

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**ANÁLISIS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON
IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO DE SÓCOTA – CUTERVO
PERÍODO 2002-2017**

T E S I S

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:
ANA NERLY IDROGO DELGADO**

**ASESOR:
DR. WILFREDO POMA ROJAS**

CAJAMARCA – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veinte días del mes de junio del año dos mil veintidós, se reunieron en el ambiente **2G - 207** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 174-2021-FCA-UNC, de fecha 16 de junio del 2021**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO DE SÓCOTA - CUTERVO PERÍODO 2002 - 2017"**, realizada por la Bachiller **ANA NERLY IDROGO DELGADO** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las once horas y siete minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de quince (15); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las doce horas y veinticinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Walter Ricardo Roncal Briones
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Luis Dávila Estela
VOCAL

Dr. Wilfredo Poma Rojas
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Eirene y a mi padre Norvil que han sabido formarme con buenos hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mis hermanos Lily, Charito, Michel y Alex que siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo incondicional.

La Autora.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por protegerme y darme la fortaleza para continuar con cada uno de mis propósitos personales.

A mi madre Eirene y a mi padre Norvil por ser unos padres ejemplares que me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada.

A mi asesor: Dr. Wilfredo Poma Rojas por su apoyo y asesoramiento en el presente trabajo de investigación.

A mis amigos por el apoyo moral y consejos.

La autora.

ÍNDICE

Contenido

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivo Específico	2
CAPÍTULO II	3
REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. A nivel Internacional	3
2.1.2. A nivel Nacional	3
2.1.3. A nivel Regional	4
2.2. Bases Teóricas	4
2.2.1. Cobertura Vegetal	4
2.2.1.1. Cambios de cobertura y uso de la tierra	5
2.2.1.2. Importancia de la cobertura vegetal	5
2.2.2. Herramientas para el estudio de la cobertura de la tierra	6
2.2.2.1. Teledetección y Sensores Remotos	6
2.2.2.2 Sistema de Información Geográfica	7
a.Componentes y sub componentes de un SIG	7
2.2.3. Imagen satelital	12
2.2.3.1 Interpretación de imágenes satelitales	13
2.2.3.2. Procesamiento de imágenes satelitales	14
2.2.4. Indicadores de validación de la clasificación o evaluación de la exactitud.....	19
2.2.4.1. Matriz de Confusión	19

2.2.4.2. Índice de Kappa.....	19
2.2.5. Características de imágenes de satélite Landsat	21
2.2.5.1. Imágenes satelitales Landsat	21
2.2.6. Leyenda	22
2.2.6.1. Leyenda de Corine Land Cover	23
2.2.7. Salida a Campo	25
2.3. Definición de términos	25
CAPÍTULO III.....	28
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	28
3.1.1. Ubicación.....	28
3.1.2. División política.....	28
3.1.3. Población	30
3.1.4. Regiones naturales del distrito de Sócota.....	30
3.1.5. Hidrografía del distrito de Sócota	33
3.1.6. Zonas de Vida del distrito de Sócota.....	35
3.2. Materiales y equipos.....	41
a). Materiales y equipos de campo	41
b). Materiales y equipos de gabinete	41
3.3. Metodología.....	42
3.3.1. Proceso de clasificación para la representación cartográfica del distrito de Sócota.....	44
a. Fase inicial de gabinete	44
b. Etapas del procesamiento de representación cartográfica.....	45
CAPÍTULO IV.....	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. Identificación de tipos cobertura y uso de la tierra, del distrito de Sócota.....	49
4.2. Análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra ocurridos en los años 2002 y 2017.....	50
4.2.1. Descripción de los cambios de cobertura y uso actual de la tierra	56
4.2.1.1. Áreas artificializadas	56
a. Áreas urbanizadas	56
1.1 Área Urbana (Au).....	56
b. Áreas agrícolas	56

2.3. Pastos (Pa)	56
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas (Ah).....	57
c. Bosques y áreas mayormente naturales	58
3.1. Bosques.....	58
3.1.1. Bosque denso bajo (Bdb).....	58
3.1.2. Bosque abierto bajo (Bab)	59
3.3. Áreas con vegetación Herbácea y/o arbustivo	60
3.3.1. Hierbas (He).....	60
3.3.2. Arbustos (Ar)	60
3.4. Áreas sin o con poca vegetación	61
4.2.2. Cuantificación y análisis de la evolución de los cambios espacio temporales de la cobertura y uso de la tierra en el distrito de Sócota.....	62
a. Cuantificación y análisis para el periodo 2002 – 2017	62
b. Mapa de cambio y no cambio de cobertura.....	65
c. Cambios de cobertura años 2002 y 2017	67
CAPITULO V	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	82
Panel fotográfico.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Elementos del SIG.	8
Figura 2.	Modelo Raster y Modelo Vectorial.	10
Figura 3.	Sobreposición de capas.	11
Figura 4.	Estructura de un árbol de decisión.	18
Figura 5.	Modelo de análisis visual de imágenes RGB.	22
Figura 6.	Ubicación geográfica del distrito de Sócota.	29
Figura 7.	Cobertura de cultivos agroforestales en el caserío de Tusllón.	30
Figura 8.	Cultivo de café (<i>Coffea arabica</i>) caserío Tusllón (izquierda), sistema de riego tecnificado en el cultivo de papa en María Chilcapata (derecha).	31
Figura 9.	Cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) en centro poblado de San Antonio (izquierda). Cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i>) en el caserío de Mochadín (derecha).	31
Figura 10.	Regiones Naturales del distrito de Sócota.	32
Figura 11.	Hidrografía del distrito de Sócota.	34
Figura 12.	Especies de helechos en el caserío de María Chilcapata.	35
Figura 13.	Área con matorral en el caserío de María Chilcapata (izquierda) y el caserío de Tusllón (derecha).	36
Figura 14.	Especie silvestre <i>Bejaria resinosa</i> (izquierda) y área agrícola al secano (derecha).	36
Figura 15.	Especies identificadas: <i>Ipomaea</i> sp. (izquierda) y <i>Puya</i> sp. (derecha) en el caserío Santa Cruz de Tusllón.	37
Figura 16.	Cultivo de caña (<i>Saccharum officinarum</i>) centro poblado Santa Elena (izquierda) y planta para producción de chancaca en caserío de Tusllón (derecha).	38
Figura 17.	Plantaciones de <i>Guadua angustifolia</i> ubicadas principalmente en los caseríos de Tusllón (izquierda) y Nuevo Oriente (derecha).	38
Figura 18.	Bosque empinado con poca modificación.	39
Figura 19.	Pendiente con presencia de erosión (Centro poblado de San Antonio).	39
Figura 20.	Zonas de Vida del distrito de Sócota.	40
Figura 21.	Modelo de análisis espacial.	43
Figura 22.	Distribución porcentual de cobertura año 2002.	50
Figura 23.	Cobertura vegetal y uso de la tierra año 2002.	52
Figura 24.	Distribución porcentual de cobertura año 2017.	53
Figura 25.	Cobertura Vegetal año 2017.	55
Figura 26.	Área urbana del distrito de Sócota.	56
Figura 27.	Cobertura de pastos en el caserío de El Porvenir.	57

Figura 28. Áreas agrícolas heterogéneas en el caserío de María Chilcapata (izquierda) caserío de Minas (derecha).....	58
Figura 29. Cobertura arbórea en el caserío de Miraflores	59
Figura 30. Cobertura arbórea discontinua en el caserío de Chalpón.....	59
Figura 31. Herbazal en el caserío de Mochadín (izquierda) y Santa Cruz de Tusllón (derecha).....	60
Figura 32. Categoría Arbustos en el caserío Tusllón (izquierda) y María Chilcapata (derecha).....	61
Figura 33. Área con poca vegetación (izquierda) y afloramiento rocoso (derecha) en el caserío de María Chilcapata.	61
Figura 34. Dinámica de la Cobertura y uso del suelo de los años 2002 y 2017.	64
Figura 35. Si cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2002 – 2017.....	65
Figura 36. Cambio y no cambio de cobertura años 2002 y 2017.....	66
Figura 37. Porcentaje ordenado de menor a mayor según el cambio de cobertura periodo 2002 - 2017.....	69
Figura 38. Cambios por cobertura vegetal al año 2017.....	72
Figura 39. Vista panorámica caserío de Santa Elena.....	83
Figura 40. Secado de muestras en Herbario CPUN “Isidoro Sánchez Vega”	83
Figura 41. Identificación de plantas endémicas en Herbario CPUN “Isidoro Sánchez Vega”.....	83
Figura 42. Laguna “El Pilco”	84
Figura 43. Pastizales en caserío de Mochadín.	84
Figura 44. Áreas agrícolas heterogéneas en el caserío de Tusllón.....	85
Figura 45. Caserío de Mochadín.	85
Figura 46. Centro Poblado San Antonio	85
Figura 47. Caserío de Huarrago.	86
Figura 48. Caserío de Santa Elena.....	86
Figura 49. Caserío de Liguñac.	86
Figura 50. Caserío de Minas.	87
Figura 51. Caserío de María Chilcapata.....	87
Figura 52. Caserío de Mangalpa.....	87
Figura 53. Caserío de Miraflores.....	88
Figura 54. Centro Poblado Pampa de la Rioja.	88
Figura 55. Caserío deTusllón.	88
Figura 56. Caserío de Santa Cruz de Tusllón.....	89
Figura 57. Caserío El Porvenir	89
Figura 58. Caserío La Unión.....	90
Figura 59. Caserío El Puquio.	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valoración del índice Kappa.	22
Tabla 2.	Comparación de bandas Landsat 7 y Landsat 8.	22
Tabla 3.	Propuesta de Leyenda de Cobertura de la tierra - Perú.....	23
Tabla 4.	Población urbana y rural del Distrito de Sócola año 2017.....	30
Tabla 5.	Datos de las imágenes descargadas.	44
Tabla 6.	Valores obtenidos de la segmentación.....	45
Tabla 7.	Categorías del uso actual de la tierra identificadas en el distrito de Sócola.	49
Tabla 8.	Distribución por área de las coberturas vegetales año 2002.	50
Tabla 9.	Matriz de confusión año 2002.	51
Tabla 10.	Distribución por área de las coberturas vegetales año 2017.	53
Tabla 11.	Matriz de confusión año 2017.	54
Tabla 12.	Resultados de cambios en la cobertura y uso de la tierra, periodo 2002 – 2017- distrito de Sócola	73
Tabla 13.	Cambio y no cambio en área y porcentaje.....	75
Tabla 14.	Transición de la cobertura y uso de la tierra, años 2002 - 2017.....	67

RESUMEN

La presente investigación está enfocada en la identificación de cambios de cobertura y uso de la tierra del distrito de Sócota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca; por medio de imágenes satelitales Landsat 5 (2002) y Landsat 8 (2017). Utilizando la metodología y clasificación de cobertura terrestre Corine Land Cover (base de datos sobre la cobertura y uso del suelo) propuesta y adaptada para el Perú al nivel III, con una representación cartográfica a escala 1/70 000, empleando la clasificación supervisada con randomización de bosque (Random Forest) y el algoritmo de máxima verosimilitud para generar información base. Se realizó el trabajo en campo (evaluación de consistencia) y la fase final elaborada en gabinete (edición vectorial y generalización), identificándose los cambios en las categorías: Área urbana con 38.18 ha (0.25 %), Pastos con 562.88 ha (3.64 %), Áreas agrícolas heterogéneas con 10 519.89 ha (68.01 %), Herbazal con 2 022.84 ha (13.08 %), Arbustal con 601.90 ha (3.89 %), Vegetación herbácea/arbustiva con 631.48 ha (4.08 %), Bosque abierto bajo con 959.05 ha (6.2 %), Bosque denso bajo con 83.79 ha (10.54 %) y Tierras desnudas con 48.18 (0.31 %). Se identificaron los cambios en las categorías: Arbustal (Ar) con una pérdida de 1 506.65 ha, equivalente a un 9.74 %, Bosque abierto bajo con una pérdida de 1 440.15 ha y dando un cambio positivo; Áreas agrícolas heterogéneas (Ah) con 2 579.56 ha y Herbazal (He) con 1 490.17 ha. En el periodo analizado de 15 años acurren cambios de un total de 15 468.20 ha, sufriendo cambios de cobertura de uso de la tierra 5 539.95 ha equivalente al 35.82 % y no cambio 9 928.25 ha equivalente al 64.18 %. Entre la Transición de la cobertura y uso del suelo en los años 2002 y 2017 el área que no sufrió cambio es de 9928.21ha.

Palabras clave: Análisis multitemporal, cobertura vegetal, imagen satelital, landsat.

ABSTRACT

This research is focused on the identification of land use and coverage changes in the Súcota district, Cutervo province, Cajamarca department; through Landsat 5 (2002) and Landsat 8 (2017) satellite images. Using the methodology and land cover classification Corine Land Cover (database on land cover and use) proposed and adapted for Peru at level III, with a cartographic representation at a scale of 1/70,000, using the supervised classification with randomization Forest (Random Forest) and the maximum likelihood algorithm to generate base information. The field work (consistency evaluation) and the final phase elaborated in the office (vector edition and generalization) were carried out, identifying the changes in the categories: Urban area with 38.18 ha (0.25%), Pasture with 562.88 ha (3.64%) , Heterogeneous agricultural areas with 10,519.89 ha (68.01%), Grassland with 2,022.84 ha (13.08%), Shrubland with 601.90 ha (3.89%), Herbaceous/shrub vegetation with 631.48 ha (4.08%), low open forest with 959.05 ha (6.2%), low dense forest with 83.79 ha (10.54%) and bare land with 48.18 (0.31 %). The changes in the categories were identified: Shrubland (Ar) with a loss of 1,506.65 ha, equivalent to 9.74%, Low open forest with a loss of 1,440.15 ha and giving a positive change; Heterogeneous agricultural areas (Ah) with 2,579.56 ha and Herbazal (He) with 1,490.17 ha. In the 15-year period analyzed, changes occurred in a total of 15,468.20 ha, with 5,539.95 ha undergoing changes in land use coverage, equivalent to 35.82%, and no change in 9,928.25 ha, equivalent to 64.18%. Between the Transition of land cover and use in the years 2002 and 2017, the area that did not undergo change is 9928.21ha.

Keywords: Multi-temporal analysis, vegetation cover, satellite image, landsat.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales son primordiales para la supervivencia y prosperidad de la humanidad y el mantenimiento de todo el ecosistema. Sin embargo, los diferentes usos de la tierra son una de las manifestaciones más obvias de los cambios superficiales, las consecuencias de la actividad antropológica y otros factores a través del tiempo. Esta dinámica depende del tipo de cobertura, interacciones ecológicas, entorno físico, actividad socioeconómica y contexto cultural. Otro factor es el cambio significativo en las regiones naturales donde el crecimiento urbano proporciona servicios ambientales esenciales.

En el departamento de Cajamarca, la problemática en su cobertura terrestre es producido por factores ya sea naturales o antrópicos, siendo este último el que más daño ocasiona; debido a que se está haciendo un mal manejo de los recursos naturales, esto provoca degradación y desequilibrio como resultado de actividades directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos, riego, crecimiento urbano no planificado o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, mineras, eliminación de residuos, transporte, etc. Proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. En el distrito de Sócota, estas actividades causan pérdidas a la calidad ecológica de los ecosistemas afectando a los seres vivos que habitan en ella. En la actualidad, no existe una investigación específica en el distrito, lo que dificulta las actividades relacionadas con la gestión y planificación del uso de recursos naturales.

Por lo que, al no existir actualmente estudios específicos en el distrito de Sócota, dificulta toda actividad vinculada con la gestión y planificación del uso de los recursos naturales, siendo necesario evaluar los cambios de cobertura y uso de la tierra en este lugar, con la información brindada por la digitalización de imágenes satelitales, ya que amplía las posibilidades de contar con un soporte de datos para procesos de toma de decisiones de uso de los recursos naturales, promoviendo la sostenibilidad a largo plazo y el bienestar económico de las comunidades rurales.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

- Analizar los cambios de la cobertura y uso de la tierra del distrito de Súcota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca, durante el período 2002-2017.

1.1.2. Objetivo Específico

- Determinar la incidencia de los factores naturales y antrópicos en los cambios de cobertura y uso de la tierra del distrito de Súcota.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel Internacional

Padilla (2014) para conocer la cobertura vegetal natural, entre los años 1991 al 2013 en el páramo de la Parroquia Mulaló, infiere que la cubierta vegetal es altamente amenazada debido a los cambios de uso de la tierra (cultivos agrícolas temporales limitados), además determina que la tasa anual de pérdida de la vegetación natural es de 3,96 % para el matorral húmedo, 0,82 % para el bosque nativo y 0,6% para el páramo.

Barrena (2015) evaluó la cobertura vegetal de las áreas bajo conservación en la ciudad de Cuenca – Ecuador, dando como resultado que a partir de los datos obtenidos que solo el 36% de la cobertura vegetal está bajo conservación, mientras que un 64% está por zonificar, ya que se presentan limitaciones externas para su zonificación, como vías de comunicación, suelos descubiertos y cuerpos de agua, además que, el 97.8% es vegetación natural, mientras que 2.20% le corresponde a vegetación foránea.

Aldas (2013), en su estudio de variación de la cobertura vegetal y estado del Cerro Imbabura en Ecuador, concluye que, el área de estudio perdió 153.6 ha de bosque, siendo el 47.22% del área total del bosque, con una tasa anual de deforestación de 11.1% equivalente a 84.6 ha/año, definiendo que hay un crecimiento en las actividades antrópicas, ligadas al consumo de los recursos que proporciona el área de estudio.

2.1.2. A nivel Nacional

Los autores Zorogastúa, *et al.* (2011), al realizar un estudio de evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura, determinó que a partir de los datos obtenidos durante el período evaluado el 38 % del área del bosque seco permanece sin variación debido a que son protegidos y conservados por la población, mientras que el 13% ha mejorado su condición debido al durante el año del Fenómeno del Niño alcanzando su vigorosidad y el otro 23 % tiende a la reducción de su cobertura vegetal debido a las crecientes actividades antrópicas y eventos climáticos como la escasez continua de precipitaciones e incremento de temperatura año tras año.

Miyasiro y Ortiz (2016) al realizar una Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en Villa María del Triunfo - Lima por la expansión urbana y minera entre los años 1986 - 2014, llegó a concluir el 26.3% fue convertido en suelo urbano, mientras que el 3.4% fue convertido a suelo de extracción minera, a su vez estas expansiones urbanas son informales e invadidas por pobladores migrantes y marginales.

Cuentas (2015) al hacer un estudio y análisis de la biodiversidad de los bosques secos en Lambayeque, determina que, los bosques secos presentan una reducción, por la intensa deforestación, cambios de uso de suelo y sobrepastoreo, por lo cual conlleva a una disminución del ecosistema, afectando a su flora, fauna y hábitad, recomendándose crear un modelo de gestión para reforestar las zonas deforestadas, elaborar planes de desarrollo territorial.

2.1.3. A nivel Regional

Alcántara (2014) en el departamento de Cajamarca, hizo un estudio especializado con la metodología del Ministerio del Ambiente (R.M. N° 135-2 013-MINAM), utilizando los softwares ENVI y ArcGIS para generar cartografía temática de cobertura y uso de la tierra entre los años 2 001 y 2 013, concluyendo que el cambio de cobertura fue de 599 236.15 ha que representa el 18.18% y no cambio 269 627.69 ha que representa el 81.82% del área departamental, mencionando que la fragmentación se realiza en forma paulatina. Identificando 47 cambios de cobertura de los cuales, el cambio de Vegetación herbácea y/o arbustiva a Áreas agrícolas heterogéneas es el que más se modificó, ya que estos espacios han sido transformados a terrenos agrícolas destruyendo la cubierta vegetal en perjuicio de la oferta de importantes Servicios Ecosistémicos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Cobertura Vegetal

Es la cubierta existente que cubre el suelo y que es de forma temporal o permanente, acorde con las características fisiográficas de la zona, en donde prosperan: cultivos permanentes (frutales), árboles, arbustos; transitorios y hierbas las cuales tiene la capacidad de captar agua de lluvia y prolongar para el uso doméstico y agricultura (García y Palma 2003).

La cobertura del suelo se refiere al tipo de cubierta que se encuentra en la superficie terrestre, mientras que el uso es el conjunto de actividades que el ser humano desarrolla en relación con cierto tipo de cobertura, y está asociado con los fines sociales y económicos (Seingier *et al.* 2009).

La cobertura es la que cubre la superficie del suelo, que puede originarse a partir de ambientes naturales o artificiales creados y mantenidos por el hombre, mientras que el uso de la tierra expresa el destino o uso humano del territorio (López 2004; López y Bocco 2006; Aldana y Bosque 2008; Fuentes 2009).

2.2.1.1. Cambios de cobertura y uso de la tierra

La CORPOICA (2013) nos hace referencia en la relación entre cobertura vegetal y el uso de la tierra corresponden a la expresión integral de la interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado, como resultado de esta asociación espacio-temporal de elementos vegetales y su utilización antrópica hace que se formen actividades dependientes del suelo. La relación entre la cobertura vegetal y el uso de la tierra es fundamental para identificar los conflictos de uso, para así determinar los posibles problemas ambientales.

Ramos *et al* (2007), mencionan que los cambios de la cobertura vegetal son generados a partir de la influencia de factores naturales como climáticos (meteorológicos), hídricos, etc., y factores antrópicos como el cambio de uso de la tierra, cultivos, incendios, construcciones, etc., así mismo estos factores pueden influir en la ascendencia y/o descendencia de las superficies de coberturas vegetales. Sin embargo (Aldana y Bosque 2008) señalan que es producto de un proceso dinámico que refleja una secuencia de decisiones tomadas por los usuarios de la tierra, mientras que Molina (2007), señalan a los cambios de usos y coberturas del suelo como procesos considerablemente dinámicos y continuos en ciudades en proceso de expansión y en las zonas que comprenden sus áreas metropolitanas.

2.2.1.2. Importancia de la cobertura vegetal

Taboada (2011) señala que la cobertura del suelo puede ser representada básicamente por la cobertura vegetal de las plantas en desarrollo (su período vegetativo) o por sus residuos. La cobertura del suelo con plantas en crecimiento, varía de especie a especie, en función de sus características fenológicas y vegetativas (ciclo, hábito de crecimiento, altura,

velocidad de cobertura del suelo, estado de crecimiento) y de las prácticas culturales necesarias para su cultivo (densidad, fertilización, riego, etc.). Sin embargo, los cultivos en desarrollo no reducen tan eficientemente la erosión como lo hacen sus residuos de cosecha mantenidos en contacto directo con la superficie del suelo. Por eso la utilización de los residuos de cosecha como cobertura del suelo es la manera más eficiente, simple y económica del control de la erosión. Por su diversidad, propician la existencia de variados ecosistemas donde se alberga la vida animal y micro-orgánica en un equilibrio frágil y único (Arias *et al.* 2010). Son parte del fundamento básico de la cadena alimenticia que sustenta la vida y proveen al hombre de materiales industriales, plantas medicinales, fibras y resinas (Mozo 1999).

Los bosques juegan un papel importante en la conservación del ambiente, ya que mantienen la estabilidad hídrica, disminuyendo el flujo total de escorrentía, regulan el clima a nivel mundial y local, favoreciendo la conservación de los suelos previniendo la erosión, además son el hábitat de numerosas especies de plantas y animales (Rodríguez *et al.* 2004).

2.2.2. Herramientas para el estudio de la cobertura de la tierra

2.2.2.1. Teledetección y Sensores Remotos

Teledetección

La teledetección es una técnica que nos permite obtener información a distancia, sin tener contacto directo con los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que ésta observación remota sea posible es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción (Chuvienco 2002) y el resultado usualmente, pero no necesariamente, es almacenado como una imagen (fuente de datos). Para esto se requiere al menos, tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sensor (Bakker 2001).

La teledetección se define como la técnica que permite adquirir información de la superficie terrestre a través de imágenes proporcionados por sensores que están a bordo de satélites espaciales, así mismo la aplicación de esta técnica se basa en la discriminación y estratificación de áreas para muestreos multietápicos necesarios para derivar tamaños y números de muestras (Chuvienco 2002).

Sensores remotos

Según Puerta *et al.* (2013), indican que un sensor remoto es el instrumento que se encuentra en la plataforma satelital capaz de captar la energía procedente de la cubierta terrestre. Existen dos tipos de sensores:

- **Sensores Pasivos.** Están limitados a recopilar y almacenar la energía electromagnética emitida por las cubiertas terrestres, que son reflejadas por los rayos solares o provenientes de su propia temperatura. Estos sensores se clasifican en: sensores fotográficos (cámaras fotográficas), sensores óptico electrónicos (exploradores de barrido y empuje y las cámaras de vidicón), y los sensores de antena (radiómetros de micro-ondas).
- **Sensores Activos.** Tienen la capacidad de emitir su propio haz de energía, el que luego de la reflexión sobre la superficie terrestre es recibido por el satélite. El sensor más conocido es el Radar (radiómetro activo de micro-ondas), el que puede trabajar en cualquier condición atmosférica (Chuvieco 2002).

2.2.2.2 Sistema de Información Geográfica

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación, análisis de datos, así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos (tabulares) (Sendra 2000). Es un potente conjunto de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y representar datos espaciales procedentes del mundo real (Burrough 2000). Es un conjunto de procedimientos manuales o computarizados usados para almacenar y analizar datos georreferenciados (Bosque 2000).

a. Componentes y sub componentes de un SIG

Un sistema computarizado compuesto por hardware, software, datos y aplicaciones que es usado para registrar digitalmente, editar, modelizar y analizar datos espaciales, y presentarlos en forma alfanumérica y gráfica (Burrough 2000).

A continuación, se describen a esos componentes propuestos por estos autores:

Hardware. Es el equipo de cómputo con el que opera un SIG. Actualmente el software de estos sistemas se ha adaptado a diversos tipos de hardware desde arquitecturas clientes servidor hasta computadoras de escritorio aisladas. Para las consultas espaciales el

hardware es útil para efectuar el procesamiento de las operaciones que con base a algoritmos solucionan las relaciones entre geometrías.

Software. Proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica, para ello se necesitan de elementos principales de software los cuales son:

- Herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica.
- Sistema de administración de base de datos (DBMS Data Base Management System).
- Herramientas que soportan consultas, análisis y visualización de elementos geográficos.
- Una interfaz gráfica de usuario (GUI Graphical User Interface) para facilitar el acceso a las herramientas mencionadas.

Dato. Es el elemento principal para lograr una correcta información, es decir, una vez conocido el objeto del modelo del mundo real, se identifican las propiedades que lo forman, por ejemplo, sus atributos que se refieren a los elementos descriptivos y el tipo de geometría como el elemento espacial. En las consultas espaciales es necesario conocer el tipo de geometría entre los objetos del mundo real que se relacionan topológicamente.

Usuario. son las personas que se encargan de administrar el sistema, así como de desarrollar un proyecto basado en el mundo real, entre los que se involucran analistas, desarrolladores, administradores, programadores, y usuarios (ESRI 2001).

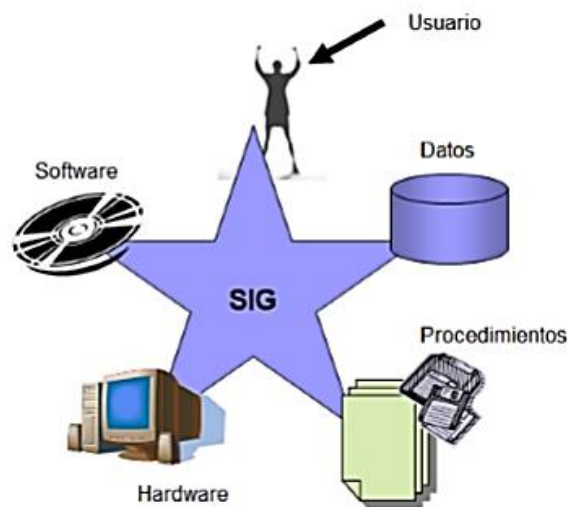


Figura 1. Elementos del SIG.

Según Rodgers (1993), menciona algunas de las operaciones de un SIG conforme la entrada y salida de datos:

- **Ingreso de datos.** Se refiere a todas las operaciones por medio de las cuales los datos espaciales de mapas, sensores remotos y otras fuentes son convertidos a un formato digital. Se deben ingresar dos tipos diferentes de datos al SIG: referencias geográficas (coordenadas: latitud y longitud, que fijan la ubicación de la información que se está ingresando) y atributos (asignan un código numérico a cada conjunto de coordenadas y a cada variable, sea para representar los valores actuales como precipitación o para connotar tipos de datos categóricos como usos del terreno, tipo de vegetación, etc.).
- **Almacenamiento de datos.** Se refiere al modo como los datos espaciales son estructurados y organizados dentro del SIG, de acuerdo a la ubicación, interrelación, y diseños de atributos.

La estructura de la base de datos espaciales puede ser representada de dos formas: el modelo vectorial y modelo raster (Bernhardsen 2002).

El modelo raster. Funciona a través de una retícula que permite asociar datos a una imagen; es decir, se pueden relacionar paquetes de información a los píxeles de una imagen digitalizada (Bernhardsen 2003).

El modelo vectorial. Almacena tres objetos cartográficos básicos: puntos, líneas y polígonos, los mismos que se almacena como una colección de coordenadas x,y. La ubicación de una característica puntual (casas, núcleos de población), pueden describirse con un solo punto x, y. Las características lineales (vías, curvas de nivel, ríos), pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x,y. Las características poligonales (límites administrativos, parcelas), pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas (Musso y Cotos 2005).

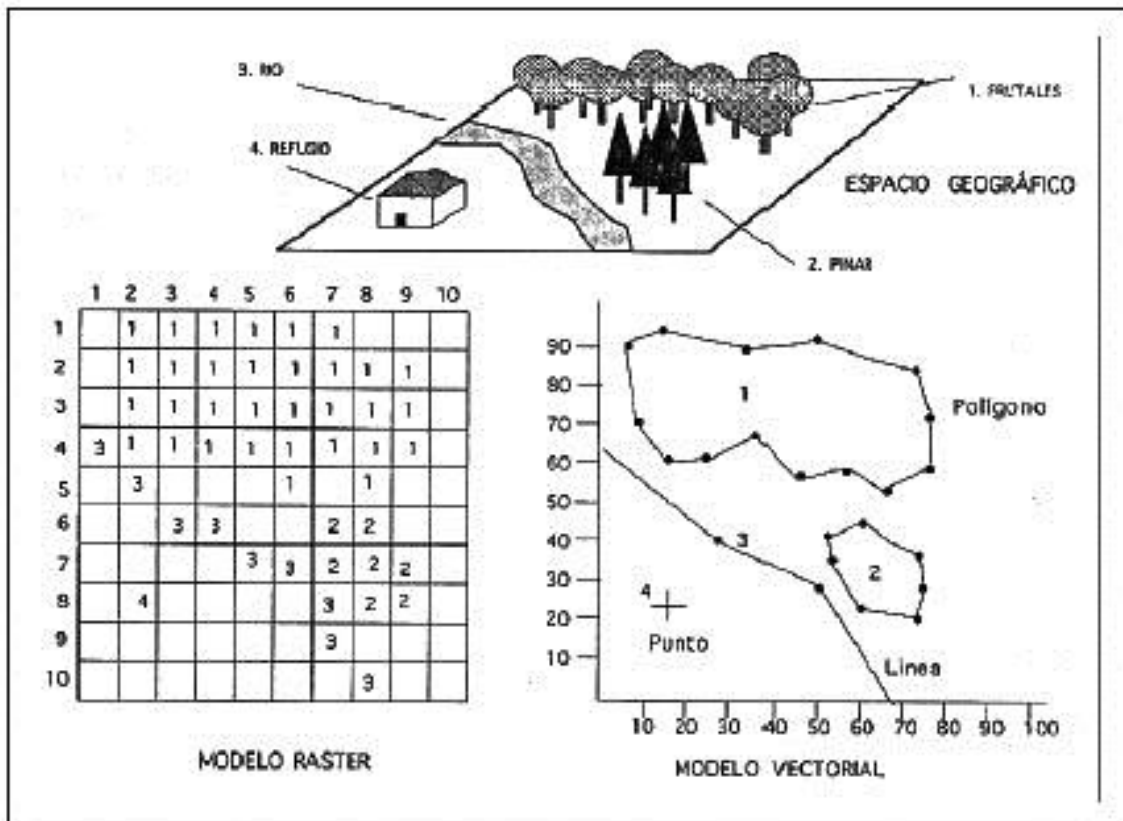


Figura 2. Modelo Raster y Modelo Vectorial.

• **Manipulación y procedimiento de datos.** Se hace para obtener información útil de los datos previamente ingresados al sistema. La manipulación de datos abarca dos tipos de operaciones: (1) operaciones para eliminar errores y actualizar conjuntos de datos actuales (editar); y (2) operaciones que hacen uso de técnicas analíticas para dar respuestas a preguntas específicas formuladas por el usuario.

El proceso de manipulación puede ser desde una simple sobre posición de dos o más mapas, hasta una extracción compleja de elementos de información dispersos, de una gran variedad de fuentes.

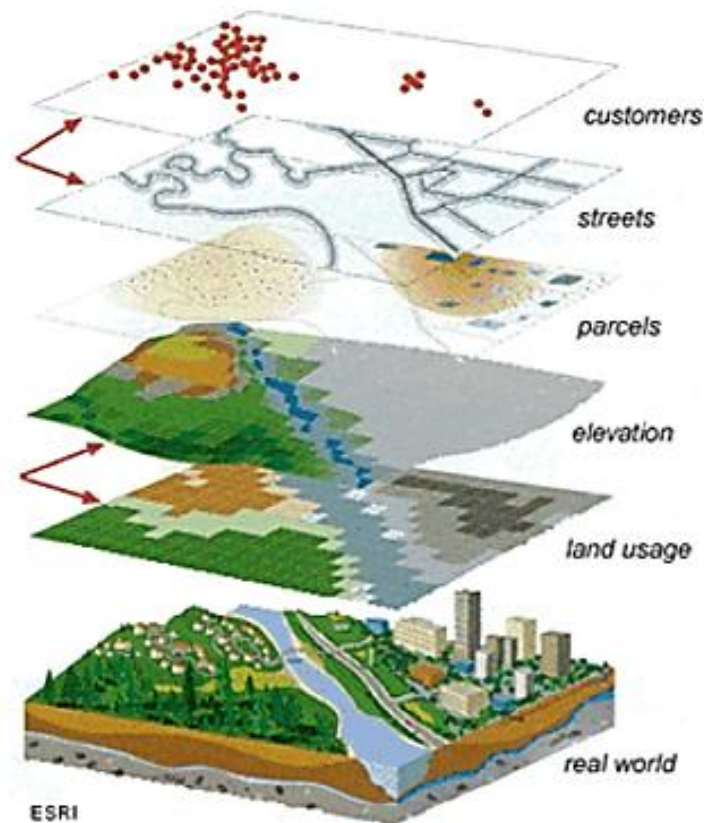


Figura 3. Sobreposición de capas.

b. Formato de representación de los Sistemas de Información Geográfica

Actualmente las herramientas usadas para los estudios de cambio en la cobertura vegetal y uso de la tierra se emplean sistemas de información geográfica (SIG), esto permite el manejo de grandes volúmenes de datos. Lo que antes sólo se presentaba en mapas, se transformó a un formato digital para su análisis electrónico. Las capacidades más importantes que se generaron son: tener datos georreferenciados actualizados e integrar múltiples conjuntos y procesos de información, de manera rápida y eficiente (Rodríguez y Oivella 2010).

En un sentido amplio, un sistema de información geográfica es cualquier conjunto manual o computarizado de procedimientos usados para almacenar que implica su ingreso al sistema y manipular datos georreferenciados que concluirá con un mapa. Los SIG tienen la capacidad de crear información mediante la integración, esta cualidad les confiere una gran ventaja sobre los sistemas que sólo hacen representaciones con los datos, como lo son los cartográficos (Rodríguez y Oivella 2010).

La implementación de sistemas de información geográfica, de percepción remota y de cartografía, como herramientas de automatización e integración para el manejo sustentable de los recursos naturales y el ordenamiento territorial de una comunidad, ocupan un lugar relevante porque fortalecen la evaluación y el monitoreo de los recursos, que es la base del desarrollo comunitario (Bocco *et al.* 1996).

La percepción remota (fotografías aéreas e imágenes de satélite) amplía la capacidad de observación para la obtención de datos sobre un fenómeno con dimensión espacial; los sistemas cartográficos simbolizan los datos geográficos mediante mapas (en papel o digitales), mientras que los sistemas de información geográfica analizan y generan información a partir de esos datos.

2.2.3. Imagen satelital

Quiroz (2011) explica que las imágenes satelitales contienen información detallada de los elementos del terreno en el instante de la toma y que el éxito del uso depende de su calidad y de características de los elementos que se aprecian en la imagen. Para sus aplicaciones se consideran las principales características:

- Forma - Tamaño: contorno o línea a escala.
- Patrón - Asociación: ordenamiento espacial y relación de elementos a otros.
- Tono - Textura: brillo o color a frecuencia de cambios de tonalidad.
- Sitio: Topografía o ubicación geográfica.

Además, menciona que los procesamientos de las imágenes satelitales se realizan bajo plataforma de software de SIG y sirven para analizar cuantitativamente patrones espectrales en las imágenes como tonalidades, texturas, formas y entre otras características reflejados en valores de pixel, que luego son agrupados dichos valores.

Prabhakar *et al* (2006), refieren que las imágenes satelitales son efectivas en la manipulación de la vegetación, porque permite que un gran volumen de información referente a vegetación, sea interpretado en corto tiempo, donde las imágenes satelitales son insumos eficaces para estratificar multitemporalmente la vegetación, pero su ventaja mayor es que permiten calcular, clasificar y precisar detalladamente las superficies de cobertura vegetal que presentan alguna influencia o para zonificarlas dentro de actividades de uso forestal. Actualmente permite calcular la disminución de la cobertura vegetal.

2.2.3.1 Interpretación de imágenes satelitales

Clasificación digital

En el proceso de clasificación digital de imágenes el operador instruye a la computadora que realice una interpretación de acuerdo a ciertas condiciones predefinidas. Esta técnica forma parte de la interpretación digital de imágenes (Bakker y Jansen 2001).

Según Chuvieco (2002), Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos:

- **Clasificación Supervisada.** Esta es realizada por un operador que define las características espectrales de las clases, mediante la identificación de áreas de muestreo (áreas de entrenamiento). Se requiere también que el operador esté familiarizado con el área de interés parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías (Chuvieco 2002).
- **Clasificación No Supervisada.** Este método se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen, procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvieco 2002).

Esto implica que los ND (Números Digitales) de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados o “clusters” de píxeles con similares características. Basado en esto, la computadora localiza arbitrariamente vectores principales y los puntos medios de los grupos. Luego cada píxel es asignado a un grupo por la regla de decisión de mínima distancia al centroide del grupo (Bakker y Jansen 2001).

Una clasificación no supervisada debe tener presente aspectos como:

- Contar con una imagen satelital.
- Valorar los datos contenidos en la imagen, así como su calidad.
- Porcentaje y cobertura de nubes.
- Clasificar el área de estudio basados en el algoritmo de agrupamiento de los píxeles (la computadora realiza este trabajo).
- Representación tabular de la clasificación, Tablas estadísticas, análisis de datos digitales.
- Evaluación de los resultados (determinación de exactitud y confiabilidad de la clasificación multiespectral).

2.2.3.2. Procesamiento de imágenes satelitales

El pre-procesamiento es un conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes satelitales con el objetivo de mejorar la calidad de los resultados (BIODAMAZ 2004).

Inicia a partir de la selección de imágenes satelitales para el estudio multitemporal, previo al análisis de la información obtenida de los sensores remotos se realiza el Pre procesamiento de la imagen que permite el cambio del formato de archivo original de las imágenes con el propósito de comprimir la misma y reducir el número de bit sin que ello implique disminuir la calidad de la información.

Chuvienco (2002) establece que es necesario la eliminación de cualquier cambio ocurrido en los números digitales (ND) que conforman los píxeles de la imagen y esto se logra mediante las correcciones radiométricas y geométricas de las imágenes, esto con el fin de evitar cualquier alteración de los datos del análisis de cambio.

a. Segmentación

La segmentación es un proceso que considera la relación entre la respuesta espectral y la distribución espacial de los píxeles (Suárez 2014), generando polígonos que identifica conjuntos de píxeles que definen áreas geográficas homogéneas que representan algún tipo de unidad espacial (Castillo *et al.* 2015). Esta técnica intenta reproducir la identificación de objetos homogéneos según como la percibiría el ojo humano (Suárez 2014).

Según el MINAM (2014), para segmentar las imágenes satelitales en el programa ENVI EX, se utiliza dos parámetros: Scale (tamaño de los segmentos) y Merge (grado de unión de los segmentos), los cuales se eligen para alcanzar la segmentación deseada, en base a la combinación adecuada de ambos parámetros.

Scale. Parámetro de entrada requerido para el algoritmo de segmentación basado en bordes que utiliza ENVI EX. Este parámetro, junto con una función de densidad y el gradiente original del mapa, son necesarios para que el algoritmo de segmentación pueda calcular un mapa con gradientes modificados, y luego lo segmenta. Al elegir un valor de “Scale” alto, se definen pocos segmentos, mientras que la elección de un valor de “Scale” bajo dará lugar a que se generen más segmentos (NITF 2009).

Merge. Parámetro usado de manera opcional para unir pequeños segmentos dentro de áreas más grandes con textura, como árboles, nubes o cultivos, donde la sobresegmentación puede ser un problema (NITF 2009).

b. Áreas de referencia

Son polígonos que constituyen una muestra representativa de cada una de las clases presentes en la escena. Son áreas homogéneas que representan a las clases de la leyenda y que servirán de insumo para entrenar el modelo de la clasificación (MINAM 2014). Para generar las áreas de referencia se emplean datos recopilados en la salida de campo, con datos construidos previamente en gabinete (Martínez *et al.* 2015).

Según el MINAM (2014), se distinguen tres tipos:

- **Áreas de entrenamiento.** Representan las clases significativas en la escena y que han sido reconocidas correctamente por la segmentación, luego serán empleadas para seleccionar los segmentos que contribuirán con información para realizar la clasificación supervisada. Por ejemplo: Vegetación natural terrestre arbórea cerrada, cultivos, etc.
- **Áreas de asignación manual.** Pueden estar bien identificadas por el proceso de segmentación, pero que representan clases poco recurrentes en la escena, no son posibles de clasificar con éxito por el clasificador y generan en el modelo un conflicto con las demás clases. Por ejemplo: áreas urbanas, piscigranjas, entre otros.
- **Áreas de superposición.** Áreas donde el proceso de segmentación no logró reconocer adecuadamente los bordes de las coberturas que se quiere representar. Por ejemplo: ríos, caminos, entre otros.

c. Información generada para la clasificación

La información generada para la clasificación tiene como objetivo incrementar la capacidad de clasificación, brindando información que contribuye a aumentar las variables a tener en cuenta, para evaluar la información digital de los píxeles en el proceso de clasificación.

El (MINAM 2014), refiere que se emplea como base: Información derivada del DEM (modelo digital de elevación), la curvatura y la pendiente.

- **DEM (Modelo Digital de Elevación)**

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando un equipo de cómputo y software especializados. Tienen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos (INEGI 2015).

- **CURVATURE (Curvatura)**

Según ESRI (2008), corresponde a la curvatura de una superficie de raster e incluye, opcionalmente, la curvatura del perfil y el plano.

- La salida principal del algoritmo es la curvatura de la superficie celda por celda, calculada usando los valores del DEM de esa celda y de sus vecinos circundantes. La curvatura es la derivada segunda de la superficie, o la pendiente de la pendiente.
- Hay dos tipos de curvatura de salida opcionales: la curvatura del perfil está en la dirección de la pendiente máxima y la curvatura del plano es perpendicular a la dirección de la pendiente máxima.
- Una curvatura positiva indica que la superficie es convexa hacia arriba en esa celda. Una curvatura negativa indica que la superficie es cóncava hacia arriba en esa celda. Un valor 0 indica que la superficie es plana.
- En la salida del perfil, un valor negativo indica que la superficie es convexa hacia arriba en esa celda. Un perfil positivo indica que la superficie es cóncava hacia arriba en esa celda. Un valor 0 indica que la superficie es plana.
- En la salida del plano, un valor positivo indica que la superficie es convexa hacia arriba en esa celda. Un plano negativo indica que la superficie es cóncava hacia arriba en esa celda. Un valor 0 indica que la superficie es plana.

La selección de las capas a emplear está sujeta a la compatibilidad con el sensor empleado, la disponibilidad y accesibilidad a las capas, y el grado de contribución con el análisis. Tener en cuenta que todas las capas sean generadas con la misma extensión, tamaño de celda y proyección espacial y deben estar almacenados en un mismo directorio (MINAM 2014).

d. Clasificación de las imágenes

Para que una imagen de satélite pueda ser clasificada, es necesario que exista una experiencia previa que permita relacionar las categorías previstas con la información espectral reflejada en la imagen satelital en campo o identificadas de manera precisa en la imagen.

Rial y Gonzáles (2001) sobre la clasificación mencionan que es el proceso de agrupar píxeles en un número finito de clases individuales o de categorías de datos con base en los niveles digitales de los datos, mientras que (Lillesand *et al.* 2004; Serra *et al.* 2008; Qasim *et al.* 2011) refieren que consiste en asignar los píxeles de una imagen reticulada a clases de cobertura del suelo predefinidas. La forma básica de la clasificación de imágenes es por interpretación visual, en la que se consideran tono, textura, tamaño, forma y asociación.

La imagen multibanda se convierte en otra imagen, del mismo tamaño y características de las originales (Chuvienco 2006).

e. Árboles de decisión

Un árbol de decisión es un modelo de predicción de forma gráfica y analítica para poder llevar a cabo la clasificación de los datos utilizados, mediante diferentes caminos posibles (Alcácer 2013). Luego con estos datos se construye una estructura arbórea que sirve para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren de forma sucesiva, para la resolución de un problema (Corso s.f.). Se organiza de forma jerárquica, y se aplica sucesivamente desde una raíz hasta llegar a un nodo terminal u hoja del árbol (Rodríguez y Chica 2012).

Los árboles de decisión constituyen uno de los métodos más utilizados en la clasificación de la cobertura y uso de la tierra a partir de imágenes de satélite, debido a su simplicidad e interpretabilidad y la posibilidad de ser representados gráficamente (Rodríguez 2011).

En la Figura 4 se observa la estructura de un árbol de decisión; los casos de la muestra que se quiere clasificar le pertenecen al nodo raíz, los nodos internos representan cada uno un valor del dominio de la condición del atributo, donde les corresponde una condición elegida en el conjunto de atributos y los nodos terminales u hojas contienen una única etiqueta.

Desde la raíz del árbol hasta una determinada hoja, el camino conforma una regla de clasificación (Rodríguez y Chica 2012).

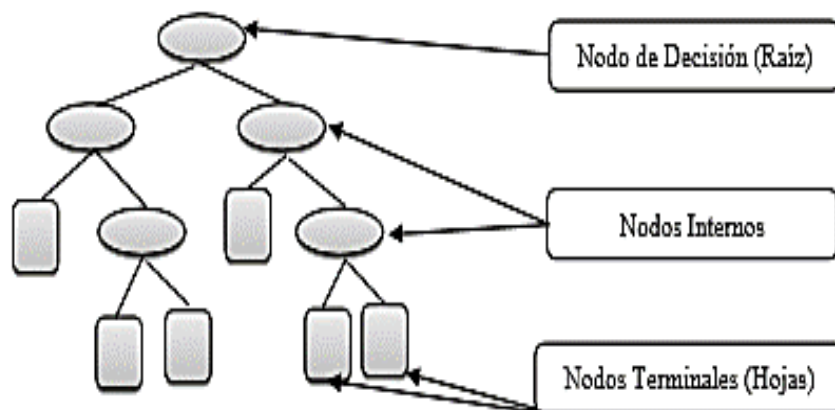


Figura 4. Estructura de un árbol de decisión.

f. Algoritmos de clasificación

Un Algoritmo es un conjunto de pasos lógicos, secuenciales y metódicamente aplicados para dar solución a una cierta clase de problema (Balderrama 2008).

- **Random Forest**

Random Forest es un algoritmo de clasificación no lineal que permite identificar patrones en los datos que se incorporan como entrada de información. Este algoritmo emplea un sistema de “votos” entre el conjunto de árboles para decidir la clase. Cada árbol calibrado es un voto, y se asigna la clase en función de cuántos votos obtiene cada una de las unidades a ser clasificadas (Breiman 2001).

- **Algoritmo See5/C5**

El algoritmo See5/C5 permite construir automáticamente a partir de un conjunto de datos o entrenamiento un árbol de clasificación que representa la relación que existe entre la decisión y sus atributos o variables. El algoritmo realiza particiones binarias sucesivas en el espacio de las variables explicativas. Para realizar cada partición se escoge la variable que aporta más información en función de una medida de entropía o cantidad de información (Bonsón *et al.* 1999). A partir de este árbol se puede elaborar reglas de clasificación fácilmente interpretables (Alcácer 2013). Para ello ERDAS IMAGINE creó una interface para extrapolar los modelos de árboles de decisión derivados en píxeles clasificados (MINAM 2014).

2.2.4. Indicadores de validación de la clasificación o evaluación de la exactitud

La validación de la exactitud temática permite definir el grado de fidelidad de los valores obtenidos en el análisis de cobertura y uso de la tierra, producido por la metodología aplicada con respecto a su verdadera característica encontrada en el mundo real y su clasificación correcta (Lactayo *et al.* 2013).

Para ésta validación se emplea un conjunto de datos de campo y datos al azar para evaluar la consistencia del mapa, a través de métricas cuantitativas de evaluación: la matriz de confusión, el índice Kappa (IK) y el porcentaje correctamente clasificado (PCC) (MINAM 2014).

2.2.4.1. Matriz de Confusión

A partir de la matriz de confusión se puede calcular un indicador de precisión global del mapa, que considera la relación entre el número de puntos correctamente asignados (sumatoria de la diagonal) y el total de los lugares de referencia (Moliner 2001).

2.2.4.2. Índice de Kappa

Es una medida estadística que ajusta el efecto del azar en la proporción de la concordancia observada para elementos cualitativos (variables categóricas).

El coeficiente estadístico, permite medir la similitud entre dos clases, verificando la concordancia de esta con una clasificación visual en campo o con imágenes de alta resolución.

a. Interpretación de los valores de kappa

Para analizar las relaciones múltiples entre las distintas categorías, se trabajan con técnicas de análisis categórico multivariante idóneas para el estudio global de matrices de confusión (Chuvieco 1990).

Uno de los índices más empleados en este sentido es el estadístico de Kappa (k), que mide la diferencia entre el acuerdo mapa - realidad observado y al que cabría esperar simplemente por azar. Intenta delimitar el grado de ajuste debido sólo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios. El test pretende evaluar si la clasificación ha discriminado las categorías de interés con precisión significativamente mayor a la que se hubiera obtenido con una asignación aleatoria (Chuvieco 2002), tal y como se describe en la ecuación.

$$CK = \frac{\sum_{i,j=1}^r x_{ij} - \sum_{i,j=1}^r (\sum x_i \cdot \sum x_j)}{N^2 - \sum_{i,j=1}^r (\sum x_j \cdot \sum x_i)}$$

En donde:

r : número de filas en la matriz.

x_{ij} : número de píxeles de la diagonal mayor.

x_i : fila i

x_j : columna j

N : total de píxeles de la matriz.

El valor del coeficiente puede variar de 0 a 1, entre más cercano este a 1, quiere decir que la concordancia de los dos métodos es muy alta. Este índice se puede categorizar en seis clases, y de acuerdo con esta clasificación se puede rechazar o aceptar la nueva clasificación a evaluar (Cerdea y Villarroel 2008).

Tabla 1. Valoración del índice Kappa

Índice Kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21- 0.40	Aceptable
0.41- 0.60	Moderada
0.61- 0.80	Considerable
0.81- 1.00	Casi perfecta

Fuente: Landis y Kotch, citado por Cerda y Villarroel (2008).

Según Zamora *et al.* (2016), se presenta los siguientes conceptos:

- **Error de Comisión.** Es el error que resulta de la clasificación, en la cual un pixel correspondiendo a una clase de cobertura no es clasificada de esa manera.
- **Error de Omisión.** Es el error que resulta de la clasificación, en la cual un pixel es clasificado como una clase de cobertura a la que no pertenece.
- **Exactitud.** Es el nivel de concordancia entre el valor real y el resultado de las observaciones o estimaciones de una característica.

- **Precisión.** Es el nivel de concordancia entre medidas repetidas de la misma característica. Se representa como una estrecha agrupación de resultados de los puntos de muestreo o parcelas. La precisión es inversamente proporcional al error.

2.2.5. Características de imágenes de satélite Landsat

2.2.5.1. Imágenes satelitales Landsat

La constelación de satélites LANDSAT (LAND = tierra y SAT = satélite), fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. La forman 8 satélites de los cuales sólo se encuentran activos el 5 y el 8. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Los satélites LANDSAT llevan a bordo diferentes instrumentos. Su evolución buscó siempre captar más información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle, de ahí las mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se incorporaron a los sensores pasivos; que recogen los datos de forma conjunta para proporcionar imágenes coincidentes de la superficie terrestre, incluyendo las regiones costeras, hielo polar, las islas y las zonas continentales (INEGI 2013).

Las imágenes LANDSAT están compuestas por 7, 8 u 11 bandas espectrales, que al combinarse producen una gama de imágenes de color que incrementan notablemente sus aplicaciones. Dependiendo del satélite y el sensor se incluye un canal pancromático y/o uno térmico; asimismo las resoluciones espaciales varían de 15, 30, 60 y 120m.

Las principales aplicaciones de estas imágenes se centran en la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales. Existen imágenes de archivo desde 1982.

En la siguiente tabla, veremos la comparación entre las bandas que proporciona el Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI y TIRS.

Tabla 2. Comparación de bandas Landsat 7 y Landsat 8.

Landsat 7			Landsat 8		
Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)	Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 1 Blue	0.45 – 0.52	30	Band 1 Coastal	0.43 – 0.45	30
Band 2 Green	0.52 – 0.60	30	Band 2 Blue	0.45 – 0.51	30
Band 3 Red	0.63 – 0.69	30	Band 3 Green	0.53 – 0.59	30
Band 4 NIR	0.77 – 0.90	30	Band 4 Red	0.64 – 0.67	30
Band 5 SWIR1	1.55 – 1.75	30	Band 5 NIR	0.85 – 0.88	30
Band 7 SWIR2	2.09 – 2.35	30	Band 6 SWIR1	1.57 – 1.65	30
Band 8 Pan	0.52 – 0.90	15	Band 7 SWIR2	2.11 – 2.29	30
Band 6 TIR	10.40 – 12.50	30/60	Band 8 Pan	0.50 – 0.68	15
			Band 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
			Band 10 TIRS1	10.6 – 11.19	100
			Band 11 TIRS2	11.5 – 12.51	100

Fuente: Elaborado por Pucha (2013).

Análisis visual de imágenes satelitales en color rojo, verde y azul (RGB)

El análisis visual se realiza empleando 3 bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores, empleados RGB (Fernández y Eliecer 2001).

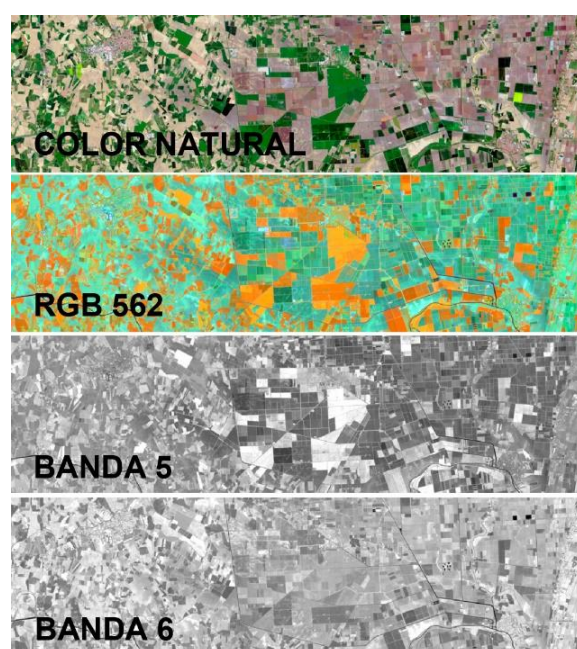


Figura 5. Modelo de análisis visual de imágenes RGB.

2.2.6. Leyenda

La leyenda es la aplicación de una clasificación en un área específica utilizando una escala definida de mapeo (Di Gregorio 2005).

2.2.6.1. Leyenda de Corine Land Cover

Corine Land Cover es una metodología para la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra. Esta metodología emplea una leyenda jerárquica que permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura y uso de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite. Ésta leyenda vincula distintos niveles de detalle espacial (escala espacial) con distintos niveles de detalle temático (niveles de la leyenda jerárquica) (IDEAM *et al.* 2008).

Tabla 3. Propuesta de Leyenda de Cobertura de la tierra - Perú.

Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas industriales o comerciales
		1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3. Áreas portuarias
		1.2.4. Aeropuertos
		1.2.5. Obras hidráulicas
		1.2.6. Infraestructura petrolera
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos
		1.3.2. Áreas de disposición de residuos
1.4. Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Áreas verdes urbanas	
	1.4.2. Instalaciones recreativas	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios	2.1.1. Otros Cultivos Transitorios
		2.1.2. Cereales
		2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
		2.1.4. Hortalizas
		2.1.5. Tubérculos
	2.2 Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos
		2.2.4. Cultivos agroforestales
		2.2.5. Cultivos confinados
	2.3 Pastos	
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos
		2.4.2. Mosaico de Pastos y Cultivos
		2.4.3. Mosaico de Cultivos, pastos y espacios naturales
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales		
3. Bosques áreas mayormente	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo
		3.1.2. Bosque abierto bajo
		3.1.3. Bosque denso alto

		3.1.1. Bosque denso bajo
		3.1.2. Bosque abierto bajo
		3.1.3. Bosque denso alto
		3.1.4. Bosque abierto alto
		3.1.5. Bosque fragmentado
		3.1.6. Bosque Ripario
		3.2.1. Plantación Forestal
	3.2 Bosques plantados	
		3.3.1. Herbazal
		3.3.2. Arbustos
		3.3.2. Arbustos
		3.3.3. Vegetación secundaria o en transición
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea
		3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea
		3.3.5. Arbustos / área intervenida
		3.3.6. Herbazal / área intervenida
		3.3.7. Arbustos - Herbazal/ área intervenida
		3.4.1. Áreas arenosas naturales
		3.4.2. Afloramientos rocosos
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)
		3.4.4. Áreas quemadas
		3.4.5. Glaciares
		3.4.6. Salares
		4.1.1. Áreas Pantanosas
		4.1.2. Turberas y bofedales
	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
		4.2.1. Pantanos costeros
		4.2.2. Salitral
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.3. Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar
		5.1.1. Ríos (50 m)
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes
	5.1. Aguas continentales	5.1.3. Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales
		5.1.4. Canales
		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales
		5.2.1. Lagunas costeras
	5.2. Aguas costeras	5.2.2. Mares y océanos
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: Ministerio del Ambiente (MINAM 2014).

2.2.7. Salida a Campo

El levantamiento de datos de campo es fundamental tanto para la calibración de la clasificación como para la verificación de los resultados. En el proceso de calibración del clasificador, permite al intérprete conceptualizar mejor las coberturas presentes en el área de trabajo y definir mejor las áreas de entrenamiento de las mismas (MINAM 2014).

2.3. Definición de términos

ArcGis. Es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Algoritmo. Es una secuencia de pasos ordenados para solucionar un problema (la metodología utilizada).

Actividades primarias. Son todas aquellas actividades en las que el hombre le quita algo a la naturaleza (materia prima), ejemplos son: agricultura, ganadería, minería, actividad forestal.

Agricultura de precisión. Es un término agronómico que define la gestión de parcelas agrícolas sobre la base de la observación, la medida y la actuación frente a la variabilidad inter cultivo.

Bits. Es la mínima unidad de almacenamiento digital.

Imagen multiespectral. Es la captura de datos de las imágenes dentro de rangos de longitud de onda específicos a través del espectro electromagnético.

Batimetría. Conjunto de técnicas para la medición de las profundidades del mar, los ríos y el estudio de la distribución de las plantas y animales en sus diversas capas o zonas.

Cuadrícula. Es un sistema de cuadrados en una hoja representando un sistema de coordenadas planas sobre la superficie de la tierra.

DEM. Es una estructura de datos que representa la distribución espacial de altitud en la superficie terrestre.

Ecuador. Es el círculo imaginario que traza una línea entre el hemisferio Norte y Sur

Formato raster. Es el conjunto de celdas de cuadrículas algunas veces llamados píxeles o elementos de cuadros.

Formato vectorial. Es el intento de la representación tan exactamente como sea posible mediante un conjunto de coordenadas en un plano cartesiano.

Fiabilidad del usuario. Es el porcentaje correctamente clasificado por el software al momento de procesar los datos durante la digitalización de las áreas de entrenamiento.

Fiabilidad del productor. Mide cuanto es fiable el producto verificado en campo.

Georreferenciar. Es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos.

Índice Kappa. Es una medida estadística que se ajusta el efecto al azar en proporción de la concordancia observada para elementos cualitativos califica 0.80 arriba muy bueno y de 0.20 abajo muy malo.

Línea. Objeto construido por una cadena de puntos.

Latitud. Es la distancia desde el Ecuador a cualquier parte de la tierra, expresado en grados, minutos y segundos.

Longitud. Es la distancia desde el meridiano Greenwich a cualquier punto de la tierra, expresado en grados, minutos y segundos.

Model Builder. Es una herramienta disponible en ArcGIS destinado a la edición y administración de geo procesos con el fin de generar modelos de trabajo autónomos y secuenciales.

Plano cartesiano. Se conoce como 2 rectas numéricas perpendiculares, una horizontal y otro vertical, que se cortan en un punto llamado origen o cero del sistema.

Pixel. Es la unidad más pequeña de una imagen satelital.

Punto. Objeto representado por coordenadas X, Y, Z.

Polígono. Conjunto de puntos donde un punto en el inicio es igual a un punto al final.

Polos. Es la intersección del eje de rotación de la tierra con su superficie. Polo norte y polo sur.

Random forest. Es un algoritmo de clasificación no lineal que permite identificar patrones de datos que se incorporan a entrada de información.

Software. Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

Suelo. Colección de cuerpos naturales sobre la superficie terrestre. Medio natural para el crecimiento de las plantas. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas.

Shapefile. Es el formato vector de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos.

Satélite. Vehículo tripulado o no que se coloca alrededor de la tierra, lleva equipos apropiados para recoger información y transmitirla.

Teledetección. Tecnología de información de objetos sin tener un contacto físico con ellos.

Tierra. Superficie de la corteza terrestre, compuesta de materia mineral y orgánica sobre la cual crecen las plantas o está destinada al cultivo. Comprende el ambiente físico que influye al clima, relieve, suelo, hidrología y vegetación al grado que estos influyen el uso de la tierra.

Vectorizar. Consiste en convertir imágenes que están formadas por píxeles en imágenes formadas por vectores.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación

La presente investigación se desarrolló en el distrito de Súcota, Provincia de Cutervo, Departamento de Cajamarca, cuyos límites son: por el norte con los distritos de San Andrés y San Juan de Cutervo, al este con los distritos de San Luis de Lucma (Provincia de Cutervo) y Anguía (Provincia de Chota), al sur con los distritos de Tacabamba (Provincia de Chota) y distrito de Cutervo; y, al oeste con los distritos de Santo Domingo de la Capilla y Cutervo.

La zona de estudio se ubica en la vertiente del Atlántico entre las coordenadas UTM 761305 m y 752570 m Este y 9313089 m y 9295439 m Norte; en un rango altitudinal comprendido entre los 1600 y 2900 msnm, con un área de 15 458.69 ha.

3.1.2. División política

El distrito de Súcota cuenta con 3 centros poblados y 28 caseríos. Los centros poblados son: San Antonio, Huarrago y Pampa de la Rioja; y, los caseríos: Mochadín, María Chilcapata, Sucse, Libertad de la Palma, La Unión, Santa Elena, La Achira, Liguñac, Minas, Providencia, Guineamayo, Cuñanque, Chontas, Quictualle, El Puquio, Laguna Shita, Churumayo, Churumayo Alto, Miraflores, Chisigle, Quijos Mirador, Nuevo Oriente, Changay, Chalpón, El Porvenir, Santa Cruz, Tusllón y Mangalpa, datos obtenidos de ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca.

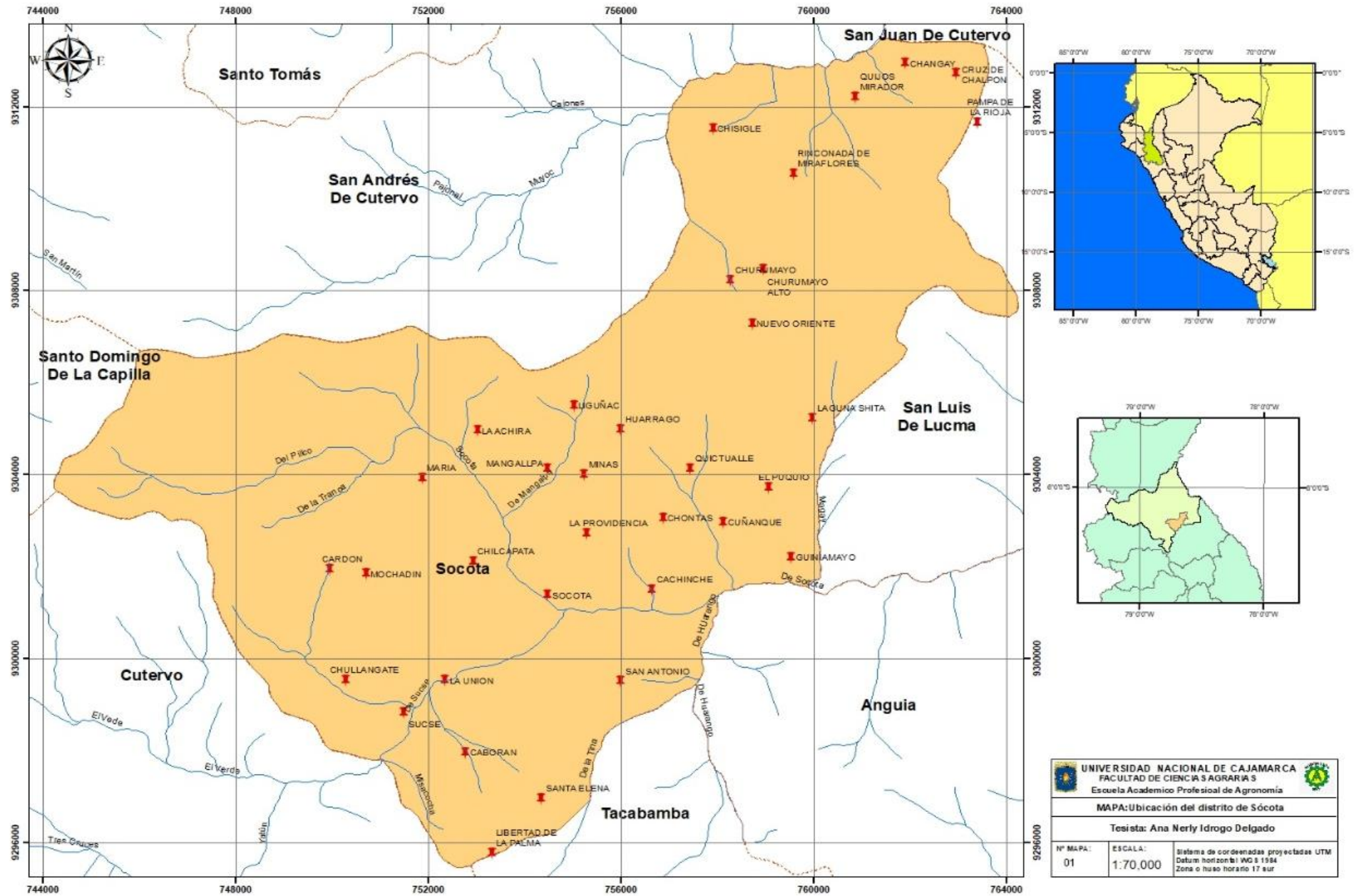


Figura 6. Ubicación geográfica del distrito de Súcota.

3.1.3. Población

De acuerdo a los censos de población y vivienda conseguidos a partir del INEI, para el distrito de Súcota muestran los siguientes resultados.

Tabla 4. Población urbana y rural del distrito de Súcota año 2017.

Población censada	N° habitantes	%
Urbana	2,698	29.8
Rural	6,356	70.2
Total	9,054	100

Fuente: Adaptado del INEI (2017).

3.1.4. Regiones naturales del distrito de Súcota

De las ocho regiones naturales del Perú formulada en el año 1938 por el geógrafo peruano Javier Pulgar, hay dos regiones en el distrito de Súcota.

a. Yunga fluvial

Se caracteriza por su clima subtropical, en Súcota, esta región se encuentra en los caseríos de: Chullangate, Sucse, La Unión, Cachinche, San Antonio, Cuñanque, Chontas, Guineamayo, El porvenir, Quijos Mirador, Rinconada de Miraflores, Chisigle, Churumayo; comprendido en una altitud de 1000 - 2300 msnm, con un área de 5 903.68 ha. Presenta un clima subtropical húmedo o semiseco muy agradable, valles estrechos, quebradas interandinas con cerros elevados, temperatura media anual de 15 a 22 °C, soleado, lluvioso en meses de diciembre a mayo, tiene vegetación variada debido a las precipitaciones estacionales que están por encima de los 400 mm anuales (Pulgar 1938).



Figura 7. Cobertura de cultivos agroforestales en el caserío de Tusllón.

b. Quechua

Constituye la zona medular de la región andina y se extiende desde los 2300 a 3500 msnm. Esta región es la más poblada, debido a las condiciones como su clima templado con una temperatura anual de 11 a 25 °C, representando al poblador andino dedicado a la agricultura y ganadería extensiva (Pulgar 1967), predominando la raza fleckvieh. Con un área de 9555 ha, se encuentra la región quechua en: Mochadín, María Chilcapata, La Achira, Huarrago, Minas, La Providencia, Laguna Shita, Pampa de la Rioja, Churumayo.

Presenta los cultivos de: trigo (*Triticum aestivum*), maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), haba (*Vicia faba*), papa (*Solanum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ollucus tuberosum*), granadilla (*Passiflora ligularis*), Chiclayo o chiuche (*Cucurbita ficifolia*), arveja (*Pisum sativum*), Avena (*Avena sativa*), Cebada (*Hordeum vulgare*), Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), Yuca (*Manihot esculenta*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y otros. También encontramos a las especies: aliso (*Alnus acuminata*) y mutuy (*Senna cajamarcae*).



Figura 8. Cultivo de café (*Coffea arabica*) caserío Tusllón (izquierda), sistema de riego tecnificado en el cultivo de papa en María Chilcapata (derecha).



Figura 9. Cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) en centro poblado de San Antonio (izquierda). Cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en el caserío de Mochadín (derecha).

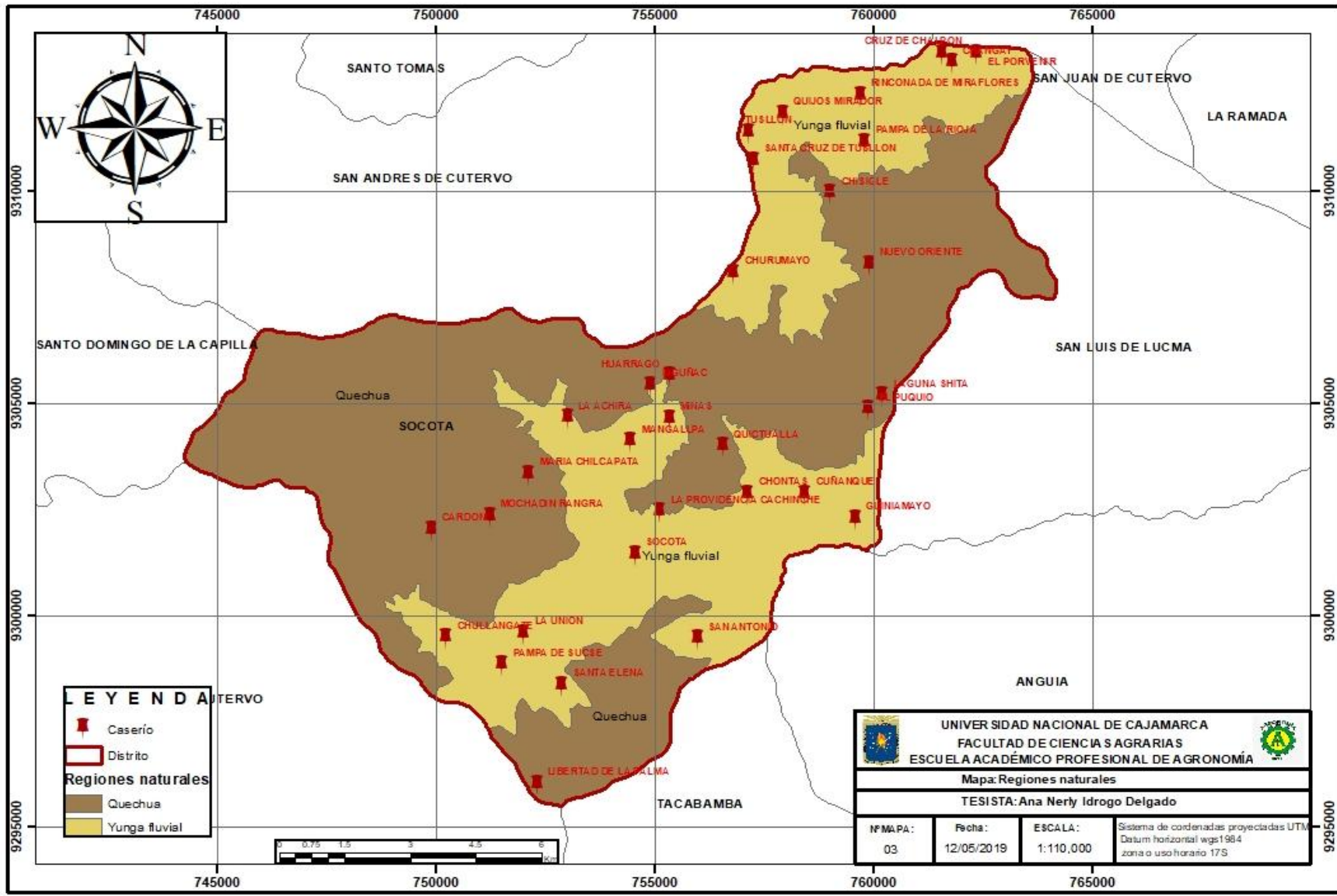


Figura 10. Regiones Naturales del distrito de Súcota.

3.1.5. Hidrografía del distrito de Súcota

Conformada por la microcuenca Río Súcota, teniendo como afluente al río Sucse, que recorre 5.62 km de este a oeste, dando origen al valle de su nombre, siendo éste productor de maíz (*Zea mays*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), yuca (*Manihot esculenta*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), alfalfa (*Medicago sativa*). También lo constituye el río El Pilco, atravesando 5.12 km a lo largo del distrito, cruzando la cordillera de tarros, sus aguas frías pueden ser utilizadas para la crianza de truchas y desde el centro poblado de San Antonio se tiene al Río Hualango, que recorre 4.8 km; forma importantes valles productores de café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*), achiote (*Bixa Orellana*), frutales, etc. El río Súcota avanza una distancia de 18.58 km, en este río se ha construido la central hidroeléctrica de Guineamayo, que abastece a la ciudad capital, San Andrés, San Luis de Lucma y otros.

Las quebradas de los caseríos de Cruz de Chalpón, Quijos Mirador, Tusllón, Santa Cruz de Tusllón, Chisigle, Churumayo y Rinconada de Miraflores son afluentes del Río Pajonal y Muyoc perteneciente al distrito del San Andrés de Cutervo. En su recorrido de estos afluentes (16.73 km), forma importantes valles productores de frutales, café, cacao, etc.

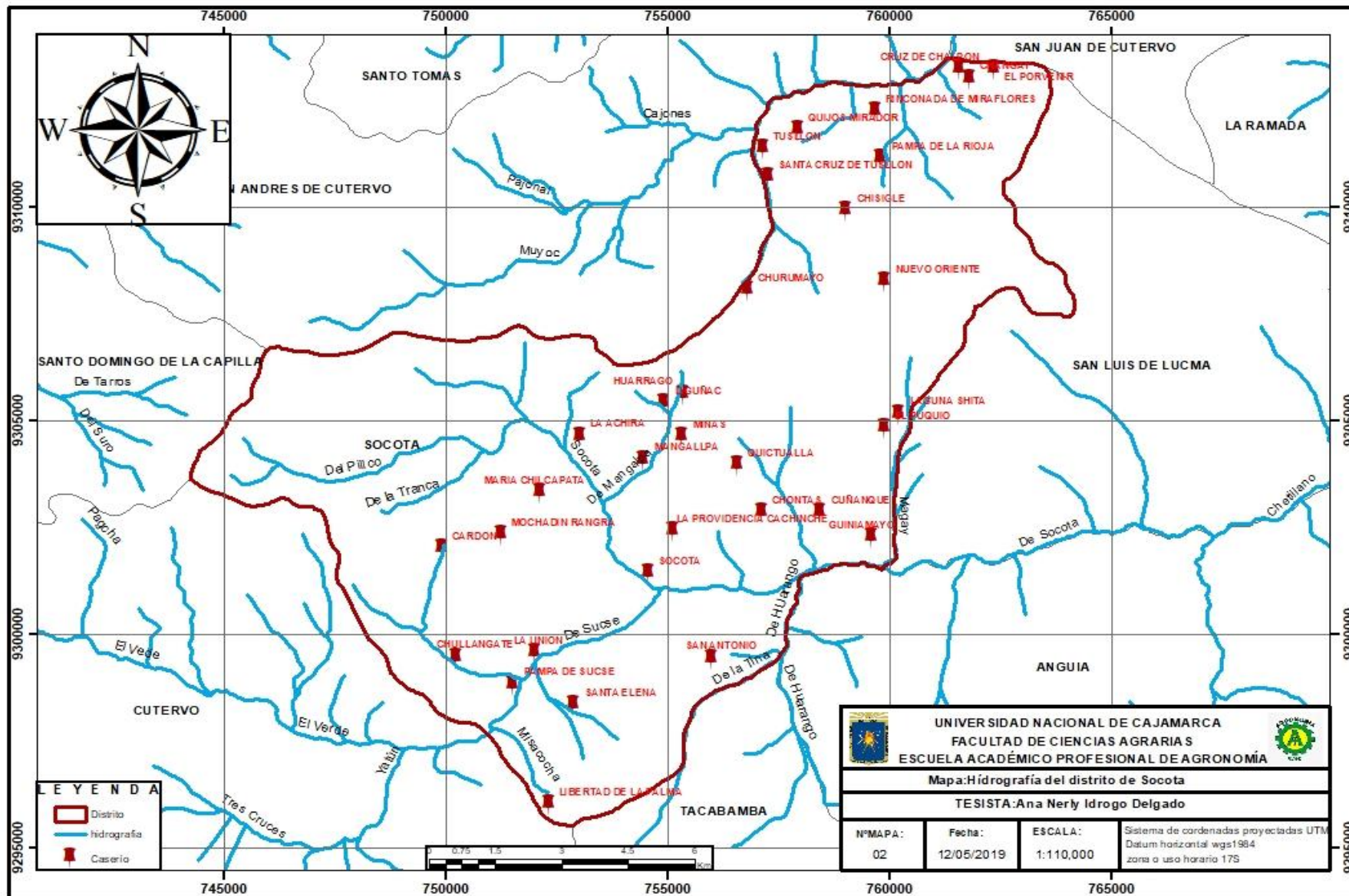


Figura 11. Hidrografía del distrito de Súcota.

3.1.6. Zonas de Vida del distrito de Sókota

Según Holdridge (1947), las zonas de vida permiten diferenciar a diferentes áreas del mundo desde el ecuador hasta los polos (regiones latitudinales).

Para el área en estudio se tienen las zonas de vida que a continuación se describen, teniendo en cuenta el Mapa Ecológico del Perú conjuntamente con la guía explicativa INRENA (1996).

- **Bosque muy húmedo Montano Tropical (bmh-MT)**

Se encuentra entre los 3500 hasta los 3800 msnm, con temperatura media anual máxima de 10.9 °C y media anual mínima de 6.5 °C; con un promedio máximo de precipitación total por año de 1722 mm (INRENA 1996).

Esta zona de vida es húmeda y, por lo tanto, la vegetación natural originaria está constituida por especies arbóreas y endémicas como: *Calceolaria rhododendroides*, *Gynoxys sodiroi*, *Oreocallis grandiflora*, *Dalea cylindrica*, zarzamora (*Rubus praecox*), “carricillo” o “suro” *Chusquea sp.*, “maquimaqui” *Oreopanax sp.*, cubiertas mayormente con abundantes epífitas *Pitcairnia sp.*, predominante con especies como Bromeliáceas, Orquídeas, helechos (*Huperzia reflexa*, *Huperzia crassa*, *Lycopodium alopecuroides*, *Elaphoglossum sp.*, *Hydrocotyle sp.*, *Nephrolepis cordifolia*); musgos y líquenes que tapizan los tallos de las plantas. En el distrito cubre una extensión de 3 779.32 ha.



Figura 12. Especies de helechos en el caserío de María Chilcapata.

- **Bosque seco Montano Bajo Tropical (bs-MBT)**

Se distribuye entre los 2000 y 3000 msnm, con temperatura media anual entre 16.5 a 10.9 °C; posee un clima subhúmedo – templado cálido y precipitación pluvial total, promedio anual entre 500 y 650 mm. La actividad agrícola se desarrolla en los lugares donde hay disponibilidad de agua para regar, siendo factible también la agricultura de secano en años lluviosos, los lugares de vegetación original han sido destruidos por el sobrepastoreo y recolectado como matorral energético. Se encuentran las especies de *Paepalanthus ensifolius*, *Ambrosia peruviana*, *Asclepias curassavica*, *Piper aduncum*, *Bejaria resinosa*, *Tibouchina mariae*, *Chrysactinium hieracioides*, *Clethra* sp., *Pteridium aquilinum*, *Eupatorium inulifolium*, *Siphocampylus angustiflorus*, *Dodonaea viscosa*, *Gynoxis sodiroi*, *Oreopanax tripidus* y *Myrciantes* sp. Esta zona de vida natural cubre una extensión de 1597.36 ha.



Figura 13. Área con matorral en el caserío de María Chilcapata (izquierda) y el caserío de Tusllón (derecha).



Figura 14. Especie silvestre *Bejaria resinosa* (izquierda) y área agrícola al secano (derecha).

- **Bosque seco- Premontano Tropical (bs-PT)**

Se distribuye en los valles interandinos, se encuentra entre los 1000 y 2000 msnm. Posee una temperatura media anual máxima es de 25.1 a 17.24 °C; clima subhúmedo-Semicálido y precipitación pluvial entre 1727.5 mm, con un promedio mínimo de 411.1 mm (INRENA 1996).

La cubierta vegetal es típica de sabana compuesto por árboles relativamente de porte bajo, arbustos y un manto de vegetación graminal estacional. En las tierras aparentes que disponen agua para riego permanente, se siembra una gran variedad de cultivos, tales como: maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), hortalizas, bambú amarillo (*Phyllostachys aurea*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), para producir chancaca y aguardiente. También se encuentran las especies: Cerraja (*Sonchus oleraceus*), Cabuya (*Furcraea andina*), *Puya* sp., *Dioscorea* sp., *Ceroxylon parvifrons*, *Guetarda* sp., *Ipomaea* sp., *Monochaetum lineatum*, *Myrsine oligophylla* y *Quararibea cordata*.



Figura 15. Especies identificadas: *Ipomaea* sp. (izquierda) y *Puya* sp. (derecha) en el caserío Santa Cruz de Tusllón.



Figura 16. Cultivo de caña (*Saccharum officinarum*) centro poblado Santa Elena (izquierda) y planta para producción de chancaca en caserío de Tusllón (derecha).

Gran parte del resto de la sabana es utilizada para el pastoreo de ganado vacuno y caprino generalmente con sobre pastoreo, que viene degradando severamente tanto la vegetación natural como el suelo. En algunos valles interandinos se encuentran pequeñas áreas de acero vegetal o bambú (*Guadua angustifolia*). Cubre una extensión de 3 123.72 ha.



Figura 17. Plantaciones de *Guadua angustifolia* ubicadas principalmente en los caseríos de Tusllón (izquierda) y Nuevo Oriente (derecha).

- **Bosque húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT)**

Se distribuye altitudinalmente entre los 2500 y 3000 msnm. Posee un clima perhúmedo - Templado Cálido, con temperatura media anual entre 17 °C y 12 °C y precipitación máxima total por año de 1972 mm. Se observan bosques con poca modificación, preferentemente sobre los cerros de fuerte pendiente.



Figura 18. Bosque empinado con poca modificación

En esta zona de vida la vegetación primaria ya no existe, la mayor parte hay sobreutilización por el uso agrícola y ganadero, sin embargo, aún se puede observar, como indicadores a carricillo o suro (*Chusquea* sp.), maquimaqui (*Oreopanax* sp.), así como líquenes, helechos, musgos y orquídeas, además hay especies *Myrcianthus filicoides*, *Baccharis semistelloides*, *Peperonia dolabriformis*, *Ferreyranthus verbascifolius*. Cubre una extensión de 6965.39 ha y una superficie de área urbana con una extensión de 38.16 ha.



Figura 19. Pendiente con presencia de erosión (Centro poblado de San Antonio).

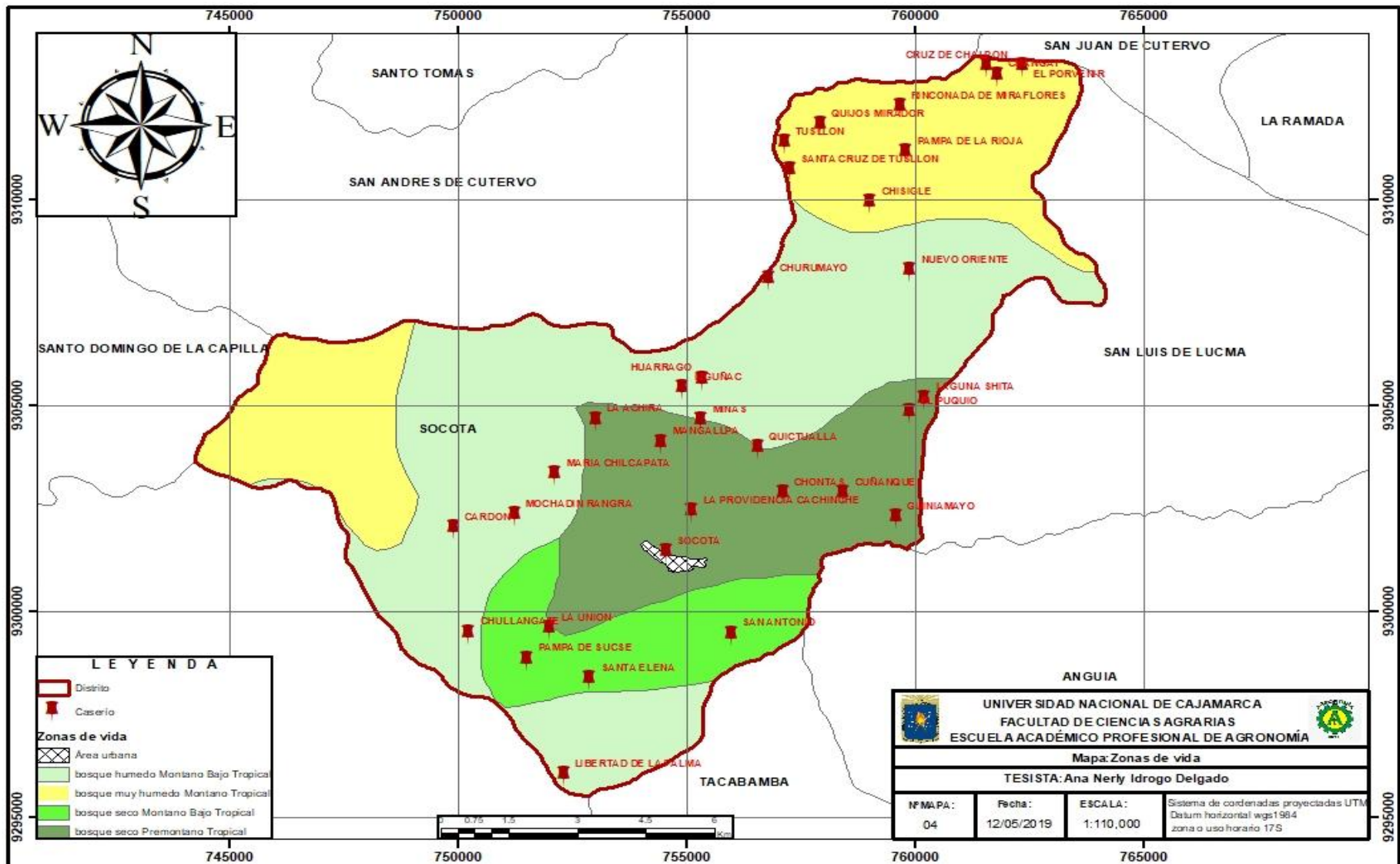


Figura 20. Zonas de Vida del distrito de Súcota.

3.2. Materiales y equipos

a). Materiales y equipos de campo

- **Materiales cartográficos**

Carta Nacional del Perú a escala 1:100 000

Shapefile del distrito de Sócuta obtenido del Gobierno Regional Cajamarca.

Base de datos ZEE-Cajamarca

- **Equipos de campo**

Sistema de posicionamiento global GPS

Binoculares

Cámara fotográfica

- **Materiales y herramientas de campo**

Libreta de apuntes, formatos de campo, lápices y lapiceros, tablero, prensa botánica, papel periódico, bolsas de plástico, machete, botas de jebe, poncho impermeable, machete, tijeras de podar.

b). Materiales y equipos de gabinete

- **Equipos de escritorio**

Laptop, impresora y escáner

- **Software**

Microsoft Windows 10

Microsoft office 2016

ArcGIS 10.5.

Envi 4.8

Envi Zoom 4.8

RGui 2.15

Erdas Imagine 2016

3.3. Metodología

Para determinar los cambios de la cobertura y uso de la tierra, en el Distrito de Súcota, Provincia de Cutervo, Departamento de Cajamarca, periodo 2002-2017, con un área de 15458.69 ha; se siguió la metodología del Ministerio del Ambiente (MINAM 2014), el cual se basa en la generación de información temática haciendo uso del protocolo marco de interpretación supervisada, empleando segmentación y Random Forest como clasificador y utilizando la leyenda CORINE Land Cover adaptada para Perú, para clasificar las diferentes coberturas y usos de la tierra la cual está sustentado en el informe final del proyecto “Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina” (MINAM 2014).

El Sistema geodésico de referencia utilizado fue WGS84 y el sistema cartográfico de representación UTM fue la zona 17 sur. La interpretación sobre imagen de referencia será del satélite Landsat TM y la unidad mínima de mapeo cartografiable es de 5 ha. Se utilizó software ArcGIS 10.5. para la interpretación visual en pantalla y procesamiento digital de información vectorial, Software RGui 2.15 para el análisis estadístico, aplicación del algoritmo de clasificación, calibración del umbral de análisis, evaluación de los indicadores de calidad cartográfica (Índice Porcentaje Correctamente Clasificado e Índice de Kappa), Matriz de confusión y por lo siguiente formarán parte de la construcción del modelo para la generación del mapa de cobertura de la tierra.

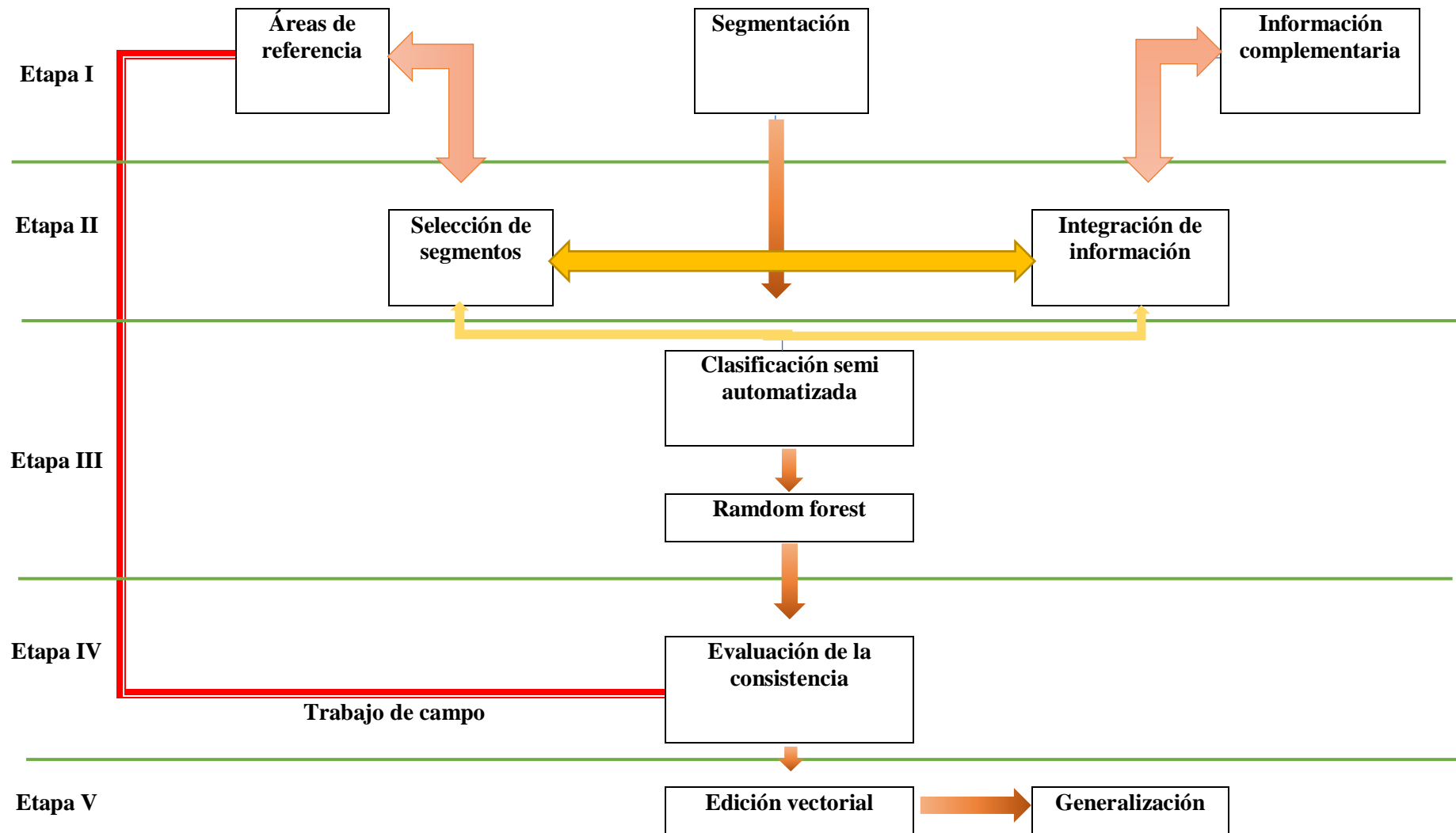


Figura 21. Modelo de análisis espacial.

3.3.1. Proceso de clasificación para la representación cartográfica del Distrito de Súcota

a. Fase inicial de gabinete

- **Recopilación y selección de información**

Consistió en el recojo de Información bibliográfica y cartográfica digital del área de estudio en formato shapefile en base de los años 2002 – 2017, recopilando la información relacionada con el uso de la tierra del Distrito de Súcota como son: Obtención de imágenes satelitales, modelos de elevación digital (DEM), censos de población, red vial, red hidrográfica y límites políticos.

- **Delimitación del área de estudio**

El área de estudio se adquirió en formato shapefile de la cartografía temática digital de la base de datos existentes en el área de Ordenamiento Territorial de Gobierno Regional de Cajamarca, Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Ministerio del Ambiente, por lo cual no se hizo ningún procesamiento solo se procedió hacer un recorte en software ArcGIS 10.5.

- **Descarga del modelo de elevación digital (DEM)**

Se realizó a través del geo servidor del Ministerio del Ambiente de la Zona 17 Sur.

- **Selección y descarga de imágenes landsat**

Las imágenes satelitales del distrito de Súcota fueron adquiridas del servidor de earth explorer <https://earthexplorer.usgs.gov/> vía internet, teniendo en cuenta su distribución, zona 17s y siguiendo las especificaciones de:

- Imágenes satelitales con 0% de nubosidad, en este caso sin nubes para más precisión de los mapas.
- Imágenes satelitales de los años 2002 y 2017 con las siguientes características:

Tabla 5. Datos de las imágenes descargadas.

Imagen	Año	Bandas	Fecha
LT05_L1TP_009064_20020208	2002	3,2,1	08/02/2002
LC08_L1TP_009064_20170802	2017	4,3,2	02/08/2017

b. Etapas del procesamiento de representación cartográfica

• Etapa I

a. Áreas de referencia

Se creó un shapefile en el software ArcGis de forma geométrica (polígono) para poder delimitar el área de trabajo, luego cortar las imágenes Landsat5 y Landsat8 obteniendo como resultado un archivo con formato ráster.

b. Segmentación

Para realizar este proceso de segmentación de las imágenes se utilizó el software ENVI Zoom 4.8, cuyo modulo empleado fue el feature extracción de áreas teniendo como función la agrupación de píxeles contiguos que tienen características espectrales semejantes o un área geográfica homogénea (Brillo, textura, color) tienen valores similares, considerándose los siguientes parámetros:

Escale. Para segmentar las imágenes se requiere solo un parámetro (scale level), este parámetro puede variar entre 0 y 100, valores altos generan pocos segmentos.

Merge (fusión). Es un parámetro opcional, tiene un rango de 0 a 100 se utiliza para integrar segmentos muy pequeños a segmentos más grandes.

Tabla 6. Valores obtenidos de la segmentación

Segmentación	Landsat5	Landsat8
Escale	20	20
Margen	25	25

c. Generación de Información complementaria

Se generó los indicadores en el software de ENVI 4.8 y ArcGis a partir del procesamiento de las imágenes satelitales como son:

Brightness (Índice de brillo del suelo, Brillo). Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de brillo generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat5 y Landsat8. Genera los cambios en la reflectividad total de la escena, permitiendo discriminar suelos desnudos.

Greenness (Índice de vegetación, Verdes). Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de verdor generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat 5 y 8. La banda obtenida indica el contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo próximo, permite determinar la presencia de cobertura vegetal, vegetación vigorosa, cultivos y áreas urbanizadas.

Slope (Pendiente). Archivo en formato ráster que contiene datos sobre altitud, generados a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM).

Curvatura. Describe las características físicas de una cuenca de drenaje para intentar entender los procesos de erosión y escorrentía. La pendiente afecta la tasa general de movimiento descendente. La orientación define la dirección del flujo. La curvatura del perfil afecta la aceleración y desaceleración del flujo y, por lo tanto, influye en la erosión y la sedimentación. La curvatura de la plataforma influye en la convergencia y divergencia del flujo.

- **Etapa II**

- a. **Selección de segmentos (áreas de muestreo)**

Se creó un shapefile con el nombre de aeita_1 con el software ArcGis, para reconocer los segmentos que se muestran consistentes, constituye el conjunto de información de entrada que alimentará el proceso de clasificación automática.

El Model Builder “Coberturas_tablas para R” obtenido del Ministerio del Ambiente (MINAM 2013), se utilizó para la generalización de la selección de segmentos que posteriormente son utilizados como análisis en el proceso de clasificación, mediante el cual se selecciona los segmentos que se intersecan con las áreas de entrenamiento haciendo una interrelación entre ambos asignando así las clases ya definidas en las áreas de entrenamiento digitalizadas. Se obtiene el SegSelc_A2.shp en formato shapefile.

- b. **Integración de información**

Usando el Model Builder “Coberturas_tablas para R” obtenido del Ministerio del Ambiente, permitiendo la generalización de la selección de segmentos que posteriormente fueron utilizados en el proceso de clasificación, lo cual consiste en unir la información obtenida de la segmentación y la información complementaria mediante el cual se selecciona los segmentos que se intersecan con las áreas de muestreo haciendo una interrelación entre ambos asignando así las clases ya definidas en las áreas de entrenamiento digitalizadas.

- **Etapa III**

- a. **Clasificación semi automatizada**

Se obtuvo con el software RGui 2.15 y el algoritmo “filtrar. tabla.todo.rf.2” obtenido del Ministerio del Ambiente año 2013, consiste en procesar los archivos generados en la selección de segmentos “Todo seg, aeita_1, y el archivo obtenido en la información complementaria, como resultado se obtiene un mapa preliminar de las coberturas en formato ráster.

- b. **Random forest o árboles aleatorios (Bosque al azar)**

Es un algoritmo de clasificación no lineal que permite evaluar la veracidad del mapa obtenido en la fase inicial de gabinete.

- **Etapa IV**

- a. **Fase de campo**

Evaluación de la consistencia

Los mapas obtenidos en la fase inicial fueron contrastados y validados in situ y con una distribución de puntos al azar con la ayuda del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), con actores directos; es decir sobre el mapa y la imagen satelital se realizaron las correcciones que eran necesarias.

Recolección de muestras botánicas

Para identificar los sitios de colecta se hizo previo reconocimiento del bosque o mediante fotografías aéreas (Torres 2013).

Para la selección de especies se ha tenido en cuenta su estado de madurez y que se encuentren en plena floración o fructificación. Se colectaron muestras de ramas terminales fértiles (con flores y/o frutos). Estas muestras fueron colocadas con cuidado entre hojas de papel periódico, luego se empacó para su traslado al herbario. Además, se tomaron fotografías y se anotaron algunos datos de la colecta, como la fecha y las coordenadas; además de las características botánicas importantes. Estas muestras botánicas sirvieron de testigo para validar la información recogida.

b. Trabajo de gabinete

Prensado y secado. Las muestras colocadas en periódicos se acondicionaron en una prensa botánica intercalado con cartón corrugado, obteniendo un secado homogéneo.

Identificación y descripción morfológica. La identificación de las muestras se realizó en el Herbario CPUN “Isidoro Sánchez Vega” de la Universidad Nacional de Cajamarca, complementada con bibliografía especializada y comparando con especímenes ya identificados. Además, para la nomenclatura y taxonomía se utilizó el web site www.theplantlist.org.

- **Etapa V**

a. Fase final de gabinete

Edición vectorial. Procesamiento que consistió en efectuar mediante el programa ArcGis 10.4. sobre las imágenes satelitales, todos los ajustes espaciales corregidos a nivel de campo.

Generalización. La generalización se ha desarrollado luego de haber validado en campo los mapas obtenidos utilizando como simbología una tonalidad de color para cada una de las clasificaciones.

Construcción de matrices de confusión. Para esto se empleó el algoritmo de máxima verosimilitud, a partir de esta matriz podemos calcular el valor del índice Kappa y el porcentaje correctamente clasificado.

Se procesa en Excel los datos de la matriz de confusión, calculando el porcentaje clasificado y el Índice Kappa de acuerdo a las correlaciones dadas anteriormente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de tipos cobertura y uso de la tierra, del Distrito de Súcota

Para evaluar e identificar los tipos de cobertura y uso de la tierra del distrito de Súcota se utilizaron imágenes satelitales y su respectiva verificación en campo, obteniendo nueve categorías, las cuales han sido clasificadas en el Nivel III de Corine Land Cover adaptada para Perú (Tabla 7). Cada una de estas categorías sirvió para el análisis cuantitativo y cualitativo; verificando la evolución de los cambios espacio temporales de la cobertura y uso de la tierra en el área de estudio.

Haciendo uso de imágenes satelitales Landsat 5 y 8, validadas con imágenes RapidEye, ortofotos de google, así como también con trabajos de campo, y su procesamiento se realizó con ArcGIS, ENVI, también el algoritmo Random Forest y la leyenda CORINE Land Cover adaptada para Perú. Se identificó y clasificó la cobertura y uso de la tierra en los períodos 2002 y 2017, obteniendo tres clases para el nivel I, seis clases para nivel II y nueve clases para nivel III que abarcan 15 468. 20 ha a escala 1:70 000, a partir de las cuales fue posible calcular el porcentaje de cobertura para cada categoría, la cual cada una de estas sirvió para el análisis cuantitativo y cualitativo (análisis multi temporal) como se muestra a continuación:

Tabla 7. Categorías del uso actual de la tierra identificadas en el distrito de Súcota.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	Código
1. Áreas Artificializadas.	1.1. Áreas urbanizadas.	1.1. Áreas Urbanizadas.	Au
2. Áreas Agrícolas.	2.3. Pastos.	2.3. Pastos.	Pa
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas.	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas.	Ah
3. Bosques y áreas mayormente naturales.	3.1. Bosques.	3.1.1. Bosque denso bajo.	Bdb
		3.1.2. Bosque abierto bajo.	Bab
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo.	3.3.1. Herbazal.	He
		3.3.2. Arbustos.	Ar
		3.3.4. Vegetación Arbustiva /herbácea.	Vah
		3.4. Áreas sin o con poca vegetación.	3.4.4. Tierras desnudas.










4.2. Análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra ocurridos en los años 2002 y 2017

Del procesamiento de las imágenes satelitales, se obtuvieron los mapas de cobertura y uso actual de la tierra de cada periodo como se describe a continuación:

a) Cobertura y uso actual de la tierra año 2002

Para este año se determinaron 9 coberturas vegetales las cuales se detallan en la siguiente Tabla:

Tabla 8. Distribución por área de las coberturas vegetales año 2002.

Categorías clasificadas	Código	Área(ha)	%
1.1.1. Áreas Urbanizadas	Au 	30.93	0.20
2.3. Pastos	Pa 	1 107.38	7.16
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	Ah 	7 940.33	51.33
3.1.1. Bosque denso bajo	Bdb 	250.47	1.62
3.1.2. Bosque abierto bajo	Bab 	2 399.2	15.51
3.3.1. Herbazal	He 	532.67	3.44
3.3.2. Arbustal	Ar 	2 108.55	13.63
3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	Vah 	983.97	6.36
3.4.2. Tierras desnudas	Td 	114.7	0.74
Total		15468.20	100

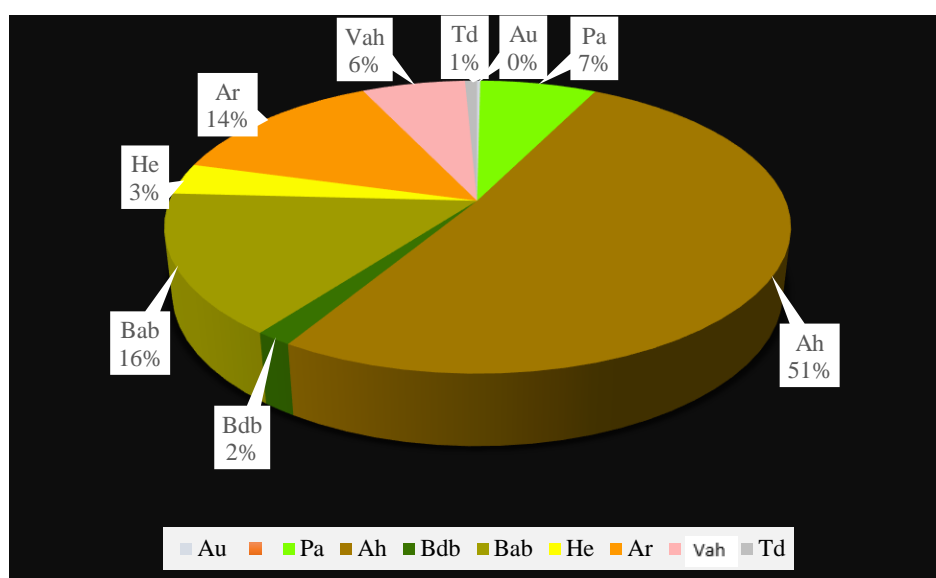


Figura 22. Distribución porcentual de cobertura año 2002.

Según la Figura 22, en el año 2002; el Distrito de Sókota estaba cubierta por Área urbana (Au) con un 0.2 %, Pastos (Pa) 7.16 %, Áreas heterogéneas (Ah) 51.33%, Bosque denso bajo (Bdb), Bosque abierto bajo (Bab) 15.51 %, Herbazal (He) 3.44 %, Arbustal (Ar) 13.63%, Vegetación arbustiva/ herbácea (Vah) 6.36 % y 0.74 % Tierras desnudas (Td).

Tabla 9. Matriz de confusión año 2002.

		Categorías asignadas a la imagen										
Resultados de la clasificación	categorias	1.1	2.1	2.3	2.4	3.1.1	3.1.2	3.3.1	3.3.2	3.4.4	Total	F USUARIO %
	1.1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100
	2.1	0	24	0	1	0	0	0	0	0	25	96
	2.3	0	0	30	0	0	0	0	0	0	30	100
	2.4	0	1	0	24	0	0	0	0	0	25	96
	3.1.1	0	0	0	0	19	0	0	1	0	20	95
	3.1.2	0	0	0	0	1	21	0	0	0	22	95.46
	3.3.1	0	0	0	0	0	1	18	0	0	19	94.74
	3.3.2	0	0	1	0	0	0	0	20	0	21	95.34
	3.4.4	0	0	0	0	0	0	1	0	15	16	93.75
	Total	15	25	31	25	20	22	19	21	15	193	F. Global % 96.25
<hr/>												
F Productor												
%		100	96	96.88	96	95	95.46	94.74	95.34	100	96.60	

El porcentaje correctamente clasificado para el año 2002 es de 96.6 %.

Cálculo del índice kappa para el año 2002:

$$P_0 = \frac{15 + 24 + 30 + 24 + 19 + 21 + 18 + 20 + 15}{193} = 0.96$$

$$P_e = \frac{(15 \times 15) + (24 \times 25) + (30 \times 31) + (24 \times 25) + (19 \times 20) + (21 \times 22) + (18 \times 19) + (20 \times 21) + (15 \times 16)}{193^2}$$

$$= 0.11$$

$$k = \frac{0.96 - 0.11}{1 - 0.11} = 0.96$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de Índice Kappa 0.96 que según la fuerza de concordancia es casi perfecto.

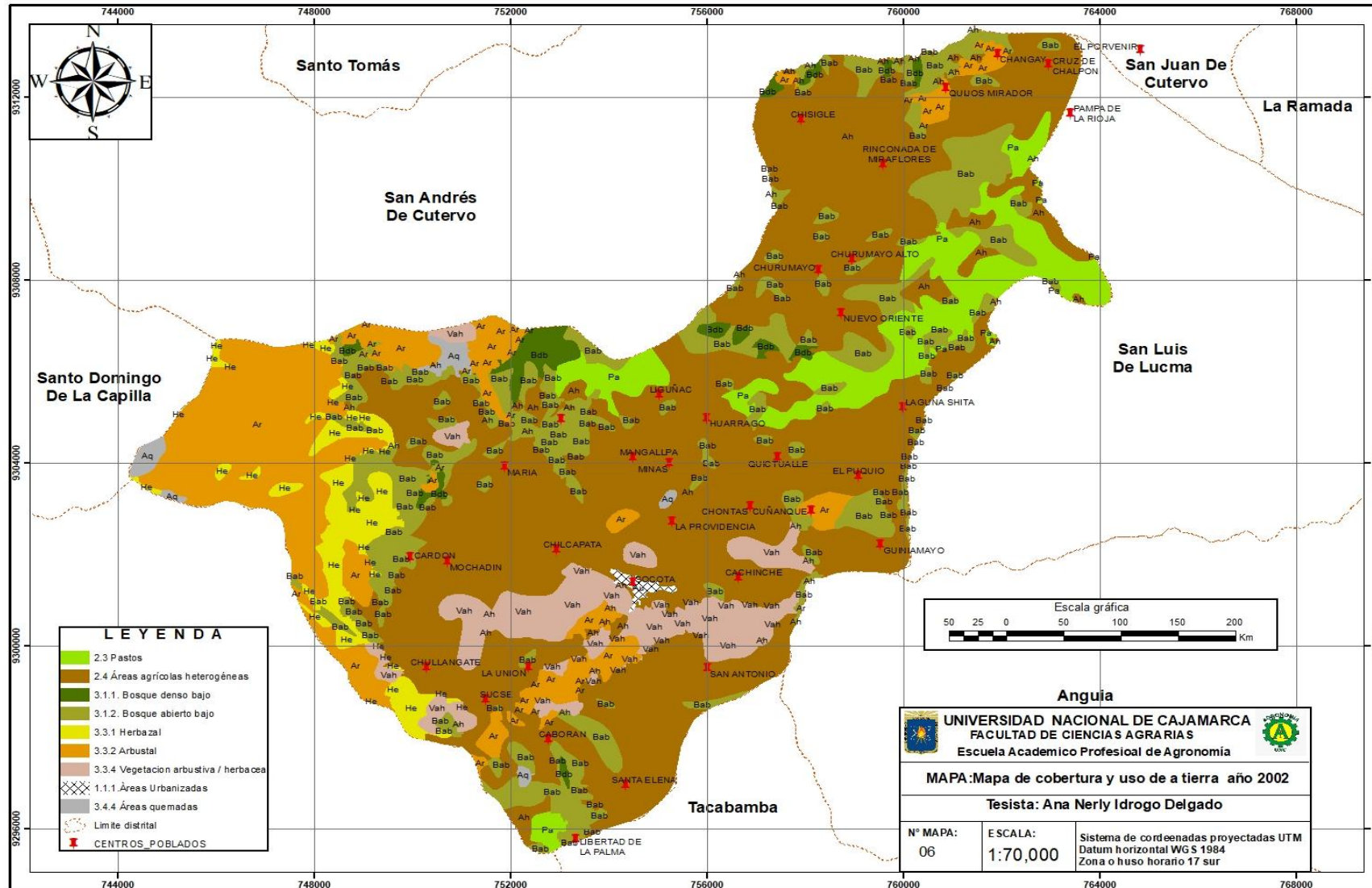











Figura 23. Cobertura vegetal y uso de la tierra año 2002.

b) Cobertura y uso actual de la tierra año 2017

Para el año 2017 se determinaron 9 coberturas vegetales las cuales se detallan en la siguiente Tabla:

Tabla 10. Distribución por área de las coberturas vegetales año 2017.

Categorías clasificadas	Código	Área(ha)	%
1.1.1. Áreas urbanizadas	Au 	38.18	0.25
2.3. Pastos	Pa 	562.88	3.64
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	Ah 	10 519.89	68.01
3.1.1. Bosque denso bajo	Bdb 	83.79	0.54
3.1.2. Bosque abierto bajo	Bab 	959.05	6.20
3.3.1. Herbazal	He 	2 022.84	13.08
3.3.2. Arbustal	Ar 	601.90	3.89
3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	Vah 	631.48	4.08
3.4.4. Tierras desnudas	Td 	48.18	0.31
Total		15468.20	100

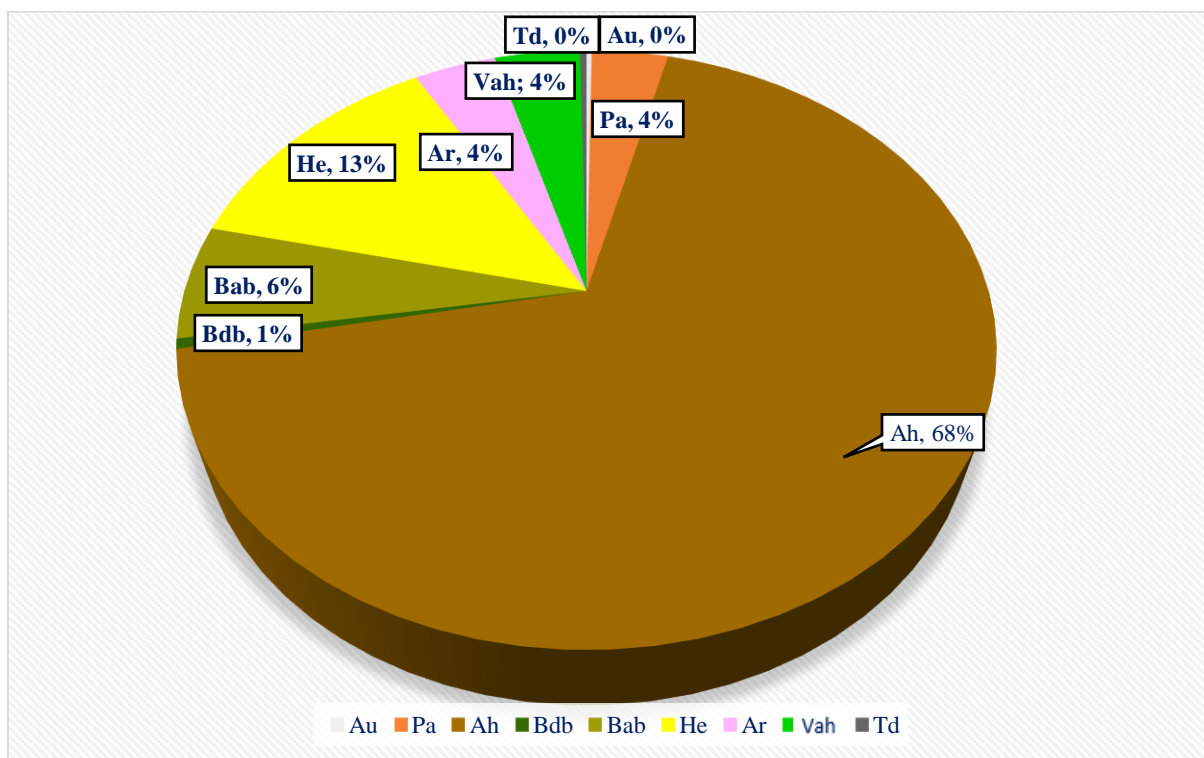


Figura 24. Distribución porcentual de cobertura año 2017.

Según la figura 24, para el año 2017; el distrito presenta: Área urbana (Au) con un 0.25 %, Pastos (Pa) 3.64 %, Áreas heterogéneas (Ah) 68.01 %, Bosque denso bajo (Bdb) 10.54 %, Bosque abierto bajo (Bab) 6.2 %, Herbazal (He) 13.08 % Arbustal (Ar) 3.89 %, Vegetación arbustiva/ herbácea (Vah) 4.08 % y Tierras desnudas (Td) 0.31 %.

Tabla 11. Matriz de confusión año 2017.

		Categorías asignadas a la imagen.									Total	F USUARIO %
		1.1	2.1	2.3	2.4	3.1.1	3.1.2	3.3.1	3.3.2	3.4.4		
Resultados de la clasificación	1.1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100
	2.1	0	18	0	1	0	0	0	0	0	25	96
	2.3	0	0	24	0	0	0	0	0	0	24	100
	2.4	0	1	0	20	0	0	0	0	0	21	95.34
	3.1.1	0	0	0	0	19	0	0	1	0	20	95
	3.1.2	0	0	0	0	1	29	0	0	0	30	95.46
	3.3.1	0	0	0	0	0	1	20	0	0	21	95.34
	3.3.2	0	0	1	0	0	0	0	19	0	20	95
	3.4.4	0	0	0	0	0	0	1	0	13	14	92.86
	Total	15	19	25	21	20	30	21	20	13	190	F. Global % 96.25
F productor %		100	94.74	96	95.34	95	95.46	95.34	95	100	96.32	

Porcentaje correctamente clasificado para el año 2017 es 96.32 %.

Cálculo del índice kappa para el año 2002:

$$P_0 = \frac{15 + 18 + 24 + 20 + 19 + 29 + 20 + 19 + 13}{190} = 0.93$$

$$P_e = \frac{(15 \times 15) + (18 \times 19) + (24 \times 25) + (20 \times 21) + (19 \times 20) + (29 \times 30) + (20 \times 21) + (19 \times 20) + (13 \times 14)}{190^2} = 0.10$$

$$k = \frac{0.93 - 0.10}{1 - 0.10} = 0.92$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de Índice Kappa 0.92 que según la fuerza de concordancia es Casi perfecto.

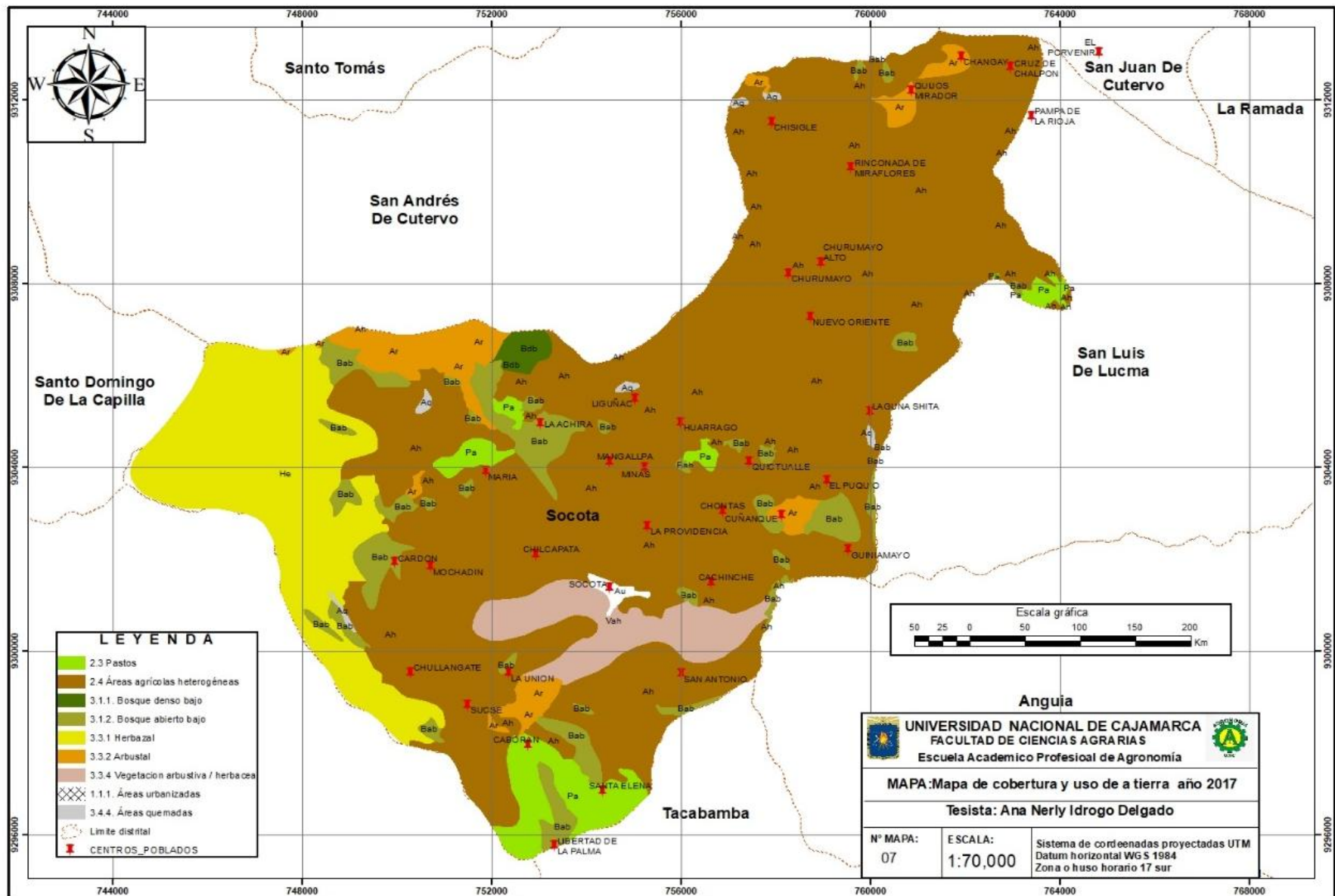


Figura 25. Cobertura Vegetal año 2017.

4.2.1. Descripción de los cambios de cobertura y uso actual de la tierra

A continuación, se describen las unidades de cobertura vegetal y uso actual de la tierra del distrito de Súcota, identificadas y clasificadas según la leyenda CORINE Land Cover a nivel III.

4.2.1.1. Áreas artificializadas

a. Áreas urbanizadas

1.1 Área Urbana (Au)

Con un área de 38.18 ha, se encuentran espacios cubiertos por infraestructura urbana, áreas verdes y redes de comunicación que conforman el distrito con su capital (Súcota), centros poblados de Pampa de la Rioja, San Antonio y Huarrago.



Figura 26. Área urbana del distrito de Súcota

b. Áreas agrícolas

2.3. Pastos (Pa)

Se refiere a los pastos que crecen naturalmente y otros sembrados después de la tala, quema o en abandono. Sirven de alimento para el ganado vacuno principalmente.

Encontramos pastos naturales como: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), grama (*Cynodon dactylon*) y cultivados como: trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol rojo (*Trifolium pratense*), rye grass (*Lolium multiflorum*), sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

Con un área de 562.88 ha, se encuentran principalmente en los caseríos: El porvenir, María, y Miraflores; centros poblado de Huarrago y Pampa de la Rioja



Figura 27. Cobertura de pastos en el caserío de El Porvenir.

2.4. Áreas agrícolas heterogéneas (Ah)

Las áreas agrícolas heterogéneas están dispuestas en mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; debido al tamaño reducido de los predios y las formas locales de tenencia de la tierra. En el distrito se encuentran especies como chirimoya (*Annona cherimola*), palto (*Persea americana*), café (*Coffea arabica*), limón (*Citrus limon*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), papa (*Solanum tuberosum*), yuca (*Manihot esculenta*), maíz (*Zea mays*), plátano (*Musa paradisiaca*), arveja (*Pisum sativum*), haba (*Vicia faba*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), que la mayoría se desarrollan en un área menor a 1ha y bajo seco. El producto cosechado forma parte del autoconsumo y algunos destinados para el mercado. Con un área de 1 0518.89 ha, comprendiendo los caseríos de: El Porvenir, María Chilcapata, Minas, Miraflores, Santa Cruz, Tusllón, Churumayo, Laguna Shita, Quijos Mirador, Santa Elena, Sucse, Nuevo Oriente, Changay, Chalpón y los centros poblado de San Antonio, Huarrago y Pampa de la Rioja.



Figura 28. Áreas agrícolas heterogéneas en el caserío de María Chilcapata (izquierda) caserío de Minas (derecha).

c. Bosques y áreas mayormente naturales

3.1. Bosques

3.1.1. Bosque denso bajo (Bdb)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, con altura del dosel superior a cinco metros, pero inferior a quince metros. Estas formaciones vegetales no han sido explotadas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales, además no presentan procesos de inundación periódicos (MINAM 2014).

Con un área de 83.79 ha, en los caseríos de El porvenir, Miraflores, Churumayo Alto, Liguñac, Santa Elena, Laguna Shita, Quijos Mirador, Chalpón y centro poblado de Pampa de la Rioja, se encuentra las siguientes especies: palmera de montaña (*Leopoldinia piassaba*), palmera (*Oenocarpus bataua*), sangre toro (*Virola elongata*) queñual de montaña (*Polylepis besseri*), palo rosa (*Aniba duckei*), leche leche (*Anonocarpus peruvianus*), quishuar (*Buddleja bullata*), árbol de la quina (*Cinchona officinalis var. uritusinga*), mutuy (*Senna cajamarcae*).



Figura 29. Cobertura arbórea en el caserío de Miraflores

3.1.2. Bosque abierto bajo (Bab)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal arbórea regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros e inferior a 15 metros, cuya área de cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad. Distribuidos en los caseríos de El Porvenir, Mangalpa, Puquio, Centro poblado de San Antonio, Pampa de la Rioja y Huarrago; se encuentran con un área de 959.05 ha, la siguiente vegetación: pasto duro (*Agrostis leptotricha*), agracejo (*Berberis vulgaris*), tulula (*Cortaderia pilosa*), Antanco o Chamiri (*Galium hyposcarpium*), maiten (*Maytenus chubutensis*), reina mora (*Mutisia spinosa*), zarzamora (*Rubus praecox*) y suro (*Chusquea scandens*).



Figura 30. Cobertura arbórea discontinua en el caserío de Chalpón.

3.3. Áreas con vegetación Herbácea y/o arbustivo

3.3.1. Hierbas (He)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa o abierta. Comprende un área de 2 022.84 ha.

En los caseríos aledaños se encontró las siguientes especies: paja o ichu (*Jarava ichu*), *Schizachyrium sanguineum*, *Lolium* sp., *Cynodon dactylon*, *Desmodium intortum*, *Rumex* sp., *Cortaderia rodiscula* y *Tagetes* sp.



Figura 31. Herbazal en el caserío de Mochadín (izquierda) y Santa Cruz de Tusllón (derecha).

3.3.2. Arbustos (Ar)

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 2 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida.

Distribuidos en los caseríos de María Chilcapata, Santa Elena, El Porvenir, Santa Cruz, Tusllón, Chalpón, Changay, Churumayo; Centro Poblado de San Antonio, Huarrago y Pampa de la Rioja se encuentran arbustos: poro poro (*Passiflora tripartita*), zarzamora (*Rubus praecox*), pushgay (*Vaccinium floribundum*), lanche (*Calypranthes* sp.), Ada (*Tecoma sambucifolia*), malmal (*Monnina conferta*), tallanco (*Baccharis nítida*), chilca (*Baccharis latifolia*), tara (*Caesalpinia spinosa*), agave (*Agave americana*), cabuya (*Furcraea andina*) y matico (*Piper aduncum*).



Figura 32. Categoría Arbustos en el caserío Tusllón (izquierda) y María Chilcapata (derecha).

3.4. Áreas sin o con poca vegetación

3.4.2. Tierras desnudas (Td)

Se refiere a territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. Compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos.



Figura 33. Área con poca vegetación (izquierda) y afloramiento rocoso (derecha) en el caserío de María Chilcapata.










4.2.2. Cuantificación y análisis de la evolución de los cambios espacio temporales de la cobertura y uso de la tierra en el distrito de Súcota

a. Cuantificación y análisis para el periodo 2002 – 2017

En el periodo 2002 -2017, se puede observar ganancia de área (+) como también pérdida (-) en las categorías encontradas, el cambio en mayor proporción se dio en las categorías: Áreas agrícolas heterogéneas (Ah) con +2 579.56 ha, Herbazal (He) con 1 490.17 ha, mostrando un cambio positivo. Sin embargo, la categoría Arbustos (Ar) con -1 506.65 ha, Bosque abierto bajo -1 440.15 ha han mostrado un cambio negativo.

A continuación, se detalla los resultados obtenidos en la tabla:

Tabla 12. Resultados de cambios en la cobertura y uso de la tierra, periodo 2002 – 2017- distrito de Sócata.

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Superficie 2002		Superficie 2017		2002- 2017	
				Área(ha)	%	Área(ha)	%	Área(ha)	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas Urbanizadas	1.1.1. Áreas Urbanizadas	Au 	30.93	0.20	38.18	0.25	7.25	+0.05
2. Áreas agrícolas	2.3. Pastos	2.3. Pastos	Pa 	1 107.38	7.16	562.88	3.64	-544.5	-3.52
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	Ah 	7 940.33	51.33	10 519.89	68.01	2 579.56	+16.68
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	Bdb 	250.47	1.62	83.79	0.54	-1 66.68	-1.08
		3.1.2. Bosque abierto bajo	Bab 	2 399.2	15.51	959.05	6.20	-1 440.15	-9.31
	3.3. Áreas con vegetación arbustiva / herbácea	3.3.1. Herbazal	He 	532.67	3.44	2 022.84	13.08	1 490.17	+9.64
		3.3.2. Arbustos	Ar 	2 108.55	13.63	601.90	3.89	-1 506.65	-9.74
		3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	Vah 	983.97	6.36	631.48	4.08	-352.49	-2.28
		3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.4. Tierras desnudas	Td 	114.7	0.74	48.18	0.31	66.52
Total				15 468.20	100	15 468.20	100	0.00	0.00

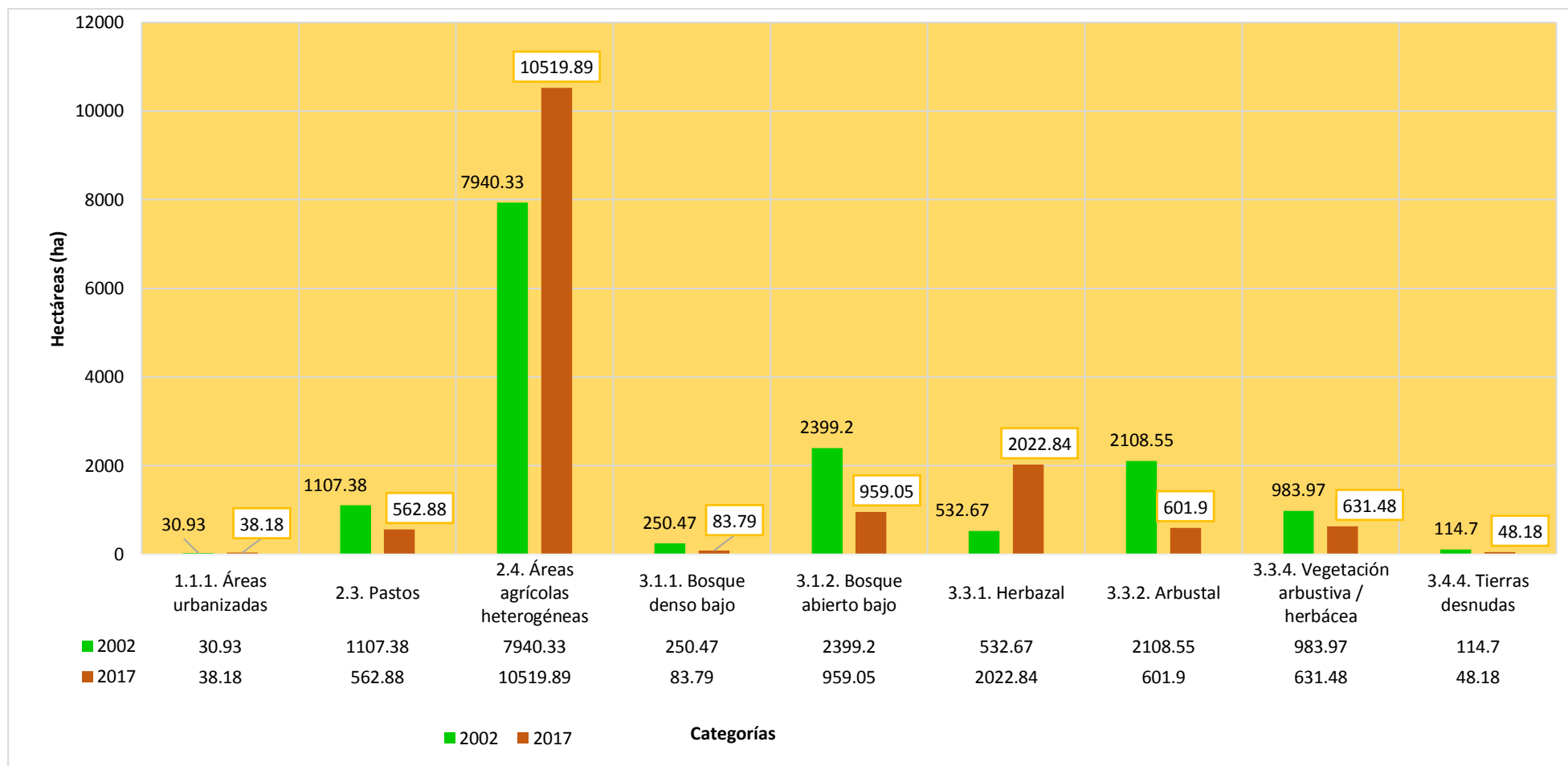


Figura 34. Dinámica de la Cobertura y uso del suelo de los años 2002 y 2017.

Según la figura se reporta para el año 2017 una mayor ganancia de Áreas agrícolas heterogéneas (Ah) incrementándose de 7 940.33 ha a 10 519.89 ha.

b. Mapa de cambio y no cambio de cobertura

Por la superposición de capas se obtuvieron las zonas de cambio y no cambio con sus respectivas áreas tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13. Cambio y no cambio en área y porcentaje.

CAMBIO	Área(ha)	%
No Cambio	9928.25	64.18
Si Cambio	5539.95	35.82
Total	15468.20	100

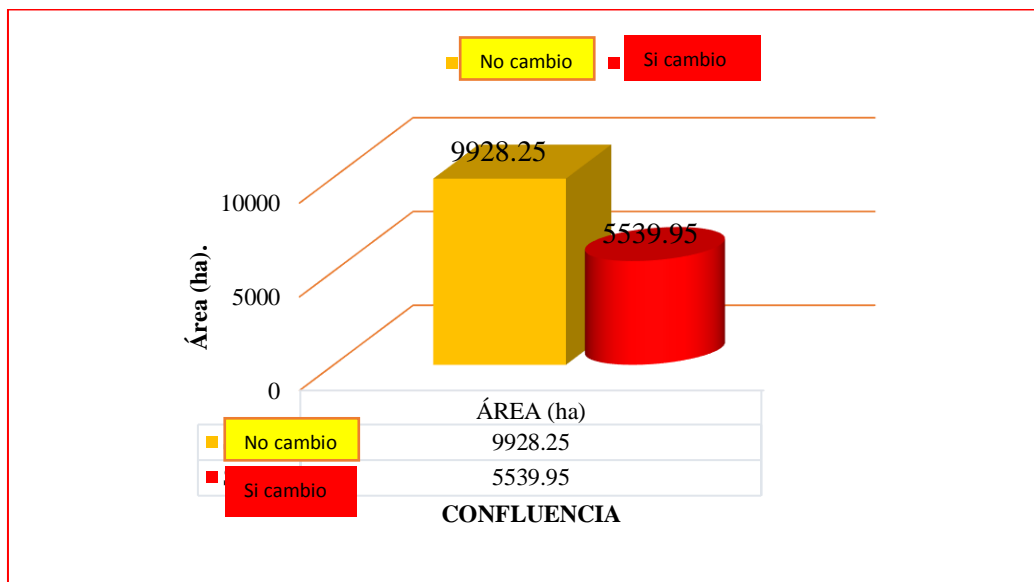


Figura 35. Si cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2002 – 2017.

En la Figura 35, se aprecia el cambio y no cambio de la superficie del distrito de Sócola en el periodo 2002- 2017, de un total de 1 5468.20 ha sufrieron cambios 5 539.95 ha equivalente al 35.82 % y no cambio 9 928.25 ha equivalente al 64.18 %.

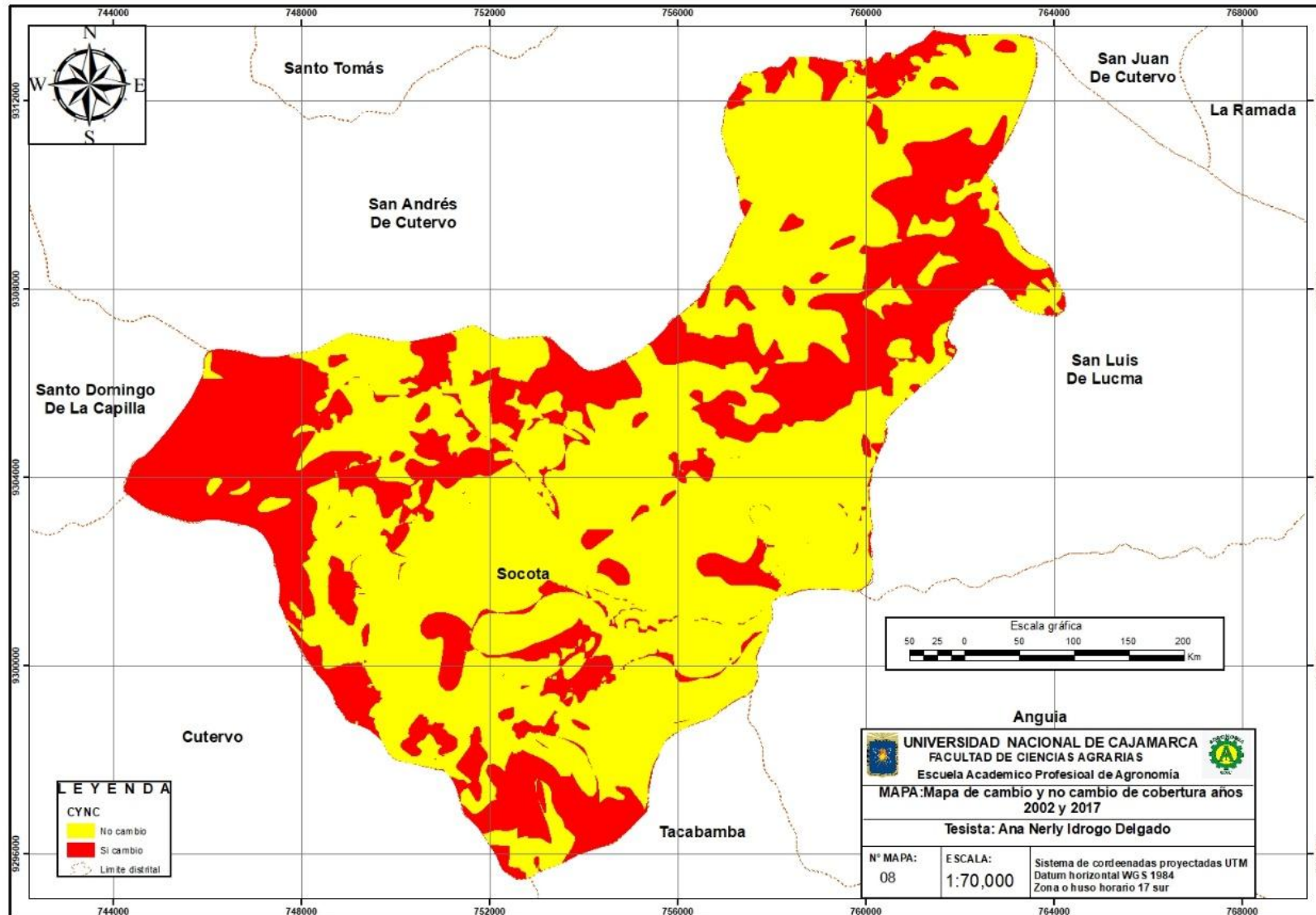


Figura 36. Cambio y no cambio de cobertura años 2002 y 2017.

c. Cambios de cobertura años 2002 y 2017

En cuanto a los cambios de cobertura del período 2002 – 2017 en el distrito de Súcota, se determinó que los principales cambios de cobertura fueron 23 en total, como se muestra en la tabla 14 y en el mapa de cambios de cobertura (Ver figura 37).

Tabla 14. Transición de la cobertura y uso de la tierra, años 2002 - 2017.

Código	Simbología	CUT 2002	CUT 2017	Área (ha)	Porcentaje%
1	Td- Bab	Tierras desnudas	Bosque abierto bajo	5.56	0.04
2	Td- Ah	Tierras desnudas	Áreas heterogéneas	375.66	2.43
3	Td- Pa	Tierras desnudas	Pastos	98.11	0.63
4	Vah-Ar	Vegetación arbustiva/ herbácea	Arbustos	1 228.35	7.94
5	Vah- Ah	Vegetación arbustiva/ herbácea	Áreas heterogéneas	112.33	0.73
6	Ar-Td	Arbustal	Tierras desnudas	1 380.53	8.92
7	Ar- Vah	Arbustal	Vegetación arbustiva/ herbácea	141.26	0.91
8	He- Td	Herbazal	Tierras desnudas	342.95	2.22
9	He- Vah	Herbazal	Vegetación arbustiva/ herbácea	29.78	0.19
10	He- Ar	Herbazal	Arbustos	21.99	0.14
11	He- Bab	Herbazal	Bosque abierto bajo	53.44	0.35
12	He- Ah	Herbazal	Áreas heterogéneas	28.68	0.19
13	Bab- Bdb	Bosque abierto bajo	Bosque denso bajo	15.52	0.10
14	Bab-Ah	Bosque abierto bajo	Áreas heterogéneas	1 379.02	8.92
15	Ah- Aq	Áreas heterogéneas	Tierras desnudas	64.11	0.41
16	Ah- Vah	Áreas heterogéneas	Vegetación arbustiva/ herbácea	37.65	0.24
17	Ah- Ar	Áreas heterogéneas	Arbustos	42.16	0.27
18	Ah- Bab	Áreas heterogéneas	Bosque abierto bajo	43.47	0.28
19	Ah- Bdb	Áreas heterogéneas	Bosque denso bajo	34.78	0.22
20	Ah- Pa	Áreas heterogéneas	Pastos	74.07	0.48
21	Pa- Bab	Pastos	Bosque abierto bajo	8.08	0.05
22	Pa- Ah	Pastos	Áreas heterogéneas	13.64	0.09
23	Au-Ah	Área urbana	Áreas heterogéneas	8.84	0.06
24		No Cambio		9 928.21	64.18
Total				15 468.2	100.00

Análisis de transición de cobertura y uso de la tierra. El análisis de cambio por cobertura consta en la evaluación del cambio por cobertura es decir de una inicial a una actual. En este proceso, sólo se evalúa las áreas en las que hubo cambio, dejándose de lado los de no cambio. A continuación, se muestran los resultados:

En la Tabla 14, se muestran las clases de cobertura que fueron cambiados a otras, generando a la vez 23 tipos de cambio más significativos, asignándolos a cada uno códigos, simbología y un color para diferenciarlos. Entre los más significativos tenemos los siguientes:

La categoría Áreas sin o con poca vegetación incluyendo dentro de esta a Tierras desnudas (Td), fueron reemplazadas por Bosque abierto bajo (5.5.6 ha), Áreas heterogéneas (275.66 ha) y Pastos (98.11 ha).

La categoría Vegetación arbustiva/ herbácea fue sustituido por Arbustos (1 228.35 ha), Áreas heterogéneas 112.33 ha.

La categoría Arbustal fue reemplazada por Tierras desnudas (1 380.53 ha), Vegetación arbustiva/ herbácea con un área de 141.26 ha.

La categoría Herbazal cambió a: Áreas sin o con poca vegetación (Tierras desnudas) con una superficie de 342.25 ha, Vegetación arbustiva/ herbácea (29.78 ha), arbustos (21.99 ha), Bosque abierto bajo (53.44 ha), Áreas heterogéneas (28.68 ha).

La categoría Bosque abierto bajo fue reemplazada por Bosque denso bajo (15.52 ha) y áreas heterogéneas (1 379.02ha).

La categoría Áreas heterogéneas fueron reemplazadas por Áreas sin o con poca vegetación (Tierras desnudas: 64.11 ha), Vegetación arbustiva, herbácea (37.65 ha), Arbustos (42.16 ha), Bosque abierto bajo (43.47 ha), Bosque denso bajo (34.78 ha) y Pastos (74.07 ha).

Por último, en la categoría de Pastos fueron renovados por Bosque abierto bajo (8.08 ha) y Áreas heterogéneas (13.64 ha).

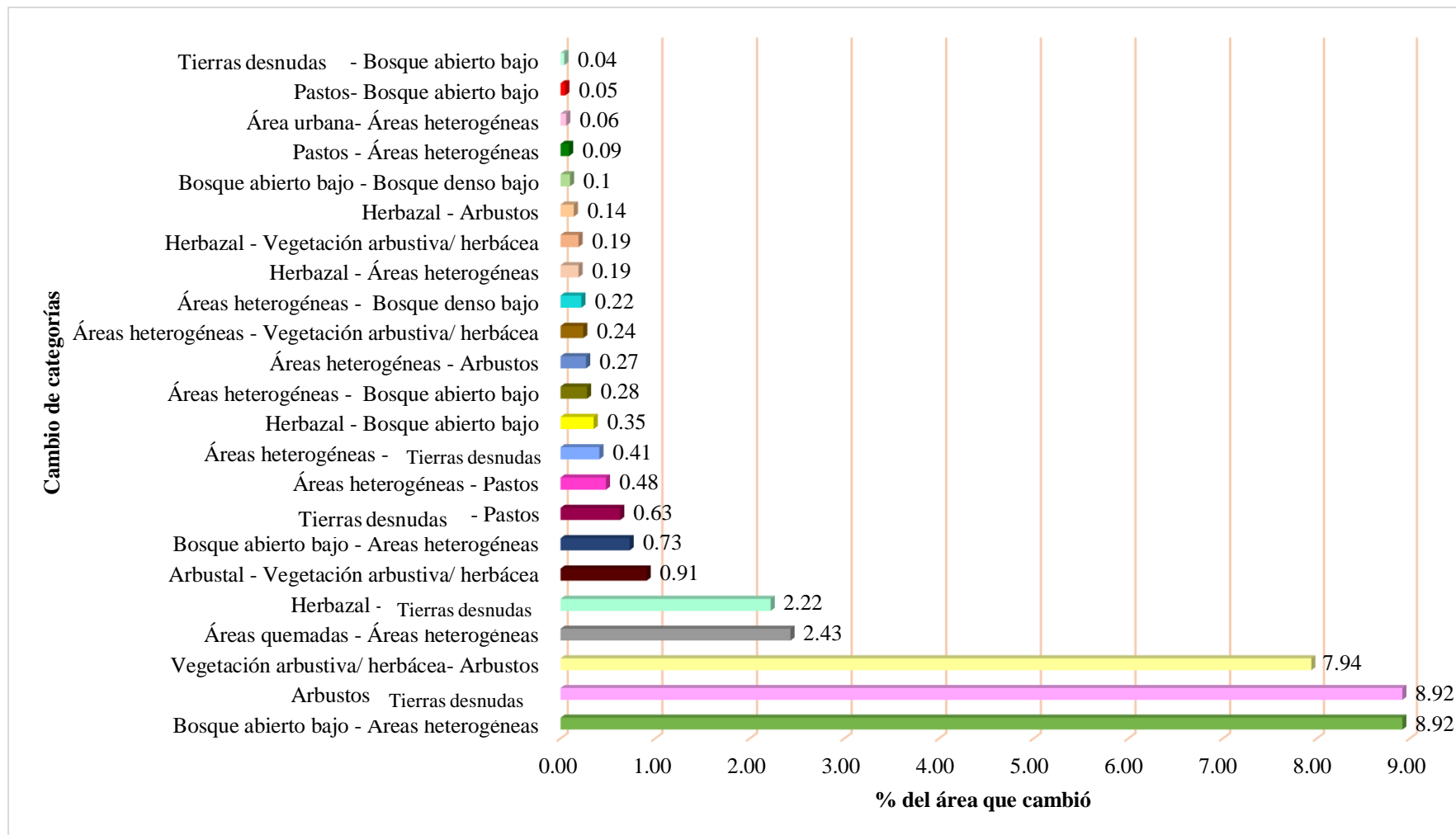


Figura 37. Porcentaje ordenado de menor a mayor según el cambio de cobertura periodo 2002 - 2017.

En la figura 37 se muestra que el porcentaje de área que más sufrió cambios fue la categoría Bosque abierto bajo a Áreas heterogéneas (Bab - Ah) en 8,92%, así como la categoría Arbustos a Tierras desnudas en 8,92%. Refiriendo que la población se dedica a la actividad agrícola y pecuaria como mecanismo de subsistencia. Cada área no sólo tiene su propia aptitud para determinada clase de cultivos sino también para un grado específico de prácticas agronómicas que sirven para acondicionarlo y obtener éxito económico en su aprovechamiento.

La alteración de cambios de cobertura se debe a la pérdida de fertilidad del suelo por realizar una agricultura intensiva, produciendo la degradación del suelo, conduciendo a la expansión de nuevas tierras; en particular, se talan y queman bosques para obtener nuevas zonas fértiles y productivas, luego de aprovecharse llegan a abandonarlas o destinándola otra función o actividad. Relacionado a ello Seingier *et al.* (2009), afirman que el uso de la tierra es el conjunto de actividades que el ser humano desarrolla en relación con cierto tipo de cobertura, y está asociado con los fines sociales y económicos y la pérdida de la cobertura vegetal es uno de los eventos más impactantes a nivel global, pues no solo altera el ciclo hidrológico sino que produce serios problemas de erosión, salinización, pérdida de productividad primaria y disminución de la capacidad de infiltración de agua para la recarga de acuíferos (Rosas *et al.* 2006).

El abandono de tierras no planificado trae consecuencias ambientales, destacando la erosión, durante los primeros años, de las áreas desprovistas de vegetación (Orozco 2011). Haciendo una síntesis global acerca de la degradación del terreno inducida por el ser humano se estima que el 69.5% de las tierras se encuentran afectadas por varias formas de degradación del terreno (Bocco y Maserá 2001); respecto al departamento de Cajamarca, se tiene que el 51.64 % de la superficie se encuentra en peligro alto y el 42.69 % muy alto de pérdida de suelos por erosión; lo que implica cambios en la cobertura y uso de la tierra (Alcántara y Boñón 2014).

Los cambios de la cobertura vegetal son generados a partir de la influencia de factores naturales como climáticos (meteorológicos), hídricos, etc., y factores antrópicos como el cambio de uso de la tierra, cultivos, incendios, construcciones. Así mismo estos factores pueden influir en la ascendencia y/o descendencia de las superficies de coberturas vegetales. Sin embargo, hoy en día se considera a las actividades humanas como los

mayores generadores de cambios en la cobertura vegetal debido al incremento del uso de la tierra para su desarrollo y también, cada vez más colabora con el calentamiento global.

La deforestación es generada por la conversión de bosques en áreas agrícolas, agroforestales, pastos, cultivos, cabe resaltar la lenta recuperación del bosque andino producto de la escasa regeneración natural afectada por la quema y el sobrepastoreo. Los bosques juegan un papel importante en la conservación del ambiente, ya que mantienen la estabilidad hídrica, regulan el clima a nivel mundial y local, y lo más importante favorecen la conservación de los suelos previniendo la erosión, además son el hábitat de numerosas especies de plantas y animales.

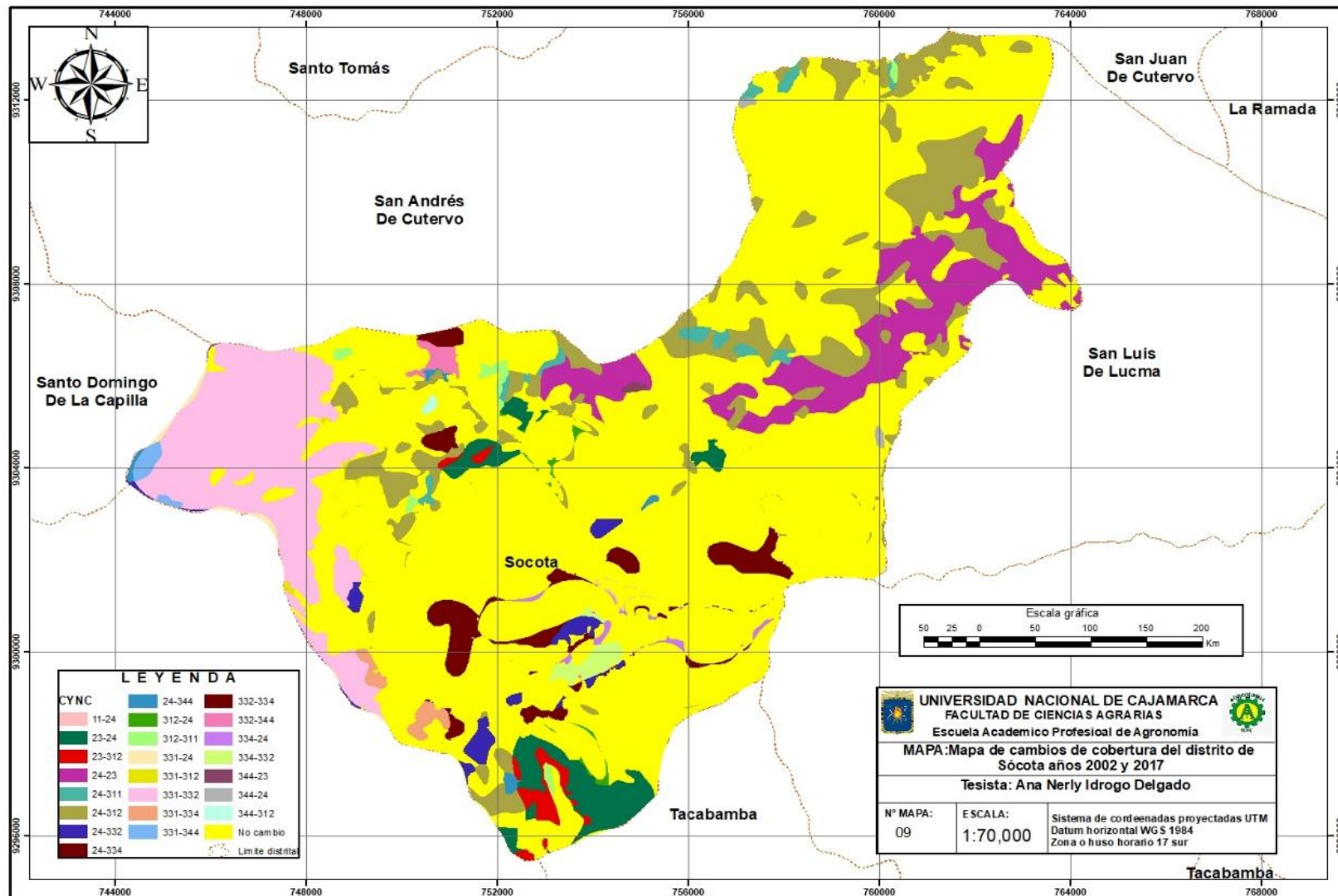


Figura 38. Cambios por cobertura vegetal al año 2017.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los 32 tipos de coberturas de la tierra en nivel III adaptadas para Perú, en el período 2002- 2017 se identificó nueve categorías: Área urbana con 38.18 ha (0.25 %), Pastos con 562.88 ha (3.64 %), Áreas agrícolas heterogéneas con 10 519.89 ha (68.01 %), Herbazal con 2 022.84 ha (13.08 %), Arbustal con 601.90 ha (3.89 %), Vegetación herbácea/arbustiva con 631.48 ha (4.08 %), Bosque abierto bajo con 959.05 ha (6.2 %), Bosque denso bajo con 83.79 ha (10.54 %) y Tierras desnudas con 48.18 (0.31 %).

En el periodo 2002-1017 los tipos de cobertura que más ha sufrido cambios son: Arbustal (Ar) con una pérdida de 1 506.65 ha, equivalente a un 9.74 %, Bosque abierto bajo (Bab) con una pérdida de 1 440.15 ha y dando un cambio positivo; Áreas agrícolas heterogéneas (Ah) con 2 579.56 ha y Herbazal (He) con 1 490.17 ha. En el periodo analizado de 15 años acurren cambios de un total de 15 468.20 ha, sufren cambios de cobertura de uso de la tierra 5 539.95 ha equivalente al 35.82 % y no cambio 9 928.25 ha equivalente al 64.18 %. Entre la Transición de la cobertura y uso del suelo en los años 2002 y 2017 el área que no sufrió cambio es de 9 928.21ha.

Se recomienda utilizar drones y poder capturar así datos desde lo alto, fotografías con precisión y exactitud, permitiendo realizar trabajos de reconocimiento para posteriores estudios.

Finalmente, se recomienda realizar un Ordenamiento Territorial; proceso técnico, administrativo y político de toma de decisiones concertadas con los actores sociales, económicos y políticos para la ocupación ordenada y uso sostenible del territorio., considerando las condiciones sociales, ambientales y económicas para la ocupación del territorio, así como el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar un desarrollo equilibrado y en condiciones de sostenibilidad; buscando gestionar y minimizar los impactos negativos que podrían ocasionar las diversas actividades y procesos de desarrollo que se llevan a cabo en el territorio, con lo que se garantiza el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de vida y poder garantizar que el estado provea un ambiente equilibrado y sostenible para la calidad de vida de los ciudadanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldas, J. 2013. Estudio de variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida. Tesis (Magister de Sistemas de Información Geográfica). Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. 140. Consultado 19 set. 2019. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1726/1/106528.pdf>.

Alcácer, E. 2013. Análisis de riesgo crediticio de las empresas españolas mediante el uso de “decisión tres”. Tesis Mg. Sc. Valencia, ES, Universidad Politécnica de Valencia. 178.

Alcántara, G. 2014. Estudio especializado: Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra. Cajamarca: Gobierno Regional Cajamarca. 255.

Aldana, D; Bosque, S. 2008. Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003. Revista GeoFocus, N° 8. 168. ISSN: 1578-5157.

Ariza, A. 2013. Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM. Bogotá – Colombia. 46.

Balderrama, C. 2008. Algoritmos. Metodología de la Programación I. 36.

Bennett, A. 1999. Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Programa de conservación de bosque UICN, Conservando los ecosistemas boscosos serie N°1, primera y segunda parte. Unión Mundial para la Naturaleza. 275.

BIODAMAZ (Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana, PE). 2004. Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para selva baja peruana. Iquitos, PE. 120.

Bocco, G; Velázquez, A; Torres; Chávez, A. 1996. Evaluación automatizada del paisaje, biodiversidad y ordenamiento territorial en la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Taller Trabajo en Comunidades. Manejo ambiental integral en comunidades. Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México.7.

- Bocco, G; Mendoza, M; Masera, O. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo. Una propuesta metodológica. 44. Disponible en <https://doi.org/10.14350/rig.59133>.
- Bocco, G; Ortiz, M. 1994. Definición de unidades espaciales para el ordenamiento ecológico. *Jaina* 5 (1). 8-9.
- Bolstad, P; Gessler, V; Lillesand, T. 1990. Positional uncertainty in manually digitized map data. *International Journal of Geographical Information Systems* 4: 399-412.
- Bonsón, E; Escobar, T; Martín, M. 1999. Aplicación de los sistemas de inducción de árboles de decisión a la gestión empresarial: Toma de decisiones y control de tareas de decisión. Madrid, ES. 20.
- Brack, A; Mendiola, C. 2010. *Ecología del Perú*. 3ª ed. Edit. Asociación Editorial Bruño. Lima, Perú. 496. ISBN: 978-9972-11109-9.
- Breiman, L. 2001. *Random Forest. Machine Learning* (en línea). California, USA. Consultado 27 abr. 2020. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/u0p06167n6173512/fulltext.pdf>.
- Bosque Sendra, J. 2000. *Sistemas de Información Geográfica* Ed. Rialp, Madrid, 451.
- Burrough, P; McDonnell, R. 2000. *Principles of Geographical Information Systems* Oxford University Press, Oxford, 333.
- Barrena, W. 2015. Evaluación de la cobertura vegetal de las áreas bajo conservación del proyecto socio bosque localizados en la ciudad de Cuenca – Ecuador. Tesis (Magister en Sistemas de Información Geográfica). Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. 116. consultado 23 set. 2016. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4225>.
- Cuentas, M. 2015. *Revalorizando el Bosque Seco de Algarrobo: Estudio y Análisis de la Biodiversidad, Distribución y Conservación de los Bosques Secos en Lambayeque*. Tesis (licenciatura en Geografía y Medio Ambiente). Lima - Perú: Pontificia universidad católica del Perú. 185. Consultado el 23 set. 2020. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6313>.
- Carter, J. 1989. *On defining the geographic system*. Falls Church Virginia: ASPRS/ACSM. 42.

- Castillo, M; Samaniego, R; Kindgard, A. 2015. Mapa de cobertura y uso de la tierra 2012. Programa de colaboración de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación de bosques en los países en desarrollo (ONU-REDD). Panamá. 89.
- Chuvieco, E; Salas, J. 2002. Empleo de la teledetección en el Análisis de la deforestación tropical: el caso de la reserva forestal de Ticoporo (Venezuela). Serie Geográfica Serie Geográfica, vol. 10, 55 – 76.
- Chuvieco, E. 2006. Teledetección Ambiental. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Cerda, L; Villarroel, L.2008. Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Rev. chil. pediatr. [online]. 2008, vol.79. 54-58. ISSN 0370-4106. <http://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062008000100008>.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2013. Cobertura vegetal y usos de suelos de la altillanura plana de los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, meta: escala 1:25.000. 1ª. Ed. Villavicencio: Colombia.32. ISBN: 978-958-740-151-6.
- Corso, C. s.f. Aplicación de algoritmos de clasificación supervisada usando Weka. Tesis. Córdoba, AR, Universidad Tecnológica Nacional. 11.
- Di Gregorio, A. 2005. Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra (LCCS), versión 2: Conceptos de clasificación y manual del usuario. Roma, IT. 208.
- Figallo, C. 1997. Análisis de imágenes de satélite para la clasificación del bosque seco del Nor-Oeste peruano. Tesis (Ingeniero Forestal). Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 119.
- Fuentes, C. 2009. Evaluación socio-ambiental de los efectos de la variación en la escorrentía superficial derivada del proceso de urbanización en la cuenca de Macul, entre 1975 – 2007. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile. 99.
- García, A; Piriz, V; Gasparri, N. 2011. Cambio en la cobertura del suelo en la cuenca media y alta del río Lules. Tucumán, AR. 13.
- Garibai, O. 2011. Cambios de Uso del Suelo en la meseta purépecha (1976 - 2005). Mexico. Ciga. 89.

- Hawlett, P. 1993. Spatial data processing with computer system. Hawlett: Packard.160.
- Holdridge, L. 1947. Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data. Science Vol 105 No. 2727. 368.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, CO). 2010. Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá, CO. 72.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013. Aspectos técnicos de las imágenes Landsat. (En línea). Consultado el 13 ene. 2019.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, MX) s.f. Modelo Digital de Elevación (MDE). Descripción. (en línea) Ciudad de México, MX. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática). 2013. Recuperado el 4 de ago. 2013, de Imágenes del Territorio: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/landsat.a.spx>.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2017. Perfil Sociodemográfico del Perú. Lima, Perú. 644.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). 1996. Estrategia para la Zonificación Ecológica Económica y Monitoreo Geográfico de la Amazonía Peruana. Lima, Perú, 520.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1995. Conceptos Básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y Aplicaciones en Latinoamérica. Graficas Colorama. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 100.
- NITF (National Imagery Transmission Format). NITF for Arcgis User's Guide. 44. Disponible en <https://es.calameo.com/books/000198166178fc220742a>.
- Lillesand, T; Kiefer, R. 1987. Remote Sensing and Image Interpretation. Jhon Wiley y Sons. 2da edición. New York. 721.
- Llactayo, W; Salcedo, K; Victoria, E. 2013. Memoria técnica de la cuantificación de cambios de la cobertura de bosque por deforestación en el ámbito de la Amazonía

Peruana, periodo 2009-2010-2011. Ministerio del Medio Ambiente, Dirección General de Ordenamiento Territorial. Lima. PE. 50.

López, U; Pita, S. 2001. Medidas de concordancia: el índice Kappa. (en línea). Consultado 24 oct. 2019. Disponible en <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa2.pdf>.

López, E. 2004. Cambio de uso de suelo y urbanización. Inter-american institute for global change climate. (en línea). consultado 2 ene. 2019. Disponible en http://iaibr1.iai.int/SI/2004/2004UGEC_files/CD_Material/Jueves%207/Cambio%20de%20uso%20de%20suelo%20y%20urbanizaci%C3%B3n.ppt.

López, E; Bocco, G. 2006. Cambio de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo. (en línea). Consultado 6 ene. 2019. Disponible en: <http://www.oikos.unam.mx/laboratorios/geoecologia/pdf/Cambio/2usodelsuelo.pdf> >.

López, E., Bocco, G. y Mendoza, M. 2001. Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM México N° 45. 56-76.

Martínez, P; Palacios, J; Martínez, M; Zárate, R; García, J; Escobedo, R. 2015. Cobertura y uso de la tierra de las provincias de Alto Amazonas y Ramón Castilla. Instituto de investigaciones de la amazonia peruana. Iquitos, PE. 54.

MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2014. Protocolo: Análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la Comunidad Andina. Dirección General del Ordenamiento Territorial. Lima, PE. 72.

Ministerio del Ambiente.2015. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal: Memoria descriptiva / Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima.108.

Molina, M. 2007. Efectos de los tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del área metropolitana de Santiago sobre la generación y comportamiento de micro islas de calor. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, 119.

Moliner, L. 2001. Medidas de concordancia para variables cualitativas. Asociación de la Sociedad Española de Hipertensión. (en línea). España. Consultado 17 abr. 2020. Disponible en <http://www.seh-lilha.org/pdf/concor2.pdf>.

Mozo, T. 1999. *Ecología y Conservación de Recursos Renovables*. Santa Fe Bogotá. 164. ISBN 9586482111 9789586482110.

Miyasiro, L; Ortiz, H. 2016. Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las Lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986-2014). Tesis (Ingeniero Geógrafo). Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Ingeniería Geológica, Metalúrgica, Minera y Geográfica. 172. Consultado: 23 set. 2019. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/5281>.

Padilla, J. 2014. Estudio Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal Natural en el páramo de la parroquia Mulaló. Tesis (Magister en Agroecología y Ambiente). Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 99. Consultado el 23 set. 2019. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7692/1/tesis027%20maestr%c3%ada%20en%20agroecolog%c3%ada%20y%20ambien%20te%20-%20cd%20257.pdf>.

Peña, J. (s.f.). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio*.

Pérez, D. 2012. Identificación de ecosistemas en la provincia de Napo – Ecuador mediante Análisis Digital de Imágenes Satelitales. Tesis Mag. Sc. Quito, EC, Universidad San Francisco. 141.

Prabhakar, R, Somanathan, E y Mehta, B. 2006. How degraded are Himalayan forests *Current Science* 9(12): 61-67.

Pucha, F. 2013. El Blog de Franz. Recuperado el 3 de ago. 2013, de Combinación de Bandas para Landsat 8: Disponible en <http://acolita.com/combinacion-de-bandas-para-landsat-8/>.

Pucha, F. 2013. El Blog de Franz. Recuperado el 22 de set. 2013, Disponible en <http://acolita.com/vectorizar-digitalizar-curvas-niveluna-carta-topografica-en-arcgis/>.

Puerta, R; Rengifo, J; Bravo, N. 2013. *Manual de ArcGis 10 Intermedio*. Tingo María: Departamento de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables. 117.

Qasim, M; Hubacek, K; Termansen, M; Khan, A. 2011. Spatial and temporal dynamics of land use pattern in District Swat, Hindu Kush Himalayan region of Pakistan. *Applied Geography* 31(2): 820-828.

Quiroz, H. 2011. Tecnologías de la Información geográfica (TIG) Cartografía, fotointerpretación, teledetección y SIG. 1era Ed. Salamanca, España. 283.

Rodgers, K. 1993. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Organización de Estados Americanos. Washington, D.C. 569.

Ramos, P; Severo, N; Herrero, A. 2007. Uso Eficiente y Sostenible de los Recursos Naturales. 1ª. Ed. Salamanca, España: Universidad de Salamanca. 448. ISBN: 978-84-7800-387-7.

Rial, P; González, L. 2001. Erdas Imagine® 8.4 Tour Guide. En Capitulo 4, Clasificación. United States of America.

Rodríguez, A. 2011. Metodología para detectar Cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta. Tesis. Ing. Agr. Bogotá, CO, Universidad Nacional de Colombia. 94.

Rodríguez, J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: Criterios de interpretación. México. 196.

Rodríguez, J; Olivella, R. 2010. Introducción a los sistemas de información geográfica: conceptos y operaciones fundamentales. Universitat Oberta de Catalunya. España. 82.P07/89036/02930.

Rodríguez, V; Chica, M. 2012. Clasificación de imágenes de satélite mediante software libre: Nuevas tendencias en algoritmos de inteligencia artificial. Madrid, ES. 7.

Rosas, P; Carranza, O; Nava, Y; Larque, S. 2006. La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal. Instituto Nacional de Ecología. 123-140.

Rohrman, R; Valiente, M. 2004. La vinculación de estudios de recurrencia e imágenes satelitales en la elaboración de mapas de riesgo por inundación en áreas rurales de llanura. Argentina. Consultado 24 de abr. 2008. Disponible en: <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo4/archivos/rohrmann.pdf>.

Romero, H; López, C. 2007. Variaciones de la funcionalidad ambiental del mosaico de paisaje vegetal del Gran Santiago entre 1975 y 2007. Presentación al Coloquio Internacional Construyendo Resiliencia de los Territorios. Instituto de Geografía, Universidad Católica de Valparaíso, 17-19 de octubre de 2007.

Seingier, G; Espejel, I; Ferman, J. 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. Instituto Nacional de Ecología SEMARNAT. Investigación ambiental. Ciencia y política pública, 1(1), 54-69.

Serra, P; Pons, X; Saurí, D. 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. Applied Geography 28(3): 189-209.

Suárez, A. 2014. Análisis y Comparación de Imágenes de diferentes sensores para verificar su eficiencia y utilidad en estudios multitemporales. Tesis Ing. Geógrafo. Sangolquí, EC, Universidad de las Fuerzas Armadas. 122.

Taboada, B. 2011. Cobertura Vegetal. Prácticas Agro-culturales de Conservación de suelos. Boletín N° 04.11.

Zamora, S; López, T; Rodríguez J; Blanco, M. 2016. Metodología de validación de los mapas de usos de la tierra de Nicaragua. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Marena. NI. 17.

Zavala, B; Rosado, S. 2011. Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. INGEMMET. Dirección de Geología Ambiental. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N° 42. 394. Disponible en: <http://www.ingemmet.gob.pe/AplicacionesWeb/Productos/productos/index.html>.

Zorogastúa, P; Quiroz, R; Garatuza, J. 2011. Evaluación de Cambios en la Cobertura y Uso de la Tierra con imágenes de satélite en Piura – Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. 10. Consultado 23 set. 2016. Disponible en: http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/articulo_2_no_1_vol_10.pdf issn 1726- 2216.

ANEXOS

Panel fotográfico.



Figura 39. Vista panorámica caserío de Santa Elena.



Figura 40. Secado de muestras en Herbario CPUN “Isidoro Sánchez Vega”.



Figura 41. Identificación de plantas endémicas en Herbario CPUN “Isidoro Sánchez Vega”.



Figura 42. Laguna “El Pilco”.



Figura 43. Pastizales en caserío de Mochadín.



Figura 44. Áreas agrícolas heterogéneas en el caserío de Tusllón.



Figura 45. Caserío de Mochadín.



Figura 46. Centro Poblado San Antonio



Figura 47. Caserío de Huarrago.



Figura 48. Caserío de Santa Elena.



Figura 49. Caserío de Liguñac.



Figura 50. Caserío de Minas.



Figura 51. Caserío de María Chilkapata.



Figura 52. Caserío de Mangalpa.



Figura 53. Caserío de Miraflores.



Figura 54. Centro Poblado Pampa de la Rioja.



Figura 55. Caserío de Tusllón.



Figura 56. Caserío de Santa Cruz de Tusllón.



Figura 57. Caserío El Porvenir



Figura 58. Caserío La Unión



Figura 59. Caserío El Puquio.

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD.
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS.
ÁREA DE BOTÁNICA.
HERBARIO CPUN "ISIDORO SÁNCHEZ VEGA".

CONSTANCIA

El que suscribe DIRECTOR DEL HERBARIO CPUN "ISIDORO SANCHEZ VEGA", hace constar, que el listado de plantas anotadas líneas abajo, colectadas por la Bachiller Idrogo Delgado Ana Nerly, en el distrito de Súcota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca; han sido identificadas en este Herbario, las mismas que taxonómicamente corresponden a:

ESPECIE	FAMILIA	COORDENADAS	
<i>Gaultheria reticulata</i> Kunth.	Ericaceae	752914.93	930378.83
<i>Spermacoce capitata</i> Ruiz & Pav.	Rubiaceae	757192.88	9311529.56
<i>Schefflera mathewsii</i> (Seem.) Harms.	Araliaceae	757192.88	9311529.56
<i>Tibouchina mariae</i> Wurdack	Melastomataceae	752914.93	930378.83
<i>Sticherus rubiginosus</i> (Mett.) Nakai	Gleicheniaceae	752914.93	930378.83
<i>Lycopodium thyoides</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Lycopodiaceae	754544.39	9304224.39
<i>Nephrolepis cordifolia</i> (L.) C. Presl	Nephrolepidaceae	757280.19	9310801.95
<i>Ferreyranthus verbacifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell	Compositae	752914.93	930378.83
<i>Arcytophyllum peruvianum</i> (Wernham) J.H.Kirkbr.	Rubiaceae	752914.93	930378.83
<i>Persea subcordata</i> (Ruiz & Pav.) Nees	Lauraceae	755708.57	9305708.71
<i>Disterigma alaternoides</i> (Kunth) Nied.	Ericaceae	752914.93	930378.83
<i>Euphorbia elliptica</i> Lam.	Euphorbiaceae	757192.88	9311529.56
<i>Cyclospermum laciniatum</i> (DC.) Constance.	Apiaceae	757280.19	9310801.95
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> Kunth	Compositae	757192.88	9311529.56



<i>Monochaetum lineatum</i> (D. Don) Naudin.	Melastomataceae	752914.93	930378.83
<i>Senna cajamarcae</i> H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae	751983.23	9299596.83
<i>Huperzia reflexa</i> (Lam.) Trevis.	Lycopodiaceae	752914.93	930378.83
<i>Lycopodium alopecuroides</i> L.	Lycopodiaceae	755708.57	9305708.71
<i>Chromolaena leucocephala</i> Gardner	Compositae	757280.19	9310801.95
<i>Salvia oppositiflora</i> Ruiz & Pav.	Lamiaceae	752914.93	930378.83
<i>Hesperomeles cuneate</i> Lindl.	Rosaceae	762315.27	9313188.5
<i>Campyloneurum amphostenon</i> (Kunze ex Klotzsch) Fée	Polypodiaceae	752914.93	930378.83
<i>Peperomia adscendens</i> C.DC.	Piperaceae	757192.88	9311529.56
<i>Galium hypocarpium</i> (L.) Endl. ex Griseb.	Rubiaceae	752914.93	930378.83
<i>Oxalis lotoides</i> Kunth	Oxalidiaceae	752798.15	9298258.03
<i>Ageratina articulate</i> (Sch.Bip. ex Hieron.) R.M.King & H.Rob.	Compositae	757192.88	9311529.56
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Ciperaceae	752914.93	930378.83
<i>Trichocline hieracioides</i> (Kunth) Ferreyra.	Compositae	752914.93	930378.83
<i>Bidens andicola</i> Kunth	Compositae	752914.93	930378.83
<i>Myrcianthes</i> sp.	Myrtaceae	762315.27	9313188.5
<i>Baccharis semistelloides</i> (Less.) DC.	Compositae	752914.93	930378.83
<i>Peperomia dolabriformis</i> Kunth.	Piperaceae	752798.15	9298258.03
<i>Hypericum laricifolium</i> Juss.	Hypericaceae	752914.93	930378.83
<i>Streptosolen jamesonii</i> (Benth.) Miers	Solanaceae	760860.02	925842.38
<i>Senecio laricifolius</i> HBK	Compositae	752914.93	930378.83
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	Pinaceae	752914.93	930378.83
<i>Ageratina fastigiata</i> (Kunth) R.M.King & H.Rob.	Compositae	752914.93	930378.83



<i>Siphocampylus angustiflorus</i> Schltr. & Zahlbr.	Campanulaceae	752914.93	930378.83
<i>Bejaria resinosa</i> Mutis ex L.f.	Ericaceae	752914.93	930378.83
<i>Minthostachys mollis</i> (Benth.) Griseb.	Lamiaceae	757280.19	931081.95
<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	Sapindaceae	762315.27	9313188.5
<i>Dalea cylindrica</i> Hook.	Fabaceae	756057.82	9299596.83
<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	Proteaceae	752914.93	930378.83
<i>Ipomaea</i> sp.	Convolvulaceae	752914.93	930378.83
<i>Acmella oppositifolia</i> (Lam.) R.K.Jansen	Compositae	762315.27	9313188.5
<i>Heliopsis buphthalmoides</i> Brandegees	Compositae	752914.93	930378.83
<i>Gynoxys sodiroi</i> Hieron.	Compositae	762315.27	9313188.5
<i>Andropogon bicornis</i> L.	Poaceae	762315.27	9313188.5
<i>Delastoma</i> sp.	Bignoniaceae	764195.338	9313188.5
<i>Bulbostylis juncooides</i> (Vahl) Kük. ex Herter.	Cyperaceae	766075.406	9313188.5
<i>Polygonum punctatum</i> Elliott	Polygonaceae	767955.474	9313188.5
<i>Calceolaria rhododendroides</i> Kraenzl.	Calceolariaceae	769835.542	9313188.5
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	Malvaceae	773595.678	9313188.5

Lo que extendemos a la parte interesada para los fines que crea conveniente.

Cajamarca, 03 de setiembre de 2019.



M.Sc. GUSTAVO IBERICO VELA.
Director del Herbario CPUN "I.S.V."