

## **DINAMICA DEL USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO CASTÁN, TRUJILLO – VENEZUELA. 1996-2001**

### **DYNAMICS OF THE USE OF THE EARTH IN THE BASIN OF THE CASTÁN RIVER, TRUJILLO. VENEZUELA. 1996-2001**

**Francisco Valera<sup>1</sup> y Ana Castellano<sup>2</sup>**

Universidad de Los Andes, Núcleo Universitario “Rafael Rangel”,  
Departamento de Ingeniería

[franciscobricenov@gmail.com](mailto:franciscobricenov@gmail.com), [franshe@ula.ve](mailto:franshe@ula.ve), [2anagcare@hotmail.com](mailto:2anagcare@hotmail.com).

#### **Resumen**

El desarrollo de un territorio depende de cómo se usan los recursos naturales del mismo, lo cual hace necesario conocer las formas de aprovechamiento y las tendencias de ocupación del espacio. En el presente trabajo, se realizó un análisis del uso de la tierra y sus variaciones entre los años 1996 y 2001 en la cuenca del Río Castán del estado Trujillo. La metodología utilizada se basa en la utilización de datos de teledetección, para la elaboración de mapas temáticos de uso de la tierra con imágenes de satélite de los años 1996 y 2001. El análisis de la dinámica de cambios de usos, se realizó a partir de la interpretación de las variaciones que se pueden dar en una parcela específica, explicadas mediante un proceso estocástico utilizando una cadena de Markov de primer orden con el software Idrisi 32, que facilitó la elaboración de la matriz de transición a partir de la matriz de conteo, que se genera de la tabulación cruzada de los mapas temáticos de uso de la tierra. Con la matriz de transición se genera la matriz de probabilidades condicionales que aporta información sobre las tendencias de los cambios de uso. Como resultado, se evidencia la falta de un plan de ordenación del territorio que permita regular los procesos de intervención mediante una coordinación interinstitucional que revierta la tendencia de cambios a que esta sometida la cobertura de bosques, la cual muestra, de continuar la intervención con las mismas formas que se han dado en el periodo analizado, una predisposición de cambios hacia matorrales, pastizales o cultivos, la cual ya esta generando efectos negativos directos sobre los recursos suelo y agua.

Palabras clave: Uso de la Tierra; Teledetección; SIG; Probabilidades, Cadena de Markov

#### **Abstract**

The development of a territory depends on how its own natural resources are being used. This makes it necessary to know the forms of land production and trends in the area of utilization. In the following work, an analysis was conducted of the land usage and its variations between 1996 through 2001 in the Castan River basin. Remote sensing information was used to create thematic maps with satellite images of 1996 through 2001 land use data. The dynamic of changes was analyzed and explained for a specific field plot. A stochastic process was conducted using a first order Markov chain with the Idrisi 32 software. This process allowed creating a transition matrix from a count matrix which was generated from cross tabulation of land use maps. The transition matrix generates an array of conditional probabilities that give information on trends of the usage changes. Results indicate lack of

territorial ordination plans which could regulate intervention processes through an inter-institutional coordination that could reverse change trends in forest coverage. That trend shows a predisposition to change towards shrub-land, grassland or crop fields if the ways of intervention remain the same as the analyzed period. This scenario generates direct and negative effects on soil and water resources.

Key words: Land use; Remote sensing; GIS; Probabilities, Markov chain.

**Recibido: 05-02-10 / Aprobado: 30-06-10**

## INTRODUCCIÓN

La planificación del desarrollo en un territorio depende, entre otros factores, del adecuado conocimiento de las potencialidades productivas del mismo. Este conocimiento, está basado en estudios que faciliten información cualicuantitativa sobre la situación de los recursos naturales y sobre el uso a que están siendo sometidos éstos, todo en conjunto dentro de las investigaciones integradas, de utilidad para la formulación de los planes de ordenación del espacio y donde el análisis del uso de la tierra y los cambios que en ésta tienen lugar son de interés para numerosas ramas del conocimiento, ya que, proporcionan información útil para la formulación de planes, programas y proyectos en las instituciones responsables de la ordenación y organización del territorio y el manejo de los recursos naturales.

En los estudios de uso de la tierra, la utilización de tecnologías relacionadas con el procesamiento digital de imágenes de satélites, cartografía digital y Sistemas de Información Geográfica (SIG), resultan ser herramientas de gran valor, puesto que permiten relacionar en conjunto información georeferenciada, facilitando una visión integradora de la realidad. Siendo esto útil, en el análisis de los factores que potencian o limitan los usos y actividades en un territorio determinado.

Para el caso de la cuenca del Río Castán, el conocimiento sobre el uso y cobertura de la tierra y los cambios que se están dando, es de importancia por ser esta la principal proveedora de agua para la ciudad de Trujillo - Venezuela. Por ser un territorio, que esta sometido a fuertes presiones por demanda de agua para riego de cultivos y por la ocupación de espacios con limitaciones ambientales, donde la intervención para la ampliación de la frontera agrícola, desarrollo de vías carreteras y establecimientos urbanos se ha producido en forma incontrolada, sin tomar en consideración los criterios básicos de planificación y ordenación del territorio. En consecuencia, se tiene un avanzado deterioro de los recursos suelo, agua, vegetación, fauna y paisajismo en un territorio que por su génesis presenta severas limitaciones ambientales, básicamente originadas por factores relacionados con pendiente topográfica.

Tomando en consideración lo anterior expuesto, en este trabajo se tiene como objetivo determinar los cambios de uso y cobertura de la tierra ocurridos entre los años 1996 – 2001 en la cuenca del Río Castán, con el propósito de identificar las tendencias del uso de la tierra, identificar los procesos de cambio de uso y generar información temática básica para la ordenación territorial de la subcuenca. Para lograr esto, se utilizó una metodología basada en la interpretación de imágenes satelitales, la aplicación de un esquema estandarizado para el levantamiento y análisis de uso de la tierra bajo un enfoque formal de cobertura y la aplicación de una matriz de transición para calcular la matriz de probabilidades condicionales, que permite visualizar la tendencia del comportamiento de los cambios de uso de la tierra.

## ANTECEDENTES.

La cuenca del Río Castán se localiza al Suroeste del estado Trujillo, en el territorio del Municipio Trujillo, forma parte de la Cuenca del Río Motatán, que a su vez corresponde a la Hoya Hidrográfica del Lago de Maracaibo. Tiene una superficie aproximada de 11.526 hectáreas, estando dentro de ella el asentamiento de la ciudad de Trujillo, capital del estado Trujillo.

Para efectos de este trabajo, la cuenca del Río Castán, se inicia entre el Páramo El Atajo y el Páramo de Ortiz, en la divisoria de aguas con la cuenca del Río Boconó. Presenta pisos altitudinales que varían desde los 3200 m.s.n.m. hasta los 570 m.s.n.m. en el sector La Plazuela, donde confluye con el Río Mocoy, luego de un recorrido de 22,3 kilómetros, atravesando un paisaje que ha sido modelado por la variabilidad bioclimática que va desde el bosque seco tropical hasta el bosque muy húmedo montano y que es condicionado por la convergencia intertropical causada por los vientos del noreste que penetran por encima de la Sierra de Jirajara, descargando parte de su humedad, y también, por la evaporación del Lago de Maracaibo, que al desplazarse hacia el sureste provoca nubosidad la cual al entrar en contacto con los fríos páramos, produce precipitaciones locales en las zonas centrales del estado Trujillo (Hernández, 1988).

Las precipitaciones en la cuenca del Castán están concentradas en dos periodos anuales y son el resultado de la convergencia intertropical señalada, lo que hace que las lluvias sean por lo general intensas y productoras de significativo escurrimiento e infiltración. Tales procesos se evidencian, en superficies con presencia de saprolitos, lo cual unido a las fuertes pendientes, con intervención y ocupación urbana-semiurbana del área, se expresa en una cobertura vegetal muy rala y una fuerte canalización del escurrimiento, lo que hace al área de la ciudad de Trujillo y sus alrededores susceptible a problemas de deslizamientos de los tipos: caídas/ volcamiento de rocas o derrumbes; flujos de detritos; deslizamientos trasnacionales y rotacionales, (Roa, 2007)

Las formaciones geológicas presentes en la zona, corresponden al Precámbrico y a los periodos Carbonífero, Triásico, Jurásico, Cretáceo medio inferior y superior hasta lo más reciente del Pleistoceno. (Albornoz, 1993). Igualmente, el territorio de la cuenca del Río Castán este influenciado por la cercanía a las zonas de fallas que se localizan en el sector Árbol Redondo, que junto con las fallas de Trujillo y El Zamuro, han sido probablemente las responsables de la gran actividad sísmica que históricamente ha afectado toda la región.

Como unidad rocosa predominante en el área de estudio se reconocen las filitas, filitas pizarrosas, cuarcitas y metalimonitas de la Formación Mucuchachí (Paleozoico Superior), PDVSA – Intevep (1997), que presenta una secuencia plegada y de moderada a débilmente meteorizada, que unido a los altos valores de pendiente, característico de la región natural del páramo de Trujillo, donde predomina un sistema de relieve masivo y en menor proporción periglaciario, se tiende a desarrollar deslizamientos. Por lo demás, es altamente susceptible a generar sistemas de cárcavas y presentar una alta vulnerabilidad al escurrimiento superficial, lo que contribuye al aporte de significativos volúmenes de sedimentos en los cauces y que hace a la mayor parte del territorio con condiciones de inestabilidad. Dentro de la cuenca del Río Castán, la ciudad de Trujillo tiene susceptibilidad a deslizamientos por causas o factores pasivos relacionados con agentes geológicos/litológicos y de pendiente topográfica. Es así que dada la esquistosidad y buzamiento de las unidades litológicas, favorables a la meteorización química y mecánica, se determina en gran medida la existencia de un saprolito propenso a la inestabilidad, (Ferrer, 1984)

Por otra parte, el área de estudio presenta suelos medianamente desarrollados de texturas en su mayoría francas, pH ácido, mediano contenido de nutrientes y de mediana a baja fertilidad natural. Los mismo, se ubican entre las capacidades de uso agrícola de clase V, VI y VII, poseen potencialidades aptas para la producción de cultivos especiales tales como café en sotobosque, plantas ornamentales y frutales aplicándose un manejo apropiado de suelos y aguas. Asimismo, pueden ser utilizados con pastos y bosques. La clase VIII se encuentra en las zonas montañosas de la subcuenca, pero aún cuando debe ser destinada exclusivamente para la preservación, esta sometida a procesos de intervención incontrolada con usos inapropiados para la preservación de los recursos naturales, (Barreto, 2006).

La Vegetación, es el resultado de la acción de los factores ambientales de topografía y suelos, sobre el conjunto de especies que existen en una superficie. Asimismo, esta es la que refleja y/o condiciona el microclima, la naturaleza de los suelos, la disponibilidad de agua y de nutrientes, al igual que los factores antropogénicos y de orden biótico.

En el caso de la cuenca del Río Castán, los factores mencionados determinan un tipo de clima de bosque seco Tropical (bs-T), el cual tiene una masa forestal que cubre el suelo, con dos pisos bien definidos: uno con especies que alcanzan alturas entre ocho y veinte metros, constituido básicamente por leguminosas y; un piso inferior integrado por arbustos con alturas entre 2 y 3 metros y plantas herbáceas mezcladas en forma abundante del piso superior. En forma general, esta zona de vida que llega hasta los 2400 m.s.n.m., presenta un bosque que se puede clasificar como bosque medio y bajo con diferentes niveles de cobertura y densidad, (Rojas, 2005).

El resto de la superficie de la cuenca, que va de los 2400 hasta los 3200 m.s.n.m., tiene características de bosque húmedo premontano (bh-P), la cual presenta una mayor densidad de vegetación, es siempre verde y esta unido en el piso mas alto a vegetación de páramo.

Es importante señalar que la vegetación natural en la cuenca del Castán, presenta una avanzada intervención como efecto del establecimiento de actividades económicas, la cual es crítica en superficies con fuertes pendientes. Asimismo, la tala incontrolada y los incendios forestales, en muchos casos provocados de manera intencional, consumen grandes extensiones, ocasionando daños a la flora y la fauna y contribuyendo a la degradación de suelos.

Tal situación, característica de Los Andes venezolanos, esta obligando a la necesidad de elaborar estudios que permitan lograr una visión de conjunto, tanto de las condiciones de los recursos como de sus capacidades. En este sentido, y utilizando técnicas de fotointerpretación y análisis agro-estadístico Rojas (1972) determinó las características del uso de la tierra en el medio montañoso de la cuenca de los ríos Chama y Capazón, del estado Mérida.

Igualmente, López, Pernía y Pozzobon (1996), mediante el procesamiento de imágenes de satélite y un Sistema de Información Geográfico (SIG) realizaron una evaluación del avance de las deforestaciones en la Reserva Forestal de Caparo, entre los años 1987 y 1994. Por su parte, Gutiérrez (1999), utilizando dos imágenes de satélite Landsat TM y procesamiento digital de imágenes y SIG analizó los cambios en la cobertura vegetal y uso de la tierra en la cuenca del río Mucujún en el estado Mérida, entre los años 1988 y 1996.

También, Fallas y Savitsky (1996), en un trabajo sobre uso y cobertura de la Tierra en Costa Rica con una aplicación de Teledetección Espacial, Sistemas de Información Geográfica, la integración de cartografía analógica con imágenes digitales del mapeador Temático de Landsat y un sistema de posicionamiento global (GPS), lograron hacer un mapa de usos y cobertura de la tierra con una exactitud global de clasificación del 74%, con una confusión entre pastos y bosques de un 19% y un 7,8% del área que se incluyó en una

categoría de no clasificada, usos mezclados y deforestada.

Asimismo, Bell (1974), Logsdon, et al, (1996) y Briceño (2003) han comprobado que utilizando datos de sensores remotos y análisis de cadenas de Markov, en los estudios de usos de la tierra, se logra detectar problemas asociados con el impacto espacial generado por los cambios. Asimismo, los resultados que se generan, posibilitan la elaboración de diagnósticos antes o durante el desarrollo de los eventos, facilitando la orientación del mejor uso y el diseño de políticas apropiadas a la realidad físico natural y socio-económica del territorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo, se utilizó información de imágenes de satélite Landsat TM con resolución de 30 metros, las cuales fueron procesadas con el software Idrisi 32, con apoyo en la información cartográfica en formato digital que se tiene del estado Trujillo y que fue elaborada con la misión aerofotogramétrica 0103118 del año 1996. Con el procesamiento de las imágenes de satélite, básicamente utilizando las bandas 3, 4 y 5, se logró obtener datos sobre el uso y cobertura de la tierra, en el área de la cuenca del Río Castán, lo que permitió la elaboración de mapas temáticos de clasificación por categorías de uso y cobertura de la tierra para los años 1996 y 2001. Por otra parte, el análisis de la dinámica de cambios de usos y cobertura de la tierra, se realizó a partir de la interpretación de las variaciones que puede tener el uso de la tierra en una parcela específica y su explicación mediante un proceso estocástico utilizando una cadena de Markov de primer orden.

Para este caso, se define una cadena de Markov de primer orden con el ejemplo de la (figura 1), donde se tienen tres categorías de uso de la tierra. La categoría de uso (1) puede ser un espacio natural sin intervención cubierto con bosques, en el cual el sistema puede cambiar al uso (2), un estado intervenido con actividades agrícolas o al uso (3), un estado con uso urbano, pero también se puede dar el caso de que no cambie y siga siendo bosque, uso (1). Entonces, el proceso de la dinámica de cambios se puede expresar como una serie de valores de estado del sistema: 2,3,3,1,2,1,3,2,..... $\alpha$

Si expresamos la probabilidad de un cambio de uso de  $i$  a  $j$  en un intervalo de tiempo  $(t, t+1)$  con el enunciado  $p_{ij}(t, t+1)$ , la (figura 1) muestra las posibilidades con sus propias probabilidades. A estas, se le denominan probabilidades de transición y son probabilidades condicionales, determinadas por el estado previo o estado inicial del sistema (Bell, 1974).

La matriz de probabilidades de transición expresada como  $P_{ij}$ , representa la probabilidad de moverse al estado  $j$  en el tiempo  $t+1$ , dado que el proceso está en el estado  $i$  en el tiempo  $(t)$ , Scherer (1972). Esta matriz, representa el mecanismo básico en las cadenas de Markov, y proporciona un modelo descriptivo y prospectivo para el análisis de cambios de usos de la tierra y la distribución de los mismos en un territorio definido.

Si se aplica lo anterior a una parcela específica, se tiene que la probabilidad de que esté en uso  $i=1$  en un tiempo  $(t)$ , representado por la expresión  $\pi_i(t)$ , y la probabilidad de un cambio de uso de (1) a (2), o de  $i$  a  $j$ , durante un intervalo de tiempo  $(t, t+1)$  como  $P_{ij}(t, t+1)$ , entonces la probabilidad de que esa parcela esté en una categoría de uso  $j$  en el tiempo  $(t+1)$  se representa con la expresión:

$$\pi_j(t+1) = \sum_{i=1}^n \pi_i(t) * P_{ij}(t, t+1)$$

Siendo (n) el número de categorías de uso.

Simplificando la anterior expresión, se tiene que la distribución de probabilidades de las variables aleatorias de uso de la tierra en tiempo (t+1), se puede representar con la siguiente multiplicación de matrices:

$$\pi_i(t+1) = \pi_i(t) * P(t, t+1)$$

Y además, en el presente caso, las probabilidades de transición sólo dependen del intervalo de tiempo (t, t+1), por lo que el proceso se puede considerar como temporalmente homogéneo, lo que hace que la ecuación anterior se escriba de la siguiente forma:  $\pi(t+1) = \pi(t) * P$ .

De esta manera, se tiene que el análisis de cadenas de Markov se hace mediante operaciones entre matrices. Siendo esto posible, con la utilización de un software adecuado, que permita la elaboración de la matriz de tabulación cruzada proporcional o matriz de transición a partir de la matriz de conteo, que se genera al hacer la tabulación cruzada de los datos de dos mapas temáticos de categorías de uso y cobertura de la tierra. A partir de la matriz de transición se genera la matriz de probabilidades condicionales que sirve para hacer el pronóstico de los cambios de uso dependiendo de las probabilidades de cambio que tiene cada uno de los usos o coberturas existentes en los mapas temáticos.

## RESULTADOS

El estudio se inició, elaborando la clasificación en categorías de uso y cobertura de la tierra de dos ventanas de imágenes de satélite Landsat TM, recortadas de la escena 006-054 de los años 1996 y 2001, que cubren el territorio de la cuenca del Río Castán. La definición de las categorías de uso de la tierra, se hizo con una adaptación del sistema de clasificación formal o de cobertura del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), sugerido por Anderson et al (1976), y seleccionando muestras de entrenamiento que fueron validadas con interpretaciones de fotografías aéreas de la misión aerofotogramétrica 0103118 de marzo de 1996, levantada por el Estado venezolano, a través de la Empresa Regional Sistema Hidráulico Trujillano.

Para el manejo de la información, se utilizó el software Idrisi versión 32, en el que se utilizó el algoritmo de máxima similitud, que consiste en clasificar la imagen por máxima probabilidad a partir de la información contenida en una serie de archivos de firmas espectrales, construidos con las muestras de entrenamiento. Las categorías de uso de la tierra establecidas para el caso fueron: Bosque, Matorrales, Pastizales, Cultivos y uso Urbano. Los mapas de clasificación en categorías de usos de la tierra se presentan en las (figuras 2 y 3) para los años 1996 y 2001 respectivamente.

Luego de la elaboración de los mapas de uso de la tierra para los años 1996 y 2001, se hizo la tabulación cruzada de los datos de las dos fechas, lo cual permitió el análisis multitemporal para detectar los cambios de uso. Como resultado se tiene el cuadro 1 donde se tienen los datos de las dos fechas, expresados en hectáreas para cada categoría de uso de la tierra, el cuadro 2 que presenta la matriz de conteo, donde se muestran en número de celdas (30 m) que han cambiado de acuerdo a su categoría de uso de la tierra y el cuadro 3 con la matriz de conteo expresada en hectáreas.

A continuación, utilizando los datos de la matriz de conteo (cuadro 2) y mediante una tabulación cruzada proporcional se deriva la matriz de relaciones de cambio o matriz de transición (cuadro 4), que representa las relaciones de cambio existentes entre los



diferentes usos de la tierra. Luego, a partir de la matriz de transición se calcula la matriz de probabilidades condicionales, que permite visualizar los probables cambios que se pueden dar, de mantenerse la tendencia detectada en la evolución de los usos de la tierra (Cuadro 5).

Los resultados muestran como significativo, la tendencia de cambios a que esta sometida la cobertura de bosques, la cual muestra, de continuar la intervención con las mismas formas que se dieron en el periodo analizado, una predisposición de cambios que en suma es del 39% hacia matorrales, pastizales o cultivos. Esto refleja la magnitud de la intervención en las áreas de bosque natural y que es seguro tendrá efectos negativos directos sobre los recursos suelo y agua.

Por otra parte, se observa una proporción bastante alta de cambios de áreas de pastizales a cultivos, la cual esta alrededor del 57%, que considerando los tipos de cultivo que se están promoviendo en la subcuenca, resulta ser bastante observable porque tiene la característica de ser hacia cultivos de poca cobertura y hasta cultivos limpios.

La dinámica observada se explica en la inexistencia de un plan de ordenación del territorio en la subcuenca, que sea tomado en cuenta al momento de autorizar intervenciones y de otorgar financiamientos a través de los diferentes organismos que financian la agricultura en el medio rural. Si bien, la cuenca del Río Castán desde hace bastantes años ha sido considerada por instituciones como el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales para darle un tratamiento espacial, por su significado como abastecedora de agua de la capital del estado Trujillo, no existe una coordinación interinstitucional que regule de manera coherente los procesos de intervención, que promueva reglamentos de uso y formas de aprovechamiento de recursos de manera mas eficiente.

## CONCLUSIONES

La cuenca del Río Castán esta sometida a una dinámica de cambios de uso y cobertura de la tierra que básicamente esta relacionada con la expansión de la frontera agrícola que se promueve con el otorgamiento de financiamiento para el sector, pero que no toma en consideración las condiciones de fragilidad ambiental que presenta este territorio.

La categoría de cobertura de la tierra que muestra mayor dinámica de cambio es el bosque por efecto de la presión social y económica que demanda cada vez más espacios para el desarrollo de actividades económicas relacionadas con el emplazamiento de superficies de cultivos, pastizales y que por problemas de limitaciones que tiene en forma generalizada la cuenca, dado lo accidentado de sus vertientes, tienden a convertirse en superficies con matorrales, propensos a procesos relacionados a pérdida de suelos.

En el caso en estudio se muestra una vez más la utilidad de los datos de sensores remotos y el uso de metodologías de análisis con procesos estocásticos, dado que se permite detectar problemas asociados al impacto que tienen los cambios de usos de la tierra, al mismo tiempo que se facilita identificar tendencias de los mismos. Siendo esto de utilidad, para la elaboración de diagnósticos antes o durante el desarrollo de los eventos que se dan con los procesos de intervención, lo cual puede conducir a facilitar la orientación del mejor uso del territorio al igual que hacer contribuciones para el diseño de políticas, planes, programas y proyectos que respondan a la realidad socio-económica y físico natural.

## Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes por el apoyo financiero para la realización de la presente investigación, la cual se desarrolló como proyecto identificado con el código: NURR-C-448-06-01-B

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALBORNOZ, J., Estudio Preliminar de Suelos de las Subcuencas Ríos Castán – Mocoy Estado Trujillo, Nivel preliminar Escala 1:50.000. Ministerio del Ambiente y de Recursos Naturales Renovables, región 19. División de Investigación Aguas, Suelos y Vegetación. Trujillo (Venezuela), Pp. 270, 1993
- ANDERSON, J.; HARDY, E.; ROACH, J.; and WITMER, R., A land use land cover classification system for the with remote sensing data. Geological Survey profesional paper 964. (USA). 1976.
- BARRETO, E., Caracterización Físico – Natural de la Zona Protectora de la Ciudad de Trujillo con fines de Ordenamiento Territorial – Ambiental. Universidad de Los Andes. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Agrícola. Trujillo (Venezuela), Pp 97, 2006.
- BELL, E., Markov analysis of land use change an application of stochastic processes to remotely sensed data. Socio Economic Planning Science, 8, Pp. 311-316, 1974
- BRICEÑO, F., Cambios de Cobertura de la Tierra en el Valle del Río Momboy, Estado Trujillo. Geoenseñanza. Revista Venezolana de Geografía y su enseñanza. Volumen 8 – 2003(1). ISSN 1316-6077. p.91 – 100, 2003
- FALLAS, J. y SAVITSKY, B. (1996). Uso y Cobertura de la Tierra en Costa Rica para 1992: Una Aplicación de Teledetección Espacial y Sistemas de Información Geográfica. Revista Geográfica de América Central. N° 32 – 33, 1996. Recuperado el 21 de Mayo del 2005. En [www.una.ac.cr/ambi/telesig/CR\\_uso\\_cobertura\\_1992.htm](http://www.una.ac.cr/ambi/telesig/CR_uso_cobertura_1992.htm)
- FERRER, C., Un enfoque metodológico para la evaluación de la estabilidad relativa de los terrenos en la conurbación Valera – Trujillo (Andes Venezolanos): la ciudad de Trujillo y sus alrededores como caso especial de estudio. ULA. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos. Mérida (Venezuela), 1989.
- GUTIÉRREZ, J., Utilización de técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes y Sistemas de Información Geográfica en la determinación de cambios en la cobertura vegetal y uso de la tierra, cuenca del río Mucujún. Estado Mérida. Venezuela. Trabajo de Grado para optar al título de Magister en manejo de cuencas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. ULA. Mérida (Venezuela), 1999
- HERNÁNDEZ, R., Zonificación Agroclimática del Estado Trujillo. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Volumen I A. Caracas (Venezuela), 1988.



- LONSDON, M.; BELL, E. and WESTERLUND, F., Probability Mapping of land use change: a GIS interface for visualizing. *Computer, Environment and Urban Systems*. Vol 20 N° 6, Pp. 389-398,1996.
- PDVSA- Intevep., Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela. 1997. Disponible en [www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm](http://www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm)
- ROA, J. Aproximación al mapa de susceptibilidad y amenazas por deslizamiento de la ciudad de Trujillo. Venezuela. *Revista AGORA*. Trujillo, (Venezuela), año 9 N° 2, 2006
- ROJAS, L. J., Aspectos del uso de la tierra en las cuencas de los ríos Chama y Capazón. Mérida (Venezuela). Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Geografía. Trabajo de ascenso. 1972
- ROJAS, Y., Levantamiento Estructural de la Montaña “El Humo”, Cuenca Alta del Río Castán. Trujillo – Venezuela. Universidad de Los Andes. Trabajo de Grado para optar al título de Técnico Superior Agrícola. Trujillo (Venezuela).2005
- SCHERER, W., Aplicación de cadenas de Markov a la sedimentación cíclica de la formación oficina. Cuarto Congreso Geológico Venezolano. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Caracas (Venezuela).1972.

Graficos:

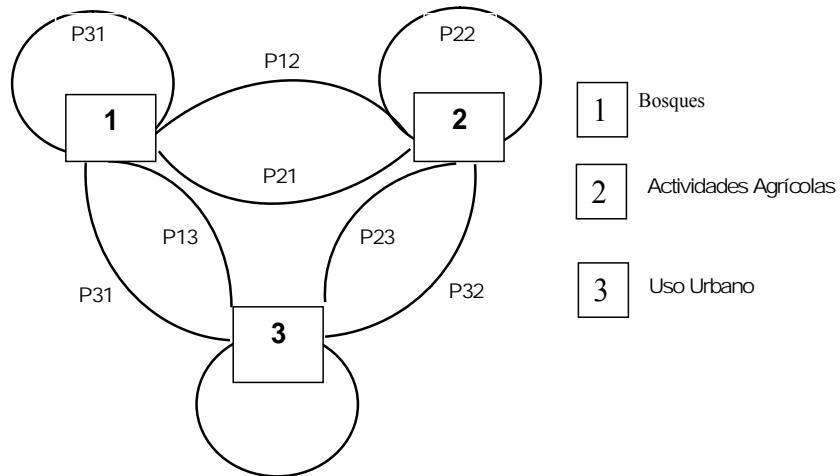


Figura 1: Probabilidades de cambios de uso. Fuente: Bell, E. (1974).

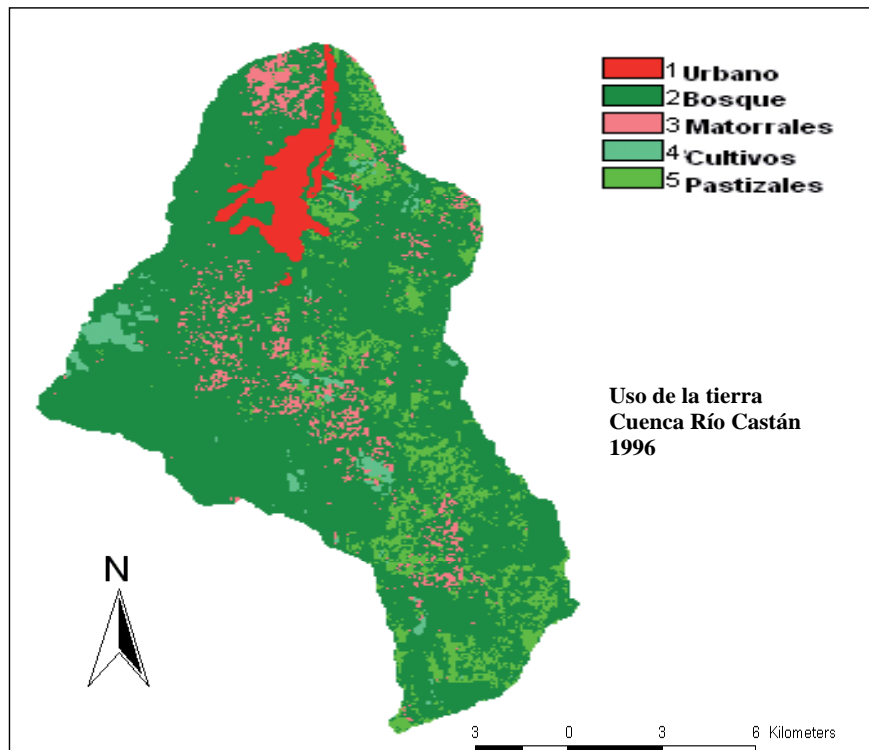


Figura 2: Mapa de uso de la tierra. Subcuenca del río Castán (1996)

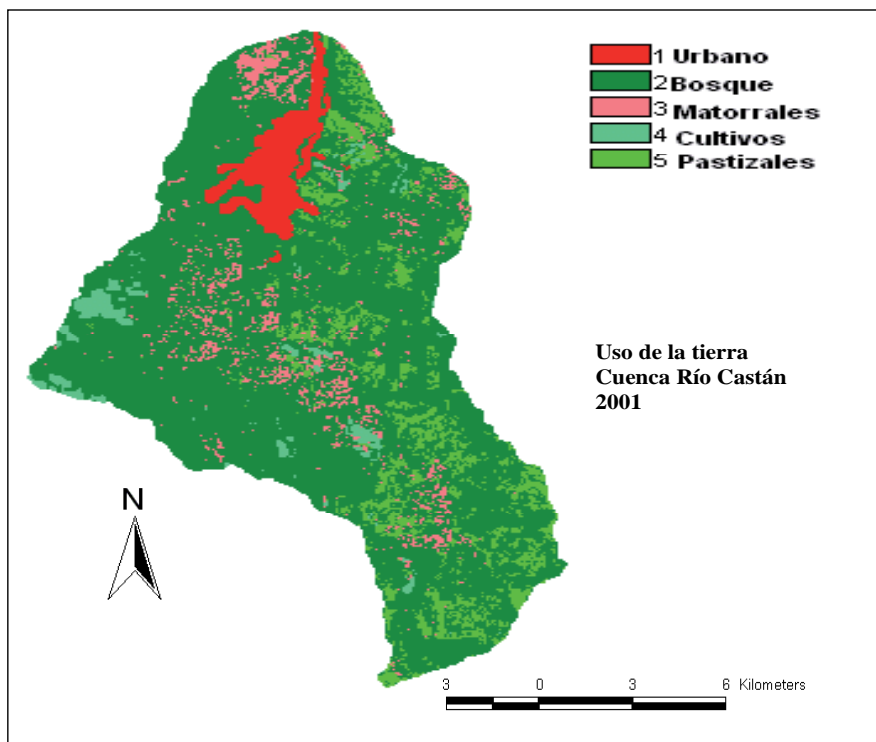


Figura 3: Mapa de uso de la tierra. Subcuenca del río Castán (2001)

Cuadro 1. Superficie en hectáreas por categorías de uso de tierra para 1996 y 2001.

Leyenda	1996	2001
Urbano	514.8	607.77
Bosque	8966.43	8207.64
Matorrales	550.26	839.97
Cultivos	252	384.93
Pastizales	1242.9	1486.08
Total	11526.39	11526.39

Cuadro 2. Matriz de conteo 1996 (filas) - 2001 (columnas), de categorías de uso de la tierra, según número de celdas.

	Urbano	Bosque	Matorral	Cultivo	Pastizales	TOTAL
Urbano	5720	0	0	0	0	5720
Bosque	430	91041	3072	2433	2651	99627
Matorral	225	22	5533	113	221	6114
Cultivo	208	23	102	1444	1023	2800

Pastizales	170	110	626	287	12617	13810
TOTAL	6753	91196	9333	4277	16512	128071

Cuadro 3. Matriz de conteo 1996 (filas) - 2001 (columnas), de categorías de uso de la tierra, expresada en hectáreas

	Urbano	Bosque	Matorral	Cultivo	Pastizales	Total
Urbano	514,8	0	0	0	0	514,8
Bosque	38,7	8508,69	97,48	83,97	238,59	8966,43
Matorral	2,25	1,98	542,97	1,17	1,89	550,26
Cultivo	0,72	2,07	9,18	237,96	2,07	252
Pastizales	15,3	54,9	11,34	7,83	1153,53	1242,9
Total	607,77	8207,64	839,97	384,93	1486,08	11526,39

Cuadro 4: Matriz de tabulación cruzada proporcional o matriz de transición

	Urbano	Bosque	Matorral	Cultivos	Pastizales	TOTAL
Urbano	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014
Bosque	0.0040	0.5250	0.1307	0.0977	0.1109	0.8683
Matorral	0.0045	0.0247	0.0693	0.0026	0.0056	0.1067
Cultivos	0.0003	0.0005	0.0010	0.0151	0.0001	0.0170
Pastizales	0.0000	0.0002	0.0009	0.0038	0.0017	0.0066
TOTAL	0,0102	0.5504	0.2019	0.1192	0.1183	1.0000

Cuadro 5: Matriz de Probabilidades Condicionales 1996 (filas) - 2001 (columnas)

	Urbano	Bosque	Matorral	Cultivos	Pastizales
Urbano	1	0	0	0	0
Bosque	0	0.6046	0.1505	0.1125	0.1277
Matorral	0.0422	0.2315	0.6495	0.0244	0.0525
Cultivos	0.0176	0.0294	0.0588	0.8882	0.0059
Pastizales	0	0.0303	0.1364	0.5758	0.2576