



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-081

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
**Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017**  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## REDES NEURONALES EN LA CUANTIFICACIÓN Y PROGNOSIS DE USO DEL SUELO EN UN ECOSISTEMA ALTO ANDINO DE ECUADOR

DAMIÁN CARRIÓN, D.<sup>1,2</sup>, RODRÍGUEZ LLERENA, M.<sup>1</sup>, MÁRQUEZ CARMEN, O.<sup>1, 3</sup>, GARCÍA VÍCTOR, J.<sup>1, 3</sup>, RECALDE MORENO, C.<sup>1, 2</sup> y SANTILLAN LIMA, P.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

<sup>2</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

<sup>3</sup> Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela

### Resumen

El objetivo de este trabajo fue cuantificar los cambios de uso del suelo con el propósito de realizar una prognosis de su uso en el año 2030 en una zona alto andina, provincia de Chimborazo-Ecuador. Se identificaron seis usos de suelo: bosque, páramo, pastizales, cultivos, plantaciones y cuerpos de agua. Los cálculos se realizaron mediante el módulo Land Change Modeler del SIG y un algoritmo de predicción fundamentado en redes neuronales, usando la base de datos geográficos de los años 1991, 2001 y 2011. Los resultados muestran que entre 1991 y 2011 la superficie cubierta de páramo se redujo en 7,36% (aprox. 4679 ha) de su área, de bosques en 21,13% (aprox. 4491 ha) y de pastos en 5,65 % (353 ha). Mientras que, la superficie cubierta de cultivo incremento de 5511 ha a 14113 ha y las plantaciones forestales incrementaron de insignificante a 702 ha. En relación al 2001, la prognosis al 2030 sugieren una disminución de 4,71% (con una probabilidad de ocurrencia de  $p=0,77$ ) en la superficie orientada al uso de páramo, una reducción de 9,53% ( $p=0,66$ ) en el área orientada al uso de bosque y un incremento de 40,32% ( $p=0,73$ ) en la superficie orientada al uso de cultivos. Así, nuestros resultados exhiben pruebas de la ocurrencia de cambios significativos en el uso del suelo y la prognosis realizada deja evidente que la actividad antrópica en nuestra región de estudio se está convirtiendo en una amenaza a la estabilidad de los ecosistemas altos andinos.

### Palabras clave

Andes Ecuatorianos, cambios de uso de suelo, teledetección.

### 1. Introducción

La dimensión en las alteraciones antropogénicas de los diferentes ecosistema terrestre no tienen precedentes dentro de la historia de la humanidad (Villamarín, et al., 2014), las cuales suelen tener consecuencias no deseadas y a veces graves para el medio ambiente y la biodiversidad (Naiman y Dudgeon, 2011), alrededor de la mitad de la superficie ha sido directamente alterada por la acción del hombre (Aguayo, et al., 2009). Dentro de estas transformaciones se encuentra la Cordillera de los Andes que es considerada para diferentes autores como una zona de vida con alta heterogeneidad ambiental y elevada diversidad biológica (Villamarín, et al., 2014), desarrollándose diferentes ecosistemas como el páramo y bosques nublados, que se caracterizan por ser zonas frágiles que han variado con el paso del tiempo (Mena, et al., 2011). Las cuales juegan un papel fundamental en el control del calentamiento global, debido a que secuestran las emisiones de carbono atmosférico, convirtiéndose en un reservorio natural (Altamirano y Lara, 2010). En las últimas décadas la expansión agropecuaria y cambios de uso de suelo (CUS) en estos ecosistemas ha causado grandes pérdidas en la biodiversidad (García-Mora y Jean-François, 2011), los CUS son el proceso dinámico originado por acción del hombre, las cuales se producen a diferentes escalas tanto espacial como temporal y han tenido efectos significativos en los servicios ecosistémicos que son esenciales y vitales para el bienestar humano y cada vez se vuelve más intenso (Deng, et al., 2015).

En la actualidad las herramientas para la adecuada gestión de los recursos naturales, ha mostrado un aumento progresivo al contar con información veraz y fiable que refleja las condiciones evolutivas de estos sitios, destacándose el uso de imágenes satelitales con una amplia gama de aplicaciones a escalas regionales como: planificación de tierras, manejo forestal, conservación de ecosistemas y desarrollo de estudios multitemporal basados en inteligencia artificial para predecir un escenario (Ayele, et al., 2014).

Las redes neuronales artificiales (RNA) son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático, basado en una estructura de neuronas interconectadas por enlaces que transfieren información a otras neuronas, reuniendo una serie de métodos que se aplican en el ordenador con el objeto de desarrollar su capacidad para realizar funciones de enseñanza y autocorrección para producir un estímulo de salida (Valdés Holguín, et al., 2011). Las RNA aprenden de la información histórica (entradas) la cual debe ser suficientemente significativo para conseguir que la red aprenda automáticamente las propiedades (entrenamiento), proceso mediante el cual se ajustan los parámetros de la red, a fin de entregar la respuesta deseada, adquiriendo entonces la capacidad de predecir respuestas del mismo fenómeno (salida) (Dai, et al., 2005); (Ovando, et al., 2005).

## 2. Objetivos

Exponer el desarrollo de un estudio multitemporal de los cambios de uso de suelo producidos en los años 1991 - 2001 y 2011, utilizando sistemas de información geográfica (SIG), además de realizar una prognosis de uso en el año 2030, mediante el módulo Land Change Modeler de los principales ecosistemas de la parroquia Achupallas, los cuales se obtendrán a partir de imágenes satelitales Landsat.

## 3. Metodología

### Área de estudio

La parroquia Achupallas se encuentra en la parte suroeste del Parque Nacional Sangay, provincia de Chimborazo, Ecuador (Figura 1). El área de estudio abarca una superficie de 972.5 km<sup>2</sup> y se encuentra en el Nudo de Tarqui que une las cordilleras occidental y oriental, los rangos de altura van desde los 2000 msnm en la zona Guangra a los 4440 msnm en la montaña Soroche. Un resumen de estadística descriptiva muestra los datos meteorológicos de la parroquia Achupallas indicando que la temperatura media anual en la parte norte del área de estudio es de 10,6 °C, humedad relativa 73% y precipitación anual de 694 mm, encontrándose diversos pisos ecológicos desde Paramo alto andino a Bosques mesófilos de montaña. En la parte sur del área de estudio la temperatura media anual es de 8,2 °C, humedad relativa 85,6% y la precipitación anual es de 981 mm, mostrando varios de ecosistemas de montaña altoandinos, presentando zonas de intervención. Esta zona es la más aislada florísticamente en relación con las actividades antropogénicas. Se tomaron los datos climáticos para la parte norte de la estación meteorológica EMA\_Achupallas (INAMHI: 5140) y para la parte sur se tomaron de la estación meteorológica EMA\_Jubal (INAMHI: M5138). Este tipo de ecosistemas se han desarrollado fundamentalmente en depósitos piroclásticos resultantes de numerosas erupciones volcánicas, generando suelos andosoles con la morfología y las propiedades que varían de acuerdo con la pedogénesis, como la edad, la composición química de los materiales y las condiciones meteorológicas (Cargua, et al., 2014).

La presente investigación agrupa un conjunto de tareas y procesos para el análisis de CUS por medio de la clasificación supervisada en ArcGis 10.2 (SIG). Tomando como punto de partida tres imágenes satelitales para los años 1991 TM Landsat 5 y para el 2001-2011 ETM+ Landsat 7, las cuales previamente fueron sometidas a una corrección geométrica, radiométrica y atmosférica. Para cuantificar y realizar la prognosis los CUS al año 2030 se utilizó el Land Change Modeler (LCM), de la aplicación informática de SIG diseñada para calcular la probabilidad de cambio de cobertura forestal

por un algoritmo basado en Redes Neuronales Artificiales, en la (Figura 2) se detalla los procesos a llevados a cabo.

Tasas de deforestación anual (TAC)

Para determinar los CUS se utilizó la TAC en los ambos periodos, empleando la ecuación propuesta por Palacio-Prieto (Reynoso Santos, et al., 2015); (Armentaras y Rodríguez, 2014).

$$TAC = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

TAC = Tasa de deforestación en porcentaje.

A1 = Cobertura en el tiempo 1.

A2 = Cobertura en el tiempo 2.

t1 = Año de evaluación inicial.

t2 = Año de evaluación final.

#### 4. Resultados

A partir de la corrección geométrica, radiométrica y atmosférica de las imágenes de satélite Landsat ETM+ del año 1991, 2001 y 2011, empleando el software ArcGis 10.2 y la clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud, generamos tres mapas de los CUS, representados en seis usos de suelo: Bosque (Bs); Páramo (Pr); Cultivos (Cc); Pastos (Ps); Cuerpos de agua (Ca) y Plantaciones (Pt), distribuidos aleatoriamente. En la (Figura 3) se muestra la distribución espacio temporal de CUS producidos en nuestra área de estudio, obteniendo para el año 1991 una área cubierta de Bs de 21253 ha, Pa 63608.7 ha, Cc 5110.9 ha, Ps 6249.3 ha, Ca 946.1 ha y Pt 0.1 ha. Para el año 2001 tenemos una cobertura de Bs con 19785.8 ha, Pr 62481.9 ha, Cc 9720.3 ha, Ps 3949.5 ha, Ca 773.5 ha y Pt 456.8 ha. Mientras que para el año 2011 Bs 16762.0, Pr 58930.2 ha, Cc 14113.4 ha, Ps 5896.4 ha, Ca 764.7 ha y Pt 701.9 ha. Encontrando que la parroquia Achupallas en su mayor parte está cubierta por páramo y bosques endémicos, los que ayudan a conservar las fuentes hídricas de agua dulce natural, las cuales ocupan en menor porcentaje el total de la superficie.

Concluida la clasificación supervisada y obtenidos los mapas de los años 1991, 2001 y 2011 de los CUS con las seis principales categorías en la parroquia Achupallas, se realizó la adecuación de los insumos en SIG, las mismas se cargaron en el Land Change Modeler de IDRISI SELVA; cada categoría de las diferentes fechas se superpusieron y se determinó los cambios producidos en estos años. Obteniendo la mayor TAC entre 1991 - 2001 en la categoría de Bs la cual disminuyo 146.7 ha por año, seguido de Pa con 112.7 ha, por lo contrario los Cc y Pt aumentaron en 460.9 y 45.7 ha respectivamente por año. La TAC para el periodo de 2001 - 2011 muestra un aumento de la categoría de Ps con 194.7 ha, mientras que siguen disminuyendo las categorías de Bs y Pa como muestra la tabla 1.

Para la simulación de la proyección CUS al año 2030 se tomaron en cuenta las imágenes clasificadas, además de los insumos como vías, ríos, poblaciones y el DEM todos en formato raster manteniendo características similares, para generar el modelo de predicción se empleó las cadenas Markov. Realizando una serie de simulaciones hasta alcanzar el menor error. El mejor resultado se dio al simular con 10000 interacciones y 5000 muestras por clase, trabajando 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 82.7%, en estas transiciones se disolvieron los cambios posibles menores a una hectárea haciéndole coincidir con la uso de suelo más cercano. En el mapa (Figura 4) con proyección al año 2030 tomando como base el año 2001, se encontró una superficie de Bs

15164.5 ha; Pa 56151.7 ha; Cc 19804.4 ha; Ps 4819.1 ha; Ca 773.1 ha y Pt 456.4 ha. Mientras que la TAC que disminuyó fueron las clases de Pr y Bs con 6.5 y 4.8 % respectivamente de su superficie, al contrario el mayor aumento se dio en Cc con 10.4% de su superficie, seguido por Ps con 0.9 %, y las clases que no se alteraron Ca y Pt. El coeficiente de probabilidad de cambio para Bs es de 0.66; Pr 0.77; Cc 0.73; Ps 0.11; Ca 0.37; Pt 0.00.

## 5. Discusión

Los cambios identificados en el periodo de evaluación probablemente se deben a diversos factores, uno de ellos sería la Ley de Reforma Agraria y Colonización de 1964, destinada fundamentalmente a aliviar la presión sobre la tierra en regiones de alta congestión humana ampliando la frontera agrícola. Mucho más drástica fue la Ley de Reforma Agraria aprobada en 1973 que requería la explotación eficiente de más del 80% del predio como condición para no ser sujeto de expropiación (Jordán 2003), lo cual impulsó a que los campesinos empezaran a subir la frontera agrícola y aumentar el sobrepastoreo en los páramos, proceso que ha ido continuando progresivamente hasta la actualidad.

En el trabajo elaborado por (Yáñez, et al., 2011) los páramos herbáceos y bosque siempre verdes montano alto en la sierra centro de Ecuador muestra una reducción de cobertura entre los años 1999 y 2010 de 239.617 ha (27.5%) a 207.987 16 ha (16%) respectivamente, esta disminución el autor atribuye a los conflictos entre la conservación de las especies nativas y las actividades de desarrollo humano, además de los efectos del cambio climático. Mientras que (Beltrán, et al., 2009) atribuye la reducción a una importante intervención directa e indirecta por parte del ser humano.

Nuestra investigación revela que la principal causa de esta pérdida se debe a que los moradores han desplazado el Bs y Pa, para implementar Cu como son *Solanum tuberosum*, *Oxalis tuberosa*, *Hordeum vulgare*, *Zea mays*, entre otros, aumentando aproximadamente 3 veces de su valor inicial, los cuales posteriormente fueron desplazados en parte por Pz ya que la ganadería empezó a intensificarse, la FAO en su informe del 2002 menciona el total de bovinos en el país para el año 1991 fue de 4.516.000 que en comparación con el estudio del INEC para el año 2011 encontramos 5.253.536 teniendo un aumento considerable, de los cuales el 52% (2.732.351) corresponde a la sierra Ecuatoriana, dicho acontecimiento es entendible desde el punto de vista socioeconómico, ya que dichas actividades representan una fuente de ingreso a corto plazo para los habitantes. Las plantaciones de *Pinus radiata*, en los primeros 10 años encontramos 457 ha, mientras que en los años 2001 - 2011 aumentaron 245 ha (Tabla 1), por diferentes razones como: mala selección de especie, sitio y por falta de manejo.

Todos estos eventos se pueden deber a múltiples factores tanto sociales como económicos, ya que los moradores no tienen otras fuentes de ingresos económicos y nos les queda más que aumentar los Cu para obtener mayor rendimiento económico y mejorar sus condiciones de vida, sin ver los efectos a largo plazo que ocasionan al ecosistema altoandino. Además de existir una deficiente planificación y asesoramiento por parte de las autoridades y personal técnico sobre el uso sostenible de estos ecosistemas altoandinos.

## 6. Conclusión

Haciendo un balance general de las cubiertas de suelo en 1991, 2001 y 2011 se ha comprobado que habido pérdida y perturbación de la superficie ocupada por bosque y páramo. Los bosques perdieron 4491.02 ha de su extensión entre 1991 y 2011 y los páramos perdieron 4678.51 ha de su extensión para el mismo periodo. Además, hubo un aumento en la superficie ocupada por cultivo y pasto.

La acelerada pérdida de cobertura vegetal con lleva consigo la disminución de la reserva genética de los ecosistemas endémicos, dejando en evidencia que la actividad antrópica en nuestra área de estudio se está convirtiendo en una amenaza a la estabilidad de los ecosistemas altos andinos.

## 7. Agradecimientos

A SENESCYT y a la Universidad Nacional de Chimborazo, a través del Vicerrectorado de Postgrado e Investigación, quienes han hecho posible la ejecución del proyecto Caracterización Biogeográfica.

## 8. Bibliografía

AGUAYO, M.; PAUCHARD, A.; AZOCAR, G.; PARRA, O.; 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural*, 82(3), pp. 361-374.

ALTAMIRANO, A.; LARA, A.; 2010. Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina. *Bosque*, 31(1), pp. 53-64.

ARMENTARAS, D.; RODRÍGUEZ, N.; 2014. DINÁMICAS Y CAUSAS DE DEFORESTACIÓN EN BOSQUES DE LATINO AMÉRICA: UNA REVISIÓN DESDE 1990. *Colombia Forestal*, 12(2), pp. 233-246.

AYELE, G. T.; DEMESSIE, S. S.; MENGISTU, K. T.; TILAHUN, S. A.; MELESSE, A. M.; 2016. Multitemporal land use/land cover change detection for the Batena Watershed, Rift Valley Lakes Basin, Ethiopia. In *Landscape Dynamics, Soils and Hydrological Processes in Varied Climates*. Springer International Publishing, pp. 51 - 72.

BELTRÁN, K.; SALGADO, S.; CUESTA, F.; LEÓN-YÁNEZ, S.; ROMOLEROUX, K.; ORTIZ, E.; VELÁSTEGUI, A.; (2009). Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. Quito, Ecuador: EcoCiencia, pp. 18-25.

CARGUA, F.; RODRÍGUEZ, M.; RECALDE, C.; VINUEZA, L.; 2014. Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Información tecnológica*, 25(3), pp. 83 - 92.

DAI, E., WU, S.; SHI, W.; CHEUNG, C. K.; SHAKER, A. 2005. Modeling change-pattern-value dynamics on land use: an integrated GIS and artificial neural networks approach. *Environmental Management*, 36(4), pp. 576 - 591.

DENG, X.; LI, Z., HUANG, J.; SHI, Q.; LI, Y.; ZHANG, R.; HUANG, J.; 2015. Reviews on Impact Assessments of Land-Use Change on Key Ecosystem Services. Springer Berlin Heidelberg, pp. 1 - 35.

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. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(1), pp. 83 - 84.

NAIMAN, R. J.; DUDGEON, D.; 2011. Global alteration of freshwaters: influences on human and environmental well-being. *Ecological Research*, 26(5), pp. 865 - 873.

MENA, P.; OCHOA, N.; FLORES, S.; 2011. Páramo órgano de difusión del grupo de trabajo en páramos del Ecuador (GTP). Abya-Yala ed. Quito: EcoCiencia.

OVANDO, G.; BOCCO, M.; SAYAGO, S.; 2005. Redes Neuronales para modelar predicción de heladas. *Agricultura Técnica*, 65(1), pp. 65 - 73.

REYNOSO SANTOS, R.; VALDEZ LAZALDE, J. R.; ESCALONA MAURICE, M. J.; SANTOS POSADAS, H. M.; 2015. Análisis de la dinámica del uso de la cuenca Metztitlán en Hidalgo, México. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTA*, 37(3).

VALDÉS HOLGUÍN, N.; GONZÁLEZ SALCEDO, L.; WILL, A.; 2011. Estimación de la resistencia a la penetración de suelos usando redes neuronales artificiales. *Acta Agronómica*, 60(3), pp. 252-262.

VILLAMARÍN, C.; PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; 2014. Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin american journal of aquatic research*, 42(5), pp. 1072-1086.

YÁNEZ, P.; NÚÑEZ, M.; CARRERA, F.; MARTÍNEZ, C.; 2011. Posibles efectos del cambio climático global en zonas silvestres protegidas de la zona andina de Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 14(2).

*Tabla 1. Área y porcentaje en los años 2030.*

| Cobertura       | 1991 (ha) | 2001 (ha) | 2011 (ha) | TCA (1991-2001) | TCA (2001-2011) |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| Bosque          | 21253.0   | 19785.8   | 16762.0   | -146.7          | -302.4          |
| Páramo          | 63608.7   | 62481.9   | 58930.2   | -112.7          | -355.2          |
| Cultivos        | 5110.9    | 9720.3    | 14113.4   | 460.9           | 439.3           |
| Pastos          | 6249.3    | 3949.5    | 5896.4    | -230            | 194.7           |
| Cuerpos de agua | 946.1     | 773.5     | 764.7     | -17.3           | -0.9            |
| Plantaciones    | 0.1       | 456.8     | 701.9     | 45.7            | 24.5            |

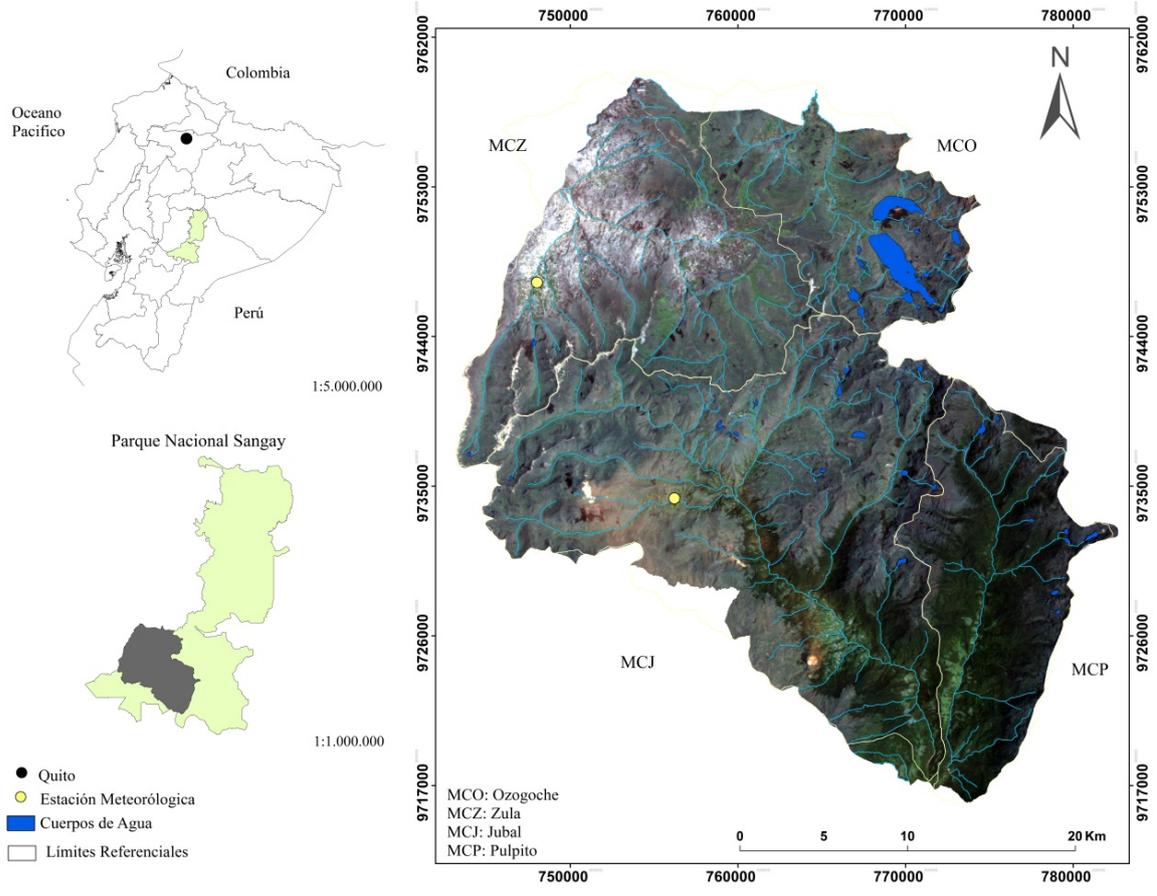


Figura 1. Mapa del área donde se ubican las microcuencas estudiadas.

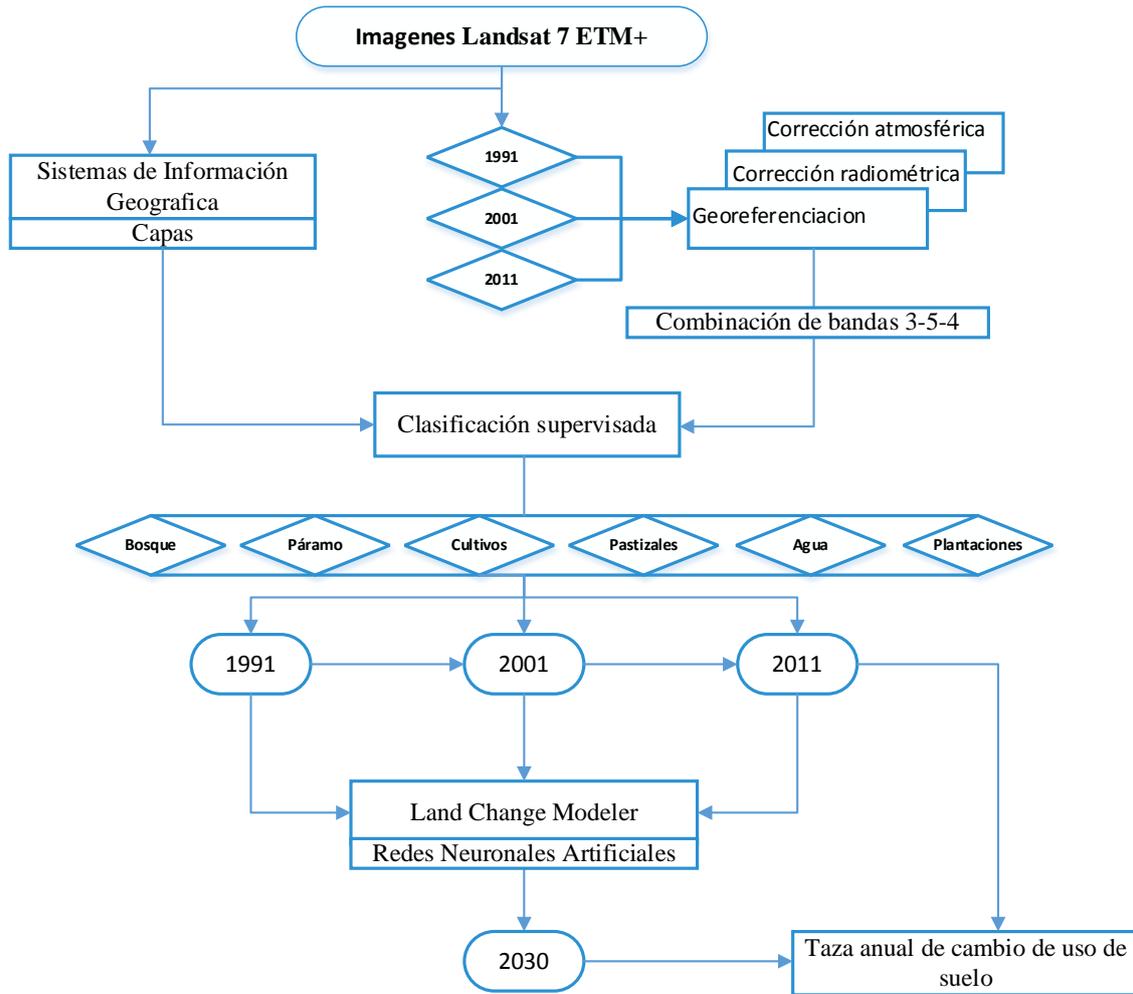


Figura 2. Proceso de clasificación supervisada de imágenes L Landsat 7 ETM+ de los años 1991 - 2001 - 2011.

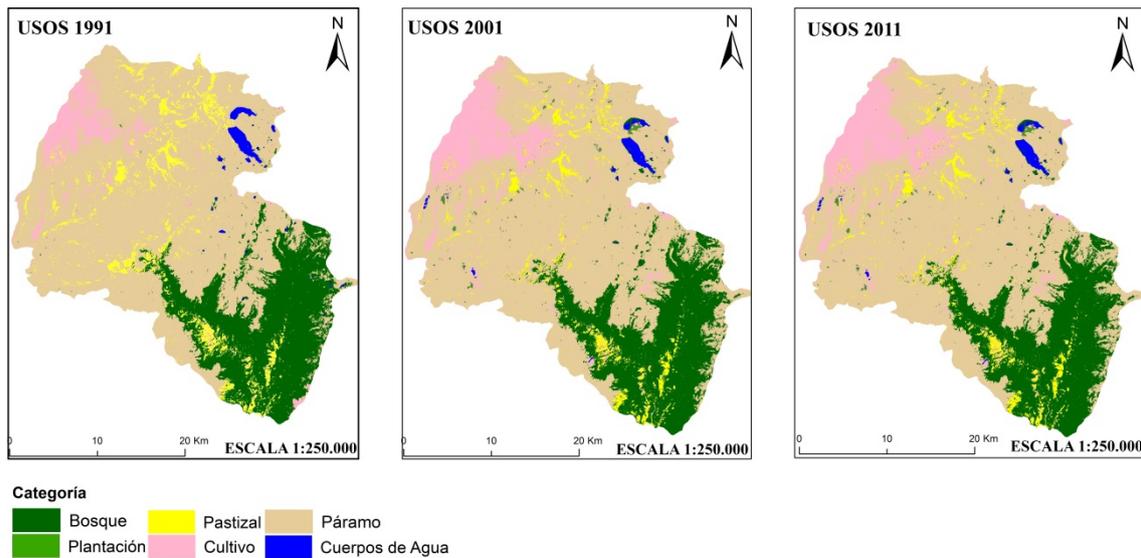


Figura 3. Análisis multitemporal de cambios de uso de suelo.

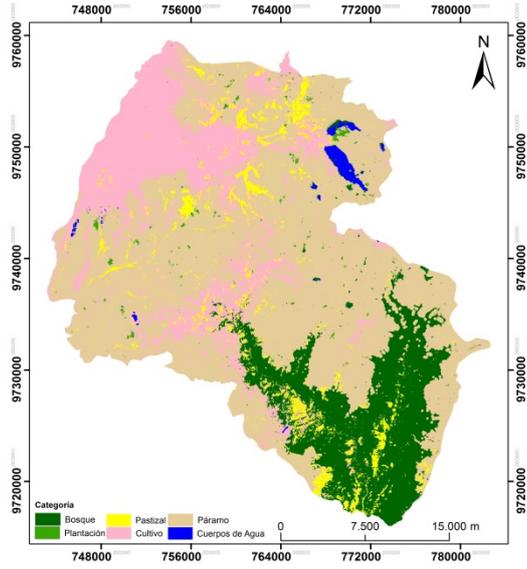


Figura 4. Predicción al año 2030 usos de suelo.