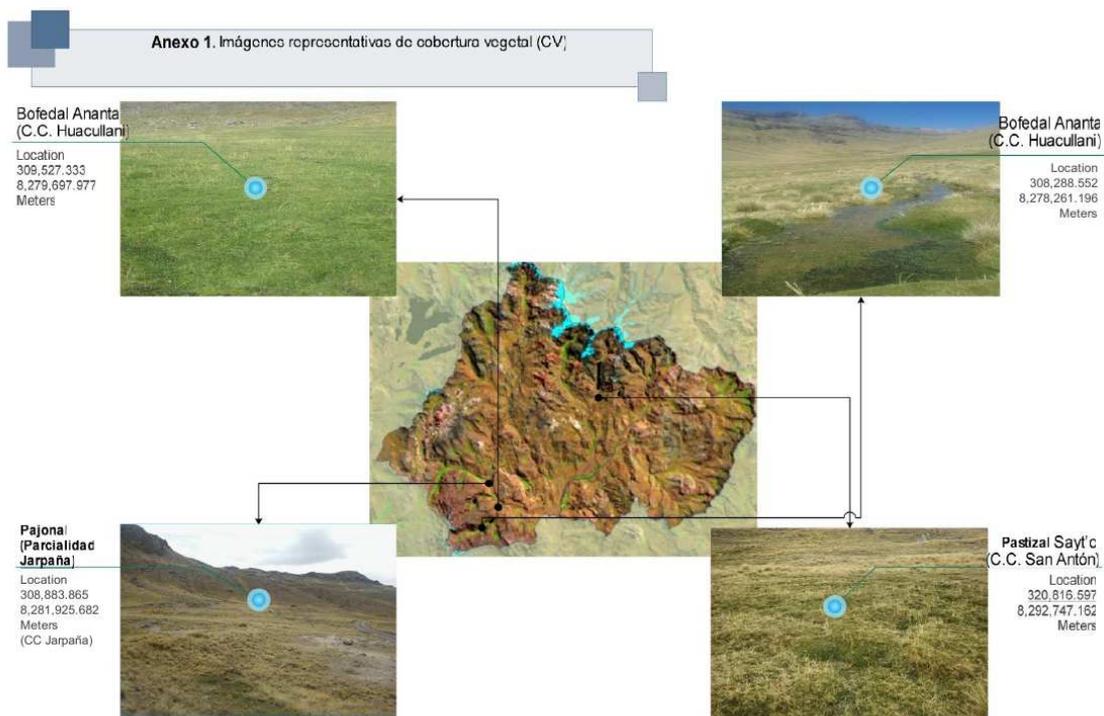
VII. REFERENCIAS

- Alzate, E. 2001. Imágenes espaciales de la superficie terrestre. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 61 p.
- Asner, G.P., D.E. Knapp, E.N. Broadbent, P.J.C. Oliveira, M. Keller, and J.N. Silva. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon, *Science*, 310: pp. 480–482.
- Berry, M.W., Flamm, R.O., Hazen, B.C. y MacIntyre, R.L. (1996). The Land-Use Change and Analysis System (LUCAS) for Evaluating Landscape Management Decisions. *IEEE Computational Science y Engineering*. pp. 24-35.
- Bocco G.; Mendoza, M. E. y 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. pp. 18-38.
- Cárdenas, O. 2005. Ordenamiento ecológico e impacto ambiental: tendencias globales en el cambio de uso del suelo. Universidad de Guadalajara. México. 7 p.
- Cervantes, E. 2012. Zonificación y análisis de la potencialidad agrícola y forestal de las tierras UNA-Puno. pp. 85 - 89.
- Childress, W.M., Crisafulli, C.M. y Rykiel, E.J. (1998). Comparison of Markovian matrix models of a primary successional plant community. *Ecol.Model.* pp. 93-102.
- Courboules, J., Manière, R. y Bouchon, C. (1988). Systèmes d'informations géocodées et télédetection à haute résolution. Exemple d'application aux côte jordaniennes. *Oceanologie Acta* 11: pp. 337-351.
- CORINE Land Cover. 1990. Coordination of information on the environment adaptation European. 10 p.
- Chrisman, N.R. (1997). *Exploring Geographic Information Systems*, John Wiley and Sons, New York. pp. 20 -24
- Dalence, S.; J. GUTIERREZ; G. GUZMAN y G. SEGOVIA. 1999. Levantamiento semidetallado de suelos en el valle alto. Zona Punata –Arani. Informe de trabajo de campo. CLAS. Cochabamba-Bolivia. 56 p.
- FAO. 1999. Land Use Planning and Farming Systems Analysis. Working document. Rome. 85 p.
- FAO. 2000. Cambios en la cobertura forestal. Programa de Evaluación de Recursos Forestales (FRA). Documento de Trabajo 36. Roma.55 p.

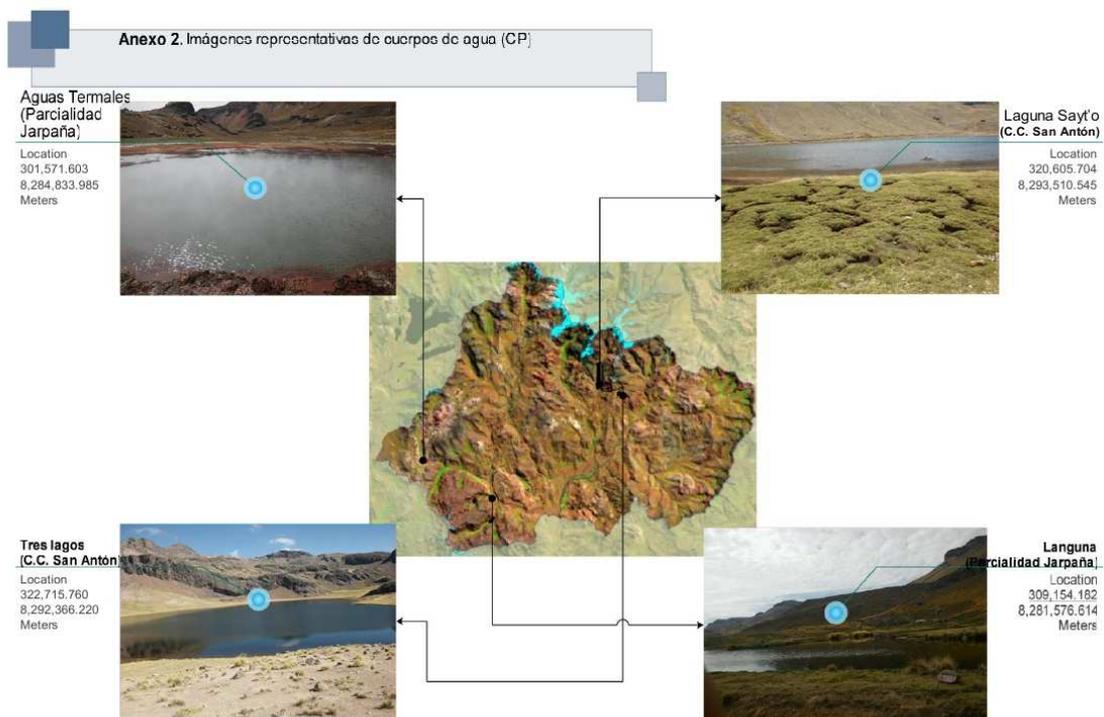
- Fernández Ignacio y Herrero Il. Eliecer. 2001. El Satélite LANDSAT. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite LANDSAT. Área de ingeniería cartográfica, geodesia y Fotogrametría. Universidad de Valladolid. Palencia. 50 p.
- IIRSA-SUR. 2006. Análisis de la deforestación - EISA Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú - Brasil: Tramo 2. 9 p.
- INGEMMET. 2016. Guía básica de minería en el Perú. pp. 10-12
- INEI. 2016. Desarrollo territorial en la region Puno. pp. 20-22.
- Lillo, J., 2006. Impactos de la minería en el medio natural. Grupo de Geología. Universidad Rey Juan Carlos. 35 p.
- Li, H. y Reynolds, J.F. (1995). On definition and quantification of heterogeneity. Oikos. 50 p.
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D. y Rhind, D. (2001). Geographic information systems and science. Chichester, John Wiley and Sons. pp. 40 -50.
- Martino, F. 2007. La vegetación de Chiapas. Gobierno del Estado de Chiapas. México. 334 pp.
- Márkov, A. 1907. Introduction to models stochastic and its applications. 40 p.
- MINAM, 2013. Fisiografía región Puno pp. 30 – 35.
- Murdiyarso, D. y Wasrin, U. R. 1995. Estimating land-use change and carbon release from tropical forest conversion using remote-sensing techniques. Journal of Biogeography, 22: pp. 715- 721.
- Orloci, L., Anand, M. y He, X. (1993). Markov Chain: A realistic model for temporal coenosere?. Biom. Praxim. 33. pp. 7-26.
- Parimbelli, Hernán. Matías, 2005. Estudio de Detección de Cambios con Multispec. Clasificación supervisada Multispec. Argentina. Universidad CAEICI Técnicas Espaciales de Análisis. pp. 2 - 10.
- Pérez y Carrera, A.; Moscuza, C.H. y Fernández-Cirelli, A. 2008. Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina. Rev. Ecosistemas 17 (1): pp. 5-15.
- Peña, Hernán. Matías, 2005. Estudio de Detección de Cambios con Multispec. Clasificación supervisada Multispec. Argentina. Universidad CAEICI Técnicas Espaciales de Análisis. pp. 2 - 3.

- Pontius Jr, R.G., Shusas E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(2-3) pp. 251-268.
- PROCLIM - INRENA. 2005. Informe Inventario Nacional Gases Efecto Invernadero. 50 p.
- PNUMA y SEMARNAT. 2006. El cambio climático en América Latina y El Caribe. México. 140 p.
- Ramón M. 2013. Cambio en la cobertura en Chiapas México, relacionado a la hidrología. pp. 11-12.
- Robbins, C.S., J.R. Sauer, R.S. Greenberg and S. Droege (1989). Population declines North American birds that migrate to the tropics”, *Proc. Of National Academy of Sciences*, Vol. 86, N°. 19, pp. 7658-7662.
- 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
- Saunders, D., R. Hobbs y C. Margules, 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review, *Conservation Biology* (5) 1: pp. 18-27.
- SRGIS – Sensores Remotos y Gis, 2005. Guía Básica sobre Imágenes Satelitales y sus Productos. 40 p.
- Suclupe, E. 2007. El Bosque de Huamantanga (Jaén). Una experiencia de gestión compartida de áreas de conservación municipal. Proyecto: Bosques del Chinchipe. CI-ITDG. Perú. 32. pp. 12-45.
- Terradas II, B. L. 2001. “Land-use and land-cover change: advances in 1.5 decades of sustained international research”, *GAIA*, vol 10, no. 4, pp. 269-272.
- Weiter, E. J. (2007). Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM. Senior Review Proposal. 87 p.
- Zorogastúa, C. 2011. Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura – Perú. 121 p.

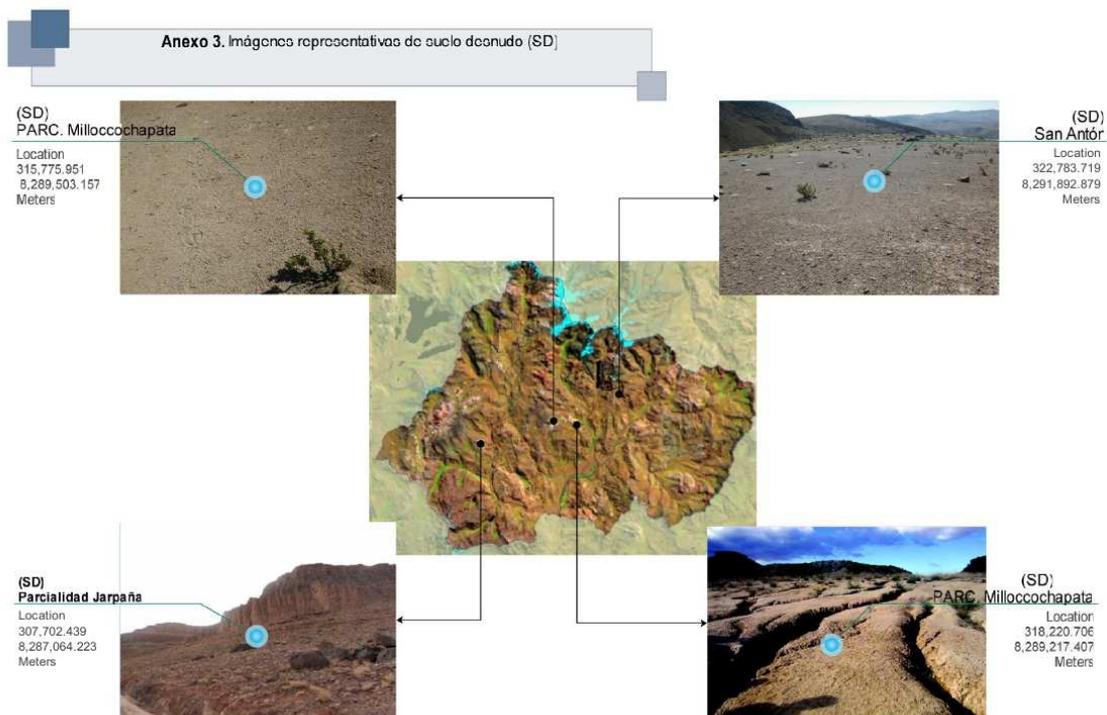
ANEXOS



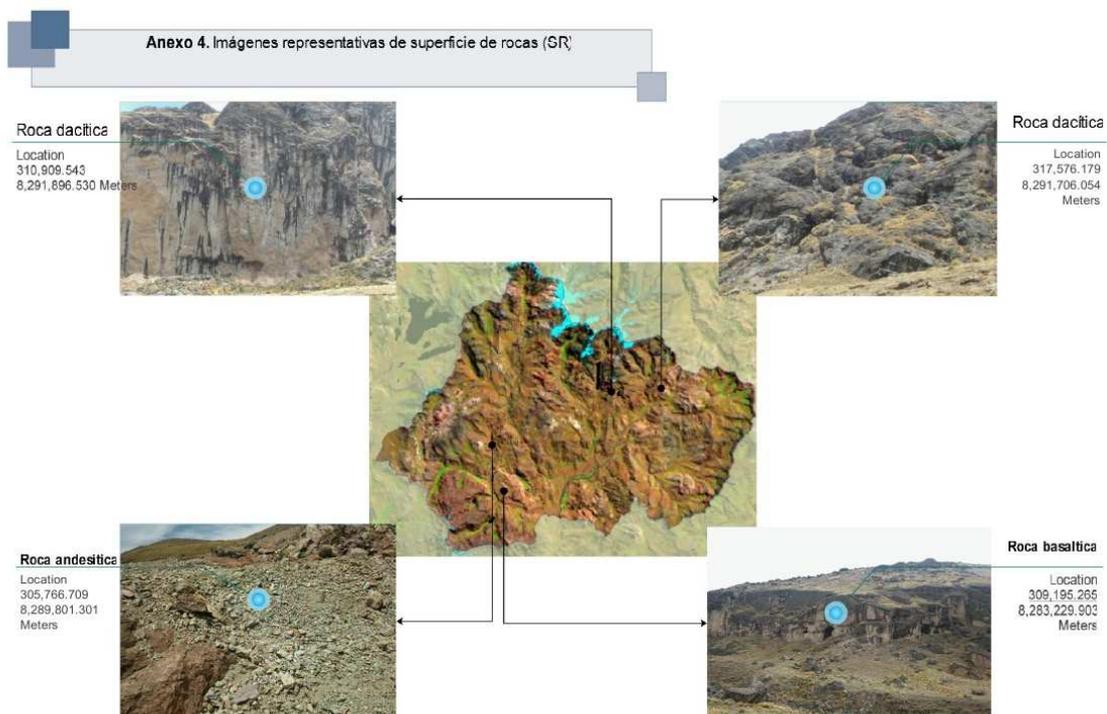
Imágenes representativas de cobertura vegetal



Imágenes representativas de cuerpos de agua



Imágenes representativas de suelo desnudo



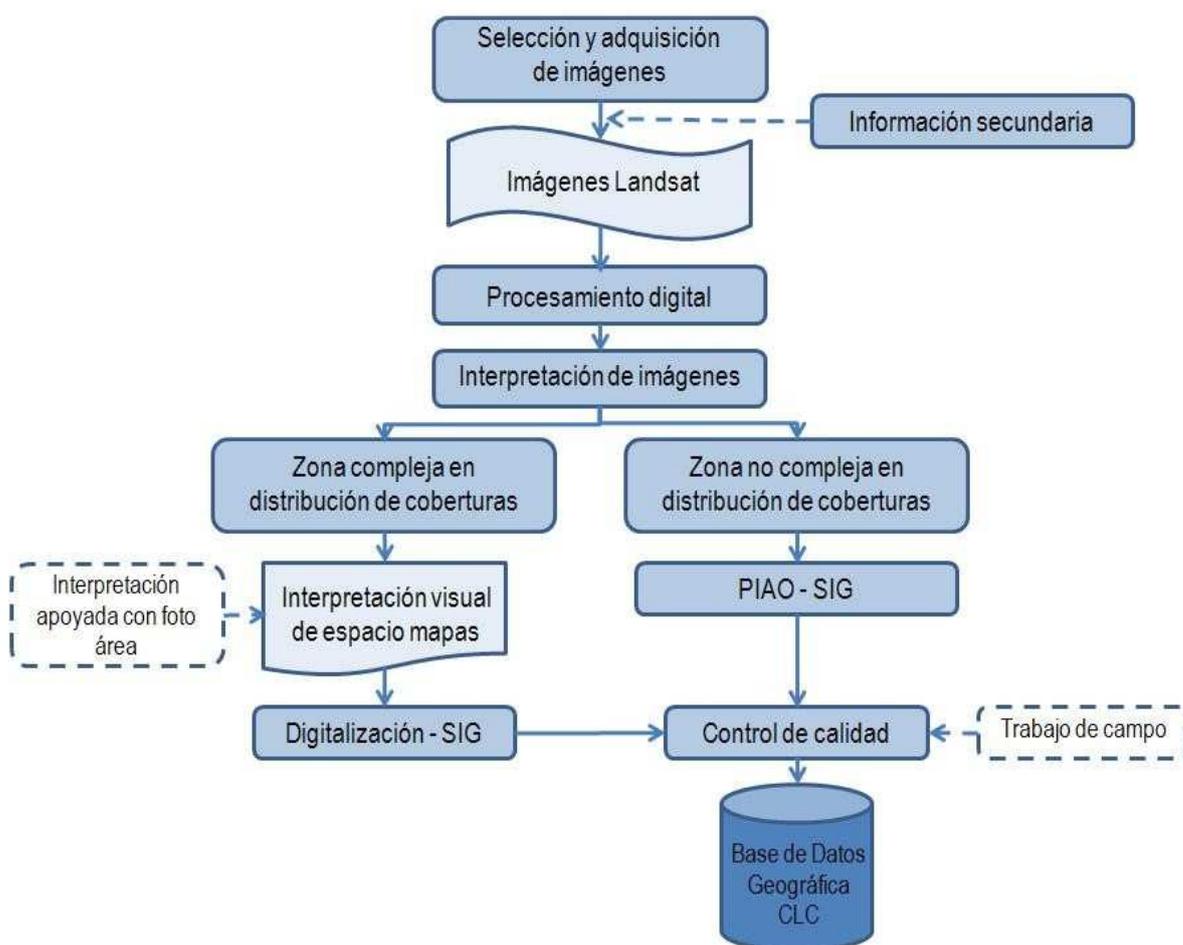
Imágenes representativas de superficie de rocas

Anexo 5. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER

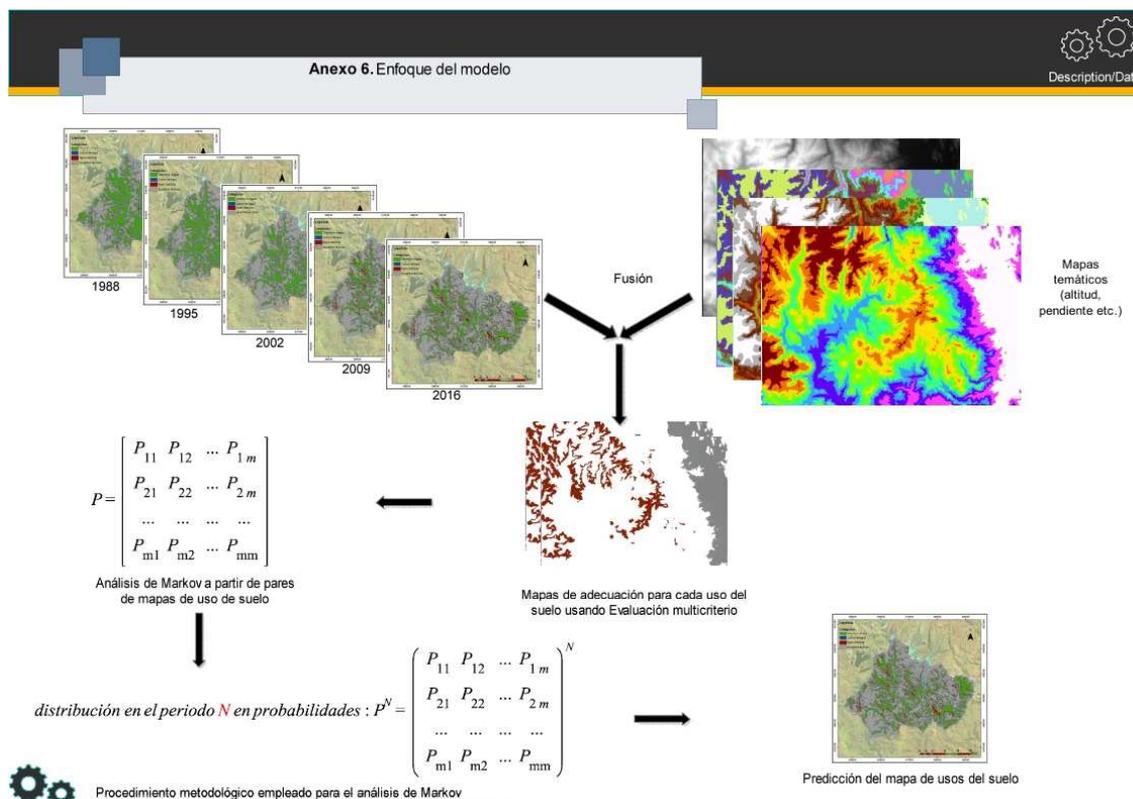
Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

El esquema metodológico Corine Land Cover contempla las siguientes etapas: adquisición y preparación de la información; análisis e interpretación de las coberturas; verificación de campo, control de calidad y generación de la capa temática escala 1:100.000.

Figura del Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC)



Fuente: Melo y Camacho, 2005, en Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA (2007)

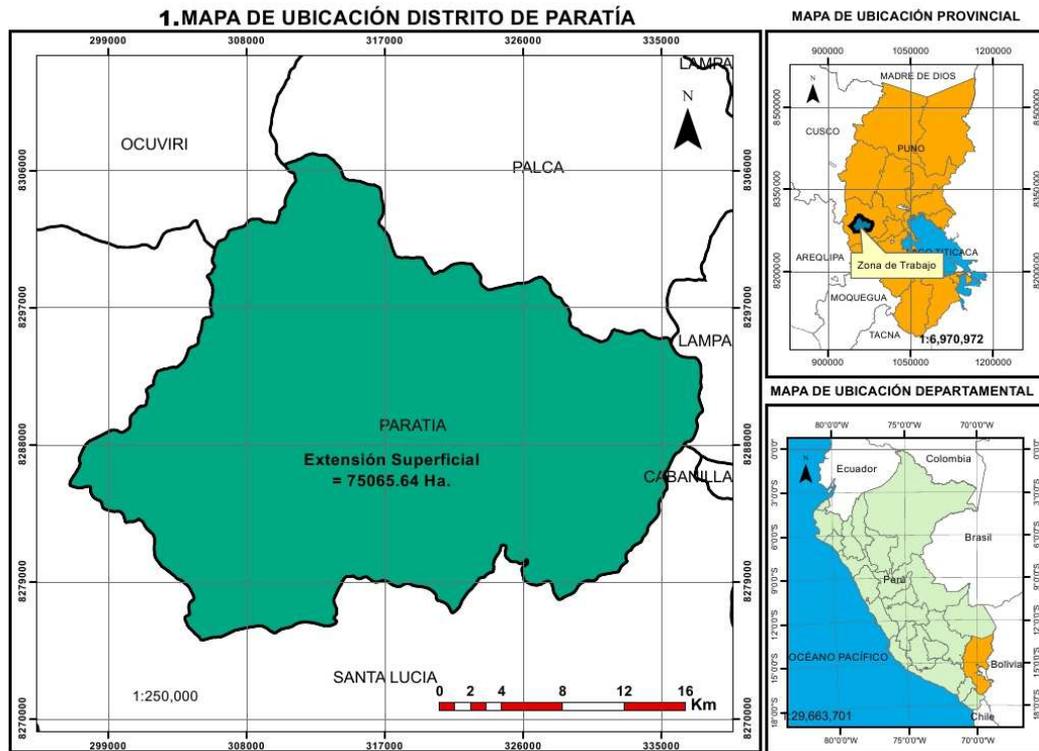


Enfoque del modelo

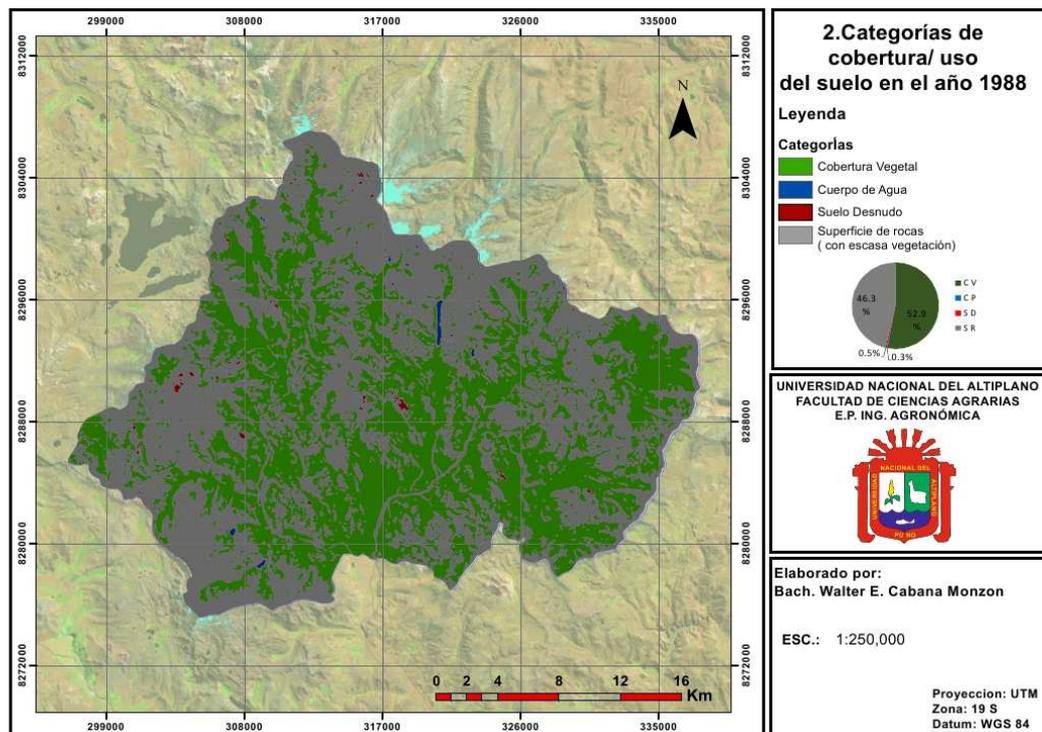
ANEXO 7

MAPAS TEMÁTICOS

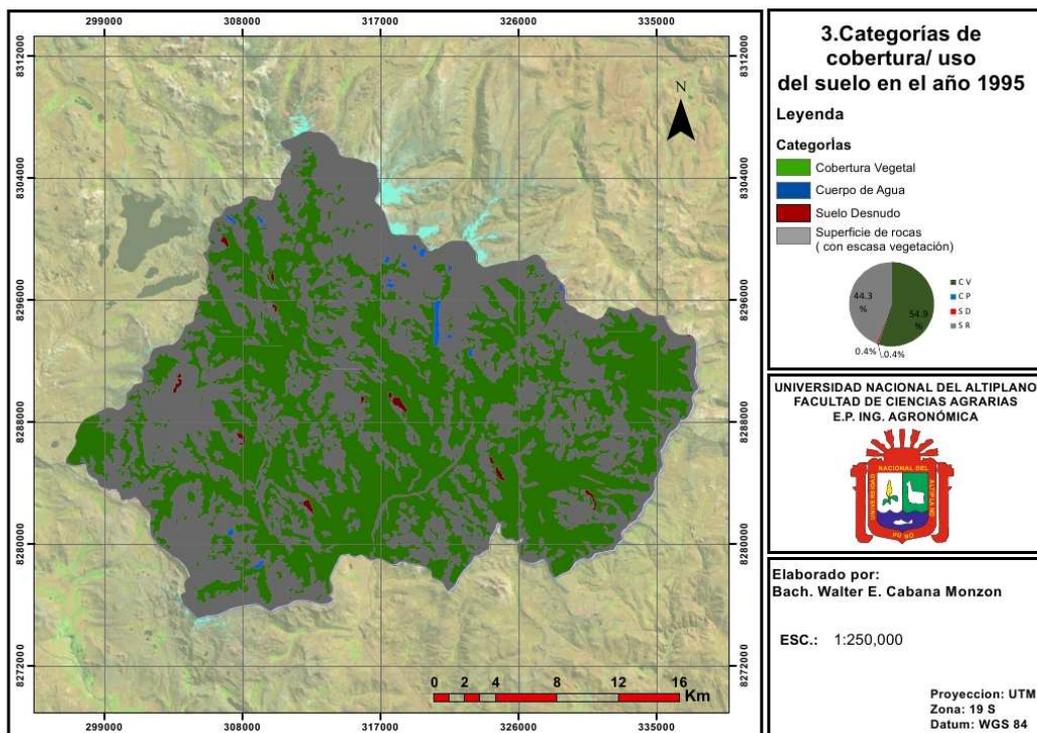
1. Mapa de ubicación
2. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 1988
3. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 1955
4. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2002
5. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2009
6. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2016
7. Mapa de cobertura vegetal (MINAM 2013)
8. Mapa de zonas de vida
9. Mapa de precipitación
10. Mapa de temperaturas
11. Mapa geológico
12. Mapa de petroquímica
13. Mapa de catastro minero



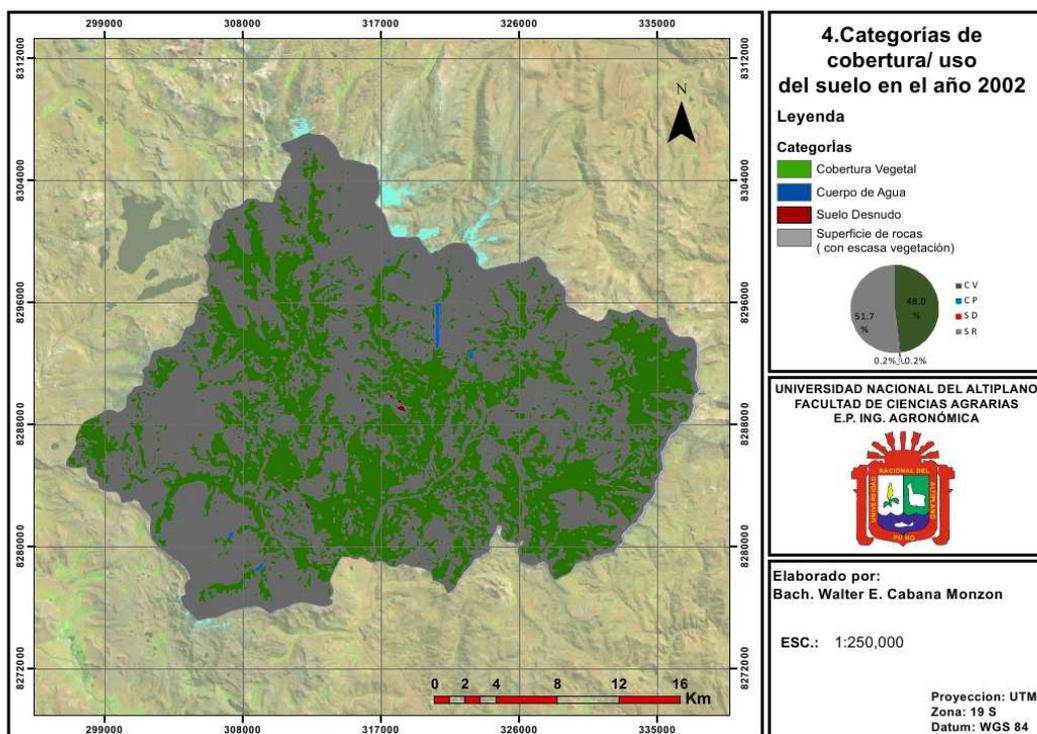
1. Mapa de ubicacion



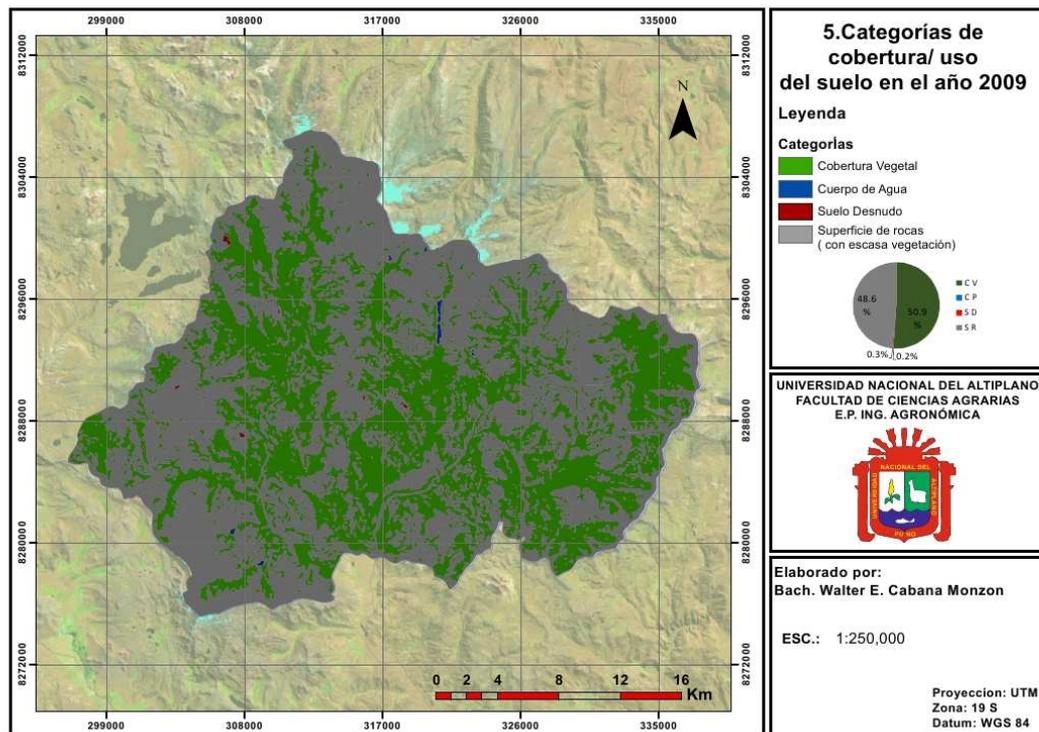
2. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 1988



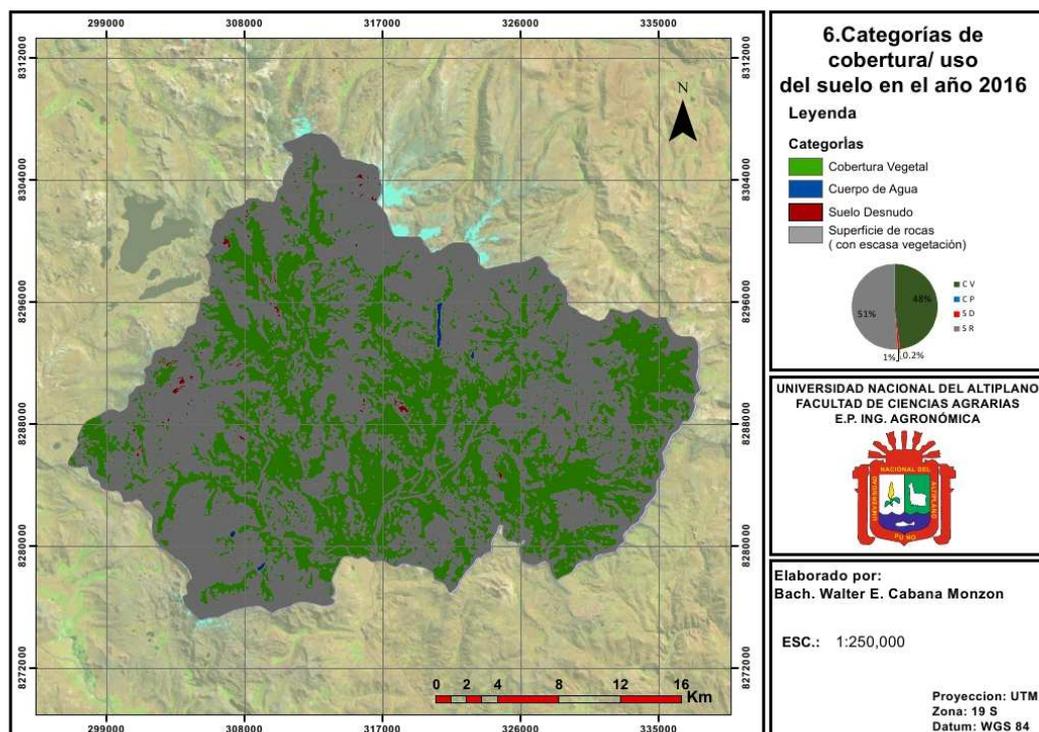
3. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 1955



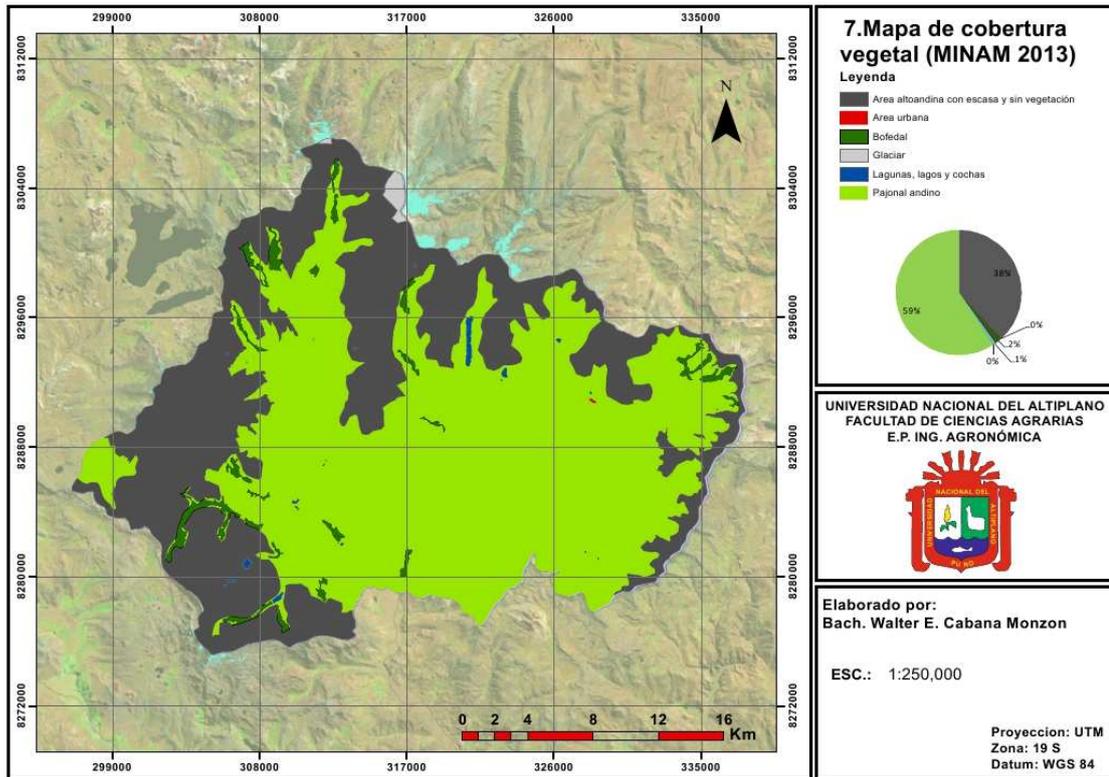
4. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2002



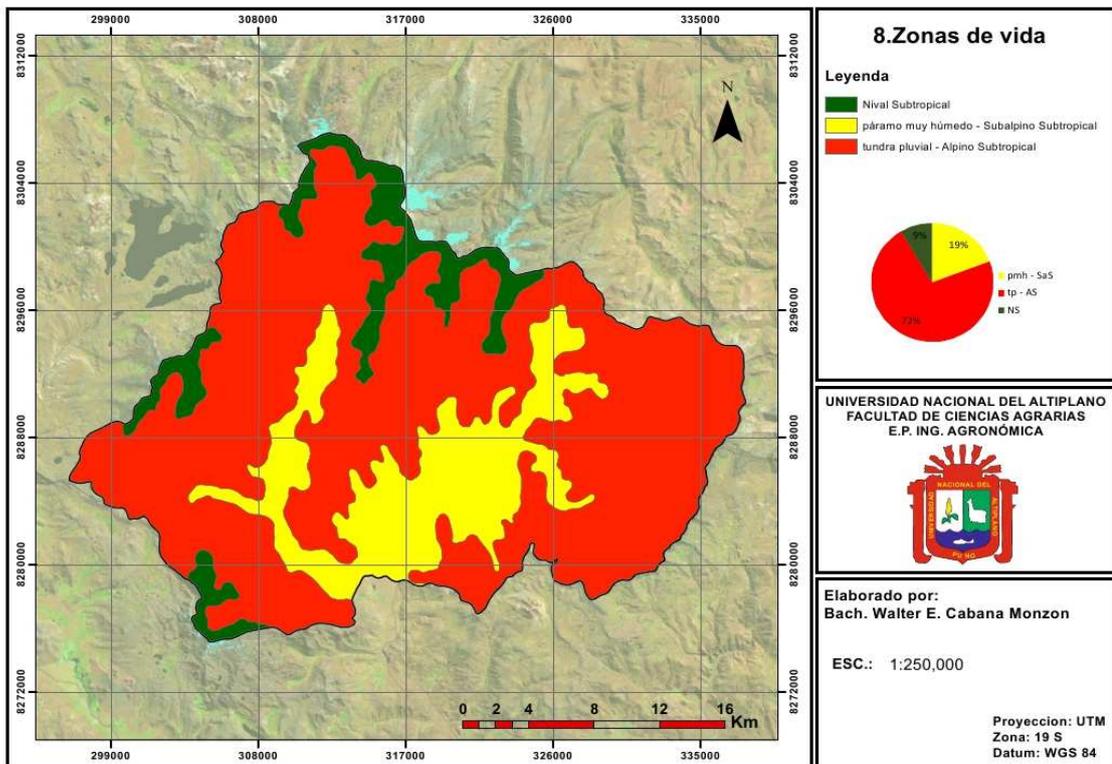
5. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2009



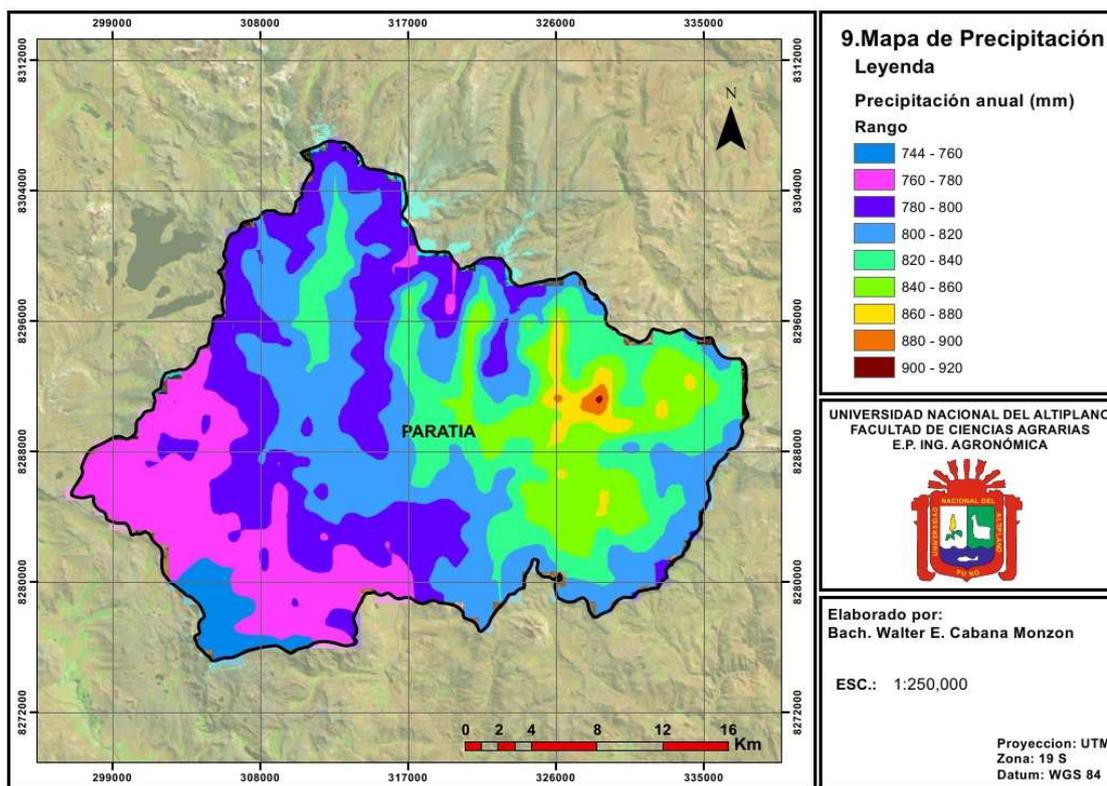
6. Mapa Categorías de cobertura/ uso del suelo en el año 2016



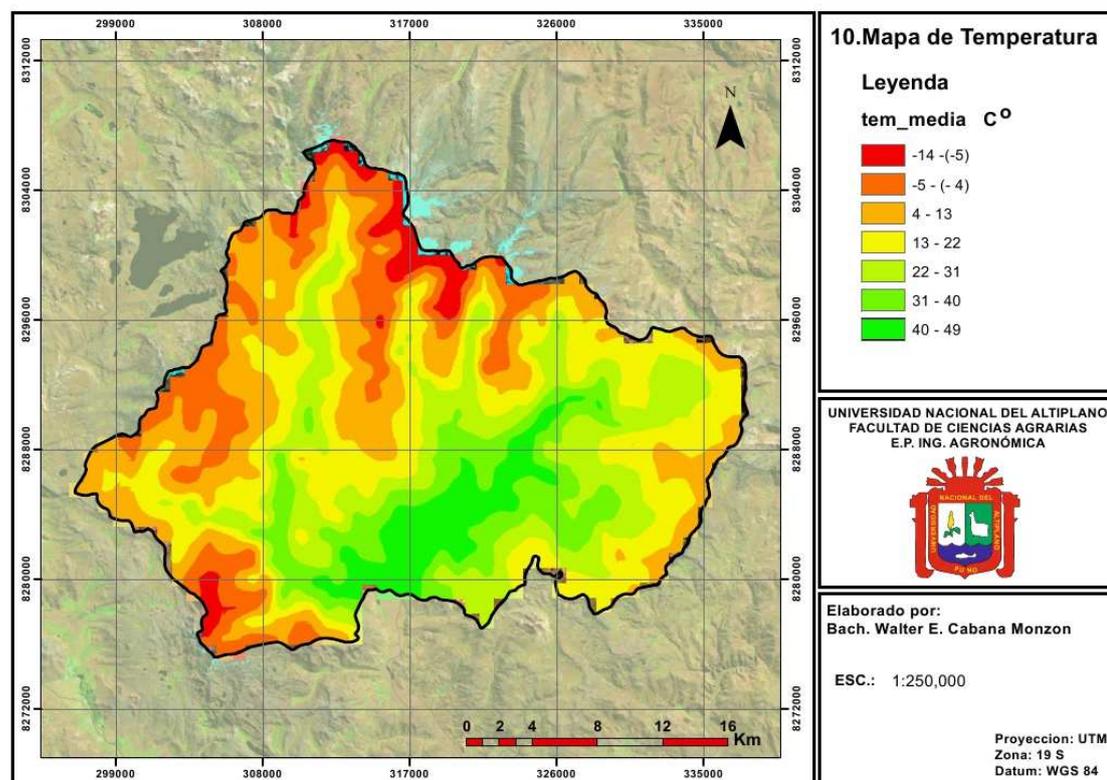
7. Mapa de cobertura vegetal (MINAM 2013)



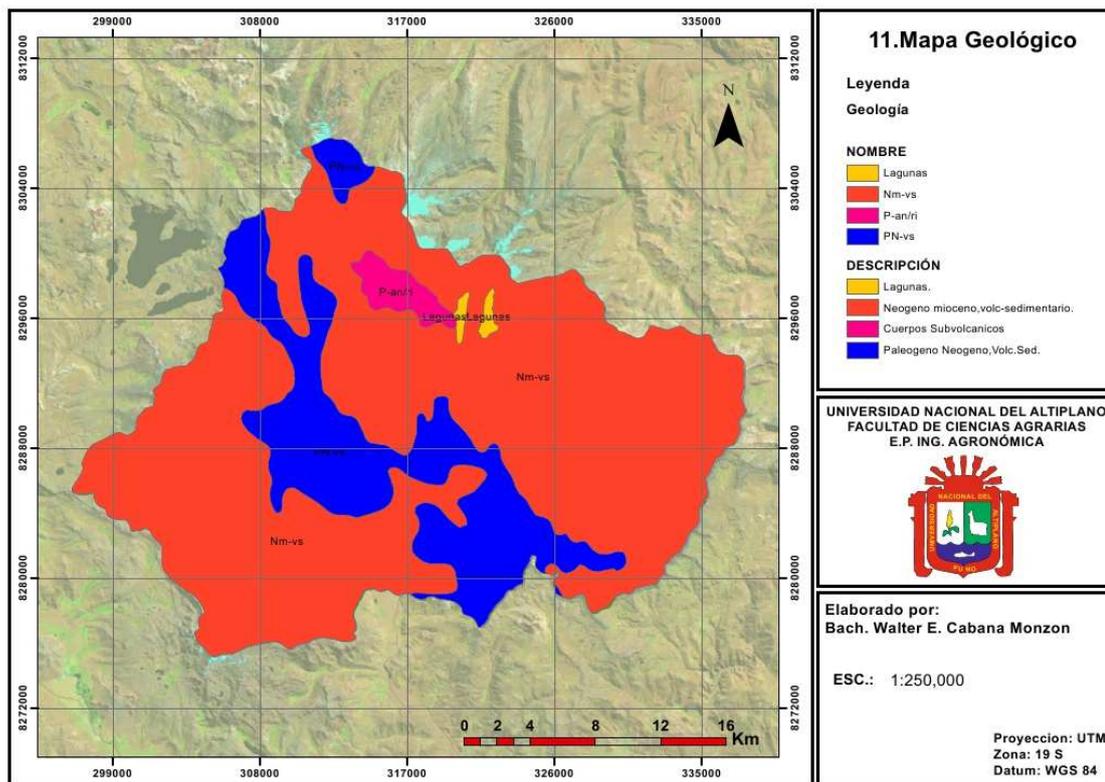
8. Mapa de zonas de vida



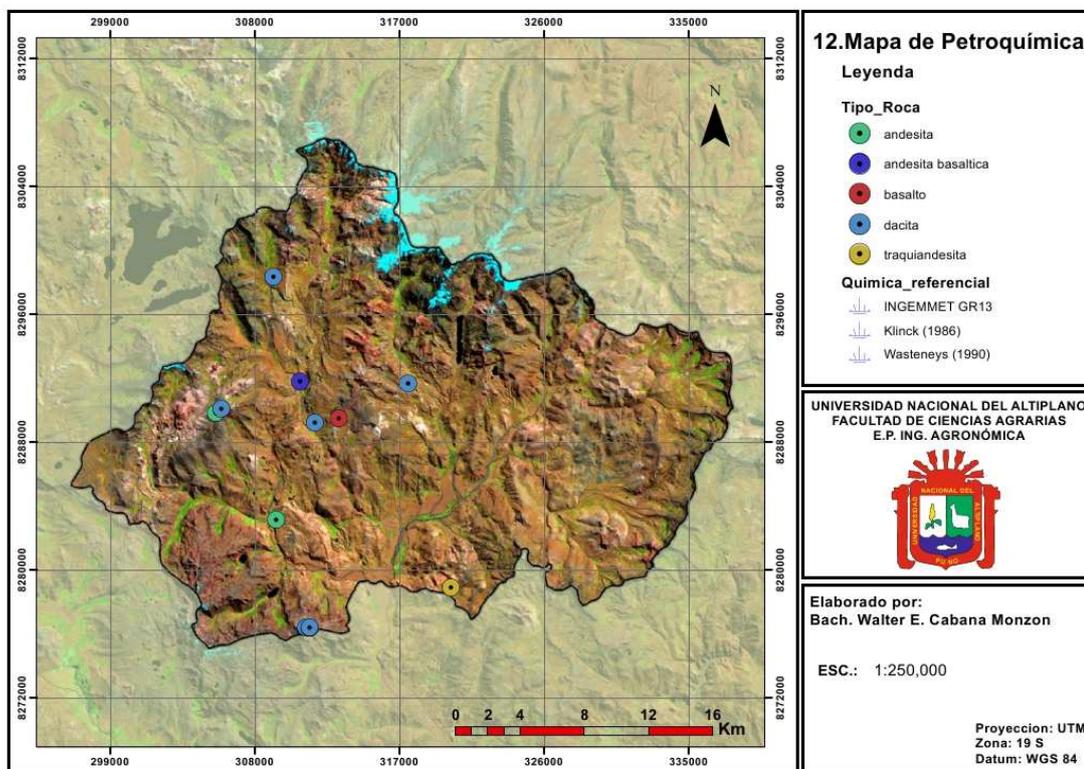
9. Mapa de precipitación



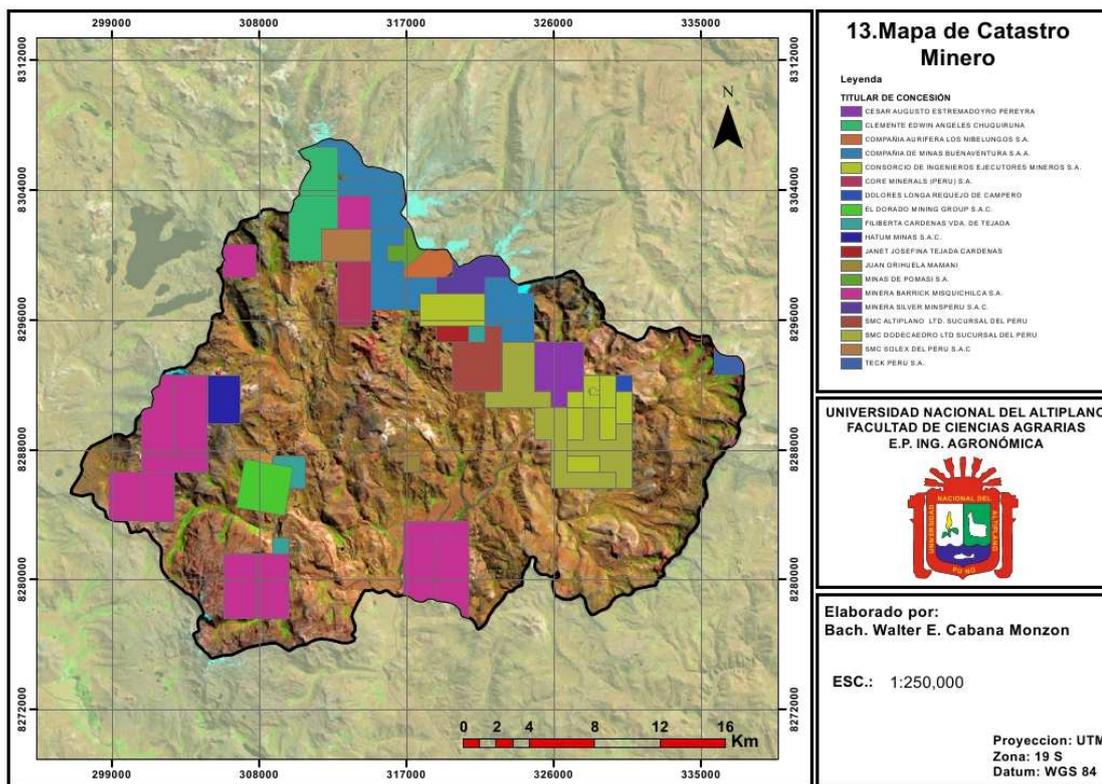
10. Mapa de temperaturas



11. Mapa geológico



12. Mapa de petroquímica



13. Mapa de catastro minero

