



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS



**CAMBIOS EN LA COBERTURA DEL SUELO EN EL DISTRITO DE
CAJAMARCA 1987 – 2004**

Tesis para optar el Título de Licenciado en Geografía y Medio Ambiente que presenta

Martín Alejandro Reyes Acevedo

Junio, 2008

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación es el resultado de un largo proceso de aprendizaje que comenzó durante la especialidad de Geografía y Medio Ambiente pero que recién tomó su curso al término de las prácticas pre profesionales. Quiero agradecer a mis papás ya que sin su apoyo habría sido imposible estudiar esta carrera; al Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA) de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) por haberme otorgado el permiso para utilizar las imágenes de satélite Aster, sin las cuales no se hubiera podido desarrollar esta tesis; así como el espacio físico y profesional para cumplir con los objetivos planteados.

De la misma manera, agradezco a mi asesor el Dr. Carlos Tavares por haberme guiado con sus aportes y críticas constructivas en el desarrollo de esta investigación; y a mi profesora la Dra. Nicole Bernex por su incentivo para trabajar en la región de Cajamarca.

Quiero agradecer de manera especial al Ing. Vladimir García, mi amigo, maestro y supervisor en el CIGA por haberme apoyado y orientado con sus conocimientos y experiencia en el tema desde el inicio de esta tesis hasta el final. Además, por su paciencia y por haberme enseñado a utilizar los softwares especializados para el tratamiento de imágenes de satélite y de información georeferenciada.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE.....	iii
LISTA DE ANEXOS.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	iv
ACRÓNIMOS.....	vi
RESUMEN.....	viii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problemática y justificación.....	5
1.3 Hipótesis.....	8
1.4 Objetivo general.....	9
1.5 Objetivos específicos.....	9
2 ÁREA DE ESTUDIO.....	10
3 MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	13
3.1 Materiales.....	13
3.2 Metodología.....	14
3.2.1 Identificación de las coberturas del suelo.....	16
3.2.2 Análisis espacio – temporal.....	16
3.2.2.1 Adquisición de imágenes.....	16
3.2.2.2 Procesamiento de las imágenes de satélite.....	18
3.2.2.2.1 Procesamiento digital.....	18
3.2.2.2.2 Digitalización.....	24
3.2.2.2.3 Clasificación de las imágenes.....	27
3.2.2.3 Detección del cambio espacio – temporal.....	32
3.2.3 Base de datos sobre los cambios en la cobertura del suelo.....	34
4 RESULTADOS.....	35
4.1 Cobertura del suelo.....	35
4.1.1 Áreas terrestres cultivadas y manejadas.....	35
4.1.1.1 Plantación forestal: A1B1-A8A9.....	35
4.1.1.2 Cultivos: A4.....	36
4.1.1.3 Pasto cultivado.....	36
4.1.2 Vegetación terrestre natural y semi natural.....	37
4.1.2.1 Bosque natural: A3A11.....	37
4.1.2.2 Pasto natural: A6A11.....	38
4.1.2.3 Vegetación herbácea rala: A2A14.....	38
4.1.2.4 Vegetación arbustiva: A4A11B3.....	39
4.1.3 Áreas artificiales y asociadas.....	39
4.1.3.1 Área urbana: A4A13.....	39
4.1.3.2 Caminos: A3-A7.....	40
4.1.3.3 Área de extracción (mina): A2A6.....	41
4.1.4 Área desnuda.....	42
4.1.4.1 Suelo desnudo: A3A7.....	42
4.1.5 Cuerpos naturales de agua, nieve y hielo.....	43

4.1.5.1	Cuerpos naturales de agua: A1B2-A5	43
4.1.6	Cuerpos artificiales de agua, nieve y hielo	43
4.1.6.1	Cuerpos artificiales de agua: A1B1-A5	43
4.1.7	Zona sin información.....	44
4.2	Red hidrográfica	48
4.3	Vías	50
5	DISCUSIÓN.....	54
5.1	Cobertura del suelo	54
5.2	Red hidrográfica	62
5.3	Vías	63
6	CONCLUSIONES.....	66
7	BIBLIOGRAFÍA.....	68
8	ANEXOS	72

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de contingencia 1987.....	73
Anexo 2.	Matriz de contingencia 2004.....	74
Anexo 3.	Unidades de cobertura identificadas según LCCS	75

LISTA DE TABLAS

Tabla I.	Imágenes de satélite utilizadas.....	13
Tabla II:	Puntos de control empleados para la corrección de la imagen Landsat TM 1987 a partir de la imagen Aster 2004.....	22
Tabla III.	Microcuencas, 1987	48
Tabla IV.	Superficie de las vías de comunicación, 2004.....	50
Tabla V.	Unidades de cobertura del suelo, extensión en hectáreas, porcentaje que representan con respecto al área total del distrito y diferencia entre 1987 y 2004	55
Tabla VI.	Cambios de las coberturas del suelo 1987 - 2004	59
Tabla VII.	Cambios de las coberturas del suelo a área de extracción 1987-2004	61
Tabla VIII.	Longitud de los cauces, 1987 - 2004.....	63
Tabla IX:	Vías 1987 - 2004	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Área de estudio.....	12
Figura 2.	Esquema metodológico utilizado en el proceso de investigación.....	15
Figura 3.	Corrección geométrica.....	21
Figura 4.	Unidades de cobertura del suelo en el software LCCS 2.4.....	31
Figura 5.	Detección del cambio espacio – temporal.....	33
Figura 6.	Plantación forestal en la Granja Porcón, al norte del distrito.....	35

Figura 7. Cultivos de maíz en Porcón.....	36
Figura 8. Ray grass al sureste del distrito utilizado para la alimentación del ganado....	37
Figura 9. Matas de ichu al norte del distrito.....	38
Figura 10. Área con escasa vegetación ubicada al sur del distrito.....	39
Figura 11. Cajamarca, principal centro poblado urbano de la zona.....	40
Figura 12. Vía afirmada que forma parte de la carretera Cajamarca – Bambamarca....	41
Figura 13. Depósitos de las operaciones mineras de Yanacocha.....	42
Figura 14. Suelo desnudo al oeste del distrito.....	42
Figura 15. Cuerpos naturales de agua en Las Lagunas, al norte del distrito.....	43
Figura 16. Cuerpos artificiales de agua ubicados al este de la ciudad de Cajamarca....	44
Figura 17. Coberturas del suelo en 1987.....	46
Figura 18. Coberturas del suelo en 2004.....	47
Figura 19. Variaciones en la red hidrográfica 1987 – 2004.....	49
Figura 20. Vías en 1987.....	52
Figura 21. Vías en 2004.....	53
Figura 22. Ganancias y pérdidas entre 1987 y 2004.....	56
Figura 23. Cambios en la cobertura del suelo 1987 – 2004.....	58
Figura 24. Cambios de coberturas a Área de extracción.....	61
Figura 25. Variaciones en las vías 1987 – 2004.....	65

ACRÓNIMOS

ASTER	Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer
BCRP	Banco Central de Reserva del Perú
BD	Base de datos
CIGA	Centro de Investigación en Geografía Aplicada
CONIDA	Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial
CORINE	Coordinated Information on the European Environment
CORPAC	Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial
ESDI	Earth Science Data Interface
ETM	Enhanced Thematic Mapper
FAO	Food and Agriculture Organization
GDB	Geodatabase
GPS	Global Positioning System
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
LCCS	Land Cover Classification System
LCM	Land Change Modeler
MED	Ministerio de Educación
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MDE	Modelo Digital de Elevación
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MYSA	Minera Yanacocha S.A
ND	Nivel digital
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
PUCP	Pontificia Universidad Católica del Perú
RMS	Root Mean Square
SIG	Sistema de Información Geográfica
SNMPE	Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía
TM	Thematic Mapper
UGI	Unión Geográfica Internacional

USGS	United States Geologic Service
UTM	Universal Transversal Mercator
WGS	World Geographic System



RESUMEN

En las últimas décadas, las áreas rurales en el Perú han estado cambiando debido a la introducción y desarrollo de nuevas actividades económicas como la minería. Esta es una actividad que genera cambios físicos que se manifiestan en la cobertura del suelo y pueden ser estudiados mediante la geomática.

Se entiende por **cobertura del suelo** a aquella cobertura, ya sea física o biológica, que se observa sobre la superficie de la tierra, y que, desde un sentido estricto, debe ser confinada a la descripción de la vegetación y de los elementos de origen antrópico (Anderson et al. 1976, Di Gregorio y Jansen 2005).

El área de estudio comprende el distrito de Cajamarca, ubicado en la provincia y departamento del mismo nombre, al norte del Perú. Abarca una extensión de 380.5 km² y alberga la explotación minera aurífera más importante del país: Yanacocha.

El objetivo de esta investigación fue identificar la extensión y el cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Cajamarca entre 1987 y 2004, que sirva como información de base para futuros planes de desarrollo. La metodología estuvo basada en el uso de la geomática: percepción remota y SIG. Se utilizó una imagen Aster de 2004 de 15 m. de resolución y una imagen Landsat TM de 1987 de 30 m. de resolución, que fue remuestreada a 15 m; en un trabajo de campo para identificar las principales coberturas y en la adopción del Land Cover Classification System (LCCS) de la FAO.

Como resultado, el área de estudio ha experimentado un cambio en la cobertura del suelo, en la red hidrográfica y vial. El área total que ha experimentado cambios en la cobertura del suelo es de 17086 has., que representa el 44.9% del distrito. El mayor cambio es la transformación de cultivos a vegetación herbácea rala ya que ocupan el 21% del área con cambios. Igualmente, la transformación de pasto natural a vegetación herbácea rala, que representa el 13.6% del área con cambios, hacen que ésta última sea la unidad de cobertura que más se incrementó.

La cubierta vegetal que ha sido transformada a área de extracción representa el 17.8% del área de estudio. Asimismo, ha comprometido a siete microcuencas en las que han desaparecido 1819.7 has. de pasto natural, vegetación arbustiva, cultivos, pasto cultivado y plantación forestal.

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las áreas rurales han presentado transformaciones de carácter físico o social que responden a la introducción de nuevos elementos en su organización. Estos elementos están constituidos por actividades económicas que de cierta manera, alteran el modo de vida de los habitantes, generan una nueva relación con las actividades económicas que tradicionalmente se desarrollaban y producen un cambio en las características del entorno físico y social en distintos niveles. En el aspecto físico, parte de estos cambios se manifiestan en la cobertura del suelo y pueden ser identificados y analizados mediante la geomática.

1.1 Antecedentes

La minería constituye una de las mayores actividades generadoras de cambios sobre la superficie. Es considerada como una de las más beneficiosas pero a la vez una de las menos amigables ambientalmente (Palacios- Berrios 2006).

En el Perú, la minería tiene un papel fundamental económicamente ya que en 2006 generó un ingreso por exportaciones de US\$ 14707 millones que equivalen al 61.8% de las exportaciones a nivel nacional (Banco Central de Reserva del Perú BCRP- Estadísticas 2006). Desde las condiciones presentadas en la década de 1990 como la estabilización económica, la creación del D.L 662 de inversión extranjera y la privatización, el país se ha convertido en uno de los 10 primeros productores de oro, plata y cobre del mundo (Kuramoto 1999, Palacios- Berrios 2006). Asimismo, es

importante mencionar que, según Kuramoto (1999), ha existido una preferencia por el desarrollo de proyectos auríferos lo que ha producido una relocalización de la minería, en la que la zona aurífera tradicional del centro del Perú cede su lugar al norte. De esta manera, los departamentos como La Libertad, Ancash y en especial Cajamarca, han sido muy beneficiados al albergar nuevos proyectos mineros con inversión extranjera.

La minería produce impactos directos e indirectos en la calidad de vida de los habitantes del área de influencia inmediata y mediata. Según Madrid (2002), aquello se manifiesta en: el mejoramiento de las viviendas, la ampliación de la cobertura de servicios básicos, el acceso a los servicios de educación y salud, el aumento del empleo debido a la demanda de mano de obra local que implica un aumento en su capacidad económica adquisitiva actual y la construcción de nuevas vías de comunicación que benefician también a los pobladores y al desarrollo de otras actividades. Sin embargo, trae consigo impactos de carácter negativo, entre los que destacan: la contaminación atmosférica, la contaminación y posterior degradación del recurso hídrico, el cambio en la cobertura del suelo y las relaciones conflictivas que se producen entre las empresas y las comunidades locales.

La transformación física de un espacio por la minería puede ser estudiada a partir de la cobertura del suelo, la cual se ve influenciada por el desarrollo de las actividades humanas. Se entiende por **cobertura del suelo** a aquella cobertura, ya sea física o biológica, que se observa sobre la superficie de la tierra, y que, desde un sentido estricto, debe ser confinada a la descripción de la vegetación y de los elementos de origen antrópico (Anderson et al. 1976, Di Gregorio y Jansen 2005). Por otro lado, las

actividades y flujos que el ser humano emprende sobre cierto tipo de cobertura del suelo para producir, cambiar o mantenerla, conforman el **uso del suelo**. Es importante recalcar que un mismo uso de suelo puede darse en coberturas distintas. Por ejemplo, un uso recreacional puede aplicarse sobre superficies arenosas o sobre una cobertura de bosque (Di Gregorio y Jansen 2005). Es decir, lo que importa en ese caso es el propósito para el cual el suelo es utilizado (Lambin y Geist 2006).

Como antecedentes más cercanos al tema propuesto, la ONERN (1975) realizó un estudio integral de reconocimiento de los recursos naturales existentes en cuatro provincias de la sierra norte, incluyendo la de Cajamarca. El objetivo consistió en evaluar el potencial y el grado de utilización de los recursos para proponer mejores usos de los mismos. De esta manera, el estudio constituye un referente oficial de descripción físico – social de la zona de Cajamarca.

Bussink y Hijmans (2000) llevaron a acabo una investigación en este tema acerca del cambio del uso del suelo en un área arbitraria al interior de la provincia de Cajamarca para el periodo 1975- 1996. Por otra parte, Bury (2004) examina de qué forma las operaciones mineras auríferas transnacionales, en particular la Minera Yanacocha, transforman el sustento de las viviendas en Cajamarca. Su investigación, aplicando entrevistas a la población local y visitas al campo, esclarece cómo esta empresa minera ha alterado el acceso al capital producido, humano, natural y social de tres comunidades que se encuentran emplazadas en el área de influencia de la mina. El autor concluye que, no obstante el acceso al capital producido y humano- entendido como el flujo de dinero e ingresos económicos; y educación, conocimiento y habilidades,

respectivamente- ha aumentado en la última década, el acceso al capital social y natural -es decir las relaciones entre comunidades y el resto de la sociedad civil; y los recursos renovables y no renovables, respectivamente- se ha visto mermado. De la misma manera, en un estudio posterior, realizado en 2005, se enfoca a los cambios que la empresa ha producido en el patrón de la tenencia, el valor y la distribución del uso de la tierra en la región.

SASE (2005), elaboró una línea de base en cuyos indicadores ambientales analizan el uso de la tierra y los recursos forestales en la provincia de Cajamarca. Con respecto al primero de los temas, el estudio describe la capacidad de uso del suelo y la cobertura de la tierra de acuerdo a la categoría de uso, según la Unión Geográfica Internacional (UGI). Fue aquí que se identificaron 9 categorías, las cuales fueron representadas en el mapa respectivo. Es importante mencionar que el estudio no contempló un análisis multitemporal del uso y cobertura del suelo sino su estado en un momento determinado.

Finalmente, Palacios- Berrios (2006) centró su estudio en el cambio del paisaje en una porción del área de influencia directa de la explotación minera de Yanacocha. Mediante la elaboración de mapas del cambio físico del paisaje entre 1993 y el 2000 y la aplicación de encuestas, concluye que existe un cambio en la cobertura de pastos naturales, la cual se redujo en un 67.37% y una marcada degradación del área alrededor de la mina, como influencia de esta actividad, cuya superficie aumentó en un 47.98%. La transformación más importante identificada fue la de pastos naturales en zona minera con una extensión de 403.24 ha, que representa un 38.84% del área total de estudio. Por otro lado, el autor concluyó que la percepción de la población frente a la

minería es negativa en la medida en que los habitantes perciben una disminución de las fuentes de agua y de los pastos, vistos como sustento.

1.2 Problemática y justificación

La actividad minera es generadora de cambios en tanto en lo físico como en lo social. El distrito de Cajamarca, espacio en el que se desarrollan parte de las actividades de explotación aurífera de Minera Yanacocha (MYSA), no es ajena a este hecho.

El distrito de Cajamarca, a raíz del desarrollo de la actividad minera, ha adquirido una dinámica económica importante. El recurso económico se ha incrementado gracias al canon minero que en 2005 fue de S/. 397 millones (MYSA) lo que ha permitido invertir en infraestructura como carreteras y canales de riego; y en servicios como el rubro de materiales y construcción; y en servicios personales y no personales, que se concentran en la capital del distrito (SNMPE 2000). Este centro poblado se ha transformado en un polo de atracción por lo que ha aumentado su población y ha experimentado un crecimiento físico que, según las tendencias estimadas en 1999, se orienta a los cuatro puntos cardinales. Sin embargo, esta expansión física del área urbana compromete el área agrícola ubicada en el este, cuya extensión está en constante disminución. (INGETEC S.A. 2003).

Por otro lado, el desarrollo minero ha producido un conflicto con las comunidades en la medida en que ha alterado su espacio físico (Bury 2004), que puede ser observado en la cobertura del suelo. Esto ha servido como motivación para el desarrollo de estudios

centrados en cómo la presencia de la mina ha alterado el espacio, particularmente en lo que respecta al cambio en el paisaje y/o uso del suelo. Sin embargo, estos estudios han identificado y analizado cambios puntuales presentes sin haber establecido tendencias del cambio en la cobertura y usos del territorio.

No obstante que los estudios mencionados estén enfocados en el cambio del uso del suelo, ya sea que estén asociados a la actividad ganadera y la dinámica urbana y/o tenga como eje de trabajo la influencia de Minera Yanacocha, éstos abarcan un área de estudio pequeña y en algunos casos arbitraria, de acuerdo a las condiciones en los que fueron llevados a cabo. Entonces, ¿cómo ha cambiado físicamente el distrito de Cajamarca en lo que respecta a la cobertura del suelo con el desarrollo de la actividad minera aurífera a gran escala?, en otras palabras, ¿cómo ha cambiado la cobertura del suelo en los últimos años?

La importancia del tema radica en primer lugar en el área de estudio ya que el distrito de Cajamarca es un espacio representativo de la actividad minera aurífera en el Perú y de cómo ésta influye en mayor o menor medida en toda su extensión. Es conocido que la actividad ha producido un cambio en el paisaje y una reducción de la longitud del cauce de las quebradas (Palacios 2006). Además, los estudios que ya han sido realizados no cubren la totalidad del distrito, solamente áreas menores en los alrededores de la mina.

En segundo lugar, en la actividad económica *per se* ya que ella se encuentra en crecimiento. Esto va a producir un cambio a medida que la zona de explotación se expanda físicamente en el territorio en la medida en que irá comprometiendo otras

coberturas como pastizales permanentes o estacionales sobre las que se desarrollan actividades como la ganadería y la agricultura de subsistencia para las poblaciones locales.

En tercer lugar, en que el tema de cobertura y uso del suelo es básico para la elaboración y el cumplimiento de posteriores planes de desarrollo. Además, según Briceño (2003), éste es útil en el proceso de planificación del territorio y mejoramiento de la calidad del medio ambiente.

Al hablar del tema de coberturas del suelo y de sus unidades, queda implícito que también se trata del sistema de clasificación empleado que permite identificar los diferentes tipos de coberturas. Estos pueden ser el de la UGI, el de Información Coordinada del Medio Ambiente Europeo (CORINE) y el Sistema de Clasificación de Cobertura del Suelo (LCCS). En la presente investigación se ha optado por utilizar el último de ellos debido a su concepción y a las bondades que presenta.

Según Di Gregorio y Jansen (2005) el LCCS es un sistema de clasificación comprensivo y estandarizado designado para alcanzar propósitos específicos para cada usuario. La ventaja radica en que puede ser usado en cualquier lugar del mundo mediante el uso de clasificadores, también denominados “criterios independientes”, jerárquicamente colocados para asegurar un alto grado de precisión geográfica, lo que permite una definición clara de las coberturas de suelo.

La estructura jerárquica del LCCS consta de dos fases claramente diferenciadas entre sí: la fase dicotómica y la fase jerárquica-modular. La primera de ellas, constituye el nivel principal de clasificación por el que se obtienen las clases mayores de cobertura del suelo. Los criterios utilizados están conformados por: la presencia o ausencia de vegetación, la condición edáfica (terrestre o acuática) y si la cobertura es artificial o natural. La segunda, comprende la combinación de las clases predeterminadas en la fase anterior con atributos, ya sean ambientales -el clima, el tipo de suelo, entre otros- y técnico específicos que varían para el tipo de estudio que se esté realizando.

La elección de este sistema de clasificación se debe a su estructura jerárquica, lo que lo convierte en un sistema con mayor consistencia al momento de acomodarse a los distintos niveles de información con los que el usuario pretende trabajar. Asimismo, al hecho de que las clases van de un nivel general a uno particular y a la exclusividad de las mismas que evitan una posterior confusión de representación y de nomenclaturas.

1.3 Hipótesis

En base a Palacios (2006), el cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Cajamarca se manifiesta en la disminución de la cobertura vegetal en, por lo menos, un 38% de su extensión inicial frente al aumento de tierras en las que desarrolla la actividad minera.

1.4 Objetivo general

Identificar la extensión y el cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Cajamarca ocurrido con el desarrollo de la actividad minera aurífera que sirva como información de base para futuros planes de desarrollo.

1.5 Objetivos específicos

- Identificar las principales coberturas del suelo.
- Analizar los cambios espacio- temporales en la cobertura del suelo en el distrito de Cajamarca.
- Generar una base de datos georeferenciada sobre los cambios en la cobertura del suelo.

2 ÁREA DE ESTUDIO

El distrito de Cajamarca se ubica en la provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca en el norte del Perú. Políticamente limita por el norte con el distrito de Encañada, por el sur con el distrito de Magdalena y San Juan, por el este con Los Baños del Inca, Llacanora y Jesús, y por el oeste con la provincia de San Pablo. Tiene una extensión de 380.5 km², ocupando el 12.84% de la provincia de Cajamarca. Comprende un espacio que va desde los 2500 msnm en el sureste, área de suave pendiente, en la que se han desarrollado campos agrícolas y en la que se emplaza la ciudad de Cajamarca; hasta los 4000 msnm en el norte y oeste (Figura 1).

La red hidrográfica con la que cuenta, forma parte tanto de la vertiente del Atlántico como de la del Pacífico, siendo la primera la dominante al abarcar un 60.9% del área total del distrito. En la primera de ellas drenan las aguas de subcuenca del Río San Lucas, la del Río Porcón y parte de la del Río Grande, que en su conjunto forman parte de la cuenca del Río Mashcón. Por otro lado, al norte del distrito, se encuentra la subcuenca del Río Rejo, cuyas aguas drenan en la segunda vertiente mencionada.

Según la base de datos del IGN, el distrito cuenta con 39 cuerpos hídricos, los cuales no cuentan con un nombre en particular, a excepción del lago La Compuerta y el lago Mataracocha. Del total de cuerpos hídricos, 38 se emplazan en el extremo norte del distrito, a excepción del segundo lago mencionado, el cual se ubica en la parte central del distrito.

El clima en el distrito está compuesto de tres tipos, según la ONERN (1975): clima “sub húmedo y templado”, que domina al sur del distrito, entre los 2500 y 3000 msnm con una temperatura promedio de 17 °C y una precipitación de 700 mm; clima “sub húmedo y semi frío”, que domina al oeste del distrito entre los 3000 y 3500 m.s.n.m. con una temperatura y precipitación promedio de 14 °C y 850 mm, respectivamente; y clima “húmedo y frío”, en el norte del distrito, entre los 3500 y 4000 msnm con una temperatura de 9 °C y una precipitación de 1100mm. Existen dos estaciones marcadas notoriamente: la época de sequía y la época de lluvia. La primera abarca el periodo entre abril y setiembre en la que la precipitación alcanza un valor de 30.8 mm (CORPAC 2006); y la segunda, entre noviembre y marzo, con una precipitación de 100.9 mm (CORPAC 2006).

El distrito cuenta con una población de 156821 habitantes (INEI 2005) con una densidad demográfica de 412.1 hab/km², los cuales se distribuyen en 116 centros poblados –incluyen la categoría de caserío y la ciudad de Cajamarca- de los cuales, el 97% habita en la capital.

El norte del distrito, entre los 3500 y 4000 msnm, alberga parte de la zona de explotación aurífera de MYSA, aproximadamente 48 km al norte de la ciudad de Cajamarca. Constituye el productor de oro más grande de América del Sur con reservas significativas, alta producción y bajos costos (Newmont 2007) y su producción en oro representó el 52% de la producción total a nivel nacional (MEM 2004).

3 MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación fueron necesarios los siguientes materiales:

- Bases de datos digitales (BD):
 - INEI Límites político- administrativos, 2005.
 - IGN Red hidrográfica.
 - IGN Modelo digital de elevación (MDE).
 - IGN Curvas de nivel.
 - MTC Red vial nacional y departamental.
 - MED, PUCP Centros poblados, 2005-2006.
 - Puntos de observación GPS, 2007.
- Bases de datos analógicas:
 - IGN Carta nacional 14 - F y 15 – F, Escala 1:100000.
- Imágenes de satélite:

Tabla I. Imágenes de satélite utilizadas

Sensor	Satélite	Path / Row	Fecha	Proveedor
Landsat TM	Landsat 7	009 / 065	23/07/1987	ESDI
Aster VNIR AST_ L1A.003:2023496484	Terra	009 / 065	24/05/2004	USGS
Aster VNIR	Terra	009 / 065	24/05/2004	USGS

- Sistemas de información geográfica y de procesamiento de imágenes:
 - ArcGIS 9.1

- ERDAS IMAGINE 9.1
- IDRISI Andes
- Sistema de clasificación de tierra FAO - LCCS 2.4

3.2 Metodología

Según la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), la geomática es el conjunto multidisciplinar de ciencias y tecnologías que se enfocan en la adquisición, estudio, almacenamiento, análisis y gestión de la información espacial georeferenciada. Al utilizar este concepto, se hace referencia a disciplinas y/o técnicas como la cartografía, la teledetección o percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG) empleados en el estudio, gestión y planificación del territorio, de los recursos naturales y el medio ambiente.

Como parte de la geomática, es importante definir dos conceptos con los que se trabajará de manera muy estrecha a lo largo de la presente investigación: la teledetección y los SIG. Según Chuvieco (1996), el primero de ellos constituye una técnica que permite obtener información a distancia de los objetos sobre la superficie terrestre. En ella existen tres elementos principales: sensor, objeto observado y flujo energético que relacione los dos primeros. La principal herramienta de teledetección está constituida por las imágenes de satélite. Por otro lado, el segundo de ellos, constituye otra herramienta de almacenamiento, manipulación y análisis de información georeferenciada que se complementa con la teledetección.

El proceso de investigación ha comprendido cuatro etapas: dos de campo y otras dos de gabinete (figura 2).

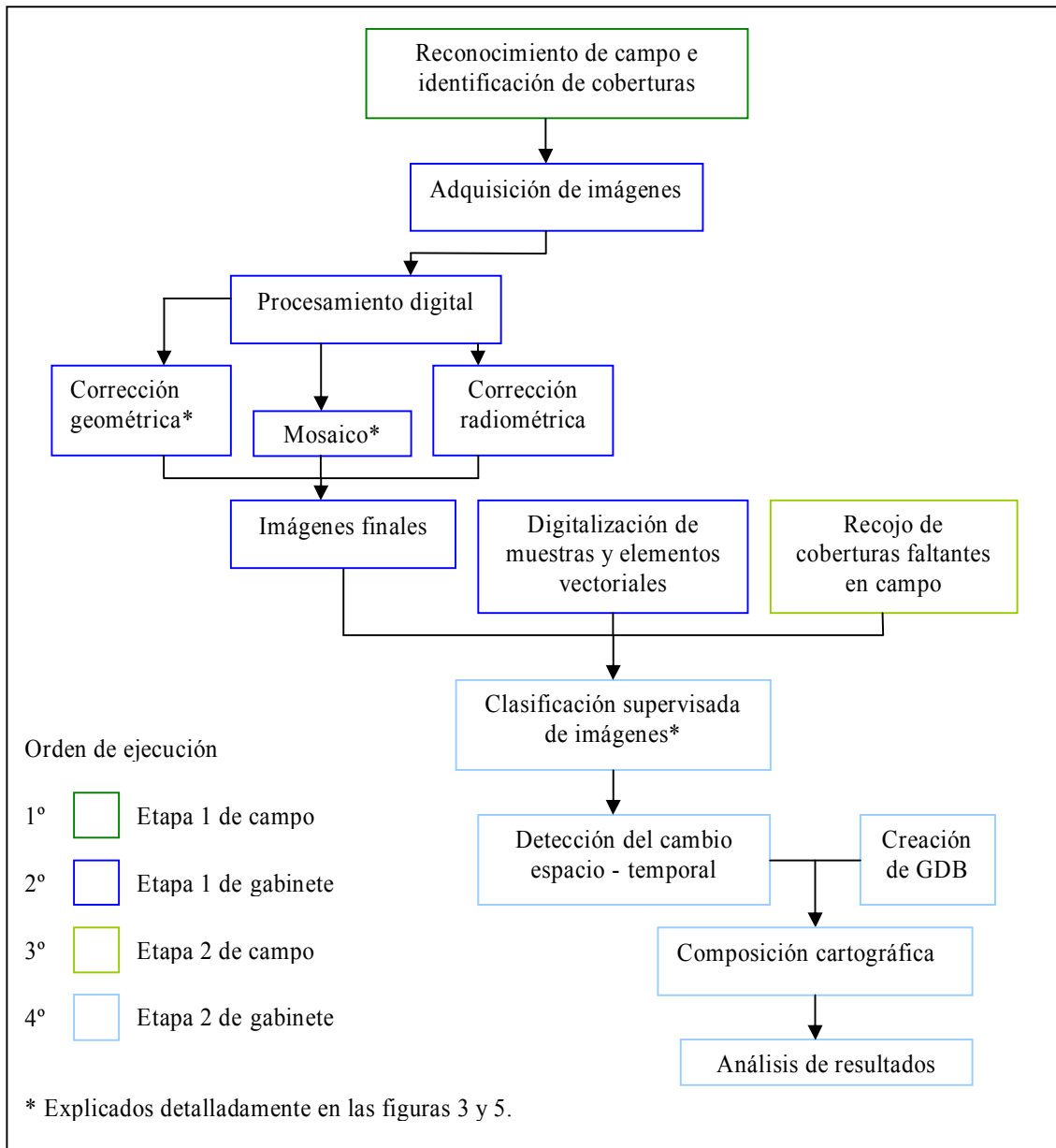


Figura 2. Esquema metodológico utilizado durante el proceso de investigación.

A continuación, se describirán y explicarán detalladamente y, según cada objetivo específico planteado, las principales acciones realizadas durante la investigación.

3.2.1 Identificación de las coberturas del suelo

Para identificar las coberturas del suelo fue necesario realizar una salida de campo a Cajamarca que se llevó a cabo en dos etapas: la primera, entre enero y febrero de 2006, sirvió para tener una idea general de los diferentes tipos de cobertura en el área de estudio. Esto fue de gran utilidad para analizar visualmente las imágenes de satélite en la etapa 1 de gabinete.

La segunda etapa, en julio de 2007, contempló el recojo de muestras de aquellas coberturas del suelo que no estuviesen claras o que necesitaban una verificación de campo, especialmente en la zona de Las Lagunas (al norte); y en el oeste del distrito. Las muestras fueron georeferenciadas con 10 puntos de GPS, que fueron promediados para obtener mayor exactitud en la ubicación; fueron fotografiadas y se anotaron las características más importantes para el trabajo en la etapa 2 de gabinete.

3.2.2 Análisis espacio – temporal

3.2.2.1 Adquisición de imágenes

Las imágenes de satélite fueron escogidas siguiendo determinados criterios: espacial, visibilidad, temporal y disponibilidad. El primero hace referencia a que la imagen debe contemplar la zona de estudio; el segundo, a que debe haber escasa nubosidad que permita ver la cobertura del suelo. El tercero, a la fecha de adquisición, por lo que se ha

optado por escoger una imagen anterior a la actividad minera y otra posterior al inicio de la actividad minera; y el cuarto, a la disponibilidad en la fuente.

La imagen Landsat cubre un área de 185 x 170 km con una resolución espacial de 30 metros. Tiene una resolución espectral de 7 bandas las cuales tienen una resolución de 28.5 metros, exceptuando la banda 6 de 120 metros. La banda 1, 2 y 3 pertenecen al espectro visible, la banda 4 al infrarrojo próximo, la banda 5 y 7 al infrarrojo medio y la banda 6 al infrarrojo térmico.

La imagen Aster (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*) cubre un área de 60 x 60 km. Utiliza 14 bandas espectrales distribuidas de la siguiente manera: 2 bandas en el espectro visible y 1 en el infrarrojo cercano (VNIR) de 15 metros de resolución, 6 en el infrarrojo medio (SWIR) de 30 metros de resolución espacial y 5 en el infrarrojo termal (TIR) de 90 metros de resolución.

Las primeras imágenes que se obtuvieron fueron las Aster 2004. Por esta razón y por la cercanía al año en el que se llevó a cabo el trabajo de campo, fueron las primeras en ser trabajadas y a lo largo de la tesis serán las primeras en ser explicadas.

El criterio de selección de las mismas fue el de visibilidad y disponibilidad en la fuente. Las imágenes fueron adquiridas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en marzo de 2006. Dado que las imágenes descritas líneas arriba corresponden a la etapa post actividad minera, se requería conseguir otra imagen de la etapa previa a la actividad minera para la misma zona de estudio. De esta manera, se obtuvo

gratuitamente la imagen Landsat TM de la página web de *Earth Science Data Interface* (ESDI) del Servicio Geológico de los Estados Unidos. El criterio de selección estuvo basado en la disponibilidad de imágenes y en la fecha de la toma. Se optó por aquella que sea lo más cercana a la época del año de las imágenes Aster, para que las coberturas tengan características similares haciendo que la comparación entre ellas sea lo más fiel a la realidad. Además, el año en que fuera tomada la imagen debía ser lo bastante alejado para que los cambios en la cobertura puedan ser mejor identificados.

3.2.2.2 Procesamiento de las imágenes de satélite

El procesamiento de las imágenes comprendió tres etapas: el procesamiento digital, la digitalización y la clasificación de las imágenes.

3.2.2.2.1 Procesamiento digital

Constituye la etapa de preparación de las imágenes para su posterior análisis. Se realizaron los siguientes procedimientos:

- Corrección geométrica:

En esta etapa se reducen los errores que las imágenes presentan como producto de la distorsión originada en la plataforma del satélite o debido a la rotación terrestre. La corrección geométrica de una imagen hace referencia a los cambios en la posición que ocupan los píxeles que la forman (Chuvieco 1996).

Las imágenes Aster fueron obtenidas para la presente investigación ya georeferenciadas. Este proceso se llevó previamente a cabo utilizando el comando “*Image geometric correct*” en el software ERDAS IMAGINE 9.1. Teniendo como modelo una imagen Landsat ETM ortorectificada de la zona de estudio del año 2001, se identificaron y recolectaron 50 puntos de control distribuidos uniformemente sobre toda el área que comprende cada imagen y en zonas claramente identificables para lograr mayor precisión como cruces de carreteras y/o polígonos de manzanas urbanas.

Un punto de control es un punto en común entre la imagen georeferenciada y aquella por georeferenciar. Esta georeferenciación utilizó el método del vecino más próximo (*nearest neighbor*), según el cual, el nivel digital del píxel más cercano en la imagen original es colocado en cada celda de la nueva imagen (Chuvieco 1996). De esta manera, ambas quedaron georeferenciadas con la siguiente proyección: WGS 1984 UTM Zona 17 Sur y con una resolución de 15 metros.

La imagen Landsat TM se encontró ya georeferenciada en ESDI con los parámetros del satélite pero sin un control de campo. Las siete bandas en las que la imagen fue obtenida del sitio web fueron guardadas en el disco duro para ser posteriormente unidas en un mosaico, con el software ERDAS IMAGINE 9.1. Luego, la imagen fue reproyectada a la proyección correspondiente: WGS 1984 UTM Zona 17 Sur ya que, por defecto, las imágenes obtenidas de ESDI vienen orientadas hacia el hemisferio norte.

Se comprobó que esta imagen tenía una buena georeferenciación; sin embargo, se decidió otorgarle una mayor precisión en sus coordenadas. En primer lugar, en el

software ArcGIS 9.1, y dado que la presente imagen cubre un área de 185 x 170 km, ésta fue recortada para trabajar con solamente aquella porción correspondiente el área de estudio con la finalidad de tener un menor número de píxeles y un mayor contraste entre sus niveles digitales, los cuales mantienen los mismos valores.

Posteriormente, se procedió a la ortorectificación, corrección que requiere del uso de un modelo digital de elevación (MDE), que constituye una matriz numérica, similar a una imagen de satélite, que almacena valores de altitud sobre el nivel del mar en cada píxel que lo compone. En el software ERDAS IMAGINE 9.1 se aplicó el comando “*Image geometric correct*” y, teniendo como referencia la imagen Aster y el MDE, se utilizó el método de puntos de control. Según Chuvieco (1996), este método de corrección considera tres fases: la localización de los puntos comunes en ambas imágenes, el cálculo de las funciones de transformación entre las coordenadas de la imagen georeferenciada y de aquella que se quiere corregir, y la transferencia de los niveles digitales originales a su nueva posición.

La primera fase mencionada implica un alto grado de intervención humana y es importante considerar el número, la ubicación y la distribución de los puntos. Inicialmente se asignaron 21 puntos de control, de preferencia en elementos antrópicos claramente identificables como cruces de vías y límites de parcelas; pero en caso de no encontrar elementos comunes, se procedió a elegir elementos naturales como cerros y confluencia de las quebradas. La distribución de los puntos de control fue uniforme a lo largo de toda la imagen. Se inició por los cuatro extremos y se terminó en la parte

central, evitándose así, que algunas zonas tengan un buen ajuste a expensas de otras.
(Figura 3).

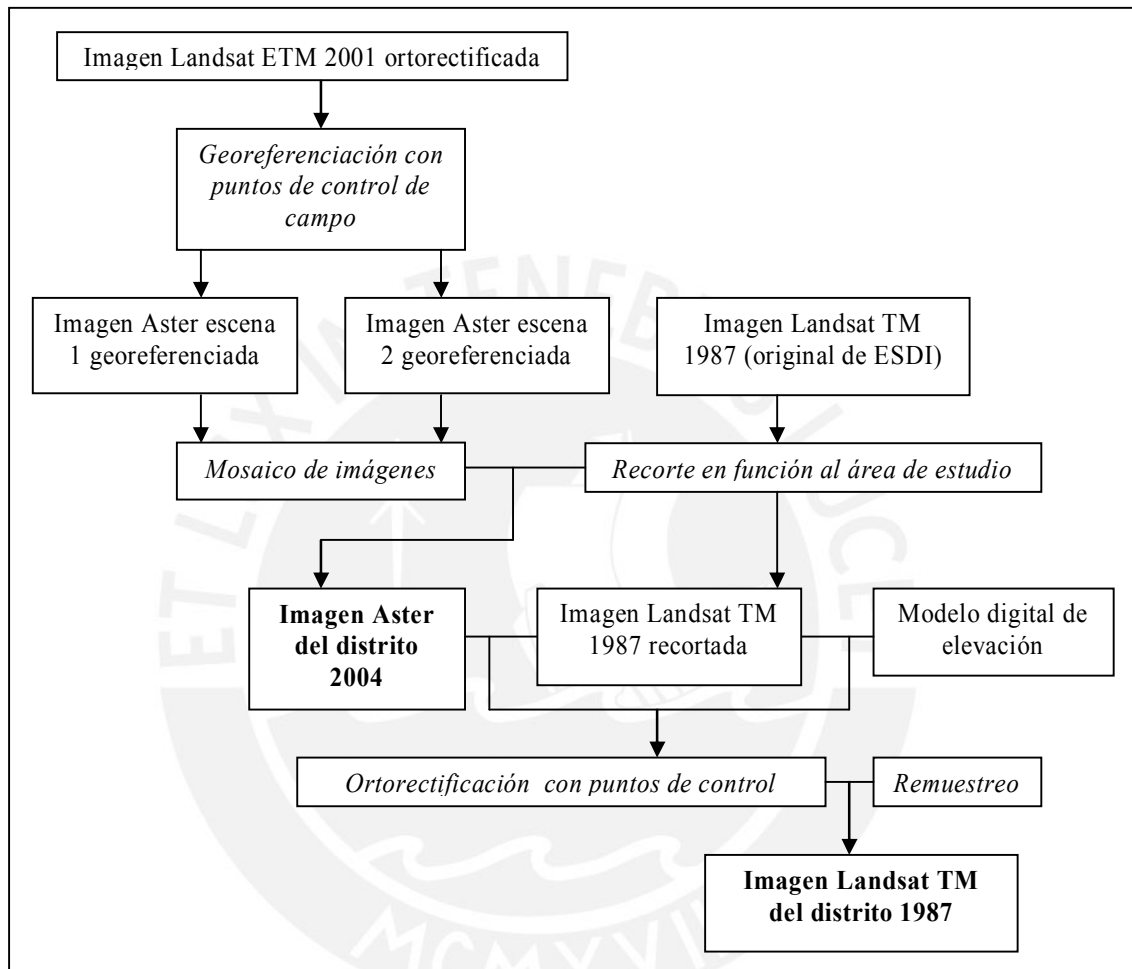


Figura 3. Corrección geométrica.

Según Chuvieco (1996), la calidad de la corrección geométrica puede valorarse comparando, para cada punto de control, las coordenadas estimadas por la regresión con las reales. Es así que en la segunda fase, se definió la función de transformación que correspondió a una ecuación de tercer grado: $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$, junto con el error medio cuadrático (RMS) menor a 0.5 del tamaño del píxel (15 m.) que sirve para evaluar la precisión de los puntos. Se identificaron que dos puntos de control superaban

el RMS establecido y se optó por eliminarlos, quedando 19 puntos para ejecutar la georeferenciación (Tabla II).

Tabla II: Puntos de control empleados para la corrección de la imagen Landsat TM 1987 a partir de la imagen Aster 2004.

Número	Aster 2004		Landsat TM 1987	
	X UTM	Y UTM	X UTM	Y UTM
1	756440.6	9198258.8	756469.2	9198307.4
2	757293.2	9238624.0	757296.5	9238687.3
3	779133.3	9236941.1	779135.6	9236989.3
4	780865.1	9198501.1	780886.4	9198517.7
5	781501.7	9198465.3	781511.4	9198467.8
6	780449.5	9199304.2	780471.4	9199323.0
7	765293.3	9219636.6	765299.9	9219643.8
8	769466.3	9204108.9	769452.1	9204114.3
9	773070.7	9212819.7	773082.5	9212864.5
10	772180.4	9220209.9	772214.1	9220224.4
11	765798.9	9231845.5	765818.8	9231859.9
12	768224.8	9229620.0	768219.5	9229654.7
13	761557.3	9207199.3	761566.4	9207220.0
14	759201.3	9218279.7	759217.3	9218312.3
15	779244.5	9218342.1	779277.7	9218357.8
16	769453.8	9238040.6	769447.7	9238064.0
17	762351.8	9230025.3	762359.6	9230052.9
18	776510.5	9231138.1	776517.5	9231166.6
19	762210.1	9223839.2	762211.2	9223817.9

En la tercera fase, se definieron: el número de columnas y de filas, que fue de 1739 y 2737, respectivamente; la resolución espacial de la nueva imagen junto con el método del vaciado de la información; y el nombre del archivo. Es así que, luego de una verificación de cada uno de los puntos, se creó la nueva imagen ortorectificada y

remuestreada a una resolución espacial de 15 metros con el método del vecino más próximo (*nearest neighbor*).

Finalmente, para comprobar la ortorectificación realizada, se utilizó la red vial nacional y departamental del MTC de la zona de estudio, datos que fueron georeferenciados con GPS con una precisión menor a 3 metros. Sobre la imagen, se cargó el archivo de vías y se observó que éstas coincidían perfectamente sobre las de la imagen.

- Mosaico de imágenes:

La principal imagen Aster brinda información sobre el 95% del distrito; mientras que el 5% restante ubicado al sur, no se encuentra en esta escena. Por esta razón, fue necesario una segunda imagen que tuviera una zona de traslape con la finalidad de unir las y obtener la información satelital del 100% del distrito. En el software ERDAS IMAGINE 9.1 fueron cargadas, en primer lugar la escena de base (imagen 1) y, posteriormente, la segunda que fue adjuntada (imagen 2). En aquella zona de la imagen 1, cuyo valor de píxel era igual a 0, se colocó una transparencia para que la imagen 2, ubicada por debajo, pueda ser vista. Una vez realizado esto, se ejecutó el comando “*Mosaic images*”, el cual permitió la unión de ambas imágenes en función de la georeferenciación y generó una nueva imagen, con la misma resolución y con la cual se realizó el trabajo posterior.

- Corrección radiométrica:

Consiste en la modificación del nivel digital original de los píxeles para acercarlos a los que habrían en la imagen bajo una recepción ideal (Chuvienco 1996). Se aplicaron

algunos realces con la finalidad de mejorar el nivel digital de los píxeles y se jugaron con las bandas del espectro visible e infrarrojo de cada una de las imágenes para obtener la mejor combinación que permita identificar las coberturas del suelo. Debido a que los realces varían, éstos serán explicados en cada una de las etapas en las que fueron empleados.

3.2.2.2.2 Digitalización

Comprende la digitalización de los diferentes elementos lineales. En el software ArcGIS 9.1 y sobre la base de cada una de las imágenes se actualizó tanto el archivo de la red hidrográfica del IGN como el de las vías del MTC.

- Red hidrográfica

Sobre la imagen Aster se cargó el archivo de la red hidrográfica el cual había sido previamente definido a la proyección común de la base de datos de la presente investigación. La red hidrográfica fue corregida y se digitalizaron aquellos cursos de agua que no figuraban en el archivo original pero que sí se identificaron en la imagen. La combinación de bandas elegida fue de RGB 532, realizada con una expansión del contraste de desviación estándar. Una vez definida la red hidrográfica de 2004, se procedió a actualizar la respectiva tabla de atributos colocando en primer lugar el tipo de elemento (si es río o quebrada) y la toponimia. Para esto, fue necesario el uso de dos cartas nacionales del IGN: 14 - F y 15 - F para complementar la información del archivo en digital.

Sobre la imagen Landsat TM 1987, se cargó la red hidrográfica actualizada de 2004, a partir de la cual se digitalizaron aquellos cursos de agua que sí existían en 1987. La combinación de bandas empleada fue la RGB 432. Tanto para la red hidrográfica de ambos años -en aquellos casos en los que no se podían distinguir los cursos de agua- se tuvo que recurrir al archivo de curvas de nivel del IGN en la misma proyección de las bases digitales, lo que facilitó la precisión en el recorrido de los cauces.

A diferencia de los ríos y quebradas que fueron actualizados de un archivo pre existente, los cuerpos hídricos ubicados en su mayoría en el extremo norte del distrito, fueron creados directamente a partir de las imágenes. Se trabajó la imagen Aster con la combinación RGB 321 y se le aplicó una expansión del contraste o “*stretch*” de ecualización del histograma. Con este tipo de realce, el nivel visual asignado a cada nivel digital se encuentra en proporción a este valor y a su frecuencia. Aquellos niveles digitales con un mayor número de píxeles ocuparán proporcionalmente un mayor rango de visualización en el monitor (Chuvieco 1996), lo que permitió identificar con mayor precisión los límites entre el agua y la tierra con el sensor empleado.

Según Alonso y Herrero (2001), la combinación RGB 453 en imágenes Landsat marca con detalle la frontera entre el agua y la tierra, útil para delimitar los cuerpos hídricos con precisión. Por lo tanto, se decidió utilizar aquella combinación junto con la aplicación de una expansión del contraste pero de tipo lineal o máximo – mínimo para digitalizar los lagos.

Una vez digitalizada la red hidrográfica correspondiente para cada año, se superpusieron ambas capas de información para identificar la zona de cambio. Se optó por analizar el cambio en la red hidrográfica teniendo como unidad de análisis a la microcuenca, formada por cauces hasta de segundo orden según la clasificación de Strahler (1986), y delimitadas previamente con ayuda de las curvas de nivel y de la imagen de satélite Landsat TM, ya que los cauces corresponden a aquel año.

- Vías

Para obtener las vías definitivas, tanto del año 2004 como las de 1987, con las cuales se llevó a cabo el resto de la investigación, se utilizó en primer lugar la imagen Aster 2004 y en segundo lugar la imagen Landsat TM 1987. Sobre la imagen Aster, se cargó el archivo de vías, el cual se había previamente definido a la proyección WGS 1984 UTM Zona 17 S. La combinación de bandas elegida para la digitalización/ actualización fue RGB 532 y se aplicó un ajuste del contraste, un proceso por el cual la resolución radiométrica de la imagen original se adapta a la capacidad del monitor de visualización (Chuvieco 1996). El tipo de ajuste empleado fue el de expansión del contraste o “*stretch*” de desviación estándar en la medida en que permite la identificación de las vías asfaltadas, afirmadas y sin afirmar con claridad. Sin embargo, también se utilizó la combinación RGB 3 10 2, especialmente para las trochas carrozables.

Para completar la respectiva tabla de atributos en la que fue necesario definir la condición de las vías, se recurrió al Google Earth, software gratuito que muestra imágenes de satélite de buena resolución del mundo. Usando escenas del área de

estudio, se pudo precisar el inicio y el término de los distintos tipos de superficie de las vías.

Finalmente, sobre la imagen Landsat TM 1987, se cargó el archivo de vías actualizado del 2004 que constituyó la base sobre la cual se sustrajeron aquellas vías inexistentes en 1987. Se utilizaron dos tipos de combinaciones: la primera fue RGB 432 y la segunda fue RGB 543, ambas fueron realizadas con una expansión del contraste de desviación estándar.

Cabe mencionar que estas mediciones son el resultado de la interpretación de las imágenes de satélite. Por lo tanto, debido a algunos factores como la resolución espacial y espectral de ambas imágenes, es posible que aquellas vías menores a los 10 m. de ancho no sean consideradas en la presente investigación. De la misma manera, no es posible establecer una diferencia en cuanto al tipo de superficie de las vías ya que no se encontró la información respectiva para el año 1987. Por lo tanto, sólo se trabajará con la longitud de las vías.

3.2.2.2.3 Clasificación de las imágenes

La clasificación supervisada de las imágenes estuvo basada en una interpretación visual junto con un conocimiento previo del área de estudio. Esta interpretación comprende la identificación de los elementos a clasificar (en este caso las coberturas) a partir de variables como el color, la textura y la tonalidad. Ambas imágenes de satélite fueron

recortadas, nuevamente, con la forma y la dimensión del área de estudio. Todo el proceso de clasificación se llevó a cabo en el software ERDAS IMAGINE 9.1.

La imagen Aster fue trabajada con la combinación RGB 532 para identificar con mayor facilidad las distintas coberturas. Antes de comenzar la clasificación, se decidió eliminar la banda 4 puesto que se encuentra desplazada con respecto a las otras y así se evitaron dudas al momento de identificar las firmas espectrales. Con el comando “*Signature Editor*” se escogieron 13 firmas espectrales o muestras que presentan los valores de los niveles digitales de los píxeles que las componen y que corresponden a cada cobertura. En algunos casos se incluyó dos o tres muestras para una misma cobertura ya que era necesario clasificar las sombras producidas por el ángulo de toma de la imagen con respecto a la luz. A partir de la observación de los histogramas de cada una de las firmas espectrales, se modificaron los niveles máximos y mínimos para obtener las coberturas lo más homogéneamente posible al momento de clasificar la imagen. Según Chuvieco (1996), a partir de estas muestras el software calcula los ND que definen cada una de las clases, para luego asignar el resto de los píxeles de la imagen a una de las categorías establecidas en función de su ND.

Una vez obtenidas todas las firmas espectrales corregidas, se clasificó la imagen. De los tres tipos de clasificadores que existen y que son usados en la teledetección (mínima distancia, paralelepípedos, y máxima probabilidad) se optó por el último de ellos junto con un algoritmo de clasificación de tipo paramétrico debido a que considera que los ND de los píxeles tienen una distribución normal Gaussiana. Por lo tanto, ayuda a

determinar la probabilidad de pertenencia de un píxel a una categoría específica y las coberturas del suelo quedaron mejor definidas a diferencia de los otros clasificadores.

Durante este proceso, se identificó que las coberturas acuáticas así como la de la zona urbana, la de la zona minera, y la de la superficie vial presentaban problemas para la clasificación ya que eran consideradas por el software como una categoría ajena a la cual se le había asignado. Por ejemplo, la cobertura de cuerpo natural de agua era confundida como la cobertura de sombra de bosque y la zona minera era considerada como zona urbana. Por esta razón, se decidió eliminar las firmas espectrales correspondientes a estas coberturas y digitalizarlas directamente.

La vegetación arbustiva y el bosque natural tuvieron un tratamiento especial ya no fue posible identificar estas coberturas en el trabajo de campo. A partir de la memoria descriptiva del mapa forestal del Perú 2000 presente en el Informe Nacional de los Recursos Forestales Mundiales según FAO (2005) y de la clasificación de suelos según SASE (2005), se pudieron tomar las firmas espectrales correspondientes en la imagen de 1987, que sirvieron para identificarlas en aquella del 2004.

Con la finalidad de evaluar la exactitud de la clasificación se obtuvo una matriz de contingencia o de error, que constituye una tabla de doble entrada en cuyas columnas se ubican las clases reales (los datos de referencia) y en las filas, las clases creadas (los datos clasificados). A partir de los altos porcentajes obtenidos en 10 de las 13 firmas espectrales que aparecen en la matriz, se consideró que la clasificación era satisfactoria. (Anexo 1).

Posteriormente, fue necesario realizar una reclasificación o un “*recode*” por el cual, algunas coberturas fueron agrupadas en una sola. Esto se aplicó principalmente a las que representaban las sombras o alguna variante de una misma cobertura para así obtener la imagen clasificada definitiva. Sobre esta imagen recodificada se procedió a cargar aquellas coberturas que presentaban problemas para ser clasificadas digitalmente. Es importante mencionar que éstas fueron digitalizadas previamente en ArcGIS 9.1 a partir de una interpretación visual de la imagen y luego fueron transformadas al formato raster de la imagen.

La imagen Landsat TM 1987 fue trabajada en la combinación RGB 542, equivalente a la utilizada en la imagen Aster 2004 pero con el mismo procedimiento para identificar las coberturas del suelo. Se obtuvieron once firmas espectrales que corresponden a las coberturas terrestres ya que, las coberturas acuáticas, de la misma manera que sucedió durante el proceso de clasificación de la imagen Aster, eran confundidas por el software por otra cobertura distinta. Nuevamente, se escogió el clasificador de máxima probabilidad (*maximum likelihood*) para obtener los mejores resultados posibles.

La clasificación resultante fue evaluada con la matriz de contingencia. En ella, se observó que 9 de las 11 firmas espectrales tenían un porcentaje alto de precisión por lo que se la consideró como satisfactoria (Anexo 2). Sin embargo, se hicieron algunos ajustes entre los que destaca la aplicación de un filtro modal para eliminar aquellas coberturas cuyo tamaño era menor a los 3 píxeles. Posteriormente, se cargaron las coberturas en formato vectorial de aquellas que representaban una dificultad en la

clasificación digital y se las transformó al formato raster para obtener la imagen clasificada definitiva.

La clasificación de las coberturas se realizó de forma rigurosa y precisa debido a la adopción del Sistema de Clasificación de Cobertura del Suelo (LCCS) propuesto por la *Food and Agriculture Organization* (FAO) cuya aplicación fue llevada a cabo con el software LCCS 2.4. Dentro del funcionamiento del software se partió de un nivel general en el que se identifican dos grandes coberturas -áreas con vegetación y áreas sin vegetación- para luego alcanzar particularidades basadas en la experiencia y conocimiento obtenido en el campo que son utilizadas en los niveles posteriores.

En una primera etapa se obtienen estas 8 grandes coberturas del suelo. En una segunda, se obtienen las coberturas exactas a partir de la aplicación de unos criterios ambientales, que varían según el tipo de cobertura con la que se esté trabajando. (Figura 4).

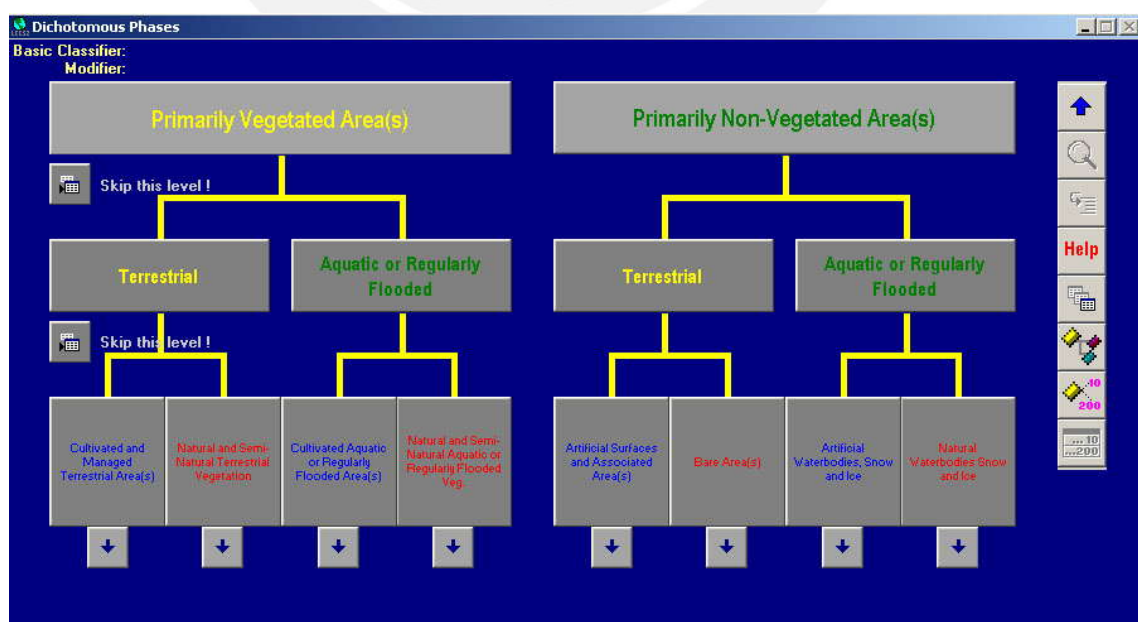


Figura 4. Unidades de coberturas del suelo en el software LCCS 2.4.

Cada unidad de cobertura, junto con: su nomenclatura, los criterios empleados para su obtención, sus características y su código de identificación único, fueron almacenados en la memoria del software. Esto permitió su acceso en posteriores oportunidades y tener a la mano la información necesaria para la descripción de las mismas.

Posteriormente, en el software ERDAS IMAGINE 9.1, se colocó a cada cobertura su respectiva nomenclatura adquirida previamente en el software LCCS 2.4. De esta manera, se obtuvieron las imágenes finales tanto para el 2004 y 1987. El proceso de clasificación supervisada permitió identificar 14 coberturas que serán explicadas en el siguiente capítulo con mayor detalle.

3.2.2.3 Detección del cambio espacio – temporal

La detección del cambio espacio- temporal se realizó a partir de la superposición de ambas imágenes clasificadas (figura 5). Se decidió utilizar el software IDRISI Andes ya que presenta una aplicación llamada Modelador del cambio de la tierra (*Land Change Modeler- LCM*) por la que es posible identificar los cambios en las coberturas dentro de un área determinada con mayor eficiencia que el ERDAS IMAGINE 9.1.

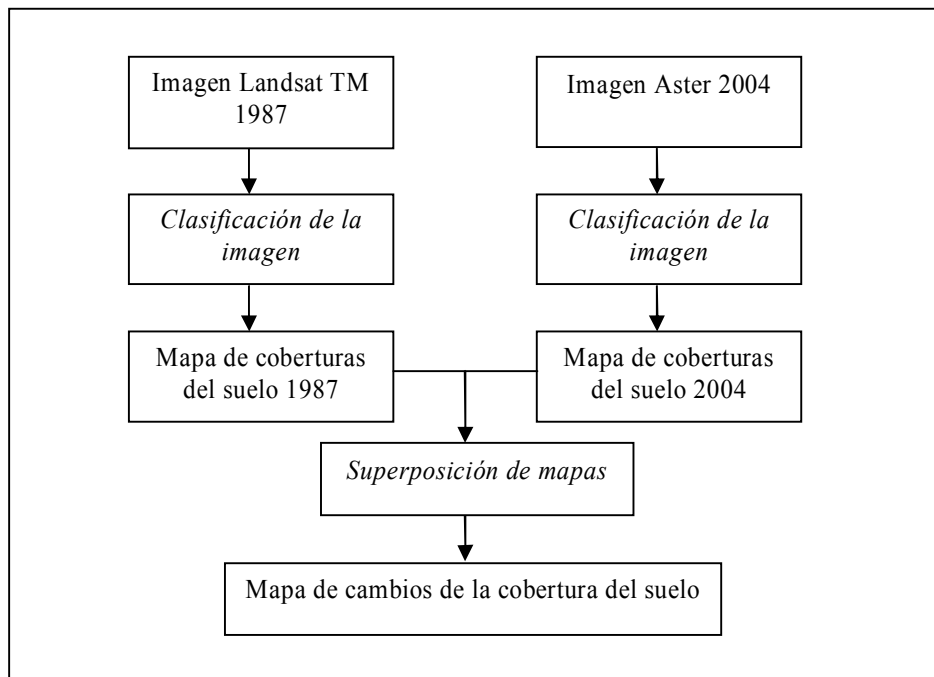


Figura 5. Detección del cambio espacio – temporal.

Para trabajar con el LCM, se transformaron las imágenes que se encontraban en formato ERDAS Imagine (.img) al formato raster de IDRISI (.rst). La aplicación pide que se escoja la imagen antigua en primer lugar y la imagen posterior en segundo lugar y se debe considerar el área mínima de mapeo. Según Forbes et al. (1982), este concepto está definido como el área de terreno mínimo que puede ser legible en el mapa y es de 0.4 cm^2 que es igual a 40 mm^2 . El valor real variará de acuerdo a la escala de trabajo, siendo el tamaño real del área mínima de mapeo en una escala de 1:150000 de 90 has., según se muestra en la siguiente fórmula: $\text{Has} = (\text{Número de escala} / 1000)^2 / 250$.

Para la escala de trabajo: $\text{Has} = (150000 / 1000)^2 / 250$

$$\text{Has} = 22500 / 250$$

$$\text{Has} = 90.$$

De esta manera, para identificar las transiciones entre las coberturas no se tomó en cuenta áreas menores a 90 hectáreas. Finalmente, se ejecutó el LCM y se obtuvo como producto una nueva imagen con los cambios entre las distintas unidades de cobertura del suelo y la respectiva cuantificación de las áreas.

3.2.3 **Base de datos sobre los cambios en la cobertura del suelo**

La información espacial que se obtuvo durante el proceso de investigación fue almacenada en una Geodatabase (GDB), lo que permitió tenerla disponible en las diferentes etapas del análisis. Utilizando el ArcCatalog, que es el administrador de archivos de ArcGIS 9.1, se creó la GDB en la que se añadieron las diferentes capas de información vectorial como centros poblados, red hidrográfica, red vial, límites político-administrativos y aquellas coberturas del suelo que fueron digitalizadas. De la misma manera, se añadieron las capas de información raster que conforman las coberturas del suelo en el distrito en 1987, en 2004 y el producto de la superposición de ambas imágenes, es decir, el cambio en las coberturas entre ambas fechas.

Finalmente, cuando toda la información se encontraba dentro de esta base de datos, se procedió a elaborar la cartografía temática. Así, todos los proyectos cartográficos se encontraban asociados a un solo archivo facilitando su manejo y tratamiento.

4 RESULTADOS

4.1 Cobertura del suelo

Se identificaron trece unidades de cobertura del suelo que serán descritas a continuación. En primer lugar se indica la cobertura mayor y el código único, según el LCCS, para luego proceder a describir cada una de las unidades.

4.1.1 Áreas terrestres cultivadas y manejadas

4.1.1.1 Plantación forestal: A1B1-A8A9

Comprende un conjunto extenso y continuo de plantas leñosas, que en 1987 tenía una extensión de 2183.3 has.; mientras que en 2004 era de 3277.8 has. Esta cobertura está compuesta principalmente por especies introducidas de tipo coníferas como el pino (*Pinus sp.*) y semi caducifolias como el eucalipto (*Eucalyptus sp.*). (Figura 6).



Figura 6. Plantación forestal en la Granja Porcón, al norte del distrito.

4.1.1.2 Cultivos: A4

Constituye la vegetación de origen antrópico desarrollada con fines agrícolas, que en 1987 abarcaba 12231.9 has y en 2004 comprendía 7433.4 has. Los cultivos son principalmente de trigo, maíz (*Zea mays*), cebada (*Horedum vulgare*) y papa (*Solanum tuberosum*). La mayoría de los cultivos se desarrollan de manera asociada en parcelas pequeñas que pertenecen a cada propietario, las cuales están divididas por cercos vivos de cabuya (*Agave americana*), otros arbustos o cercos artificiales. (Figura 7)



Figura 7. Cultivos de maíz en Porcón.
Fuente: Atlas de Cajamarca

4.1.1.3 Pasto cultivado

Es considerada por el LCCS dentro de Cultivos, sin embargo, debido a la importancia de este recurso en la zona, se decidió identificarla como una unidad independiente. Esta cobertura agrupa a las diferentes variedades de pasto que son cultivadas en el distrito siendo las principales especies la alfalfa (*Medicago sativa*), el ray grass o rye grass (*Lolium perenne*), el heno y el trébol (*Trifolium sp.*). El área que comprende esta

cobertura era de 1546.6 has. en 1987; sin embargo, en 2004 ésta varió a 1391.3 has. La extensión de pastos constituye la zona de pastoreo del ganado vacuno que es criado en el distrito. (Figura 8).



Figura 8. Ray grass al sureste del distrito utilizado para la alimentación del ganado.

4.1.2 Vegetación terrestre natural y semi natural

4.1.2.1 **Bosque natural: A3A11**

Esta cobertura está compuesta por especies forestales naturales como el aliso (*Alnus sp.*), el sauce (*Salix humboldtiana*), el molle (*Schinus molle*), que presentan diferentes usos para la población como el de construcción y el medicinal, respectivamente. Se presentan en pequeñas extensiones en las laderas y lo que se observa son relictos de bosques anteriores. Su extensión en 1987 era de 187.7 has., pero en 2004 pasó a ser de 141.5 has.

4.1.2.2 Pasto natural: A6A11

Es la vegetación típica de la zona (denominada localmente) jalca, ubicada encima de los 3300 msnm. Por un lado, la extensión en 1987 estaba constituida por 14678.3 has.; por otro lado, en 2004 esta unidad abarcaba 10452.2 has. La principal característica es la presencia de gramíneas altoandinas entre las que destaca el ichu o hualte, pudiendo ser del género *Festuca* y/o *Calamagrostis*. La cubierta de pastos no es totalmente uniforme en toda su extensión ya que entre las matas existen algunos espacios poco densos en los que el pasto está en crecimiento y, por lo tanto, tienen una menor altura. Estas especies se han adaptado a las condiciones climáticas de la zona en las que predominan los fuertes vientos y las bajas temperaturas. (Figura 9).



Figura 9. Matas de ichu al norte del distrito.

4.1.2.3 Vegetación herbácea rala: A2A14

Constituye un conjunto de pasto seco combinado por rocas de diferentes tamaños y tierra cuya extensión se modificó de 3518.7 has en 1987.a 9523.3 has en 2004. La

cubierta vegetal es de un 15% - 4%. En muchos casos ha sido un área utilizada para la actividad agrícola pero actualmente se encuentra en desuso. (Figura 10).



Figura 10. Área con escasa vegetación ubicada al sur del distrito.

4.1.2.4 Vegetación arbustiva: A4A11B3

Comprende un conjunto de especies que no supera los 4 metros de altura y que crecen alrededor de los 3500 msnm. Las especies se han adaptado a las bajas temperaturas de la zona, entre las que destaca el queñoal (*Polylepis sp.*), que crece en las laderas. Esta unidad de cobertura del suelo tenía una extensión de 1501.5 has en 1987, mientras que en 2004 ésta era de 351.2 has.

4.1.3 Áreas artificiales y asociadas

4.1.3.1 Área urbana: A4A13

Según Di Gregorio y Jansen (2005), esta unidad forma parte de la cobertura “Área construida” en la que la cobertura natural ha sido sustituida por una cobertura de

concreto de larga duración. En 1987 el área urbana abarcaba una extensión de 660 has., mientras que en 2004 era de 1146.3 has. Comprende un conjunto continuo con distintas densidades de viviendas y de calles; y representa a los asentamientos humanos del distrito. (Figura 11).



Figura 11. Cajamarca, principal centro poblado urbano de la zona.

4.1.3.2 Caminos: A3-A7

Constituye una estructura lineal que puede ser asfaltada, afirmada, sin afirmar y trocha carrozable, usada para el transporte. La superficie en 1987 era de 279.2 has. , y en 2004 era de 287.7 has. A pesar que se ha considerado a los caminos como una superficie poligonal, su cuantificación ha sido realizada no basada en el área que ocupan en el distrito, sino en la longitud. Por lo tanto, será analizada en el capítulo 5. (Figura 12).



Figura 12. Vía afirmada que forma parte de la carretera Cajamarca – Bambamarca.

4.1.3.3 Área de extracción (mina): A2A6

Según Di Gregorio y Jansen (2005), forma parte de la cobertura “Área no construida”, está definida por la ausencia de una cobertura vegetal natural y por la remoción de material mediante maquinaria pesada. Esta cobertura era inexistente en 1987; sin embargo, en 2004 ya tenía una extensión de 3149.6 has.

Constituye el área principal de las operaciones de MYSA desarrolladas a tajo abierto y está compuesta de: depósitos, lagunas de lixiviación y caminos internos. Las lagunas de lixiviación son cuerpos artificiales de agua y abarcan 0.8 km² que equivale al 2.5% de la cobertura. Sin embargo, no se las ha considerado como una cobertura independiente ya que forman parte de las operaciones mineras de la zona. (Figura 13).



Figura 13. Depósitos de las operaciones mineras de Yanacocha.

4.1.4 Área desnuda

4.1.4.1 Suelo desnudo: A3A7

Constituye una zona en la que no existe cobertura alguna como producto de la actividad antrópica en donde el porcentaje de la cobertura vegetal es mínimo. Está compuesta de roca madre o tierra que presenta una coloración blanca y/o rojiza. La extensión de esta unidad de cobertura era de 599.8 has en 1987 y que en 2004 pasó a ser de 286.4 has (Figura 14).



Figura 14. Suelo desnudo al oeste del distrito.

4.1.5 Cuerpos naturales de agua, nieve y hielo

4.1.5.1 **Cuerpos naturales de agua: A1B2-A5**

Esta cobertura comprende los lagos y lagunas de origen natural que se encuentran dentro del área de estudio. Éstos abarcaban 148.7 has. en 1987, y luego, en 2004 tenían una extensión de 114.7 has. Los cuerpos naturales de agua en el distrito varían en lo que respecta al tamaño, a la forma y a la perennidad, cuyo promedio oscila entre 7 y 9 meses al margen de la época de lluvia y de sequía. (Figura 15).



Figura 15. Cuerpos naturales de agua en Las Lagunas, al norte del distrito.

4.1.6 Cuerpos artificiales de agua, nieve y hielo

4.1.6.1 **Cuerpos artificiales de agua: A1B1-A5**

Esta unidad de cobertura comprende pozas o lugares de almacenamiento de agua de origen antrópico que en 1987 tenían una extensión de 19.2 has y en 2004 de 19.1 has.

En el distrito, las pozas son perennes ya que están cubiertas de agua durante todo el año.
(Figura 16).



Figura 16. Cuerpos artificiales de agua ubicados al este de la ciudad de Cajamarca.

4.1.7 **Zona sin información**

No es una cobertura que pertenezca al LCCS sino que es un área en la que no se puede distinguir la cobertura del suelo debido a la presencia de nubes o fallas en la imagen de satélite. En 1987 esta área tenía una extensión de 495.1 has., mientras que en 2004 la extensión era de 475.5 has.

Por un lado, en 1987, el distrito de Cajamarca contaba con doce unidades de cobertura del suelo (Figura 17): Plantación forestal, bosque natural, pasto natural, pasto cultivado, vegetación rala, cultivos, suelo desnudo, cuerpos naturales de agua, cuerpos artificiales de agua, área urbana, caminos y matorral. Por otro lado, en 2004 el distrito contaba con

trece unidades en la que se encuentra área de extracción (Figura 18). En ambos casos, y debido a la presencia de nubosidad, el distrito presenta una zona sin información.



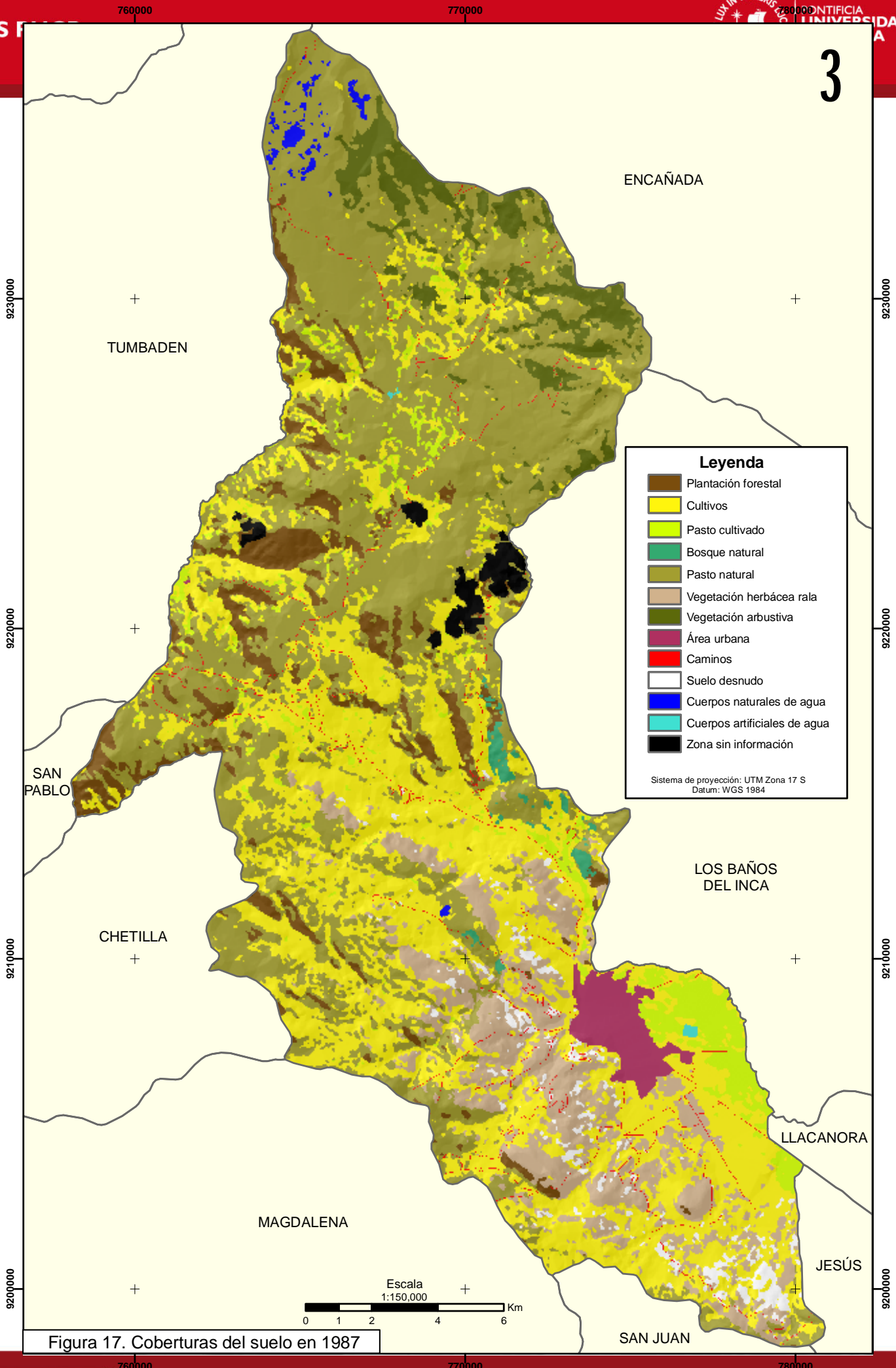


Figura 17. Coberturas del suelo en 1987

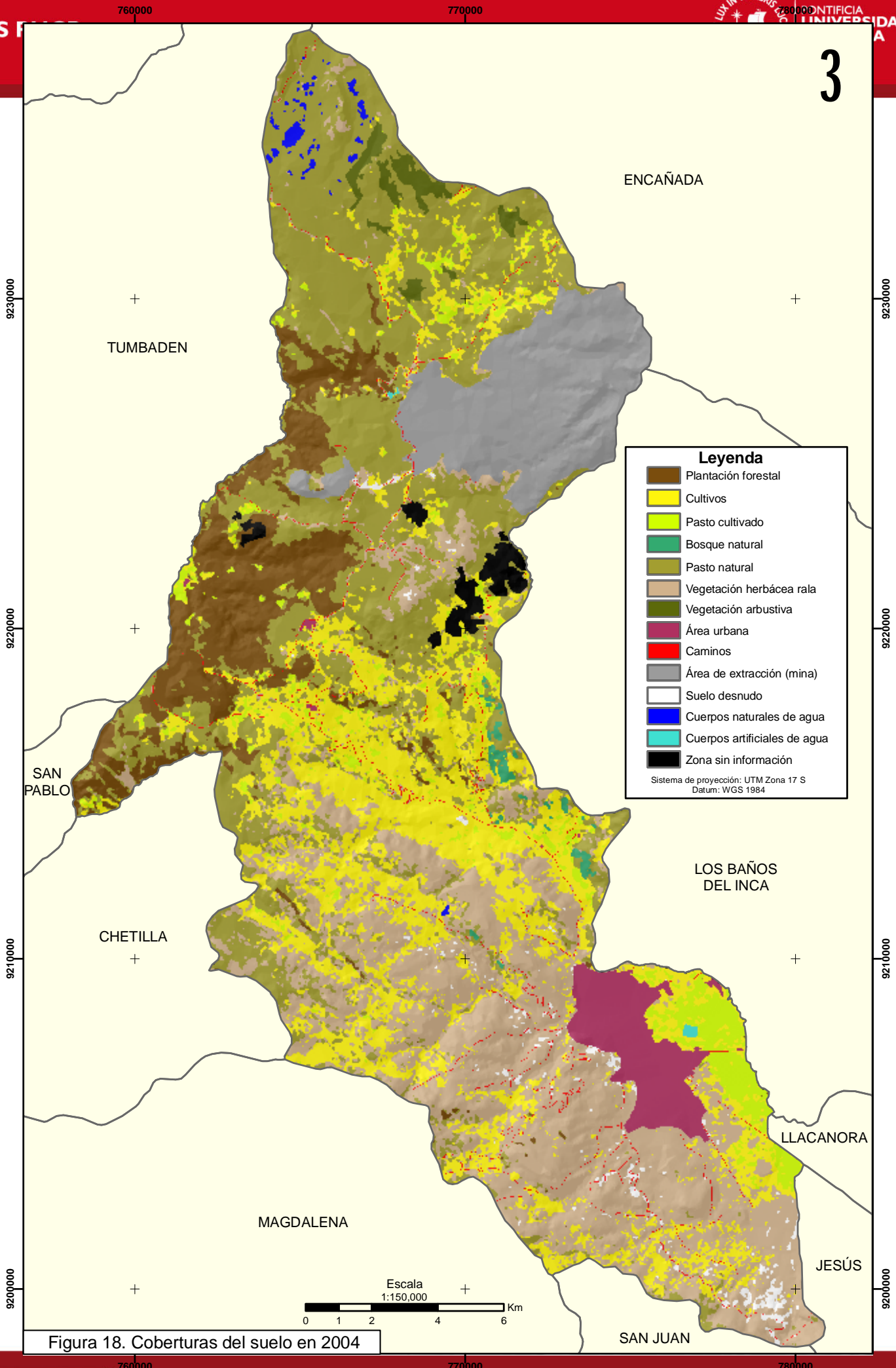


Figura 18. Coberturas del suelo en 2004

4.2 Red hidrográfica

Se identificaron siete microcuencas que suman una extensión total de 2716.9 has. (Tabla III) y se encuentran al norte del distrito. Debido a que solamente tres de ellas presentan toponimia de acuerdo a la información de la carta nacional, se decidió uniformizarlas colocándoles un número a todas ellas para identificarlas (Figura 19). De ellas, la 1, 2 y 3 pertenecen a la subcuenca del río Rejo -en la vertiente del Pacífico- y la 4, 5, 6 y 7 pertenecen a la subcuenca del río Mashcón –en la vertiente del Atlántico.

Tabla III. Microcuencas, 1987

Microcuenca	Área (has.)
1	745.2
2	557.6
3	516.9
4	380.6
5	236.4
6	164.8
7	115.5
TOTAL	2716.9

4.3 Vías

En el año 1987, el distrito contaba con una longitud total de vías de 230.3 km y con una densidad de vías de 606.9 m/km². El sur constituía el sector más articulado debido a las vías que comunican la ciudad de Cajamarca con los centros poblados vecinos. Hacia el norte, el eje principal de comunicación está constituido por una vía afirmada que une la ciudad con esta parte del distrito así como con la provincia vecina de Hualgayoc. (Figura 20).

En el año 2004, el distrito contaba con una longitud total de vías de 278.5 km y con una densidad de vías de 733.5 m/km². Además, se identificaron 5 tipos de superficie distintas (Tabla IV).

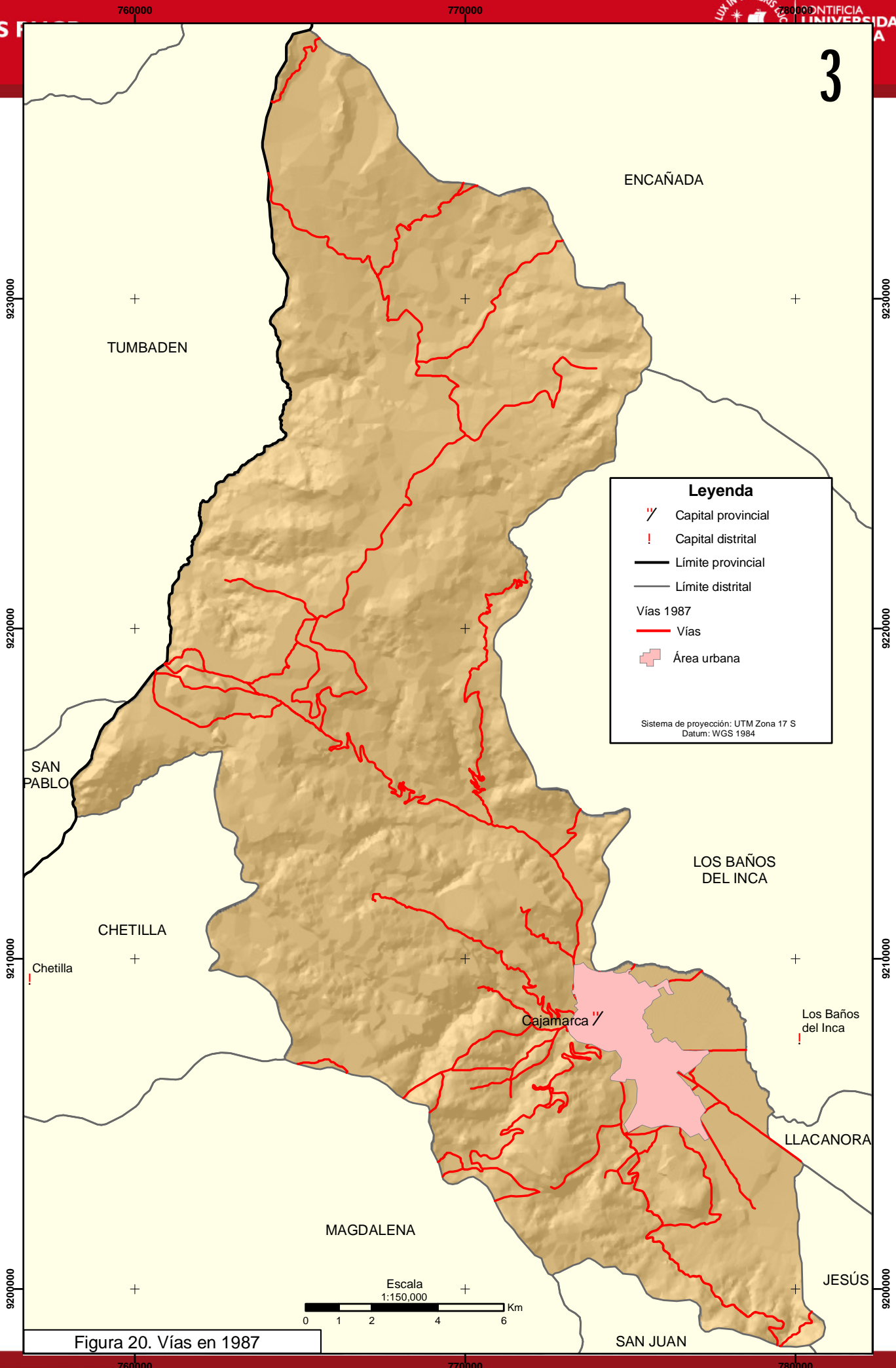
Tabla IV. Superficie de las vías de comunicación, 2004

Superficie	Longitud (km)
Asfaltada	59.8
Afirmada	118.7
Sin afirmar	26.1
Trocha carrozable	34.8
Vías de la mina	39.0
TOTAL	278.5

La superficie de vías más extendida en el distrito es la afirmada ya que cuenta con 118.7 km, seguida por la asfaltada con 59.8 km. Estas últimas vías, se encuentran al sur del distrito y son los ejes de comunicación al interior de la ciudad (vía de evitamiento), con los distritos vecinos de Llacanora, Los Baños del Inca y Jesús (al este y sureste); y con la costa (al sur). Por otro lado, el otro tramo de vía asfaltada está conformado por la

carretera que une la ciudad con la parte central y norte del distrito así como con la provincia vecina de Hualgayoc (Figura 21).





Leyenda

- Capital provincial
- Capital distrital
- Límite provincial
- Límite distrital
- Vías 1987
- Vías
- Área urbana

Sistema de proyección: UTM Zona 17 S
Datum: WGS 1984

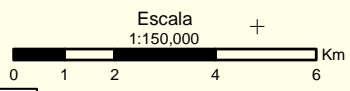


Figura 20. Vías en 1987

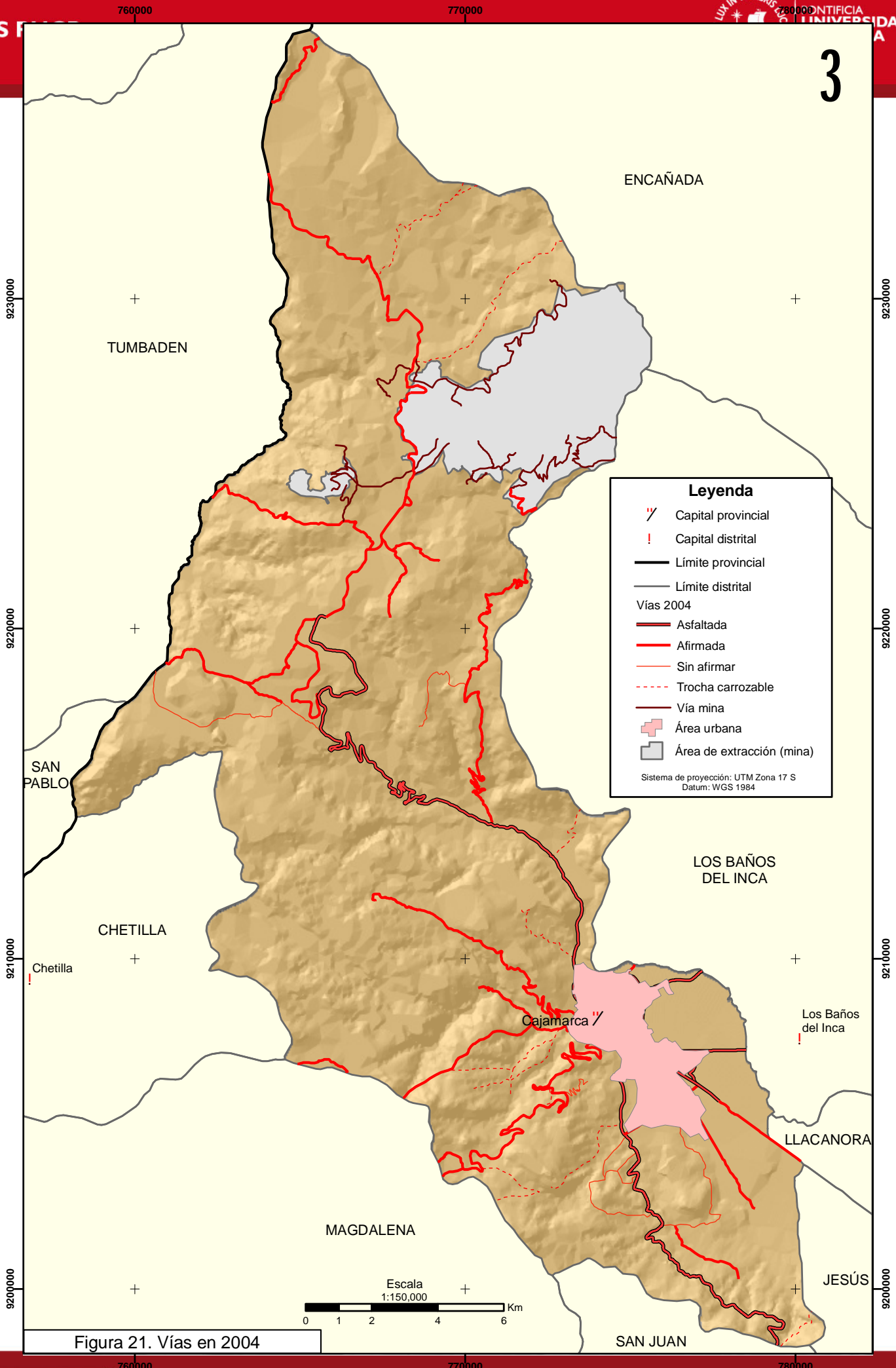


Figura 21. Vías en 2004

5 DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos y presentados en el capítulo anterior, junto con la superposición de ambos mapas de coberturas, se observa que entre 1987 y 2004, el distrito de Cajamarca ha experimentado un cambio en la cobertura del suelo, en la red hidrográfica y en la red vial.

5.1 Cobertura del suelo

Para los fines de este estudio, se han considerado trece unidades de cobertura según el LCCS a las que se les ha agregado una más que corresponde a la zona sin información. Tras haber clasificado las imágenes en ambos años se ha identificado que en 1987, el distrito contaba con doce unidades de cobertura que, en 2004, se había incrementado en una unidad adicional.

Tabla V. Unidades de cobertura del suelo, extensión en hectáreas, porcentaje que representan con respecto al área total del distrito y diferencia entre 1987 y 2004

Cobertura	1987		2004		Diferencia
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	%
Plantación forestal	2183.3	5.7	3277.8	8.6	2.9
Cultivos	12231.9	32.1	7433.4	19.5	-12.6
Pasto cultivado	1546.6	4.1	1391.3	3.7	-0.4
Bosque natural	187.7	0.5	141.5	0.4	-0.1
Pasto natural	14678.3	38.6	10452.2	27.5	-11.1
Vegetación herbácea rala	3518.7	9.2	9523.3	25.0	15.8
Vegetación arbustiva	1501.5	3.9	351.2	0.9	-3.0
Área urbana	660.0	1.7	1146.3	3.0	1.3
Caminos	279.2	0.7	287.7	0.8	0.0
Área de extracción	0.0	0.0	3149.6	8.3	8.3
Suelo desnudo	599.8	1.6	286.4	0.8	-0.8
Cuerpos naturales de agua	148.7	0.4	114.7	0.3	-0.1
Cuerpos artificiales de agua	19.2	0.1	19.1	0.1	0.0
Zona sin información	495.1	1.3	475.5	1.2	-0.1
TOTAL	38050.1	100.0	38050.1	100.0	

Se puede observar en la tabla V que en el área de estudio predominan siete unidades de cobertura del suelo que, en 1987, se encontraban conformadas, en orden descendente, por: pasto natural (38.6%), cultivos (32.1%), vegetación herbácea rala (9.2%), plantación forestal (5.7%), pasto cultivado (4.1%), vegetación arbustiva (3.9%) y finalmente, área urbana (1.7%). Mientras, en 2004, existió una variación en el tipo de cobertura y extensión de las coberturas: pasto natural (27.5%), vegetación herbácea rala (25%), cultivos (19.5%), plantación forestal (8.6%), área de extracción (8.3%), pasto cultivado (3.7%) y finalmente, área urbana (3%). Estas coberturas mencionadas abarcan cada una un espacio aproximadamente igual o mayor al 3% del área total del distrito y, a partir de las ganancias y pérdidas, son las que han tenido mayor dinamismo en estos 17 años. (Figura 22).

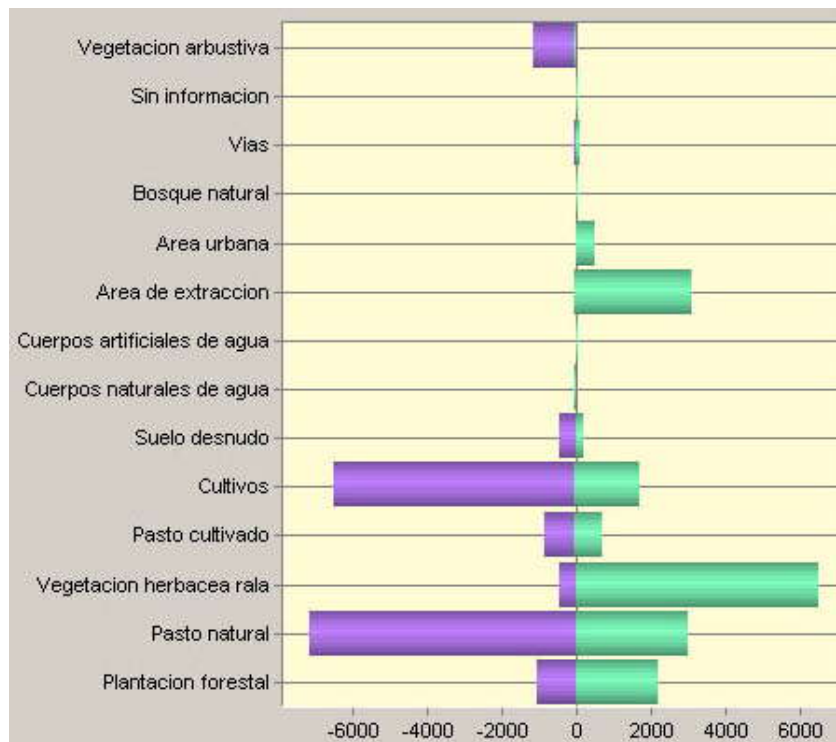


Figura 22. Ganancias y pérdidas entre 1987 y 2004
La unidad de medición es hectáreas. Extraída directamente del IDRISI Andes.

Por un lado, entre las coberturas que más han incrementado su tamaño en orden descendente, se destacan: vegetación herbácea rala, área de extracción y plantación forestal. La primera de ellas es la que más ha crecido, aumentando su extensión neta (es decir al balance entre ganancias y pérdidas) de 6004.6 has; la segunda constituye una cobertura netamente nueva con 3149.6 has; y la última creció 2168 has pero tuvo una pérdida de 1073 has., incrementando su extensión neta en 1094.5 has.

Por otro lado, entre las coberturas que han presentado un comportamiento neto negativo en su extensión se identifican: cultivos, pasto natural y vegetación arbustiva. La primera de ellas tuvo un incremento de 1749 has pero una pérdida de 6547 has, por lo que finalmente disminuyó un neto de -4798.5 has; la segunda, tuvo una ganancia de 2965

has. y una pérdida de 7191 has, generando una pérdida neta de -4226.1 has. Finalmente, la tercera cobertura perdió un neto de -1150.3 has.

Dado que los pastos representan un recurso importante para el área de estudio al ser indispensables para la actividad ganadera que se ha desarrollado a lo largo de los años, se ha decidido considerarlos en este caso en particular como una sola cobertura. De esta manera, al sumar la pérdida del pasto natural junto con la del pasto cultivado, se obtiene que el distrito de Cajamarca ha perdido, entre 1987 y 2004, 4379.4 has. que han podido causar efectos negativos en la población de la zona.

La tabla V y la figura 22 muestran datos cuantitativos importantes para el análisis de cada cobertura independientemente de las otras. Dado que uno de los objetivos es identificar el cambio entre las diferentes coberturas, se superpusieron ambas imágenes, obteniéndose un mapa del cambio producido. Allí, se representan los 22 distintos tipos de cambios entre las coberturas identificadas siendo las áreas en color blanco aquellas en las que las coberturas se mantienen iguales. (Figura 23).

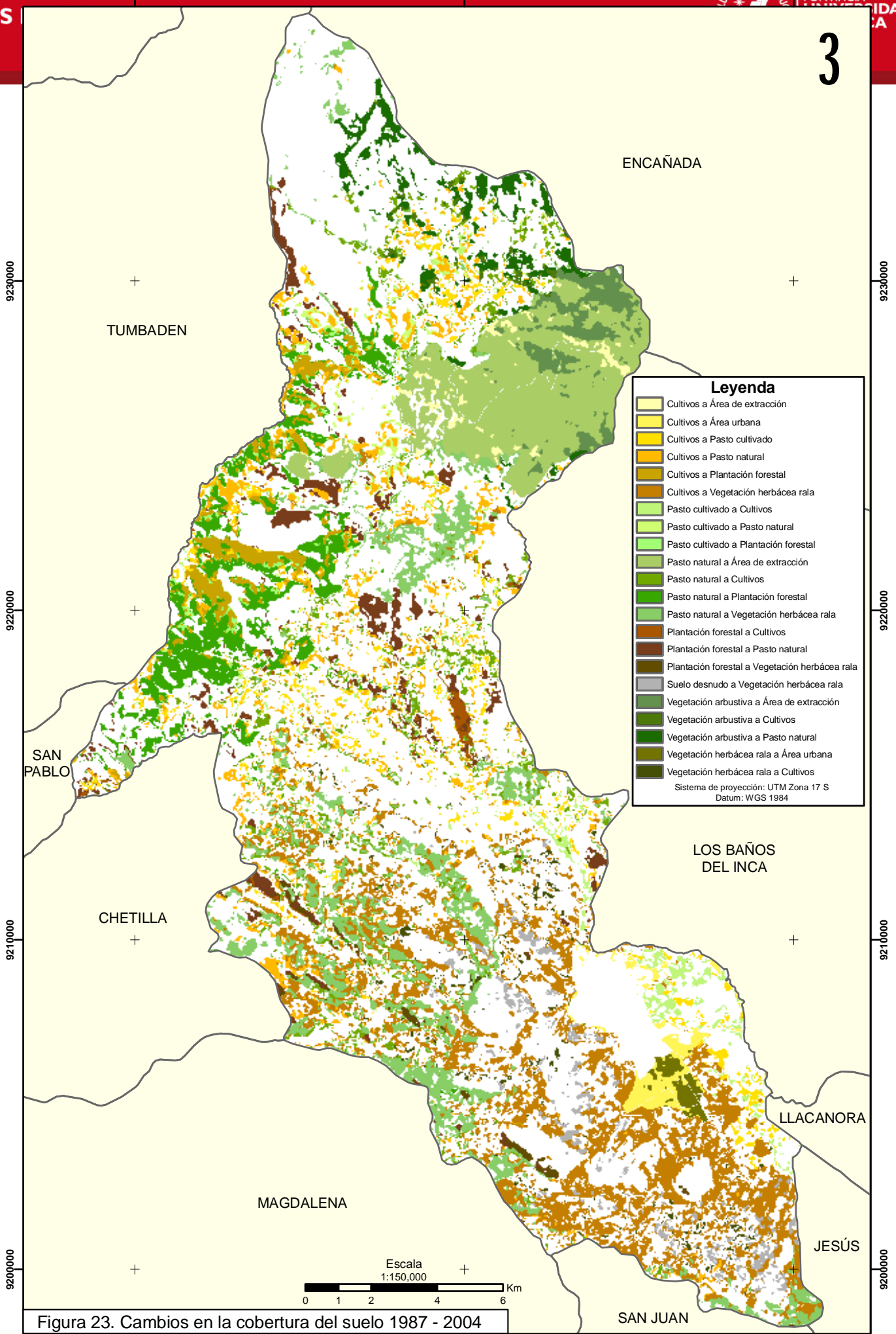


Figura 23. Cambios en la cobertura del suelo 1987 - 2004

De la misma manera, la siguiente tabla complementa la información de la figura 23 y muestra la extensión de las categorías representadas en el mapa y el porcentaje que conforman con respecto al área total que ha cambiado entre 1987 y 2004. (Tabla VI).

Tabla VI. Cambios de las coberturas del suelo 1987 - 2004

Cambios	Hectáreas	%
Cultivos a Vegetación herbácea rala	3594.2	21.0
Pasto natural a Área de extracción	2405.0	14.1
Pasto natural a Vegetación herbácea rala	2318.0	13.6
Pasto natural a Plantación forestal	1408.7	8.2
Cultivos a Pasto natural	1229.0	7.2
Pasto natural a Cultivos	857.5	5.0
Plantación forestal a Pasto natural	787.2	4.6
Cultivos a Plantación forestal	620.1	3.6
Cultivos a Pasto cultivado	574.4	3.4
Vegetación arbustiva a Pasto natural	559.4	3.3
Vegetación arbustiva a Área de extracción	482.9	2.8
Suelo desnudo a Vegetación herbácea rala	412.9	2.4
Pasto cultivado a Cultivos	377.3	2.2
Cultivos a Área urbana	289.7	1.7
Pasto cultivado a Pasto natural	227.4	1.3
Vegetación herbácea rala a Cultivos	200.3	1.2
Cultivos a Área de extracción	157.0	0.9
Plantación forestal a Cultivos	127.0	0.7
Vegetación herbácea rala a Área urbana	125.3	0.7
Pasto cultivado a Plantación forestal	122.4	0.7
Plantación forestal a Vegetación herbácea rala	119.9	0.7
Vegetación arbustiva a Cultivos	90.7	0.5
TOTAL	17086.0	100.0

El área total que ha experimentado cambios en la cobertura del suelo es de 17086 has. y representa un 44.9% del distrito de Cajamarca. La cobertura que más ha incrementado su extensión en estos 17 años es la de vegetación herbácea rala. Los cambios asociados a esta cobertura, es decir, aquellas coberturas que han contribuido a su expansión, están conformados por el de cultivos y pasto natural. Por un lado, el cambio de cultivos a vegetación herbácea rala representa el 21.1% de la superficie total que ha

experimentado cambios y se concentra principalmente al sur del distrito. Por otro lado, el cambio del pasto natural implica una reducción de la vegetación y de su densidad en el área en 13.6% siendo predominante en la parte central y occidental del área de estudio.

El cambio de pasto natural a área de extracción (mina) constituye el segundo cambio importante ocupando el 14.2% y se concentra al norte del distrito. El área de extracción está conformada por el tajo abierto, los depósitos, las lagunas de lixiviación y los caminos internos en donde se desarrollan las operaciones mineras. La construcción de esta infraestructura ha significado no sólo la remoción de 2405 has de pastos naturales sino también la reducción de vegetación arbustiva en 482.9 has y la pérdida de 157 has de cultivos.

Dado que la presencia de la mina es parte crucial de la hipótesis, se ha optado por explicar un poco más el cambio de las distintas coberturas a ésta. Al observar solamente el espacio ocupado por el área de la mina como se aprecia en la figura 24, se identifican siete unidades de cobertura que han pasado a ser área de extracción.

La cobertura que se ha reducido en mayor medida es el pasto natural (76.4%), seguida por la vegetación arbustiva (15.3%) y los cultivos (5%). Estas 3 coberturas fueron mencionadas en el párrafo anterior ya que superan el límite mínimo de 90 hectáreas propuesto para evaluar el cambio de las coberturas del suelo en este estudio; sin embargo, es útil precisar que existen otras 4 que también han pasado a formar parte del área de extracción pero representan un área muy pequeña. Estas son: pasto cultivado

con (2.4%), vías (0.5%), en la que un tramo era parte de la carretera Cajamarca-Bambamarca y que implicó el desvío y construcción de una nueva sección que actualmente bordea el lado oeste de la mina; plantación forestal (0.4%), y vegetación herbácea rala (0%). (Tabla VII).

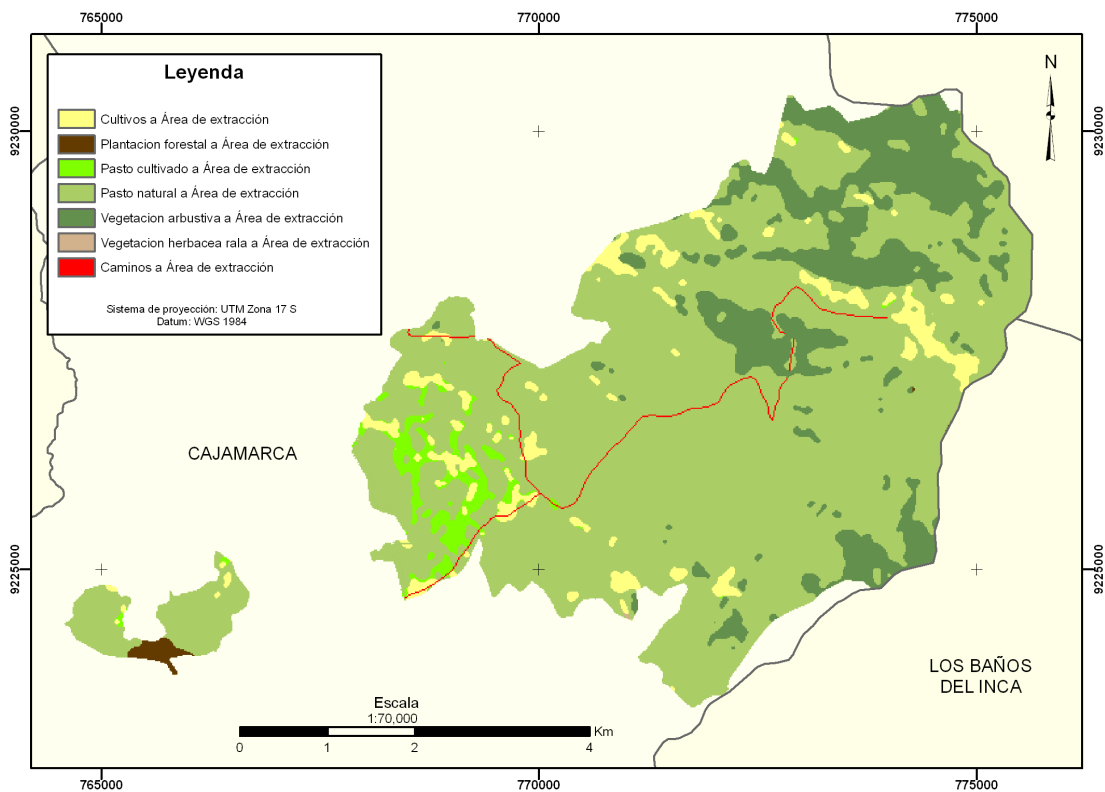


Figura 24. Cambios de coberturas a Área de extracción

Tabla VII. Cambios de las coberturas del suelo a área de extracción 1987-2004

Cambios	Hectáreas	%
Pasto natural a Área de extracción	2405.0	76.4
Vegetación arbustiva a Área de extracción	482.9	15.3
Cultivos a Área de extracción	157.0	5.0
Pasto cultivado a Área de extracción	76.0	2.4
Vías a Área de extracción	15.4	0.5
Plantación forestal a Área de extracción	13.0	0.4
Vegetación herbácea rala a Área de extracción	0.4	0.0

El cuarto cambio más significativo gira alrededor de la plantación forestal, cobertura que ha incrementado su tamaño principalmente a expensas del pasto natural abarcando 8.3% del área que ha experimentado transformaciones. Sin embargo, ésta no es la única cobertura que ha disminuido sino que la cobertura de cultivos también se ha reducido en 620.1 has para favorecer la presencia de la plantación forestal. El cambio de ambas coberturas a plantación forestal se concentra al oeste del distrito, en la zona donde se han desarrollado diferentes programas de reforestación por la Cooperativa Atahualpa, que se encarga del manejo de los bosques de coníferas que conforman la Granja Porcón y en el que se realizan prácticas agropecuarias.

Finalmente, el área de estudio es muy dinámica y los principales protagonistas del cambio en el distrito de Cajamarca están conformados por la vegetación herbácea rala, el área de extracción y la plantación forestal. Existen otros cambios pero son menos relevantes que los mencionados, tal como se observa en la tabla VI.

5.2 Red hidrográfica

El área afectada corresponde a la zona noreste del distrito en la que han desaparecido doce cauces en las siete microcuencas identificadas (Figura 19). Se observa que tres quebradas de la subcuenca del río Rejo, que abarcan un área correspondiente a 1819.7 has., han desaparecido en su totalidad debido a la presencia del área de extracción en la que se llevó a cabo la remoción de pasto natural, vegetación arbustiva, cultivos, pasto cultivado y plantación forestal para la construcción del tajo abierto y de otra infraestructura para las diferentes operaciones mineras. El área perdida corresponde al

23.4% de la subcuenca del Río Shoclla al interior del distrito, la cual tiene una extensión de 7775.2 has.

Entre las microcuencas que corresponden a la subcuenca del Río Mashcón, solamente la cuenca identificada como n° 6 ha desaparecido en su totalidad; mientras que en las restantes, no se puede afirmar lo mismo ya que el cauce principal se mantiene pero con una menor longitud. (Tabla VIII)

Tabla VIII. Longitud de los cauces, 1987 - 2004

Microcuenca	Longitud de los cauces (km)		Diferencia
	1987	2004	
4	6.8	0.2	6.6
5	2.4	0.9	1.5
7	2.0	0.4	1.6

La microcuenca que ha tenido una menor disminución en lo que respecta a la longitud de sus cauces es la 5 con 1.5 km, seguida por la microcuenca 7. En el caso particular de la microcuenca 4, es importante mencionar que la longitud de los cauces en 1987 corresponde a la suma total de ellos y es la que más ha variado.

5.3 Vías

Entre 1987 y 2004, el distrito experimentó una variación en las vías de 48.2 km que comprende tanto la aparición así como la desaparición de vías. (Tabla IX).

Tabla IX: Vías 1987 - 2004

Longitud de vías (km)			
1987	Desaparecidas	Aparecidas	2004
230.3	25	73.2	278.5

El cambio más notable está conformado por la aparición de 73.2 km de vías, de las cuales, el 81.6% están localizadas en el norte del distrito (Figura 25). Esto indica que existe una relación directa entre MYSA y la construcción y mejoramiento de la infraestructura vial ya que para el transporte de la producción minera y de los materiales necesarios para este fin es necesario contar con vías adecuadas. Algunos ejemplos importantes están constituidos por el asfaltado de la carretera Cajamarca – Bambamarca, la pavimentación de la vía de evitamiento y el mejoramiento de la carretera Porcón Alto – Granja Porcón constituyen algunos ejemplos del crecimiento vial en el distrito (MYSA 2002). Además, el 53.3% del total de vías aparecidas entre 1987 y el 2004 se encuentran al interior de la zona minera, es decir, que son usadas exclusivamente por la empresa para los trabajos de la explotación minera.

Por otro lado, las vías que han desaparecido suman un total de 25 km y se encuentran dispersas. Esta desaparición tiene dos causas principales: el crecimiento que ha experimentado el área urbana -en aquellas vías localizadas en el sur-; y la aparición y crecimiento de la zona minera –en aquellas vías al norte. El efecto más relevante está constituido por la pérdida de 3.6 km de la antigua carretera Cajamarca – Bambamarca, su desvío y la posterior construcción de 5.7 km que actualmente pasan por el exterior del área de extracción (mina).

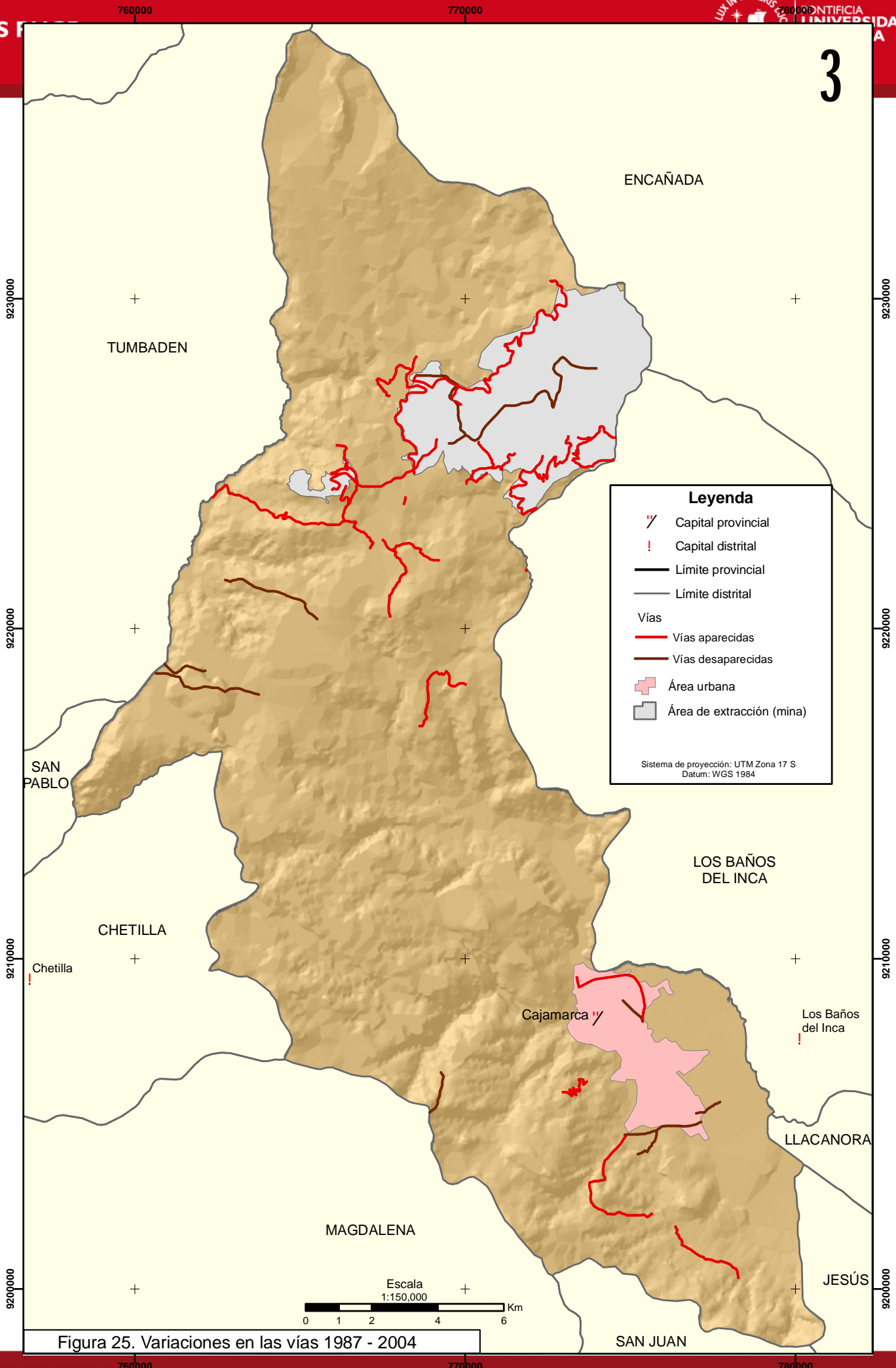


Figura 25. Variaciones en las vías 1987 - 2004

6 CONCLUSIONES

El distrito de Cajamarca se caracteriza en la actualidad por presentar trece unidades de cobertura del suelo según el LCCS, a la que se le incluye una zona sin información, producto de la nubosidad. La unidad de cobertura más extensa está conformada por la de pasto natural que ocupa el 27.5% del área total de estudio. Esta cantidad de unidades de cobertura no era la misma que existía en 1987 puesto que en este año la cobertura de área de extracción (mina) estaba ausente al no iniciarse aún las operaciones de MYSA.

Entre 1987 y 2004, el distrito de Cajamarca ha experimentado un cambio no sólo en la cobertura del suelo sino también en la red hidrográfica y en la red vial. El área total que ha experimentado cambios en la cobertura del suelo es de 17086 has., que representa el 44.9% del distrito. El mayor cambio de estos 17 años es la transformación de cultivos a vegetación herbácea rala ya que ocupan el 21% del área con cambios. Junto con este hecho, la transformación de pasto natural a vegetación herbácea rala, que representa el 13.6% del área con cambios, hacen que ésta última sea la unidad de cobertura que más se incrementó en el período de estudio.

La actividad minera es un agente de cambio que se concentra en el norte del distrito. La cubierta vegetal que ha sido transformada a área de extracción representa el 17.8% del área de estudio mas no el 38% como se planteó en la hipótesis. Asimismo, ha comprometido a siete microcuencas en las que han desaparecido 1819.7 has. de pasto natural, vegetación arbustiva, cultivos, pasto cultivado y plantación forestal.

Existe una relación directa entre la actividad minera y la construcción y mejoramiento de las vías en el distrito. Entre 1987 y 2004, aparecieron 73.2 km de vías cuyo 81.6% se localizan al norte. De estas nuevas vías, el 53.3% son parte del área de extracción y son utilizadas para los trabajos de explotación minera.

Los SIG empleados constituyen una herramienta útil para el tratamiento y almacenamiento de información de manera rápida, eficiente y precisa. La base de datos georeferenciada cuenta con las distintas capas de información que han sido utilizadas para identificar el cambio en la cobertura del suelo en Cajamarca.

Los estudios espacio- temporales son necesarios para evaluar el cambio y las tendencias en el uso del territorio. De esta manera, constituyen una herramienta que permite la planificación del uso sostenido de los recursos.

7 **BIBLIOGRAFÍA**

ANDERSON, James; HARDY, Ernest; ROACH, John; WITMER, Richard. 1976. **A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data.** Washington. Geological Survey Professional Paper 964,

ALONSO, Ignacio y HERRERO, Eliecer. 2001. **El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM + satélite Landsat.** Universidad de Valladolid.

Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA). 2006. **Atlas de Cajamarca.** Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Disponible online en: www.atlascajamarca.info

Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). **Exportaciones por grupo de productos 1950- 2006** en Estadísticas – Cuadros anuales históricos. Disponible online en www.bcrp.gob.pe/bcr/index.php

BRICEÑO, Francisco. 2003. **Cambios de la cobertura de la tierra en el Río Momboy, Estado Trujillo** en Geoenseñanza, vol 8, p. 91- 100.

BURY, Jeffrey. 2004. **Livelihoods in transition: transnational gold mining operations and local change in Cajamarca, Peru** en The Geographical Journal, vol 170, N8 1, marzo.

BURY, Jeffrey. 2005. **Mining mountains: neoliberalism, land tenure, livelihoods, and the new Peruvian mining industry in Cajamarca** en Environment and Planning, vol 37.

BUSSINK, C.B y HIJMANS, Roberto. 2000. **Land- Use Change in the Cajamarca Catchment, Peru, 1975 – 1996.**

Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA). Sitio web: www.conida.gob.pe, visitado el 05/02/07.

Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC) 2006. **Datos de precipitación y temperatura, aeropuerto de Cajamarca.**

CHUVIECO, Emilio. 1996. **Fundamentos de teledetección espacial.** 3ra edición. Madrid, Rialp.

DI GREGORIO, Antonio y JANSEN, Louisa. 2005. **Land Cover Classification System, Classification Concepts and User Manual.** Roma. FAO – ONU.

FAO. **Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. Perú Informe Nacional.** 2005. Roma, FAO – ONU.

FORBES, T.R; ROSSITER, D; VAN WAMBEKE, A 1982. **Guidelines for evaluating the adequacy of soil resources inventories.** Ithaca NY: Cornell University, Dpt of Agronomy.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). **Censo de Población y Vivienda 2005.**

INGETEC S.A. 2003. **Auditoría ambiental y evaluaciones ambientales de las operaciones de Minera Yanacocha en Cajamarca- Perú.** Vol 1, Lima.

Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) 2002. **Normas generales para estudios integrados de recursos naturales,** Lima.

KURAMOTO, Juana. 1999. **Las aglomeraciones productivas alrededor de la Minería: el caso de Minera Yanacocha S.A.** Lima, Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE).

LAMBIN, Eric y GEIST, Helmut (Eds.). 2006. **Land- Use and Land- Cover Change, Local Processes and Global Impacts.** Berlín, Springer.

MADRID, Emilio. 2002. **Minería y comunidades campesinas en los Andes: ¿coexistencia o conflicto?** La Paz, Universidad Técnica de Oruro. Dirección Técnica de Postgrado e Investigación Científica: Centro de Ecología y Estudios Andinos: Programa de Investigación Estratégica en Bolivia.

MINERA YANACOCCHA (MYSA) Sitio web: www.yanacocha.com.pe, visitado el 20/02/07.

MYSA 2002. **Yanacocha: su compromiso con Cajamarca: balance social 1992 – 2001.** Lima, Minera Yanacocha.

Ministerio de Energía y Minas (MEM) 2004. **Anuario Minero 2004.** Disponible online en http://www.minem.gob.pe/archivos/dgm/publicaciones/pub_anuario2004/ANUARIO_2004.pdf Dirección General de Minería, Lima.

NEWMONT The Gold Company. Sitio web: www.newmont.com

Oficina Nacional de Recursos Naturales (ONERN). 1975. **Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la zona sur del departamento de Cajamarca.** Lima.

PALACIOS, Hildebrando. 2006. **Assesing landscape change in a mining area of the Peruvian andes. A case study in the Yanacocha Mine, Cajamarca.** Tesis de Maestría. Departamento de Geografía, Universidad de Bergen, Noruega.

(SASE). 2005. **Estudio de la línea de base de la provincia de Cajamarca. Informe Final.** Comisión Interinstitucional del Estudio de Línea de Base de la Provincia de Cajamarca, Cajamarca.

Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE). 2000. **La actividad minera y la dinamización de la economía local de Cajamarca** en Informativo Mensual, año IX, N812, diciembre.

STRAHLER, Arthur. 1986. **Geografía Física**. Barcelona, Omega.



8 ANEXOS



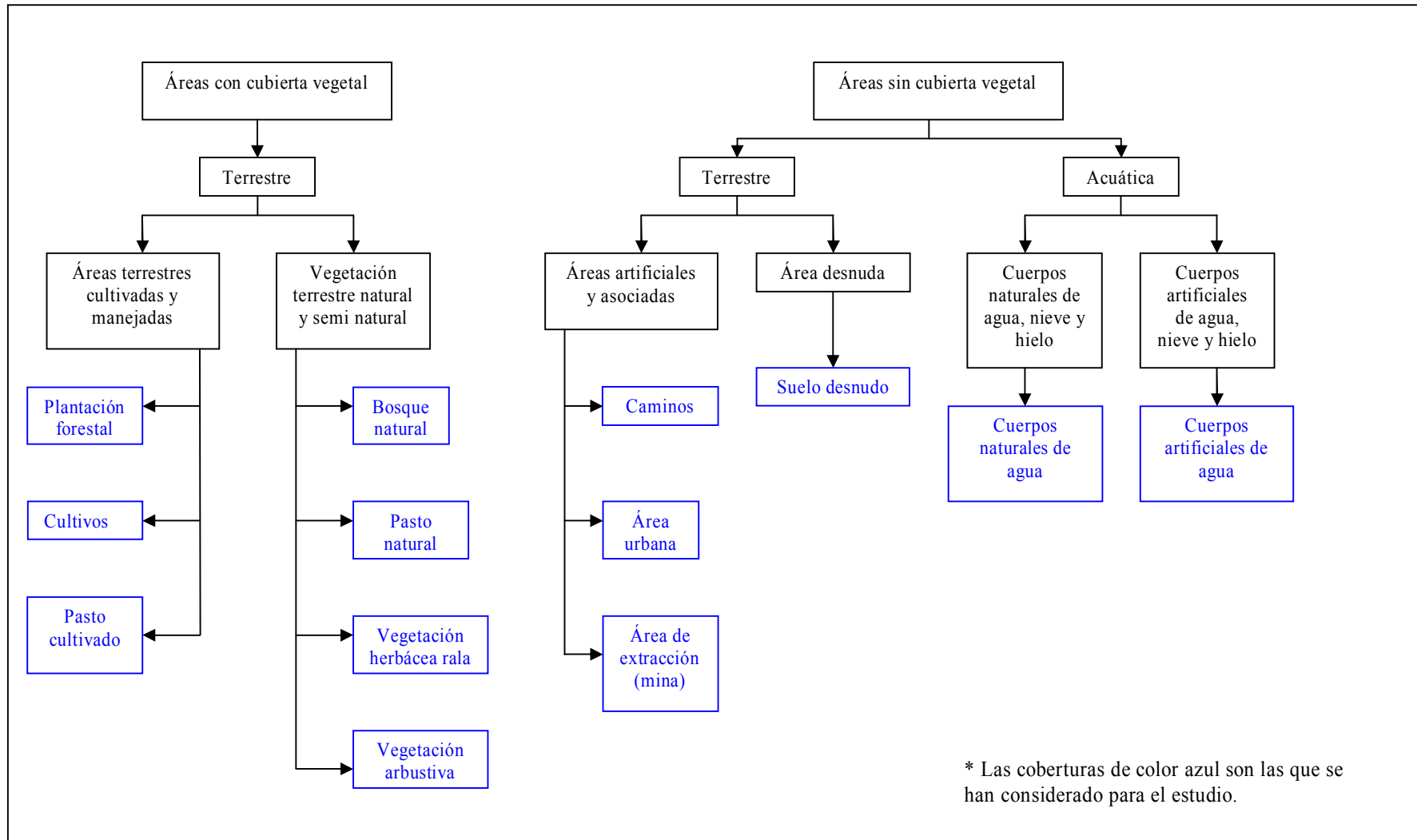
Anexo 1. Matriz de contingencia 1987

Datos clasificados	Datos de referencia										
	Pasto natural	Suelo desnudo	Forestal	Forestal 2	Cultivo	Bosque	Forestal 3	Cultivos 2	Pasto cultivado 1	Pasto natural 1	Vegetación rala 1
Pasto natural	97.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelo desnudo	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	5.32
Forestal	0	0	92.57	0	0	1.55	9.23	0	0	2.84	0
Forestal 2	0	0	2.42	95.77	0	0	0	0	0	0	0
Cultivo	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
Bosque	0	0	2.9	1.41	0	98.45	0.37	0	0	0.28	0
Forestal 3	0	0	1.93	0	0	0	90.41	0	0	0	0
Cultivos 2	0	0	0	0	0	0	0	97.17	0	0.78	0
Pasto cultivado 1	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
Pasto natural 1	0	0	0	0	0	0	0	2.83	0	95.84	0
Vegetación rala 1	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	94.68

Anexo 2. Matriz de contingencia 2004

Datos clasificados	Datos de referencia												
	Vegetación rala 1	Cultivos	Bosque 4	Bosque 3 sombra	Vegetación rala 2	Plantación forestal	Pasto natural	Suelo desnudo	Pasto cultivado	Vegetación rala	Bosque 2	Plantación forestal sombra	Bosque 1
Vegetación rala 1	88.05	0	0	0	14.69	0	0	0	0	0.36	0	0	0
Cultivos	0	83.08	0	0	0	0	0.03	0	0.64	0	0.78	0	0
Bosque 4	0	0	94.21	0	0	0.62	0	0	0	0	0	0	0
Bosque 3 sombra	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vegetación rala 2	1.59	0	0	0	74.66	0	0	0	0	0	0	0	0
Plantación forestal	0	0	5.79	0	0	98.95	0	0	0	0	0	0	0
Pasto natural	0	9.95	0	0	0	0.31	99.53	0	0	0.79	1.55	0	0
Suelo desnudo	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Pasto cultivado	0	0	0	0	0	0	0	0	99.36	0	0	0	0
Vegetación rala	10.36	6.97	0	0	10.65	0.12	0.44	0	0	97.5	12.4	0	69.23
Bosque 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	85.27	0	0
Plantación forestal sombra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.36	0	100	0
Bosque 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.77

Anexo 3. Unidades de cobertura identificadas según LCCS



RESUMEN

En las últimas décadas, las áreas rurales en el Perú han estado cambiando debido a la introducción y desarrollo de nuevas actividades económicas como la minería. Esta es una actividad que genera cambios físicos que se manifiestan en la cobertura del suelo y pueden ser estudiados mediante la geomática.

Se entiende por **cobertura del suelo** a aquella cobertura, ya sea física o biológica, que se observa sobre la superficie de la tierra, y que, desde un sentido estricto, debe ser confinada a la descripción de la vegetación y de los elementos de origen antrópico (Anderson et al. 1976, Di Gregorio y Jansen 2005).

El área de estudio comprende el distrito de Cajamarca, ubicado en la provincia y departamento del mismo nombre, al norte del Perú. Abarca una extensión de 380.5 km² y alberga la explotación minera aurífera más importante del país: Yanacocha.

En base a Palacios (2006), el cambio en la cobertura del suelo en el distrito de Cajamarca se manifiesta en la disminución de la cobertura vegetal en, por lo menos, un 38% de su extensión inicial frente al aumento de tierras en las que desarrolla la actividad minera. Por lo tanto, el objetivo de esta tesis fue identificar la extensión y el cambio en la cobertura del suelo en Cajamarca entre 1987 y 2004, que sirva como información de base para futuros planes de desarrollo. La metodología estuvo basada en el uso de la geomática: percepción remota y SIG. Se utilizó una imagen Aster de 2004 de 15 m. de resolución y una imagen Landsat TM de 1987 de 30 m. de resolución, que fue remuestreada a 15 m; en un trabajo de campo para identificar las principales coberturas y en la adopción del Land Cover Classification System (LCCS) de la FAO.

Como resultado, el área de estudio ha experimentado un cambio en la cobertura del suelo, en la red hidrográfica y vial. El área total que ha experimentado cambios en la cobertura del suelo es de 17086 has., que representa el 44.9% del distrito. El mayor cambio es la transformación de cultivos a vegetación herbácea rala ya que ocupan el 21% del área con cambios. Igualmente, la transformación de pasto natural a vegetación herbácea rala, que representa el 13.6% del área con cambios, hacen que ésta última sea la unidad de cobertura que más se incrementó.

La cubierta vegetal que ha sido transformada a área de extracción representa el 17.8% del área de estudio. Asimismo, ha comprometido a siete microcuencas en las que han desaparecido 1819.7 has. de pasto natural, vegetación arbustiva, cultivos, pasto cultivado y plantación forestal.

BIBLIOGRAFÍA

ANDERSON, James; HARDY, Ernest; ROACH, John; WITMER, Richard. 1976. **A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data**. Washington. Geological Survey Professional Paper 964,

ALONSO, Ignacio y HERRERO, Eliecer. 2001. **El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM + satélite Landsat**. Universidad de Valladolid.

Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA). 2006. **Atlas de Cajamarca**. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Disponible online en: www.atlascajamarca.info

Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). **Exportaciones por grupo de productos 1950- 2006** en Estadísticas – Cuadros anuales históricos. Disponible online en www.bcrp.gob.pe/bcr/index.php

BRICEÑO, Francisco. 2003. **Cambios de la cobertura de la tierra en el Río Momboy, Estado Trujillo** en Geoenseñanza, vol 8, p. 91- 100.

BURY, Jeffrey. 2004. **Livelihoods in transition: transnational gold mining operations and local change in Cajamarca, Peru** en The Geographical Journal, vol 170, N8 1, marzo.

BURY, Jeffrey. 2005. **Mining mountains: neoliberalism, land tenure, livelihoods, and the new Peruvian mining industry in Cajamarca** en Environment and Planning, vol 37.

BUSSINK, C.B y HIJMANS, Roberto. 2000. **Land- Use Change in the Cajamarca Catchment, Peru, 1975 – 1996**.

Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA). Sitio web: www.conida.gob.pe, visitado el 05/02/07.

Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC) 2006. **Datos de precipitación y temperatura, aeropuerto de Cajamarca.**

CHUVIECO, Emilio. 1996. **Fundamentos de teledetección espacial.** 3ra edición. Madrid, Rialp.

DI GREGORIO, Antonio y JANSEN, Louisa. 2005. **Land Cover Classification System, Classification Concepts and User Manual.** Roma. FAO – ONU.

FAO. **Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. Perú Informe Nacional.** 2005. Roma, FAO – ONU.

FORBES, T.R; ROSSITER, D; VAN WAMBEKE, A 1982. **Guidelines for evaluating the adequacy of soil resources inventories.** Ithaca NY: Cornell University, Dpt of Agronomy.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). **Censo de Población y Vivienda 2005.**

INGETEC S.A. 2003. **Auditoría ambiental y evaluaciones ambientales de las operaciones de Minera Yanacocha en Cajamarca- Perú.** Vol 1, Lima.

Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) 2002. **Normas generales para estudios integrados de recursos naturales,** Lima.

KURAMOTO, Juana. 1999. **Las aglomeraciones productivas alrededor de la Minería: el caso de Minera Yanacocha S.A.** Lima, Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE).

LAMBIN, Eric y GEIST, Helmut (Eds.). 2006. **Land- Use and Land- Cover Change, Local Processes and Global Impacts.** Berlín, Springer.

MADRID, Emilio. 2002. **Minería y comunidades campesinas en los Andes: ¿coexistencia o conflicto?** La Paz, Universidad Técnica de Oruro. Dirección Técnica

de Postgrado e Investigación Científica: Centro de Ecología y Estudios Andinos:
Programa de Investigación Estratégica en Bolivia.

MINERA YANACOCHA (MYSA) Sitio web: www.yanacocha.com.pe, visitado el
20/02/07.

MYSA 2002. **Yanacocha: su compromiso con Cajamarca: balance social 1992 –
2001**. Lima, Minera Yanacocha.

Ministerio de Energía y Minas (MEM) 2004. **Anuario Minero 2004**. Disponible online
en
http://www.minem.gob.pe/archivos/dgm/publicaciones/pub_anuario2004/ANUARIO_2004.pdf Dirección General de Minería, Lima.

NEWMONT The Gold Company. Sitio web: www.newmont.com

Oficina Nacional de Recursos Naturales (ONERN). 1975. **Inventario, evaluación y uso
racional de los recursos naturales de la zona sur del departamento de Cajamarca**.
Lima.

PALACIOS, Hildebrando. 2006. **Assesing landscape change in a mining area of the
Peruvian andes. A case study in the Yanacocha Mine, Cajamarca**. Tesis de
Maestría. Departamento de Geografía, Universidad de Bergen, Noruega.

(SASE). 2005. **Estudio de la línea de base de la provincia de Cajamarca. Informe
Final**. Comisión Interinstitucional del Estudio de Línea de Base de la Provincia de
Cajamarca, Cajamarca.

Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE). 2000. **La actividad
minera y la dinamización de la economía local de Cajamarca** en Informativo
Mensual, año IX, N812, diciembre.

STRAHLER, Arthur. 1986. **Geografía Física**. Barcelona, Omega.