



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**DETERMINACIÓN DE CAMBIOS DE LA COBERTURA  
ARBÓREA USANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT  
7ETM+ A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN  
LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTON ALAUSÍ, PROVINCIA  
DE CHIMBORAZO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL**

**ARÉVALO ARÉVALO WILMER DANIEL**

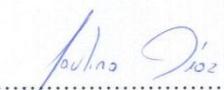
**RIOBAMBA- ECUADOR**

**2016**

## HOJA DE CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA, que el proyecto de investigación titulado: **DETERMINACIÓN DE CAMBIOS DE LA COBERTURA ARBÓREA USANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7ETM+ A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTON ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, de responsabilidad del señor Wilmer Daniel Arévalo Arévalo, ha sido prolijamente revisado quedando autorizada su presentación.

### TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN

1. 

Ing. Paulina Díaz

**DIRECTORA**

14 - Enero - 2016

2. 

Ing. Lucía Abarca

**ASESORA**

14 - Enero - 2016

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Wilmer Daniel Arévalo Arévalo declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 5 de enero del 2016



Wilmer Daniel Arévalo Arévalo

140076154-8

## **AUTORIA**

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual y exclusiva del autor y de la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH.

## **DEDICATORIA**

*La presente investigación se la dedico a toda mi familia en especial a mis padres Justo y Rosa Arévalo, que gracias a su esfuerzo y apoyo lograron enrumbar mi vida. También a mi hermana Maritza por la paciencia infinita que me ha tenido siempre. A mi sobrina Noemí Arévalo la nena mimada de casa. A mis tíos Alejandría y José por haber sido el soporte para salir adelante. A mi hermano Cristian que siempre fue mi ejemplo a seguir y desde allá del cielo seguro me apoya siempre.*

*Dedico este trabajo a todos mis amigos con los que pasamos a formar una familia y siempre hemos sabido estar en las buenas y malas Uds. saben, gracias por brindarme su amistad sincera y haber sido parte de este gran logro.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecido con Dios por el misterio de vivir y la oportunidad de resurgir. Mi más sincero agradecimiento a toda mi familia que siempre estuvieron ahí presentes para darme su apoyo incondicional en todos estos años, guiarme a ser una mejor persona y ayudarme a lograr mis metas*

*Un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica, Facultad de Recursos Naturales que me abrieron sus puertas para formarme como Ing. Forestal en especial a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y sabiduría para ser un profesional cabal ante la sociedad. Mi más sincero agradecimiento al tribunal de titulación Ing. Paulina Díaz e Ing. Lucía Abarca por haber asumido el duro reto de guiarme y terminar con éxito la presente investigación.*

*Mi eterna gratitud con el Proyecto “Caracterización Biogeográfica” de la Universidad Nacional de Chimborazo por haberme brindado todo su apoyo y puesto a mi disposición todas las herramientas necesarias para desarrollar esta investigación además de haber formado un gran grupo de amigos gracias Ing. Franklin Cargua, Ing. Marco Rodríguez, Ing. Diego Damián y mi colega de toda esta etapa politécnica Ing. Luis Carrillo.*

## Tabla de Contenido

DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
II. INTRODUCCIÓN.....	1
A. JUSTIFICACIÓN .....	2
B. OBJETIVOS .....	3
1. Objetivo general .....	3
2. Objetivos Específicos.....	3
C. HIPÓTESIS.....	3
1. Hipótesis nula.....	3
2. Hipótesis alternante.....	3
III. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
A. CAMBIOS DE LA COBERTURA ARBÓREA.....	4
B. TELEDETECCIÓN .....	5
1. Sensores Remotos .....	5
2. Estructura de la Imágen y Adquisición de datos .....	6
3. Resolución de una Imágen .....	7
4. Satélites .....	8
5. Idrisi .....	10
6. Clasificación de Imágenes Satelitales .....	11
C. REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	16
1. Perceptrón Multicapa (MLP) .....	17
2. Cadenas Markov.....	20
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR.....	21
1. Localización del área de estudio .....	21
2. Ubicación geográfica .....	21
3. Características climáticas .....	21
4. Ubicación ecológica.....	21
B. MATERIALES Y EQUIPOS.....	23
1. Materiales de campo e informáticos .....	23
2. Equipos.....	23
C. METODOLOGÍA .....	23
1. Determinación de la cobertura de vegetación arbórea .....	24

2.	Análisis de los cambios de cobertura en la vegetación arbórea .....	29
3.	Predicción de cambios.....	31
V.	RESULTADOS .....	34
A.	DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA ARBÓREA Y CATEGORÍAS DE USOS DEL SUELO EN LOS AÑOS 1991, 2001 Y 2011 .....	34
1.	Clasificación de imágenes.....	34
2.	Cuatificación de cobertura arbórea y categorías de uso del suelo entre los años 1991, 2001 y 2011 .....	36
B.	CAMBIOS DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA Y LAS CATEGORÍAS DE USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO EN LOS AÑOS DE 1991, 2001 Y 2011.....	38
1.	Tasas de cambio producidas entre los años 1991 a 2001.....	38
2.	Tasas de cambio producidas entre los años 2001 a 2011.....	47
C.	PREDECIR UN ESCENARIO FUTURO DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA	55
1.	Análisis de cambio .....	58
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
A.	CONCLUSIONES .....	63
B.	RECOMENDACIONES .....	64
VII.	BIBLIOGRAFIA .....	67
A.	BIBLIOGRAFÍA.....	67
VIII.	RESUMEN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
A.	SUMMARY .....	66
IX.	ANEXOS.....	70
ANEXO 1.	PROCESO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA .....	70
a.	Eliminación de Ruido.....	74
ANEXO 2.	PUNTOS DE CONTROL .....	76
ANEXO 3.	RESULTADO DEL ANALISIS MLP (PERCEPTRON MULTICAPA) DE LA RED NEURONAL APLICADA .....	77
Land Change Modeler MLP Model Results .....		77
1.	General Model Information .....	77
2.	Weights Information of Neurons across Layers .....	78
3.	Sensitivity of Model to Forcing Independent Variables to be Constant .....	79
ANEXO 4.	PROCESO DE PREDICCIÓN DE UN ESCENARIO FUTURO.....	81
ANEXO 5.	MAPAS DE CATEGORÍAS PRINCIPALES .....	90

ANEXO 6. TASAS DE CAMBIO ENTRE 1991, 2001 Y 2011 .....	93
ANEXO 7. FOTOS .....	94

## **Índice de Tablas**

Tabla 1. Características de los sensores ETM+ y TM .....	9
Tabla 2. Esquema de coberturas del suelo en achupallas para las clasificaciones de 1991, 2001 y 2011 .....	26
Tabla 3. Ejemplo de ganancias y pérdidas en el transcurso de 10 años .....	30
Tabla 4. Combinación entre las capas de entrada y capas de salida .....	33
Tabla 5. Cobertura arbórea y de las diferentes categorías en los años 1991, 2001 y 2011 .....	37
Tabla 6. Tasa de cambio años 1991 – 2001 .....	39
Tabla 7. Cambio neto 1991- 2001 .....	43
Tabla 8. Cambio neto en el Bosque 1991-2001 .....	45
Tabla 9. Cambio neto en plantaciones 1991-2001 .....	47
Tabla 10. Tasa de cambios 2001 – 2011 .....	48
Tabla 11. Cambio neto entre 2001-2011 .....	52
Tabla 12. Cambio neto en Bosque .....	53
Tabla 13. Parámetros y Rendimiento .....	56
Tabla 14. Área y porcentaje en los años 2001 y 2030 .....	58
Tabla 15. Tasa de cambio 2001 - 2030 .....	59
Tabla 16. Pérdidas y ganancias 2001 - 2030 .....	60
Tabla 17. Probabilidad de cambio al 2030 .....	62
Tabla 18. Valores de los códigos .....	62
Tabla 19. Cuadro estadístico de las tasas de cambio entre los años 1991, 2001 y 2011	93

## **Índice de Gráficos**

Gráfico 1. Espectro electromagnético .....	6
Gráfico 2. Estructura de imagen satelital .....	7
Gráfico 3. Resolución espectral .....	8
Gráfico 4. Esquema del criterio de decisión en este método .....	15
Gráfico 5. Probabilidad de pixeles de ciertas clases .....	16
Gráfico 6. Representación de un Perceptrón Multicapa (MLP) .....	18
Gráfico 7. Forma funcional de una sigmoide .....	18
Gráfico 8. Imagen de combinación de bandas RGB 354 .....	25
Gráfico 9. Entrenamiento de la firma espectral .....	27
Gráfico 10. Archivo .gsg .....	27

Gráfico 11. Proceso de clasificación supervisada.....	28
Gráfico 12. Imágenes de clasificación supervisada 1991, 2001 y 2011 .....	28
Gráfico 13. Proceso de análisis de la tasa de cambio .....	30
Gráfico 14. Cadena Markov.....	32
Gráfico 15. Comparación de la eliminación de ruido .....	34
Gráfico 16. Mapas de 1991, 2001 y 2011 .....	35
Gráfico 17. Porcentaje de áreas de las diferentes categorías .....	41
Gráfico 18. Cambio neto entre 1991 – 2001.....	41
Gráfico 19. Cambio neto en el Bosque 1991-2001.....	43
Gráfico 20. Cambio neto en plantaciones 1991-2001.....	45
Gráfico 21. Porcentaje de áreas de las diferentes categorías 2001-2011 .....	50
Gráfico 22. Cambio neto 2001-2011 .....	50
Gráfico 23. Cambio neto en Bosque .....	52
Gráfico 24. Áreas de las diferentes categorías 2030.....	57
Gráfico 25. Porcentaje de los años 2001 y 2030.....	58
Gráfico 26. Pérdidas y ganancias 2001 – 2030.....	60
Gráfico 27. Cambio neto del Bosque al 2030.....	61
Gráfico 28. Cambio neto de Plantaciones a 2030.....	61
Gráfico 29. Proceso de clasificación Supervisada. ....	70
Gráfico 30. Puntos de control .....	71
Gráfico 31. Creación de archivo .gsg .....	71
Gráfico 32. Proceso de obtención archivo .gsg .....	72
Gráfico 33. Archivo formato .gsg.....	72
Gráfico 34. Cargar los archivos al logaritmo de clasificación.....	73
Gráfico 35. Obtención de imagen clasificada.....	74
Gráfico 36. Eliminación de ruido .....	75
Gráfico 37. Conversion de raster a Shapefile .....	75
Gráfico 38. Nombrar las diferentes categorías .....	76
Gráfico 39. Software IDRISI SELVA .....	81
Gráfico 40. Nuevo proyecto IDRISI.....	81
Gráfico 41. Agregar capetas de insumos .....	82
Gráfico 42. Módulo Land Change Modeler.....	82
Gráfico 43. Agregar mapas de uso e insumos .....	83
Gráfico 44. Change analysis .....	83
Gráfico 45. Generación mapa de cambios .....	84
Gráfico 46. Reclass .....	84
Gráfico 47. Transition potentials .....	85
Gráfico 48. Variables de cambio .....	85
Gráfico 49. Clasificación de submodelos .....	86
Gráfico 50. Test and selection .....	86
Gráfico 51. Multi layer perceptrón .....	87
Gráfico 52. Matriz de cambio .....	87
Gráfico 53. Planning .....	88
Gráfico 54. Change prediction.....	89

Gráfico 55. Mapa de predicción .....	89
--------------------------------------	----

## Índice de Mapas

Mapa 1. Ubicación Geográfica del Área de Estudio .....	22
Mapa 2. Puntos de entrenamiento .....	24
Mapa 3. Cambios de las diferentes coberturas 1991-2001 .....	42
Mapa 4. Mapa de transiciones del bosque 1991-2001 .....	44
Mapa 5. Mapa de transiciones a plantaciones.....	46
Mapa 6. Mapa de Cambios entre 2001-2011 .....	51
Mapa 7. Transiciones del bosque entre 2001-2011 .....	54
Mapa 8. Mapa proyectado al 2030.....	55
Mapa 9. Mapa 1991 .....	90
Mapa 10. Mapa 2001 .....	91
Mapa 11. Mapa 2011 .....	92

## Índice de Fotos

Foto 1. Equipo de campo .....	94
Foto 2. Toma de datos.....	94
Foto 3. Bosque nativo .....	95
Foto 4. Cultivos.....	95
Foto 5. Pastizales .....	96
Foto 6. Páramos .....	96
Foto 7. Plantaciones .....	97
Foto 8. Cuerpos de agua .....	97
Foto 9. Paisaje característico de Achupallas.....	98

# **DETERMINACIÓN DE CAMBIOS DE LA COBERTURA ARBÓREA USANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7ETM+ A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTON ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

## **II. INTRODUCCIÓN**

La cobertura de la vegetación arbórea ha ido variando con el paso del tiempo, en las últimas décadas la expansión agropecuaria ha causado grandes pérdidas a la biodiversidad. (García-Mora & Jean-François, 2011) El estudio de estas coberturas es de mucha importancia considerando que la cubierta arbórea es un ecosistema clave en el deterioro del medio ambiente tanto a nivel global, regional y local (Reynoso Santos, 2014). Una de las limitantes es la baja precisión en la evaluación de los recursos naturales por ello el desarrollo de nuevos software o procedimientos permiten obtener un grado más alto de confiabilidad en los resultados (Buendía Rodríguez, Vargas Pérez, Leyva Ovalle, & Terrazas Domínguez, 2002).

En la actualidad la utilización de técnicas como la teledetección y sistemas de modelación como las redes neuronales artificiales contribuyen a la solución de estos problemas (Buendía Rodríguez, Vargas Pérez, Leyva Ovalle, & Terrazas Domínguez, 2002). Tenemos la tarea de manejar los recursos de tal manera que se mantenga la capacidad de proveer bienes y servicios a largo plazo, por lo que resulta indispensable contar con datos actualizados sobre los cambios que se producen en ecosistemas de transición para comprenderlos y manejarlos (García-Mora & Jean-François, 2011) en escenarios futuros.

Entre las múltiples aplicaciones se ha implementado el modelado de cambios de cobertura forestal basado en redes neuronales artificiales (Díaz - Pacheco & Hewitt, 2012) que debido a su capacidad para representar relaciones con una mayor veracidad a ganado terreno significativamente, dejando atrás métodos tradicionales (Velásquez Henao & González Rivera, 2006) empleados para este fin. Este sistema permite analizar los cambios que se presentan en ecosistemas como páramo y vegetación arbórea que se producen en la parroquia Achupallas determinando en tiempo y en espacio para poder formular reglas y de este modo explicar la situación actual y simular situaciones a cierto periodo de tiempo (Díaz - Pacheco & Hewitt, 2012).

El presente estudio investigativo se realizó en esta parroquia con el fin de analizar los cambios que se han producido en estos años y también nos permitió crear un escenario de cambios al 2030 de los principales ecosistemas de la parroquia, la proyección hacia este año se debe por el programa de incentivos forestales del Gobierno Nacional actual, en el que se ha planificado fomentar al país como una potencia en esta área, de tal manera que permita optar por opciones precisas para conservar el medio ambiente tomando en cuenta la influencia que tienen estos indicadores.

## **A. JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio investigativo se realiza en esta zona por el importante aporte hidrográfico de sus microcuencas para el país aportando a ríos como el Paute cuyas aguas se emplea en la generación de energía hidroeléctrica, por lo que es necesario contar con la información certera sobre los cambios de la vegetación dada en los años de 1991, 2001 y 2011, datos obtenidos de imágenes satelitales Landsat 7ETM, y que hasta la actualidad no han sido cuantificados, sobre todo tomando en cuenta que una gran extensión de esta parroquia está dentro de la zona perteneciente al Parque Nacional Sangay “Patrimonio Natural de la Humanidad” (Declarado por la UNESCO en 1983).

Conocer los cambios producidos en la parroquia Achupallas causados por eventos como el cambio climático o acciones antropogénicas constituye un pilar fundamental para la toma de decisiones para la conservación de los ecosistemas, la gestión del territorio, la producción forestal y agropecuaria mediante la creación de mapas precisos cuantificando los cambios producidos en el tiempo y espacio.

Ante el avance de la ciencia y la tecnología, cada día se cuenta con nuevas herramientas que facilitan los estudios en el campo forestal, entre estos tenemos las redes neuronales artificiales aplicados a los Sistemas de Información Geográfica que proporcionan una visión holística de todas las coberturas analizadas generando información fiable de la parroquia Achupallas. Además este tipo de estudios no necesitan mayor presupuesto y ahorran mucho tiempo y trabajo.

## **B. OBJETIVOS**

### **1. Objetivo general**

Determinar los cambios de la cobertura arbórea usando imágenes satelitales Landsat 7ETM+ a través de redes neuronales artificiales en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo

### **2. Objetivos Específicos**

- Determinar la cobertura de la vegetación arbórea en imágenes satelitales de la parroquia achupallas
- Analizar las tendencias de cambios de la vegetación arbórea para el área de estudio en los años 1991, 2001 y 2011
- Predecir un escenario futuro de la cobertura arbórea en la parroquia Achupallas.

## **C. HIPÓTESIS**

### **1. Hipótesis nula**

La cobertura arbórea no está expuesta a cambios en el transcurso del tiempo.

### **2. Hipótesis alternante**

La cobertura arbórea está expuesta a cambios en el transcurso del tiempo.

### **III. REVISION BIBLIOGRAFICA**

#### **A. CAMBIOS DE LA COBERTURA ARBÓREA**

Los cambios en la vegetación arbórea comúnmente son separados de los cambios en; cobertura del terreno/tipos de vegetación, a pesar de las similitudes en métodos y enfoques. En regiones de frontera con economías basadas principalmente en industrias extractivas (países en vías de desarrollo) la cobertura vegetal y la cobertura del terreno son casi siempre semánticamente equivalentes. Ejemplo, la actividad de la cobertura forestal asociada a la tala provoca una cobertura del terreno sin arbolado. Y en una economía post-moderna y dirigida por la información, como la mayoría de Europa contemporánea y USA la cobertura vegetal y la cobertura del terreno parecen menos equivalentes. (Arcila, Farfán, Moreno, Salazar, & Hincapíe, 2007)

Las coberturas arbóreas son los elementos que mejor evidencian la transformación de la superficie terrestre por parte de la acción humana a través del tiempo. La cobertura forestal se define como una cubierta biofísica observada sobre la superficie terrestre; mientras que los bosques naturales se caracterizan por el arreglo, actividad y producción que hace la gente en un cierto tipo de cubierta a producir, cambiar o mantener esta cobertura. A través del aprovechamiento se produce lo necesario para la supervivencia de la humanidad; sin embargo, el impacto derivado de este proceso ordinariamente se relaciona con la deforestación y fragmentación de los ecosistemas, la desertización la alteración de los ciclos hidrológicos, la pérdida de la biodiversidad y el incremento de la vulnerabilidad de los grupos humanos. Si bien existen eventos naturales como las inundaciones, sequías, entre otros, que propician en mayor o menor medida, las alteraciones en la cobertura vegetal, en las últimas décadas el impacto de las actividades humanas se ha convertido en el principal agente transformador del ecosistema. Se estima que en el 2000, los bosques y selvas de América Latina se habían reducido en más de un 50% de su cobertura original; en particular, países como Brasil, México, y Costa Rica sufrieron las mayores alteraciones. (Arcila, Farfán, Moreno, Salazar, & Hincapíe, 2007)

Como muchos países, Ecuador presenta importantes procesos de cambios de uso y cobertura vegetal, dentro de los cuales destaca la deforestación como en la mayor parte

del mundo, aun no existe la cultura de someter las bases de datos cartográficos a una evaluación rigurosa de su fiabilidad, lo cual abre la puerta a cuestionamientos y polémicas acerca de la calidad de los datos derivados de las mismas (superficies y tasas de cambio). (Arcila, Farfán, Moreno, Salazar, & Hincapíe, 2007)

## **B. TELEDETECCIÓN**

### **1. Sensores Remotos**

Es la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis de datos adquiridos mediante un dispositivo, el cual no está en contacto directo con lo que se está investigando. La obtención de los datos involucra el uso de instrumentos llamados sensores, capaces de captar las relaciones espectrales y espaciales de objetos y materiales observables a una considerable distancia. (Pérez, 2007)

#### **a. Fuentes de los Datos**

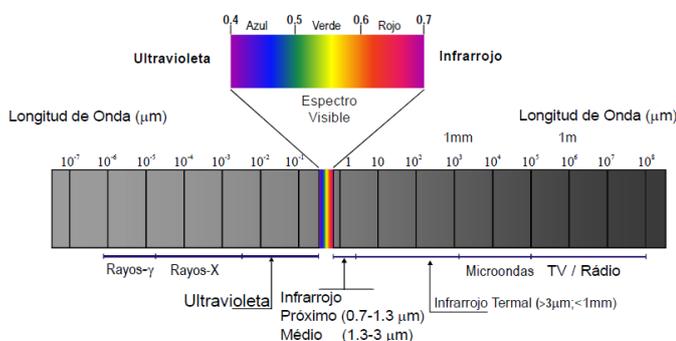
Los dispositivos de los sensores remotos pueden detectar varios tipos de energía, como la radiación electromagnética, gravedad, magnetismo, geofísica y ondas de radio. La fuente de energía más común que la mayoría de los dispositivos utilizan para registrar los datos de la superficie terrestre, es a partir de las distribuciones de energía dentro del “Espectro Electromagnético” (EEM). Estos sensores remotos adquieren datos a partir de la emisión y reflexión de la “Radiación electromagnética” (REM), por los atributos de la superficie terrestre. (Pérez, 2007)

#### **b. Espectro Electromagnético (EEM)**

Es la distribución de la radiación electromagnética según la energía. Las regiones del EEM se definen según, longitud de onda, frecuencia y energía. Así como el sol, la tierra y otros cuerpos irradian energía electromagnética de varias longitudes de onda. Esta energía atraviesa el espacio a la velocidad de la luz en la forma de ondas del sinusoidal. En sensores remotos es común caracterizar las ondas electromagnéticas en función de la posición en el (EEM). La unidad más usada para medir las longitudes de onda a lo largo

del espectro electromagnético se extiende desde la radiación cósmica hasta las ondas de radio. (Pérez, 2007)

**Gráfico 1. Espectro electromagnético**



**Fuente: (Pérez, 2007)**

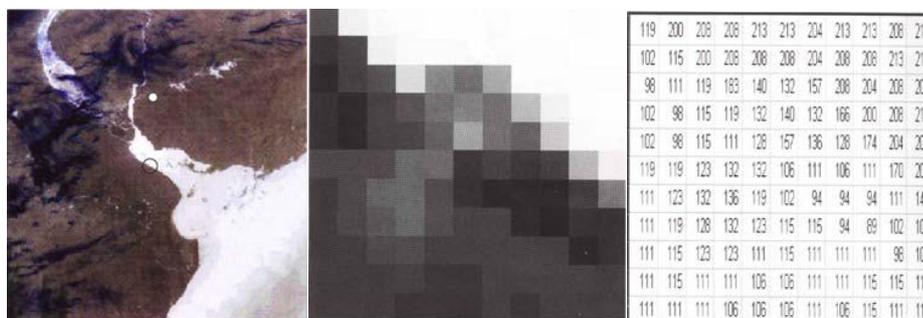
## **2. Estructura de la Imagen y Adquisición de datos**

En la obtención de datos se debe considerar la propagación de la energía (EEM) a través de la atmósfera y su interacción con la superficie terrestre. Esta combinación de factores resulta en una “señal”, de donde se obtiene la información, señales que pueden ser fotográficas o electrónicas. En el caso de fotografía usa reacciones químicas sobre la superficie de una película sensible a la luz, capaz de detectar variaciones en una escena. En el caso electrónico se generan unas señales eléctricas correspondientes a variaciones de energía en la escena original. La fotografía se reserva para imágenes grabadas sobre un film, en cambio el término imagen se usa para cualquier representación gráfica de datos de una imagen. (Pérez, 2007)

Las imágenes que se obtienen de sensores remotos representan digitalmente los objetos terrestres. Sus datos se almacenan en archivos llamados “archivos imagen”. Son solo números por lo que solo se ve como imagen sobre una pantalla, por el carácter digital presenta una tonalidad gris continua. La imagen digital se compone también por una estructura de grilla que está formada por celdas, también se la llama “raster” y posee un arreglo espacial según sea el sistema de coordenadas de líneas horizontales “rows” y

columnas verticales “samples” cada celda se denomina pixel “picture element”. (Pérez, 2007)

**Gráfico 2. Estructura de imagen satelital**



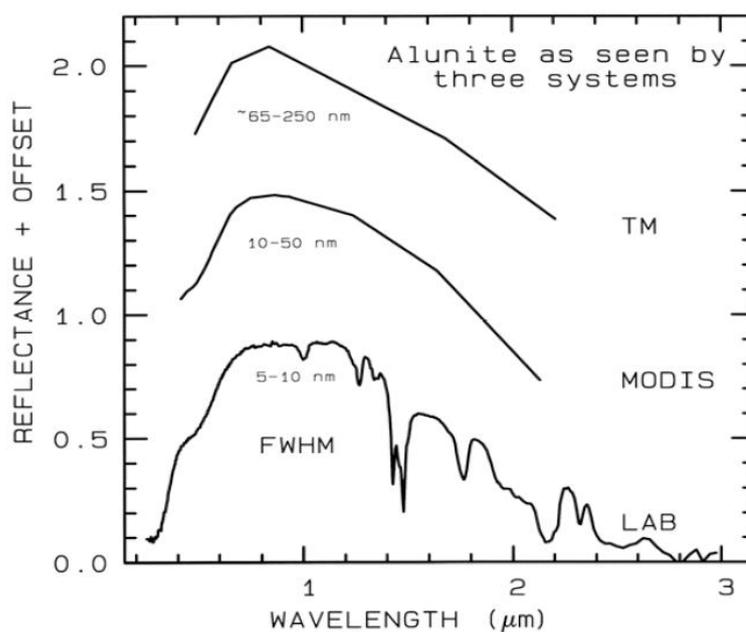
**Fuente: (Pérez, 2007)**

### **3. Resolución de una Imagen**

Aquí se describe el número de píxeles que el usuario puede desplegar en un dispositivo, o el área que el pixel representa en la imagen, se considera las resoluciones; espacial o geométrica, espectral, radiométrica y temporal. (Pérez, 2007)

#### **a. Resolución espectral**

Capacidad que tiene el sensor para discriminar objetos (albedos) sobre la superficie, se relaciona con 2 parámetros: 1) valor de intervalos de longitud de onda, 2) cantidad de bandas que el sensor puede registrar en el (EEM), se conoce como, multispectral cuando el sensor trabaja con más de un detector opera en más de una banda, porque registra la radiación (EM) en varias longitudes de onda. En el caso de ser de más de 100 bandas el sensor es hiperespectral. En caso de que los intervalos de banda sean anchos su resolución será mala no así si son estrechos será buena “fina”. Si mayor es el número de bandas y más estrechas mayor será la resolución espectral. El sensor Landsat TM registra en la banda 1 energía entre 0,45 y 0,52  $\mu\text{m}$  y en la banda 3 longitud de onda entre 0,63 y 0,69  $\mu\text{m}$ . (Pérez, 2007)

**Gráfico 3. Resolución espectral**

**Fuente: (Pérez, 2007)**

#### **b. Resolución Radiométrica**

Esta dada por el número de niveles digitales, representado en niveles grises. Es decir es la capacidad del sensor de poder discriminar albedos con diferencias de radiación reflejada o emitida. Si mayor es el número de niveles grises, mayor es la resolución. El número de niveles grises que el sensor puede detectar depende de su sistema de grabación y se expresa en números binarios “bits”, estos se expresan en potencia  $2^n$ , en donde “n” es el número de bits usados en la grabación. (Pérez, 2007)

#### **4. Satélites**

Su impulso se logró cuando el hombre ganó la barrera del espacio. El satélite pionero en la conquista del espacio fue el ruso Sputnik, la palabra satélite hace referencia a un cuerpo que gravita alrededor de una masa preponderante, aquí satélite se refiere a plataformas que son puestas en órbita de manera artificial y en los que se coloca dispositivos llamados sensores. Como los Landsat 1 a 3, en estos se colocaron sensores MSS; en el Landsat 5, el sensor TM 5 y en el Landsat 7 el sensor ETM +7. (Pérez, 2007)

### a. Satélite LANDSAT

Es un programa desarrollado por la NASA (National Aeronautics Space Administration), originalmente llamado Earth Resources Technology Satellite (ERTS).

### b. Sistema Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper-Plus (ETM+)

Este satélite fue lanzado el 15 de abril de 1999, y posee el sensor ETM+ (Sensor de Mapa Temático Reforzado). El sistema posee una alta resolución espacial, alto rango espectral y calibración radiométrica. El mapeo realizado con este satélite es una versión mejorada de los Landsat 4 y 5. Proporciona información de espectros VNIR, SWIR LWIR y el pancromático, en imágenes de 183 km de ancho y desde una latitud de 705 km. El tamaño del pixel es de 30 m en las bandas 1 – 5 y 7; 15 m en la banda 8 (pancromática) y 60 m en la banda 6 la del infrarrojo termal. Además posee una calibración radiométrica de 5%. (Pérez, 2007)

## Características Radiométricas de los Sensores ETM+ y TM

**Tabla 1. Características de los sensores ETM+ y TM**

Banda	Faja espectral (µm)	Región del Espectro Electromagnético	Detalles de las aplicaciones generales
1	0,45-0,52	Azul Visible	Mapeo de aguas costeras, diferenciación entre suelo y vegetación
2	0,52-0,60	Verde Visible	Mapeo de vegetación, calidad de agua
3	0,63-0,90	Rojo Visible	Absorción de clorofila, Diferenciación de especies vegetales, Áreas urbanas, uso de suelo, Agricultura, calidad de agua
4	0,76-0,90 )	Infrarrojo Cercano	Delineamiento de cuerpos de agua, Mapeo geomorfológico, mapeo geológico, Áreas incendiadas, Áreas húmedas, agricultura vegetación
5	1,55-1,75 (	Infrarrojo Medio	Uso del suelo, Medidas de humedad de vegetación, Diferenciación entre nubes y nieve, Agricultura y vegetación
6	10,40-12,50)	Infrarrojo Termal	Mapeo de estrés térmico en plantas, corrientes marinas, propiedades termales del suelo, otros mapeos térmicos,
7	2,08-2,35	Infrarrojo Medio	Identificación de minerales, mapeo hidrotermal
8	0,52 – 0,90	Pancromática Verde y Rojo; Infrarrojo Cercano	Mapeo de grandes áreas; estudios de cambios urbanos.

**Fuente:** (Pérez, 2007)

## **5. Idrisi**

### **a. Software**

Idrisi Selva es un SIG Integrado con un sistema de procesamiento de imágenes que analiza y visualiza datos espaciales. Es una herramienta de modelación de gran potencia que ayuda a desarrollar sus propios modelos de cambios en las coberturas vegetales. (Eastman Ronald, 2012)

### **b. Características**

Entre las diferentes características que presenta este software tenemos:

Análisis espacial básico y avanzado.

Numerosas herramientas analíticas para el análisis geográfico.

Base de datos de consulta y análisis de superposición

Técnicas de clasificación supervisadas y no supervisadas.

Completo sistema de procesamiento de imágenes.

Amplia gama de herramientas de análisis de superficie.

Modelación de erosión, riesgo de incendio y demarcación de límites de una cuenca.

Modelación para el análisis de cambio de la tierra y análisis de imágenes de serie de tiempo. Entornos integrados de modelado que incluye: ETM y LCM (Eastman Ronald, 2012)

### **c. Land Change Modeler (LCM)**

#### **1) Descripción**

Es una extensión de SIG orientado al continuo problema del acelerado cambio de la tierra y la necesidad de conservación de la biodiversidad. Las herramientas para la evaluación

y predicción del cambio de cobertura terrestre y sus consecuencias son secuencialmente organizadas alrededor de las áreas de cambio, predicción y evaluación del impacto para el hábitat y la biodiversidad y la planificación de inversiones. (Eastman Ronald, 2012)

## **2) Características**

Es un conjunto de herramientas para analizar los cambios en la cobertura terrestre, mapeo rápido de los cambios de paisaje, identificar y descubrir transiciones de clase y tendencias, así como el seguimiento de los planos. Modelado y predicción para crear escenarios futuros de paisajes con la integración de modeladores de cambios, como cambios en la infraestructura o reglamentos de zonificación. La detección de cambios en el estado del hábitat, modelo de distribución de especies y más. También es una herramienta para implementar proyectos REDD incluyendo la capacidad para estimar las referencias de deforestación, modelar y validar los escenarios futuros de deforestación. (Eastman Ronald, 2012)

## **6. Clasificación de Imágenes Satelitales**

### **a. Clasificación Supervisada**

También conocido como “a priori” la identidad y localización de algunos tipos de elementos a ser clasificados. Ejemplo; cobertura de bosques, centros urbanos, entre otros. Este trabajo se realiza con la combinación de trabajo de campo, análisis de cartas, fotografías aéreas. Los sitios elegidos y conocidos que son homogéneos se conocen como “áreas de entrenamiento” puesto que sus características servirán para entrenar al algoritmo de clasificación. Para cada uso se calcula los parámetros estadísticos para evaluar cada pixel de la imagen, separarlo y asignarlo a una clase. (Chuvienco, Salas, & Aguado, 2003)

Aspectos a tener en cuenta:

1. Adoptar un esquema de clasificación ordenado
2. Seleccionar áreas de entrenamiento

3. Extraer estadísticas de los datos espectrales del área de entrenamiento
4. Análisis de estadísticas para seleccionar la banda que ofrezca mayor ventaja
5. Seleccionar el algoritmo de clasificación adecuado:
  - Paralelepípedos: realiza la clasificación a través de la técnica de paralelepípedos, de una información contenida en los archivos de firmas espectrales. Basado en una serie de umbrales bajos y altos de reflectividad para cada una de las categorías. Un pixel para ser incluido en una clase debe poseer valores de reflectividad bajo el rango de dicha categoría. Este proceso es el más rápido pero también el menos preciso.
  - Mínima Distancia: Se basa en la reflectividad media en cada banda para un a firma espectral, cada pixel se asigna a la media más próxima es más lento que el anterior y se usa generalmente cuando el nuero de pixeles que define las firmas es muy pequeño o los campos de entrenamiento no están bien definidos.
  - Máxima Verosimilitud: Clasificación por máxima probabilidad partiendo de la información contenida en las firmas espectrales, se basa en la función de densidad de probabilidad asociada a la firma de un determinado campo de entrenamiento. Los pixeles luego de ser comparados se asignan a la clase más probable.
6. Clasificar la imagen en “n” clases
7. Evaluar estadísticamente la clasificación
8. Comprobación “in situ” de los resultados obtenidos
9. Corrección de errores (Chuvieco, Salas, & Aguado, 2003)

### 1) Clasificador por Máxima Probabilidad: Maximum Likelihood

Clasificador por máxima probabilidad (maximum likelihood). Es un algoritmo paramétrico que asume alguna distribución estadística particular para las clases consideradas. El clasificador de máxima probabilidad es uno de los más empleados en la clasificación supervisada y utiliza un modelo probabilístico, comúnmente la distribución gaussiana para formular sus reglas de decisión en la categorización de los pixeles. (Sangermano, Eastman, & Zhu, 2010)

Los parámetros necesarios para el modelo, como la media y la matriz de covariancia se obtienen de los datos de las áreas de entrenamiento. La imagen posee un total de  $M$  clases espectrales que se representa como:  $C_i, i=1, \dots, M$ . Para determinar la clase a que pertenece un pixel en la posición  $x$ , interesa fundamentalmente conocer las probabilidades condicionales:  $p(C_i|x), i=1, \dots, M$ .

El vector posición  $x$  es un vector columna de valores de brillo para el pixel. O sea que describe al pixel como un punto en un espacio multiespectral con coordenadas definidas por el brillo. El término  $p(C_i | x)$  da la probabilidad de que la clase correcta para un pixel en la posición  $x$  sea  $C_i$ . La clasificación se llevará a cabo según la regla:

**$X \in C_i$  si  $p(C_i | x) > p(C_j | x)$  para todo  $j \neq i$  (Fórmula 1)**

Nuestro problema es que los  $p(C_i | x)$  en la Formula 1 son desconocidos. Ahora bien, si tenemos suficientes datos de entrenamiento podremos estimar una distribución de probabilidad  $p(x | C_i)$  que describe la oportunidad de encontrar un píxel de una clase  $C_i$  en la posición  $x$ . Obviamente habrán tantas  $p(x | C_i)$  como cubiertas o clases terrestres presentes. (Sangermano, Eastman, & Zhu, 2010)

Concretando, para un pixel en una posición  $x$  en un espacio multiespectral existirá un conjunto de probabilidades relativas de que el pixel pertenezca a cada una de dichas clases. Esta probabilidad podremos estimarla a partir de los datos de entrenamiento. Tenemos ahora una probabilidad desconocida,  $p(C_i | x)$ , que es la que nos interesa, y una conocida  $p(x | C_i)$  obtenible a partir de los datos de entrenamiento o georreferenciación. Ambas están relacionadas por el teorema de Bayes:

**$p(C_i | x) = p(x | C_i) p(C_i) / p(x)$  (Fórmula 2)**

Donde  $p(C_i)$  es la probabilidad de que la clase  $C_i$  esté presente en la imagen. Si, por ejemplo 15% de los pixeles de una imagen pertenecen a la clase  $C_i$  entonces  $p(C_i)$  valdrá 0.15. Esta probabilidad se denomina a priori pues debe ser estimada antes de la clasificación. Esta estimación usualmente es difícil de obtener, ya que el analista debe recurrir a fuentes externas como reconocimiento del terreno, mapas, datos históricos, etc. Por tal motivo en la mayoría de los casos se asume que es la misma para todas las clases. En cuanto a  $p(x)$  es la probabilidad de encontrar un pixel de cualquiera de las clases en la posición  $x$ . Aunque para lo que sigue  $p(x)$  no va a ser importante podemos notar que

$$p(X) = \sum_{i=1}^M p(x|C_i)p(C_i)$$

### Ecuación 1. Probabilidad de asociación de píxeles

Basándonos en [2] podemos escribir la regla [1] como

**$X \in C_i$  si  $p(x|C_i)p(C_i) > p(x|C_j)p(C_j)$  para todo  $j \neq i$  (Fórmula 3)**

En la [3] se eliminó  $p(x)$  al ser factor común. Por conveniencia matemática definiremos funciones discriminantes  $g_i(x)$  como

**$g_i(x) = \ln [p(x|C_i)p(C_i)] = \ln p(x|C_i) + \ln p(C_i)$  (Fórmula 4)**

Con lo cual podremos escribir la [3] como

**$X \in C_i$  si  $g_i(x) > g_j(x)$  para todo  $j \neq i$  (Fórmula 5)**

Pasemos ahora a considerar la forma de la función de distribución de probabilidad  $p(x|C_i)$ . Asumiremos para dicha función el modelo normal multivariado. En consecuencia, para un caso de  $N$  bandas espectrales puede demostrarse que:

$$p(x|C_i) = (2\pi)^{-N/2} |\Sigma_i|^{-1/2} \exp[-1/2(x - m_i)^t \Sigma_i^{-1}(x - m_i)] \quad \text{(Fórmula 6)}$$

Donde  $m_i$  y  $\Sigma_i$  son respectivamente la media y la matriz de covarianza de los datos de la clase  $C_i$ . Reescribiendo la [4] y tomando en cuenta la [6] resulta

$$g_i(x) = \ln p(C_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^t \Sigma_i^{-1} (x - m_i) \quad \text{(Fórmula 7)}$$

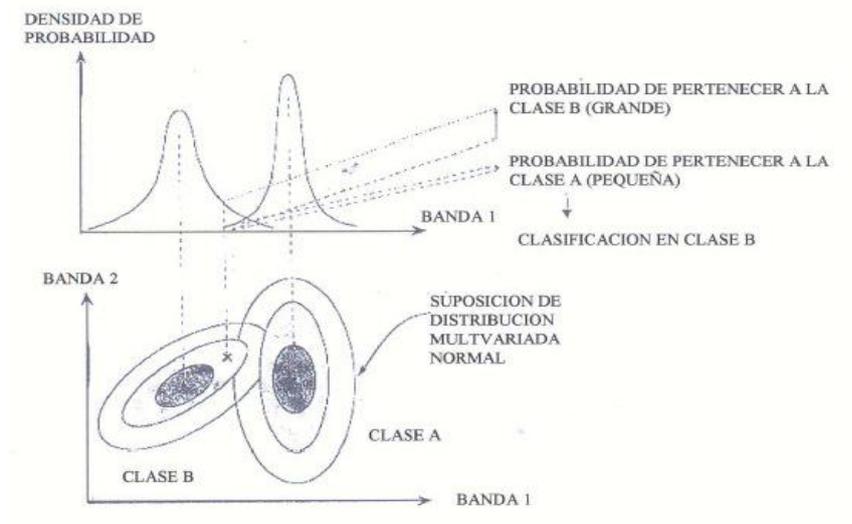
Donde suprimimos el término  $-N/2 \ln(2\pi)$  común a todos los  $g_i(x)$  y que no contribuye a la discriminación. Puesto que ya dijimos que la dificultad de estimar  $p(C_i)$  hace que usualmente esta probabilidad se considere la misma para todas las clases podemos simplificar la [7] eliminando dicho término así como el factor  $1/2$ . Finalmente queda:

$$g_i(x) = -\ln \left| \sum_i | - (x - m_i)^t \sum_i^{-1} (x - m_i) \right|$$

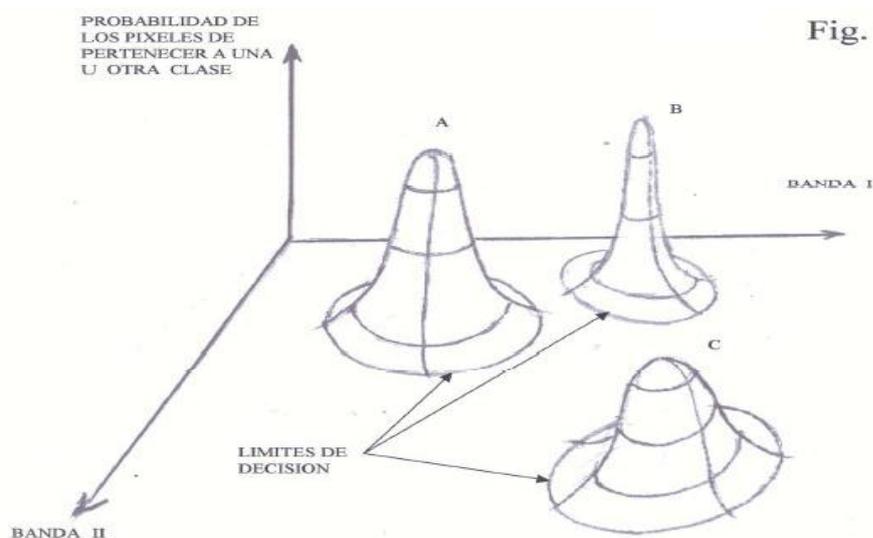
### Ecuación 2. Probabilidad de considerar un pixel a cierta clase

Como vemos este clasificador asigna a cada pixel desconocido una dada clase de acuerdo a un criterio Gaussiano de probabilidad. Es así que al visualizar en un sistema multiespectral bidimensional el eje vertical mide la probabilidad de que en un pixel este contenido en alguna de las clases se generaran superficies en campana, una para cada clase espectral. La proyección de superficies en campana sobre el plano espectral genera disperso gramas cuyos contornos de equiprobabilidad elipsoidales son los que se representan en la figura. (Sangermano, Eastman, & Zhu, 2010)

### Gráfico 4. Esquema del criterio de decisión en este método



**Fuente:** (Sangermano, Eastman, & Zhu, 2010)

**Gráfico 5. Probabilidad de pixeles de ciertas clases**

**Fuente:** (Sangermano, Eastman, & Zhu, 2010)

### C. REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Las RNAs se desarrollaron con la finalidad de generar una forma de inteligencia artificial que trata de replicar el funcionamiento del cerebro, en cuanto al comportamiento del sistema de conexiones neuronales que determinan la ejecución de un proceso. En la actualidad se han aplicado en un amplio rango de disciplinas, resultando adecuadas para la solución de problemas de reconocimiento de patrones a través de cálculos computacionales. En las RNAs, las células que procesan que procesan la información en el cerebro llamadas neuronas, son modeladas como nodos interconectados en una serie de capas organizadas de manera jerárquica, estos se activan por acción de un interruptor binario llamado función de activación. Al activarse transmite información a la cadena de procesos y cada nodo es capaz de recibir información de varios nodos. (Díaz-Pacheco, 2011)

Se las puede definir como un instrumento de cálculo masivo y paralelamente distribuido en unidades de procesamiento denominado neuronas o nodos. La primera neurona artificial desarrollada fue la creada por Rosenblatt en 1958 y la denomino perceptrón. Este consiste en la existencia de una neurona única, el cual recibe entradas ponderadas

aleatoriamente dando resultados de acuerdo a reglas definidas. (Díaz-Pacheco, 2011) El perceptrón multicapa (MLP) descrito en 1986 por Rumelhart, Hinton y Williams es una de las RNAs más utilizadas y consiste en tres tipos de capas: entrada, oculta y salida y es capaz de identificar relaciones de naturaleza no lineal. (Díaz-Pacheco, 2011)

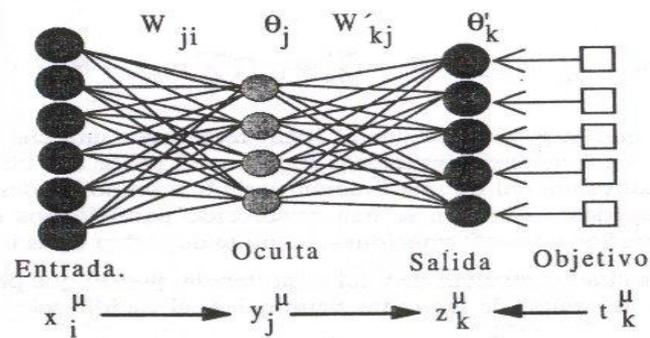
La capacidad por las RNAs para solucionar problemas de búsqueda y reconocimiento repetitivo de un comportamiento en una secuencia temporal, originó su empleo en la modelación de dinámicas espacio temporales de cambios de cobertura, encajando en categorías de modelos de probabilidad cambios de cobertura vegetal espacialmente explícitos, basado en modelos de regresión, teniendo el poder explicativo para la localización de los cambios. (Díaz-Pacheco, 2011)

El satisfactorio uso de RNAs para la modelización de cambios de uso de vegetación ha sido probado con éxito en varias aplicaciones como las realizadas para la modelización de crecimiento urbano en USA. (Díaz - Pacheco & Hewitt, 2012) También se empleó en Madrid para determinar patrón de uso de suelo en áreas comerciales. (Díaz-Pacheco, 2011). El uso de RNAs para la simulación dinámica de coberturas forestales se planea más como una herramienta predictiva de la localización futura de coberturas arbóreas, para determinar la localización espacial en el territorio a través de la detección de patrones de comportamiento extraído de la comparación de dos momentos temporales más o menos distantes entre sí. (Díaz - Pacheco & Hewitt, 2012)

### **1. Perceptrón Multicapa (MLP)**

Este es uno de los RNAs más comunes y se basa en una red más simple llamado perceptrón simple, cambiando únicamente en el número de capas ocultas que puede ser 1 o más, es una red Feedforward (unidireccional), su arquitectura es la siguiente:

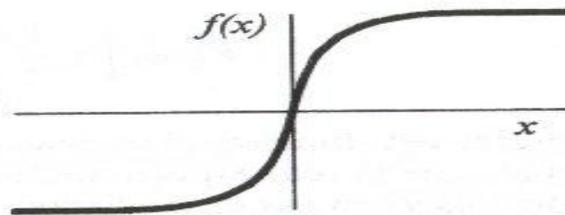
**Gráfico 6. Representación de un Perceptrón Multicapa (MLP)**



**Fuente:** (Martin & Sanz Molina, 2002)

Las neuronas de la capa oculta emplean como regla de propagación la suma ponderada de las entradas con los pesos sinápticos  $w_{ij}$  y sobre esta se aplica una función de transparencia de tipo sigmoidea. (Martin & Sanz Molina, 2002)

**Gráfico 7. Forma funcional de una sigmoide**



**Fuente:** (Martin & Sanz Molina, 2002)

El aprendizaje que se le da a este tipo de redes se las llama retropropagación del error (backpropagation). Para función de coste global se usa el error cuadrático medio, dado un par  $(x_k, d_k)$  correspondiente a la entrada  $k$  de los datos de entrenamiento y salida deseada se calcula la cantidad:

$$E(w_{ij}, \theta_j, w'_{kj}, \theta'_k) = \frac{1}{2} \sum_p \sum_k \left[ d_k^p - f \left( \sum_j w'_{kj} y_j^p - \theta'_k \right) \right]^2$$

### Ecuación 3. Error cuadrático medio

Es la suma de errores parciales debido a cada patrón (índice p), resultantes de la diferencia entre salida deseada  $d_p$  y la salida que da la red. Ante el vector de entrada  $x_k$ . Si las salidas son diferentes a las esperadas el error cuadrático medio será grande,  $f$  es la función de activación de las neuronas de la capa de salida y la salida que proporcionan las neuronas de la última capa oculta. (Martin & Sanz Molina, 2002)

En el caso del MLP se hace mediante un descenso por gradiente. Las expresiones que resultan aplicando la regla de la cadena son:

$$\begin{aligned} \delta w'_{kj} &= -\epsilon \frac{\partial E}{\partial w'_{kj}} \\ \delta w'_{ji} &= -\epsilon \frac{\partial E}{\partial w'_{ji}} \\ \delta w'_{kj} &= \epsilon \sum_p \Delta_k^p y_j^p \quad \text{con} \quad \Delta_k^p = [d_k^p - f(v_k^p)] \frac{\partial f(v_k^p)}{\partial v_k^p} \\ \delta w_{ij} &= \epsilon \sum_p \Delta_j^p x_i^p \quad \text{con} \quad \Delta_j^p = \left( \sum_k \Delta_k^p w'_{kj} \right) \frac{\partial f(v_j^p)}{\partial v_j^p} \end{aligned}$$

### Ecuación 4. Términos delta

El aprendizaje por backpropagation queda así:

1. Iniciar los pesos y los umbrales de cada neurona, las más comunes son las que introducen valores aleatorios pequeños.
2. Para cada patrón del conjunto de los datos de entrenamiento.
3. Obtener la respuesta de la red ante el patrón. Se consigue propagando la entrada hacia adelante

4. Calcular los errores asociados según la ecuación de error cuadrático medio.
5. Calcular los incrementos parciales (sumando de los sumatorios)
6. Calcular el incremento total, para todos los patrones, de los pesos y los umbrales.
7. Actualizar pesos y umbrales
8. Calcular el error actual. (Martin & Sanz Molina, 2002)

## 2. Cadenas Markov

Las cadenas Markov simulan una predicción de un sistema a un tiempo determinado partiendo de dos estados anteriores. Se basa generalmente en el análisis de la dinámica interna del sistema mismo, como los cambios de uso de suelo y coberturas forestales. El algoritmo compara dos mapas de la ocupación del suelo que suceden en un tiempo cronológico, estima y configura una matriz probable de transición. Dicha predicción se grafica con una serie de mapas en base a las diferentes categorías de uso del suelo. Estas cadenas presentan una limitación que es la necesidad de trabajar con las mismas categorías en todas las fechas por lo que si aparece una nueva categoría impide trabajar con este método. (Paegelow, Camacho Olmedo, & Menor Toribio, 2003)

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR**

#### **1. Localización del área de estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en la Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo, la parroquia tiene una superficie aprox. de 97170,65 Ha.

#### **2. Ubicación geográfica**

Coordenadas Proyectadas UTM Zona 17S, DATUM WGS 84 (Fuente IGM)

Coordenada X: 748065.7

Coordenada Y: 9747487.1

#### **3. Características climáticas**

Datos obtenidos del Plan de Desarrollo del GADPR\* de Achupallas

- Temperatura anual: 1 a 16 °C
- Humedad relativa promedio anual: 50 a 70%
- Precipitación anual: 250 - 2500 mm

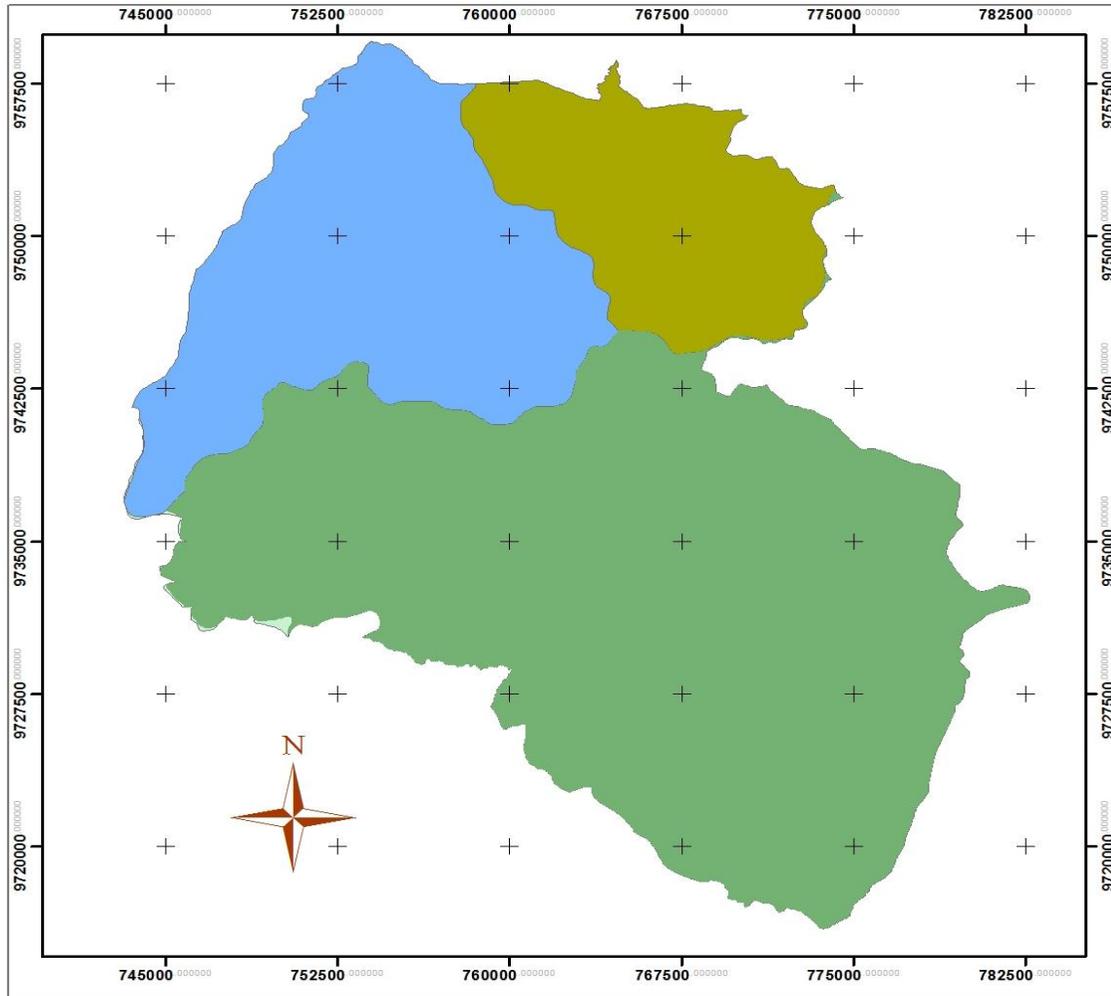
#### **4. Ubicación ecológica**

Según el Sistema de los Ecosistemas del Ecuador Continental del Ministerio del Ambiente del Ecuador la parroquia Achupallas tiene la siguiente clasificación ecológica: Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo ubicado entre los 3300 hasta los 4500 m.s.n.m.

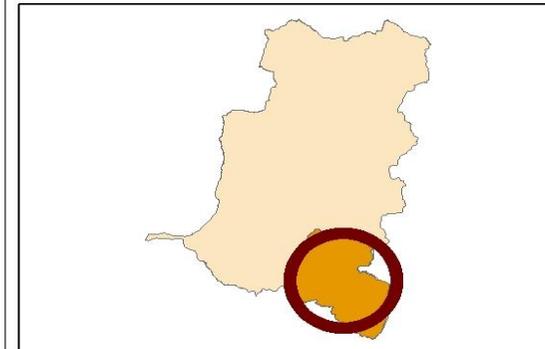
\*GADPR: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural

### Mapa 1. Ubicación Geográfica del Área de Estudio

Ubicación Geográfica de la Parroquia Achupallas



Ubicación en Chimborazo



**Achupallas**  
**Microcuencas**

- Microcuenca Jubal
- Microcuenca Manzano
- Microcuenca Ozogoche

Sistema de Coordenadas Datum WGS 84 Zona 17 S  
Fuente: INFOPLAN

ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
Provincia Chimborazo  
Cantón Alausí  
Parroquia Achupallas  
Proyecto Caracterización  
Elaborado Biogeográfica  
Daniel Arévalo



## **B. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **1. Materiales de campo e informáticos**

- Libreta de Campo, Equipo de protección, Bolsas plásticas
- Imágenes Satelitales, Software ArcGis 10.2.2, Software SIG IDRISI, Word, Excel

### **2. Equipos**

- GPS, Brújula, Laptop, Cámara Fotográfica, Calculadora, vehículo

## **C. METODOLOGÍA**

El presente trabajo entre 1991, 2001 y 2011. Se agrupó un conjunto de tareas y se describió el proceso de análisis de cobertura arbórea por medio de la clasificación supervisada en ArcGis, la principal fuente para este estudio fueron 3 imágenes satelitales Landsat 7ETM+ de los respectivos años, las cuales previamente fueron sometidas a una corrección radiométrica y geométrica. Cada imagen Landsat fue rectificadas a un sistema de coordenadas geográfica, bajo los siguientes parámetros:

- Datum WGS84
- Sistema de coordenadas: UTM (Universal Transversa de Mercator)
- Zona 17S (Hemisferio sur)

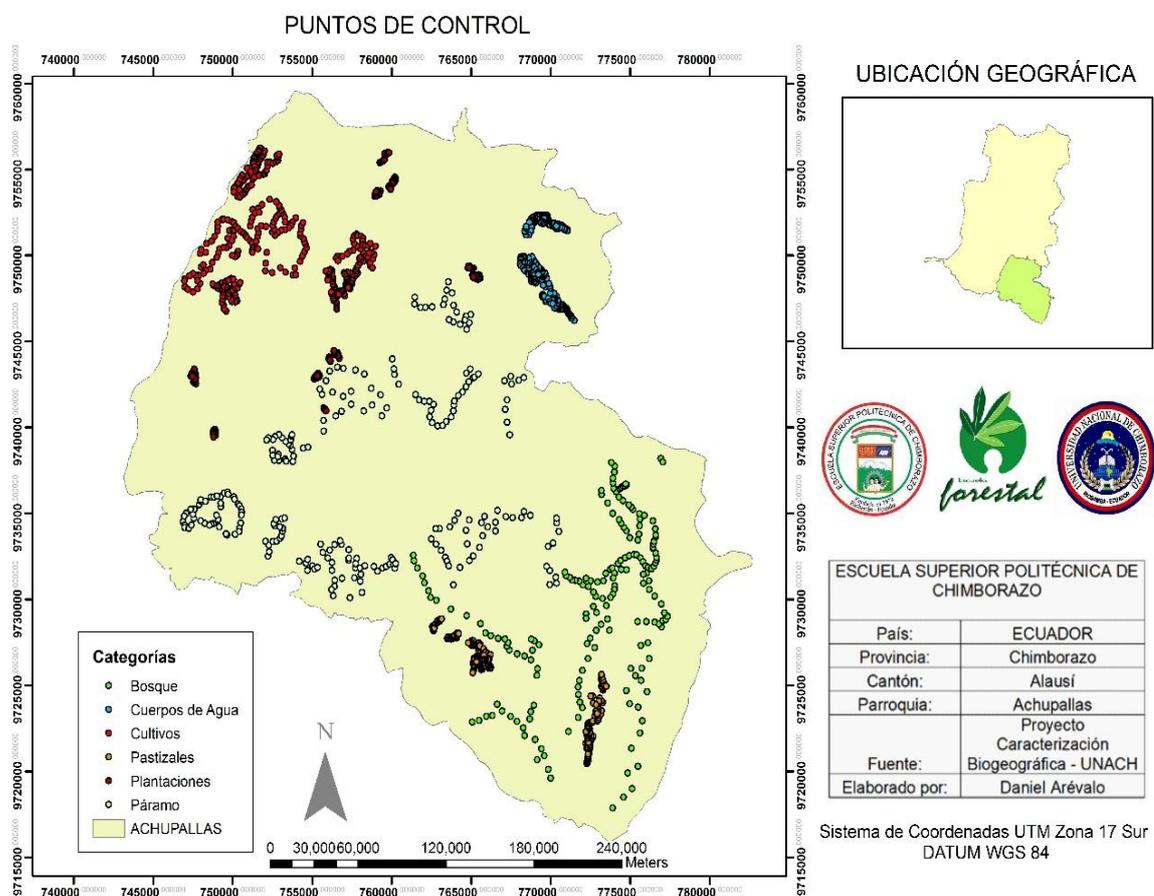
Para el análisis de la tasa de cambio y modelado se aplicó LCM (Land Change Modeler), aplicación informática SIG diseñada para calcular la probabilidad de cambio de cobertura forestal por un algoritmo basado en Redes Neuronales Artificiales. A continuación se detalla los procesos a llevados:

- 1) Determinación de la vegetación arbórea
- 2) Análisis de los cambios de cobertura en la vegetación arbórea
- 3) Predicción de cambios

## 1. Determinación de la cobertura de vegetación arbórea

Se aplicó el método de clasificación supervisada de máxima probabilidad por ser un método que parte de un conocimiento previo del área esta consiste en una serie de procedimientos desarrollados en el software ArcGis 10.2.2 aplicados a las imágenes satelitales Landsat. La información y reconocimiento que se realizó en el trabajo de campo (Domínguez & Regos, 2010) con la respectiva información que se obtuvo de las imágenes de los años 1991, 2001 y 2011 se basó en la definición de áreas de entrenamiento con las que el programa entrenó al clasificador para reconocer las diferentes categorías, según la similitud de los píxeles de la imagen, cada píxel tiene una dimensión de 30 \*30 m, a cada uno se asignó una categoría según el valor de cada área de entrenamiento (Regos, Ninyerola, & Moré, 2012) de las principales categorías de los ecosistemas naturales y antrópicos existentes y así determinar las zonas en las que se extiende la cobertura arbórea en la parroquia.

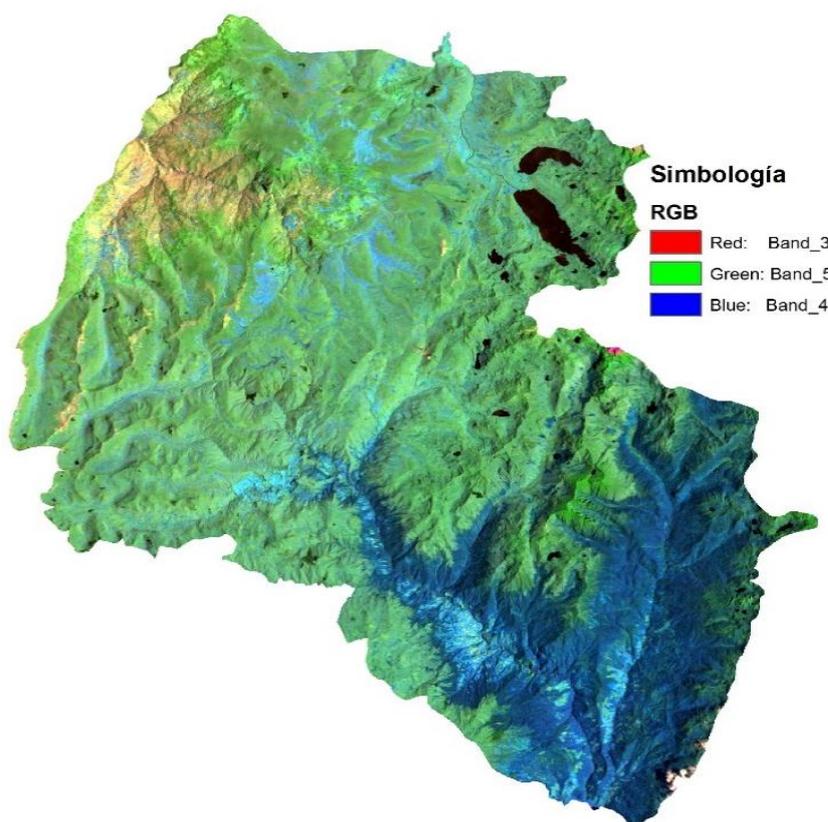
**Mapa 2. Puntos de entrenamiento**



Los puntos de entrenamiento y control se tomaron sobre las principales áreas representativas de la cobertura arbórea así como de las categorías más importantes. En el **mapa 2** se puede observarlos con una coloración diferente según la concentración de las diferentes categorías en la zona de estudio.

Para esta clasificación la combinación de las composiciones RGB empleadas fueron 3-5-4 (**gráfico 8**) para lograr una visualización y localización más precisa, también se ha basado en el conocimiento previo de la zona en estudio, cartografía, mapas de uso de suelo y cobertura vegetal obtenida de INFOPLAN.

**Gráfico 8. Imagen de combinación de bandas RGB 354**



Fuente: <http://glcfapp.glc.umd.edu/>

Elaborado por: Arévalo D.

Se han definido 6 categorías en la parroquia Achupallas. De esta clasificación las principales que se tomaron en cuenta son:

**Tabla 2. Esquema de coberturas del suelo en Achupallas para las clasificaciones de 1991, 2001 y 2011**

N°	Clases	Descripción
1	<b>Páramo</b>	Vegetación dominada por pajonales y matorrales
2	<b>Cultivos</b>	Cultivos de ciclo corto ( papas, maíz, habas, entre otros) típicos de las zonas de paramo
3	<b>Pastizales</b>	Pastos naturales, introducidos o asociaciones de pastizales
4	<b>Bosque</b>	Bosques nativos formado por especies arbustivas, maderables, helechos y bromelias
5	<b>Cuerpos de Agua</b>	Ríos, Presas y Lagunas
6	<b>Plantaciones</b>	Especies exóticas con fines de reforestación y aprovechamiento económico (Pino y Eucalipto)

\***Páramo (Pr), Cultivos (Cc) Pastizales (P), Bosque (B), y Cuerpos de agua (Ca) y Plantaciones (Pl)**

Elaborado por: Daniel Arévalo

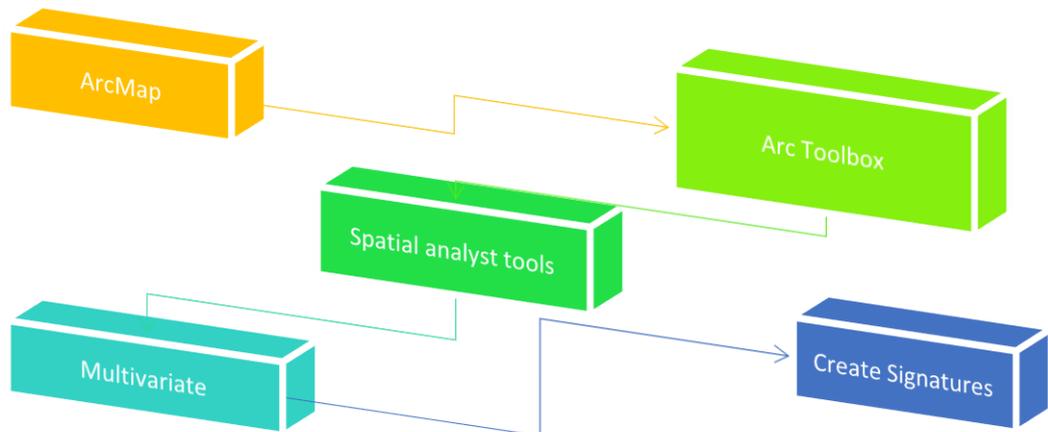
Definidas las clases se procedió a la clasificación supervisada, para ello con anterioridad se corrigió las imágenes satelitales, y con los puntos de entrenamiento se procedió a correr el programa ArcGis 10.2.2.

Cada imagen recibió igual tratamiento por lo que al final de cada proceso se obtuvo unos mapas similares en los que se representó el área que abarca cada clase en los años 1991, 2001 y 2011.

#### **a. Proceso de clasificación supervisada**

Previo al conocimiento de la extensión de las categorías, asignamos los puntos de entrenamiento con el valor numérico de cada clase. Con estos datos se creó una firma espectral que detalló las características espectrales de los diferentes píxeles que se asociaron a las diferentes categorías previo al proceso de la obtención del mapa de usos de suelo que detalle las zonas de ubicación y el área representativa en la parroquia:

**Gráfico 9. Entrenamiento de la firma espectral**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

Se obtuvo un archivo de formato .gsg que guarda la información base para el proceso de clasificación, en el que se detalla las características de las diferentes categorías en las bandas de la imagen satelital.

**Gráfico 10. Archivo .gsg**

```

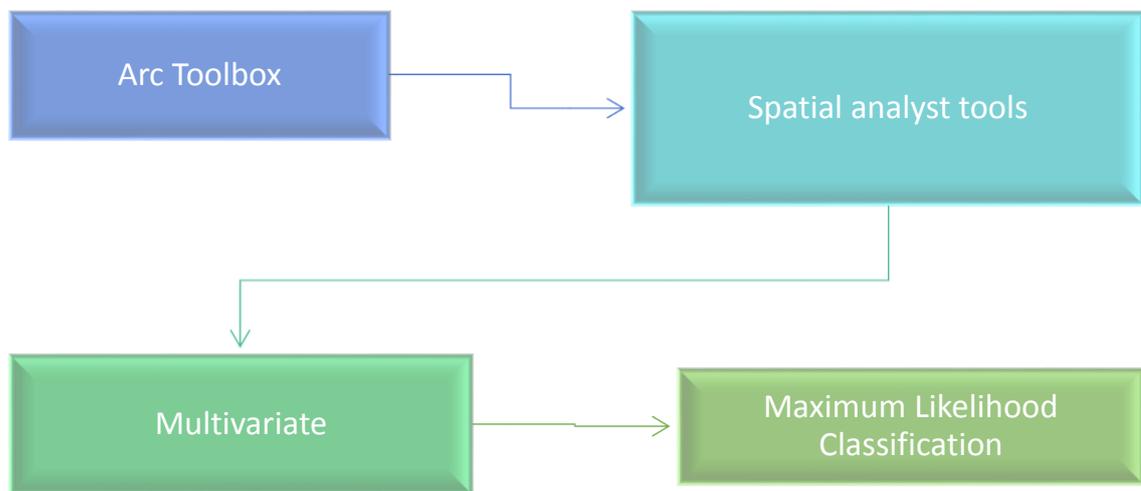
# Signatures Produced by ClassSig From
# Class-Grid __1000002
# and Stack __1000001

# Number of selected grids
/*
7
# Layer-Number Band-name
/*
1 Rstr_1991\rstr_1991c1
/*
2 Rstr_1991\rstr_1991c2
/*
3 Rstr_1991\rstr_1991c3
/*
4 Rstr_1991\rstr_1991c4
/*
5 Rstr_1991\rstr_1991c5
/*
6 Rstr_1991\rstr_1991c6
/*
7 Rstr_1991\rstr_1991c7
|
# Type Number of Classes Number of Layers Number of Parametric Layers
1 6 7 7
#
-----
# Class ID Number of Cells Class Name
1 312 Cuerpos de Agua
# Layers 1 2 3 4 5 6 7
# Means 529.27564 612.50000 571.53846 904.24679 404.76923 1013.05449 247.48397
# Covariance
1 1966.20674 1566.68489 1597.49419 1507.49446 2244.25996 494.12320 2441.35491
2 1566.68489 2068.77814 1933.61093 3095.43248 3771.36013 2345.10450 3130.48714
3 1597.49419 1933.61093 2620.26861 4242.17215 5160.02820 3475.50111 4051.85110
4 1507.49446 3095.43248 4242.17215 19277.63343 18267.79025 7185.41738 11092.05059
5 2244.25996 3771.36013 5160.02820 18267.79025 20664.19095 10510.73287 12914.78729
6 494.12320 2345.10450 3475.50111 7185.41738 10510.73287 27811.05490 7090.27901
7 2441.35491 3130.48714 4051.85110 11092.05059 12914.78729 7090.27901 9903.65248
#
-----
# Class ID Number of Cells Class Name
2 143 Bosques
  
```

**Elaborado por: Daniel Arévalo**

Con la imagen raster y el archivo .gsg detallando el campo de los valores de las diferentes clases se puso a trabajar al programa para la obtención de la clasificación supervisada, aplicando el algoritmo de máxima probabilidad.

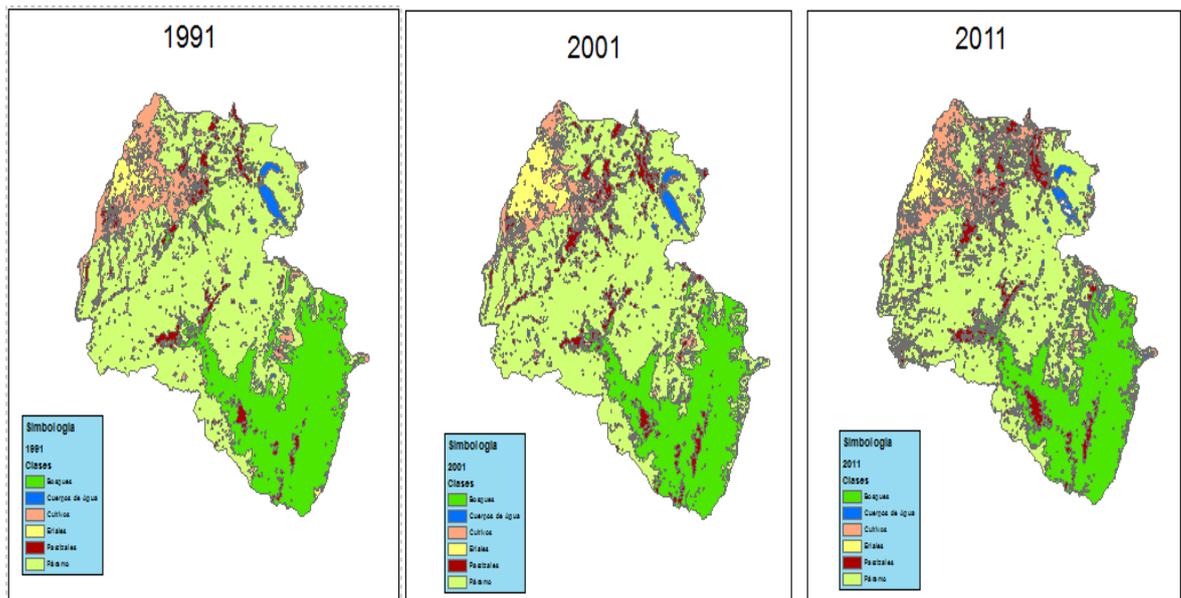
**Gráfico 11. Proceso de clasificación supervisada**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

De este proceso se obtuvo la clasificación de uso de suelo variando a una coloración arbitraria según el uso asociado, misma que puede ser modificada según sus características.

**Gráfico 12. Imágenes de clasificación supervisada 1991, 2001 y 2011**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

## 2. Análisis de los cambios de cobertura en la vegetación arbórea

Este proceso analizó la evolución de la cobertura forestal y las principales categorías presentes en la parroquia entre los años referenciados de 1991, 2001 y 2011, el análisis principal se desarrolló en las imágenes de los años 1991 y 2001 por ser las imágenes con mejores características y las que fueron empleadas para el modelado y seleccionados para el desarrollo de la investigación. Por medio de este análisis se pudo observar los cambios que se han venido produciendo tanto en la vegetación arbórea como en las diferentes categorías seleccionadas dentro de la parroquia, esto incluso sirvió para deducir que variables influyen en el cambio de cada uno.

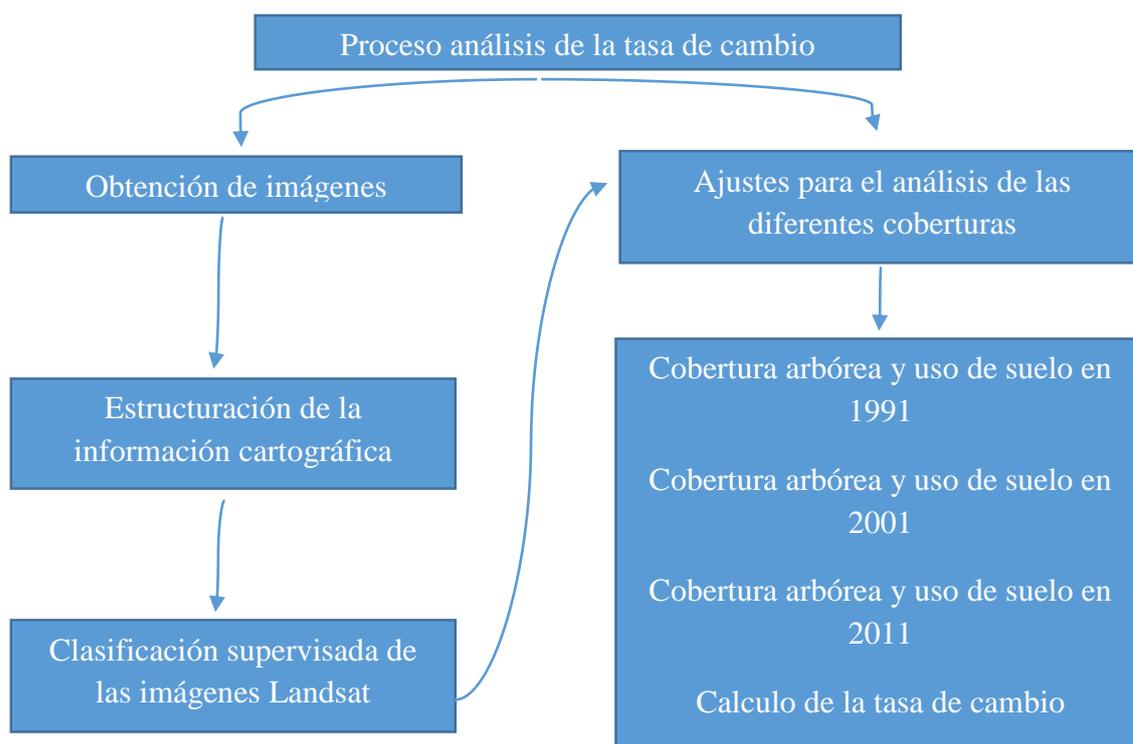
Para la determinación de la tasa de cambio (TC) que ha ocurrido en este tiempo se realizó un análisis estadístico en el que se tomó en cuenta todas las áreas de cada categoría, se realizó una sumatoria de cada una y se procedió a la comparación estadística con tablas y gráficos en el que se detalló el área y porcentaje representativo de cada uno dentro de la extensión total de la parroquia.

Para el análisis de la tasa de cambio anual se empleó la ecuación propuesta por la FAO para estimar su cambio promedio donde se calculó la superficie de ocupación de la cobertura arbórea y las principales categorías de uso anualmente:

$$(TDA): \left[ \frac{S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1 \quad (2)$$

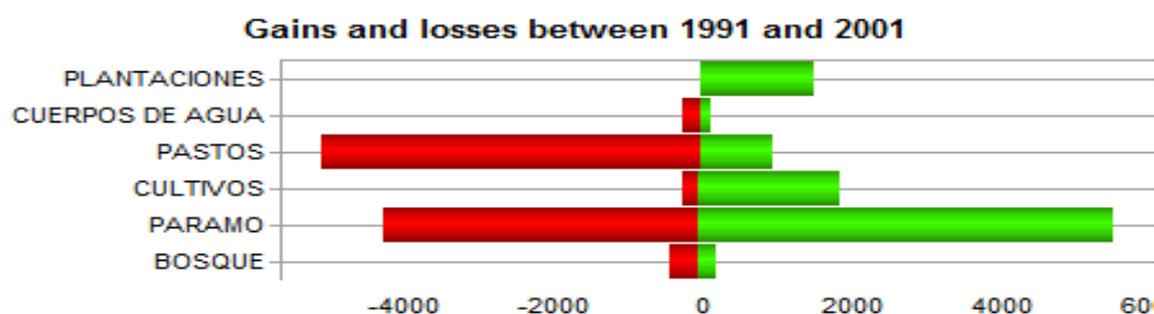
### **Ecuación 5. Tasa de Cambios FAO**

Dónde: TDA: tasa de cambio anual:  $S_2$  = superficie fecha 2,  $S_1$  = superficie en la fecha 1, n es el número de años entre las dos fechas.

**Gráfico 13. Proceso de análisis de la tasa de cambio**

Elaborado por: Daniel Arévalo

Para el análisis de ganancias y pérdidas, análisis de tendencias y la proyección a futuro se empleó Land Change Modeler que es un módulo del software GIS IDRISI SELVA basado en redes neuronales artificiales. Una de las facilidades que nos presenta el software IDRISI Selva es la posibilidad de cuantificar mediante un proceso estadístico las diferentes áreas que han sufrido cambios permitiendo establecer cuadros comparativos de ganancias y pérdidas que cada una de las diferentes categorías hayan experimentado a lo largo de los años mencionados.

**Tabla 3. Ejemplo de ganancias y pérdidas en el transcurso de 10 años**

Elaborado por: Daniel Arévalo

Según (Sangermano, Eastman, & Zhu, 2010) este sistema identifica las coberturas forestales y las transiciones que en ella ocurrió, como desde bosque hasta áreas deforestadas. Para ello primero se entendió las tendencias de cambio en los años 1991 - 2001, se mostró el patrón de cambio y de esta manera cada categoría y el principal causante de las ganancias o pérdidas en la cobertura arbórea y los usos.

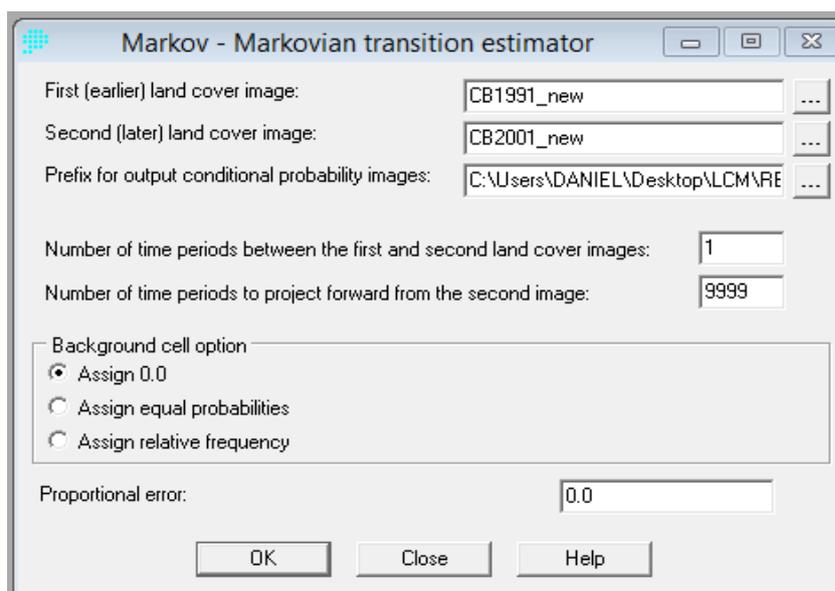
### **3. Predicción de cambios**

Para el análisis de tendencias y proyección a futuro se entrenó una potente herramienta para la modelación de relaciones que son múltiples y no tienen una secuencia lineal como son las RNAs, en el que bastó contar con un conjunto básico de información que en el caso de nuestra investigación fue la cobertura arbórea y las categorías principales de la parroquia Achupallas, como:

- Categorías de usos de suelo: Mapas clasificados previamente de diferentes años y que contenían las mismas categorías.
- Distancia de ríos: En formato raster con las distancias de las principales fuentes de agua.
- Distancia de vías: La información de la red vial primaria, secundaria y terciaria generada en formato raster.
- Elevación: se generó un DEM con el modelo de elevación de la parroquia

La probabilidad de cambio a futuro es dependiente de la situación anterior, permitiendo predecir un escenario a partir de los mapas 1991 y 2001, las características que obtuvo el mapa proyectado dependió de los valores de los años mencionados y su tendencia se basó en un análisis de las cadenas de Markov, este sistema analizó la dinámica interna que se siguió en el proceso para la probable evolución de la cobertura arbórea y las principales categorías, este método consideró que un cambio tiene tendencia a repetirse en un futuro dependiendo de la dinámica llevada en este periodo y basándose en el ritmo de cambio previsto en cada categoría.

**Gráfico 14. Cadena Markov**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

La aplicación de estas cadenas ofreció como resultado un mapa de predicción al 2030 luego de realizar las transiciones posibles entre los años 1991 y 2001, la tabla de transición se indica el número de píxeles que pueden sufrir alguna transformación. En este proceso se analizó las variables que se producen para que se den los cambios tanto en la imagen satelital empleando como moderador a la imagen del 2011. En el Land Change Modeler (aplicación de IDRISI) la RNA se encargó de practicar con los píxeles que hayan sufrido o no cambios, esta RNA resolvió inconvenientes puesto, que por su configuración se puede resolver problemas que no son linealmente separables.

La RNA según (Sangermano, Eastman, & Zhu, 2010) en el Land Change Modeler una vez generado el modelo se empleó para generar un escenario al 2030 en el que se obtuvo una imagen con la matriz de probabilidad de transición. En el entrenamiento y luego de varios intentos para entrenar a las RNAs para establecer un error de precisión mínimo el modelo se entrenó con un total de 5000 muestras por clase y 10000 interacciones con 5 capas de entrada, 9 capas ocultas y 13 de salida con el que la precisión alcanzó el 82.67% de ahí se generó la información de las neuronas a través de las capas de entrada, ocultas y de salida, de este proceso se obtiene la información de las combinaciones entre las diferentes capas de neuronas.

**Tabla 4. Combinación entre las capas de entrada y capas de salida**

Neuron	h-Neuron 1	h-Neuron 2	h-Neuron 3	h-Neuron 4	h-Neuron 5	h-Neuron 6	h-Neuron 7	h-Neuron 8	h-Neuron 9
i-Neuron 1	-8.4865	-2.7005	-23.8408	0.1435	19.6883	1.2615	0.3649	0.5570	18.3144
i-Neuron 2	-0.5862	-2.0959	-0.2224	-0.1474	-1.5631	-2.1404	10.1622	-10.5418	-0.0241
i-Neuron 3	3.7549	-0.3495	0.7850	1.1168	-5.0579	1.4840	-3.0252	-0.2517	-9.0103
i-Neuron 4	-0.9151	-0.7607	0.6270	0.5618	0.9063	1.6567	4.4741	-8.3510	-0.1244
i-Neuron 5	-20.6862	1.5858	12.5709	6.1534	-1.6338	2.2165	4.1718	-7.9514	-0.2052

Elaborado por: Daniel Arévalo

Concluido el entrenamiento de las neuronas y realizado el proceso de análisis de las tasas de cambio, la información obtenida de los diferentes años y el modelo de transición mediante redes neuronales artificiales generó un mapa de predicción a futuro. A este mapa se realizó un análisis estadístico similar al descrito en el punto dos de la presente metodología.

El proceso completo de la clasificación supervisada así como el entrenamiento y generación del mapa de predicción se incluyen en los anexos

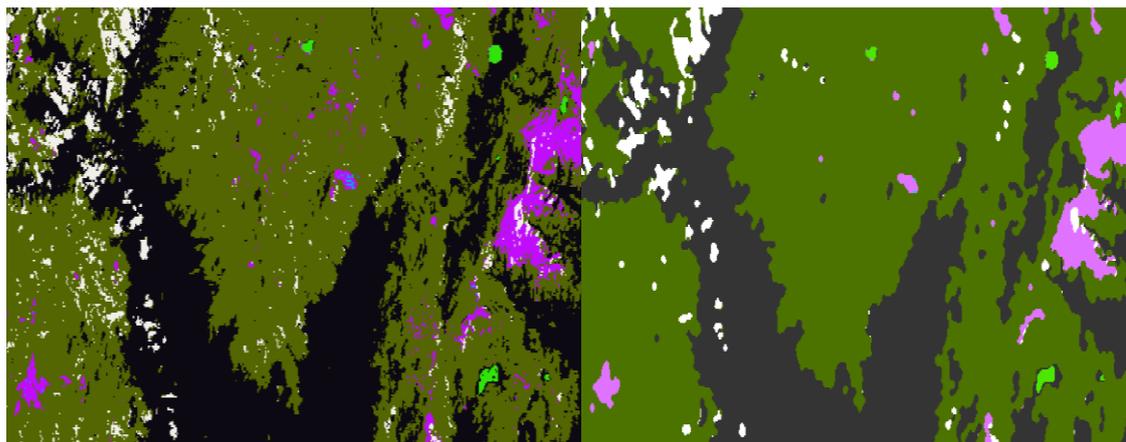
## V. RESULTADOS

### A. DETERMINACIÓN DE LA COBERTURA ARBÓREA Y CATEGORÍAS DE USOS DEL SUELO EN LOS AÑOS 1991, 2001 Y 2011

#### 1. Clasificación de imágenes

Se desarrolló la clasificación supervisada de las imágenes correspondientes a la zona de estudio, cada imagen se sometió a igual proceso en el software ArcGis 10.2.2 resultado se obtuvo imágenes con píxeles aislados que el algoritmo no asocia a una clase específica por lo que se fue necesario someter a un proceso denominado “eliminación de ruido” que se logra con la ayuda del filtro Majority Filter agrupando esos píxeles a una clase vecina.

**Gráfico 15. Comparación de la eliminación de ruido**

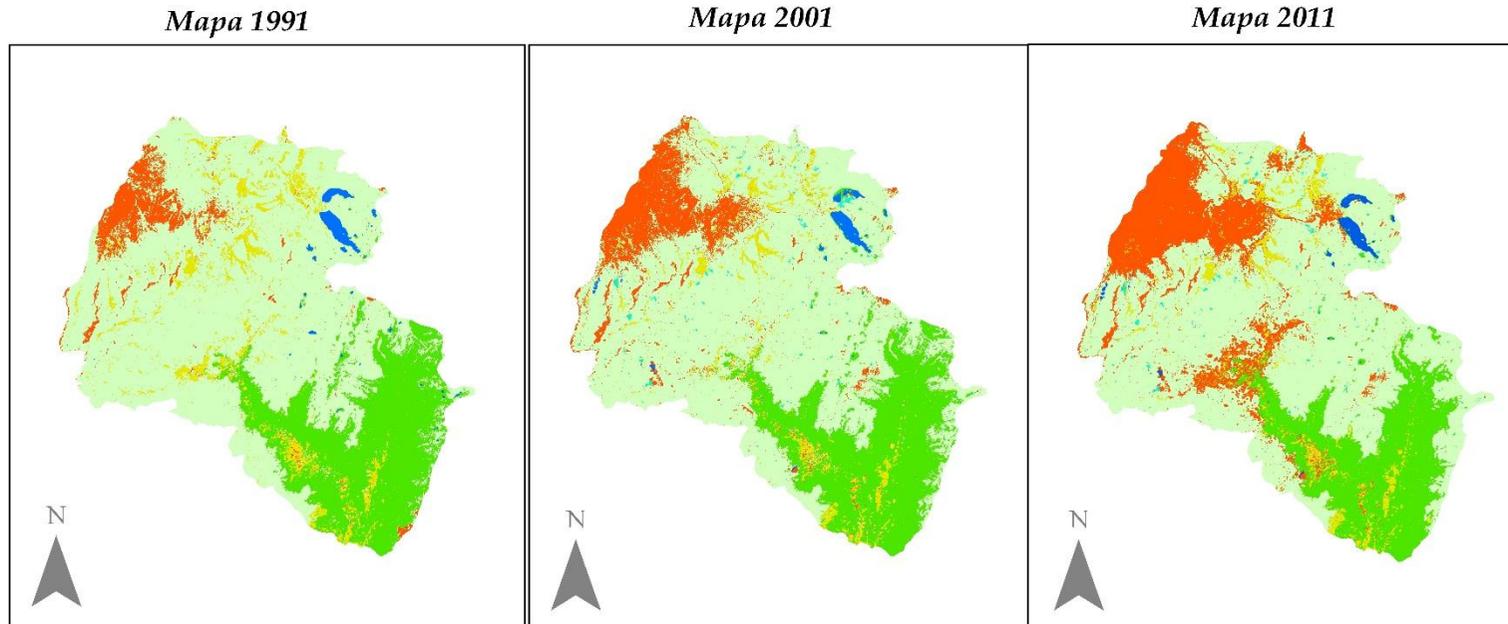


Elaborado por: Daniel Arévalo

En esta clasificación se identificó los 6 tipos de ecosistemas en las tres imágenes de la manera más objetiva para facilitar su interpretación visual y análisis estadístico de cambios. Una vez concluido el proceso de clasificación supervisada por el método de máxima similitud con la combinación de bandas RGB 354 facilitó diferenciar con claridad los diferentes ecosistemas naturales y antrópicos de la zona de estudio.

En el **gráfico 16** compuesto por tres mapas representa el área total de estudio, la representación de la cobertura arbórea y las diferentes categorías en cada año.

**Gráfico 16. Mapas de 1991, 2001 y 2011**



Categorías	
<span style="color: green;">■</span>	Bosques
<span style="color: blue;">■</span>	Cuerpos de Agua
<span style="color: orange;">■</span>	Cultivo
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Paramo
<span style="color: yellow;">■</span>	Pastizales
<span style="color: cyan;">■</span>	Plantaciones

ID	1991_%	2001_%	2011_%
B	21.87	20.4	17.25
Pr	65.46	64.3	60.25
Cc	5.26	10.0	14.52
P	6.43	4.1	6.07
Ca	0.97	0.8	0.79
Pl	0.00	0.5	0.72

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	
<b>País:</b>	ECUADOR
<b>Provincia:</b>	Chimborazo
<b>Cantón:</b>	Alausí
<b>Parroquia:</b>	Achupallas
<b>Fuente:</b>	Proyecto Caracterización Biogeográfica - UNACH
<b>Elaborado por:</b>	Daniel Arévalo

Sistema de Coordenadas UTM Zona 17 Sur  
 DATUM WGS 84 Escala: 1:500,000

## **2. Cuatificación de cobertura arbórea y categorías de uso del suelo entre los años 1991, 2001 y 2011**

### **a. Cobertura arbórea y categorías de uso de suelo 1991**

Los porcentajes que ocupa cada área con respecto al área total de la parroquia están dominados por la presencia de páramos que representa el 65.46 % seguido de la vegetación arbórea con un 21.87%. La cobertura arbórea tiene su dominancia en la parte sureste dentro de la parroquia y la parte noroccidental en lo referente al parque nacional Sangay, en la zona de transición entre la región amazónica y la interandina mostrando cierta homogeneidad en su cobertura como podemos observar en el mapa 3, los cuerpos de agua alcanzan un 0.97% de la extensión total con 946.09 has. Los pastizales alcanzan una extensión de 6.43% siendo el ecosistema de origen antrópico de mayor extensión seguido de los cultivos con 5.26%, las plantaciones ocupan apenas 0.06 has que no alcanza representatividad porcentual. La cobertura arbórea tomó en cuenta los bosques y plantaciones. La cobertura arbórea total en 1991 fue de 21253.08 ha, con un porcentaje de 21.87%. En este caso las plantaciones no influyen en la cobertura general porque su cobertura no es significativa en relación a la extensión total de la parroquia Achupallas, en la tabla N°5 podemos observar el área en ha de cada categoría y su porcentaje dentro de la zona en estudio.

### **b. Cobertura arbórea y categorías de uso de suelo de 2001**

En la Tabla 5 se presenta los porcentajes que ocupa cada área con respecto al área total de la parroquia, según el análisis visual y estadístico la clase que mayor extensión alcanza son los páramos que cubren un 64.3% del área total, seguido de los bosques con 20.4%, los cultivos con el 10.0%, pastizales 4.1%, cuerpos de agua 0.8% y la cobertura menor para 2001 son las plantaciones con un 0.5% total. Entre los ecosistemas antrópicos suman el 14.6% su influencia resulta bastante significativa tomando en cuenta que gran extensión de la parroquia forma parte de la zona de amortiguamiento y área perteneciente al Parque Nacional Sangay. Para el año 2001 la cobertura arbórea tenía una área de

**Tabla 5. Cobertura arbórea y de las diferentes categorías en los años 1991, 2001 y 2011**

<i>Código</i>	<i>Cobertura</i>	<i>ha_1991</i>	<i>%_1991</i>	<i>ha_2001</i>	<i>%_2001</i>	<i>ha_2011</i>	<i>%_2011</i>
1	BOSQUE	21253.02	21.87	19785.8	20.4	16762	17.25
2	PARAMO	63608.71	65.46	62481.9	64.3	58930.2	60.65
3	CULTIVOS	5110.94	5.26	9720.3	10	14113.4	14.52
4	PASTOS	6249.31	6.43	3949.5	4.1	5896.4	6.07
5	CUERPOS DE AGUA	946.09	0.97	773.5	0.8	764.7	0.79
6	PLANTACIONES	0.06	0	456.8	0.5	701.9	0.72
<i>TOTAL</i>		97168.146	100	97167.8	100	97168.6	100

20242.6 has, en total llegó a cubrir el 20.83% de la zona, notándose claramente una disminución del bosque nativo y un ligero crecimiento de las plantaciones.

### **c. Cobertura arbórea y categorías de uso de suelo de 2011**

La distribución de las diferentes categorías en cuanto a su ubicación es similar a los años anteriores, lo que varía es la extensión de los ecosistemas antrópicos que poco a poco van avanzando hacia terrenos con vegetación nativa. Para el año 2011 el páramo representa el 60,6% disminuyendo significativamente, los bosques ocupan el 17.2%, los cultivos con el 14.5%, los pastizales experimentan un aumento en su extensión alcanzando el 6.07%. Mientras que los cuerpos de agua y las plantaciones son las categorías que menos extensión alcanzan con 0.79 y 0.72% respectivamente. Sumado el porcentaje que alcanzan los ecosistemas antrópicos en este año nos da un 21.31% en toda la parroquia.

El área total que representa la cobertura arbórea para este año es de 17463.9 cubriendo en total el 17.97% de la parroquia. Continuando con el ritmo similar a los años anteriores de pérdida en el caso del bosque y una ligera tendencia al desarrollo de plantaciones.

## **B. CAMBIOS DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA Y LAS CATEGORÍAS DE USO DE SUELO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO EN LOS AÑOS DE 1991, 2001 Y 2011**

Concluida la clasificación supervisada, la adecuación de los insumos en ArcGis y obtenidos los mapas de los años 1991, 2001 y 2011 de la cobertura arbórea con las principales categorías de uso de suelo en la parroquia Achupallas, en el Land Change Modeler de IDRISI SELVA se cargó las imágenes de los diferentes años clasificadas en las mismas categorías. Cada categoría de las diferentes fechas se superpusieron y se determinó los cambios producidos en estos años.

### **1. Tasas de cambio producidas entre los años 1991 a 2001.**

De acuerdo con la clasificación los páramos tienen una mayor extensión con el 66% del total en el año 1991. Mientras que en el 2001 baja un 2%.

**Tabla 6. Tasa de cambio años 1991 – 2001**

<i>Código</i>	<b>Cobertura</b>	<b>ha_1991</b>	<b>%_1991</b>	<b>ha_2001</b>	<b>%_2001</b>	<b>TC</b>	<b>%</b>	<b>TC_anual</b>
<i>1</i>	BOSQUE	21253.02	21.87	19785.8	20.4	-1467.2	-1.5	-146.7
<i>2</i>	PARAMO	63608.71	65.46	62481.9	64.3	-1126.8	-1.2	-112.7
<i>3</i>	CULTIVOS	5110.94	5.26	9720.3	10.0	4609.3	4.7	460.9
<i>4</i>	PASTOS	6249.31	6.43	3949.5	4.1	-2299.8	-2.4	-230.0
<i>5</i>	CUERPOS DE AGUA	946.09	0.97	773.5	0.8	-172.6	-0.2	-17.3
<i>6</i>	PLANTACIONES	0.06	0.00	456.8	0.5	456.7	0.5	45.7
<i>Total</i>		97168.1457	100	97167.8	100.0			

\* ha: Hectáreas; TC: Tasa de Cambio      Elaborado por: Daniel Arévalo

En el transcurso de estos 10 años en este ecosistema se han perdido 1126.8 has a un ritmo anual de 112.7 has anuales.

El bosque es la segunda en representación dentro de la parroquia con 21253.02 has, representando el 21.87% en el año 1991 generándose cambios significativos para el 2001 donde su extensión varia a 19785.8 has y con un 20.4%. En esta cobertura se asocia lo que son matorrales, parches de vegetación arbórea y bosque de ceja andina. La tasa de cambio para este ecosistema en su mayoría natural es de -1467.2 has mismas que se han perdido en el transcurso de estos 10 años que en porcentaje es el -1.5 del total de la extensión a un ritmo de -146.7 has anuales superando en pérdida al páramo. El principal causante de esta pérdida ha sido el aumento de la extensión de los páramos, cultivos y de áreas destinadas a ganadería en especial vacuna y ovina.

En lo referente a cultivos tienen un extensión de 5110.94 has con un 5.26% del área total en el año 1991 con cambios positivos para el año 2001 llegando a 9720.3 has que es el 10.0% esto nos da a entender la grave situación que enfrentan nuestros ecosistemas naturales en especial los páramos y la vegetación arbórea de esta localidad ante el avance de la frontera agrícola en el transcurso de los 10 años se ha ganado 4609.3 has que es el 4.7% del área total a un ritmo de 460.9 has anuales.

Los pastizales tuvieron una extensión de 6249.31 has que es el 6.4% del total de la zona en el año 1991, mientras que para el año 2001 la extensión fue de 3949.5 has representando el 4.1% de la extensión total de ese año. Para este periodo el auge de los pastizales ha sido negativo con una disminución aproximada de -2299.8 has, con un -2.4% del total a un ritmo de pérdida aproximado de -230.0 has por año. Esta pérdida se debe a que algunas áreas destinadas a pastizales se han ido reemplazando por cultivos y también propiedades que se encontraban alejadas de redes viales fueron abandonadas por la dificultad de acceso.

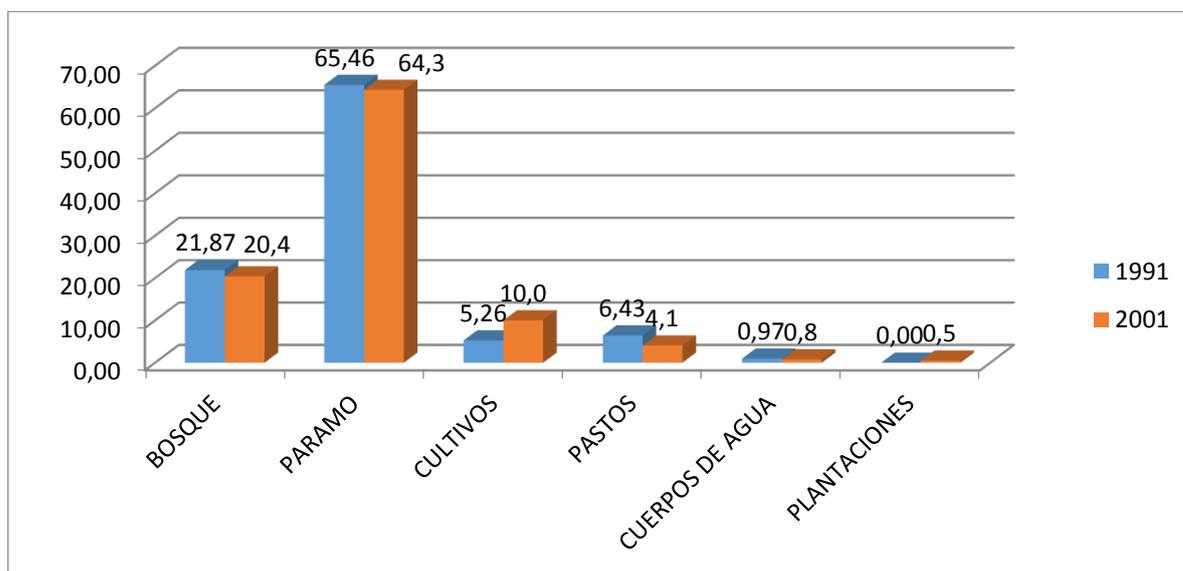
Las plantaciones que de a poco han ido invadiendo esta zona en 1991 apenas alcanzaban las 0.06 has que por la gran extensión de la parroquia no alcanzó representatividad en el porcentaje general (0.00%) para el 2001 llegaron a 456.8 has con 0.5% del área total, el ritmo de crecimiento anual fue de 45.7 has.

Los extensión que cubren los cuerpos de agua alcanza las 946.09 has que en total representa 0.97% en el año de 1991 mientras que para el año 2001 el total es 773.5 has que en porcentaje es el 0.8% teniendo una gran varianza de pérdida que alcanza las -172.6

has que en porcentaje total no representa mayor extensión pero su pérdida se ha registrado en -17.3 has anuales.

En el siguiente grafico se representa el porcentaje que cubría cada categoría entre los años 1991 y 2001 en el que se puede diferenciar cuales fueron los que perdieron y ganaron territorio en el lapso de esos 10 años.

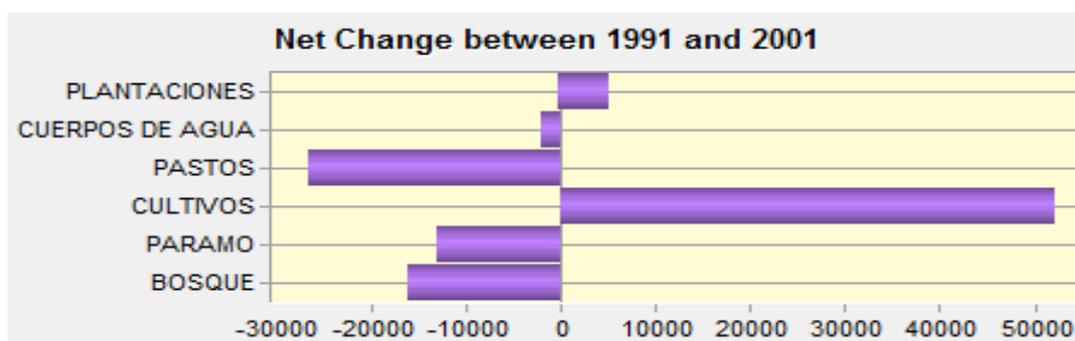
**Gráfico 17. Porcentaje de áreas de las diferentes categorías**



Elaborado por: Daniel Arévalo

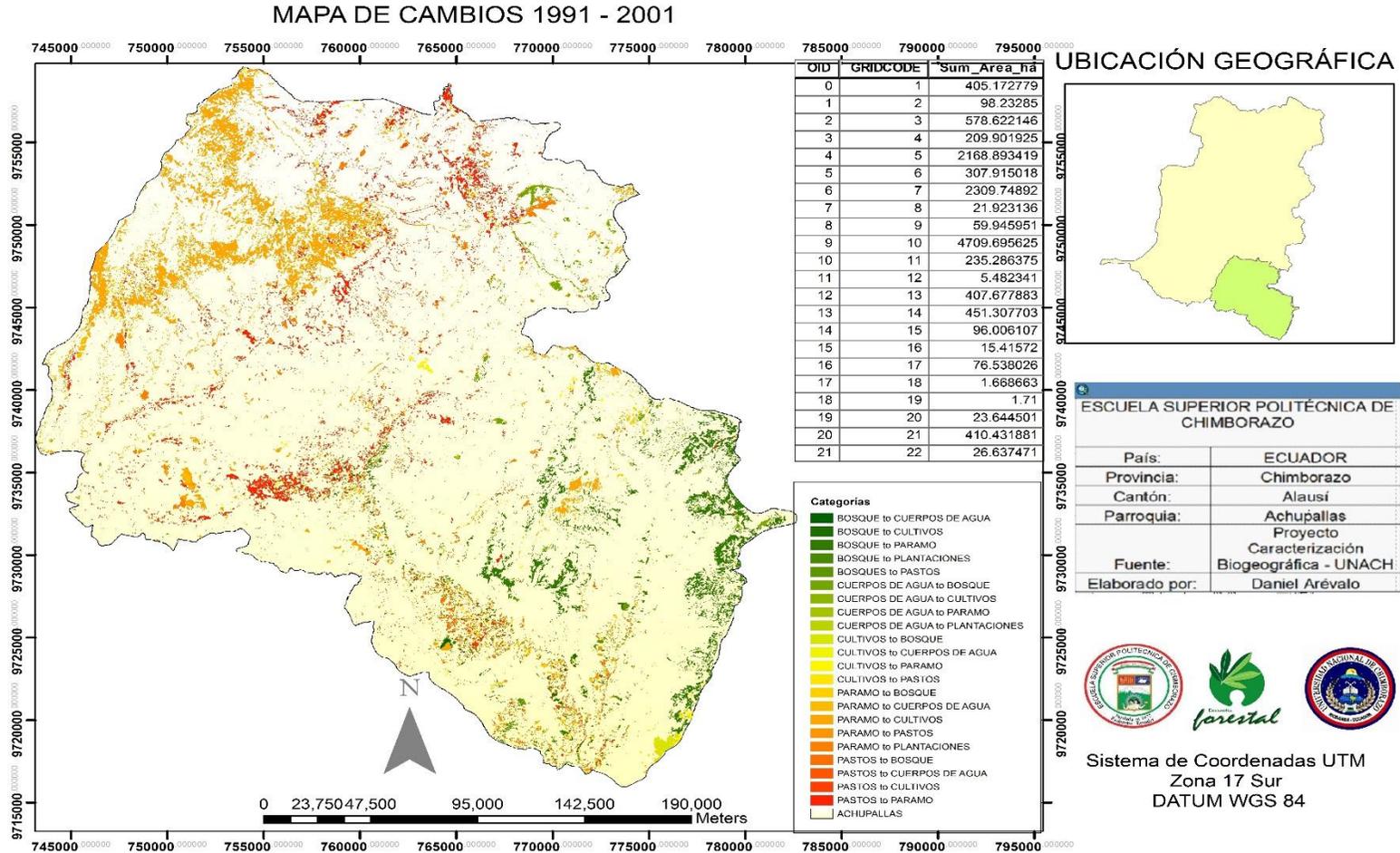
En el gráfico 18 se muestra de manera ilustrativa los cambios netos ocurridos para cada uno de los ecosistemas pertenecientes a nuestra zona de estudio. En el análisis estadístico realizado directamente en la plataforma Land Change Modeler del cambio neto producido entre los años 1991 y 2001 arrojó los siguientes resultados:

**Gráfico 18. Cambio neto entre 1991 – 2001**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Mapa 3. Cambios de las diferentes coberturas 1991-2001



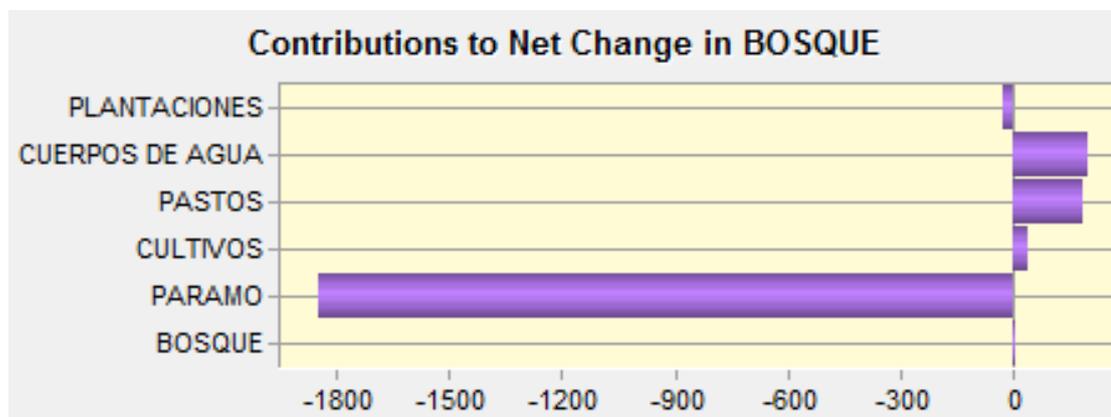
**Tabla 7. Cambio neto 1991- 2001**

<i>Categoría</i>	<b>Net Change</b>
<i>BOSQUE</i>	-1466
<i>PARAMO</i>	-1125
<i>CULTIVOS</i>	4606
<i>PASTOS</i>	-2299
<i>CUERPOS DE AGUA</i>	-173
<i>PLANTACIONES</i>	457

Elaborado por: Daniel Arévalo

En la tabla anterior se muestran los datos numéricos en hectáreas de los cambios que experimentó cada ecosistema en el entre estos años, mostrándose una clara tendencia al aumento del área de cultivos y plantaciones, mientras que los restantes a diferente medida cada uno ha disminuido en su extensión.

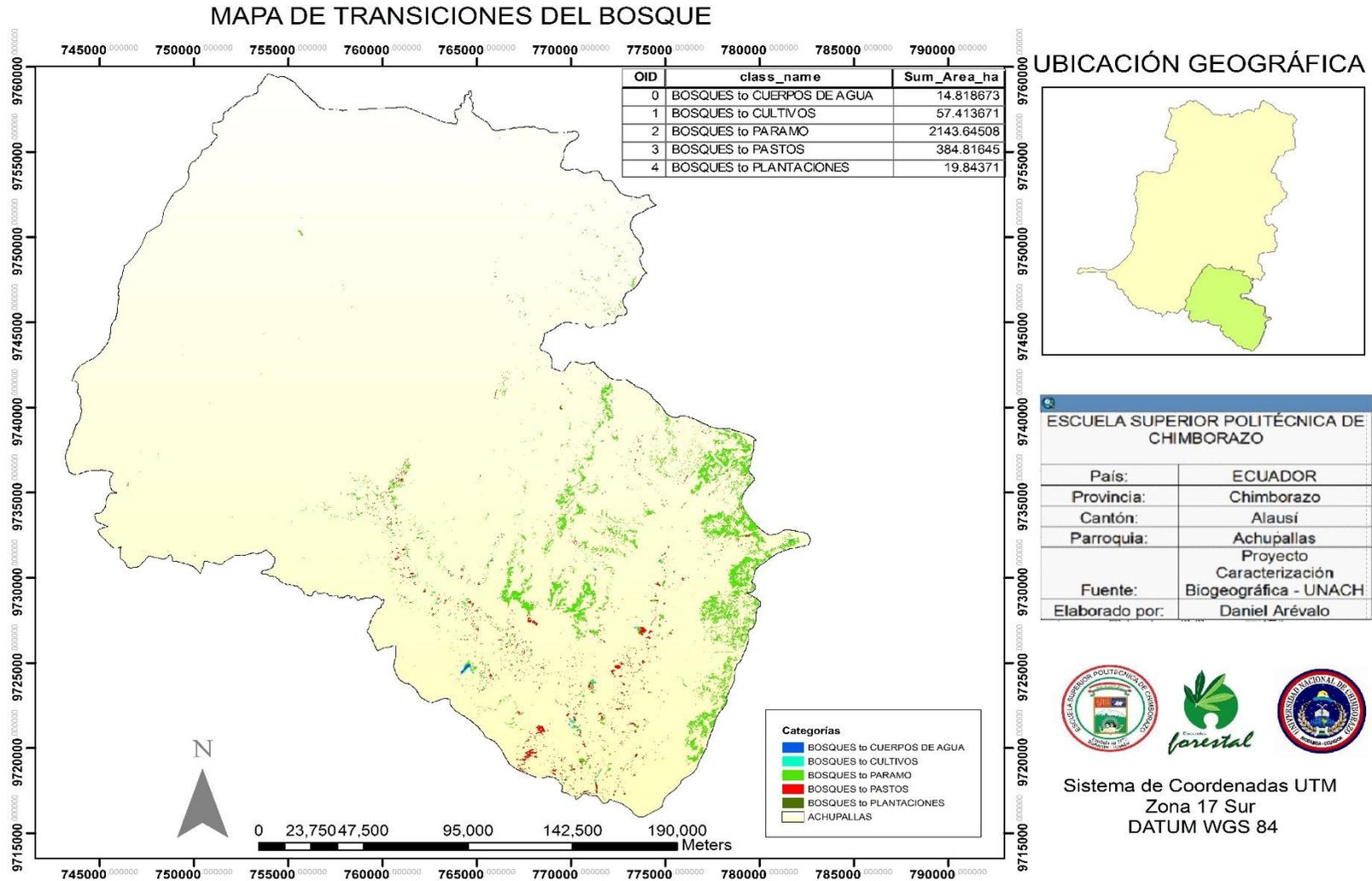
En el análisis de estudio de la cobertura arbórea de la parroquia analizamos el cambio neto ocurrido en los bosques y en las plantaciones

**Gráfico 19. Cambio neto en el Bosque 1991-2001**

Elaborado por: Daniel Arévalo

En la contribución al cambio neto del bosque, ha perdido una considerable extensión que ha sido ocupada por los páramos estos más por la fragilidad que presenta ante continuos cambios en el estado del clima, las plantaciones en menor medida también han influenciado para que el bosque se vea disminuido para el 2001. En cambio en áreas destinadas a cultivos, pastizales y ocupadas por cuerpos de agua el bosque se regeneró, en especial por las dificultades de acceso a ciertos áreas ante la falta de vías de comunicación.

**Mapa 4. Mapa de transiciones del bosque 1991-2001**

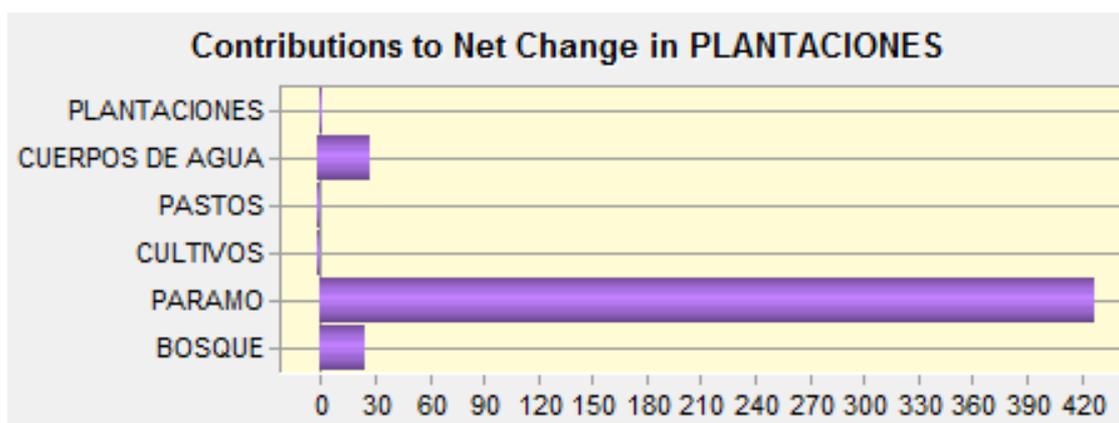


**Tabla 8. Cambio neto en el Bosque 1991-2001**

<i>Categoría</i>	<b>Contribution</b>
<i>BOSQUE</i>	0
<i>PARAMO</i>	-1844
<i>CULTIVOS</i>	37
<i>PASTOS</i>	187
<i>CUERPOS DE AGUA</i>	195
<i>PLANTACIONES</i>	-35

Elaborado por: Daniel Arévalo

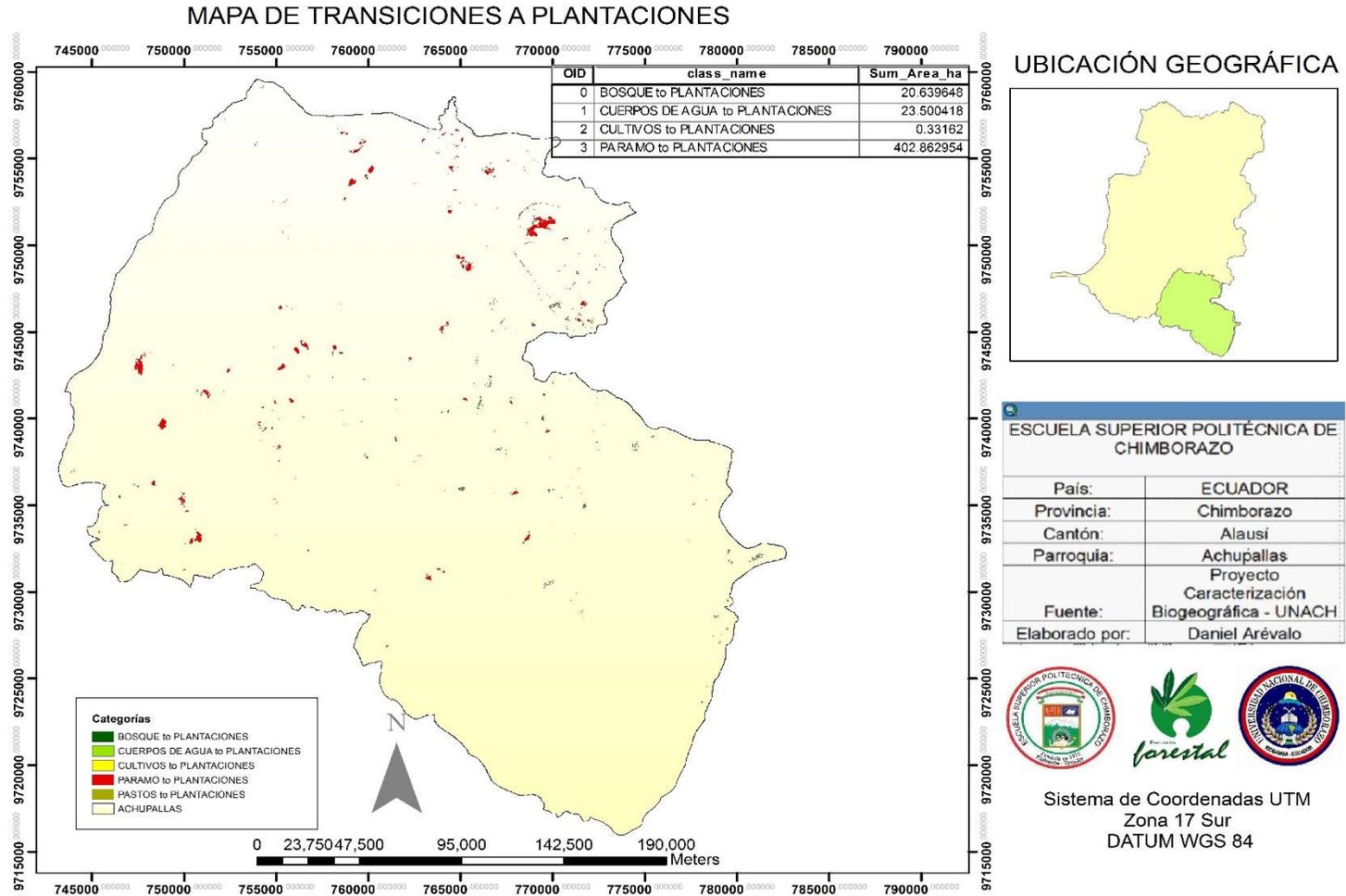
El páramo juntamente con las plantaciones son los que más han invadido en estos años. En este periodo de 10 años el páramo ha avanzado 1844 has y las plantaciones en 25 has dando un total de pérdida para el bosque de 1879 has, que en cierta manera se ven compensadas por su regeneración a costa de áreas que en su momento fueron empleadas para cultivos y pastizales. El bosque recuperó 37 has dentro del área empleada para cultivos y 187 has destinadas a pastizales, también ha invadido lugares que en su momento fueron cuerpos de agua, en un total de 195 has que pasaron a regenerarse como bosque. En total la regeneración de los bosques ha significado 419 has, en resumen general del cambio neto del bosque es de -1460 has de pérdida en el periodo 1991- 2001

**Gráfico 20. Cambio neto en plantaciones 1991-2001**

Elaborado por: Daniel Arévalo

El otro componente de la cobertura arbórea son las plantaciones, en este caso no se ha registrado pérdidas en su extensión más bien ha contribuido a la disminución de ecosistemas naturales como el páramo, el bosque y algunas áreas que en su momento representaron cuerpos de agua.

**Mapa 5. Mapa de transiciones a plantaciones**



**Tabla 9. Cambio neto en plantaciones 1991-2001**

<i>Categoría</i>	<b>Contribution</b>
<i>BOSQUE</i>	20
<i>PARAMO</i>	417
<i>CULTIVOS</i>	0
<i>PASTOS</i>	0
<i>CUERPOS DE AGUA</i>	17
<i>PLANTACIONES</i>	0

**Elaborado por: Daniel Arévalo**

En total las plantaciones alcanzaron una superficie de 459 has, siendo el páramo el más perjudicado puesto que contribuyó con 407 has para su implementación, los otros ecosistemas que también se vieron afectados son los bosques y los cuerpos de agua con 35 y 17 has respectivamente.

## **2. Tasas de cambio producidas entre los años 2001 a 2011.**

De igual manera en los años 2001 a 2011 se estructura una evaluación de cambios generados en la zona de estudio similar a la anterior, esta etapa comprende 10 años. En el análisis visual de los mapas 4 y 5 se observa cambios significativos en especial por la intervención en los ecosistemas naturales como los páramos y los bosques. A continuación en el análisis estadístico se detallan los diferentes cambios producidos en estos años.

De acuerdo con la tabla N° 12 el principal ecosistema que cubre la parroquia (páramo) ha sufrido un cambio bastante significativo en comparación de los años 1991 a 2001, en el año 2001 la cobertura fue de 62481.9 has que representó el 64.3% del total de la zona y cambió a 58930.2 has que representó el 60.65 del total en el año 2011 contribuyendo con una pérdida de -3551.7 has en el transcurso de estos 10 años que significó el -3.66% menos de la parroquia que anualmente se traduce en una reducción de 355.2 has

**Tabla 10. Tasa de cambios 2001 – 2011**

Código	Cobertura	ha_2001	%_2001	ha_2011	%_2011	TC	%	TC_anual
1	BOSQUE	19785.8	20.4	16762.0	17.25	-3023.8	-3.11	-302.4
2	PARAMO	62481.9	64.3	58930.2	60.65	-3551.7	-3.66	-355.2
3	CULTIVOS	9720.3	10.0	14113.4	14.52	4393.1	4.52	439.3
4	PASTOS	3949.5	4.1	5896.4	6.07	1946.9	2.00	194.7
5	CUERPOS DE AGUA	773.5	0.8	764.7	0.79	-8.8	-0.01	-0.9
6	PLANTACIONES	456.8	0.5	701.9	0.72	245.1	0.25	24.5
TOTAL		97167.8	100.0	97168.6	100.0			

Elaborado por: Daniel Arévalo

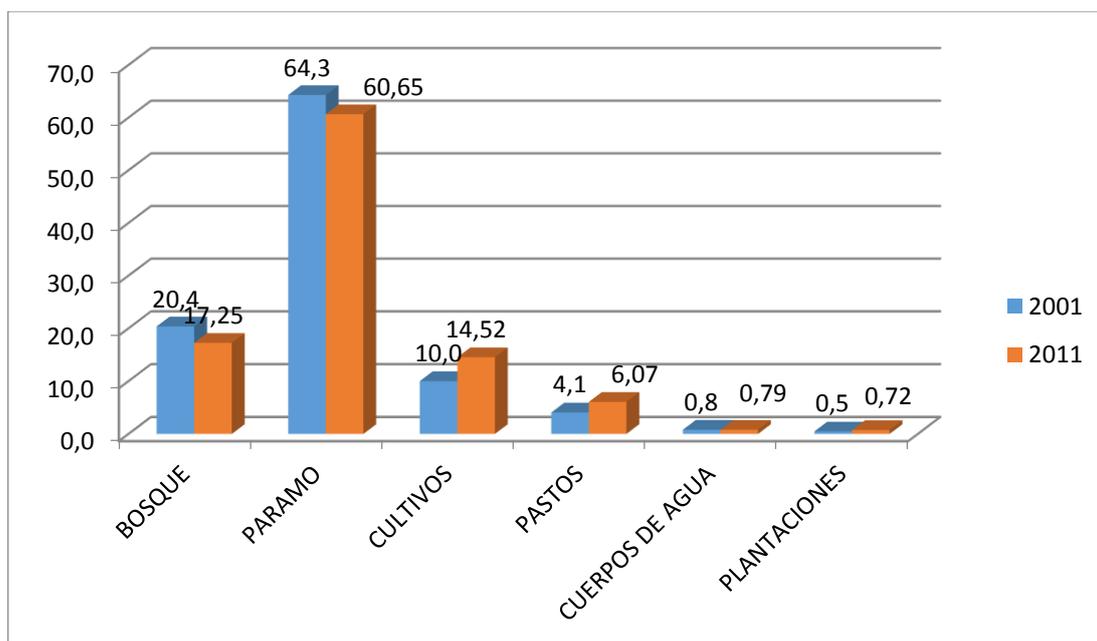
Los bosque en este periodo siguieron disminuyendo su área de manera significativa, en el año 2001 cubría una extensión de 19785.8 en total un 20.4% de la cobertura en la parroquia pasó a 16762.0 has y un 17.25% en el 2011. La tasa de cambio alcanzó las 3023.8 has con una disminución del 3.11%, 302.4 has anuales. Como en la etapa anterior la perdida más significativa para el bosque es el avance del páramo en especial por la zona sureste de la parroquia.

Los cultivos es una de las áreas que más cambios a experimentado en el 2001 cubría un total de 9720.3 has representando el 10.0% y para el 2011 llegó a cubrir 14113.4 has que significaron un 14.52% de la zona. En total en este periodo los cultivos ascendieron 4393.1 has un total del 4.52% esto traducido a la ganancia anual fue de 439.3 has.

La continua invasión de la población ha ecosistemas como los páramos y los bosques para fines pecuarios ha contribuido a un avance de los pastizales que han experimentado cambios significativos; en el año 2001 su área cubría 3949.5 has que en el total representaba el 4.1% mientras que en el 2011 paso a 5896.4 has con un 6.07% en representatividad de los diferentes ecosistemas. La tasa de cambio represento 1946.9 has y un porcentaje del 2.0% en estos 10 años, lo que significó una ganancia de 194.7 has anuales.

Las plantaciones no han experimentado cambios significativos; en el año 2001 cubría una extensión de 459 has que significo el 0.5% y en el 2011 cubrió 701.9 has, con el 0.72%. En total en el transcurso de este tiempo progresó 245.1 has que representa un 0.25% a un ritmo anual promedio de 24.5 has.

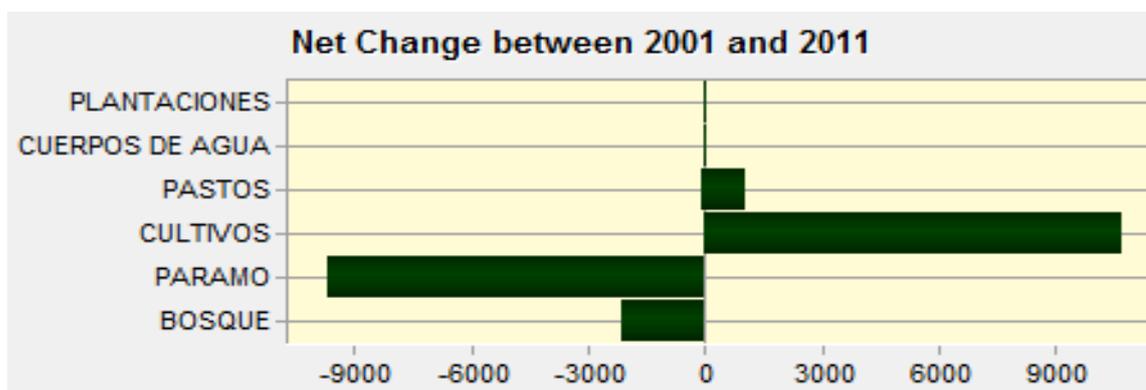
Los cuerpos de agua no han sufrido mayores cambios; su cobertura en el año 2001 fue de 773.5 has que significa un 0.8% de la extensión total y para el 2011 paso a 764.7 has que representa igual el 0.79% en el transcurso de este tiempo se ha disminuido 8.8 has con un ritmo anual de 0.09 has. La tabla completa del análisis de los años 1991, 2001 y 2001 con las tasas de cambios anuales se encuentran en el anexo 6.

**Gráfico 21. Porcentaje de áreas de las diferentes categorías 2001-2011**

Elaborado por: Daniel Arévalo

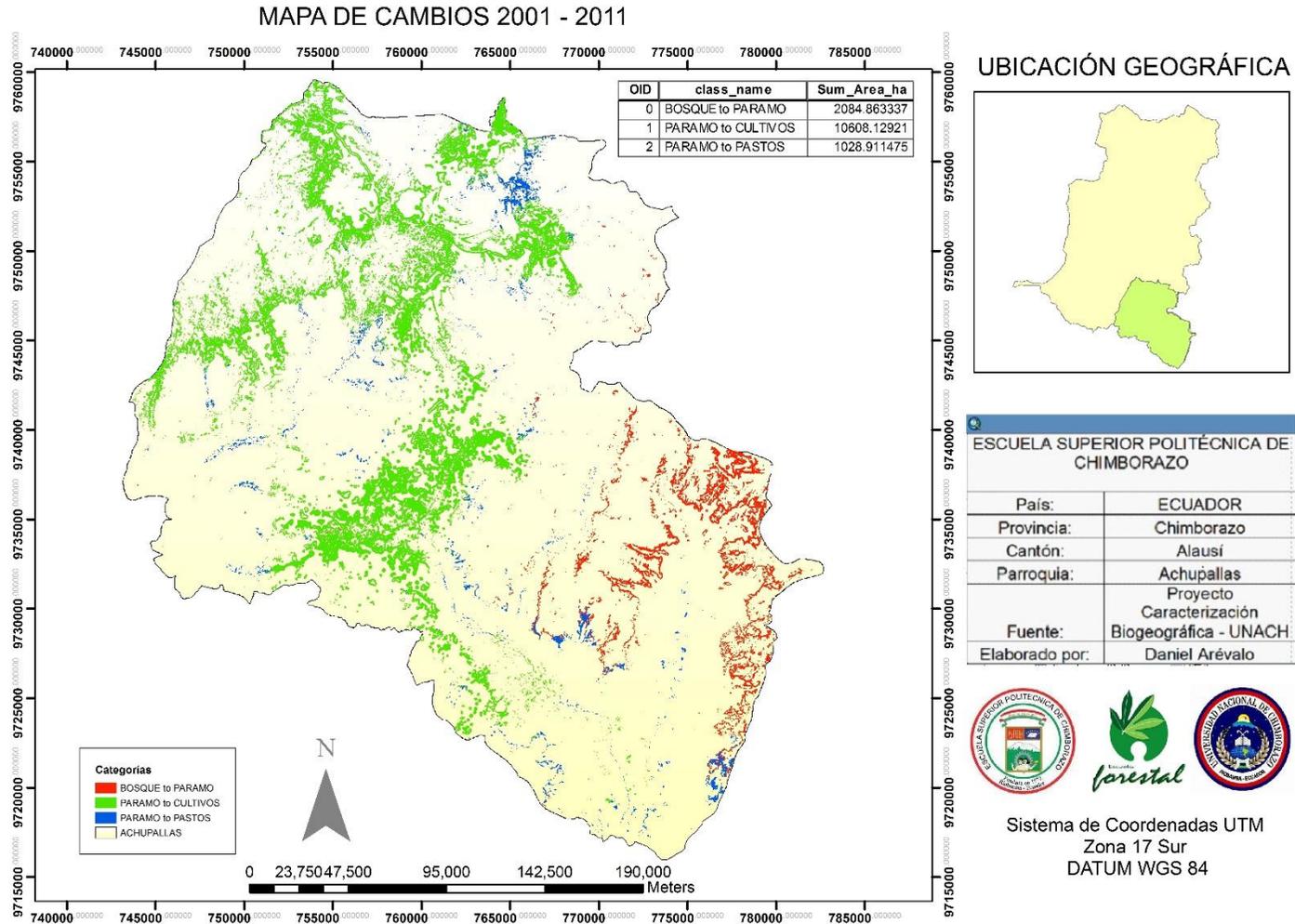
En el gráfico N°20 se representa el porcentaje que cada ecosistema alcanzó tanto en el año 2001 y 2011. Cada uno muestra una distinta tendencia de ganancia o pérdida según la intervención a la que se haya visto sometido que por lo general resultó ser antrópica.

En los resultados estadísticos obtenidos por la plataforma LCM de Idrisi selva de los cambios producidos en las diferentes categorías se presenta una gráfica en la que se muestra a cada uno el nivel de ganancia o pérdida que se generó en la parroquia.

**Gráfico 22. Cambio neto 2001-2011**

Elaborado por: Daniel Arévalo

**Mapa 6. Mapa de Cambios entre 2001-2011**



En el gráfico N°21 de cambios netos producidos en el las diferentes categorías, cada una varió con una cierta tendencia al ascenso en cuanto a ecosistemas antrópicos se refiere, mientras que para los ecosistemas naturales como el bosque y el páramo continuó experimentado descensos en su cobertura. Los cuerpos de agua no tuvo cambios significativos, y si las plantaciones que tuvieron un pequeño crecimiento.

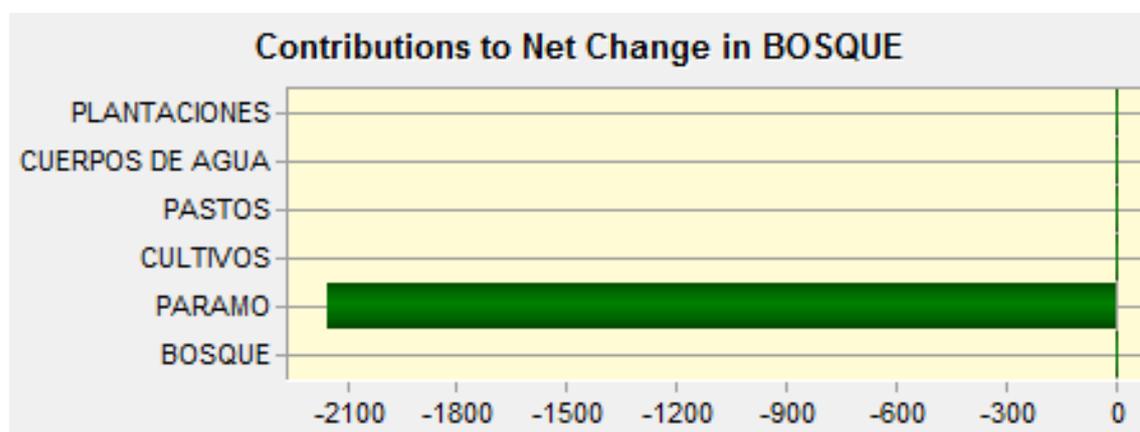
**Tabla 11. Cambio neto entre 2001-2011**

<i>Categoría</i>	<b>Net Change</b>
<i>BOSQUE</i>	-2150
<i>PARAMO</i>	-9653
<i>CULTIVOS</i>	10677
<i>PASTOS</i>	1127
<i>CUERPOS DE AGUA</i>	0
<i>PLANTACIONES</i>	125

Elaborado por: Daniel Arévalo

En datos generales las categorías que más cambios experimentaron fueron los páramos con pérdidas considerables y los cultivos que lograron extender sus dominios de manera alarmante en territorio dominado anteriormente por el páramo. Los ecosistemas que también sufrieron cambios están los pastos que llegaron a más de mil hectáreas. Centrándonos en el área de importancia que en este caso son los bosques y plantaciones que juntamente componen la cobertura arbórea: los bosques también perdieron una gran extensión de su territorio. En el siguiente grafico se realizó un análisis del cambio neto producido en el bosque entre los años 2001 a 2011.

**Gráfico 23. Cambio neto en Bosque**



Elaborado por: Daniel Arévalo

El bosque ha sido reemplazado en varias áreas por páramos, siendo el principal actor en la pérdida de cobertura de los bosques, mientras que los otros ecosistemas no influyeron mayormente en su disminución. En este periodo no se ha presentado recuperación alguna.

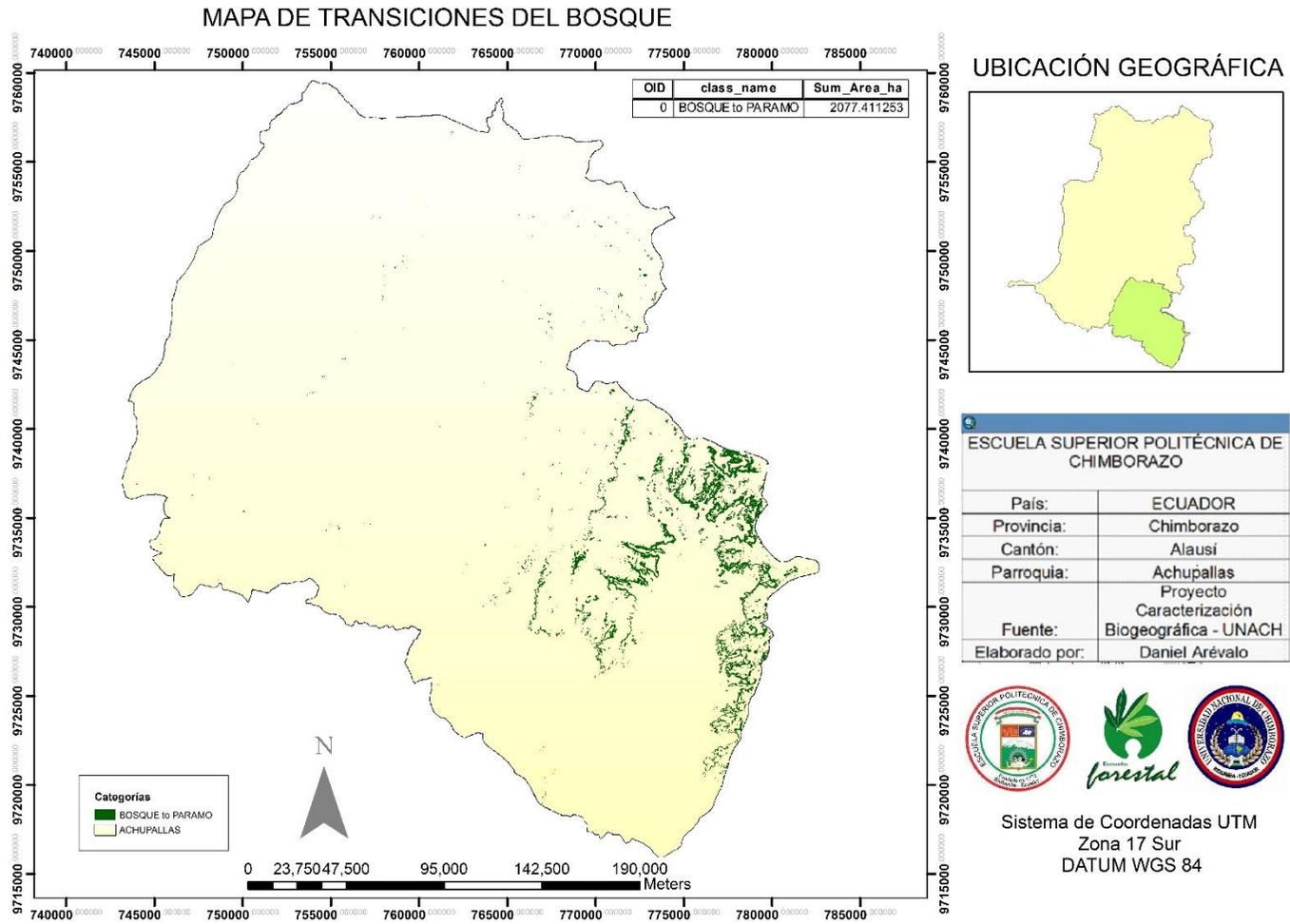
**Tabla 12. Cambio neto en Bosque**

<i>Categoría</i>	<b>Contribution</b>
<i>BOSQUE</i>	0
<i>PARAMO</i>	-2150
<i>CULTIVOS</i>	0
<i>PASTOS</i>	-25
<i>CUERPOS DE AGUA</i>	0
<i>PLANTACIONES</i>	-26

**Elaborado por: Daniel Arévalo**

Según el análisis visual y estadístico el páramo invadió al bosque en una extensión aproximada de 2100 has mientras que las plantaciones en menor medida alcanzaron las 26 has, también en menor extensión (25 has) se han convertido en pastizales lo que aumento el nivel de pérdida del bosque.

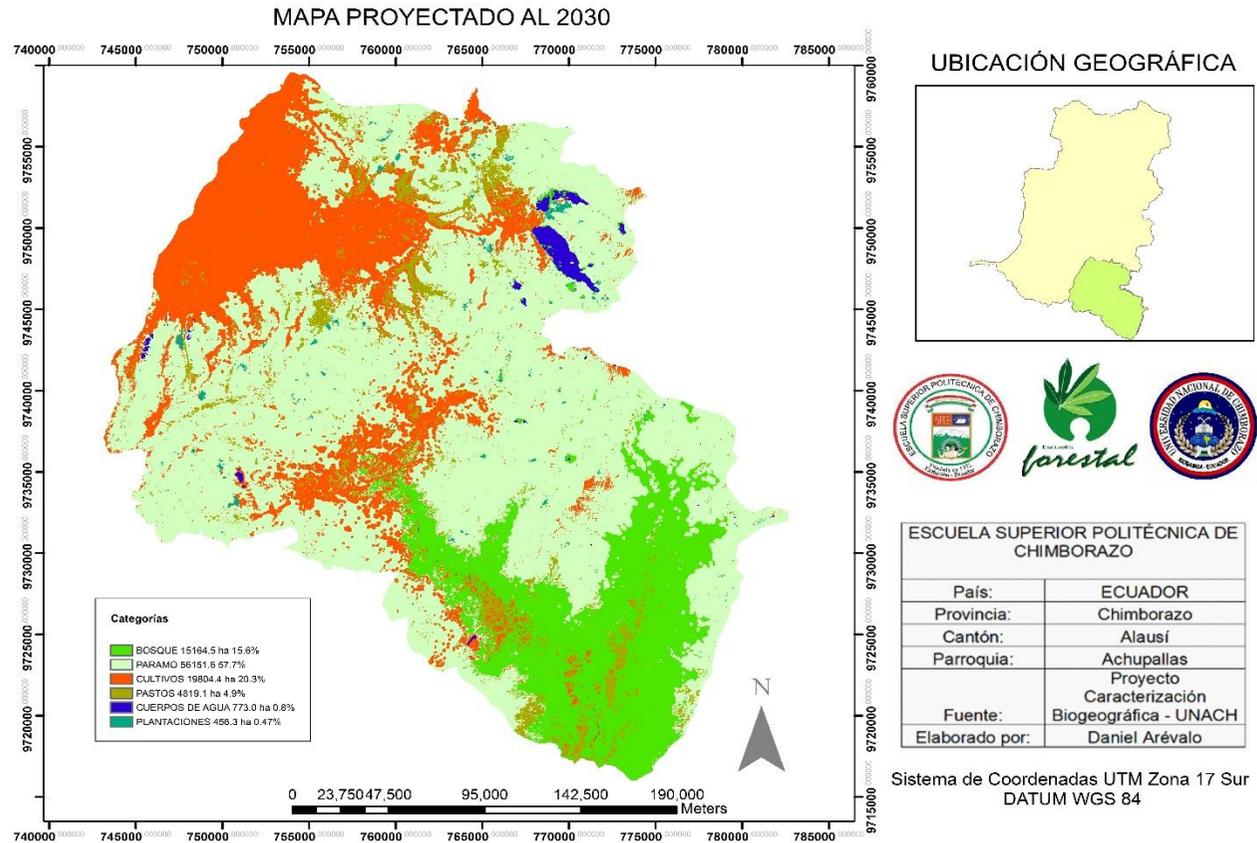
**Mapa 7. Transiciones del bosque entre 2001-2011**



### C. PREDECIR UN ESCENARIO FUTURO DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA

Luego de aplicar los procesos necesarios para generar un mapa de predicción se obtuvo el siguiente mapa para el año 2030.

**Mapa 8. Mapa proyectado al 2030**



Para la simulación primeramente las imágenes clasificadas y los insumos como vías, poblaciones y el DEM de elevación se transformaron a formato raster manteniendo características similares, para generar el modelo de predicción se empleó las cadenas Markov, además de tomar en cuenta las variables que pueden influir en la transición principalmente:

- Mapa de vías
- Mapa de elevaciones
- Mapa de ríos
- Mapa de usos de suelo
- Mapa de poblaciones

Para lograr la predicción se realizó una serie de simulaciones con la intención de alcanzar el mínimo error, el mejor resultado se dio al simular con 10000 interacciones y 5000 muestras por clase, por lo que se dio continuidad al proceso con este ciclo. En total se trabajó con 5 neuronas en la capa de entrada, 9 neuronas en la capa oculta y 13 neuronas en la capa de salida. Lo que genero un porcentaje de veracidad del 82.67%.

**Tabla 13. Parámetros y Rendimiento**

Parameters and Performance	
Input layer neurons	5
Hidden layer neurons	9
Output layer neurons	13
Requested samples per class	5000
Final learning rate	0.0001
Momentum factor	0.5
Sigmoid constant	1
Acceptable RMS	0.01
Iterations	10000
Training RMS	0.1776
Testing RMS	0.18
Accuracy rate	82.67%
Skill measure	0.704

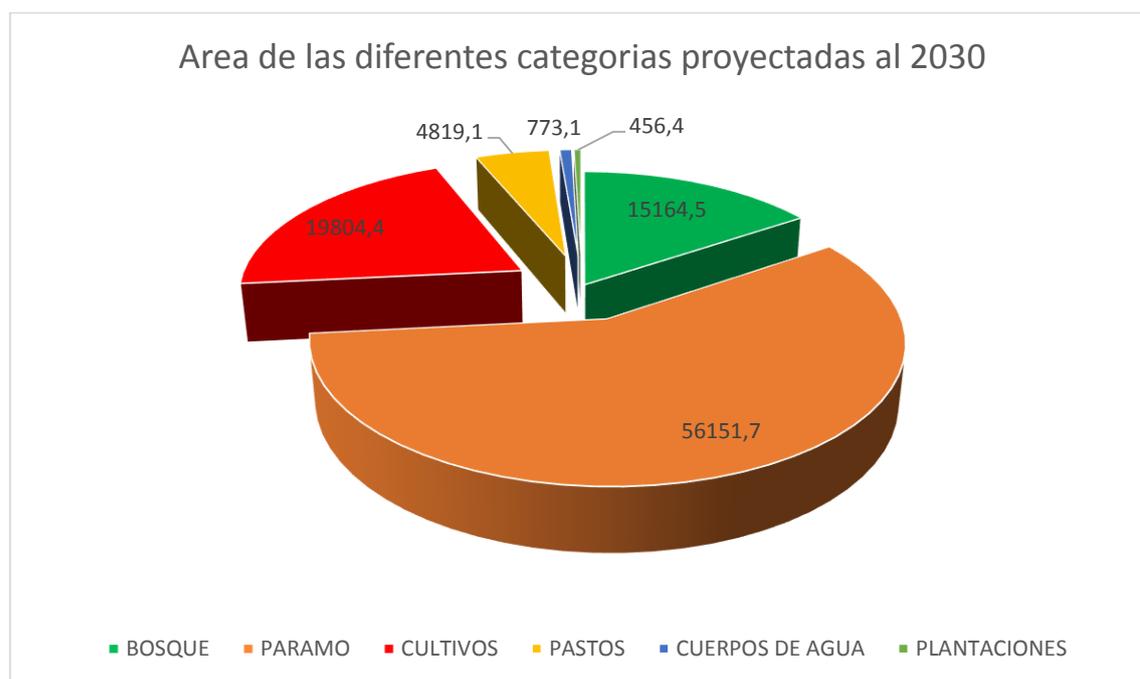
**Elaborado por: Daniel Arévalo**

Una vez que se validó todos los insumos necesarios para una modelación se realizó la predicción a futuro a partir de mapas clasificados con anterioridad de los años 1991 y

2001 que según su transición potencial basado en el entrenamiento de las redes neuronales artificiales se procedió a modelar mapas con proyección 2001 – 2030. En estas transiciones se han obviado los cambios posibles menores a una hectárea durante el proceso general. Se ha procedido a la predicción de 6 categorías de transición que son las más importantes dentro de la parroquia (Tabla 2) cada una de estas transiciones se representan por mapas de manera visual con una coloración característica cada una de ellas, las matrices de transición resultan de las cadenas Markov.

Cada uno de las categorías presentó escenarios distintos puesto que 4 de las 6 transiciones proyectan cambios significativos en su superficie y por tanto presentan una evolución en el tiempo. En el siguiente gráfico se muestra el área que cada categoría ocuparía en el escenario proyectado por medio de redes neuronales artificiales.

**Gráfico 24. Áreas de las diferentes categorías 2030**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

La siguiente tabla se muestra las áreas que ocupaba cada categoría en el año de 2001 con su porcentaje representativo dentro de la parroquia juntamente con el área y porcentaje que ocuparía en el 2030 en caso de continuar con la misma intensidad en la intervención y no se tomen medidas para remediar la pérdida de los bosques y páramos.

**Tabla 14. Área y porcentaje en los años 2001 y 2030**

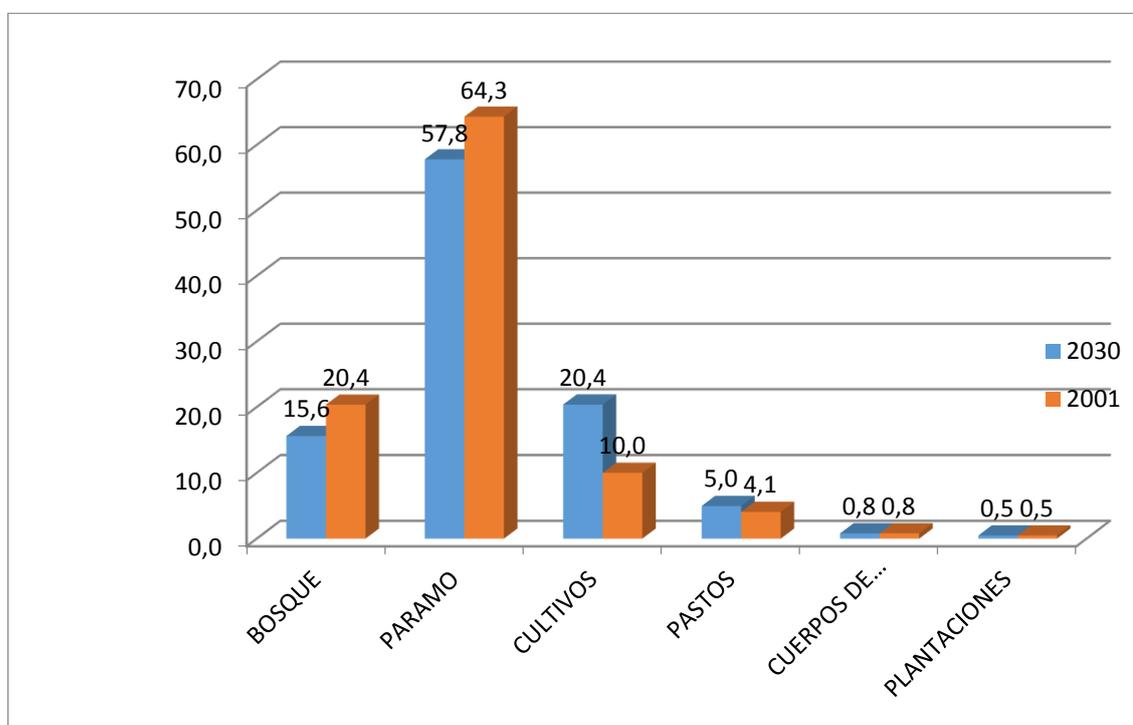
Código	Cobertura	Ha_2001	%_2001	ha_2030	%_2030
1	BOSQUE	19785.8	20.4	15164.50	15.61
2	PARAMO	62481.9	64.3	56151.67	57.79
3	CULTIVOS	9720.3	10.0	19804.42	20.38
4	PASTOS	3949.5	4.1	4819.13	4.96
5	CUERPOS DE AGUA	773.5	0.8	773.06	0.80
6	PLANTACIONES	456.8	0.5	456.36	0.47
TOTAL		97167.8	100.0	97169.13	100.00

Elaborado por: Daniel Arévalo

### 1. Análisis de cambio

Al igual que los años anteriores se realizó un análisis de la tasa de cambio en el transcurso de este tiempo y los cambios a los que se vería sometida la cobertura arbórea, en este caso la diferencia radica en el intervalo de tiempo que cambió a 29 años.

**Gráfico 25. Porcentaje de los años 2001 y 2030**



Elaborado por: Daniel Arévalo

De acuerdo con la información obtenida y visualizada en el gráfico anterior las categorías que más cambios experimentarían son los cultivos, páramos y el bosque natural siendo menor en el caso de los pastizales y muy bajo el cambio que experimentarían las plantaciones y cuerpos de agua.

**Tabla 15. Tasa de cambio 2001 - 2030**

Código	Cobertura	Ha_2001	ha_2030	TC	TC_%	TC_anual
1	BOSQUE	19785.8	15164.50	-4621.33	-4.756	-159.356
2	PARAMO	62481.9	56151.67	-6330.24	-6.515	-218.284
3	CULTIVOS	9720.3	19804.42	10084.15	10.378	347.729
4	PASTOS	3949.5	4819.13	869.62	0.895	29.987
	CUERPOS DE					
5	AGUA	773.5	773.06	-0.40	0.000	-0.014
6	PLANTACIONES	456.8	456.36	-0.42	0.000	-0.014
TOTAL		97167.8	97169.13			

**Elaborado por: Daniel Arévalo**

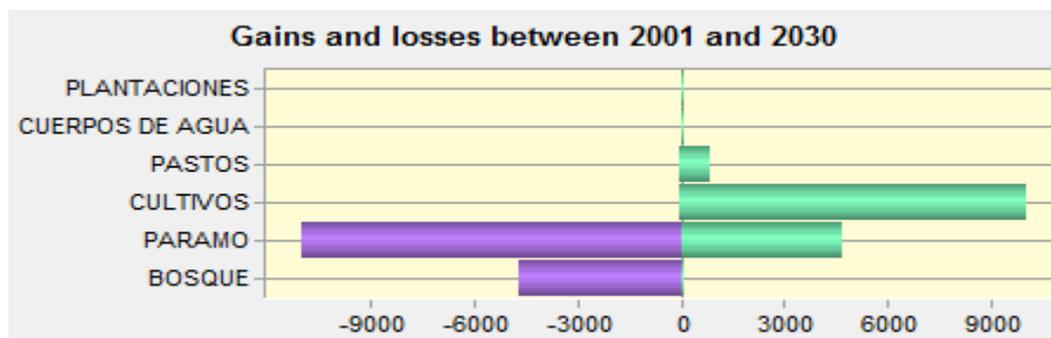
Cuantificando los cambios posibles a producirse, el páramo presentaría una pérdida que alcanzaría una tasa de cambio de 6330.24 has un total del 6.5% de la zona, su tasa anual de pérdida ascendería a 218.28 has anuales. En segundo lugar están los bosques con 4621.33 has que representaría el 4.75%, a un ritmo anual de 159.35 has. Los cuerpos de agua y plantaciones no presentan mayores cambios en su extensión durante este periodo y registran una ligera tendencia a la disminución.

En cuanto al cambio general que experimentaría la cobertura arbórea en el transcurso tiende a la disminución tanto bosques como plantaciones no registra ganancias.

En el caso de los cultivos y pastizales la situación que se proyecta resulta diferente, los cultivos se extenderían en un 10.37%, un total de 10084.15 has, a un ritmo impresionante de 347.72 has anuales. Los pastizales también extenderían su territorio alcanzando una ganancia del 0.89% un total de 869.62 has, el ritmo anual promedio de ganancia sería de 29.98 has.

En el análisis de ganancias y pérdidas del módulo LCM nos presenta un gráfico de las categorías y una tabla que representa cuanto territorio se ganaría y perdería en el periodo 2001 al 2030.

**Gráfico 26. Pérdidas y ganancias 2001 – 2030**



Elaborado por: Daniel Arévalo

En este caso el páramo es el único que tendría ganancias y pérdidas al mismo tiempo, en el caso de las demás categorías; el bosque únicamente registra pérdidas; los cultivos juntamente con los pastos obtendrían ganancias y en el caso de los cuerpos de agua y las plantaciones no registran significancia de ganancias ni pérdidas.

**Tabla 16. Pérdidas y ganancias 2001 - 2030**

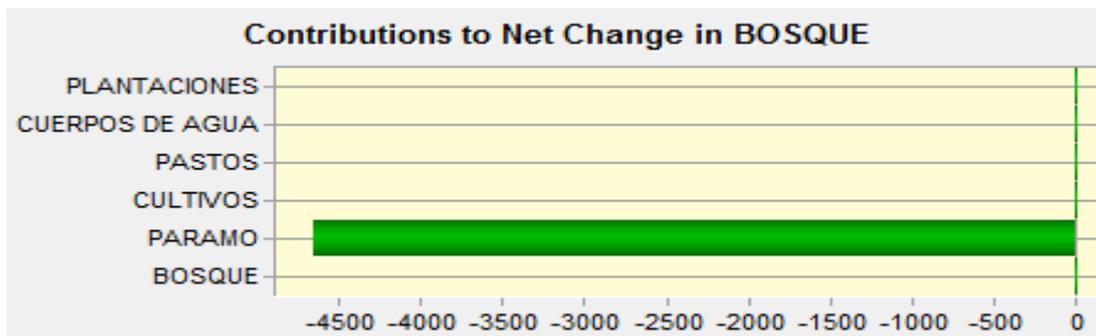
<i>Categoría</i>	Losses	Gains
<i>BOSQUE</i>	-4622	0
<i>PARAMO</i>	-10920	4621
<i>CULTIVOS</i>	0	10085
<i>PASTOS</i>	0	870
<i>CUERPOS DE AGUA</i>	0	0
<i>PLANTACIONES</i>	0	0

Elaborado por: Daniel Arévalo

Estadísticamente la cobertura forestal ha disminuiría un total de 4622 has; el páramo ganaría un total de 4621 has y al mismo tiempo perdería 10920 has lo que para esta categoría significaría más pérdida que ganancia, los cultivos así como los pastizales no registrarían pérdidas en su territorio, su crecimiento ha contribuiría a la pérdida de grandes extensiones en especial de páramo.

En el cambio neto contribuido por la cobertura arbórea, el páramo es el que más generaría la pérdida de la mayoría de territorio. En el siguiente grafico se realiza un análisis del cambio neto a producirse en la cobertura arbórea entre los años 2001 a 2030.

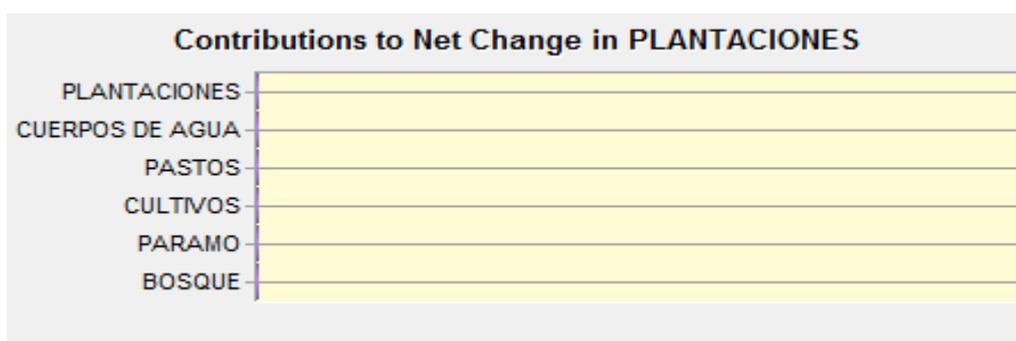
**Gráfico 27. Cambio neto del Bosque al 2030**



Elaborado por: Daniel Arévalo

El bosque sería reemplazado en varias áreas por páramos, mientras que los otros ecosistemas no influirán mayormente en su deterioro pronosticado. El páramo intervendrá en una extensión aproximada de 4621 has lo que significa que casi en la totalidad de disminución del bosque será a causa de los páramos. En el caso de las plantaciones no registra cambios significativos por lo que en la gráfica no se registra ninguna representatividad.

**Gráfico 28. Cambio neto de Plantaciones a 2030**



Elaborado por: Daniel Arévalo

En la validación de la predicción se presenta la siguiente tabla en la que se observa las áreas de transición mediante la cadena Markov en el periodo de simulación al 2030

**Tabla 17. Probabilidad de cambio al 2030**

Given:	Probability of changing to:					
	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6
Class 1:	0.6624	0.2714	0.0299	0.0323	0.0017	0.0023
Class 2:	0.0230	0.7685	0.1846	0.0156	0.0025	0.0057
Class 3:	0.0493	0.1842	0.7335	0.0311	0.0010	0.0010
Class 4:	0.1471	0.6074	0.1225	0.1177	0.0015	0.0039
Class 5:	0.4152	0.1591	0.0223	0.0107	0.3759	0.0169
Class 6:	0.0147	0.8307	0.1340	0.0125	0.0020	0.0062

Elaborado por: Daniel Arévalo

**Tabla 18. Valores de los códigos**

Código	Cobertura
1	BOSQUE
2	PARAMO
3	CULTIVOS
4	PASTOS
5	CUERPOS DE AGUA
6	PLANTACIONES

Elaborado por: Daniel Arévalo

Según la probabilidad de transiciones presentada por la cadena Markov las categorías que más cambios presentarían son los páramos y los cultivos. Los bosques que siguen la misma dinámica del páramo su índice de disminución son significativas. A pesar de ser un área protegida la tendencia de invasión progresiva es continua puesto que los pastos experimentan un mayor expansión, se debe considerar que la expansión tanto de pastizales como de cultivos influye en el aumento de la densidad poblacional, según avance la frontera agropecuaria también se irán construyendo nuevas edificaciones que significaran un mayor avance dentro de esta zona vulnerable.

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **A. CONCLUSIONES**

El método de clasificación supervisada determinó de mejor manera la cobertura arbórea y las afecciones a través del tiempo en las diferentes categorías: cuerpos de agua, bosques, páramos, pastizales, plantaciones y cultivos.

Los puntos de control y de entrenamiento para la clasificación supervisada se tomaron en las áreas más representativas de cada ecosistema además se basó en trabajos anteriores garantizando su veracidad.

El páramo fue el más representativo de la parroquia y también el que perdió la mayor cantidad de territorio en el transcurso del tiempo. El bosque nativo fue el segundo en representación, presentó una constante tendencia a la deforestación.

Los pastizales y cultivos han extendido gran cantidad de su territorio y han reemplazado áreas naturales como el páramo y bosque nativo principalmente. Las plantaciones mostraron una pequeña tendencia a extender su territorio principalmente sobre áreas ocupadas anteriormente por páramos

Las redes neuronales artificiales ayudaron a generar un escenario al futuro (2030) siguiendo una secuencia de cambios producidos en el transcurso entre los años 1991, 2001 y 2011.

Los mapas de predicción se generaron a partir de clasificación supervisada e información secundaria como ríos, vías, poblaciones y pendientes de la zona en estudio, los cuales se debieron ajustar a condiciones similares para evitar errores en su momento de correr el software.

El análisis estadístico del mapa de predicción generó tendencias similares a los años 1991, 2001 y 2011. Los ecosistemas antrópicos extenderían su territorio y los ecosistemas naturales disminuirían su cobertura reemplazados principalmente por cultivos y pastizales.

## **B. RECOMENDACIONES**

En el método de clasificación supervisada tener en cuenta que las coordenadas de las imágenes estén proyectadas acorde al área de estudio y revisar que la información que se tenga sea la adecuada para obtener resultados reales.

Los puntos de entrenamiento deben ser tomados en la mayor diversidad de píxeles que correspondan a una categoría para evitar confusiones al momento de correr el programa.

La generación de escenarios futuros es una herramienta muy útil en planes de ordenamiento territorial y planificación por lo que deberían ser considerados por autoridades dentro de sus políticas de gestión.

Los resultados de la presente investigación debe ser difundida a los principales actores involucrados directa e indirectamente en el área de estudio para tomar medidas correctivas y también difundir a instituciones para continuar con estudios similares que ayuden en políticas de protección forestal.

## **VII. RESUMEN**

La presente investigación propuso determinar los cambios de cobertura arbórea usando imágenes satelitales Landsat 7ETM+ a través de redes neuronales artificiales en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo. Las Redes Neuronales artificiales, ARNs, son herramientas precisas para estimar cambios en la cobertura forestal ocurridos en periodos anteriores y su proyección futura. Se realizó la clasificación supervisada de las imágenes satelitales determinando 6 categorías: páramo, bosque, plantaciones, cuerpos de agua, cultivos y pastos. Se determinó la tasa de cambio, cambio neto, producidos entre los años 1991, 2001 y 2011, también se creó un mapa de predicción al 2030, empleando el módulo Land Change Modeler, LCM, basado en RNAs. Los bosques en 1991 cubrían un 21.87% para el 2011 alcanzó el 17.25% proyectándose para el 2030 con el 15.61%. Las plantaciones en 1991 cubrían 0.06 has para el 2011 alcanzaron las 701 has para el 2030 se proyectan 456 has. El páramo cubría el 65.46% en 1991 cambió a 60.65% en el 2011 se proyecta a 57.79% al 2030. Los cultivos y los pastizales son las categorías de mayor potencial de desarrollo, proyectándose de 10% y 4.1% en 2001 al 2030 con el 20.38 y 4.96% respectivamente. La cobertura arbórea representada por los bosques nativos y las plantaciones tienen tendencias diferentes, mientras que los bosques pierden grandes extensiones, las plantaciones experimentan un ligero crecimiento, la categoría con más pérdida son los páramos, invadidos principalmente por cultivos y pastizales. Se recomienda difundir estos resultados para tomar medidas dirigidas a proteger ecosistemas naturales.

**Palabras clave:** cobertura forestal - imágenes satelitales - redes neuronales artificiales - pastizales.



## VIII. SUMMARY

### ABSTRACT

The current research proposed determining the tree coverage changes using Landsat 7ETM satellite images through artificial neural networks for Achupallas Parish, Alausí County, Chimborazo Province. The artificial neural networks (ARNs) are precise tools for estimating the forest changes occurring in previous and future periods. The supervised classification of satellite images were carried out determining six categories which are: paramo, forest, plantation, water bodies, crops, pastures. The exchange rate and net change produced in 1991, 2001, and 2011 were also determined as well as the creation of a prediction map for 2030 using the RNAs-based Land Change Modeler Module (LCM). For 1991 the forests covered 21.87% of the land, in 2011 they reached a 17.25%, and there is a projection of a 15.61% by 2030. In 1991 the plantations covered 0.06 hectares of land, in 2011 they reached 701hectares and there is a projection of 701 hectares by 2030. The paramo covered a 65.46% of the land, but it changed to 60.65% in 1991, and a projection of 57.79% by 2030 was carried out in 2011. The crops and pastures are the potential highest categories for the development, these are projected from 10% and 4.1% in 2011 to 20.38 and 4.96% in 2030 respectively. The tree coverage is represented by native forests and multiple-tendency plantations. While forests lose large areas, plantations experiment a slight growth, and the paramos invaded by crops and pastures is the category which experiments a highest loss. It is recommended to diffuse these results to adopt actions for protecting the natural ecosystems. Key words: Tree Coverage, Satellite images, Artificial neural networks,

Pastures.

By: Wilmer Arévalo



## IX.

## IX. BIBLIOGRAFIA

### A. BIBLIOGRAFÍA

- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., & Hincapíe, E. (2007). *Sistemas de Producción de Cafe en Colombia* (1era Edición ed.). Colombia: ISBN, 1359351718. Consultado el 25 de Julio de 2015, de <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo1.pdf>
- Buendía Rodríguez, E., Vargas Pérez, E., Leyva Ovalle, A., & Terrazas Domínguez, S. (2002). Aplicación de redes neuronales artificiales y tecnicas SIG para la predicción de coberturas forestales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Vol. 8 Num. 1*. Consultado el 1 de Julio de 2015, de <http://repositoriodigital.academica.mx/jspui/handle/987654321/412488>
- Chuvieco, E., Salas, J., & Aguado, I. (2003). Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. Consultado el 2 de Julio de 2015, de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1206729>
- Díaz - Pacheco, J., & Hewitt, R. (2012). Modelado de cambios de usos de suelo urbano a través de redes neuronales artificiales. comparando dos aplicaciones de software. *AGE-CSIC - Madrid*. Consultado el 4 de Julio de 2015, de [http://geofocus.rediris.es/2014/Articulo1\\_2014.pdf](http://geofocus.rediris.es/2014/Articulo1_2014.pdf)
- Díaz-Pacheco, J. (2011). Dinámica de localización de las grandes superficies comerciales y de ocio a partir de modelos basados en redes neuronales artificiales. *Servicios Globalización y Territorio*. Consultado el 2 de Julio de 2015, de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3862750>
- Domínguez, J., & Regos, A. (2010). Cambios a medio plazo en la comunidad de aves de un área de montaña del noroeste ibérico. *Volumen de abstracts del XX Congreso Español de Ornitología*. Consultado el 26 de Octubre de 2015, de <http://www.researchgate.net/>

- Eastman Ronald, J. (2012). *IDRISI Selva Guía pAra SIG y Procesamiento de Imágenes*. Córdoba, Argentina: CLARK LABS. Consultado el 10 de Junio de 2015, de <http://clarklabs.org/products/upload/Spanish-language-Manual.zip>
- García-Mora, T. J., & Jean-François, M. (2011). Evaluación de imágenes del sensor MODIS para la cartografía de la cobertura del suelo en una región altamente diversa de México. (C. d. Ambiental, Ed.) *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(1). Consultado el 2 de Agosto de 2015, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-33222011000100008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222011000100008)
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural (Achupallas) (2014). Plan de Ordenamiento Territorial 2014 - 2019. 300.
- Martin, B., & Sanz Molina, A. (2002). *Redes Neuronales y Sistemas Difusos*. San Pablo - Bolivia: Universidad Católica Boliviana. Consultado el 22 de Junio de 2015, de <http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/handle/123456789/965>
- Orduña, F. (2007). *Aplicaciones de Software SIG: ArcGis 9.2 Lección 1: Introducción a ArcGIs Desktop*. (9na Edición ed.). (U. d. Girona, Ed.) Girona, España : UNIGIS Girona.
- Paegelow, M., Camacho Olmedo, M., & Menor Toribio, J. (2003). CADENAS DE MARKOV, EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y EVALUACIÓN MULTIOBJETIVO PARA LA MODELIZACIÓN PROSPECTIVA DEL PAISAJE. (I. 1578-5157, Ed.) *GeoFocus*. Consultado el 28 de Agosto de 2015, de [http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo2\\_2003.pdf](http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo2_2003.pdf)
- Pérez, D. (2007). *Introducción a los Sensores Remotos. Aplicaciones Curso Teórico Práctico*. Buenos Aires, Argentina: Laboratorio de Tectónica Andina. Consultado el 21 de Junio de 2015, de [http://www.geologica.org.ar/archivos\\_usuarios/2010/09/Curso\\_UNT\\_Programa\\_DJP\\_2010\\_b.pdf](http://www.geologica.org.ar/archivos_usuarios/2010/09/Curso_UNT_Programa_DJP_2010_b.pdf)
- Puerta, R., Rengifo, J., & Bravo, N. (2011). *ArcGis Básico 10*. Tingo - María - Perú: Universidad Agraria de la Selva. Consultado el 15 de Abril de 2015, de <http://www.arcgeek.com/descargas/MA10B.pdf>

- Regos, A., Ninyerola, M., & Moré, G. (2012). Evaluación de las dinámicas temporales de las cubiertas y usos del suelo mediante comparación post-clasificación e índices de área relativa. *In Libro de actas del XV Congreso Nacional de Tecnologías de la información Geográfica en el contexto del Cambio Global*. Consultado el 21 de Mayo de 2015, de [http://www.researchgate.net/profile/Adrian\\_Regos/publication/237202022\\_Evaluacion\\_de\\_las\\_dinmicas\\_temporales\\_de\\_las\\_cubiertas\\_y\\_usos\\_del\\_suelo\\_mediante\\_comparacin\\_post-clasificacin\\_e\\_ndices\\_de\\_rea\\_relativa/links/00b4951bad754e7d6c000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Adrian_Regos/publication/237202022_Evaluacion_de_las_dinmicas_temporales_de_las_cubiertas_y_usos_del_suelo_mediante_comparacin_post-clasificacin_e_ndices_de_rea_relativa/links/00b4951bad754e7d6c000000.pdf)
- Reynoso Santos, R. (2014). Dinámica de uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca Metztitlan, Hidalgo, Mexico. Consultado el 25 de Junio de 2015, de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/2473>
- Sangermano, F., Eastman, J., & Zhu, H. (2010). Similarly weighted instance based learning for the generation of transition potentials in land change modeling. *Transantions in GIS*. Consultado el 1 de Agosto de 2015, de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9671.2010.01226.x/abstract;jsessionid=04EAEBA2367E0C1FD9AAEDAED6FB574F.f03t02?userIsAuthenticated=false&deniedAccessCustomisedMessage=>
- Velásquez Henao, J. D., & González Rivera, L. M. (2006). MODELADO DEL ÍNDICE DE TIPO DE CAMBIO REAL COLOMBIANO USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES. *Cuaderno Administrativo Bogotá*. Consultado el 17 de Julio de 2015, de <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v19n32/v19n32a13.pdf>

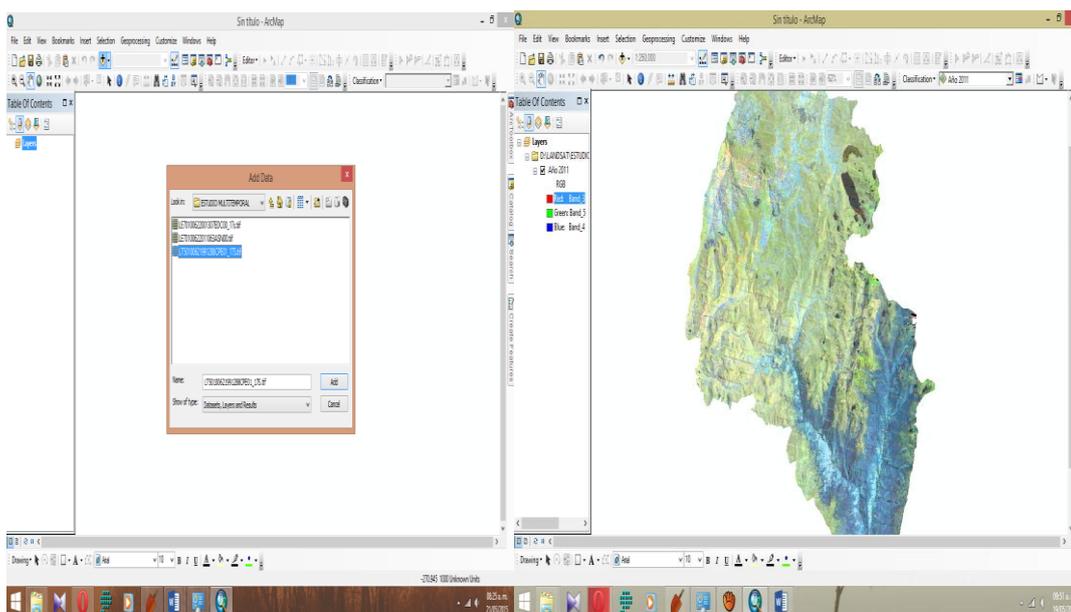
## X. ANEXOS.

### ANEXO 1. PROCESO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Partimos de un reconocimiento de la zona en donde tomamos los puntos de control georreferenciando cada categoría en las que se vaya a clasificar el uso del suelo de la parroquia achupallas. Esta clasificación se maneja a partir de una imagen satelital en la que llevamos a cabo la categorización de la cobertura y el software ArcGis 10.1. Antes de abrir la imagen debemos conocer el tipo de imagen que se va a emplear.

#### A. Añadimos la imagen:

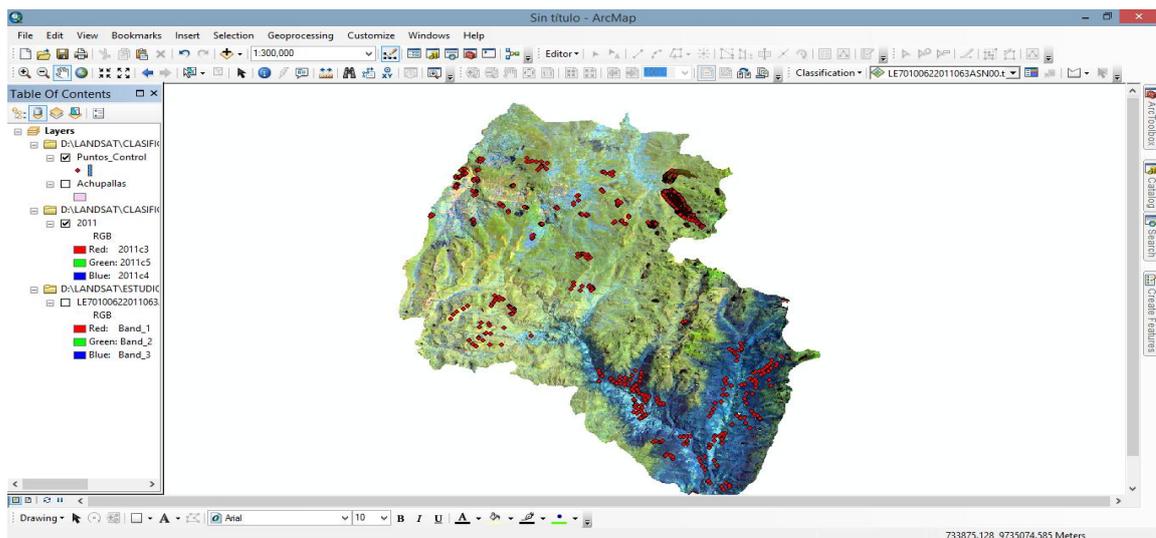
**Gráfico 29. Proceso de clasificación Supervisada.**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

B. A continuación creamos un shape a partir de los puntos de control, para ello añadimos el cuadro Excel de los datos georreferenciados, configuramos las coordenadas a WGS 84 Zona 17 Sur y guardamos esta versión como shape y tendremos visibles en el ArcMap dichos puntos de control.

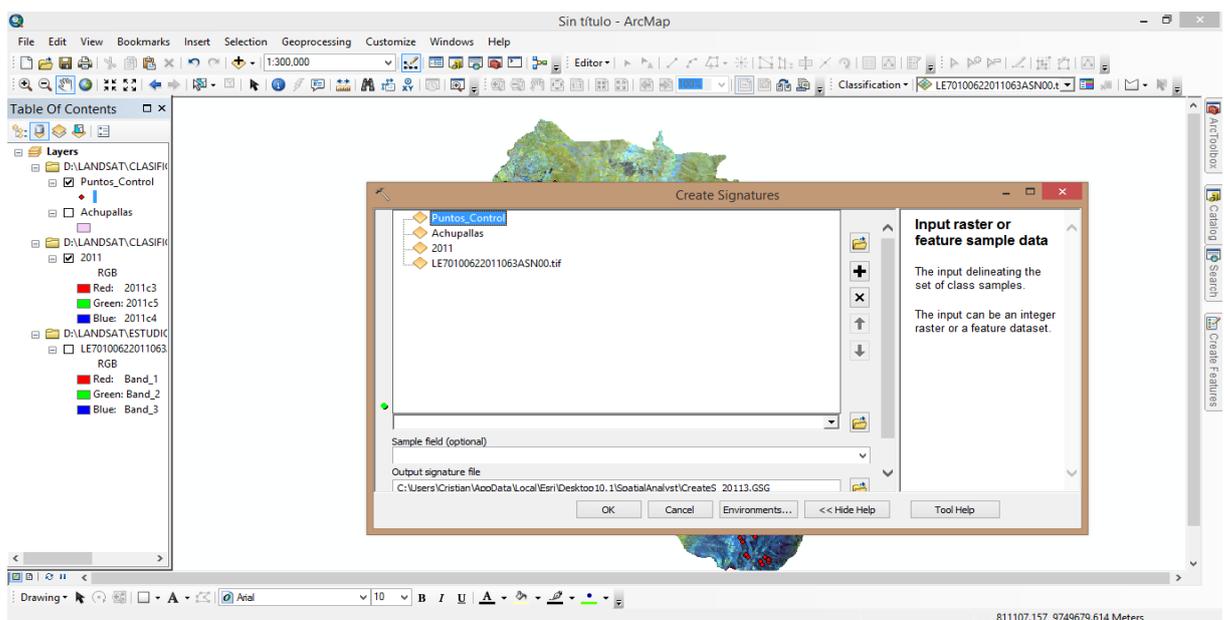
### Gráfico 30. Puntos de control



Fuente: Arévalo D.

- C. Una vez que se haya generado el shape, abrimos “Create Signatures”, para ello dirigimos el cursor a Arc Tool Box, damos clic en Spatial Analyst Tools, seguimos a Multivariate y clic en Create Signatures”, el este proceso se sigue para convertir el archivo vector en cuadros estadísticos que sirven para realizar la clasificación de la imagen.

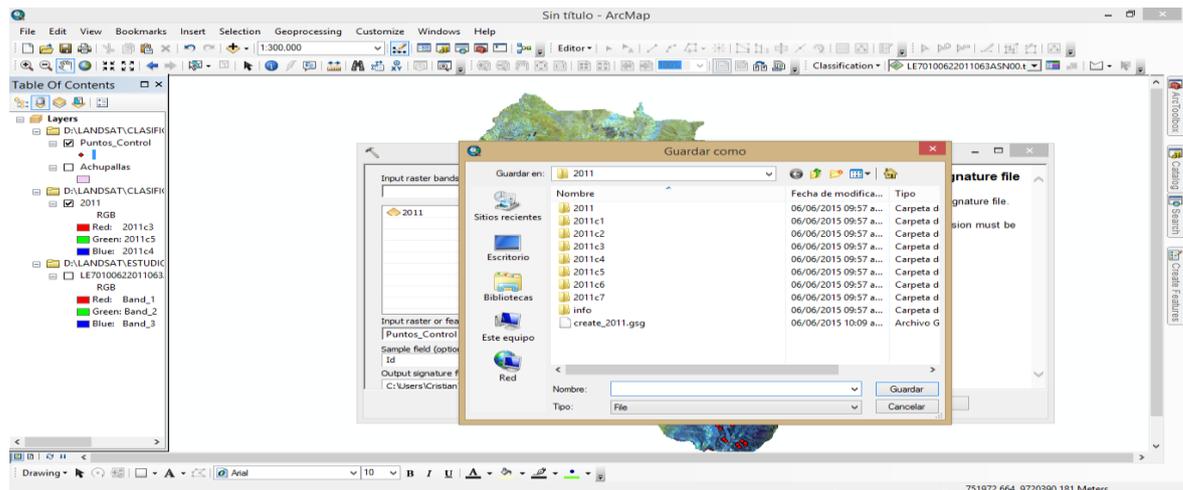
### Gráfico 31. Creación de archivo .gsg



Fuente: Arévalo D.

Cargamos la imagen Satelital con todas las bandas en Input Raster Band, en el Input Raster or Feature Simple Data introducimos el shape que contiene los datos georreferenciados. Una vez cargados estos datos en Output Signature File dirigimos hacia la carpeta en la que deseemos guardar y damos clic en OK.

**Gráfico 32. Proceso de obtención archivo .gsg**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

De este proceso se obtendrá un archivo de extensión .gsg que es un archivo que guarda la información de las firmas, en el que se detalla la información de las diferentes categorías en las bandas.

**Gráfico 33. Archivo formato .gsg**

```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
create_2011.gsg: Bloc de notas

# Signatures Produced by ClassSig from
# Class-Grid __1000001
# and Stack __1000000

# Number of selected grids
/*
7
# Layer-Number Band-name
/*
1 d:\landsat\clasif-1\2011\2011c1
/*
2 d:\landsat\clasif-1\2011\2011c2
/*
3 d:\landsat\clasif-1\2011\2011c3
/*
4 d:\landsat\clasif-1\2011\2011c4
/*
5 d:\landsat\clasif-1\2011\2011c5
/*
6 d:\landsat\clasif-1\2011\2011c6
/*
7 d:\landsat\clasif-1\2011\2011c7

# Type Number of Classes Number of Layers Number of Parametric Layers
# -----
# Class ID Number of Cells Class Name
# Layers 1 155 2 3 4 5 6 7
# Means
212.70323 337.70323 352.29032 2667.29677 1294.14839 564.87742 706.70968

# Covariance
1 3806.93733 5556.33992 5366.75555 19823.15358 12246.41445 -890.03012 6992.24445
2 5556.33992 10247.17109 9343.50880 37552.24449 22512.27809 5286.43741 12402.23796
3 5366.75555 9343.50880 9768.71387 31113.20549 20699.30729 4061.86699 12227.66276
4 19823.15358 37552.24449 31113.20549 225293.62564 1008024.48814 88306.33532 44724.03477
5 12246.41445 22512.27809 20699.30729 1008024.48814 68185.38693 39704.61571 36695.90050
6 -890.03012 5286.43741 4061.86699 88306.33532 39704.61571 824745.96540 18370.89275
7 6992.24445 12402.23796 12227.66276 44724.03477 36695.90050 18370.89275 22883.76581

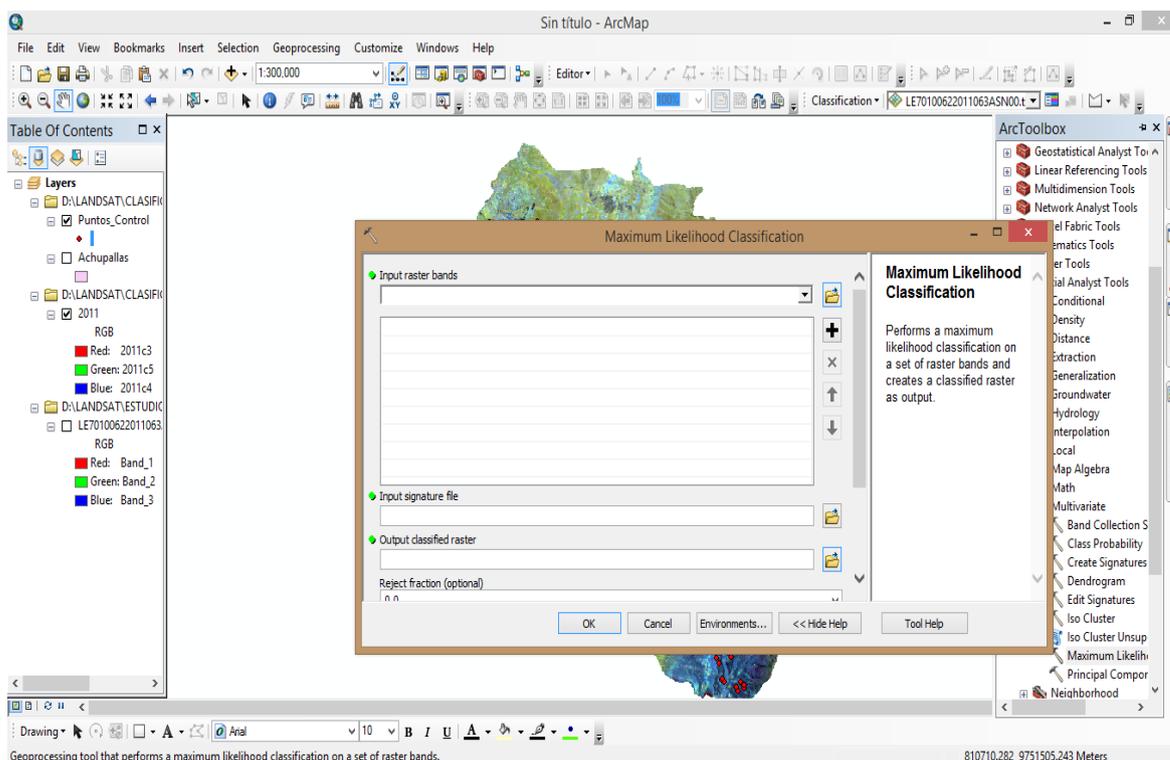
# Class ID Number of Cells Class Name
2 153 2

```

**Elaborado por: Daniel Arévalo**

- D. Una vez culminado este proceso damos paso a la clasificación en sí de la imagen para ello nos damos clic en Arc Tool Box, Abrimos Spatial Analyst Tools, Multivariate y abrimos Maximum Likelihood, que es el algoritmo que emplearemos para la clasificación.

**Gráfico 34. Cargar los archivos al logaritmo de clasificación**

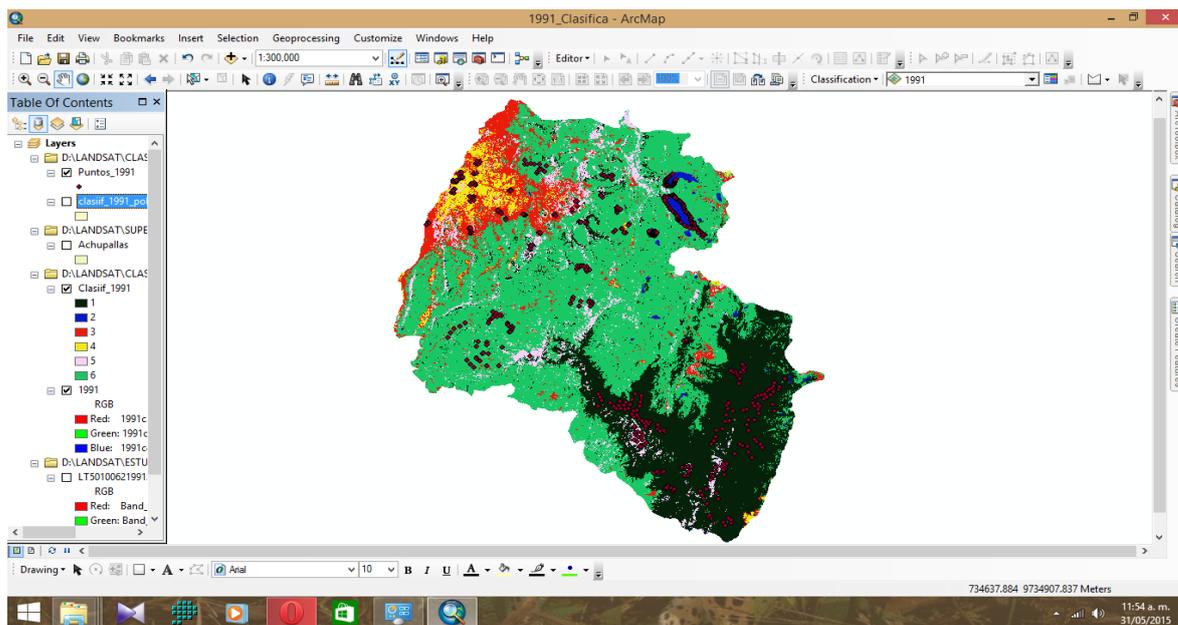


**Elaborado por: Daniel Arévalo**

Aquí en Input Raster Bands introducimos la imagen satelital, en Input Signature file abrimos el archivo de extensión .gsg y direccionamos hacia la carpeta de trabajo en Output classified Raster y damos clic en OK.

El Raster resultado de este proceso contienen las clases de uso de suelo que anteriormente se identificó variando en su coloración la misma que puede ser modificada acorde a su característica en el uso.

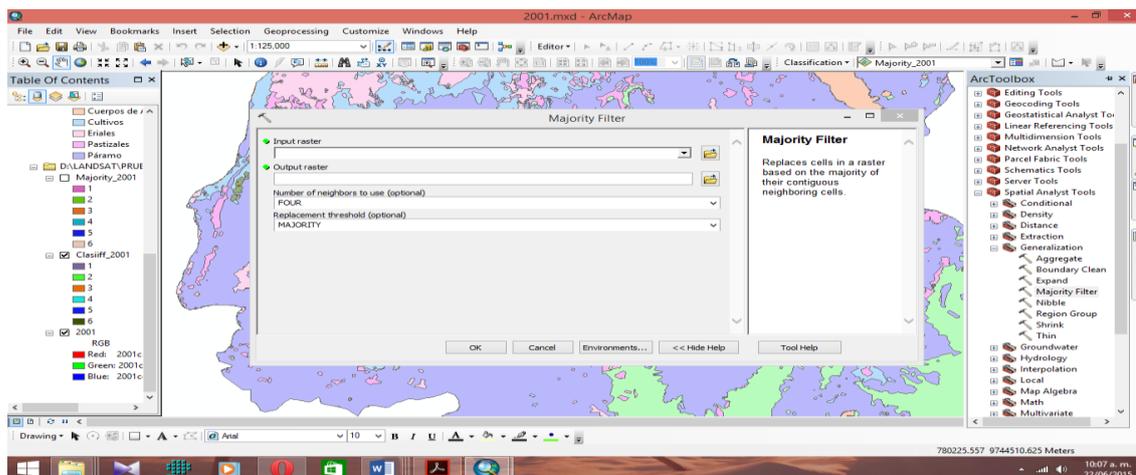
## Gráfico 35. Obtención de imagen clasificada



Elaborado por: Daniel Arévalo

### a. Eliminación de Ruido

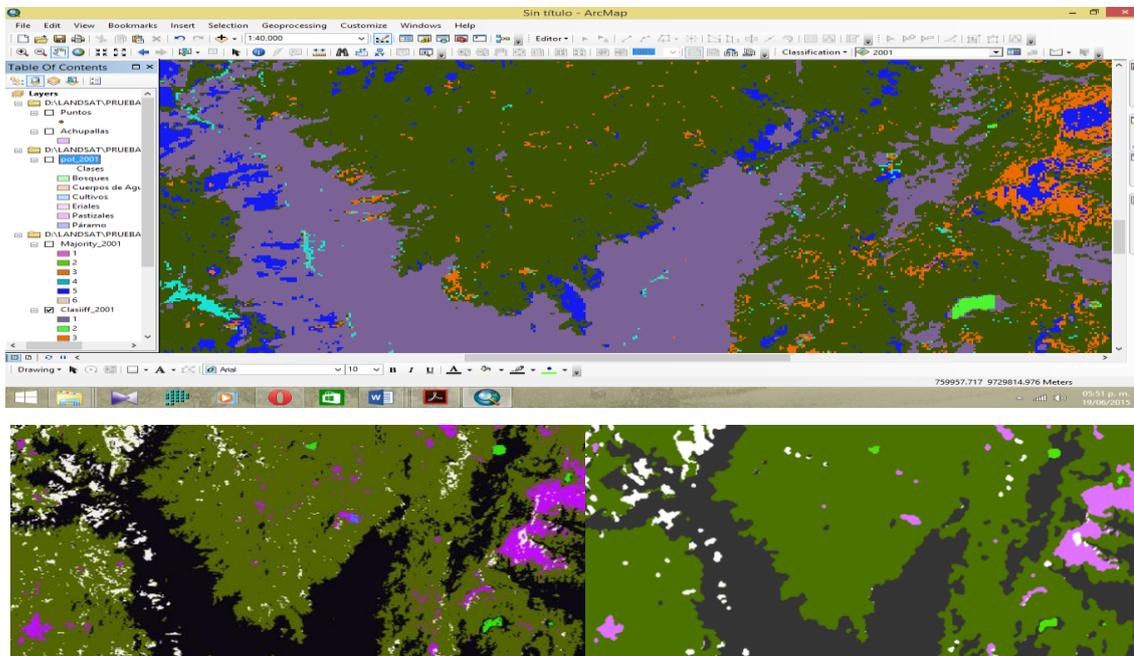
Como vemos la imagen existen un sinnúmero de clases con un área muy pequeña dentro de otras clases de tamaño mayor que comúnmente se presenta en este caso de clasificación supervisada. Para eliminar estos ruidos emplearemos la herramienta Majority Filter. Para emplear esta aplicación entramos en Arc Tool Box, Spatial Analyst Tools, Generalization y clic en Majority Filter.



Elaborado por: Daniel Arévalo

Si vemos que el ruido continua, aplicamos nuevamente el procedimiento hasta tener una imagen más clara y nítida

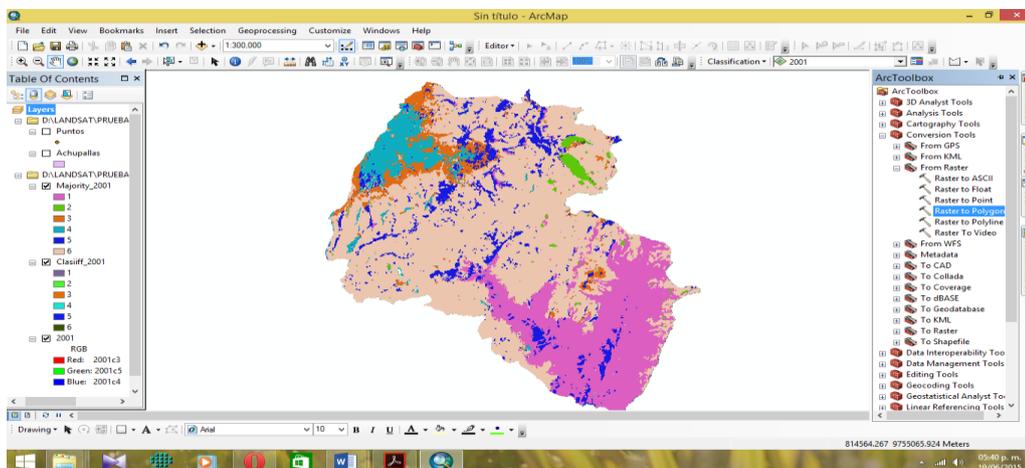
**Gráfico 36. Eliminación de ruido**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Una vez que se haya corregido el ruido procedemos a convertir este Raster a formato vector en el mismo ArcMap. Para ellos nos dirigimos a ArcToolBox seleccionamos Conversion Tools y clic en Raster To Polygon

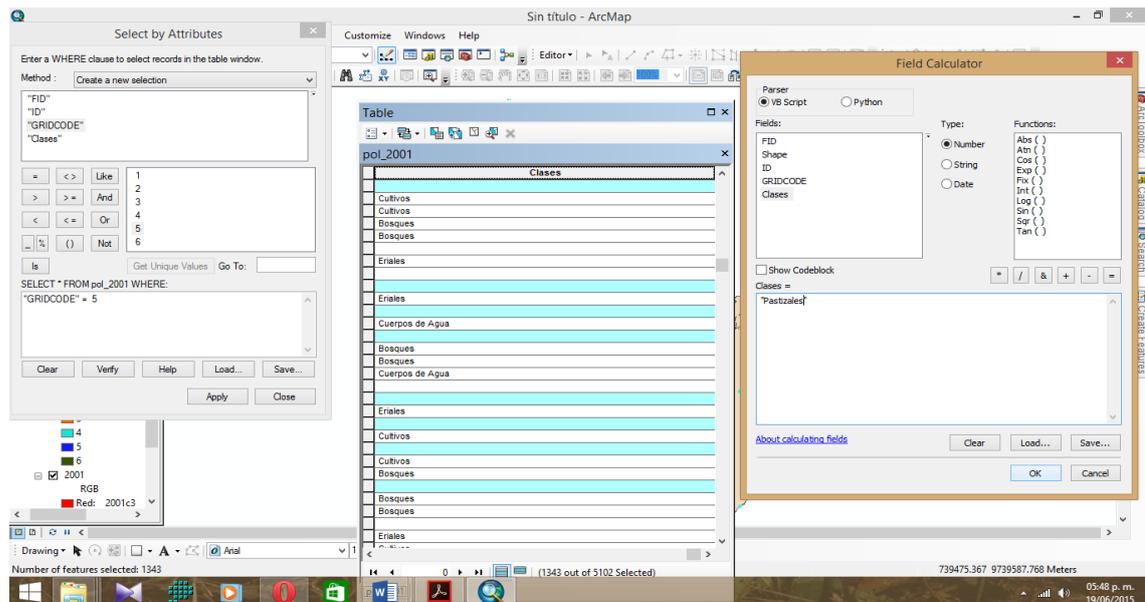
**Gráfico 37. Conversion de raster a Shapefile**



Elaborado por: Daniel Arévalo

En la ventana de Input Raster ingresamos el Raster que ya se ha eliminado el ruido, en Field se introducirá el campo en el que se vaya a basar dicha conversión, en Output Polygon Features direccionamos hacia la carpeta en la que guardamos los archivos generados. Una vez realizado esta actividad procedemos a nombrar cada una de las clases tomadas en cuenta

**Gráfico 38. Nombrar las diferentes categorías**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

A cada segmento clasificado en las diferentes clases procedemos a calcular sus respectivas áreas, para ello abrimos la tabla de atributos y agregamos un nuevo campo. Ingresamos en Table Options, clic en Add Field, agregamos este campo y procedemos a calcular el área.

## **ANEXO 2. PUNTOS DE CONTROL**

Los puntos de control serán anexados a la tesis en un CD por la gran cantidad de datos y extensión que tiene los mismos.

### ANEXO 3. RESULTADO DEL ANALISIS MLP (PERCEPTRON MULTICAPA) DE LA RED NEURONAL APLICADA

Land Change Modeler MLP Model Results

(Created: 26/11/2015 12:14:22)

#### 1. General Model Information

##### 1) *Input Files*

Independent variable 1	EV_91_01
Independent variable 2	DST_VIAS1991
Independent variable 3	DEM_ACH
Independent variable 4	DST_COM
Independent variable 5	dst_cmb
Training site file	MODELO_1500_Train_REGENERACION

##### 2) *Parameters and Performance*

Input layer neurons	5
Hidden layer neurons	9
Output layer neurons	13
Requested samples per class	5000
Final learning rate	0.0001
Momentum factor	0.5
Sigmoid constant	1
Acceptable RMS	0.01
Iterations	10000
Training RMS	0.1776
Testing RMS	0.1800
Accuracy rate	82.67%
Skill measure	0.7040

##### 3) *Model Skill Breakdown by Transition & Persistence*

Class	Skill measure
Transition : BOSQUE to PARAMO	0.9635
Transition : PARAMO to BOSQUE	0.4731
Transition : PARAMO to CUERPOS DE AGUA	0.8609
Transition : CULTIVOS to BOSQUE	0.2547
Transition : CULTIVOS to PASTOS	0.8439
Transition : PASTOS to BOSQUE	-0.0833

Transition : CUERPOS DE AGUA to BOSQUE	-0.0721
Transition : CUERPOS DE AGUA to PARAMO	0.8445
Persistence : BOSQUE	0.5835
Persistence : PARAMO	0.4681
Persistence : CULTIVOS	0.8728
Persistence : PASTOS	0.6024
Persistence : CUERPOS DE AGUA	0.9022

## 2. Weights Information of Neurons across Layers

### 1) Weights between Input Layer Neurons and Hidden Layer Neurons

Neuron	h-Neuron 1	h-Neuron 2	h-Neuron 3	h-Neuron 4	h-Neuron 5	h-Neuron 6	h-Neuron 7	h-Neuron 8	h-Neuron 9
i-Neuron 1	-8.4865	-2.7005	-23.8408	0.1435	19.6883	1.2615	0.3649	0.5570	18.3144
i-Neuron 2	-0.5862	-2.0959	-0.2224	-0.1474	-1.5631	-2.1404	10.1622	-10.5418	-0.0241
i-Neuron 3	3.7549	-0.3495	0.7850	1.1168	-5.0579	1.4840	-3.0252	-0.2517	-9.0103
i-Neuron 4	-0.9151	-0.7607	0.6270	0.5618	0.9063	1.6567	4.4741	-8.3510	-0.1244
i-Neuron 5	-20.6862	1.5858	12.5709	6.1534	-1.6338	2.2165	4.1718	-7.9514	-0.2052

### 2) Weights between Hidden Layer Neurons and Output Layer Neurons

Neuron	o-Neuron 1	o-Neuron 2	o-Neuron 3	o-Neuron 4	o-Neuron 5	o-Neuron 6	o-Neuron 7	o-Neuron 8	o-Neuron 9	o-Neuron 10	o-Neuron 11	o-Neuron 12	o-Neuron 13
h-Neuron 1	-11.0534	1.4694	1.9120	5.2668	8.3793	-0.5338	1.7743	-3.6890	-7.9906	-7.9041	8.1254	2.4791	6.3750
h-Neuron 2	-3.9824	3.7106	6.2961	-4.2538	-3.3401	-1.1624	3.1093	-4.4093	21.2261	-0.1165	3.4008	-11.3720	-2.3006

h-Neuron 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.9722	-	-	7.8323	
h-Neuron 4	8.1243	2.2053	8.4747	1.1763	17.3714	0.3355	0.2978	2.6684	9.6464	0.4894	1.1480	2.5601	8.4372	0.0903	3.9133
h-Neuron 5	1.0406	4.8164	13.6122	9.8704	6.9131	2.2201	0.6099	3.1449	2.9488	7.7855	1.4152	8.9171	11.4912	-	
h-Neuron 6	5.8945	4.2742	9.8366	2.5614	0.8346	1.5921	3.6047	0.6230	4.9321	4.6037	5.6320	0.2810	4.4822	-	
h-Neuron 7	0.8215	3.5230	2.3560	0.8859	2.9019	0.9969	0.1675	6.9060	3.7213	0.2095	5.8278	8.9822	5.5468	-	
h-Neuron 8	0.4705	2.4449	2.2596	4.0146	1.8828	1.4219	3.2110	6.3296	1.4909	4.1990	10.5606	8.0784	8.5387	-	
h-Neuron 9	13.1305	2.3624	4.8848	5.2979	11.1373	1.3112	1.8398	1.1696	9.7996	2.1424	4.4760	12.3408	5.2983	-	

### 3. Sensitivity of Model to Forcing Independent Variables to be Constant

#### 1) Forcing a Single Independent Variable to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure	Influence order
With all variables	82.67	0.8040	N/A
Var. 1 constant	27.76	0.2174	1 (most influential)
Var. 2 constant	72.40	0.6927	2
Var. 3 constant	74.15	0.7116	4
Var. 4 constant	72.79	0.6969	3
Var. 5 constant	77.41	0.7469	5 (least influential)

#### 2) Forcing All Independent Variables Except One to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure
With all variables	82.67	0.8040
All constant but var. 1	32.64	0.2703
All constant but var. 2	14.22	0.0707
All constant but var. 3	17.60	0.1073
All constant but var. 4	10.94	0.0352

All constant but var. 5	16.95	0.1003
-------------------------	-------	--------

### ***3) Backwards Stepwise Constant Forcing***

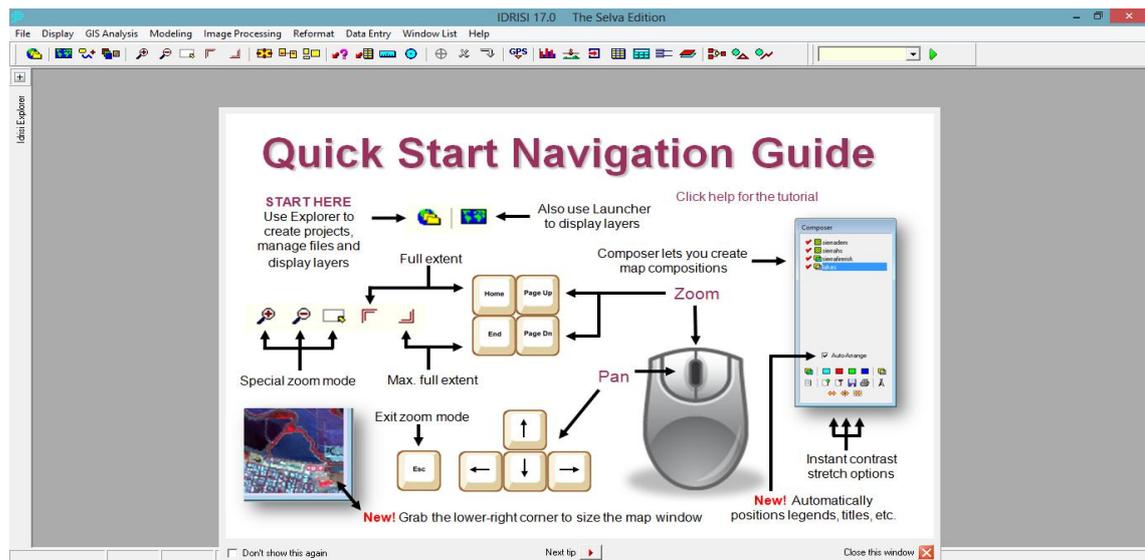
Model	Variables included	Accuracy (%)	Skill measure
With all variables	All variables	82.67	0.8040
Step 1: var.[5] constant	[1,2,3,4]	67.41	0.7469
Step 2: var.[5,4] constant	[1,2,3]	52.82	0.4889
Step 3: var.[5,4,3] constant	[1,2]	43.82	0.3914
Step 4: var.[5,4,3,2] constant	[1]	32.64	0.2703

## ANEXO 4. PROCESO DE PREDICCIÓN DE UN ESCENARIO FUTURO

Proceso de predicción de cambios

Entramos al programa del software IDRISI SELVA

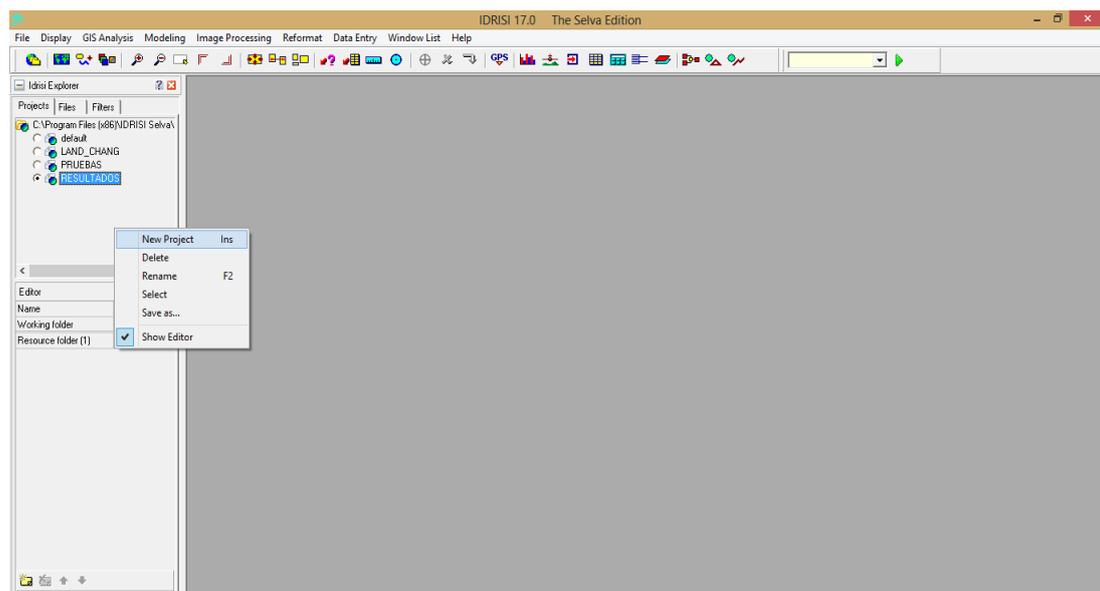
**Gráfico 39. Software IDRISI SELVA**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Creamos un nuevo proyecto

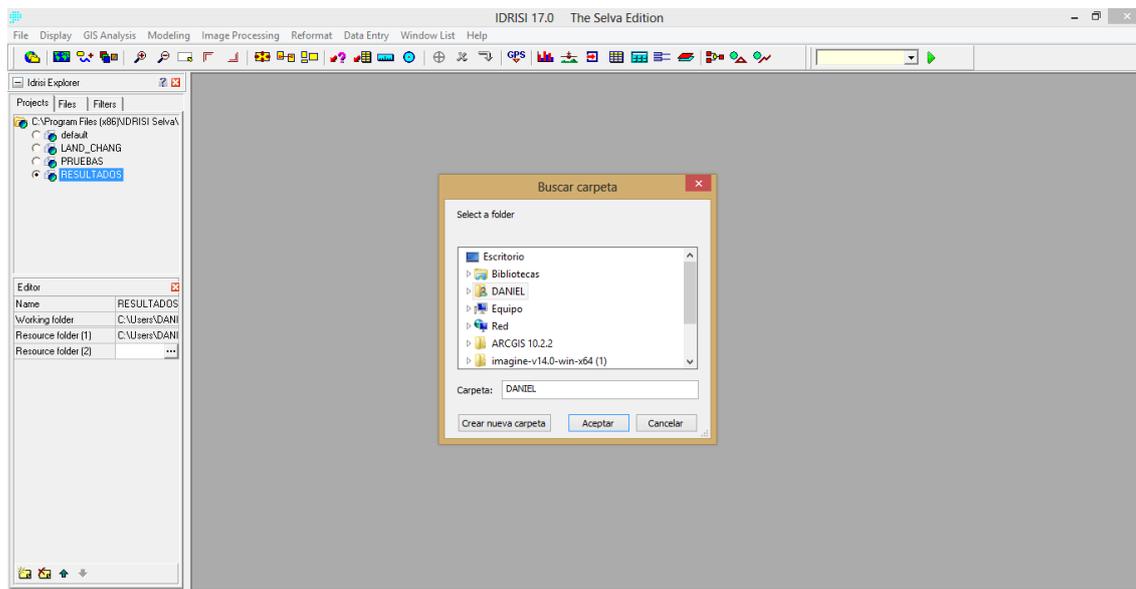
**Gráfico 40. Nuevo proyecto IDRISI**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Agregamos las carpetas con los diferentes insumos

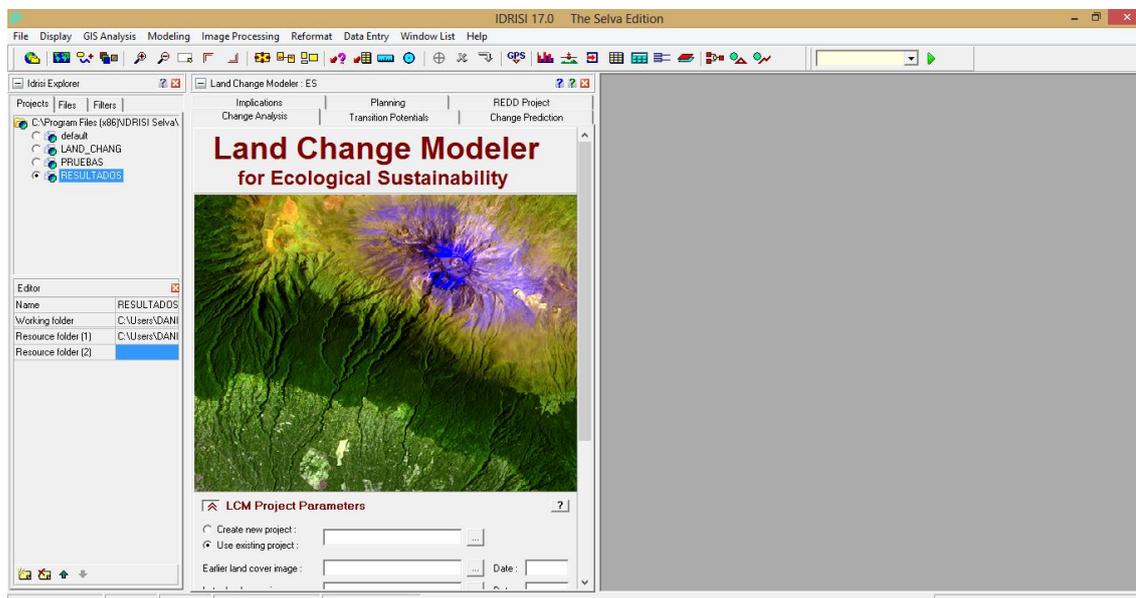
**Gráfico 41. Agregar carpetas de insumos**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Abrir el modulador Land Change Modeler

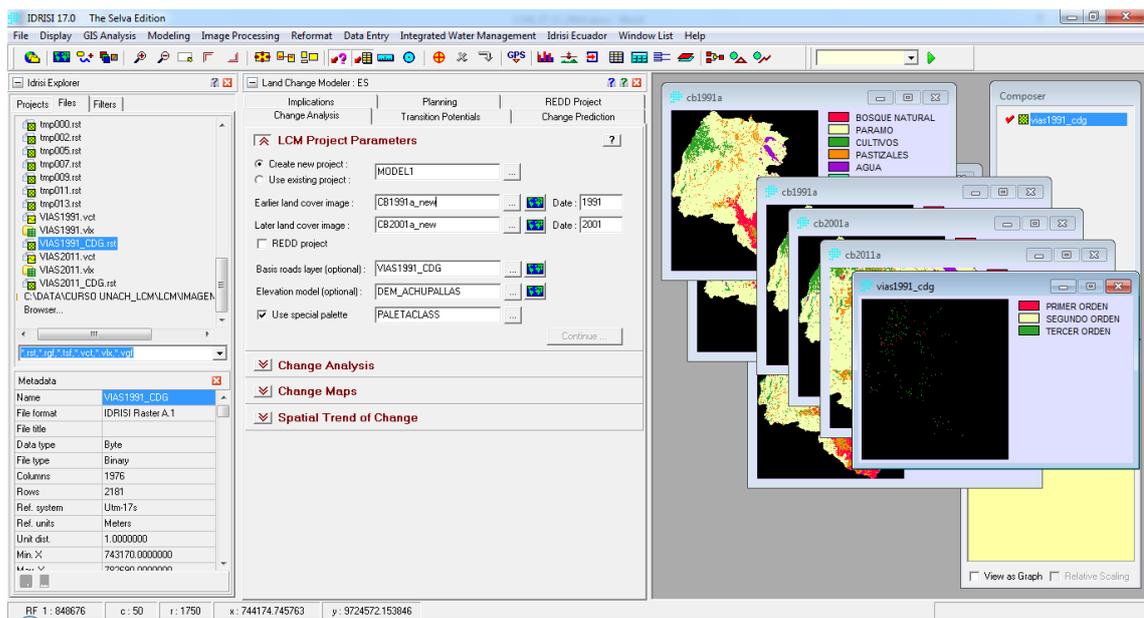
**Gráfico 42. Módulo Land Change Modeler**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Incorporamos las imágenes clasificadas previamente de los años 1991 y 2001, el raster de las distancias de vías de 1991, el DEM de las alturas de la parroquia.

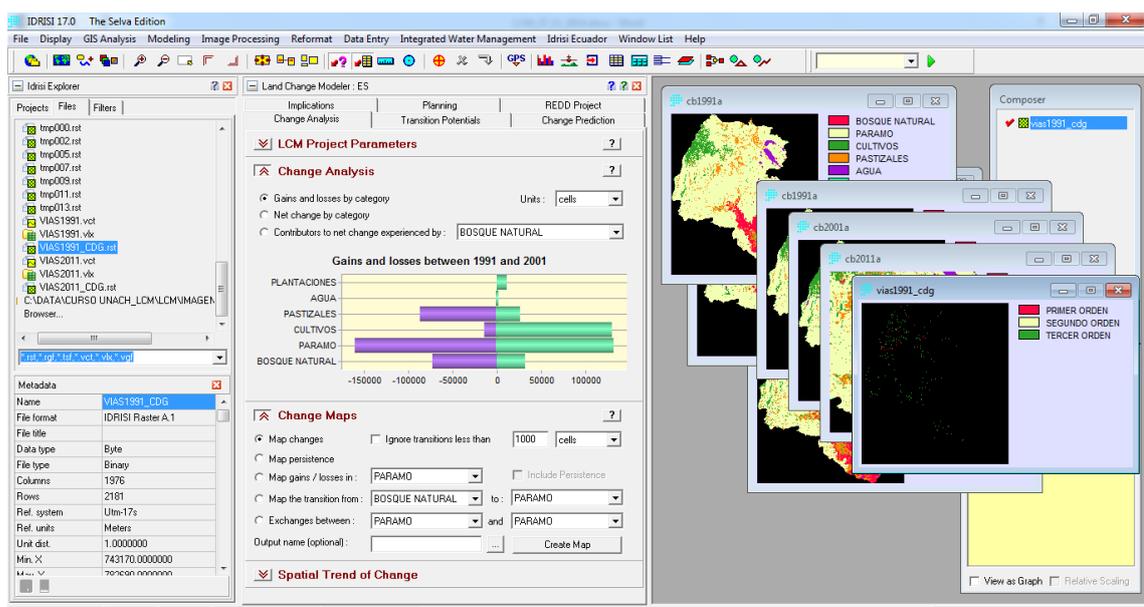
### Gráfico 43. Agregar mapas de uso e insumos



Elaborado por: Daniel Arévalo

Cargado estos insumos damos en continue y el modelador comienza a correr, hasta generar la información de los cambios producidos en entre los años en estudio. En Change analysis se generó los cuadros estadísticos de ganancias y pérdidas, cambio neto en cada categoría y la contribución neta al cambio de cada categoría.

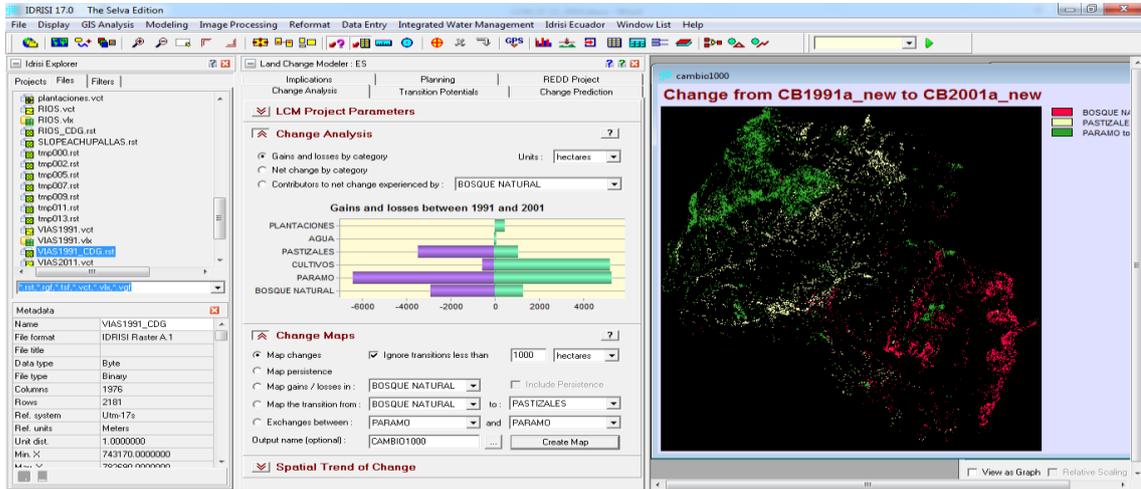
### Gráfico 44. Change analysis



Elaborado por: Daniel Arévalo

En change maps se pudo generar los mapas de cambios, mapa de persistencia de cada categoría, las ganancias y pérdidas y el mapa de transición de una categoría a otra.

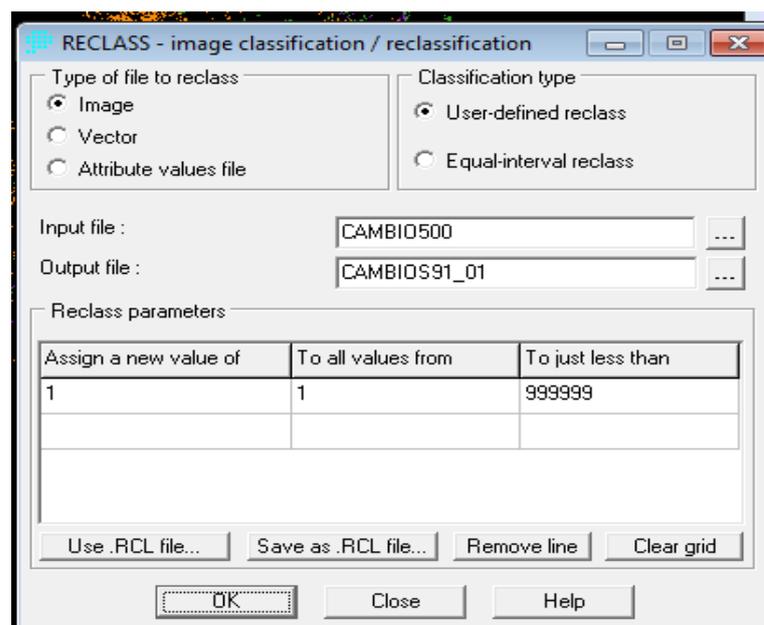
**Gráfico 45. Generación mapa de cambios**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Generado esta información se realizó el análisis de los resultados obtenidos, seguido a esto se siguió con el proceso para generar el mapa de predicción. Para ello se realizó un reclass de la imagen generada del cambio entre 1991 – 2001

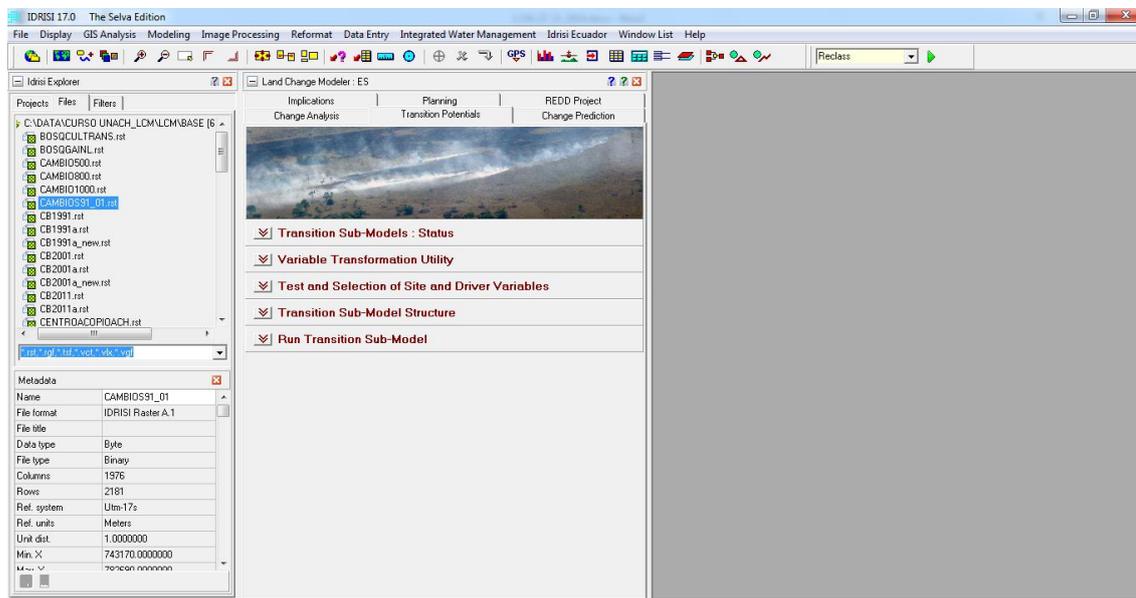
**Gráfico 46. Reclass**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Para generar el mapa de cambios entramos a Transition potentials

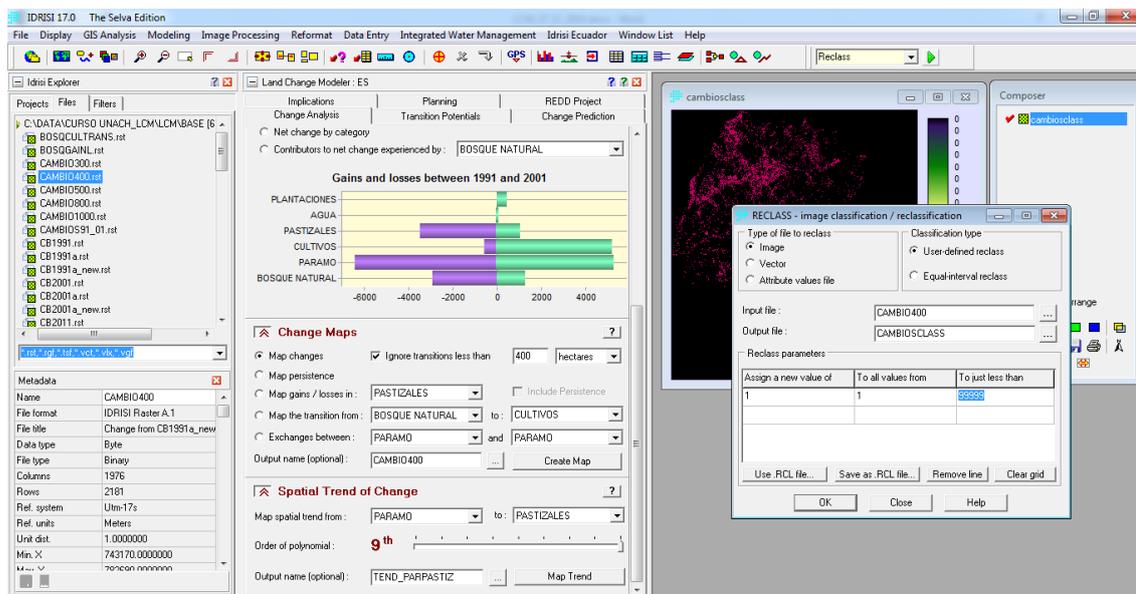
**Gráfico 47. Transition potentials**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Incluimos las variables que contribuyen a los posibles cambios

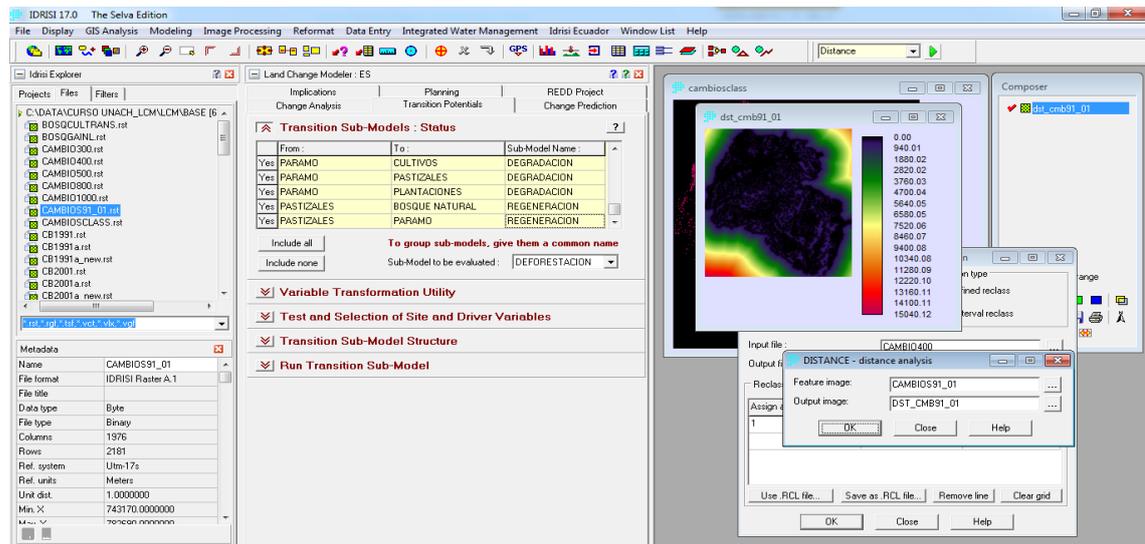
**Gráfico 48. Variables de cambio**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Realizamos una clasificación de los submodelos posibles de transición como degradación en ciertas áreas así también reforestación y regeneración según las interacciones entre las diferentes categorías.

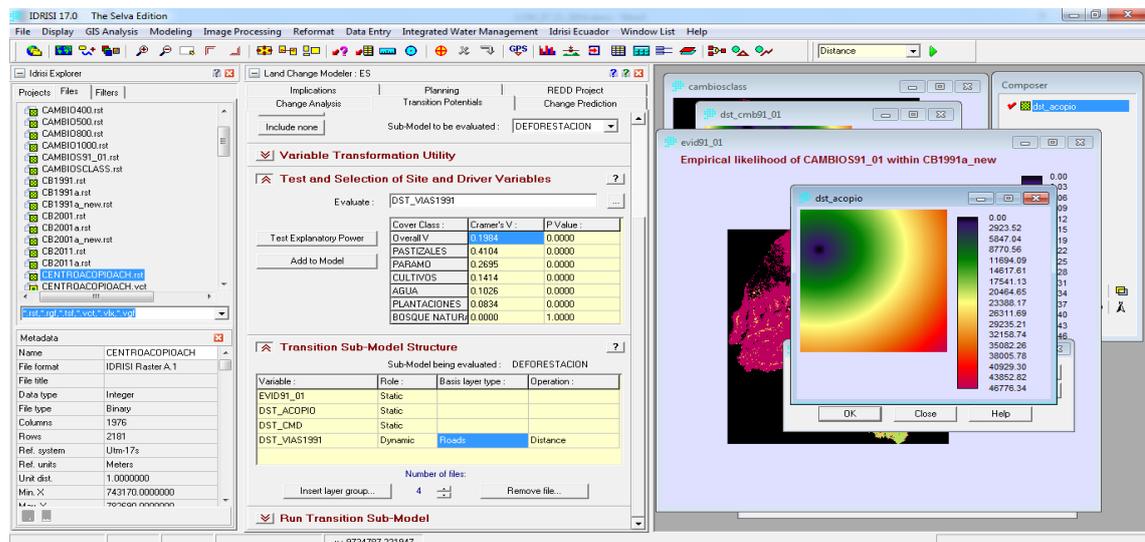
**Gráfico 49. Clasificación de submodelos**



Elaborado por: Daniel Arévalo

En el test and selection site cargamos los insumos que influirían en los posibles cambios como la evidencia generada entre 1991-2001, vías, pendientes, ríos, centros poblados.

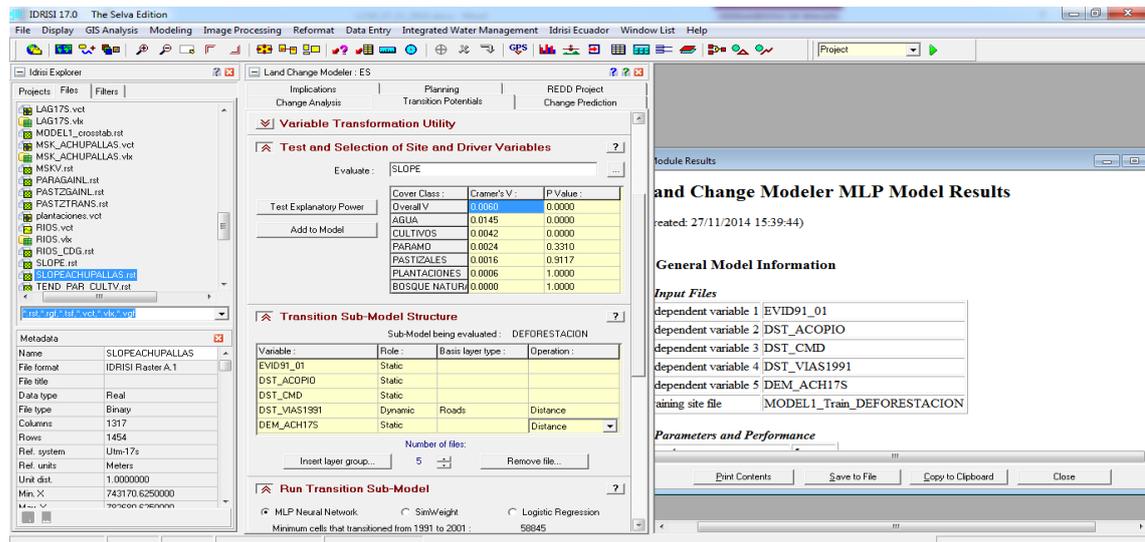
**Gráfico 50. Test and selection**



Elaborado por: Daniel Arévalo

Cargada esta información damos en continuar y nos generará la información del perceptrón multicapa resultado de la interacción entre las evidencias, las interacciones entre las distintas categorías.

**Gráfico 51. Multi layer perceptrón**



**Variable Transformation Utility**

Cover Class	Cramer's V	P Value
Overall V	0.0627	0.0000
AGUA	0.0145	0.0000
CULTIVOS	0.0042	0.0000
PARAMO	0.0024	0.3310
PASTIZALES	0.0016	0.9117
PLANTACIONES	0.0006	1.0000
BOSQUE NATURAL	0.0000	1.0000

**Transition Sub-Model Structure**

Variable	Rate	Basis layer type	Operation
EVID91_01	Static		
DST_ACOPIO	Static		
DST_CMD	Static		
DST_VIAS1991	Dynamic	Roads	Distance
DEM_ACH175	Static		Distance

**and Change Modeler MLP Model Results**

Created: 27/11/2014 15:39:44)

**General Model Information**

**Input Files**

dependent variable 1	EVID91_01
dependent variable 2	DST_ACOPIO
dependent variable 3	DST_CMD
dependent variable 4	DST_VIAS1991
dependent variable 5	DEM_ACH175
training site file	MODEL1_Train_DEFORESTACION

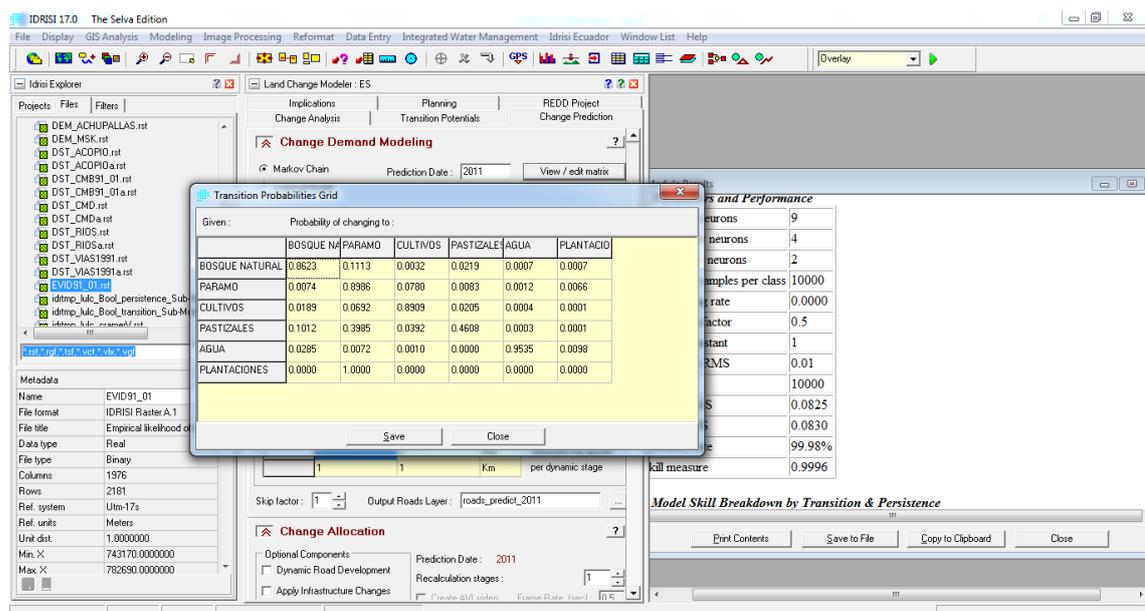
**Parameters and Performance**

Print Contents Save to File Copy to Clipboard Close

Elaborado por: Daniel Arévalo

Visualizamos la matriz de cambio

**Gráfico 52. Matriz de cambio**



**Transition Probabilities Grid**

Given	Probability of changing to:					
	BOSQUE NATURAL	PARAMO	CULTIVOS	PASTIZALES	AGUA	PLANTACIONES
BOSQUE NATURAL	0.8623	0.1113	0.0032	0.0219	0.0007	0.0007
PARAMO	0.0074	0.8986	0.0780	0.0083	0.0012	0.0086
CULTIVOS	0.0189	0.0632	0.8909	0.0205	0.0004	0.0001
PASTIZALES	0.1012	0.3985	0.0392	0.4608	0.0003	0.0001
AGUA	0.0285	0.0072	0.0010	0.0000	0.9535	0.0098
PLANTACIONES	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Save Close

**Change Allocation**

Optional Components:  Dynamic Road Development  Apply Infrastructure Changes

Prediction Date: 2011

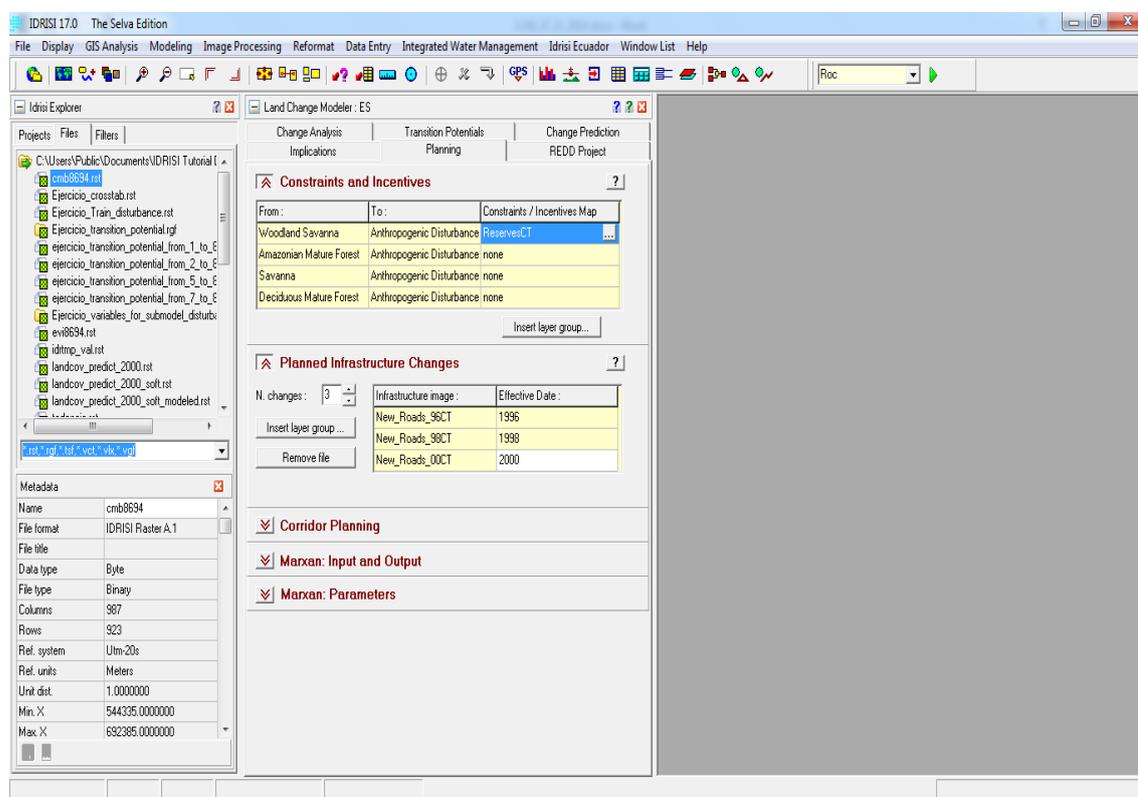
Recalculation stages: 1

Print Contents Save to File Copy to Clipboard Close

Elaborado por: Daniel Arévalo

Verificamos el modelo con la imagen clasificada del 2011, junto al mapa booleano creado anteriormente se compara la zona de cambio que se predijo con la real del 2011 a fin de validar el modelo de proyección. Vamos a planning e ingresamos las diferentes categorías de las vías y se agregan los años respectivos, por ser una área dentro de una zona de reserva se agregan las restricciones e incentivos para que ocurran los cambios.

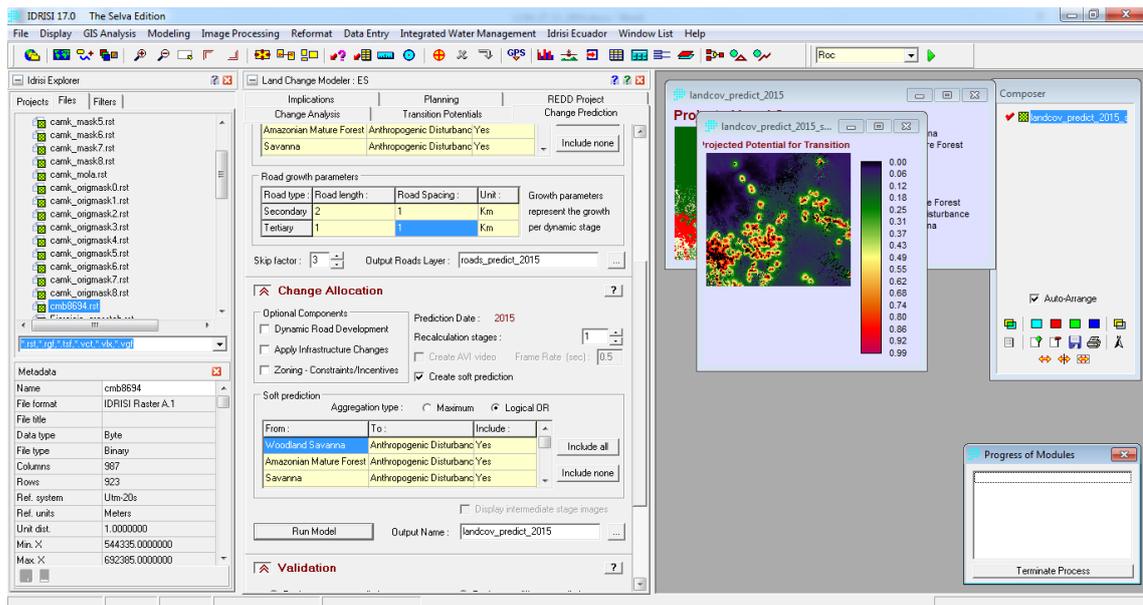
**Gráfico 53. Planning**



**Elaborado por: Daniel Arévalo**

Luego regresamos a change prediction y agregamos las distancias de las vías

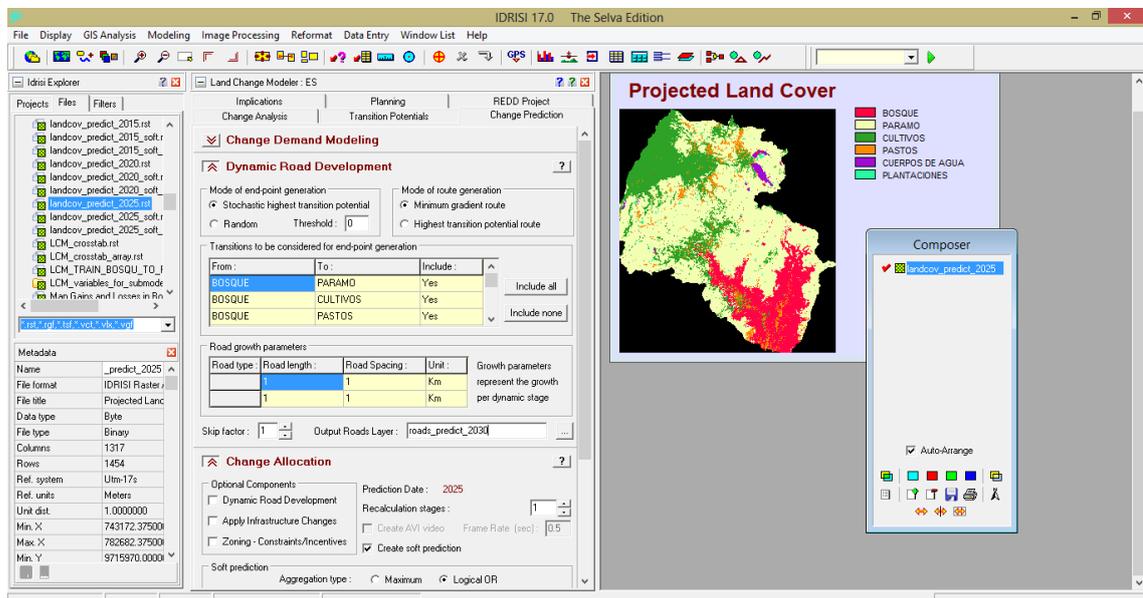
Gráfico 54. Change prediction



Elaborado por: Daniel Arévalo

Y de ahí generamos el mapa de prediccion al 2030

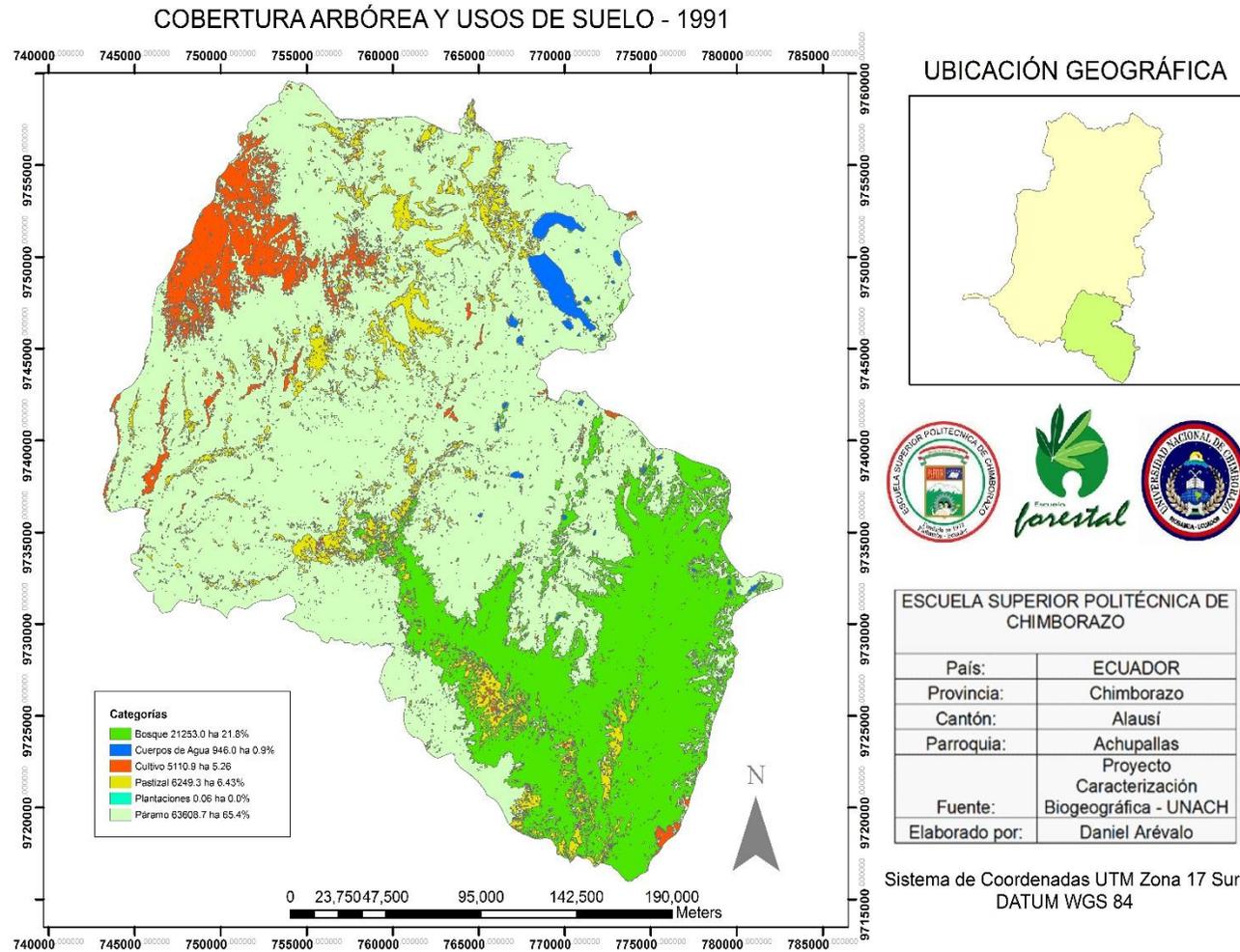
Gráfico 55. Mapa de predicción



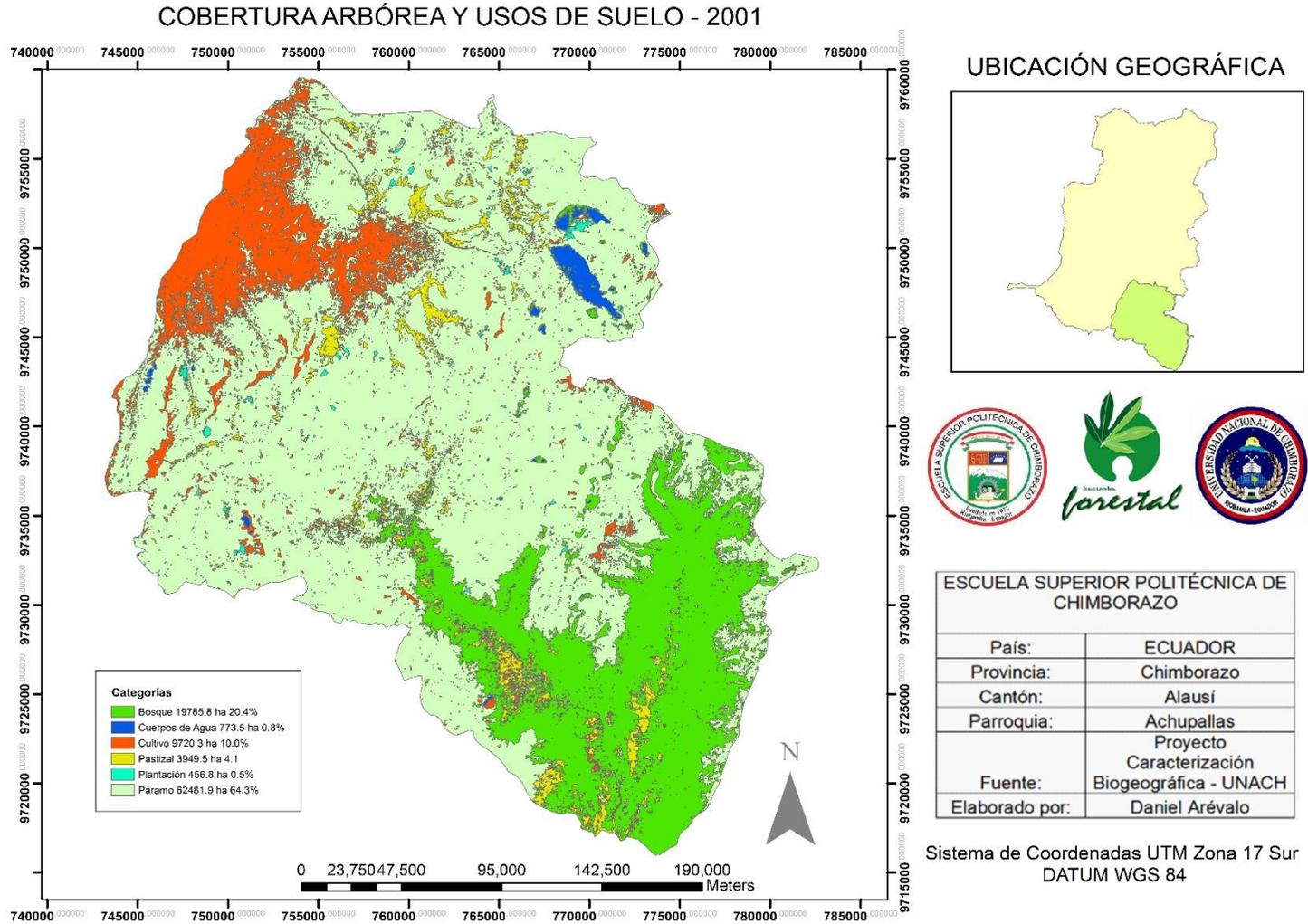
Elaborado por: Daniel Aréval

**ANEXO 5. MAPAS DE CATEGORÍAS PRINCIPALES**

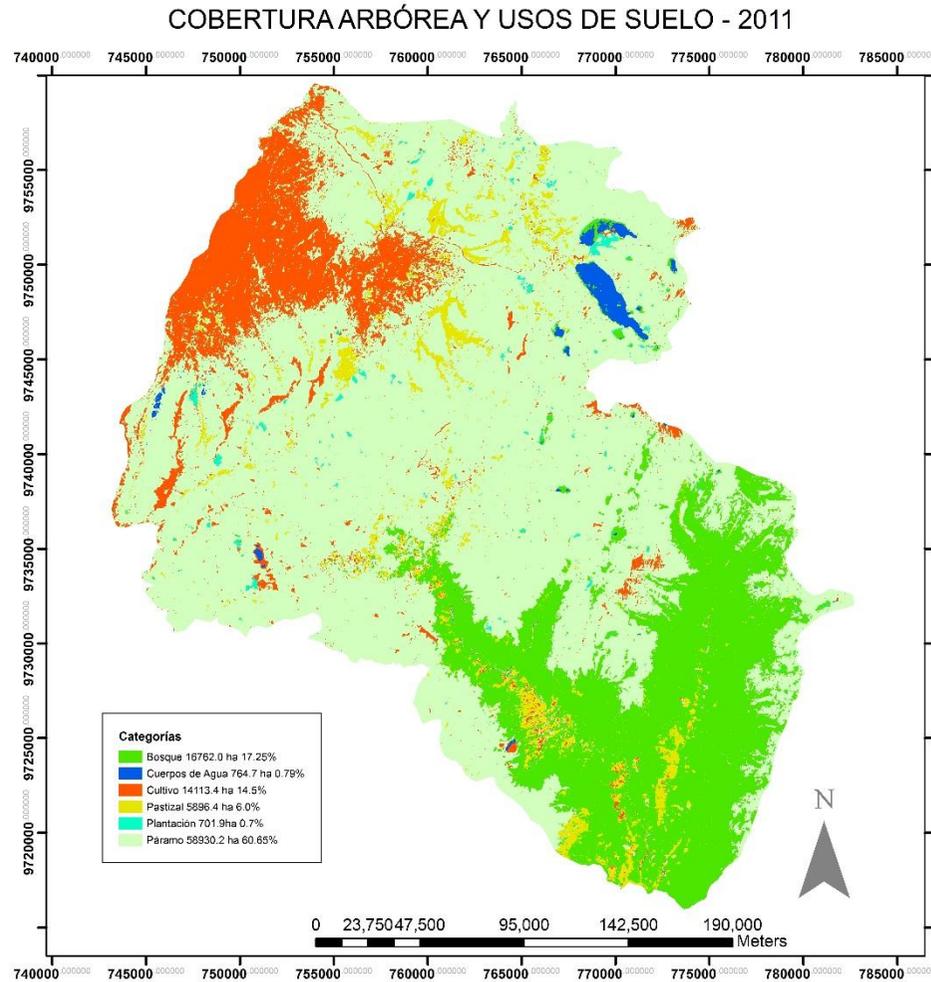
**Mapa 9. Mapa 1991**



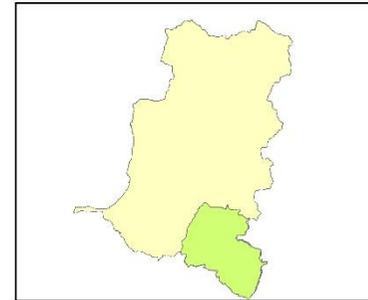
Mapa 10. Mapa 2001



Mapa 11. Mapa 2011



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

Pais:	ECUADOR
Provincia:	Chimborazo
Cantón:	Alausí
Parroquia:	Achupallas
Fuente:	Proyecto Caracterización Biogeográfica - UNACH
Elaborado por:	Daniel Arévalo

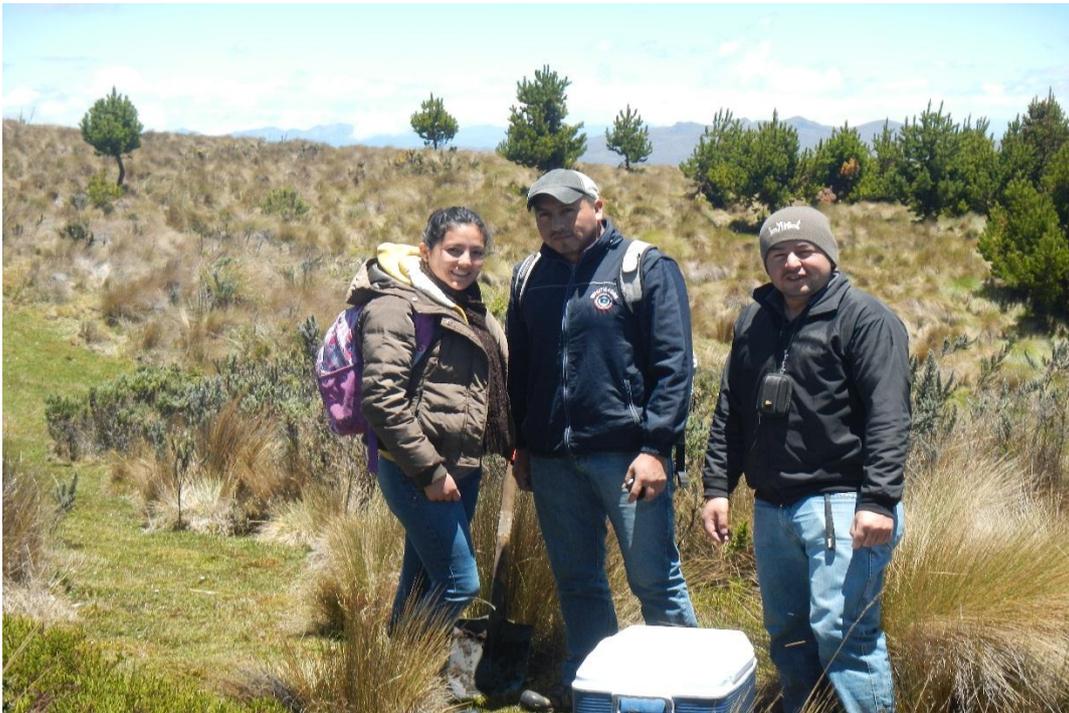
Sistema de Coordenadas UTM Zona 17 Sur  
DATUM WGS 84

## ANEXO 6. TASAS DE CAMBIO ENTRE 1991, 2001 Y 2011

Tabla 19. Cuadro estadístico de las tasas de cambio entre los años 1991, 2001 y 2011

Cobertura	ha_1991	%_1991	ha_2001	%_2001	TC	%	TC_anual	ha_2011	%_2011	TC	%	TC_anual	TC_Anual_Total
<b>BOSQUE</b>	21253.02	21.87	19785.8	20.4	-1467.2	-1.5	-146.7	16762	17.25	-3023.8	-3.11	-302.4	-224.551
<b>PARAMO</b>	63608.71	65.46	62481.9	64.3	-1126.8	-1.2	-112.7	58930.2	60.65	-3551.7	-3.66	-355.2	-233.9255
<b>CULTIVOS</b>	5110.94	5.26	9720.3	10	4609.3	4.7	460.9	14113.4	14.52	4393.1	4.52	439.3	450.123
<b>PASTOS</b>	6249.31	6.43	3949.5	4.1	-2299.8	-2.4	-230	5896.4	6.07	1946.9	2	194.7	-17.6455
<b>CUERPOS DE AGUA</b>	946.09	0.97	773.5	0.8	-172.6	-0.2	-17.3	764.7	0.79	-8.8	-0.01	-0.9	-9.0695
<b>PLANTACIONES</b>	0.06	0	456.8	0.5	456.7	0.5	45.7	701.9	0.72	245.1	0.25	24.5	35.092
	97168.146	100	97167.8	100				97168.6	100				

Elaborado por: Daniel Arévalo

**ANEXO 7. FOTOS****Foto 1. Equipo de campo****Foto 2. Toma de datos**



**Foto 3. Bosque nativo**



**Foto 4. Cultivos**



**Foto 5. Pastizales**



**Foto 6. Páramos**



**Foto 7. Plantaciones**



**Foto 8. Cuerpos de agua**



**Foto 9. Paisaje característico de Achupallas**