

Transiciones sistemáticas en el uso y la cobertura del suelo en una microcuenca alto andina, Ecuador 1991-2011

Systematic transitions in the use and coverage of soil in a high Andean micro-basin, Ecuador 1991-2011

Diego Armando DAMIAN [1](#); Carmen Omaira MÁRQUEZ [2](#); Víctor Julio GARCÍA [3](#); Marcos Vinico RODRIGUEZ [4](#); Celso Guillermo RECALDE [6](#)

Recibido: 28/02/2018 • Aprobado: 15/04/2018

Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

Se identificaron las transiciones que caracterizaron el cambio de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Jubal (3120-4360 msnm), período 1991-2011, con el objetivo de contribuir a futuros planes de ordenamiento territorial y en la planificación de estrategias para la conservación de los recursos naturales de la microcuenca del río Jubal perteneciente al Parque Nacional Sangay. Los resultados sugieren que el servicio ecosistémico que ofrece la microcuenca del río Jubal como proveedora y reguladora de servicios hídricos está siendo seriamente amenazado.

Palabras-Clave: transiciones sistemáticas, uso del suelo, Jubal, cobertura vegetal, ecosistemas alto andinos.

ABSTRACT:

We identified the transitions that characterized the change of land use and coverage in the micro-watershed of the Jubal River (3120-4360 MASL), from 1991-2011, with the objective of contributing to future plans of land management and planning of strategies for the conservation of natural resources of the micro-watershed of the Jubal River, belonging to the Sanghay National Park. The results suggest that the ecosystem services offered by the micro-watershed of the Jubal River as a water service provider and regulator are being seriously threatened.

Keywords: systematic transitions, soil use, Jubal, plant cover, high andean ecosystems

1. Introducción

En las últimas décadas el cambio de uso del suelo ha surgido como un componente importante en el estudio del cambio climático global. Los ecosistemas terrestres son afectados sustancialmente por cambios en la cobertura del suelo. Las actividades antrópicas

tienen efectos directos en los ecosistemas terrestres e incrementan la vulnerabilidad de los mismos ante las consecuencias del cambio climático (Young, Young & Josse 2011). Todo esto hace que el tema de cambio de uso y de cobertura del suelo tenga relevancia regional, nacional y global (Bäuerle et al. 2011). Las técnicas de teledetección se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial que en conjunto con los sistemas de información geográfica (SIG) constituye uno de las mayores aportes dentro del campo de la geografía y la cartografía. Sin embargo, Curalota et al. (2015) concluyeron que los análisis espaciales-explícitos de las fuerzas impulsoras de los cambios de uso y cobertura de los suelos del páramo ecuatoriano son limitados, a pesar que, estas pueden influenciar la toma de decisiones en el uso de la tierra en estas ecoregiones. Además, el uso de la geomática en el estudio de los cambios de uso y de cobertura del suelo de los páramos ha sido igualmente limitado (Wigmore & Gao 2014, Curatola et al. 2015) y esto se ha atribuido a la complejidad topográfica y las condiciones atmosféricas.

El objetivo de esta investigación fue identificar las transiciones que caracterizaron el cambio de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Jubal (3120-4360 msnm) en el período 1991-2011. El propósito fue identificar los ecosistemas que se han visto más amenazados y los que son más vulnerables ante las fuerzas impulsoras del cambio durante el período analizado.

Para alcanzar nuestro objetivo se generaron mapas de uso del suelo en una superficie de 4953 ha con imágenes imágenes LandSat TM+ 5 de 1991 y LandSat TM+ 7 de 2011. Identificamos la magnitud del área cubierta por páramo (Pa), bosque (Bs), cultivos (Cu), pastizales (Pz), humedales (Hu) y cuerpos de agua (CA). Analizamos los cambios en términos de ganancias y pérdidas de cobertura e identificamos transiciones sistemáticas.

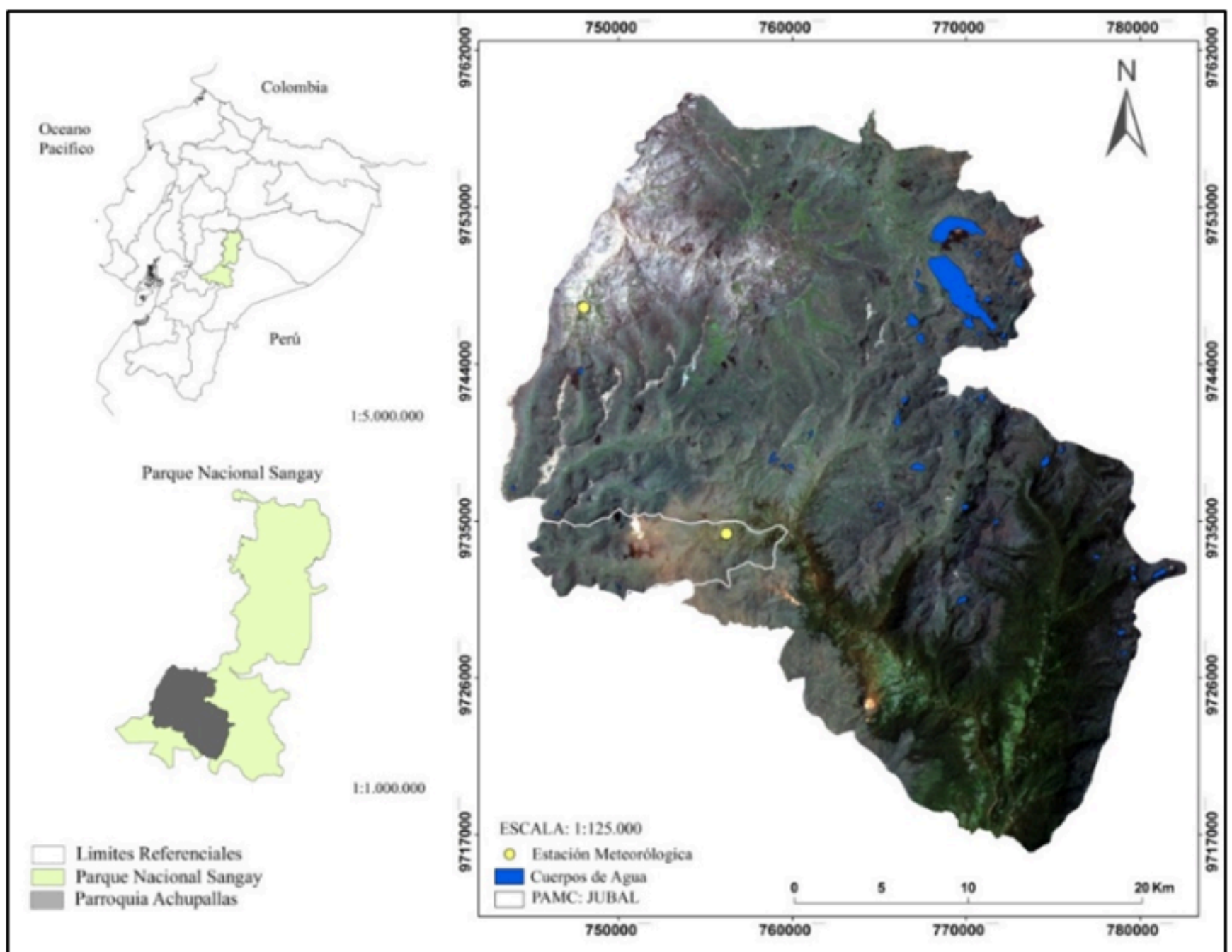
2. Metodología

2.1. Área de estudio

La parte alta de la microcuenca del río Jubal (MCJ) se encuentra ubicada en la zona Suroeste del Parque Nacional Sangay, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, Ecuador (Figura 1). Esta microcuenca está asentada en un área montañosa y escarpada donde los depósitos piroclásticos resultantes de numerosas erupciones volcánicas han generado suelos de orden andosoles con una morfología y propiedades que varían de acuerdo a la pedogénesis, edad, composición química de los materiales y condiciones meteorológicas. La MCJ exhibe un nivel de pendiente que va de inclinado (12% a 25%) a muy escarpado (50% a 90%), predominando las pendientes inclinadas (12% a 25%) con una presencia importante de pendientes mayores a 30%. Los datos obtenidos de los anuarios de la estación meteorológica (INAMHI: M5138); registran para el año 2016, una temperatura media anual de 8.2 °C, humedad relativa 85.6 % y una precipitación anual de 981 mm. El conjunto fluvial de la MCJ está formado por tributarios que alimentan al cauce principal el cual desemboca en la cuenca del río Santiago y aguas abajo confluye en los afluentes el río Amazonas (Ayala et al. 2017).

Figura 1

Mapa de ubicación de la parte alta de la microcuenca del río Jubal



2.2. Preprocesamiento de las imágenes

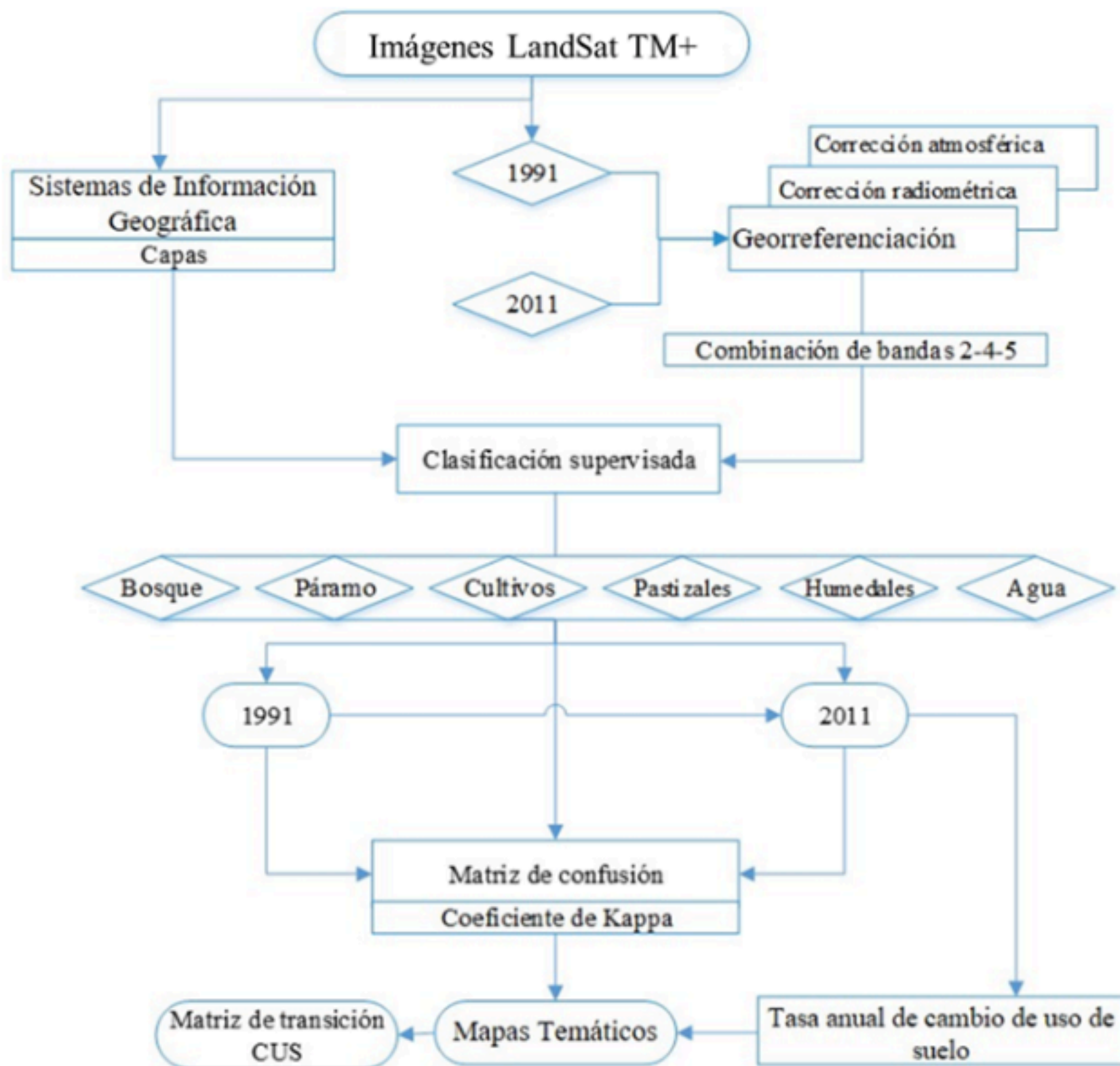
Las coberturas del suelo en los años 1991 y 2011 se evaluaron usando dos imágenes: para el 1991 se usó LandSat 5 y para el 2011 LandSat 7. Las imágenes con una resolución espacial (30x30m) fueron descargadas de la base de datos de la United State Geological Survey (USGS 2015). Las imágenes fueron procesadas mediante técnicas de percepción remota, uso de SIG y cartográfica digital de INFOPLAN, SENPLADES, IGM a escala normalizada. Las imágenes satelitales correspondieron a la escena de inicios de verano, en el mes de marzo. A todas ellas se les realizó el siguiente tratamiento: corrección radiométrica que implica la restauración de líneas o píxeles perdidos, mediante Surface-reflectance, combinación de bandas, pérdida de información de las bandas oblicuas mediante Gap Fill; corrección atmosférica que se efectúa según modelos matemáticos que integran el valor registrado de niveles de gris con los valores reales existentes del objeto sobre el terreno (proceso de calibración) mediante LEDAPS, y corrección geométrica que modifica la geometría de los píxeles, ajustándolos normalmente a un sistema geométrico dado, la cual se realizó mediante Georeferenced/Projecting images in the 17S UTM Datum WGS 84 (Masek et al. 2006). La georreferenciación de la imagen se realizó con la ayuda de cartas topográficas georreferenciadas PSAD-56 suministradas por el Instituto Geográfico Militar Ecuatoriano (IGM 1968). Esta actividad involucró la identificación de puntos de referencia o "control" geográfico.

2.3. Clasificación supervisada

Se realizó un recorrido de campo para definir y localizar los sitios más representativos. Se obtuvieron puntos de control del lugar, con un posicionador geográfico (GPS de alta precisión), para así validar el análisis visual de las imágenes. Para la generación de mapas

de uso del suelo se usó la clasificación supervisada y el algoritmo de máxima verosimilitud. El proceso se desarrolló en dos fases: la primera es la del aprendizaje, donde se realiza el retrato espectral de cada categoría, con la construcción de "sitios de entrenamiento" localizados en la imagen y luego la construcción de las categorías de cobertura: Pa, Bs, Cu, Pz, Hm y Ca, para así, generar mapas de uso de suelo dentro de una superficie de 4953 ha correspondiente a los años 1991 y 2011. En la segunda fase, se calcula para cada pixel en la imagen, la probabilidad de pertenecer a cada categoría de uso en base a su respuesta espectral. El pixel se asigna a la clase con la al exhibe mayor probabilidad de pertenecer. En la Figura 2 se ilustra el flujo de trabajo y actividades realizadas en el proceso de clasificación supervisada de las imágenes Landsat ETM+ de los años 1991- 2011.

Figura 2
Flujo de trabajo y actividades en el proceso de clasificación supervisada de imágenes Landsat ETM+ de los años 1991 - 2011.



2.4. Validación de resultados

La incertidumbre en la clasificación supervisada se calculó mediante la comparación de los resultados obtenidos y un muestreo aleatorio estratificado, para lo cual se seleccionaron 210 píxeles para la validación con un 95% de confianza. La validación fue realizada mediante una matriz de confusión, con la que se evaluó la incertidumbre de la clasificación, situando en las filas las clases o categorías obtenidas en el mapa y en las columnas las mismas clases con

datos reales del terreno o campo. La precisión general Overall Accuracy (OA) se evaluó dividiendo el número de píxeles clasificados correctamente entre el total de lugares de referencia (Berlanga et al. 2010). Otra prueba estadística complementaria que se empleó fue el coeficiente de Kappa (K), el cual es una medida de concordancia entre los valores observados y los valores estimados, para su cálculo se utilizaron los valores de la diagonal de cada una de las matrices de confusión generadas (Perea et al. 2009).

2.5. Análisis de transiciones sistemáticas

En el análisis de las transiciones en el cambio de uso seguimos a Pontius et al. (2004), el análisis se inicia con la tabulación cruzada de la información correspondiente a los dos mapas. Esta tabulación toma forma en una matriz de proporciones donde las filas corresponden con la información de 1991 y las columnas con la información del 2011. La suma de todos los valores en la fila i conduce al total representado como P_{i+} y la suma de los valores en la columna j conduce al total representado como P_{+j} . Los valores fuera de la diagonal se representan como P_{ij} y denotan la proporción de suelo que experimenta una transición de la categoría i a la categoría j . Los números en la diagonal de la matriz (P_{jj}) denotan la proporción de suelo que persiste en la categoría j . La última fila de la matriz representa las ganancias ($G_j = P_{+j} - P_{jj}$), mientras que las pérdidas ($L_i = P_{i+} - P_{ii}$) se representan en una columna. En el análisis de las transiciones, consideramos cuatro números: el primero, representa el valor de P_{ij} ; el segundo representa la ganancia que se puede esperar en cada categoría si ésta ocurriera de manera aleatoria, y se calcula con la expresión representada en la ecuación (1), asumiendo que la ganancia en cada categoría y la proporción correspondiente permanecen constantes; el tercer número resulta de substraer el primer número del segundo ($P_{ij} - G_{ij}$), y el cuarto número resulta de dividir el tercer entre el segundo número $(P_{ij} - G_{ij})/G_{ij}$.

De manera similar, en el análisis de las transiciones en términos de las pérdidas, consideramos cuatro números: el primero representa el valor de P_{ij} ; el segundo representa la pérdida que se puede esperar en cada categoría si ésta ocurriera de manera aleatoria y se calcula con la expresión representada en la ecuación (2), asumiendo que la pérdida en cada categoría y la proporción correspondiente permanecen constantes; el tercer número resulta de substraer el primer número del segundo ($P_{ij} - L_{ij}$), y el cuarto número resulta de dividir el tercer entre el segundo número $(P_{ij} - L_{ij})/L_{ij}$.

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

$$L_{ij} = (P_{i+} - P_{ii}) \left(\frac{P_{+j}}{\sum_{i=1, j \neq i}^J P_{+j}} \right) \quad (2)$$

Finalmente, para interpretar las transiciones en términos de ganancias, consideramos el signo de $(P_{ij} - G_{ij})$ y el signo de $(P_{ij} - G_{ij})/G_{ij}$. Si ambos son positivos entonces se dice que la categoría en la columna gana y que ésta reemplaza la categoría en la fila. Si ambos signos son negativos, se dice que la categoría en la columna gana y que ésta *no* reemplaza la categoría en la fila. De manera similar, en términos de las pérdidas, consideramos el signo de $(P_{ij} - L_{ij})$ y el signo de $(P_{ij} - L_{ij})/L_{ij}$. Si ambos son positivos entonces se dice que la categoría en la fila pierde y que la categoría en la columna reemplaza la categoría en la fila. Si ambos signos son negativos, se dice que la categoría en la fila pierde y que la categoría en la columna *no* reemplaza la categoría en la fila.

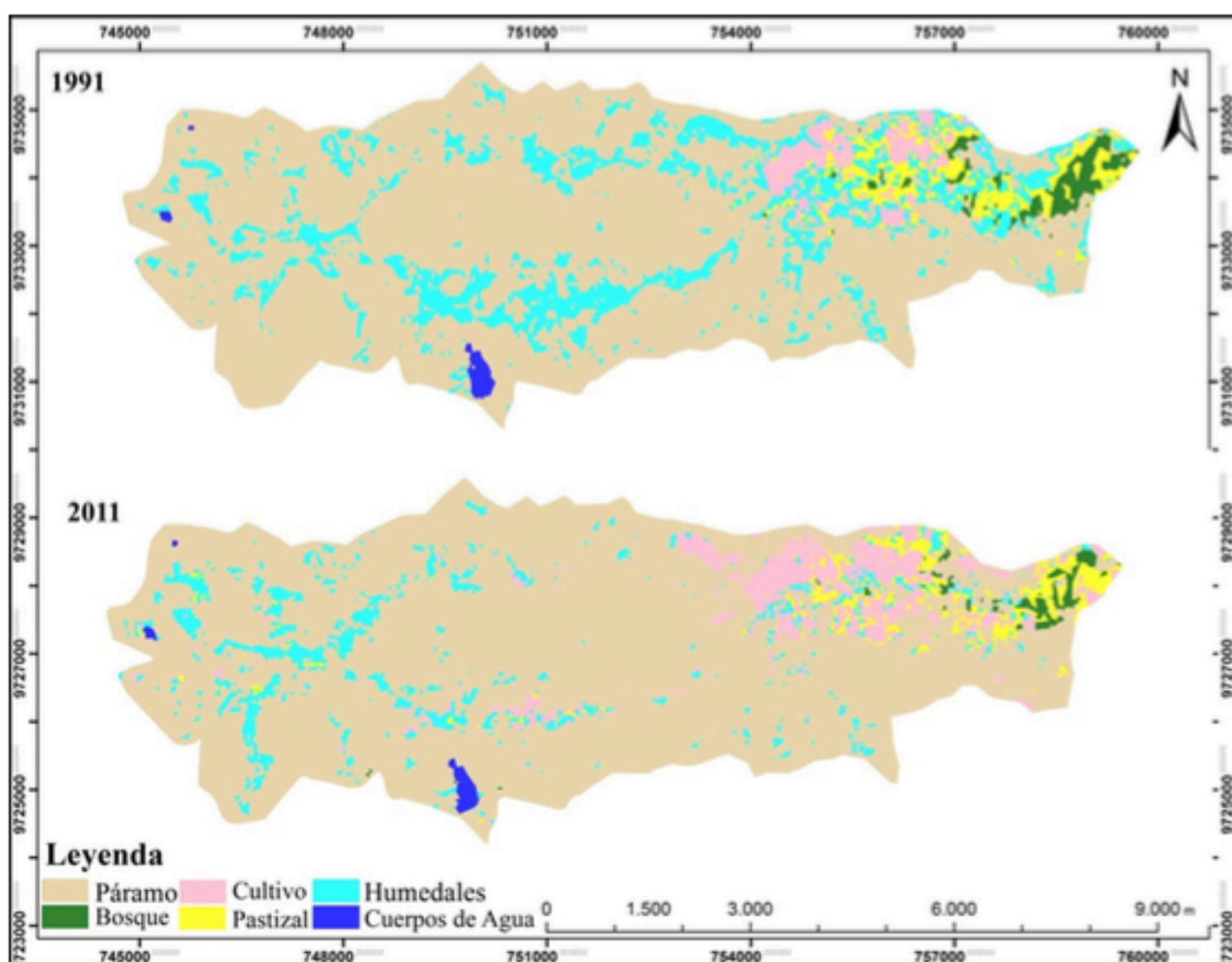
3. Resultados

El análisis de cambios de cobertura y uso del suelo se muestra en la Tabla 1. El análisis de coberturas en el año de 1991, revela que la cobertura vegetal que mayor área ocupa es la de Pa (3741 ha) aproximadamente un 75.5 % del área total estudiada. El Pa se encuentra distribuido en toda la cadena montañosa que entrecruza la parte alta de la microcuenca. Siguen en importancia los Hu alto andinos con 774.6 ha (15.6 % del área total). Los Hu, de acuerdo a la Convención Ramsar, son ecosistemas vulnerables que juegan un papel fundamental en la dinámica hidrológica, cultural, ecológica y socioeconómica de la región andina (Valencia & Figueroa 2015). El Pz ocupa 190.1 ha (3.8 %), está distribuido de forma dispersa en toda el área de estudio. Las áreas de cultivo ocuparon 145.6 ha (2.9 %). Las clases que menor cobertura exhiben son Bs con 78.9 ha (1.6 %) y CA 22.8 ha (0.5 %).

El análisis de uso del suelo para el año 2011 refleja que el Pa se mantiene como cobertura predominante, cubriendo una superficie de 3566.6 ha (72 %). Le siguen en importancia, las áreas de Cu que cubre 541.4 ha (10.93 %); los Pz que cubre 461.4 ha (9.32 %) y los Hu con 321.5 ha (6.49 %). Las clases con coberturas "pequeñas" fueron los Bs con 41.2 ha (0.83 %) y los CA con una superficie de 21 ha (0.42 %), como se muestra en la Figura 3 y en la Tabla 1.

Figura 3

Mapa de la cobertura del suelo en los años 1991 y 2011 en la parte alta de la microcuenca Jubal



En la Tabla 1, se observa que en el período evaluado (1991-2011), el Pa, Bs y Hu perdieron en cobertura 8.7, 1.9 y 22.7 ha/año, respectivamente. Mientras que los Cu y Pz ganaron en cobertura 19.8 y 13.6 ha/año, respectivamente. Siendo las áreas cultivadas y los pastizales los que exhibieron la mayor tasa porcentual de cambio de su cobertura (+13.59 % y +7.14 %). Mientras que las mayores pérdidas relativas al año la experimentaron los humedales y los bosques (-2.93 % y -2.39 %).

Tabla 1

Evolución de la cobertura y uso del suelo entre 1991 y 2011.

| Categoría | 1991 | | 2011 | | Cambios de la superficie (ha) | Tasa anual de cambio (ha/año) | Tasa anual de cambio (%/año) |
|-----------------|--------|-------|--------|-------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | ha | % | ha | % | | | |
| Páramo | 3741.0 | 75.5 | 3566.6 | 72.0 | -174.4 | -8.7 | -0.23 |
| Bosque | 78.9 | 1.6 | 41.2 | 0.83 | -37.7 | -1.9 | -2.39 |
| Humedales | 774.6 | 15.6 | 321.5 | 6.49 | -453.1 | -22.7 | -2.93 |
| Cultivo | 145.6 | 2.9 | 541.4 | 10.93 | +395.8 | +19.8 | +13.59 |
| Pastizal | 190.1 | 3.8 | 461.4 | 9.32 | +271.3 | +13.6 | +7.14 |
| Cuerpos de agua | 22.8 | 0.5 | 20.9 | 0.42 | -0.08 | -0.004 | -0.02 |
| | 4953.0 | 100.0 | 4953.0 | 100 | | | |

En la Tabla 2 se muestra la matriz de confusión que sirvió para evaluar la incertidumbre en el proceso de clasificación supervisada. En general la clasificación en el año 1991 y 2011 se realizó con una precisión del 89.4%. Estos resultados concuerdan con los encontrados por (Perea et al. 2009) y (Osuna et al. 2015), quienes obtuvieron una precisión de 93%, y sugiere que estos valores de precisión se deben a que el algoritmo de máxima verosimilitud se basa únicamente en la información espectral de cada píxel y no tiene capacidad para identificar formas. El valor del índice de Kappa fue 0.87 para las clasificaciones de 1991 y 2011 respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2

Matriz de confusión para evaluar la incertidumbre de la clasificación de las clases temáticas del año 2011

| | | PIXELES CLASIFICADOS | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------------|--------|---------|------------|-----------|-----------------|
| | | Páramo | Bosque | Cultivo | Pastizales | Humedales | Cuerpos de agua |
| DATOS REFERENCIA | CLASES | | | | | | |
| | Páramo | 30 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | Bosque | 0 | 28 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| | Cultivo | 1 | 1 | 32 | 0 | 3 | 2 |
| | Pastizales | 0 | 0 | 0 | 27 | 1 | 0 |
| | Humedales | 5 | 0 | 0 | 1 | 31 | 0 |
| | Cuerpos de agua | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 30 |
| | Total | 36 | 30 | 32 | 33 | 35 | 34 |

Exac. General (%) = 89,4

Kappa = 0,87

El obtener un índice Kappa mayor a 0.81 significa que existe una buena correspondencia entre los usos de suelo asignados (Viera & Garrett 2005), por lo que las clasificaciones de los mapas pueden ser aceptadas como una buena aproximación a las condiciones reales, permitiendo de esta forma generar una figura que resume las tendencias en los cambios de uso del suelo ocurridos en el área de estudio (Figura 3).

3.1. Análisis de transiciones

En la Tabla 3 se muestra la matriz de tabulación cruzada con los valores expresados en puntos porcentuales del área total, donde las filas y columnas representan las pérdidas y ganancias que se ha producido por cambios de cobertura y uso del suelo, los datos generados en la Tabla 3 son usados para calcular las transiciones sistemáticas en términos de ganancias y pérdidas).

Tabla 3

Matriz de tabulación cruzada de los mapas correspondientes a 1991 (filas) y 2011 (columnas). Valores expresados como una proporción del área total (4953 ha).

| | Pa | Bs | Cu | Pz | Hu | CA | Total 1991 | Pérdidas |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| Pa | 0.7305 | 0.004 | 0.0056 | 0.0026 | 0.0228 | 0.0002 | 0.7621 | 0.0315 |
| Bs | 0.0030 | 0.0060 | 0.0004 | 0.0060 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0157 | 0.0097 |
| Cu | 0.0006 | 0.0000 | 0.0253 | 0.0026 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0291 | 0.0038 |
| Pz | 0.0058 | 0.0017 | 0.0155 | 0.0131 | 0.0027 | 0.0000 | 0.0387 | 0.0256 |
| Hu | 0.0823 | 0.0004 | 0.0215 | 0.0082 | 0.0375 | 0.0000 | 0.1499 | 0.1124 |
| CA | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0041 | 0.0047 | 0.0006 |
| Total 2011 | 0.8227 | 0.0085 | 0.0682 | 0.0324 | 0.0640 | 0.0042 | 1.0000 | |
| Ganancias | 0.0921 | 0.0025 | 0.0429 | 0.0193 | 0.0265 | 0.0002 | | |

Pa (Páramo), Bs (Bosque), Cu (Cultivos), Pz (Pastizales), Hu (Humedales), CA (Cuerpos de Agua)

Las transiciones en términos de ganancias se muestran en la Tabla 4. Las transiciones más significativas son las que ocurren cuando el Cu gana cobertura y reemplaza al Pz y al Hu, la otra transición importante es cuando el Pz gana cobertura y reemplaza al Bs, Cu y al Hu. Los procesos de transición en términos de ganancias sugieren un avance de la frontera agropecuaria, siendo el más significativo el que representa el reemplazo de Hu por Pz.

Tabla 4

Análisis de los porcentajes de cambio en términos de ganancias (Pontius et al. 2004). Observe que cada segmento de columna a la izquierda tiene cuatro números. El primero se encuentra en la parte superior del segmento y representa el porcentaje de la cobertura en el 2011. El segundo número del segmento se encuentra inmediatamente debajo del primero y representa el porcentaje de suelo que se puede esperar si el proceso de cambio fuese aleatorio. El tercer número resulta de restar los dos números anteriores, y el cuarto número es el resultado de dividir el tercer número entre el segundo número en el segmento de columna. Las transiciones sistemáticas se ilustran en la porción derecha de la matriz, destacando los que mayores cambios han sufrido. "Bs-G; Bs-NR-Pa" se lee si "bosque gana; bosque no reemplaza páramo".

| | Pa | Bs | Cu | Pz | Hu | CA | | Pa | Bs | Cu | Pz | Hu | CA |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| Pa | 73.05 | 0.04 | 0.56 | 0.26 | 2.28 | 0.02 | | | | | | | |
| | 15.97 | 0.20 | 3.37 | 1.53 | 8.26 | 0.01 | | | | | | | |
| | | -0.15 | -2.81 | -1.27 | -5.98 | | | | Bs-G | Cu-G | Pz-G | Hu-G | |
| | | -0.78 | -0.83 | -0.83 | -0.72 | | | | Bs-NR-Pa | Cu-NR-Pa | Pz-NR-Pa | Hu-NR-Pa | |
| Bs | 0.30 | 0.60 | 0.04 | 0.60 | 0.03 | 0.00 | | | | | | | |
| | 0.61 | 7.49 | 0.07 | 0.03 | 0.05 | 0.00 | | | | | | | |
| | -0.31 | | -0.03 | 0.56 | -0.02 | | | Pa-G | | Cu-G | Pz-G | Hu-G | |
| | -0.51 | | -0.38 | 18.00 | -0.36 | | | Pa-NR-Bs | | Cu-NR-Bs | Pz-R-Bs | Hu-NR-Bs | |
| Cu | 0.06 | 0.00 | 2.53 | 0.26 | 0.06 | 0.00 | | | | | | | |
| | 1.13 | 0.01 | 14.14 | 0.06 | 0.08 | 0.00 | | | | | | | |
| | -1.06 | -0.01 | | 0.20 | -0.02 | | | Pa-G | Bs-G | | Pz-G | Hu-G | |
| | -0.95 | -0.76 | | 3.39 | -0.22 | | | Pa-NR-Cu | Bs-NR-Cu | | Pz-R-Cu | Hu-NR-Cu | |
| Pz | 0.58 | 0.17 | 1.55 | 1.31 | 0.27 | 0.00 | | | | | | | |
| | 1.50 | 0.01 | 0.17 | 8.65 | 0.13 | 0.00 | | | | | | | |
| | -0.92 | 0.16 | 1.37 | | 0.14 | | | Pa-G | Bs-G | Cu-G | | Hu-G | |
| | -0.61 | 15.61 | 8.03 | | 1.10 | | | Pa-NR-Pz | Bs-R-Pz | Cu-R-Pz | | Hu-R-Pz | |
| Hu | 8.23 | 0.04 | 2.15 | 0.82 | 3.75 | 0.00 | | | | | | | |
| | 5.80 | 0.04 | 0.66 | 0.30 | 4.16 | 0.00 | | | | | | | |
| | 2.43 | | 1.48 | 0.52 | | | | Pa-G | | Cu-G | Pz-G | | |
| | 0.42 | | 2.24 | 1.72 | | | | Pa-R-Hu | | Cu-R-Hu | Pz-R-Hu | | |
| CA | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.41 | | | | | | | |
| | 5.80 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 14.48 | | | | | | | |
| | -5.76 | | | | | | | | | | | | |
| | -0.99 | | | | | | | Pa-G | | | | | |
| | | | | | | | Pa-NR-CA | | | | | | |

Pa (Páramo), Bs (Bosque), Cu (Cultivos), Pz (Pastizales), Hu (Humedales), CA (Cuerpos de Agua).

En la Tabla 5 se muestra el análisis de transiciones sistemáticas en términos de pérdidas. Se observa que cuando el Pa pierde cobertura éste es reemplazado por Cu, cuando el Bs pierde cobertura éste es reemplazado por Pz y cuando el Hu pierde cobertura éste es reemplazado por Cu y Pz. Así, las pérdidas de los bosques y los páramos ocurren a costa de las zonas de ganadería y agricultura.

Tabla 5

Análisis de los porcentajes de cambio en términos de pérdidas (Pontius et al. 2004). Observe que cada segmento de

columna a la izquierda tiene cuatro números. El primero se encuentra en la parte superior del segmento y representa el porcentaje de la cobertura en el 2011. El segundo número del segmento se encuentra inmediatamente debajo del primero y representa el porcentaje de suelo que se puede esperar si el proceso de cambio fuese aleatorio. El tercer número resulta de restar los dos números anteriores y el cuarto número es el resultado de dividir el tercer número entre el segundo número en el segmento. Las transiciones sistemáticas se ilustran en la porción derecha de la matriz, destacando los que mayores cambios han sufrido. "Bs-P; Pa-R-Bs" se lee "si bosque pierde; páramo reemplaza bosque".

| | Pa | Bs | Cu | Pz | Hu | CA |
|----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Pa | 73.05 | 0.04 | 0.56 | 0.26 | 2.28 | 0.02 |
| | 15.97 | 0.75 | 0.30 | 2.03 | 10.07 | 0.05 |
| | -0.71 | 0.26 | -1.77 | -7.79 | | |
| | -0.94 | 0.86 | -0.87 | -0.77 | | |
| Bs | 0.30 | 0.60 | 0.04 | 0.60 | 0.03 | 0.00 |
| | 0.21 | 7.49 | 0.01 | 0.04 | 0.21 | 0.00 |
| | 0.09 | | 0.04 | 0.55 | -0.18 | |
| | 0.45 | | 5.94 | 13.31 | -0.85 | |
| Cu | 0.06 | 0.00 | 2.53 | 0.26 | 0.06 | 0.00 |
| | 0.39 | 0.03 | 14.14 | 0.08 | 0.38 | 0.00 |
| | -0.32 | -0.03 | | 0.18 | -0.32 | |
| | -0.84 | -0.94 | | 2.30 | -0.84 | |
| Pz | 0.58 | 0.17 | 1.55 | 1.31 | 0.27 | 0.00 |
| | 0.51 | 0.04 | 0.02 | 8.65 | 0.54 | 0.00 |
| | 0.07 | 0.13 | 1.53 | | -0.27 | |
| | 0.13 | 3.35 | 100.57 | | -0.50 | |
| Hu | 8.23 | 0.04 | 2.15 | 0.82 | 3.75 | 0.00 |
| | 1.99 | 0.15 | 0.06 | 0.40 | 4.16 | 0.01 |
| | 6.24 | -0.10 | 2.09 | 0.42 | | |
| | 3.14 | -0.71 | 35.41 | 1.05 | | |
| CA | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.41 |
| | 1.99 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.06 | 14.48 |
| | -1.94 | | | | | |
| | -0.98 | | | | | |

| Pa | Bs | Cu | Pz | Hu | CA |
|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|----|
| Pa-L Bs-NR-Pa | | Pa-P Cu-R-Pa | Pa-P Pz-NR-Pa | Pa-P Hu-NR-Pa | |
| Bs-P Pa-R-Bs | | Bs-P Cu-R-Bs | Bs-P Pz-R-Bs | Bs-P Hu-NR-Bs | |
| Cu-P Pa-NR-Cu | Cu-P Bs-NR-Cu | | Cu-P Pz-R-Cu | Cu-P Hu-NR-Cu | |
| Pz-P Pa-R-Pz | Pz-P Bs-R-Pz | Pz-P Cu-R-Pz | | Pz-P Hu-NR-Pz | |
| Hu-P Pa-R-Hu | Hu-P Bs-NR-Hu | Hu-P Cu-R-Hu | Hu-P Pz-R-Hu | | |
| CA-P Pa-R-CA | | | | | |

Pa (Páramo), Bs (Bosque), Cu (Cultivos), Pz (Pastizales), Hu (Humedales), CA (Cuerpos de Agua).

4. Conclusiones

El uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Jubal cambiaron considerablemente desde 1991 al 2011. Estos cambios han sido dominados por el remplazo de páramo por cultivos y, humedales por cultivos y pastizales. Mientras que si el bosque pierde cobertura, éste es remplazado por pastizales (deforestación). En términos de ganancias, el cultivo incrementa su cobertura remplazando al pastizal y al humedal. El pastizal reemplaza al bosque (deforestación), al cultivo y al humedal. Mientras que en menor medida el bosque reemplaza al pastizal (reforestación). Los resultados sugieren que la principal fuerza impulsora de los cambios de uso y cobertura en la microcuenca del río Jubal son la ganadería y la agricultura. De hecho, estas son las actividades de subsistencia más importantes en la parte Este de la microcuenca. Pues la tasa de cambio anual de las áreas cultivadas y de los pastizales fue de +19.3 ha/año y +13.6 ha/año, respectivamente. Es evidente que aspectos socio-económicos y políticos están condicionando la dinámica de los cambios de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Jubal.

El ecosistema que se ha visto más amenazado y que es más vulnerable ante las fuerzas impulsoras del cambio fue el ecosistema de los humedales, con una tasa de cambio anual de -22.7 ha/año y una tasa porcentual de cambio anual de -2.93 % de su superficie/año. Lo que se significa que en 20 años ha perdido aproximadamente el 60 % de su superficie y que de prevalecer esta tendencia para el 2018 habría perdido el 80 % de su superficie. Este resultado sugiere que el servicio ecosistémico que ofrece microcuenca del río Jubal como proveedora y reguladora de servicios hídricos está siendo seriamente amenazado.

Los resultados de este trabajo son de utilidad para futuros planes de ordenamiento territorial y en la planeación de estrategias para la conservación de los recursos naturales de la microcuenca del río Jubal perteneciente al Parque Nacional Sangay.

Referencias bibliográficas

Ayala-Izurieta, J. E., Márquez, C. O., García, V. J., Recalde-Moreno, C. G., Rodríguez-Llerena,

M. V., & Damián-Carrión, D. A. (2017). Land cover classification in an ecuadorian mountain geosystem using a random forest classifier, spectral vegetation indices, and ancillary geographic data. *Geosciences*, 7(2), 34.

Bäuerle, M. V., Arriagada González, J., Castro Correa, C. P., Maerker, M., & Rodolfi, G. (2011). Relación entre el cambio de uso del suelo en la cuenca del Aconcagua y su litoral arenoso correlativo: Chile central. *Revista de geografía Norte Grande*, (50), 187-202.

Curatola Fernández, G. F., Obermeier, W. A., Gerique, A., López Sandoval, M. F., Lehnert, L. W., Thies, B., & Bendix, J. (2015). Land cover change in the Andes of Southern Ecuador—Patterns and drivers. *Remote Sensing*, 7(3), 2509-2542.

Instituto Geográfico Militar 1968. <http://www.igm.gob.ec/index.php/en/>

Masek, J. G., Vermote, E. F., Saleous, N. E., Wolfe, R., Hall, F. G., Huemmrich, K. F., ... & Lim, T. K. (2006). A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(1), 68-72.

Osuna-Osuna, A. K., De Jesús Díaz-Torres, J., De Anda-Sánchez, J., Villegas-García, E., Gallardo-Valdez, J., & Davila-Vazquez, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 10(2).

Perea, A. J., Meroño, J. E., & Aguilera, M. J. (2009). Application of Numenta® Hierarchical Temporal Memory for land-use classification. *South African Journal of Science*, 105(9-10), 370-375

Pontius Jr, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2-3), 251-268.

USGS (United States Geological Survey). Landsat Surface Reflectance High Level Data Products. (2015). Available online: http://landsat.usgs.gov/documents/cdr_sr_product_guide.pdf

Valencia Rojas, M. P., & Figueroa Casas, A. (2015). Vulnerabilidad de humedales altoandinos ante procesos de cambio: tendencias del análisis. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 29-42

Viera A. J., & J.M. Garrett. 2005. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam Med*, 37(5), 360-363.

Wigmore, O., & Gao, J. (2014). Spatiotemporal dynamics of a páramo ecosystem in the northern Ecuadorian Andes 1988–2007. *Journal of Mountain Science*, 11(3), 708-716.

Young, B., Young, K. R., & Josse, C. (2011). Vulnerability of tropical Andean ecosystems to climate change. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. SCOPE, IAI, 170-181.

1. MSc en Forestry. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Chimborazo. diardamian@outlook.com

2. PhD en Forest Biology. Universidad Nacional e Chimborazo. cmarquez@unach.edu.ec

3. PhD en Ciencias e Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Chimborazo. vgarcia@unach.edu

4. MSc en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional. marviny_rodriguez@yahoo.es.

5. PhD en Ciencias Técnicas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. crecalde@unach.edu.ec

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 39 (Nº 32) Año 2018

[Índice]

[En caso de encontrar un error en esta página notificar a [webmaster](#)]