



Universidad del Azuay
Departamento de Posgrados
Maestría en Geomática
con mención en Ordenamiento Territorial

"Análisis de cambios de usos de suelo multitemporal en el
Cantón Cuenca"

Autora: María Verónica Guallas León.

Directora: Dra. Montserrat Gómez Delgado

Cuenca - Ecuador

2015

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a quien fue mi luz en el camino mi sobrino José David y a su complemento mi sobrina Katherine Azucena, ya que con su compañía e inocencia me animaban cada vez que lo necesitaba.

A los profesores que nos impartieron sus conocimientos a lo largo de mi preparación académica, ya que con sus palabras nos motivaban a buscar la excelencia en el ámbito profesional, pero sin olvidar lo más importante que es mejorar como persona y aportar con nuestro conocimiento al bienestar de la sociedad.

Verónica Guaiñas León.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por estar siempre conmigo y haberme permitido lograr esta meta.

A mi madre María Inés León por su apoyo incondicional, además le tengo gran respeto y admiración por todo su esfuerzo y sacrificio.

También agradecer a todas y cada una de las personas que me brindaron su apoyo, a cada uno de ellos le tengo un cariño muy especial. A mis hermanos ya que me supieron motivar en los momentos difíciles.

Al Dra. Montserrat Gómez D. y al Msc. Ing. Omar Delgado I. por su apoyo en la elaboración de la investigación.

Verónica Guaiñas León.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
CAPÍTULO I	9
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	10
1.1. INTRODUCCIÓN	10
1.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
1.3. FUENTES DE DATOS	13
CAPÍTULO II.....	17
2. METODOLOGÍA.....	18
2.1. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y OBTENCIÓN DE MAPAS DE USOS DEL SUELO	18
2.1.1. <i>Procesamiento de imágenes</i>	18
2.1.2. <i>Obtención de mapas de uso de suelo</i>	19
2.1.2.1. Fase de entrenamiento.....	19
2.1.2.2. Fase de asignación	20
2.1.2.3. Verificación de resultados.....	21
2.2. MEDICIÓN DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO	21
2.2.1. <i>Matriz de transición.</i>	21
2.2.2. <i>Medición de cambios significativos mediante transiciones sistemáticas.</i>	23
2.2.2.1. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias	24
2.2.2.2. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las pérdidas	25
CAPÍTULO III	27
3. RESULTADOS	28
3.1. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y OBTENCIÓN DE MAPAS DE USO DE SUELO.	28
3.1.1. <i>Descripción de los productos obtenidos en la USGS</i>	28
3.1.2. <i>Corrección de GAP FILL</i>	28
3.1.3. <i>Leyenda a utilizar en los mapas de usos de suelo</i>	29
3.1.4. <i>Elaboración de los mapas de usos de suelo</i>	31
3.1.5. <i>Resultados de los Mapas de Usos de Suelo</i>	32
3.2. MEDICIÓN DE LOS CAMBIOS DE USOS DE SUELO: APLICACIÓN METODOLOGÍA	36
3.2.1. <i>Aplicación de la Matriz de transición</i>	36
3.2.1.1. Matriz de Transición 1991 - 2001	36

3.2.1.2.	Matriz de Transición 2001 - 2011	39
3.2.1.3.	Comparación de los cambios presentados en los dos períodos de estudio 1991-2001 y 2001 - 2011.....	42
3.2.2.	<i>Medición de cambios significativos mediante transiciones sistemáticas.</i>	46
3.2.2.1.	Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias y pérdidas 1991 - 2001.....	46
3.2.2.2.	Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias y pérdidas 2001 - 2011.....	47
3.2.2.3.	Pérdidas, Persistencias y Ganancias significativas presentadas entre los dos períodos (t1t2, t2t3)	50
CAPÍTULO IV.....		62
4.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	63
4.1.	CONSECUENCIAS DE LA EVOLUCIÓN TERRITORIAL ACONTECIDA	63
4.2.	DIRECTRICES DE DESARROLLO TERRITORIAL SOSTENIBLE	65
4.3.	CONCLUSIONES	66
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
6.	ANEXOS.....	71
6.1.	PORCENTAJE DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN FUNCIÓN DE LAS GANANCIAS 1991-2001	72
6.2.	PORCENTAJE DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN FUNCIÓN DE LAS GANANCIAS 2001-2011	73
6.3.	PORCENTAJE DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN FUNCIÓN DE LAS PÉRDIDAS 1991-2001	74
6.4.	PORCENTAJE DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN FUNCIÓN DE LAS PÉRDIDAS 2001-2011	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio.....	13
Figura 2: Imágenes satelitales LandSat5.	15
Figura 3: Imágenes satelitales LandSat7.	16
Figura 4: Esquema de tratamiento digital de una imagen satélite.	18
Figura 5 Matriz de transición.....	22
Figura 6: Comparación de la imagen de Junio del 2011 sin relleno (izquierda) y con relleno (derecha)	29
Figura 7: Clasificación digital de imágenes.....	32
Figura 8: Mapa de Usos de Suelo del Cantón Cuenca 1991.....	33
Figura 9: Mapa de Usos de Suelo del Cantón Cuenca 2001.....	34
Figura 10: Mapa de Usos de Suelo del Cantón Cuenca 2011.....	35
Figura 11: Ganancias y pérdidas de las categorías entre 1991 y 2001 (ha).....	37
Figura 12: Contribución al Cambio Neto en Páramo entre 1991 y 2001 (ha)	37
Figura 13: Contribución al Cambio Neto en Arbustos y matorrales entre 1991 y 2001 (ha)	38
Figura 14: Ganancias y Pérdidas de las categorías entre 2001 y 2011 (ha).....	40
Figura 15: Contribución al Cambio Neto en Arbustos y Mat. entre 2001 y 2011 (ha).....	40
Figura 16: Contribución al Cambio Neto en Páramo entre 2001 y 2011 (ha)	41
Figura 17: Ganancias período 1 (t1t2) y período 2(t2t3).	43
Figura 18: Pérdidas período 1 (t1t2) y período 2(t2t3).	44
Figura 19: Cambio Neto período 1 (t1t2) y período 2(t2t3).	45
Figura 20: Intercambio entre el período 1 (t1t2) y período 2(t2t3).....	46
Figura 21: Transiciones significativas en función de ganancias 1991-2001-2011	49
Figura 22: Transiciones significativas en función de pérdidas 1991-2001-2011	50
Figura 23: Pérdidas, Persistencias, Ganancias de la categoría de Tejido Urbano Discontinuo entre 1991 y 2001	51
Figura 24: Pérdidas, Persistencias, Ganancias de la categoría de Tejido Urbano Discontinuo entre 2001 y 2011	53
Figura 25: Pérdidas, Persistencias, Ganancias de la categoría de Tejido Urbano Continuo entre 1991 y 2001	55
Figura 26: Pérdidas, Persistencias, Ganancias de la categoría de Tejido Urbano Continuo entre 2001 y 2011	57
Figura 27: Pérdidas, Persistencias, Ganancias de la categoría de Arbustos y Matorrales entre 1991 y 2001	59
Figura 28: Pérdidas, Persistencias, Ganancias de la categoría de Arbustos y Matorrales entre 2001 y 2011	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de Procesado del Satélite LandSat.....	14
Tabla 2: Ecuaciones para la medición de cambios de usos de suelo.	23
Tabla 3: Niveles de procesado de las imágenes a utilizar.....	28
Tabla 4: Leyenda CorineLandCover Colombia.....	30
Tabla 5: Leyenda a emplear en los mapas de usos de suelo.	31
Tabla 6: Valores de cambios 1991-2001 por categorías expresado en porcentaje del área total de estudio.	36
Tabla 7: Valores de cambios 2001-2011 por categorías expresado en porcentaje del área total de estudio.....	39
Tabla 8: Transiciones significativas en función de pérdidas y ganancias 1991-2001	47
Tabla 9: Transiciones significativas en función de pérdidas y ganancias 2001-2011	48
Tabla 10: Matriz de cambios 1991-2001 en porcentaje del área total en términos de ganancias	72
Tabla 11: Matriz de cambios 2001-2011 en porcentaje del área total en términos de ganancias	73
Tabla 12: Matriz de cambios 1991-2001 en porcentaje del área total en términos de pérdidas	74
Tabla 13: Matriz de cambios 2001-2011 en porcentaje del área total en términos de pérdidas	75

RESUMEN

Los cambios de uso del suelo se producen por el desarrollo de actividades humanas y transformaciones naturales de los ecosistemas. La presente investigación tiene como finalidad analizar los cambios de usos de suelo del cantón Cuenca, con el uso de las Tecnologías de Información Geográfica. En el estudio se empleará imágenes LandSat, se elaborará mapas de usos de suelo, posteriormente se aplicará la metodología de R.G. Pontius y otros para cuantificar los cambios ocurridos y obtener las pérdidas, ganancias, cambio neto, cambio total, intercambio y cambios significativos ocurridos en el territorio.

En los resultados obtenidos se pudo determinar que los cambios significativos ocurridos en el territorio se dan en los usos de suelo de Tejido urbano discontinuo, Tejido urbano continuo, Tierras desnudas y degradadas y en los Arbustos y matorrales, entre 1991, 2001 y 2011.

Palabras Clave:

Tecnologías de la Información Geográfica, Cambios de Usos de Suelo, Cambios significativos, Cantón de Cuenca.

ABSTRACT

The changes in land use are produced by the development of human activities and natural transformations of ecosystems. This research aims to analyze the changes in land use in the canton of Cuenca through Geographic Information Technologies. The study will use Landsat images, and land use maps will be produced; subsequently, the RG Pontius methodology and others will be applied to quantify changes and obtain losses, gains, net change, total change, exchange and significant changes occurred in the territory. In the results obtained, it was determined that the significant changes in the territory occurred in the land use of discontinuous urban fabric, continuous urban fabric, bare and degraded land, and in shrubs and bushes, between 1991, 2001 and 2011.

Keywords: Geographic Information Technology, Land Use Changes, Significant Changes, Cuenca Canton.




Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Introducción

Los cambios de usos del suelo aparecen como consecuencia del desarrollo de actividades humanas y fenómenos naturales. Los primeros se producen principalmente por la aparición de usos urbanos (infraestructura, servicios, vivienda, comercial, industrial, mineros, etc.) y el avance de la frontera agrícola. Mientras que el segundo puede ser causado por huracanes, incendios, deslizamientos, inundaciones entre otros. El desarrollo acelerado e ineficiente de actividades humanas en el territorio provoca desequilibrios ambientales y degradación en el territorio. Hay que considerar que los cambios producidos en los diferentes usos de suelo, causan diferente impacto dependiendo de la capacidad de carga del territorio, prolongación de desarrollo de la actividad en su duración y extensión (García et al. 2015).

En el cantón Cuenca se han realizado mapas de usos del suelo en diferentes períodos; estos son empleados para analizar y clasificar los usos de suelo que la población realiza en el territorio y definir estrategias a la protección del ambiente (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2011), pero dichos mapas no pueden ser utilizados en el estudio ya que existe una inconsistencia en la categorización de usos de suelo entre los mapas de las diferentes fechas que podrían causar solapamiento entre los usos de suelo y afectar significativamente los resultados del estudio. También existen investigaciones de la influencia de los cambios de uso de suelo en la calidad ambiental de la cuenca hidrográfica de Déleg cercana al cantón. Se han realizado estudios sobre las vulnerabilidades del cantón en donde se presentan las características territoriales y poblacionales del cantón (Bermeo Moyano et al. 2013). Además se han encontrado trabajos de análisis de cambios de usos de suelo de la Comunidad de Madrid (España) en donde se analiza la dinámica de ocupación de suelo y que permite detectar cambios ocurridos que no son fácilmente identificables (Plata et al. 2009).

Sin embargo no se han encontrado investigaciones del cambio de uso de suelo multitemporal, que permita analizar los cambios acontecidos en el cantón. Las TIG (Tecnologías de Información Geográfica) son herramientas de apoyo para la elaboración de investigaciones del territorio por su capacidad de procesamiento y disponibilidad de software de análisis, siempre que haya información disponible y de calidad sobre dicho territorio.

Con la finalidad de conocer la evolución del territorio y cuantificarlo se desarrolla el estudio de los cambios de usos de suelo empleando imágenes satélite LandSat 5 y 7 disponibles, estos son sometidos a procesos minuciosos para el procesamiento de las imágenes y posterior elaboración de mapas de usos de suelo, finalmente se utiliza la metodología de R.G. Pontius y otros (Pontius et al. 2004) para identificar los cambios ocurridos en el territorio; mediante la aplicación de esta metodología se podrá conocer los usos de suelo que mayores ganancias y pérdidas hayan sufrido, los intercambios ocurridos entre usos de suelo, cambio neto y cambio total. En función de las ganancias y pérdidas obtenidas se podrán determinar los cambios ocurridos realmente significativos. La información obtenida nos ayudará a analizar los cambios presentados entre los años de 1991, 2001 y 2011, los mismos que se podrán comparar con la finalidad de determinar similitudes y diferencias en su comportamiento.

Los resultados obtenidos nos permitirán identificar las tendencias de cambio del territorio. Dichos resultados serán importantes para establecer directrices que permitan corregir tendencias que podrían tener consecuencias negativas sobre el territorio.

1.2. Descripción del área de estudio

El Cantón Cuenca se encuentra ubicado en la región centro sur del Ecuador, al noroccidente de la Provincia del Azuay en la Cordillera de Los Andes, con una superficie de 366 533 ha., a una altura promedio de 2.500 msnm., con una temperatura promedio de 14° C. Se encuentra limitado al norte con la Provincia del Cañar, al sur

con los Cantones de San Fernando, Santa Isabel y Girón, al oeste con la Provincia del Guayas y hacia el este con los Cantones Paute, Gualaceo y Sígig.

La ciudad de Cuenca es la capital de la provincia del Azuay, actualmente es la tercera ciudad más importante del Ecuador. En 1999 fue declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO. La ciudad está atravesada por cuatro ríos: Machángara, Tomebamba, Yanuncay y Tarqui. Además está conformada por espacios naturales de conservación importantes tales como el Parque Nacional Cajas y el Bosque Aguarongo. El Parque Nacional Cajas es único en el mundo por su diversidad, está conformado en su mayor parte por páramo y tiene más de 2000 cuerpos de agua, también contribuyen a mantener el equilibrio ambiental y la regulación y conservación del recurso hídrico (ETAPA 2015).

En la Figura 1 se muestra el área de estudio y la jurisdicción político-administrativa que comprende 15 parroquias urbanas y 21 parroquias rurales. El área urbana se encuentra conformada por las parroquias de: Bellavista, Cañaribamba, El Batán, El Sagrario, El Vecino, Gil Ramírez Dávalos, Hermano Miguel, Huayna Cápac, Machángara, Monay, San Blas, San Sebastián, Sucre, Totoracocha y Yanuncay. Mientras que el área rural está conformada por las parroquias de: Baños, Chaucha, Checa, Chiquintad, Cumbe, El Valle, Llacao, Molleturo, Nulti, Octavio Cordero Palacios, Paccha, Quingeo, Ricaurte, San Joaquín, Santa Ana, Sayausí, Sidcay, Sinincay, Tarqui, Turi y Victoria del Portete.

Según datos obtenidos en el censo del 2010 realizado por el INEC (Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos), el cantón tiene una población aproximada de 505.585 habitantes, de los cuales el 65,3% (329.928 habitantes) viven en el área urbana, mientras que el 34,7% (175.657 habitantes) viven en el área rural.

CANTÓN CUENCA

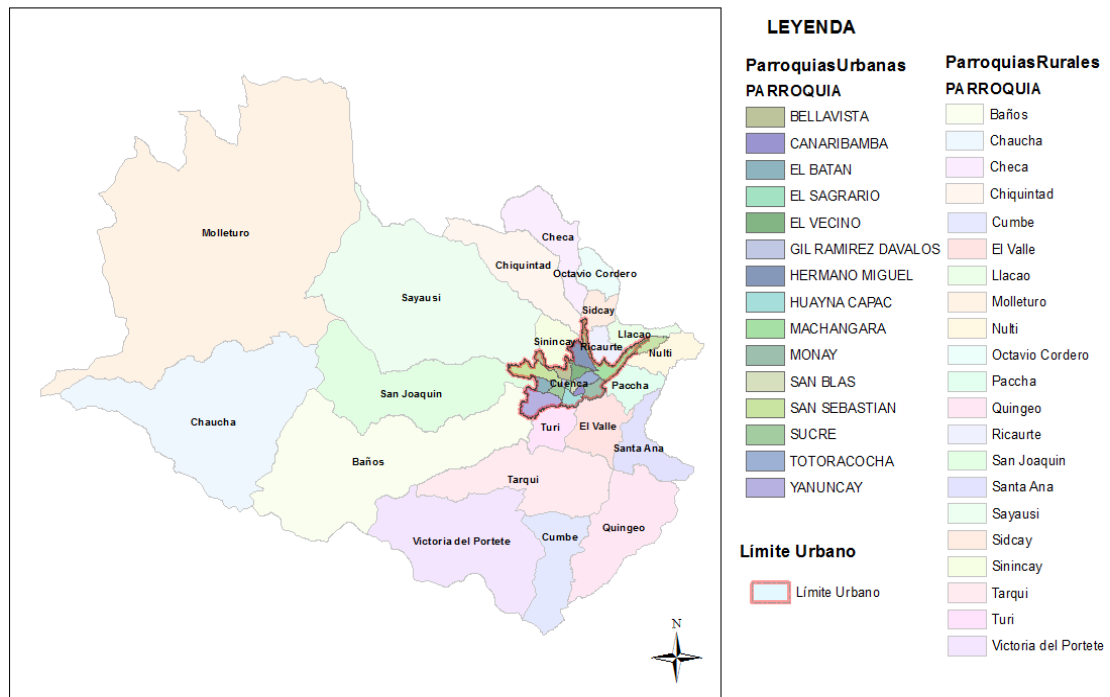


Figura 1. Mapa del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca 2011

1.3. Fuentes de datos

La investigación multitemporal de cambios de usos de suelo se basa en la utilización de imágenes satélite LandSat 5 y LandSat 7 con resolución espacial de 30m, ya que es un sensor de resolución media, que proporciona una cobertura periódica en condiciones similares de observación del área de estudio.

Las imágenes satelitales LandSat se encuentran disponibles gratuitamente en la agencia científica del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey) en su página web <http://glovis.usgs.gov> o en <http://earthexplorer.usgs.gov>.

Las imágenes LandSat se encuentran disponibles en diferentes niveles de procesado, a continuación en la Tabla 1 se describen brevemente estos niveles:

Niveles de Procesado	
Nivel	Descripción
L0R	Imagen con datos en bruto, con información auxiliar para correcciones radiométricas y geométricas.
L1R	Imagen corregida radiométricamente, actualmente se encuentra obsoleto.
L1G	Imagen corregida radiométrica y geométricamente, utilizando los datos recogidos por el sensor y naves espaciales. La precisión geométrica del producto está alrededor de los 250m en sitios con bajo relieve sobre el nivel del mar.
L1G T	Imagen corregida radiométrica y geométricamente. Usa el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) para exactitud topográfica en el proceso de corrección .
L1T	Imagen corregida radiométrica y geométricamente. Imagen de máxima precisión geométrica, ya que usa Puntos de control en tierra (GCP) para mayor precisión y emplea el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) para exactitud topográfica en el proceso de corrección.

Tabla 1 Niveles de Procesado del Satélite LandSat.

Fuente: Elaboración propia a partir de Science Data Users Handbook de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Las fechas seleccionadas para la investigación se basaron en el interés de conocer y comparar los cambios territoriales ocurridos en dos períodos de tiempo por un lapso de 10 años que se vieron influenciados por una crisis económica grave y una posterior recuperación económica. Los períodos de estudio seleccionados son totalmente opuestos desde el punto de vista económico, debido a que en el período 1 de 1991-2001 (t1t2), se caracteriza por ser un período de crisis económica, durante los primeros años debido a gastos del gobierno en armamento militar por conflictos limítrofes con el vecino país de Perú, agravándose en 1999 por una crisis financiera y desencadenando un feriado bancario, ocasionando una alta migración por la crisis económica y posteriormente dándose un proceso de dolarización en el 2000 (BCE 2010).

Mientras que el período 2 del 2001-2011 (t2t3), se caracteriza por la estabilización y recuperación de la economía debido a la implementación de la dolarización, al incremento significativo del precio del petróleo y al aumento de las remesas de los migrantes. Además las actividades de construcción se incrementaron notablemente hasta el 2009 (BCE 2010).

Motivo por el cual para el análisis se emplean tres imágenes (Path 10 y Row62) de octubre de 1991 (sensor TM), noviembre del 2001 (sensor ETM+) y junio del 2011 (sensor ETM+), correspondiente a una serie temporal de 20 años (1991-2011). Cabe mencionar que las imágenes obtenidas son las que presentaron mejores características ya que se encontraban con menor cantidad de nubes en el área de estudio.

En la Figura 2 se muestra la imagen LandSat5 de 1991.

IMAGENES SATELITALES LANDSAT 5 DE 1991 **Octubre del 1991**

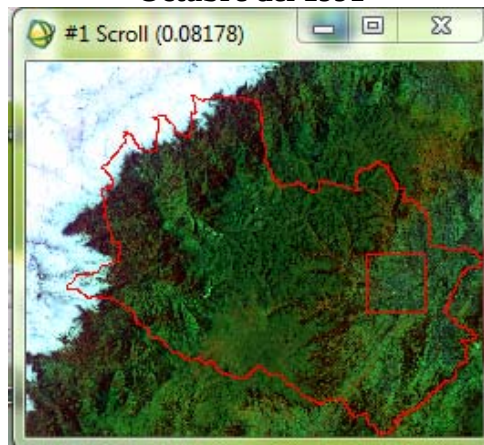


Figura 2: Imágenes satelitales LandSat5.
Fuente: Elaboración propia a partir de la USGS.

En la Figura 3 se muestran las imágenes LandSat7 de 2001 y 2011.

IMAGENES SATELITALES LANDSAT 7 DEL 2001 Y 2011

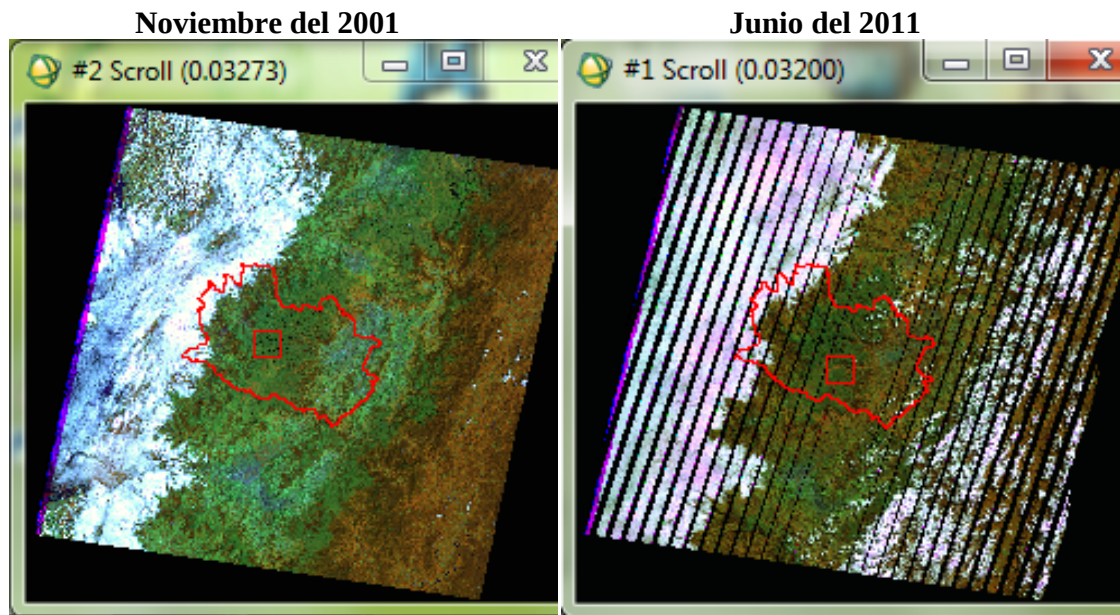


Figura 3: Imágenes satelitales LandSat7.
Fuente: Elaboración propia a partir de la USGS.

Una vez obtenidas la serie de imágenes para el estudio, se debe proceder a realizar el procesamiento de las imágenes, para su posterior clasificación digital.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

La metodología a aplicar en la investigación consta de dos partes la primera el procesamiento de imágenes y obtención de mapas de usos del suelo y la segunda la medición de cambios de usos del suelo. La primera parte del procesamiento de imágenes satélite consiste en la corrección de los gaps (huecos) de la imagen del año 2011 empleando el software ENVI Versión 4.8, a continuación se procede con la digitalización de nubes en ArcGis Versión 10.1 y posteriormente, para la elaboración de los mapas de usos del suelo, se emplea el software Ecognition Developer 8. En la segunda parte del análisis de cambios de usos del suelo se emplea el Software Idrisi Selva Versión 17.0, específicamente el módulo Land Change Modeler for Ecological Sustainability. En las siguientes secciones se describe la metodología a utilizar.

2.1. Procesamiento de imágenes y obtención de mapas de usos del suelo

2.1.1. Procesamiento de imágenes

Las correcciones son procesos que nos ayudan a eliminar anomalías de localización y radiometría detectadas en una imagen. Los ruidos causados a la señal receptada por el satélite pueden causar distorsiones radiométricas y geométricas (Chuvieco 2010). En la Figura 4 se muestra un esquema del tratamiento digital de las imágenes satélite.

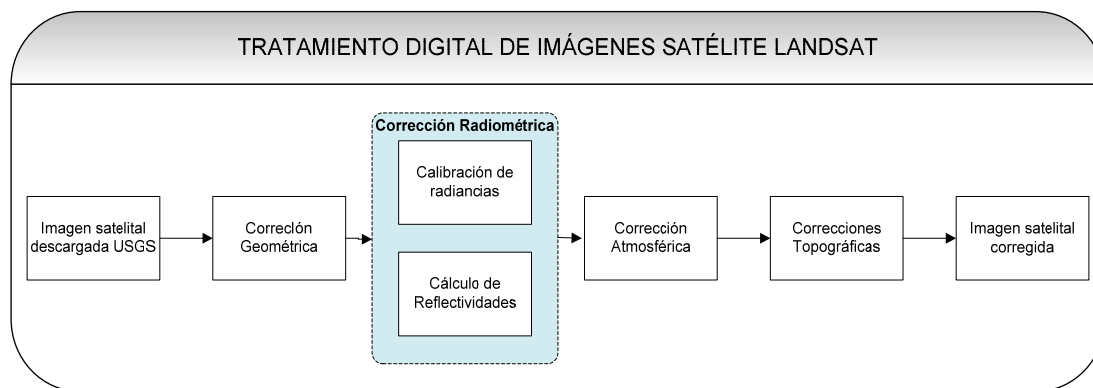


Figura 4: Esquema de tratamiento digital de una imagen satélite.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las correcciones de las imágenes se debe de realizar la detección de nubes, debido a que son un obstáculo para el análisis de la variación de la superficie terrestre, siendo importante poder discriminarlas y aislarlas para poder evitar la distorsión de las imágenes.

Una forma eficaz de discriminar las nubes es la interpretación visual, pero es una tarea tediosa. Motivo por el cual se aplican técnicas de análisis digital tales como: aplicación de una serie de test consecutivos y técnicas de clasificación no supervisada (Chuvienco 2010).

2.1.2. Obtención de mapas de uso de suelo

A través de la clasificación digital se obtiene un inventario de las categorías de usos de suelo, a partir de esta imagen se puede generar cartografía temática, obtener la superficie de cada categoría y obtener la información requerida para el estudio de cambios de usos de suelo. La clasificación digital se compone de tres fases: fase de entrenamiento, fase de asignación y validación de resultados.

2.1.2.1. Fase de entrenamiento

La fase de entrenamiento es compleja y de gran importancia, en esta fase se definen cada una de las categorías a discriminarse; para esto se selecciona una muestra de píxeles de la imagen que representarán cada una de las categorías, posteriormente estas muestras se utilizan en las estimaciones para llevar a cabo la clasificación (Chuvienco 2010). Los métodos más conocidos son: la clasificación supervisada y la no supervisada.

Una vez definidas las áreas de entrenamiento se debe examinar la separabilidad de las categorías seleccionadas, previo a la ejecución del proceso de clasificación. El análisis de las estadísticas de entrenamiento evalúa la discriminación correcta de las clases sin errores graves.

Para realizar una evaluación numérica se obtiene una matriz de separabilidad, en el cual se calcula la divergencia transformada, estos valores nos permiten analizar la posible confusión entre clases(Chuvieco 2010). Los rangos considerados aceptables son de 1.98 a 2 para una discriminación sin solapes entre categorías.

2.1.2.2. Fase de asignación

En la fase de asignación se asignan los píxeles de la imagen original a una de las clases definidas anteriormente en la fase de entrenamiento, para cada una de las bandas involucradas en el proceso. Como resultado se obtiene una imagen clasificada, en donde los ND representan las categorías temáticas (Chuvieco 2010). Los criterios de asignación generalmente empleados son:

- o Mínima distancia:**

Este método es sencillo y de rápido procesamiento que trata de asignar un píxel a una de las categorías más cercanas, lo que busca es minimizar la distancia espectral entre el píxel y el centroide de la clase. Se obtienen buenos resultados ya que no deja píxeles sin clasificar, pero puede ocasionar errores de comisión importantes.

- o Paralelepípedos:**

Este método es sencillo. Primero se debe establecer un área de dominio para cada categoría, luego asignar el píxel a una clase que se encuentre dentro del área de dominio. Se debe considerar que si se establece un umbral muy alto incrementa el riesgo de confusión entre categorías cercanas, mientras que si el umbral es pequeño mejora la fiabilidad, pero se tiene el riesgo de incrementar el número de píxeles sin clasificar.

o Máxima probabilidad:

Este método es complejo y de elevado procesamiento, se basa en el cálculo de la probabilidad de que un píxel pertenezca a una categoría, se asigna un píxel a la categoría que maximice la función de la probabilidad.

Este método es el más empleado en teledetección ya que es robusto. Cuando mayor es el solape entre las funciones de probabilidad, se incrementan los errores en la clasificación.

2.1.2.3. Verificación de resultados

La matriz de confusión recoge los conflictos que se presentan entre categorías. En la diagonal de la matriz se expresa el número de puntos que son acuerdos entre las categorías, mientras que los valores fuera de la diagonal expresan errores de asignación. A partir de la matriz de confusión se pueden obtener medidas estadísticas que nos permite validar la clasificación de la imagen realizada, como la fiabilidad global, la fiabilidad del usuario y del productor y el estadístico Kapa(Chuvieco 2010).

2.2. Medición de los cambios de usos del suelo

2.2.1. Matriz de transición.

El análisis para conocer la evolución del territorio se basa en la metodología desarrollada por R.G. Pontius y otros, a partir de la elaboración de una matriz de transición o de cambios, esta metodología permite obtener para cada categoría de uso de suelo, ganancias, pérdidas, intercambios, cambio neto y cambio total entre dos fechas (Pontius et al. 2004).

Como se puede observarse en la Figura 5, en la diagonal principal se muestran las persistencias entre los dos momentos temporales, los elementos fuera de la diagonal principal muestran los cambios ocurridos para cada categoría entre el tiempo 1 (T1) y el tiempo 2 (T2) (Plata et al. 2009).

En la fila 6 se recoge el total ocupado por cada categoría en el T2 (P_{+j}), y en la columna 6 se recoge el total de cada categoría en el tiempo T1 (P_{i+}) (Plata et al. 2009). Mientras que en la fila 7 muestra la ganancia obtenida por cada categoría entre el T1 y T2, y en la columna 7 se muestra la pérdida de cada categoría entre el tiempo T1 y T2. (Plata et al. 2009).

Medición de Cambios de Uso de Suelo

		Categorías segunda fecha						
		1	2	3	4	5	6	7
		Tiempo 1	Clase 1	Clase 2	.....	Clase n	Suma T1	Pérdidas
1	Clase 1		P_{11}	P_{12}	.....	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{jj}$
2	Clase 2		P_{21}	P_{22}	.....	P_{2n}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{jj}$
3	.....		.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	Clase n		P_{n1}	P_{n2}	.....	P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{jj}$
5	Suma T2		P_{+1}	P_{+2}	.....	P_{+n}	P	
6	Ganancias		$P_{+1} - P_{jj}$	$P_{+2} - P_{jj}$	.....	$P_{+n} - P_{jj}$		

Figura 5 Matriz de transición.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de (Pontius et al. 2004)

En la Tabla 2 se describe las ecuaciones a emplear para la medición de cambios de usos de suelo.

Descripción Ecuaciones	Ecuación
Ganancias (G_{ij}): es la diferencia de la suma total de la fila 6 (P_{+j}) y los valores de la diagonal principal (P_{jj}).	$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj}$
Pérdidas (L_{ij}): es la diferencia de la suma total de la columna 6 (P_{j+}) y los valores de la diagonal principal (P_{jj}).	$L_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$
Cambio Neto (D_j): es el valor absoluto de la diferencia de pérdidas (L_{ij}) y ganancias (G_{ij}) de cada categoría. El cambio	$D_j = |L_{ij} - G_{ij}|$

neto indica un cambio definitivo de la categoría entre el tiempo 1 y el tiempo 2.	
Intercambio (S_j): es el doble del valor mínimo de las ganancias ($P_{j+} - P_{jj}$) o pérdidas ($P_{j+} - P_{jj}$).	$S_j = 2 \times \text{MIN}(P_{j+} - P_{jj}, P_{j+} - P_{jj})$
Cambio Total (DT_j): es la suma de las ganancias (G_{ij}) y las pérdidas (L_{ij}).	$DT_j = G_{ij} + L_{ij}$

Tabla 2: Ecuaciones para la medición de cambios de usos de suelo.
Fuente:(Pontius et al. 2004)

La falta de cambio neto no necesariamente indica la ausencia de cambio del paisaje, ya que puede existir un intercambio que no es captado, más bien el cambio neto determina el cambio absoluto de una categoría a otra. Mientras que el intercambio es el cambio de posición de una categoría entre ellas.

2.2.2. Medición de cambios significativos mediante transiciones sistemáticas.

El análisis mediante la matriz de transición nos ayuda a obtener las ganancias, pérdidas y persistencias, sin embargo no permite detectar la existencia de transiciones sistemáticas entre categorías ya que no evalúa los valores fuera de la diagonal principal. Para identificar las señales dominantes de los cambios de los usos del suelo se utilizan nuevos métodos estadísticos, que permiten identificar señales de procesos sistemáticos en los cambios de usos de suelo.

Mediante transiciones sistemáticas se podrá conocer si los cambios de usos de suelo producidos son realmente significativos, esto se realizará en función de las ganancias y pérdidas obtenidas en la matriz de transición (Pontius et al. 2004).

Posteriormente para identificar si los cambios son significativos se obtendrá la diferencia entre los valores observados (matriz de transición) y los valores esperados (matriz de transiciones sistemáticas). Las ecuaciones a emplear se describen a continuación:

2.2.2.1. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias

En el análisis del porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias, se compara los valores observados con los valores esperados de cada categoría; para calcular el valor esperado si la ganancia es aleatoria se aplica la Ecuación 1.

$$G_{ij} = (P_{+j} - P_{jj}) \left(\frac{P_{i+}}{\sum_{i=1, i \neq j}^J P_{i+}} \right)$$

Ecuación 1: Ganancia Aleatoria
Fuente: (Pontius et al. 2004)

Donde:

G_{ij} Ganancia aleatoria
i Categorías del tiempo 1
j Categorías del tiempo 2
P_{i+} Total de la categoría tiempo 1
P_{+i} Total de la categoría tiempo 2
P_{jj} Valor de la diagonal principal

La Ecuación 1 busca distribuir la ganancia en cada columna (categoría) excepto en la diagonal principal (persistencia), proporcionalmente a cada categoría en el T1.

Posteriormente se procede a calcular la tasa de crecimiento, expresada por la diferencia entre el valor esperado y observado.

- o Si la diferencia es positiva: entonces la categoría en esa fila perdió más que la categoría en la columna del valor esperado por el proceso aleatorio de la ganancia en la categoría de la columna.
- o Si la diferencia es negativa: La categoría en la fila perdió menos que la categoría en la columna del valor esperado del proceso aleatorio de la ganancia en la categoría de la columna.

Finalmente se calcula la diferencia relativa del número observado y el número esperado con respecto a la magnitud del valor esperado, aplicando la siguiente fórmula: $(P_{ij}-G_{ij}) / G_{ij}$. La información del T2, es tomada como marco de referencia fijo para el análisis de ganancias.

2.2.2.2. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las pérdidas

En el análisis del porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las pérdidas, se compara los valores observados con los valores esperados de cada categoría; para calcular el valor esperado si la pérdida es aleatoria se aplica la Ecuación 2:

$$L_{ij} = (P_{i+} - P_{ii}) \left(\frac{P_{+j}}{\sum_{j=1, j \neq i}^J P_{+j}} \right)$$

Ecuación 2: Pérdida aleatoria.
Fuente: (Pontius et al. 2004)

Donde:

- L_{ij}** Pérdida aleatoria
- i** Categorías del tiempo 1
- j** Categorías del tiempo 2
- P_{i+}** Total de la categoría tiempo 1
- P_{+j}** Total de la categoría tiempo 2
- P_{ij}** Valor de la diagonal principal

La Ecuación 2 distribuye la pérdida en cada fila (categoría) que se encuentra fuera de la diagonal principal dentro de la misma fila, proporcionalmente a cada categoría en el T2.

Posteriormente se procede a calcular la tasa de pérdida, expresada por la diferencia entre el valor esperado y observado.

- o Si la diferencia es positiva, entonces la categoría en la columna ganó más de la categoría en la fila de lo que se esperaría debido a un proceso aleatorio de la pérdida en la categoría de la fila.
- o Si la diferencia entre paréntesis es negativa, entonces la categoría en la columna ganó menos de la categoría en la fila que sería de esperar debido a una proceso aleatorio de la pérdida en la categoría de la fila.

Finalmente se calcula la diferencia relativa del número observado y el número esperado con respecto a la magnitud del valor esperado, es calculado como $(P_{ij} - L_{ij}) / L_{ij}$.

Al aplicar la metodología de R.G. Pontius y otros (Pontius et al. 2004) se pueden conocer las ganancias, pérdidas, cambio neto, intercambio y cambio total por categoría. Posteriormente, a partir de la matriz de transición, podemos calcular las diferencias entre los valores observados y esperados y obtener las tasas de ganancias y pérdidas para determinar los cambios realmente significativos ocurridos.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. Procesamiento de imágenes y obtención de mapas de uso de suelo.

3.1.1. Descripción de los productos obtenidos en la USGS

Las imágenes descargadas son de nivel L1T, la Tabla 3 muestra las características del nivel de procesamiento de las imágenes a utilizar en el estudio, debido a sus características de máxima precisión geométrica y radiométrica ya no es necesario efectuar estas correcciones.

Imágenes del estudio		
Imagen	Nivel	Descripción
Octubre de 1991 (sensor TM)	L1T	Imagen corregida radiométrica y geoméricamente. Imagen de máxima precisión geométrica, ya que se usan Puntos de control en tierra (GCP) para mayor precisión y emplea el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) para exactitud topográfica en el proceso de corrección. Obteniendo un producto rectificado geoméricamente libre de distorsiones relacionadas con el sensor, vía satélite y de la Tierra. Características del producto: • Resamplingkernel - CubicConvolution (CC) • Proyección del mapa - UTM • Elipsoide - WGS84 • Orientación de la imagen - Sur • Formato de Salida - GeoTIFF
Noviembre del 2001 (sensor ETM+)	L1T	
Junio del 2011 (sensor ETM+)	L1T	

Tabla 3: Niveles de procesamiento de las imágenes a utilizar

Fuente: Elaboración propia a partir de Science Data UsersHandbook de la NASA

3.1.2. Corrección de GAP FILL

El satélite Landsat 7 presentó fallas en el SLC (Scan Line Corrector) desde el 31 de Mayo del 2003, desde entonces las imágenes capturadas tienen una pérdida aproximada del 22% de los datos. Por este motivo es necesario realizar un proceso para el rellenado de huecos con el fin de recuperar los datos perdidos, esta corrección se realiza luego de la corrección geométrica y radiométrica (YALE 2013).

Para corregir los gaps (huecos) de la imagen de Junio del 2011 se utilizó la opción de Landsat Gap Fill del software ENVI Versión 4.8. En la Figura 6, se puede observar que la imagen de la izquierda muestra los datos perdidos por fallas del sensor, mientras que la imagen de la derecha es el resultado de aplicar la corrección del Gap Fill.

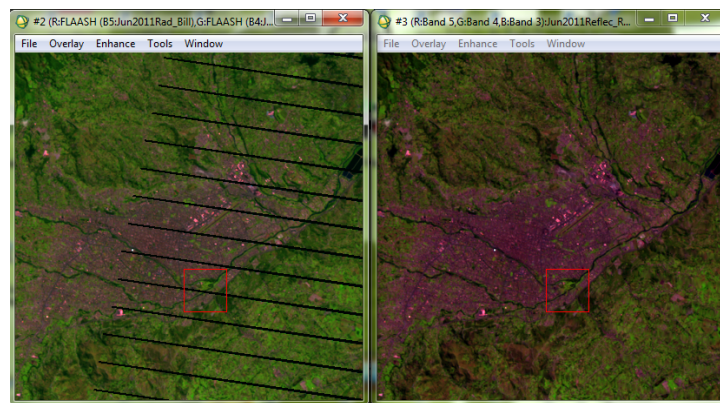


Figura 6: Comparación de la imagen de Junio del 2011 sin relleno (izquierda) y con relleno (derecha)

3.1.3. Leyenda a utilizar en los mapas de usos de suelo

En la clasificación de las imágenes es necesario definir una leyenda de trabajo para la elaboración de los mapas de usos de suelo, las categorías a emplear se fundamentan en el documento de CorineLandCover Colombia de la Tabla 4, ya que se adapta mejor a nuestra región por ser de similares características.

CLC Colombia
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS
1.1. Zonas urbanizadas
1.1.1. Tejido urbano continuo
1.1.2. Tejido urbano discontinuo
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación
1.2.1. Zonas industriales o comerciales
1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados
1.2.3. Zonas portuarias
1.2.4. Aeropuertos
1.2.5. Obras hidráulicas
1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras
1.3.1. Zonas de extracción minera
1.3.2. Escombreras y vertederos
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas
1.4.1. Zonas verdes urbanas
1.4.2. Instalaciones recreativas
2. TERRITORIOS AGRICOLAS
2.1. Cultivos anuales o transitorios
2.1.1. Otros cultivos anuales o transitorios
2.1.2. Algodón
2.1.3. Arroz
2.1.4. Papa
2.2. Cultivos permanentes
2.2.1. Otros cultivos permanentes
2.2.2. Caña de azúcar
2.2.3. Caña panelera
2.2.4. Banano y plátano
2.2.5. Café
2.2.6. Cacao
2.2.7. Palma africana
2.2.8. Frutales
2.2.9. Cultivos confinados
2.3. Pastos
2.3.1. Pastos limpios
2.3.2. Pastos arbolados
2.3.3. Pastos enmalezados o envastojados
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas
2.4.1. Mosaico de cultivos
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI NATURALES
3.1. Bosques
3.1.1. Bosque natural denso
3.1.2. Bosque natural fragmentado

CLC Colombia
3.1.3. Bosque de galería y/o ripario
3.1.4. Bosque de mangle
3.1.5. Bosque Plantado
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
3.2.1. Pastos naturales y sabanas
3.2.2. Arbustos y matorrales
3.2.3. Vegetación esclerófila y/o espinosa
3.2.4. Vegetación de páramo y subpáramo
3.2.5. Vegetación rupícola
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
3.3.1. Playas, arenales y dunas
3.3.2. Afloramientos rocosos
3.3.3. Tierras desnudas o degradadas
3.3.4. Zonas quemadas
3.3.5. Zonas glaciares y nivales
4. ÁREAS HÚMEDAS
4.1. Áreas húmedas continentales
4.1.1. Zonas Pantanosas
4.1.2. Turberas
4.1.3. Esteros
4.1.4. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
4.2. Áreas húmedas costeras
4.2.1. Marismas costeras
4.2.2. Salinas
4.2.3. Zonas intermareales
5. SUPERFICIES DE AGUA
5.1. Aguas continentales
5.1.1. Ríos (50 m)
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
5.1.3. Canales
5.1.4. Embalses y cuerpos de agua
5.2. Aguas marítimas
5.2.1. Lagunas costeras
5.2.2. Estuarios
5.2.3. Mares y océanos
5.2.4. Estanques para acuicultura

Fuente: Corine Land Cover Colombia.

Ministerio de Ambiente,
Vivienda y Desarrollo Territorial
República de Colombia



Tabla 4: Leyenda CorineLandCover Colombia
Fuente: Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia

En la Tabla 5 se muestran las categorías a utilizar para la clasificación.

LEYENDA
• Tejido Urbano Continuo • Tejido Urbano Discontinuo • Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales • Bosques • Arbustos y matorrales • Páramo • Tierras desnudas o degradadas • Embalses y cuerpos de agua

Tabla 5: Leyenda a emplear en los mapas de usos de suelo.
Fuente: Elaboración propia a partir de CorineLandCover Colombia

3.1.4. Elaboración de los mapas de usos de suelo

Para la elaboración de los mapas de usos de suelo se emplea el software Ecognition Developer 8 basado en la clasificación orientada a objetos, lo que permite definir un conjunto de reglas para obtener las diferentes categorías mejorando el proceso y calidad de la clasificación de las imágenes.

A partir de la segmentación multiresolución se obtienen objetos que buscan maximizar la homogeneidad, considerando los siguientes criterios: homogeneidad o el parámetro de escala, pesos de las capas, pesos de suavidad y compacidad (Montalbán 2009).

- o Homogeneidad o el parámetro de escala: el valor de este parámetro determina el tamaño de los objetos, es decir determina la heterogeneidad de los objetos.
- o Pesos a las capas de la imagen: se puede ponderar las capas en función de su importancia para la segmentación.
- o Pesos de suavizado (forma) y compacidad: El parámetro de forma es un criterio de homogeneidad considerado para la segmentación en lo que se refiere a forma y color. El parámetro de compacidad busca optimizar la compactación entre objetos.

Para establecer los parámetros adecuados se deben realizar varias pruebas hasta obtener los resultados esperados. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de segmentación del área de estudio.

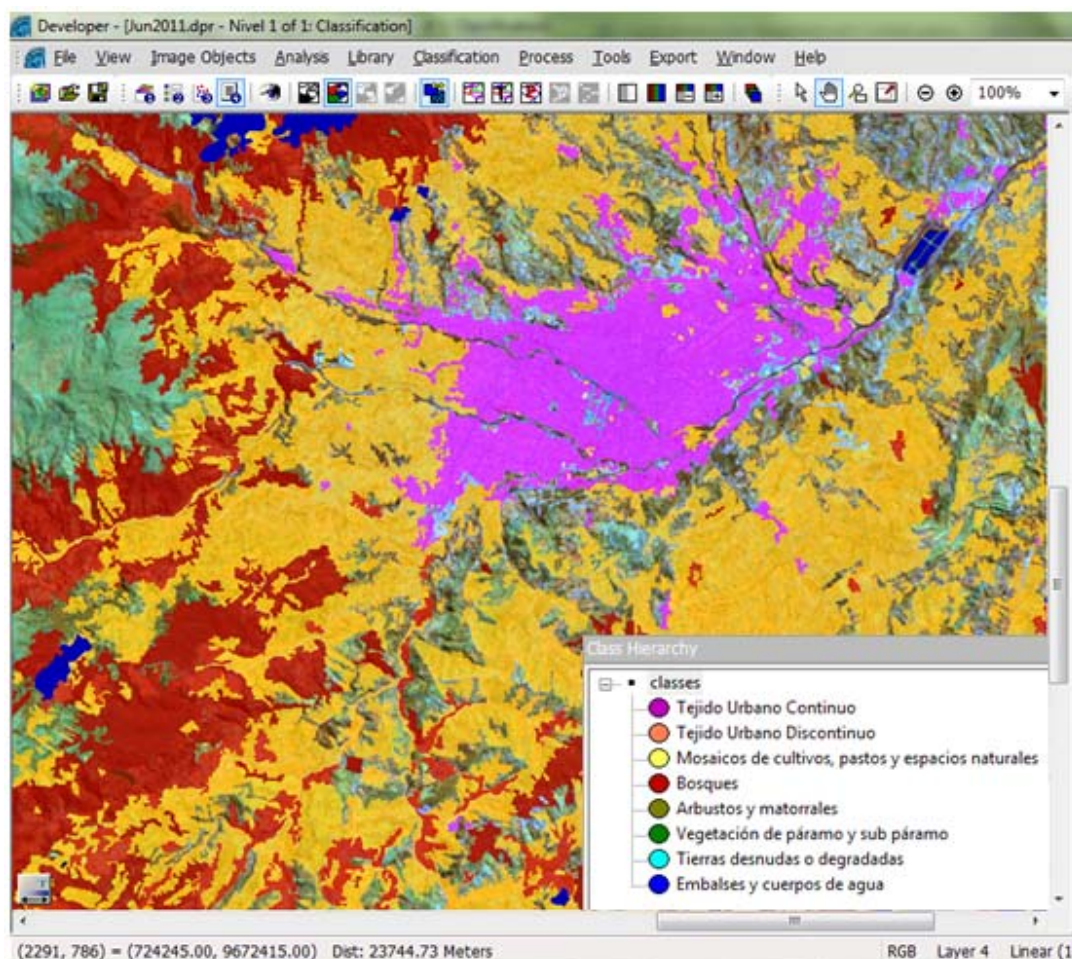


Figura 7: Clasificación digital de imágenes
Fuente: Elaboración propia, a partir del Software Ecognition

3.1.5. Resultados de los Mapas de Usos de Suelo

Previo a la clasificación se realizó la detección de nubes en todas las imágenes y se les aplicó una máscara de nubes. Se determinó la UMC (Unidad Mínima Cartografiable) de 160.000 m² de acuerdo a la escala de trabajo de 1:100.000 a aplicar en la clasificación. Los resultados obtenidos de la clasificación fueron comparados con cartografía auxiliar con la finalidad de mejorar los mapas de usos de suelo obtenidos. En la figura 8, 9 y 10 se muestran los mapas de usos de suelo finalmente obtenidos de los años de 1991, 2001 y 2011 respectivamente, y que serán utilizados para el análisis de cambios del territorio en el área de estudio.

Mapa Usos de Suelo del Cantón Cuenca 1991

Leyenda

Usos Suelo 1991

- Tejido urbano continuo
- Tejido urbano discontinuo
- Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
- Bosques
- Arbustos y matorrales
- Páramo
- Tierras desnudas o degradadas
- Embalses y cuerpos de agua

Escala Aproximada:

1:100.000

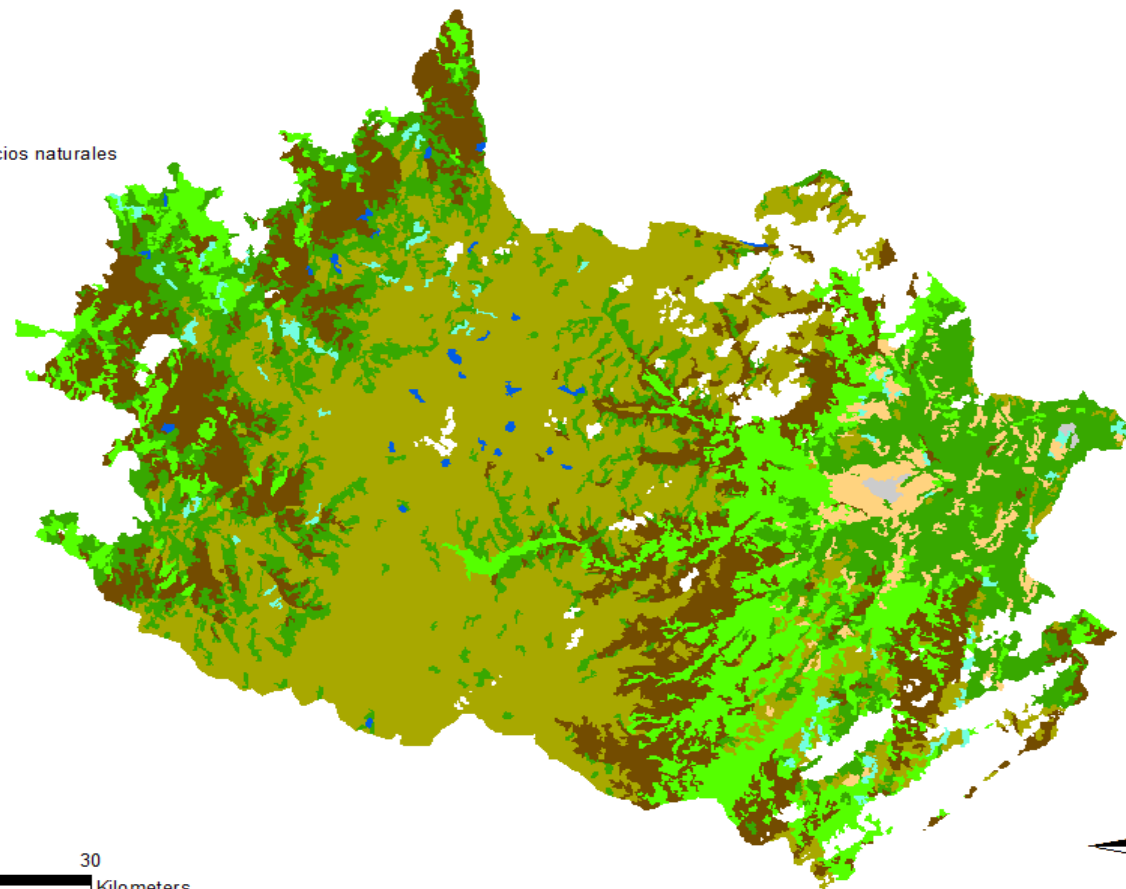


Figura 8: Mapa de Usos de Suelo del Cantón Cuenca 1991
Fuente: Elaboración propia a partir de una imagen LandSat 5

Mapa Usos de Suelo del Cantón Cuenca 2001

Leyenda

- Tejido urbano continuo
- Tejido urbano discontinuo
- Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
- Bosques
- Arbustos y matorrales
- Páramo
- Tierras desnudas o degradadas
- Embalses y cuerpos de agua

Escala Aproximada:

1:100.000

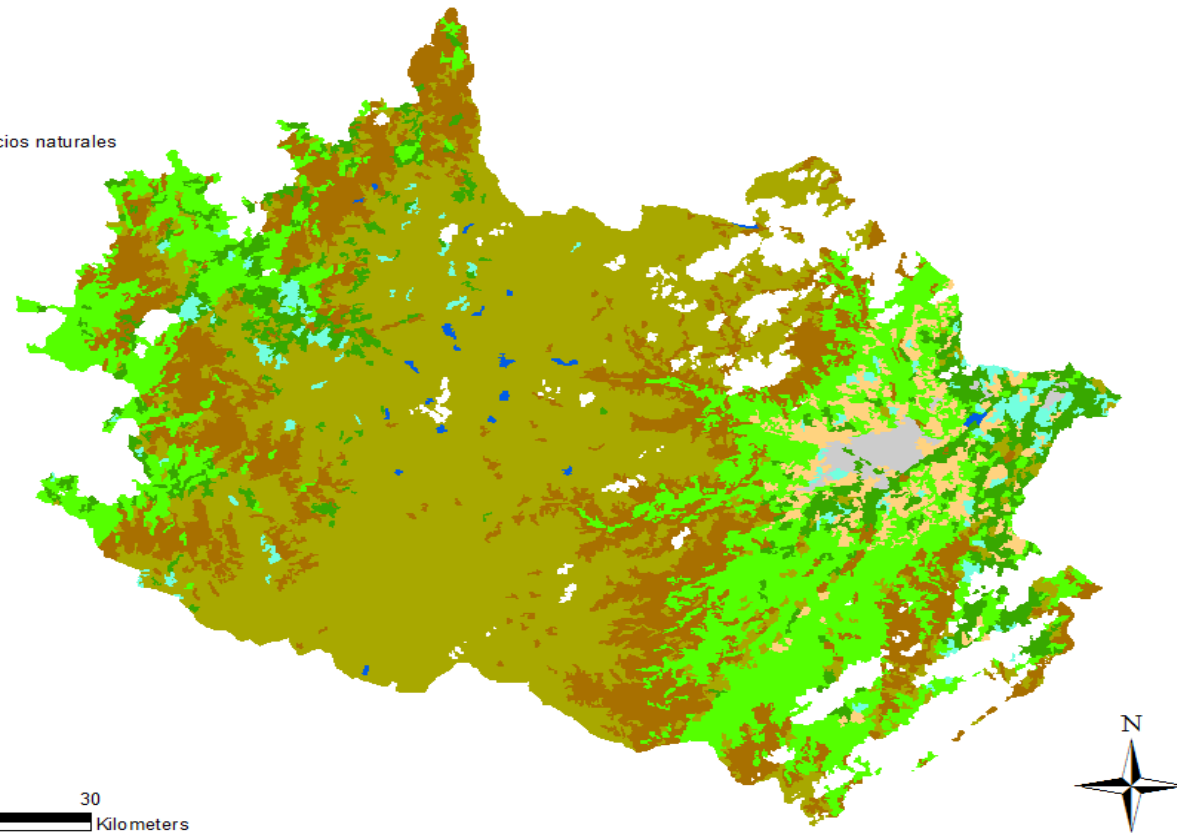
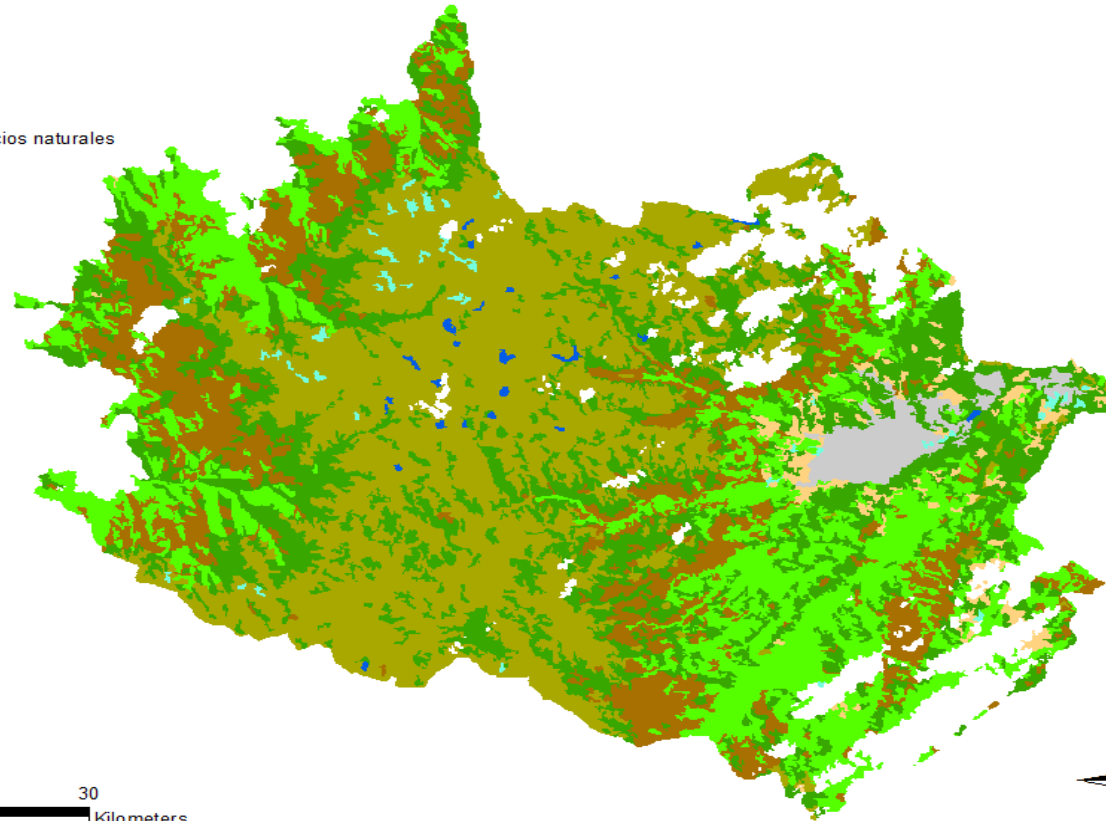


Figura 9: Mapa de Usos de Suelo del Cantón Cuenca 2001
Fuente: Elaboración propia a partir de una imagen LandSat 7

Mapa Usos de Suelo del Cantón Cuenca 2011

Leyenda

- Tejido urbano continuo
- Tejido urbano discontinuo
- Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
- Bosques
- Arbustos y matorrales
- Páramo
- Tierras desnudas o degradadas
- Embalses y cuerpos de agua



Escala Aproximada:

1:100.000



Figura 10: Mapa de Usos de Suelo del Cantón Cuenca 2011
Fuente: Elaboración propia a partir de una imagen LandSat 7

3.2. Medición de los cambios de usos de suelo: aplicación metodología

3.2.1. Aplicación de la Matriz de transición

3.2.1.1. Matriz de Transición 1991 - 2001

En la Tabla 6 se muestra un resumen de las ganancias, pérdidas, cambio neto, intercambio y cambio total entre 1991 y 2001 por categoría y se encuentran expresados en porcentaje del área de estudio.

Al analizar la Tabla 6 se puede determinar que los valores de la columna Total 1991, las categorías de Bosque, Arbustos y matorrales y Páramo son las tres categorías predominantes en el paisaje, mientras que en la columna Total 2001 se puede determinar que el Mosaico de pastos, cultivos y espacio naturales, Bosques y Páramo son las categorías que predominan en el paisaje, siendo los Embalses y cuerpos de agua y el Tejido Urbano Continuo las categorías con menor proporción, tanto en 1991 como en el 2001. Los valores de Persistencias determinan que el 68,65% (173.069,68 ha) de la superficie total del paisaje presenta estabilidad entre las categorías. Siendo la categoría de Páramo con 35,21% (88.762,05 ha) la de mayor persistencia. En el Anexo 6.1 se muestra el detalle la matriz de transición entre 1991 y 2001.

Categorías	Total 1991	Total 2001	Ganancias	Pérdidas	Cambio Neto	Intercambio	Cambio Total
Tejido urbano discontinuo	2.33	3.20	2.33	1.46	0.87	2.92	3.79
Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales	16.29	21.76	9.10	3.63	5.47	7.26	12.73
Bosques	18.29	19.09	4.83	4.03	0.79	8.07	8.86
Arbustos y matorrales	21.93	6.85	1.93	17.02	15.09	3.86	18.95
Páramo	39.43	45.97	10.75	4.22	6.54	8.43	14.97
Tierras desnudas y degradadas	1.17	1.90	1.54	0.81	0.73	1.62	2.34
Embalses y cuerpos de agua	0.36	0.28	0.08	0.16	0.08	0.16	0.24
Tejido urbano continuo	0.20	0.97	0.79	0.02	0.77	0.04	0.81
Total (% del área total)	100.00	100.00	31.35	31.35	30.33	32.36	62.69

Tabla 6: Valores de cambios 1991-2001 por categorías expresado en porcentaje del área total de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los valores de las ganancias se puede observar en la Tabla 6, que la categoría de Páramo experimenta el mayor valor de ganancia con el 10,75% (27.112,05 ha) del porcentaje del área de estudio entre 1991 y 2001; seguido de la categoría de Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con el 9,10% (22.937,85

ha) del área de estudio, siendo los valores que mayor ganancia presentan entre las categorías, como se muestra en la Figura 11.

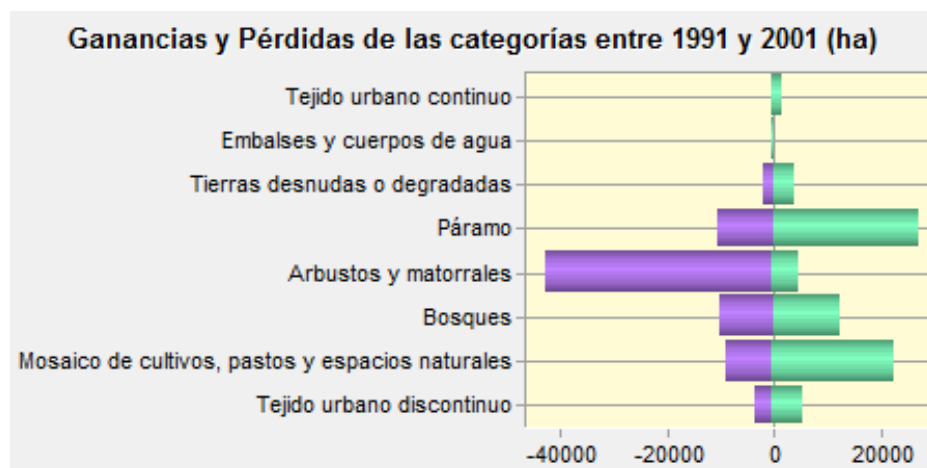


Figura 11: Ganancias y pérdidas de las categorías entre 1991 y 2001 (ha)

La Figura 12 muestra que la ganancia del área de páramo proviene principalmente de Arbustos y matorrales con 7,73% (19.476,27ha).

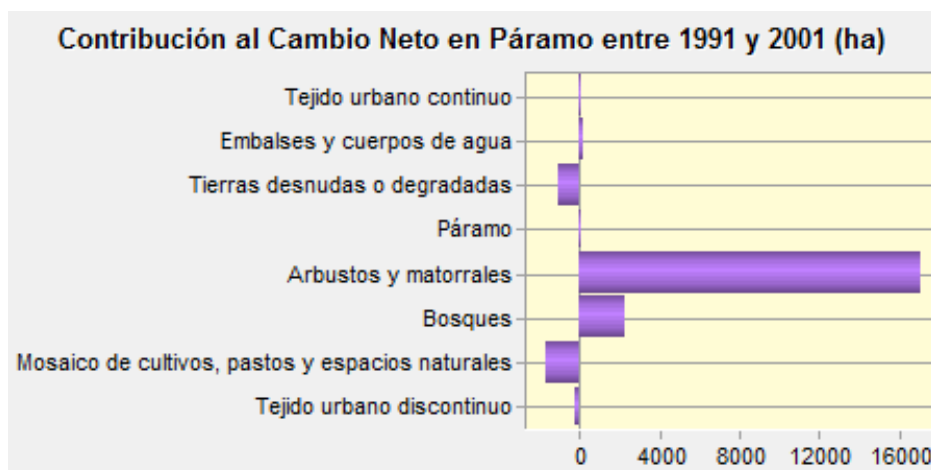


Figura 12: Contribución al Cambio Neto en Páramo entre 1991 y 2001 (ha)

Al analizar los valores de las pérdidas se puede observar en la Tabla 6, que la categoría de Arbustos y matorrales experimenta el mayor valor de pérdida con el 17,02%(42.901,20 ha) con respecto a lo que ocupaba en 1991; seguido por Páramo y

Bosques con 4,22% (10.630,71 ha) y 4,03% (10.170,54 ha) respectivamente, siendo los valores que mayor pérdida presentan entre las categorías, como se muestra en la Figura 11.

La Figura 13 muestra que la proporción de pérdida de Arbustos y matorrales es debido al crecimiento de Páramo con 7,73% (19.476,27 ha), seguido de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 4,58% (11.541,06 ha) en menor proporción.

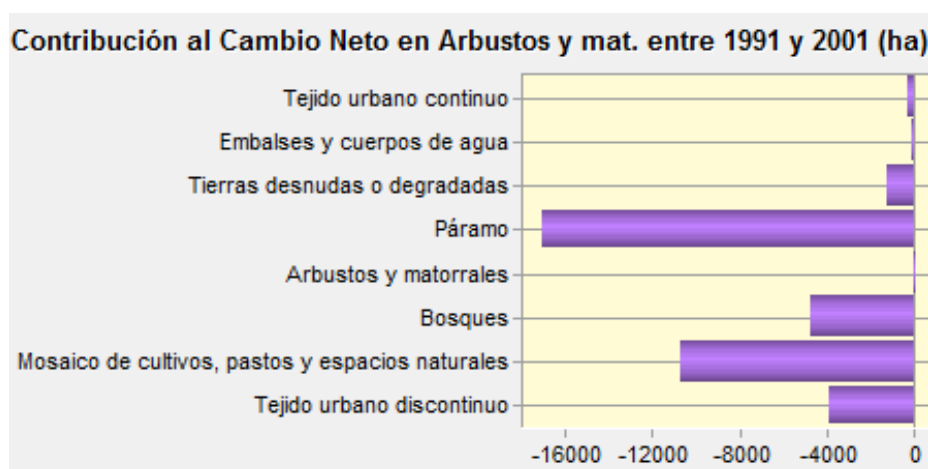


Figura 13: Contribución al Cambio Neto en Arbustos y matorrales entre 1991 y 2001 (ha)

En la Tabla 6 se muestra que las categorías de Embalses y cuerpos de agua y Tejido Urbano Continuo presentan valores bajos en las ganancias de 0,08% (196,83 ha) y 0,79% (1.996,11 ha) respectivamente, de forma similar en las pérdidas de 0,16% (398,97 ha) y 0,02% (49,77 ha) respectivamente.

También en la Tabla 6 se puede observar que entre 1991 y 2001 han sucedido intercambios del 32,36% (81.571,68 ha) de la superficie. Las categorías de Arbustos y matorrales, Páramo y Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales presentaron el mayor cambio neto en una proporción de 15,09% (38.030,49 ha), 6,54% (16.481,34 ha) y 5,47% (13.786,65 ha) respectivamente.

3.2.1.2. Matriz de Transición 2001 - 2011

En la Tabla 7 se muestra un resumen de las ganancias, pérdidas, cambio neto, intercambio y cambio total entre 2001 y 2011 por categoría, los mismos que se encuentran expresados en porcentaje del área de estudio.

Al analizar la Tabla 7 se puede determinar que los valores de la columna Total 2001 las categorías de Mosaico de pastos, cultivos y espacio naturales, Bosques y Páramo son las tres categorías predominantes en el paisaje, mientras que en la columna Total 2011 se puede determinar que el Páramo, Arbustos y matorrales y Mosaico de pastos, cultivos y espacio naturales son las categorías que predominan en el paisaje, siendo los Embalses y cuerpos de agua la categoría con menor proporción, tanto en 2001 como en el 2011. Los valores de Persistencias determinan que el 60,15% (151.642,03 ha) de la superficie total del paisaje presenta estabilidad entre las categorías. Siendo la categoría de Páramo con 30,87 % (77.809,41 ha) la de mayor persistencia. En el Anexo 6.2 se muestra el detalle la matriz de transición entre 2001 y 2011.

Categorías	Total 2001	Total 2011	Ganancias	Pérdidas	Cambio Neto	Intercambio	Cambio Total
Tejido urbano discontinuo	3.20	1.72	1.18	2.65	1.48	2.36	3.83
Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales	21.76	21.78	7.62	7.60	0.03	15.20	15.22
Bosques	19.09	15.06	4.75	8.78	4.03	9.51	13.54
Arbustos y matorrales	6.85	25.80	22.85	3.89	18.95	7.79	26.74
Páramo	45.97	32.69	1.82	15.10	13.28	3.65	16.92
Tierras desnudas y degradadas	1.90	0.58	0.38	1.70	1.32	0.76	2.08
Embalses y cuerpos de agua	0.28	0.32	0.11	0.07	0.04	0.13	0.17
Tejido urbano continuo	0.97	2.06	1.13	0.05	1.08	0.10	1.19
Total (% del área total)	100.00	100.00	39.85	39.85	40.20	39.49	79.69

Tabla 7: Valores de cambios 2001-2011 por categorías expresado en porcentaje del área total de estudio
Fuente: Elaboración propia

Al analizar los valores de las ganancias se puede observar en la Tabla 7, que la categoría de Arbustos y matorrales experimenta el mayor valor de ganancia con el 22,85% (57.589,92ha) del porcentaje del área de estudio entre 2001 y 2011; seguido de la categoría de Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con el 7,62 % (19.220,31 ha) del área de estudio, siendo los valores que mayor ganancia presentan

entre las categorías en relación al porcentaje del área de estudio, como se muestra en la Figura 14.

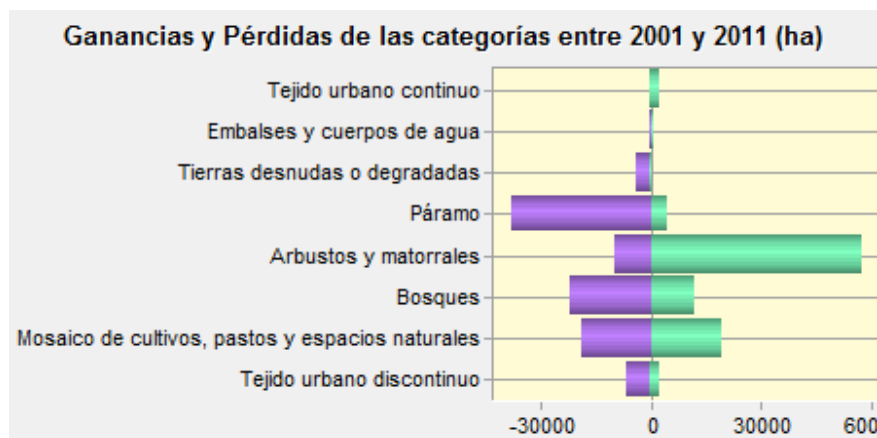


Figura 14: Ganancias y Pérdidas de las categorías entre 2001 y 2011 (ha)

En la Figura 15 se muestra que la ganancia del área de Arbustos y matorrales proviene principalmente de la categoría de Páramo con 11,00% (27.739,44 ha) y Bosques con 6,50% (16.396,11 ha).

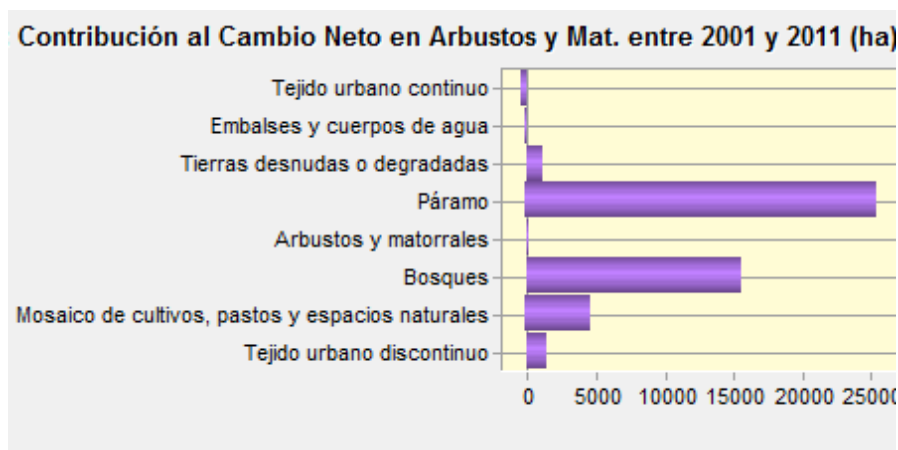


Figura 15: Contribución al Cambio Neto en Arbustos y Mat. entre 2001 y 2011 (ha)

Al analizar los valores de las pérdidas se puede observar en la Tabla 7, que la categoría de Páramo experimenta el mayor valor de pérdida con el 15,10% (38.064,69ha) del área de estudio entre el 2001 y 2011; seguido por Bosques y Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con 8,78% (22.138,65 ha) y 7,60% (19.154,43 ha)

respectivamente, siendo los valores que mayor pérdida experimentan entre categorías, como se muestra en la Figura 14.

La Figura 16 muestra que la proporción de pérdida de Páramo, es debido al crecimiento de Arbustos y matorrales con 11,00% (27.739,44 ha), seguido de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 2,46% (6.193,17 ha) en menor proporción.

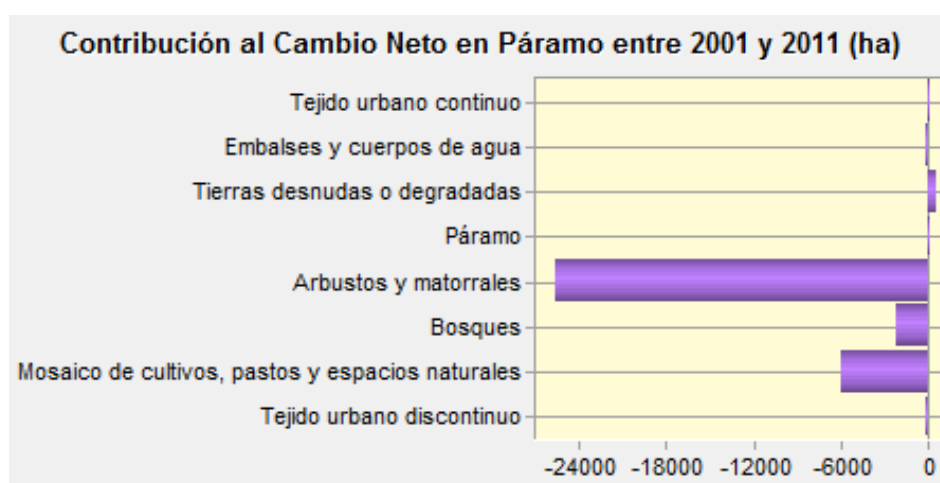


Figura 16: Contribución al Cambio Neto en Páramo entre 2001 y 2011 (ha)

En la Tabla 7 se muestra que las categorías de Embalses y cuerpos de agua y Tierras desnudas o degradadas presentan valores bajos en las ganancias de 0,11% (270,27 ha) y 0,38% (956,97 ha) respectivamente. En cuanto a pérdidas las categorías de Embalses y cuerpos de agua y Tejido urbano continuo presentan los menores valores de 0,07% (168,21 ha) y 0,05% (130,95 ha) respectivamente.

También en la Tabla 7 se puede observar que entre 2001 y 2011 han sucedido intercambios del 39,49% (99.548,46 ha) de la superficie. Las categorías de Arbustos y matorrales y Páramo presentaron el mayor cambio neto en una proporción de 18,95% (47.775,78 ha) y 13,28% (33.469,92 ha) respectivamente.

3.2.1.3. Comparación de los cambios presentados en los dos períodos de estudio 1991-2001 y 2001 - 2011

A continuación se realiza un breve análisis de los cambios ocurridos entre los dos períodos, el primer período (t1t2), comprendido entre los años de 1991 y 2001 y el segundo período (t2t3), comprendido entre los años del 2001 y 2011.

En la Figura 17 se puede observar que la ganancia presentada en la categoría de Tejido urbano discontinuo presenta una disminución entre el período t1t2 (2,33%) y el período t2t3 (1,18%) debido a que las áreas cercanas a la categoría de Tejido urbano continuo se fue consolidando en el segundo período. La categoría de Tejido urbano continuo tiene un incremento entre el período t1t2 (0,79%) y el período t2t3 (1,13%) ya que se consolidan áreas cercanas a esta categoría. La categoría de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales presenta una disminución entre el período t1t2 (9,10%) y el período t2t3 (7,62%). La categoría de Bosques es similar entre el período t1t2 (4,83%) y el período t2t3 (4,75%). La categoría de Arbustos y matorrales presenta un incremento sustancial entre el período t1t2 (1,93%) y el período t2t3 (22,85), hay que considerar que en el período t1t2 las imágenes corresponden a fechas de Octubre (1991) y Noviembre (2001) que pertenecen a temporadas de fin de verano e inicios de invierno (épocas de tierra arada y siembra); mientras que en el período t2t3 la imagen correspondiente a Junio (2011) que es temporada de fin de invierno (inicios de cosechas); motivo por el cual se ve influenciado en esta categoría. En la categoría de Páramo presenta una disminución considerable en el período t1t2 (10,75%) y el período t2t3 (1,82%), que también se ve afectada por la diferencia de las imágenes entre temporadas, como se indicó en la categoría anterior.

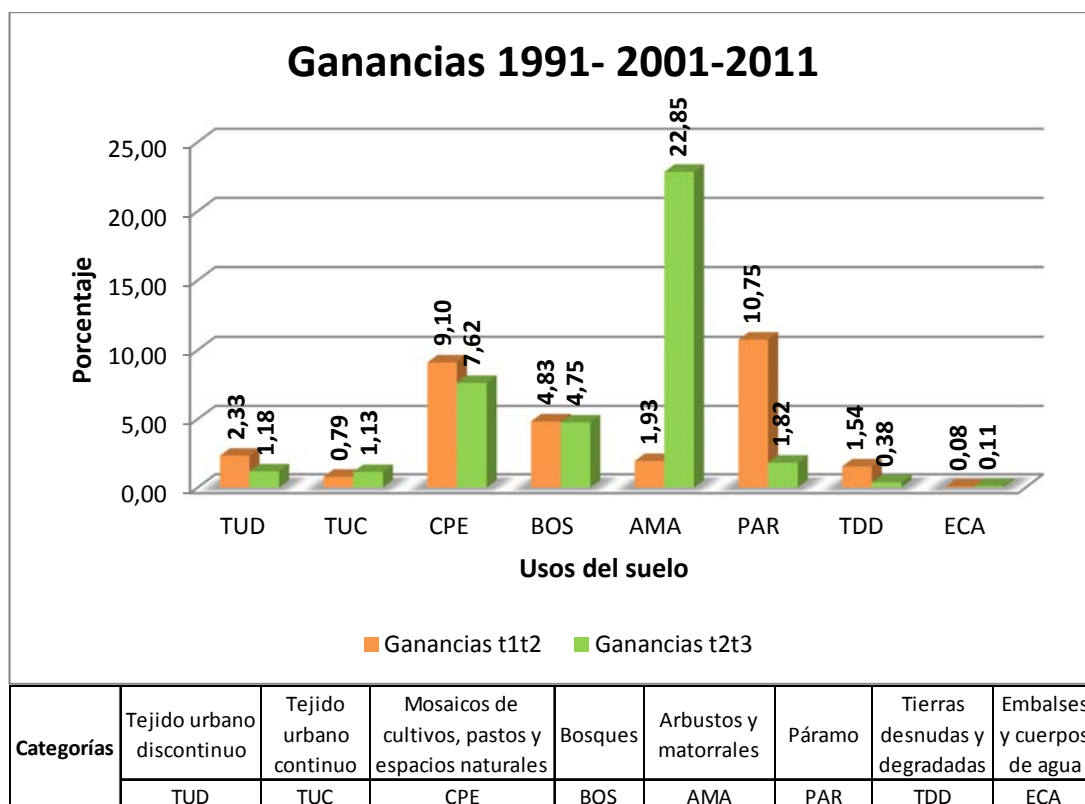


Figura 17: Ganancias período 1 (t1t2) y período 2(t2t3).

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 se puede observar que la pérdida presentada en la categoría de Tejido urbano discontinuo presenta un incremento entre el período t1t2 (1,46%) y el período t2t3 (2,65%) por lo que se puede apreciarla expansión y consolidación del Tejido urbano continuo. La categoría de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales tiene un incremento en las pérdidas entre el período t1t2 (3,63%) y el período t2t3 (7,60%) la disminución de estas áreas se ve influenciada por la migración de la población rural debido a la crisis presentada en el período t1t2 (BCE 2010).

La categoría de Bosques presenta un incremento de las pérdidas entre el período t1t2 (4,03%) y el período t2t3 (8,78%). En cuanto a la categoría de Arbustos y matorrales se muestra una pérdida mayor en el período t1t2 (17,02%) en relación al período t2t3 (3,89%). La categoría de Páramo presenta un incremento en las pérdidas entre el período t1t2 (4,22%) y el período t2t3 (15,10%).

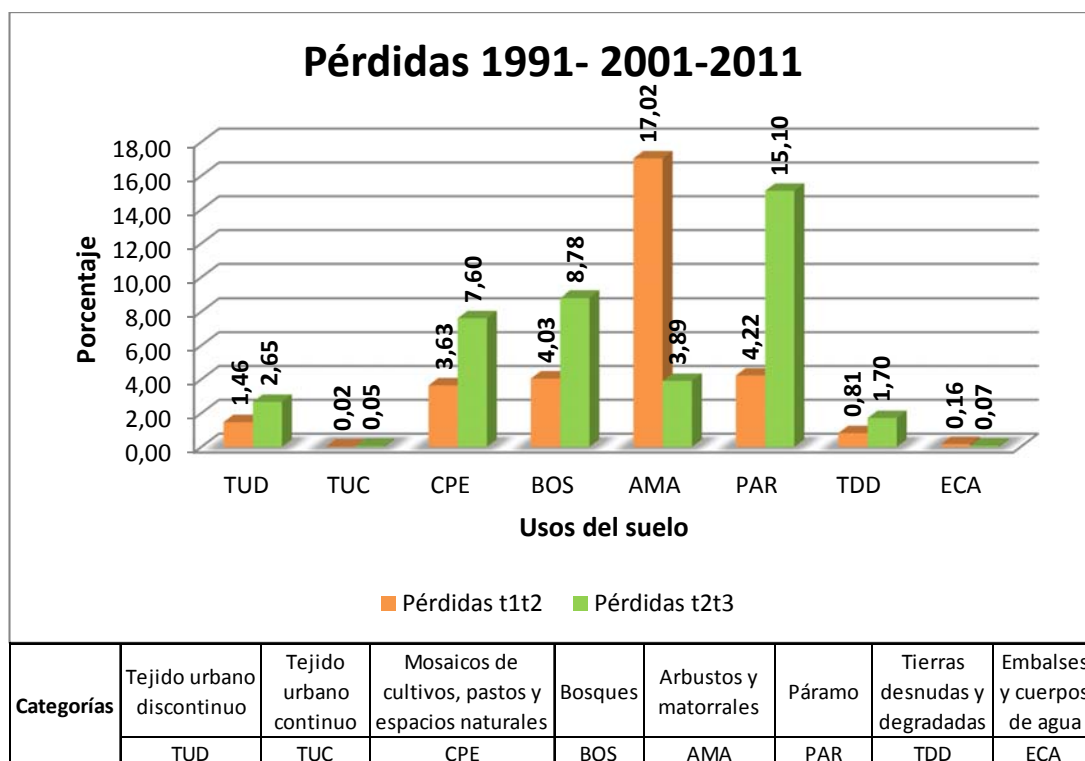


Figura 18: Pérdidas período 1 (t1t2) y período 2(t2t3).

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19 se realiza un análisis en función de los cambios netos. Estos cambios nos permite determinar el cambio absoluto de una categoría a otra; un cambio neto positivo indica un predominio de las ganancias sobre las pérdidas y un cambio neto negativo indica un predominio de las pérdidas sobre las ganancias. Los resultados obtenidos muestran que la categoría de Tejido urbano discontinuo durante el primer período t1t2 presenta un cambio neto positivo (0,87%), mientras que en el segundo período t2t3 presenta un cambio neto negativo (1,48%). La categoría de Tejido urbano continuo presenta un cambio neto positivo en los dos períodos (0,77%, 1,08%) respectivamente. La categoría de Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales presentan un cambio neto positivo en los dos períodos (5,47%, 0,03%) respectivamente, pero durante el segundo período t2t3 tiene una disminución significativa. La categoría de Bosques presenta un cambio neto positivo (0,79%) en el período t1t2, pero en el segundo período t2t3 presenta un cambio neto negativo

(4,03%). La categoría de Arbustos y matorrales presenta un cambio neto negativo (15,09%) en el primer período t1t2 y un cambio neto positivo en el segundo período t2t3 (18,95%). La categoría de Páramo presenta un cambio neto positivo (6,54%) en el período t1t2, mientras que en el segundo período t2t3 presenta un cambio neto negativo (13,28%). Finalmente la categoría de Tierras desnudas y degradadas presenta un cambio neto positivo (0,73%) en el primer período t1t2, mientras que en el segundo período t2t3 presenta un cambio neto negativo (1,32%).

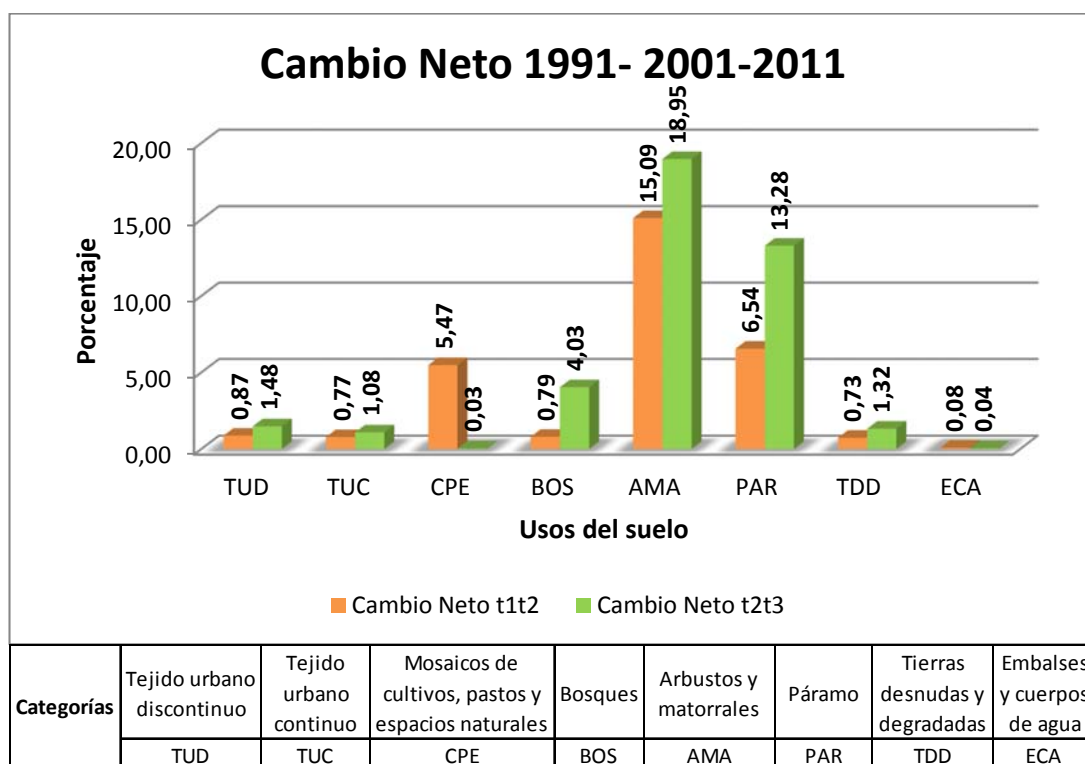


Figura 19: Cambio Neto período 1 (t1t2) y período 2(t2t3).

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20 se muestran los intercambios presentados durante los dos períodos de estudio, las categorías de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Bosques, Arbustos y matorrales y Páramo son las categorías que mayor intercambio presentaron durante los dos períodos. La categoría de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales en el primer período t1t2, presenta un valor de 7,26%, incrementándose considerablemente durante el segundo período t2t3 con un valor de 15,20%.

La categoría de Bosques también presenta valores altos de intercambio de 8,07% en el período t1t2 y un valor de 9,51% en el segundo período t2t3.

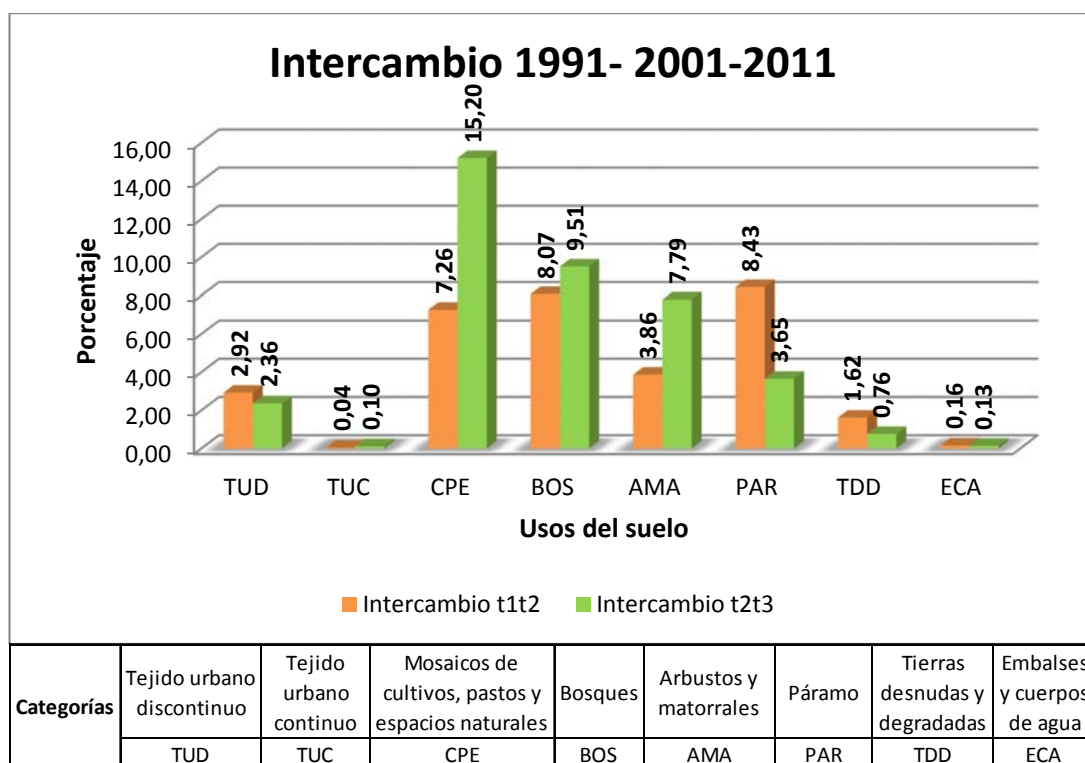


Figura 20: Intercambio entre el período 1 (t1t2) y período 2(t2t3).

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Medición de cambios significativos mediante transiciones sistemáticas.

Con el análisis de transiciones sistemáticas, se puede verificar si los cambios presentados en el área de estudio son significativos o no. A continuación se describen los cambios significativos ocurridos en los dos períodos de análisis.

3.2.2.1. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias y pérdidas 1991 - 2001

En la Tabla 8 correspondiente al período t1t2 se muestra que las categorías de Tierras desnudas y degradadas, Tejido urbano continuo, Tejido urbano discontinuo, Arbustos y matorrales y Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales son las categorías que

registran una tasa de ganancia significativa, ya que la ganancia observada es superior a la ganancia esperada. En cuanto a las transiciones sistemáticas en función de las pérdidas, las categorías que tienen una tasa de pérdida significativa son Arbustos y matorrales, Tierras desnudas y degradadas, Tejido urbano discontinuo, ya que la pérdida observada es superior a la pérdida esperada.

En el Anexo 6.1 y 6.3 se muestra a detalle el cambio de uso de suelo presentado en función de las ganancias y pérdidas entre 1991 y 2001.

1991 - 2001 Categorías	Ganancia Observada	Ganancia Esperada	Tasa de Ganancia	Pérdida observada	Pérdida esperada	Tasa de Pérdida
Tejido urbano discontinuo	2.33	1.19	0.96	1.46	0.93	0.57
Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales	9.10	7.40	0.23	3.63	5.11	-0.29
Bosques	4.83	6.42	-0.25	4.03	6.66	-0.39
Arbustos y matorrales	1.93	1.39	0.39	17.02	8.75	0.95
Páramo	10.75	14.14	-0.24	4.22	9.60	-0.56
Tierras desnudas y degradadas	1.54	0.72	1.13	0.81	0.48	0.69
Embalses y cuerpos de agua	0.08	0.11	-0.27	0.16	0.15	0.05
Tejido urbano continuo	0.79	0.38	1.10	0.02	0.08	-0.76

Tabla 8: Transiciones significativas en función de pérdidas y ganancias 1991-2001

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias y pérdidas 2001 - 2011.

En la Tabla 9 correspondiente al período t2t3 muestran que las categorías de Arbustos y matorrales, Tejido urbano discontinuo, Tierras desnudas y degradadas y el Tejido urbano continuo son las categorías que registran una tasa de ganancia significativa, ya que la ganancia observada es superior a la ganancia esperada. En cuanto a las transiciones sistemáticas en función de las pérdidas, las categorías que tienen una tasa de pérdida significativa son Arbustos y matorrales, Tierras desnudas y degradadas, Tejido urbano discontinuo y Bosques, ya que la pérdida observada es superior a la pérdida esperada.

En el Anexo 6.2 y 6.4 se muestra a detalle el cambio de uso de suelo presentado en función de las ganancias y pérdidas entre 2001 y 2011.

2001 - 2011 Categorías	Ganancia Observada	Ganancia Esperada	Tasa de Ganancia	Pérdida observada	Pérdida esperada	Tasa de Pérdida
Tejido urbano discontinuo	1.18	0.86	0.36	2.65	1.46	0.82
Mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales	7.62	9.39	-0.19	7.60	8.06	-0.06
Bosques	4.75	6.40	-0.26	8.78	7.82	0.12
Arbustos y matorrales	22.85	12.29	0.86	3.89	1.52	1.57
Páramo	1.82	9.87	-0.82	15.10	19.99	-0.24
Tierras desnudas y degradadas	0.38	0.30	0.28	1.70	0.88	0.92
Embalses y cuerpos de agua	0.11	0.17	-0.36	0.07	0.13	-0.49
Tejido urbano continuo	1.13	1.09	0.04	0.05	0.45	-0.88

Tabla 9: Transiciones significativas en función de pérdidas y ganancias 2001-2011
Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 21 y 22 se muestran los cambios significativos más importantes presentados en el territorio, en función de ganancias y pérdidas respectivamente.

La Figura 21 muestra las tasas de ganancias presentadas en los dos períodos, los resultados muestran que la categoría de Tejido urbano discontinuo presenta un considerable incremento entre período t1t2 y el período t2t3, por lo que se podría asumir un crecimiento urbano disperso. En cuanto a la categoría de Tejido urbano continuo se puede observar que en el primer período t1t2 la tasa de ganancia es cercana a la ganancia esperada, sin embargo en el segundo período t2t3 la tasa de ganancia es 1,10 veces superior a la tasa de crecimiento esperada. En cuanto a la categoría de Arbustos y Matorrales, se puede observar que la tasa de ganancia disminuye entre el primer (t1t2) y segundo (t2t3) período. Finalmente se puede observar que la categoría de Tierras desnudas y degradadas presenta un incremento considerable entre el primer (t1t2) y segundo período (t2t3).

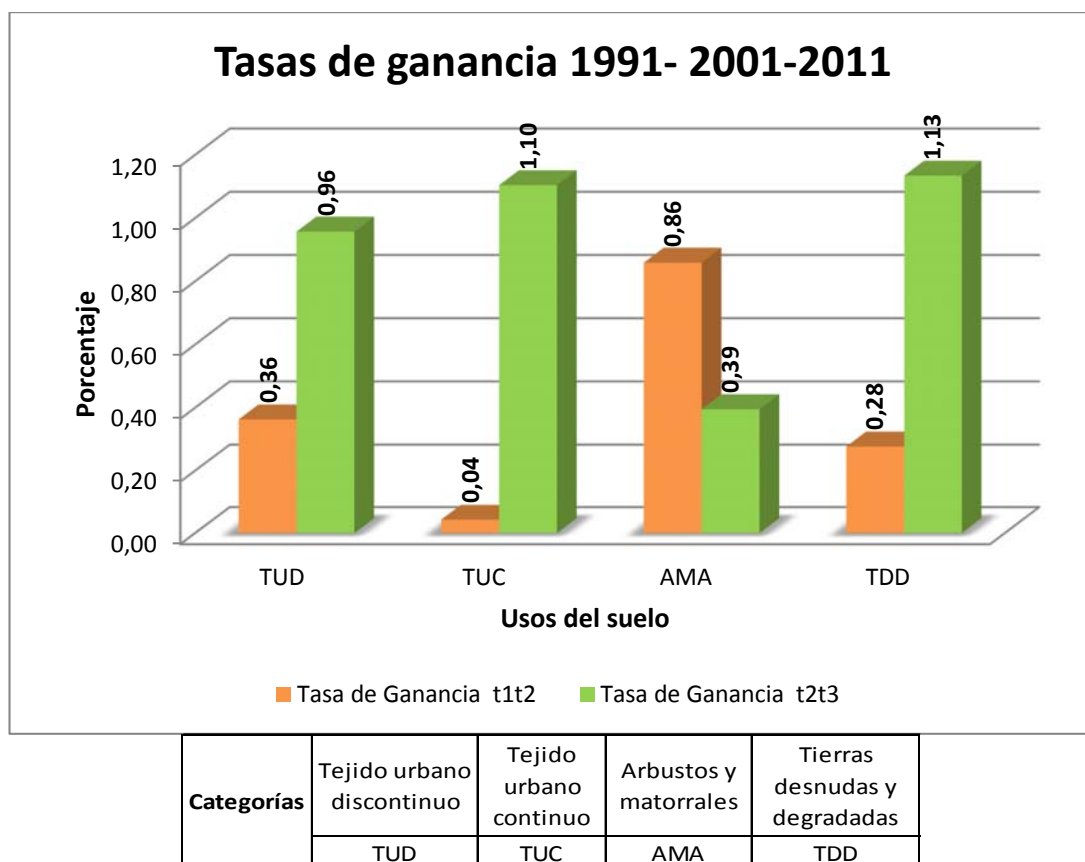


Figura 21: Transiciones significativas en función de ganancias 1991-2001-2011
 Fuente: Elaboración propia

La Figura 22 muestra las tasas de pérdidas presentadas en los dos períodos, los resultados muestran que la categoría de Tejido urbano discontinuo presenta una disminución entre el período t1t2 y el período t2t3, esto es debido a que las áreas cercanas a la categoría de Tejido urbano continuo se fueron consolidando durante el segundo período (t2t3), en cuanto a la categoría de Tierras desnudas y degradadas se puede observar una disminución de la tasa de pérdida entre el primer (t1t2) y segundo (t2t3) período. En cuanto a la categoría de Arbustos y Matorrales se puede observar que la tasa de pérdida disminuye considerablemente entre el primer (t1t2) y segundo (t2t3) período.

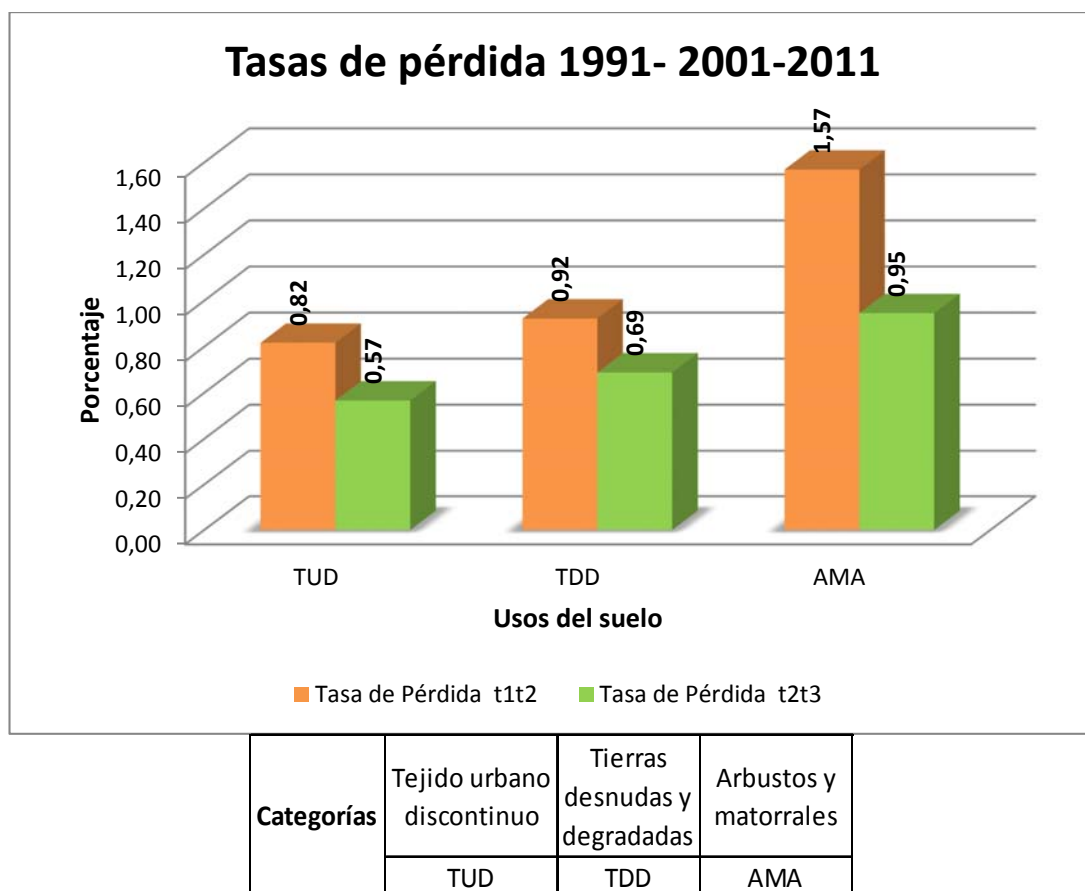


Figura 22: Transiciones significativas en función de pérdidas 1991-2001-2011
Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. Pérdidas, Persistencias y Ganancias significativas presentadas entre los dos períodos (t1t2, t2t3)

A continuación se muestran los mapas de pérdidas, persistencias y ganancias de las categorías que presentaron cambios significativos entre 1991, 2001 y 2011.

En la Figura 23 se presentan los cambios y persistencias entre 1991 y 2001 de la categoría de Tejido urbano discontinuo, la mayor área de pérdidas presentadas se encuentran alrededor del núcleo urbano ya que estas áreas se van consolidando como Tejido urbano continuo. En cuanto a las ganancias se presentan en áreas adyacentes al núcleo urbano, en las parroquias de Sinincay, Baños, Ricaurte, Llacao y El Valle.

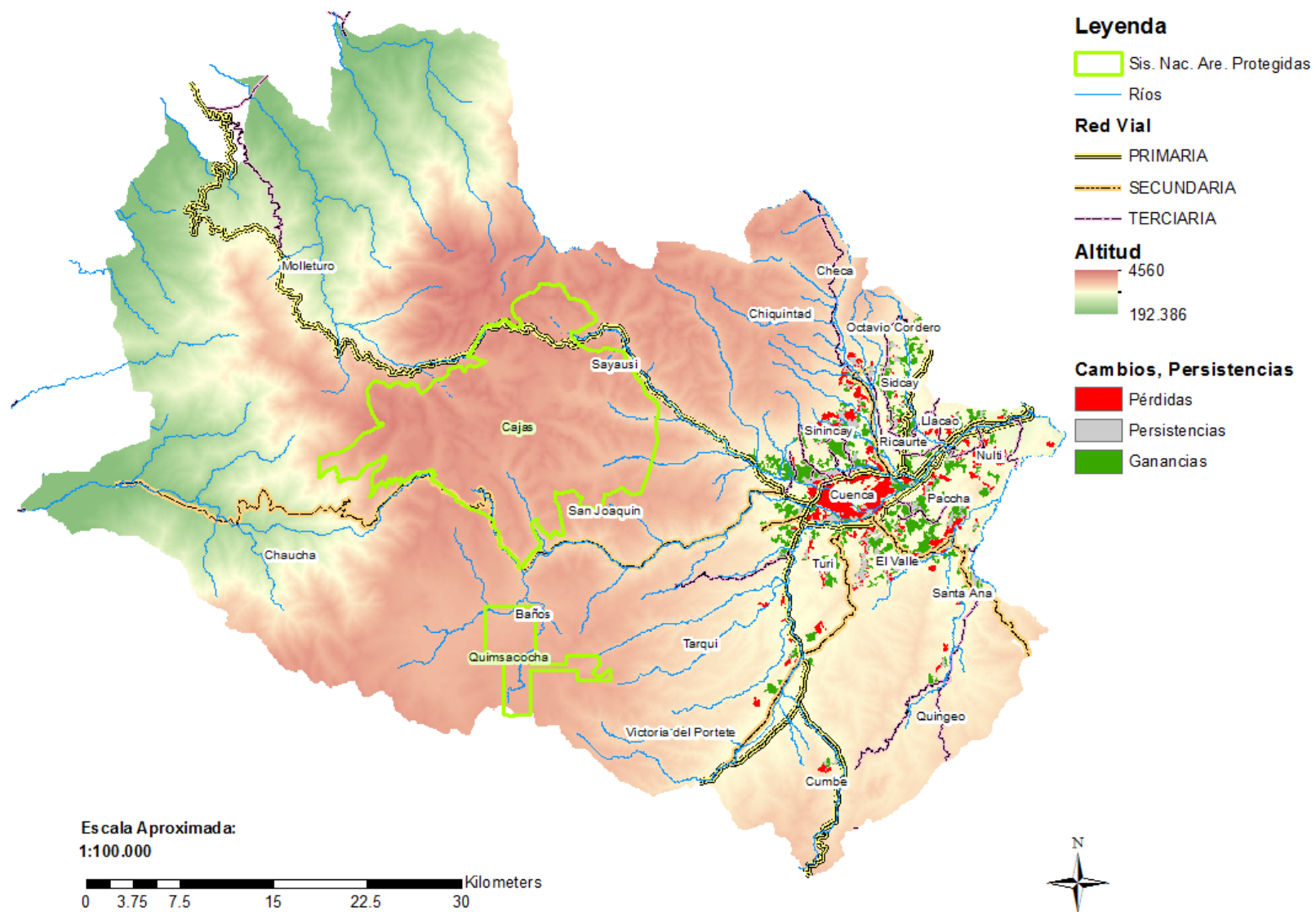


Figura 23: Pérdidas, Persistencias, Ganancias de la categoría de Tejido Urbano Discontinuo entre 1991 y 2001
Fuente: Elaboración propia a partir del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca 2011

En la Figura 24 se presentan los cambios y persistencias entre 2001 y 2011 de la categoría de Tejido urbano discontinuo, la mayor área de pérdidas presentadas se encuentran alrededor del núcleo urbano ya que estas áreas se van consolidando como Tejido urbano continuo, principalmente en áreas cercanas a la red vial primaria. En cuanto a las ganancias se presentan en áreas adyacentes al núcleo urbano, en las parroquias rurales de Sinincay, Sayausí, San Joaquín, Baños, Turi, El Valle, Paccha, Nulti, Ricaurte y Sidcay. En relación al período t1t2 (1991-2001) se puede ver que el Tejido urbano discontinuo se ha incrementado notablemente en las parroquias aledañas al núcleo urbano, particularmente en áreas cercanas a la vías.

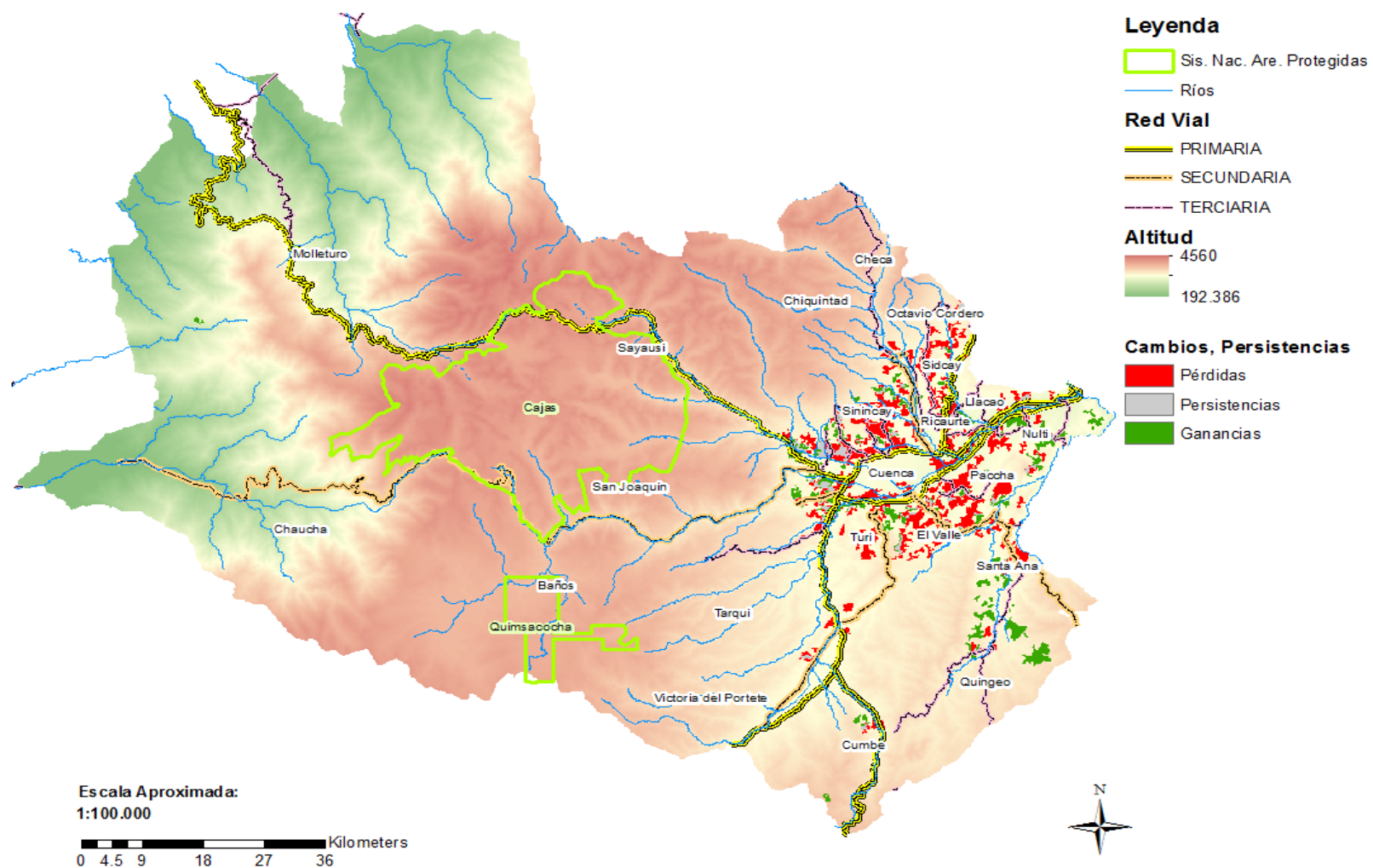
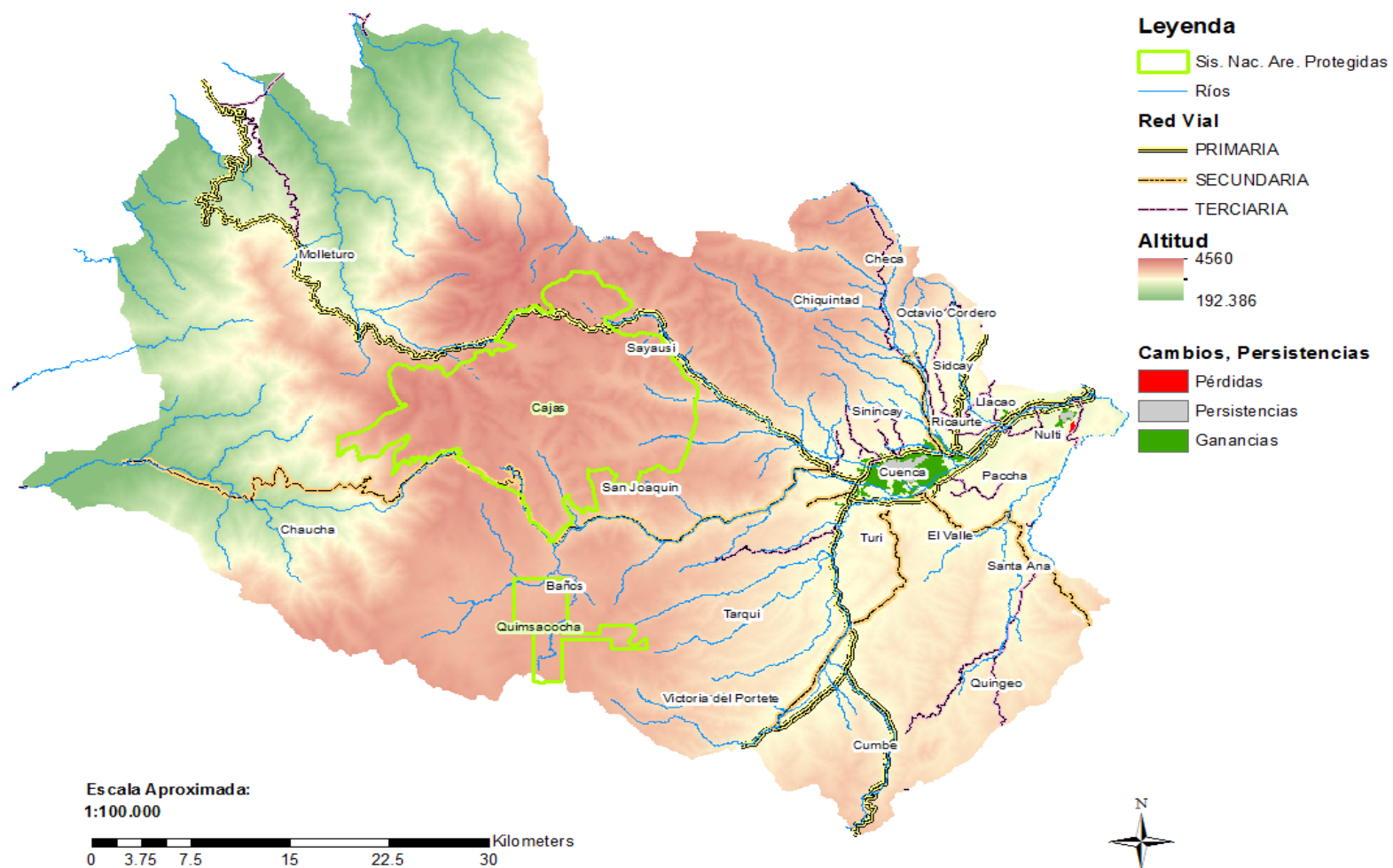
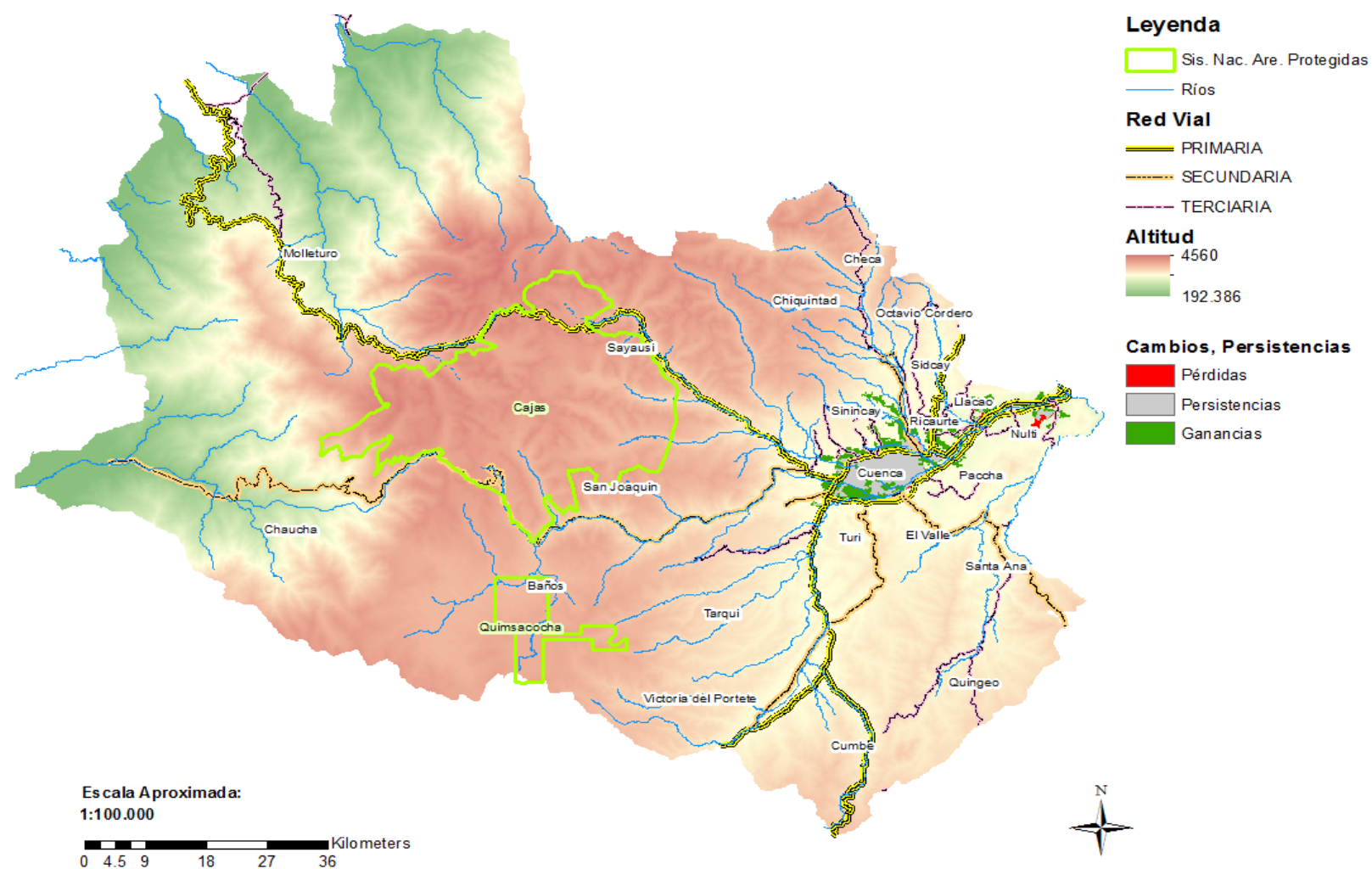


Figura 24: Pérdidas, Persistencias, Ganancias de la categoría de Tejido Urbano Discontinuo entre 2001 y 2011
Fuente: Elaboración propia a partir del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca 2011

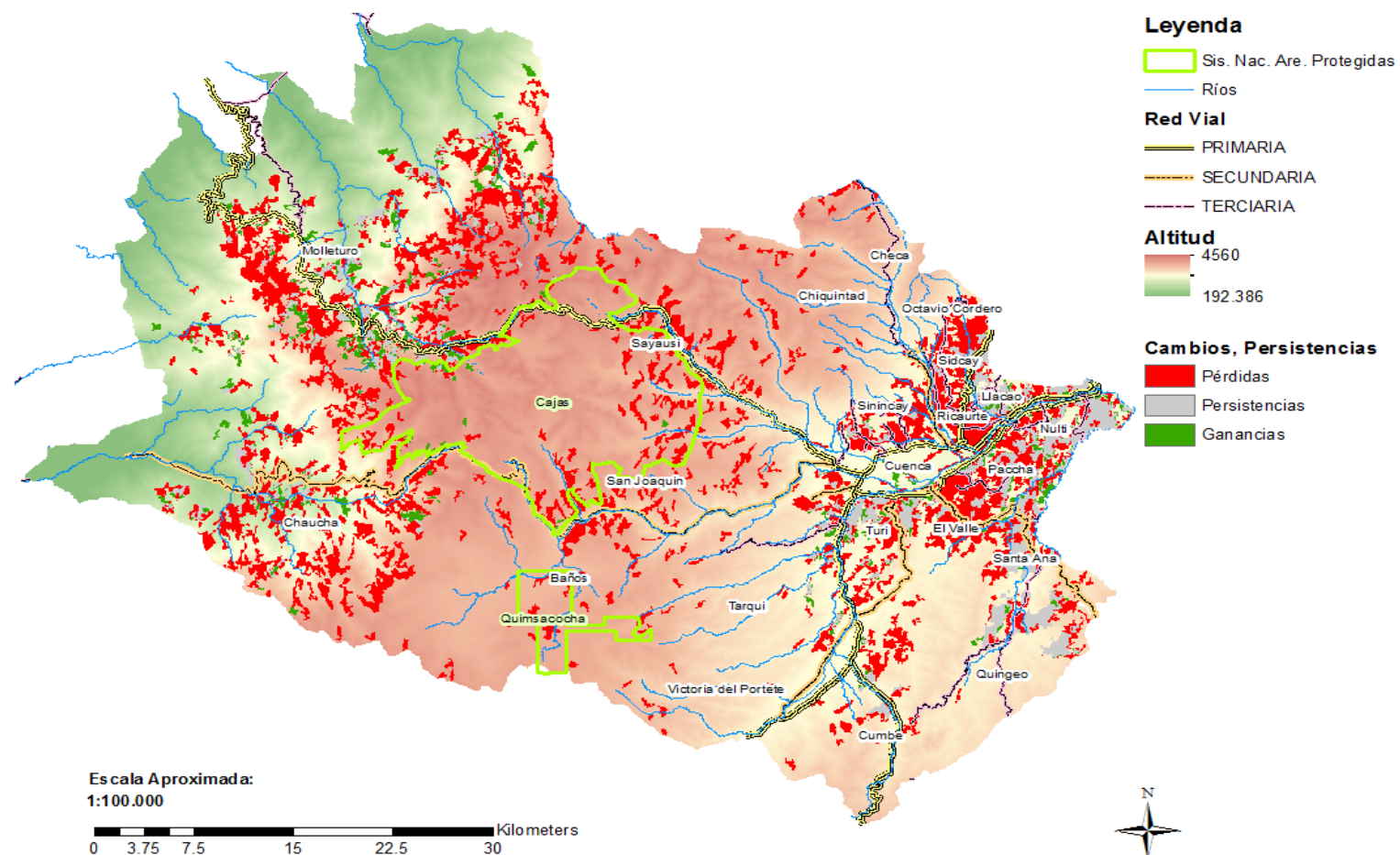
En la Figura 25 se presentan los cambios y persistencias entre 1991 y 2001 de la categoría de Tejido urbano continuo, la mayor área de ganancias presentadas se encuentran alrededor del núcleo urbano ya que estas áreas se van consolidando, principalmente en áreas cercanas a las red vial primaria. En cuanto a las pérdidas presentadas, existe una pequeña área en la parroquia de Nulti, es necesario tener en cuenta que en 1993 se produjo un deslizamiento llamado La Josefina ocasionando inundaciones y deslizamientos (Bermeo Moyano et al. 2013), afectando a varios sectores incluyendo a esta parroquia.



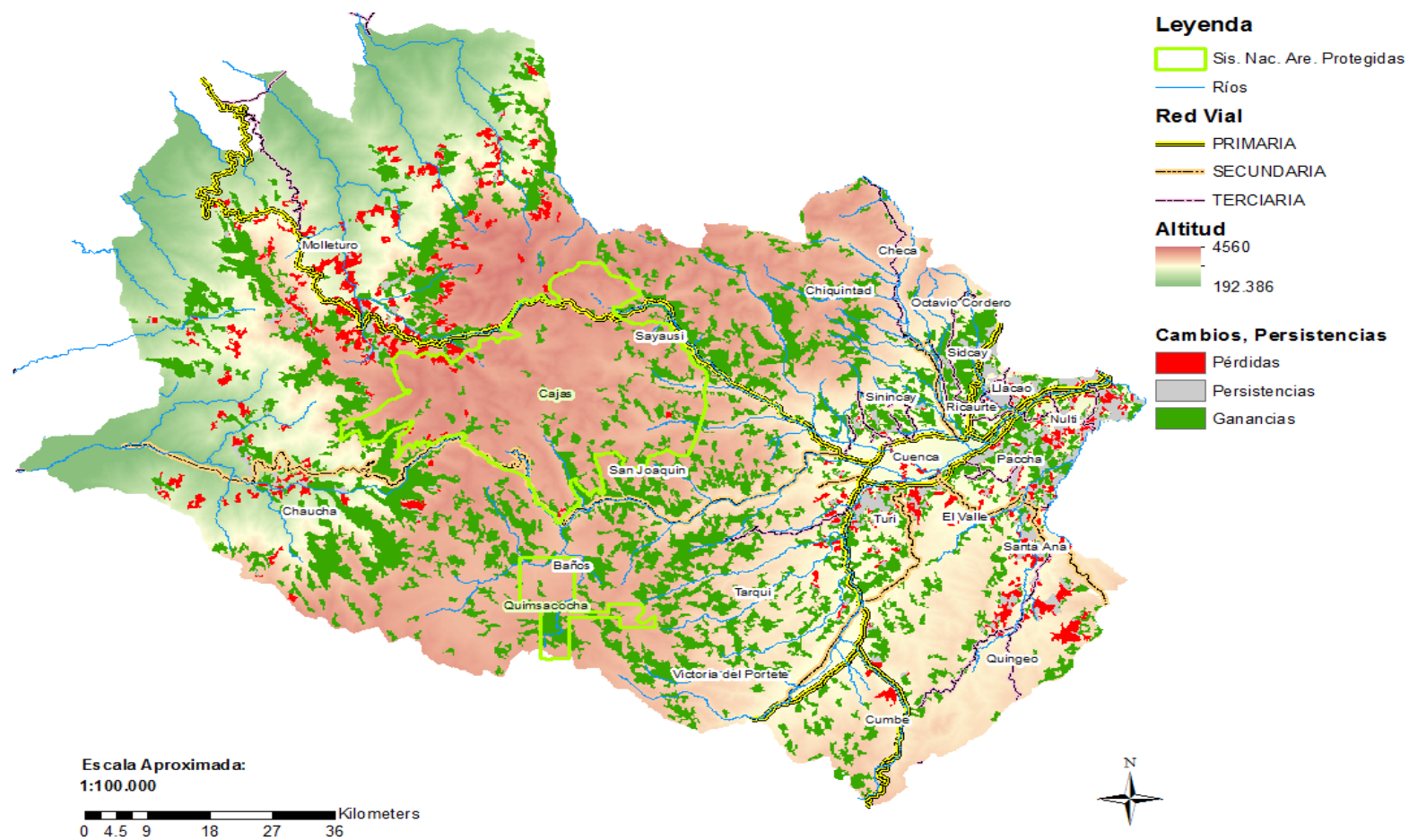
En la Figura 26 se presentan los cambios y persistencias entre 2001 y 2011 de la categoría de Tejido urbano continuo, la mayor área de ganancias presentadas se encuentran alrededor del núcleo urbano ya que estas áreas se van expandiendo, principalmente en áreas cercanas a las red vial primaria. En la parroquia de Nulti existe una pequeña área de pérdida del Tejido urbano continuo, es necesario tener en cuenta que esta parroquia presenta zonas propensas a la inestabilidad debido a deslizamientos y fallas geológicas (Ilustre Municipalidad de Cuenca 2011). En esta categoría, tanto en el primer período t1t2 (1991-2001), como en el segundo período t2t3 (2001-2011), el Tejido urbano continuo se va expandiendo alrededor del núcleo urbano.



En la Figura 27 se presentan los cambios y persistencias entre 1991 y 2001 de la categoría de Arbustos y matorrales, la mayor área de ganancias presentadas se encuentran en parroquias rurales (Molleturo, Chaucha, Santa Ana) alejadas del núcleo urbano. Las pérdidas presentadas alrededor del núcleo urbano se ven influenciadas por el crecimiento del Tejido urbano continuo y el Tejido urbano discontinuo. También se puede observar que las áreas protegidas del Parque Nacional Cajas y Quimsacocha presentan pérdidas. Sin embargo hay que considerar que las pérdidas presentadas en el resto del cantón se ven influenciadas debido a que el período t1t2 (1991-2001) corresponde a la época de verano.



En la Figura 28 se presentan los cambios y persistencias entre 2001 y 2011 de la categoría de Arbustos y matorrales. La mayor área de ganancias presentadas se encuentran en parroquias rurales (Molleturo, Chaucha, Baños y Sayausí) alejadas del núcleo urbano; además existen áreas de pérdidas importantes en las parroquias rurales de Molleturo, Chaucha y Quigeo. También se puede observar que el Parque Nacional Cajas presentan pérdidas a pesar de ser una área protegida. Sin embargo hay que tener en cuenta que el período t2t3 (2001-2011) analizado corresponde a la época de primavera.



CAPÍTULO IV

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Consecuencias de la evolución territorial acontecida

La transformación del territorio está relacionado con la sostenibilidad ya que su evolución a través del tiempo es un indicador base para evaluar los cambios ocurridos (Guaita et al. 2006). A continuación se analiza en síntesis las consecuencias de la evolución territorial, de acuerdo a los cambios observados en la área de estudio.

Tejido Urbano Discontinuo: En los resultados obtenidos se muestra que la tasa de ganancias presentadas en el segundo período t2t3 (2001-2011) se incrementa considerablemente, lo que se ve influenciado favorablemente por una economía estable en este período, lo cual se respalda con el informe emitido por el Banco Central del Ecuador (BCE 2010), en donde se indica que la actividad económica que más crece es la construcción residencial. Las ganancias presentadas ocurren en las parroquias rurales de Sinincay, Sayausí, San Joaquín, Baños, Turi, El Valle, Paccha, Nulti, Ricaurte y Sidcay, en donde existió una alta tasa de migración producida por la crisis económica del primer período t1t2 (1991-2001). El crecimiento presentado se caracteriza por ser disperso, lo que provoca una deficiencia de los servicios básicos principalmente de agua potable y alcantarillado, lo cual es constatado en la información del Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca 2011 (Ilustre Municipalidad de Cuenca 2011). Otro aspecto a considerar es que los costos de adquisición de sitios es más accesible en áreas alejadas del núcleo urbano, esto se puede confirmar con la información de plusvalías y alcabalas registradas en el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Cuenca en su página web de consulta de trámites municipales <http://tramites.cuenca.gov.ec/TAC/servlet/consultatramitepagweb>.

Tejido Urbano Continuo: En los resultados obtenidos se muestra que la tasa de ganancias presentadas en el segundo período t2t3 (2001-2011) se incrementa considerablemente debido a mejoras de la economía en el segundo período (BCE

2010). El crecimiento presentado muestra como el núcleo urbano se va expandiendo, con tasas de crecimiento altas entre el primer y segundo período, consumiendo el territorio con un uso que generalmente es irreversible, la expansión del Tejido urbano continuo se ve influenciado por la vigencia de la normativa de "Reforma, Actualización, Complementación y Codificación de la Ordenanza que Sanciona El Plan De Ordenamiento Territorial Del Cantón Cuenca: Determinaciones Para el Uso y Ocupación del Suelo Urbano", en donde se establece que la altura de edificación máxima es de 4 pisos y solo en casos particulares que cumplan condiciones específicas definidas en la ordenanza se ampliará a dos pisos adicionales (Ilustre Municipalidad de Cuenca 2006). Motivo por el cual el área urbana se va expandiendo con una baja densificación, como lo asevera el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca 2011 (Ilustre Municipalidad de Cuenca 2011).

Tierras Desnudas y Degradadas: En los resultados obtenidos se muestra un incremento alto durante el segundo período t2t3 (2001-2011), el incremento de las Tierras Desnudas y Degradadas se ve influenciado por dos aspectos: el primero por áreas erosionadas como lo indica el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca 2011 en las parroquias rurales de Quingeo, Santa Ana, El Valle, Paccha, Nulti, Sidcay, Sinincay y Molleturo, el segundo por zonas de riesgo de deslizamientos en las parroquias de Baños, Ricaurte, Llacao, Paccha y Turi (Ilustre Municipalidad de Cuenca 2011). En el Proyecto de Análisis de Vulnerabilidades en el cantón Cuenca se detalla deslizamientos acontecidos en diferentes sitios del cantón en ciudadelas tales como: Jaime Roldós, los Trigales (Bermeo Moyano et al. 2013). Además en periódicos locales se puede encontrar información de deslizamientos ocurridos en zonas vulnerables dentro del cantón como: Jaime Roldós y Quinta Chica (EL MERCURIO 2008). De igual manera en el proyecto de Prevención de Desastres Naturales en el Cuenca del Paute (PRECUPA) elaboró un informe de las zonas de riesgo, en dicho informe se detalla las zonas vulnerables entre las cuales podemos mencionar: Baños, Turi, Paccha y Nulti.

Arbustos y Matorrales: En los resultados obtenidos se muestra un decremento de la tasa de ganancia entre el primer período t1t2 y el segundo período t2t3. El valor alto de la tasa de ganancia durante el primer período se puede ver influenciado por la migración de la población del área rural ocurrida por la crisis económica (BCE 2010), por lo que se reducen las actividades agrícolas y pecuarias disminuyendo la intervención en el territorio. En el segundo período t1t2 se registra una tasa de ganancia inferior al período anterior.

4.2. Directrices de desarrollo territorial sostenible

En el caso de mantenerse las tendencias de cambios de usos, se pone en riesgo los recursos del territorio para las generaciones actuales y futuras; los resultados obtenidos servirán como pautas para establecer estrategias para conservar y restaurar los recursos territoriales existentes. Las directrices que se proponen para un desarrollo sostenible se centran en redireccionar los cambios del territorio con tendencias negativas:

- o Normar las actividades desarrolladas por la población en el territorio de acuerdo a su capacidad de acogida.
- o Impulsar actividades compatibles con la capacidad de acogida del territorio.
- o Promover la capacitación y asistencia técnica en las actividades agropecuarias que ayuden a mejorar la producción agrícola a favor de la población y evitar la degradación del territorio.
- o Incrementar el uso de tecnologías limpias en el sector agropecuario.
- o Incentivar el desarrollo de procesos agroindustriales tecnificados.
- o Fortalecer la infraestructura de centros educativos parroquiales y la calidad del sistema educativo, además mejorar el sistema de transporte vial parroquial, lo cual permitirá impulsar el desarrollo económico.
- o Consolidar el tejido urbano continuo a través de planes de ordenamiento territorial que propongan el crecimiento vertical de la ciudad, para mejorar la densificación del núcleo urbano.

- o Promover la vivienda social con la finalidad de facilitar el acceso a personas de clase media y baja a la misma.
- o Definir políticas y normas aplicables para la conservación de vegetación nativa y reforestación.
- o Declarar y delimitar bosques protegidos y establecer normativa de uso de suelo aplicables para el cumplimiento del mismo.
- o Incrementar la preservación rigurosa de bosques protegidos.

4.3. Conclusiones

Para el análisis de cambios de usos de suelo multitemporal, es de gran utilidad la información disponible de las imágenes de satélite, ya que generalmente no existen fuentes de datos históricos que permitan realizar estas investigaciones. Es importante conocer el procesamiento de las imágenes de satélite a seguir previo a la clasificación. En la elaboración de la clasificación es necesario conocer el territorio y tener experiencia en el ámbito de las TIG (Tecnologías de Información Geográfica) y es de mucha ayuda contar con personas de amplia experiencia en esta rama, que puedan guiar y apoyar a lo largo del proceso de investigación. La cartografía auxiliar disponible es necesaria para mejorar la calidad de la clasificación elaborada.

Sin embargo se debe de considerar que existirá un margen de error inevitable debido a errores en la clasificación por confusión entre las categorías, también se verá afectado por las fechas de captura y adquisición de las imágenes ya que no se cuentan con imágenes que correspondan a la misma fecha en los años de estudio. Se optó por trabajar con las imágenes disponibles del área de estudio que presentaron las mejores características técnicas.

La utilización de la metodología de Pontius, nos permiten identificar espacialmente los cambios ocurridos y cuantificarlos. Con el cálculo de transiciones sistemáticas se puede

determinar los usos de suelo que han sufrido cambios significativos ocurridos en el territorio. Los resultados obtenidos muestran los cambios acontecidos durante los 20 años estudiados, aportando información para el conocimiento del territorio. Estos datos pueden servir de aporte en procesos de planificación. El conocimiento detallado de estos cambios pueden servir de pautas para identificar tendencias inadecuadas de ciertos usos de suelo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BCE, 2010. La Economía Ecuatoriana Luego de 10 Años de Dolarización. Banco Central del Ecuador, p.78.
- Bermeo Moyano, H., Barrera, C. & Vintimilla, L.E., 2013. Implementación de la metodología de análisis de vulnerabilidades a nivel cantonal - Cuenca. Universidad de Cuenca, Cuenca, p.180.
- Chuvieco, E., 2010. Teledetección Ambiental Tercera Edición, Barcelona, p. 591.
- ETAPA, 2015. ETAPA EP- Telefonía, Televisión, Internet, Agua Potable, PN Cajas, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, Parque Nacional Cajas. Available at: <http://www.etapa.net.ec/Parque-Nacional-Cajas/Visitar/Descripcion-General> [Accessed September 20, 2015].
- Galicia, L. et al., 2015. Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. Academia Mexicana de Ciencias. Available at: http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=135 [Accessed September 20, 2015].
- Guaita, N. et al., 2006. Cambios de ocupación del suelo en España Implicaciones para la sostenibilidad, Alcalá: Observatorio de la Sostenibilidad en España. Available at: www.sostenibilidad-es.org.
- Ilustre Municipalidad de Cuenca, ., 2011. Formulación Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Cuenca Ilustre Municipalidad De Cuenca Diagnóstico sectorial e integrado, Cuenca, p. 411.
- Ilustre Municipalidad de Cuenca, ., 2006. Reforma, Actualización, Complementación y Codificación de la Ordenanza que Sanciona El Plan De Ordenamiento Territorial Del Cantón Cuenca: Determinaciones Para el Uso y Ocupación del Suelo Urbano, Cuenca, p. 269.
- EL MERCURIO, 2008. Estudios advirtieron zonas críticas pero se los ignoró Cuenca. Available at: http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=76658&umt=el_mercurio_cuenca_estudios_advirtieron_zonas_criticas_pero_se_ignoro [Accessed September 20, 2015].
- Montalbán, M., 2009. Detección remota de invernaderos a partir de Estéreo pares PAN y MS del satélite Worldview-2 aplicando técnicas de clasificación basada en objetos. Universidad de Almería, España, p. 101.

- Plata, W., Gómez, M. & Bosque, J., 2009. Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la Comunidad de Madrid (1990-2000). *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, XIII, p.293. Available at: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-293.htm>, [Accessed September 20, 2015].
- Pontius, R., Shusas, E. & McEachern, M., 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2-3), p.18: 251–268. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016788090300327X> [Accessed September 20, 2015].
- YALE, 2013. Filling Gaps in Landsat ETM Images. The Yale Center for Earth Observation, (May 2003), pp.1–3. Available at: <http://yceo.yale.edu/> [Accessed September 20, 2015].

Páginas web

- <http://www.nasa.gov/>. Revisado el 20 de Septiembre del 2015.
- <http://www.usgs.gov/>. Revisado el 20 de Septiembre del 2015.
- <http://glovis.usgs.gov/> Revisado el 20 de Septiembre del 2015.
- <http://landsat.usgs.gov/> Revisado el 20 de Septiembre del 2015.
- <http://tramites.cuenca.gov.ec/TAC/servlet/consultatramitepagweb> Revisado el 20 de Septiembre del 2015
- <http://tramites.cuenca.gov.ec/TAC/static/inicio.html> Revisado el 20 de Septiembre del 2015
- <http://www.etapa.net.ec/Parque-Nacional-Cajas/Visitar/Descripcion-General> Revisado el 20 de Septiembre del 2015.
- <http://www.cuenca.com.ec/cuencanew/article/parque-nacional-cajas> Revisado 20 de Septiembre del 2015
- <http://www.cuenca.gob.ec/> Revisado el 20 de Septiembre del 2015
- <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/151392-en-cuenca-hay-60-sectores-vulnerables-a-desastres/> Revisado el 20 de Septiembre del 2015

<https://www.youtube.com/watch?v=E5hf7hVPVhQ> Revisado el 20 de Septiembre del 2015

<https://www.youtube.com/watch?v=yTEVJ6F9Y0Y> Revisado el 20 de Septiembre del 2015

<https://www.youtube.com/watch?v=xjX9JOJfLW4> Revisado el 20 de Septiembre del 2015

http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=76658&umt=el_mercurio_cuenca_estudios_advirtieron_zonas_criticas_pero_se_ignoro Revisado el 20 de Septiembre del 2015.

6. ANEXOS

En las Tablas 10, 11, 12 y 13 los números en "negrita" representan los valores observados, los números en "itálica" representan los valores esperados en un proceso aleatorio, los números de la fila entre paréntesis "()" son la diferencia entre los valores esperados y observados y los números de la fila entre corchetes "[]" es el resultado de la división del número entre paréntesis y el número en itálica.

6.1. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias 1991-2001

Cód.	Categoría	2001								Total 1991	Pérdida
		1	2	3	4	5	6	7	8		
1991	1 Tejido urbano discontinuo	0.87	0.36	0.00	0.24	0.01	0.25	0.00	0.60	2.33	1.46
	<i>Italic</i>	<i>0.87</i>	<i>0.26</i>	<i>0.14</i>	<i>0.06</i>	<i>0.42</i>	<i>0.04</i>	<i>0.00</i>	<i>0.02</i>	<i>1.80</i>	<i>0.93</i>
	()	0.00	0.10	-0.14	0.18	-0.41	0.22	0.00	0.58	0.53	0.53
	[]	0.00	0.39	-0.99	3.11	-0.97	5.95	-1.00	30.87	0.29	0.57
	Mosaicos de cultivos, pastos										
	2 y espacios naturales	0.36	12.66	1.79	0.34	1.05	0.07	0.00	0.01	16.29	3.63
	<i>Italic</i>	<i>0.39</i>	<i>12.66</i>	<i>0.97</i>	<i>0.41</i>	<i>2.94</i>	<i>0.26</i>	<i>0.01</i>	<i>0.13</i>	<i>17.77</i>	<i>5.11</i>
	()	-0.03	0.00	0.82	-0.07	-1.89	-0.19	-0.01	-0.12	-1.48	-1.48
	[]	-0.07	0.00	0.84	-0.16	-0.64	-0.73	-1.00	-0.89	-0.08	-0.29
	3 Bosques	0.01	2.02	14.26	0.27	1.71	0.01	0.02	0.01	18.29	4.03
	<i>Italic</i>	<i>0.44</i>	<i>2.01</i>	<i>14.26</i>	<i>0.46</i>	<i>3.30</i>	<i>0.29</i>	<i>0.01</i>	<i>0.15</i>	<i>20.92</i>	<i>6.66</i>
	()	-0.43	0.01	0.00	-0.19	-1.59	-0.28	0.00	-0.14	-2.63	-2.63
	[]	-0.98	0.00	0.00	-0.42	-0.48	-0.98	0.31	-0.96	-0.13	-0.39
	4 Arbustos y matorrales	1.79	4.58	2.15	4.91	7.73	0.60	0.03	0.14	21.93	17.02
	<i>Italic</i>	<i>0.53</i>	<i>2.41</i>	<i>1.31</i>	<i>4.91</i>	<i>3.96</i>	<i>0.34</i>	<i>0.02</i>	<i>0.18</i>	<i>13.66</i>	<i>8.75</i>
	()	1.27	2.17	0.84	0.00	3.77	0.26	0.01	-0.04	8.27	8.27
	[]	2.40	0.90	0.64	0.00	0.95	0.74	0.67	-0.22	0.61	0.95
	5 Páramo	0.11	1.72	0.81	0.95	35.21	0.60	0.03	0.00	39.43	4.22
	<i>Italic</i>	<i>0.95</i>	<i>4.34</i>	<i>2.36</i>	<i>0.99</i>	<i>35.21</i>	<i>0.62</i>	<i>0.03</i>	<i>0.32</i>	<i>44.81</i>	<i>9.60</i>
	()	-0.84	-2.62	-1.55	-0.04	0.00	-0.02	0.00	-0.32	-5.38	-5.38
	[]	-0.88	-0.60	-0.66	-0.04	0.00	-0.03	-0.04	-1.00	-0.12	-0.56
	Tierras desnudas y										
	6 degradadas	0.04	0.43	0.01	0.12	0.16	0.36	0.00	0.04	1.17	0.81
	<i>Italic</i>	<i>0.03</i>	<i>0.13</i>	<i>0.07</i>	<i>0.03</i>	<i>0.21</i>	<i>0.36</i>	<i>0.00</i>	<i>0.01</i>	<i>0.84</i>	<i>0.48</i>
	()	0.01	0.30	-0.06	0.09	-0.05	0.00	0.00	0.03	0.33	0.33
	[]	0.48	2.30	-0.79	3.18	-0.22	0.00	-1.00	3.07	0.39	0.69
	7 Embalses y cuerpos de agua	0.00	0.00	0.06	0.00	0.10	0.00	0.20	0.00	0.36	0.16
	<i>Italic</i>	<i>0.01</i>	<i>0.04</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>0.06</i>	<i>0.01</i>	<i>0.20</i>	<i>0.00</i>	<i>0.35</i>	<i>0.15</i>
	()	-0.01	-0.04	0.04	-0.01	0.03	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
	[]	-1.00	-0.93	1.72	-0.97	0.51	-1.00	0.00	-1.00	0.02	0.05
	8 Tejido urbano continuo	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.18	0.20	0.02
	<i>Italic</i>	<i>0.00</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.04</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.18</i>	<i>0.26</i>	<i>0.08</i>
	()	0.00	-0.02	-0.01	0.00	-0.04	0.01	0.00	0.00	-0.06	-0.06
	[]	0.05	-1.00	-1.00	0.23	-1.00	1.69	-1.00	0.00	-0.24	-0.76
	Total 2001	3.20	21.76	19.09	6.85	45.97	1.90	0.28	0.97	100.00	31.35
	<i>Italic</i>	<i>3.20</i>	<i>21.76</i>	<i>19.09</i>	<i>6.85</i>	<i>45.97</i>	<i>1.90</i>	<i>0.28</i>	<i>0.97</i>	<i>100.00</i>	<i>31.35</i>
	()	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	[]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ganancia	2.33	9.10	4.83	1.93	10.75	1.54	0.08	0.79	31.35	
	<i>Italic</i>	<i>2.33</i>	<i>9.10</i>	<i>4.83</i>	<i>1.93</i>	<i>10.75</i>	<i>1.54</i>	<i>0.08</i>	<i>0.79</i>	<i>31.35</i>	
	()	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	[]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Tabla 10: Matriz de cambios 1991-2001 en porcentaje del área total en términos de ganancias

Fuente: Elaboración propia

6.2. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las ganancias 2001-2011

Cód.	Categoría	2011								Total 2001	Pérdida
		1	2	3	4	5	6	7	8		
2001	1 Tejido urbano discontinuo	0.54	0.95	0.04	1.01	0.03	0.05	0.00	0.58	3.20	2.65
	<i>Italic</i>	<i>0.54</i>	<i>0.32</i>	<i>0.19</i>	<i>0.79</i>	<i>0.11</i>	<i>0.01</i>	<i>0.00</i>	<i>0.04</i>	<i>2.00</i>	<i>1.46</i>
	()	0.00	0.64	-0.15	0.22	-0.08	0.04	0.00	0.54	1.19	1.19
	[]	0.00	2.02	-0.80	0.28	-0.76	2.99	-1.00	14.58	0.60	0.82
	Mosaicos de cultivos, pastos										
	2 y espacios naturales	0.48	14.16	3.06	3.82	0.06	0.03	0.00	0.16	21.76	7.60
	<i>Italic</i>	<i>0.27</i>	<i>14.16</i>	<i>1.29</i>	<i>5.39</i>	<i>0.75</i>	<i>0.09</i>	<i>0.02</i>	<i>0.25</i>	<i>22.22</i>	<i>8.06</i>
	()	0.21	0.00	1.76	-1.58	-0.69	-0.06	-0.02	-0.09	-0.46	-0.46
	[]	0.78	0.00	1.36	-0.29	-0.92	-0.69	-1.00	-0.35	-0.02	-0.06
	3 Bosques	0.00	1.86	10.30	6.50	0.40	0.00	0.01	0.00	19.09	8.78
	<i>Italic</i>	<i>0.23</i>	<i>1.88</i>	<i>10.30</i>	<i>4.73</i>	<i>0.66</i>	<i>0.07</i>	<i>0.02</i>	<i>0.22</i>	<i>18.13</i>	<i>7.82</i>
	()	-0.23	-0.02	0.00	1.77	-0.26	-0.07	-0.01	-0.22	0.96	0.96
	[]	-0.99	-0.01	0.00	0.37	-0.40	-1.00	-0.56	-0.98	0.05	0.12
	4 Arbustos y matorrales	0.48	1.94	0.35	2.95	0.86	0.04	0.00	0.22	6.85	3.89
	<i>Italic</i>	<i>0.08</i>	<i>0.68</i>	<i>0.41</i>	<i>2.95</i>	<i>0.24</i>	<i>0.03</i>	<i>0.01</i>	<i>0.08</i>	<i>4.47</i>	<i>1.52</i>
	()	0.39	1.27	-0.06	0.00	0.63	0.01	-0.01	0.15	2.38	2.38
	[]	4.67	1.87	-0.15	0.00	2.67	0.48	-0.96	1.83	0.53	1.57
	5 Páramo	0.01	2.46	1.28	11.00	30.87	0.24	0.10	0.00	45.97	15.10
	<i>Italic</i>	<i>0.57</i>	<i>4.54</i>	<i>2.73</i>	<i>11.39</i>	<i>30.87</i>	<i>0.18</i>	<i>0.05</i>	<i>0.53</i>	<i>50.86</i>	<i>19.99</i>
	()	-0.55	-2.08	-1.45	-0.39	0.00	0.07	0.05	-0.53	-4.89	-4.89
	[]	-0.98	-0.46	-0.53	-0.03	0.00	0.36	0.96	-0.99	-0.10	-0.24
	Tierras desnudas y										
	6 degradadas	0.21	0.41	0.03	0.45	0.45	0.20	0.00	0.16	1.90	1.70
	<i>Italic</i>	<i>0.02</i>	<i>0.19</i>	<i>0.11</i>	<i>0.47</i>	<i>0.07</i>	<i>0.20</i>	<i>0.00</i>	<i>0.02</i>	<i>1.09</i>	<i>0.88</i>
	()	0.18	0.22	-0.08	-0.02	0.38	0.00	0.00	0.14	0.82	0.82
	[]	7.81	1.17	-0.73	-0.05	5.85	0.00	-1.00	6.28	0.75	0.92
	7 Embalses y cuerpos de agua	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.21	0.00	0.28	0.07
	<i>Italic</i>	<i>0.00</i>	<i>0.03</i>	<i>0.02</i>	<i>0.07</i>	<i>0.01</i>	<i>0.00</i>	<i>0.21</i>	<i>0.00</i>	<i>0.34</i>	<i>0.13</i>
	()	0.00	-0.03	-0.01	-0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.06
	[]	-1.00	-1.00	-0.90	-0.49	1.82	-1.00	0.00	0.01	-0.19	-0.49
	8 Tejido urbano continuo	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.92	0.97	0.05
	<i>Italic</i>	<i>0.01</i>	<i>0.10</i>	<i>0.06</i>	<i>0.24</i>	<i>0.03</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.92</i>	<i>1.37</i>	<i>0.45</i>
	()	-0.01	-0.09	-0.06	-0.22	-0.03	0.02	0.00	0.00	-0.39	-0.39
	[]	-0.57	-0.97	-1.00	-0.89	-1.00	3.96	-1.00	0.00	-0.29	-0.88
	Total 2011	1.72	21.78	15.06	25.80	32.69	0.58	0.32	2.06	100.00	39.85
	<i>Italic</i>	<i>1.72</i>	<i>21.78</i>	<i>15.06</i>	<i>25.80</i>	<i>32.69</i>	<i>0.58</i>	<i>0.32</i>	<i>2.06</i>	<i>100.00</i>	<i>39.85</i>
	()	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	[]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ganancia	1.18	7.62	4.75	22.85	1.82	0.38	0.11	1.13	39.85	
	<i>Italic</i>	<i>1.18</i>	<i>7.62</i>	<i>4.75</i>	<i>22.85</i>	<i>1.82</i>	<i>0.38</i>	<i>0.11</i>	<i>1.13</i>	<i>39.85</i>	
	()	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	[]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Tabla 11: Matriz de cambios 2001-2011 en porcentaje del área total en términos de ganancias

Fuente: Elaboración propia

6.3. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las pérdidas 1991-2001

Cód.	Categoría	2001								Total 1991	Pérdida
		1	2	3	4	5	6	7	8		
1991	1 Tejido urbano discontinuo	0.87	0.36	0.00	0.24	0.01	0.25	0.00	0.60	2.33	1.46
	<i>Italic</i>	<i>0.87</i>	<i>0.33</i>	<i>0.29</i>	<i>0.10</i>	<i>0.70</i>	<i>0.03</i>	<i>0.00</i>	<i>0.01</i>	<i>2.35</i>	<i>1.46</i>
	()	0.00	0.03	-0.29	0.14	-0.69	0.23	0.00	0.58	-0.02	0.00
	[]	0.00	0.08	-1.00	1.30	-0.98	7.78	-1.00	39.15	-0.01	
	Mosaicos de cultivos, pastos										
	2 y espacios naturales	0.36	12.66	1.79	0.34	1.05	0.07	0.00	0.01	16.29	3.63
	<i>Italic</i>	<i>0.15</i>	<i>12.66</i>	<i>0.90</i>	<i>0.32</i>	<i>2.16</i>	<i>0.09</i>	<i>0.01</i>	<i>0.05</i>	<i>16.33</i>	<i>3.63</i>
	()	0.21	0.00	0.90	0.02	-1.11	-0.02	-0.01	-0.03	-0.05	0.00
	[]	1.41	0.00	1.00	0.07	-0.52	-0.24	-1.00	-0.67	0.00	
	3 Bosques	0.01	2.02	14.26	0.27	1.71	0.01	0.02	0.01	18.29	4.03
	<i>Italic</i>	<i>0.16</i>	<i>1.10</i>	<i>14.26</i>	<i>0.35</i>	<i>2.32</i>	<i>0.10</i>	<i>0.01</i>	<i>0.05</i>	<i>18.34</i>	<i>4.03</i>
	()	-0.15	0.92	0.00	-0.08	-0.61	-0.09	0.00	-0.04	-0.05	0.00
	[]	-0.94	0.84	0.00	-0.23	-0.26	-0.94	0.35	-0.87	0.00	
	4 Arbustos y matorrales	1.79	4.58	2.15	4.91	7.73	0.60	0.03	0.14	21.93	17.02
	<i>Italic</i>	<i>0.59</i>	<i>4.02</i>	<i>3.52</i>	<i>4.91</i>	<i>8.49</i>	<i>0.35</i>	<i>0.05</i>	<i>0.18</i>	<i>22.12</i>	<i>17.02</i>
	()	1.20	0.56	-1.37	0.00	-0.76	0.25	-0.02	-0.04	-0.18	0.00
	[]	2.04	0.14	-0.39	0.00	-0.09	0.71	-0.43	-0.24	-0.01	
	5 Páramo	0.11	1.72	0.81	0.95	35.21	0.60	0.03	0.00	39.43	4.22
	<i>Italic</i>	<i>0.25</i>	<i>1.73</i>	<i>1.52</i>	<i>0.54</i>	<i>35.21</i>	<i>0.15</i>	<i>0.02</i>	<i>0.08</i>	<i>39.51</i>	<i>4.22</i>
	()	-0.14	-0.01	-0.71	0.41	0.00	0.45	0.01	-0.08	-0.08	0.00
	[]	-0.56	-0.01	-0.47	0.75	0.00	2.96	0.37	-0.99	0.00	
	Tierras desnudas y										
	6 degradadas	0.04	0.43	0.01	0.12	0.16	0.36	0.00	0.04	1.17	0.81
	<i>Italic</i>	<i>0.03</i>	<i>0.18</i>	<i>0.16</i>	<i>0.06</i>	<i>0.38</i>	<i>0.36</i>	<i>0.00</i>	<i>0.01</i>	<i>1.18</i>	<i>0.81</i>
	()	0.02	0.25	-0.14	0.07	-0.22	0.00	0.00	0.03	-0.01	0.00
	[]	0.57	1.35	-0.91	1.16	-0.57	0.00	-1.00	3.72	-0.01	
	7 Embalses y cuerpos de agua	0.00	0.00	0.06	0.00	0.10	0.00	0.20	0.00	0.36	0.16
	<i>Italic</i>	<i>0.01</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>0.01</i>	<i>0.07</i>	<i>0.00</i>	<i>0.20</i>	<i>0.00</i>	<i>0.36</i>	<i>0.16</i>
	()	-0.01	-0.03	0.03	-0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	[]	-1.00	-0.92	0.90	-0.97	0.32	-1.00	0.00	-1.00	0.00	
	8 Tejido urbano continuo	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.18	0.20	0.02
	<i>Italic</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.01</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.18</i>	<i>0.20</i>	<i>0.02</i>
	()	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	[]	6.87	-1.00	-1.00	3.48	-1.00	21.20	-1.00	0.00	0.00	
	Total 2001	3.20	21.76	19.08	6.85	45.97	1.90	0.28	0.97	100.00	31.35
	<i>Italic</i>	<i>2.06</i>	<i>20.05</i>	<i>20.68</i>	<i>6.30</i>	<i>49.35</i>	<i>1.08</i>	<i>0.31</i>	<i>0.56</i>	<i>100.00</i>	<i>31.35</i>
	()	1.14	1.70	-1.60	0.55	-3.38	0.82	-0.03	0.42	0.00	0.00
	[]	0.55	0.08	-0.08	0.09	-0.07	0.75	-0.09	0.75	0.00	0.00
	Ganancia	2.33	9.10	4.83	1.93	10.75	1.54	0.08	0.79	31.35	
	<i>Italic</i>	<i>1.19</i>	<i>7.40</i>	<i>6.42</i>	<i>1.39</i>	<i>14.14</i>	<i>0.72</i>	<i>0.11</i>	<i>0.38</i>	<i>31.35</i>	
	()	1.14	1.70	-1.60	0.55	-3.38	0.82	-0.03	0.42	0.00	
	[]	0.96	0.23	-0.25	0.39	-0.24	1.13	-0.27	1.10	0.00	

Tabla 12: Matriz de cambios 1991-2001 en porcentaje del área total en términos de pérdidas

Fuente: Elaboración propia

6.4. Porcentaje de cambio de uso de suelo en función de las pérdidas 2001-2011

Cód.	Categoría	2011								Total 2001	Pérdida
		1	2	3	4	5	6	7	8		
2001	1 Tejido urbano discontinuo	0.54	0.95	0.04	1.01	0.03	0.05	0.00	0.58	3.20	2.65
	<i>Italic</i>	<i>0.54</i>	<i>0.59</i>	<i>0.41</i>	<i>0.70</i>	<i>0.89</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>	<i>0.06</i>	<i>3.22</i>	<i>2.65</i>
	()	0.00	0.36	-0.37	0.31	-0.87	0.03	-0.01	0.52	-0.03	0.00
	[]	0.00	0.60	-0.91	0.44	-0.97	2.15	-1.00	9.27	-0.01	
	Mosaicos de cultivos, pastos										
	2 y espacios naturales	0.48	14.16	3.06	3.82	0.06	0.03	0.00	0.16	21.76	7.60
	<i>Italic</i>	<i>0.17</i>	<i>14.16</i>	<i>1.48</i>	<i>2.54</i>	<i>3.22</i>	<i>0.06</i>	<i>0.03</i>	<i>0.20</i>	<i>21.85</i>	<i>7.60</i>
	()	0.31	0.00	1.57	1.28	-3.16	-0.03	-0.03	-0.04	-0.10	0.00
	[]	1.81	0.00	1.06	0.50	-0.98	-0.54	-1.00	-0.19	0.00	
	3 Bosques	0.00	1.86	10.30	6.50	0.40	0.00	0.01	0.00	19.09	8.78
	<i>Italic</i>	<i>0.18</i>	<i>2.28</i>	<i>10.30</i>	<i>2.70</i>	<i>3.42</i>	<i>0.06</i>	<i>0.03</i>	<i>0.22</i>	<i>19.19</i>	<i>8.78</i>
	()	-0.18	-0.41	0.00	3.81	-3.02	-0.06	-0.02	-0.21	-0.10	0.00
	[]	-0.98	-0.18	0.00	1.41	-0.88	-1.00	-0.73	-0.98	-0.01	
	4 Arbustos y matorrales	0.48	1.94	0.35	2.95	0.86	0.04	0.00	0.22	6.85	3.89
	<i>Italic</i>	<i>0.09</i>	<i>1.16</i>	<i>0.80</i>	<i>2.95</i>	<i>1.74</i>	<i>0.03</i>	<i>0.02</i>	<i>0.11</i>	<i>6.90</i>	<i>3.89</i>
	()	0.39	0.78	-0.46	0.00	-0.87	0.01	-0.02	0.12	-0.05	0.00
	[]	4.21	0.68	-0.57	0.00	-0.50	0.29	-0.98	1.05	-0.01	
	5 Páramo	0.01	2.46	1.28	11.00	30.87	0.24	0.10	0.00	45.97	15.10
	<i>Italic</i>	<i>0.39</i>	<i>4.96</i>	<i>3.43</i>	<i>5.87</i>	<i>30.87</i>	<i>0.13</i>	<i>0.07</i>	<i>0.47</i>	<i>46.19</i>	<i>15.10</i>
	()	-0.38	-2.50	-2.15	5.13	0.00	0.11	0.03	-0.46	-0.23	0.00
	[]	-0.97	-0.50	-0.63	0.87	0.00	0.85	0.35	-0.99	0.00	
	Tierras desnudas y										
	6 degradadas	0.21	0.41	0.03	0.45	0.45	0.20	0.00	0.16	1.90	1.70
	<i>Italic</i>	<i>0.03</i>	<i>0.38</i>	<i>0.26</i>	<i>0.45</i>	<i>0.56</i>	<i>0.20</i>	<i>0.01</i>	<i>0.04</i>	<i>1.92</i>	<i>1.70</i>
	()	0.18	0.03	-0.23	0.00	-0.12	0.00	-0.01	0.12	-0.02	0.00
	[]	5.93	0.08	-0.88	0.01	-0.21	0.00	-1.00	3.51	-0.01	
	7 Embalses y cuerpos de agua	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.21	0.00	0.28	0.07
	<i>Italic</i>	<i>0.00</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.00</i>	<i>0.21</i>	<i>0.00</i>	<i>0.28</i>	<i>0.07</i>
	()	0.00	-0.01	-0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	[]	-1.00	-1.00	-0.84	1.00	0.21	-1.00	0.00	1.34	0.00	
	8 Tejido urbano continuo	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.92	0.97	0.05
	<i>Italic</i>	<i>0.00</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>	<i>0.92</i>	<i>0.97</i>	<i>0.05</i>
	()	0.00	-0.01	-0.01	0.01	-0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	[]	4.58	-0.78	-1.00	0.84	-1.00	59.75	-1.00	0.00	0.00	
	Total 2011	1.72	21.78	15.06	25.80	32.69	0.58	0.32	2.06	100.00	39.85
	<i>Italic</i>	<i>1.41</i>	<i>23.55</i>	<i>16.71</i>	<i>15.24</i>	<i>40.74</i>	<i>0.50</i>	<i>0.38</i>	<i>2.00</i>	<i>100.00</i>	<i>39.85</i>
	()	0.31	-1.77	-1.65	10.55	-8.05	0.08	-0.06	0.05	0.00	0.00
	[]	0.22	-0.08	-0.10	0.69	-0.20	0.17	-0.16	0.02	0.00	0.00
	Ganancia	1.18	7.62	4.75	22.85	1.82	0.38	0.11	1.13	39.85	
	<i>Italic</i>	<i>0.86</i>	<i>9.39</i>	<i>6.40</i>	<i>12.29</i>	<i>9.87</i>	<i>0.30</i>	<i>0.17</i>	<i>1.09</i>	<i>39.85</i>	
	()	0.31	-1.77	-1.65	10.55	-8.05	0.08	-0.06	0.05	0.00	
	[]	0.36	-0.19	-0.26	0.86	-0.82	0.28	-0.36	0.04	0.00	

Tabla 13: Matriz de cambios 2001-2011 en porcentaje del área total en términos de pérdidas

Fuente: Elaboración propia