

CAMBIOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN EL VALLE DEL RÍO MOMBOY, ESTADO TRUJILLO

Francisco Briceño

Universidad de Los Andes - NURR, Trujillo. Grupo de investigación GEOCIENCIA

Resumen

El uso de la tierra como expresión de organización del espacio, es importante para la planificación del territorio y mejoramiento de la calidad ambiental. Los estudios en esta temática permiten visualizar la evolución de cambios de uso y facilitan la identificación de fuerzas que afectan la intervención del medio ambiente. En la actualidad la construcción de modelos sobre los cambios en el uso de la tierra, con el propósito de mejorar la planificación de la expansión urbana y regional facilitan la labor investigativa. Los métodos utilizados van desde el análisis estadísticos hasta interpretación de información gráfica y descriptiva, a partir del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este trabajo tiene por objetivo estudiar los cambios de usos de la tierra en el valle del Río Momboy, estado Trujillo, a partir de información multitemporal y el uso de imágenes de satélite Landsat TM. La metodología se basa en procesamiento digital de datos, utilizando el software Idrisi Versión 2. Los resultados permitieron detectar un desplazamiento de la frontera agrícola por efecto de la expansión urbana e incremento de la afectación de superficies de bosques por nuevas áreas de agricultura, particularmente hacia áreas con problemas de estabilidad de suelos

Palabras Claves: Planificación del Territorio, Usos de la Tierra, Sistemas de Información Geográfica, Procesamiento digital de datos, Imágenes de Satélite.

LAND USE CHANGES IN THE VALLEY OF MOMBOY RIVER, TRUJILLO STATE

Abstract

The land use, as an expression of space organization, is important for territory planning and improving the environmental quality. Studies on this subject allow visualizing evolution of changes and facilitating the identification of forces that condition the intervention of the environment. Nowadays, the modeling of changes has the purpose of improving the planning of urban and regional expansion. The used methods vary from statistical analysis to interpretation of graphic and descriptive information, where Geographical Information Systems (GIS) are employed. The aim of this work is study of land uses in the Valley of Momboy River, Trujillo state, using multi-temporal information from satellite images obtained with Landsat TM. The methodology is based on digital processing of data, using the Idrisi 2.0 software. The results allowed the detection of a displacement of the agricultural frontier because of the increment of the urban expansion; particularly in areas with environmental problems of loss of soil and an increment in the volume of sediments that goes to the water streams.

Keywords: Territorial Planning, Land Use, Geographical Information System, Digital Processing of Data, Satellite Image.

¹E-mail: franshe@ula.ve/ franbric@cantv.net

Introducción.

La planificación de desarrollo en un territorio depende, entre otros factores, del adecuado conocimiento de sus potencialidades productivas. Este conocimiento esta basado en estudios que faciliten información cualitativa y cuantitativa 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.

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, generan información básica para la formulación de planes, programas y proyectos en los organismos de planificación responsables de la ordenación y organización del territorio y el manejo de los recursos naturales. Este trabajo tiene como objetivo analizar los cambios temporales y espaciales del uso de la tierra en la cuenca del Río Momboy del estado Trujillo, Venezuela, para el período 1988 – 1996. La metodología incluye el procesamiento digital de imágenes de satélite para la generación de mapas de clasificación por categorías de uso de la tierra empleando Sistema de Información Geográfica para la tabulación cruzada de los datos y la determinación de las matrices de probabilidades de cambios de uso.

Antecedentes

La sub-cuenca del Río Momboy esta ubicada al sur-occidente de la ciudad de Valera, en el estado Trujillo. La fisiografía representa un valle estrecho y alargado que sigue la dirección del cauce del Río Momboy, Tiene una superficie aproximada de 94 284 hectáreas. Según el Plan de Ordenación del Territorio del estado Trujillo, el valle es considerado como zona protectora de alta preservación agrícola de acuerdo a la clasificación de Áreas Bajo Régimen Especial (ABRAE) regulada por el decreto 2 990 de fecha 23 de noviembre de 1993. No obstante, esta área no posee plan de ordenación y reglamento que permita preservar, controlar y regular su uso.

Los pisos altitudinales de la sub-cuenca del Río Momboy varían desde los 650 msnm en el sector Carmania hasta los 1940msn en el sector La Lagunita. Las condiciones de clima, se caracterizan por tener un régimen de precipitación bimodal, con dos picos de lluvias en los meses de abril - mayo y octubre – noviembre, con promedio anual 1200 mm, la temperatura media esta alrededor de los 26,5 °C. La condiciones de topografía presentan un 27 por ciento de la superficie total con pendientes por debajo del 35%, donde se ubican las principales actividades socioeconómicas de la parroquia La Puerta del Municipio Valera, estado Trujillo. El resto de los espacios se ha mantenido con bosques y matorrales, por las limitaciones producidas por las altas pendientes topográficas.

La actividad económica principal es la agricultura y la ganadería, con predominio de cultivos de hortalizas, caña para trapiches y ganadería semi-extensiva. En los últimos años se observa el desplazamiento de la frontera agrícola a expensas del crecimiento urbano; particularmente notoria por la ocupación hacia nuevos espacios con problemas de fragilidad ambiental. Es por esto de gran importancia conocer el uso de la tierra y la evolución del espacio mediante un análisis de inspección y registro de la situación actual necesarios ambos para explicar la razón de dichos cambios y previo al desarrollo de cualquier propuesta para planificación futura de un determinado espacio (Stamp, 1965).

Al respecto, la Organización de Estados Americanos (OEA, 1969), al plantear la necesidad de los estudios de usos de la tierra, señala que estos levantamientos son normalmente parte de los componentes de las investigaciones integrales para el desarrollo de los recursos, y supone que estos levantamientos proveen una medida de cómo están siendo utilizados los recursos en relación con su potencial de productividad, tal como es determinado por otros estudios, en particular los realizados sobre suelos y de capacidad productiva de la tierra

En Venezuela los estudios sobre el uso de la tierra son de gran aplicabilidad en los estudios de potencialidades para el desarrollo, en particular en el sector agrícola y en la planificación urbana. En la región andina se han desarrollado una serie de trabajos desde una visión en conjunto, tanto de las condiciones de los recursos como de sus capacidades. En este sentido, Rojas (1972) utilizando técnicas de fotointerpretación y análisis agro-estadístico, determinó las características del uso de la tierra en el medio montañoso de la cuenca de los ríos Chama y Capazón, en el estado Mérida.

Otros estudios muestran el uso de las computadoras e información de sensores remotos para fines de investigación de los recursos de la tierra. Pyott (1973) clasificó rangos de vegetación a través de computadora utilizando imágenes de satélite del ERTS-1 MSS con relación a la expresión florística en una región de Arizona.

En investigaciones realizadas por Bell (1974), Logsdon, et al.(1996), y Briceño, (2001) han estudiado los cambios en el uso de la tierra comprobando que el uso de datos provenientes de sensores remotos y metodologías de análisis como las cadenas de Markov, permiten detectar problemas asociados con el impacto espacial causado por dichos cambios. Igualmente estas técnicas y métodos facilitan la identificación de las tendencias de los cambios. Los resultados obtenidos posibilitan la elaboración de diagnósticos antes o durante el desarrollo de los eventos, suministrando la orientación del mejor uso del territorio al igual que el diseño de políticas adecuadas a la realidad socio-económica y físico natural.

En tanto, López, Pernia y Pozzobon (1996) evaluaron el avance de las deforestaciones en la Reserva Forestal de Caparo, entre 1987 y 1994, utilizando dos imágenes HRV-SPOT, un Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes y un SIG. Al igual que, Gutiérrez (1999) quien utilizó procesamiento digital de imágenes y SIG en la determinación de 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, empleando para ello dos imágenes de satélite LANDSAT TM.

Planteamiento metodológico

La metodología utilizada en el presente trabajo se inicia con la clasificación, por categorías de uso de la tierra, de una parcela dentro de un espacio geográfico delimitado para el propósito de análisis, y la cual se obtiene a partir de la interpretación de información proveniente de los sensores remotos. Para el análisis de la dinámica de los cambios de usos en la parcela, se parte del comportamiento que esta tiene y de su explicación como un proceso estocástico, mediante una cadena de Markov de primer orden.

Para el caso en cuestión, se define una cadena de Markov de primer orden con el ejemplo donde se tienen tres categorías de uso de la tierra 1, 2 y 3 (Véase Figura 1). Se inicia con la categoría de uso (1) que puede ser considerado como el estado natural de un territorio, el sistema puede cambiar al uso (2), un estado intervenido con actividades agrícolas o al uso (3), actividades urbanas y sus relacionados, también se puede dar el caso de que no cambie y permanezca en el uso (1) inicial. El proceso, entonces, se puede describir como una serie de valores de estado del sistema: 2,3,3,1,2,1,3,2, a.

Si denotamos a la probabilidad de un cambio de uso de i a j durante el intervalo de tiempo $(t, t+1)$ con el símbolo $p_{ij}(t, t+1)$, la Figura 1 muestra todas las posibilidades con sus propias probabilidades. A estas se le llaman probabilidades de transición y son probabilidades condicionales, condicionadas por el estado previo o estado inicial (Bell, 1998).

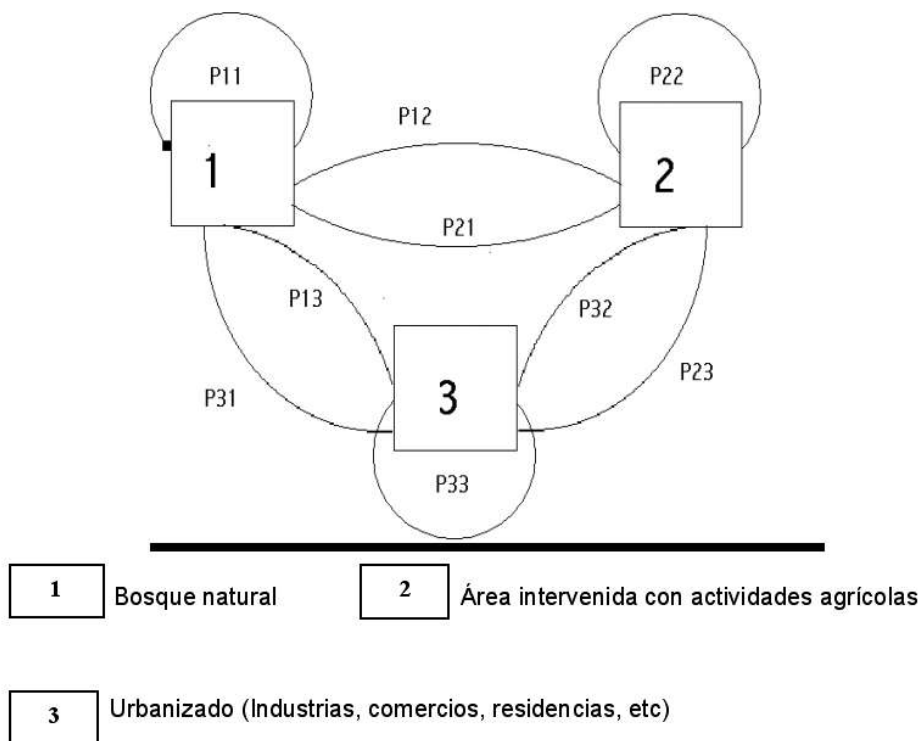


Figura 1: Analisis Markov de cambio de uso de la tierra.
Fuente: Bell, E (1998).

La matriz de probabilidades de transición, designada por P_{ij} Scherer, (1972), representa la probabilidad de moverse al estado j en tiempo T_{t+1} dado que el proceso está en el estado i . en el tiempo (t) , lo cual es el mecanismo básico en el proceso Markov y que proporciona un modelo descriptivo y prospectivo para el análisis de los cambios en el uso de la tierra y la distribución de los mismos. Aplicando a una parcela se tiene que la probabilidad de que este en uso $i=1$ en un tiempo (t) , representado por el símbolo $i(t)$,

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 $(t+1)$, será dada por la expresión probabilística siguiente:

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

Siendo (n) el número total de categorías de uso.

Simplificando, se tiene que la distribución de probabilidades de las variables aleatorias de uso de la tierra en tiempo $(t+1)$, será dada por la siguiente multiplicación matricial:

$$i(t+1) = i(t) * P(t, t+1).$$

Para el caso cuando se considera que las probabilidades de transición dependen solo del intervalo de tiempo $(t, t+1)$, se tiene que el proceso es temporalmente homogéneo, pudiendo escribirse la ecuación anterior, en la forma siguiente:

$$i(t+1) = i(t) * P.$$

De esta manera, el proceso de análisis probabilístico de cadenas de Markov, se lleva a efecto mediante operaciones entre matrices. Pudiendo hacerse de forma automatizada, con el software apropiado, obteniéndose la matriz de probabilidades de transición a partir de la matriz de conteo Scherer, (1972), generada de la tabulación cruzada de los datos de las dos fechas que tienen las mismas categorías de clasificación. Luego, a partir de la matriz de probabilidades de transición o de tabulación cruzada proporcional se genera la matriz de probabilidades condicionales que permite hacer el pronóstico de los cambios en función de probabilidades de cambio.

Sobre la base de lo antes señalado, la metodología que se utilizó en el presente estudio emplea la técnica de teledetección, como herramienta para el levantamiento de la información sobre uso de la tierra, en el área de la cuenca del río Momboy. Este territorio esta sometido a una fuerte presión social por efecto del crecimiento de los espacios urbanos residenciales, ocupación de áreas agrícolas y desplazamiento de la frontera agrícola, principalmente hacia superficies con alta fragilidad por sus características de altas pendientes.

Estos espacios donde por sus condiciones de suelos empinados están generando conflictos de uso, puesto que según al plan de ordenación del territorio del estado Trujillo, están clasificados como zona protectora de alta preservación agrícola. Esta situación amerita atención por la dinámica de cambios que se están registrando allí y lo cual demanda un ordenamiento espacial y una reglamentación de usos que conduzca hacia un apropiado manejo y aprovechamiento de los recursos naturales en pro de mejoras en las condiciones de vida de la población.

Resultados.

A partir de la metodología antes propuesta se procedió a clasificar dos sub imágenes de satélite LANDSAT TM según categorías de uso y cobertura de la tierra, a través de la

interpretación de los niveles de reflectividad para las dos fechas 1988 y 1996. Las categorías de uso establecidas se definieron siguiendo la metodología sugerida por Anderson et al, (1976) y seleccionando muestras de entrenamiento que fueron validadas con interpretación de fotos aéreas misión 0103118. del 01 de marzo de 1997.

Para efectos de la clasificación se empleo el software IDRISI en el cual se utiliza el algoritmo de máxima similitud, y consiste en clasificar la imagen, por máxima probabilidad, a partir de la información contenida en una serie de archivos de firmas espectrales, contruidos con las muestras de entrenamiento Las categorías de uso establecidas fueron: Uso Urbano (1), Cultivos (2), Pastizales (3), Matorral (4) y Bosque (5). Los mapas de clasificación en categorías de uso, para las dos fechas se muestran en las Figuras 2 y 3.

USO DE LA TIERRA PARA LA CUENCA DEL RÍO MOMBOY (1988)

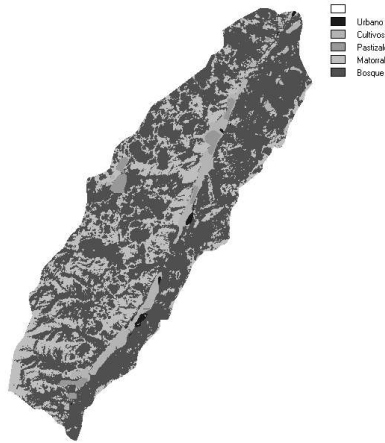


Figura 2: Uso de la Tierra, Cuenca del Río Momboy (1988)

Fuente: Elaboración propia

USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO MOMBOY (1996)

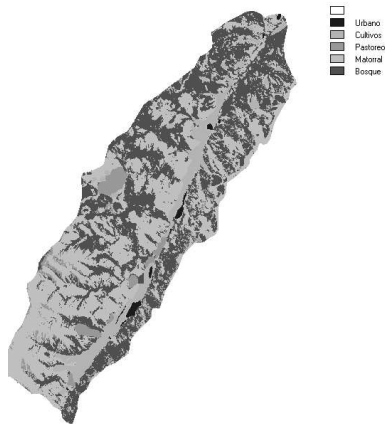


Figura 3: Uso de la Tierra, Cuenca del Río Momboy (1996)

Fuente: Elaboración propia

El análisis multitemporal se realizó a través de la comparación de los mapas de clasificación por categorías de usos de la tierra. Este permitió detectar los cambios de uso, mediante la combinación de la información de categorías de uso con una tabulación cruzada de las dos fechas. Para este proceso se aplicó el sistema IDRISI mediante el uso del módulo CROSSTAB, en el proceso se define la matriz de conteo, la cual muestra el número de píxeles (cada pixel representa una superficie de 900 m²), que corresponde a la superficie que cambia de una categoría a otra durante el periodo de tiempo de análisis, entre las imágenes consideradas (Véase Figura 4).

Tabulación cruzada de 1996 (columnas) y 1988 (filas)							
	0	1	2	3	4	5	Total
0	671385	7	12	71	1722	289	673486
1	0	1393	6	0	27	6	1432
2	0	335	15801	11	1098	496	17741
3	0	0	4007	1825	973	166	6971
4	366	232	2707	5900	72614	25838	107657
5	577	735	10645	13987	93886	120483	240313
Total	672328	2702	33178	21794	170320	147278	1047600

Figura 4: Matriz de Conteo

Fuente: Cálculos propios

Mediante la multiplicación de matrices se calculó la matriz de relaciones de cambio o matriz de transición (Véase Figura 5). Esta matriz expresa las relaciones de cambio existentes entre los diferentes usos de la tierra. Utilizando la matriz de transición se calculó la matriz de probabilidades condicionales, que permite detectar la tendencia del comportamiento de los cambios. Se considera que el comportamiento obedece a un proceso de cadenas de Markov, lo cual ha sido demostrado en estudios de modelaje del cambio de uso de la tierra por Bell, (1974), Logsdon, et al, (1996) y Briceño, (2001) (Figura 6).

Para el caso se tienen como significativo las probabilidades de cambio de áreas de pastizales (uso 3) hacia cultivos (uso 2). Entonces, se espera que de las 1 961 ha, clasificadas como áreas de pastos para el año 1996, se reduzcan a 1 141,3 ha. o el equivalente al 58% para el año 2004 y, de las 13 255 ha de bosque, 5 129,6 pasaran a ser matorrales, por lo que 677,8 nuevas hectáreas serán incorporadas al uso urbano (uso 1), desplazando las superficies de cultivo (uso 2).

Tabulación cruzada Proporcional o Matriz de Transición							
	0	1	2	3	4	5	Total
0	0.6409	0.0000	0.0000	0.0001	0.0016	0.0003	0.6429
1	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014
2	0.0000	0.0003	0.0151	0.0000	0.0010	0.0005	0.0169
3	0.0000	0.0000	0.0038	0.0017	0.0009	0.0002	0.0067
4	0.0003	0.0002	0.0026	0.0056	0.0693	0.0247	0.1028
5	0.0006	0.0007	0.0102	0.0134	0.0896	0.1150	0.2294
Total	0.6418	0.0026	0.0317	0.0208	0.1626	0.1406	1.0000

Figura 5: Matriz de Transición
Fuente: Cálculos propios

<i>Usos</i>	0	1	2	3	4	5
0	0.9969	0	0	0.0002	0.0025	0.0005
1	0	0.9286	0	0	0	0
2	0	0.227	0.6935	0	0.0592	0.0096
3	0	0	0.582	0.2537	1.1343	0.0149
4	0	0.0019	0.1253	0.0571	0.5741	0.2403
5	0.0026	0.0031	0.0088	0.0584	0.387	0.5013

Figura 6: Matriz de Probabilidades Condicionales
Fuente: Cálculos propios

Esta dinámica tiene su explicación en el crecimiento del espacio urbano que desplaza las otras ocupaciones, al mismo tiempo que ejerce presión por la demanda de tierras para el establecimiento de actividades productivas relacionadas con la agricultura y ganadería, lo que genera el desplazamiento de la frontera agrícola hacia espacios con problemas de fragilidad ambiental.

Conclusiones.

El área de la cuenca del río Momboy está sometida a una dinámica de cambios de uso de la tierra producida básicamente por el crecimiento en la ocupación urbana del territorio. Esta genera problemas de intervención de espacios con alta fragilidad ambiental, lo cual crea conflictos de uso de la tierra en un área tipificada como zona protectora de alta preservación agrícola.

La utilización de los sensores remotos como fuente de información para explicar los cambios en la cobertura y uso de la tierra permite agilizar los estudios y facilitan una visión de conjunto del comportamiento de los cambios y la tendencia que presentan los mismos.

Con datos provenientes de sensores remotos y metodologías de análisis con procesos estocásticos, se permite detectar problemas asociados con el impacto espacial causado por los cambios de uso de la tierra, al igual que facilitan identificar las tendencias de los cambios. Los resultados obtenidos ofrecen la posibilidad de elaborar diagnósticos antes o durante el desarrollo de los eventos, facilitando la orientación del mejor uso del territorio al igual que hacer contribuciones para el diseño de políticas acordes con la realidad socio - económica y físico - natural.

La aplicación del método de análisis probabilístico permite generar datos que se ajustan a la relación lógica entre las variables seleccionadas en el área de estudio, lo cual sugiere comprobar el ajuste del método, utilizando imágenes posteriores a las interpretadas para comparar la realidad de los cambios observados en este trabajo.

Agradecimiento

El autor agradece al Concejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de los Andes por el financiamiento aprobado a la presente investigación: **Proyecto (Código: NURR-H-167-00-09-C).**

Referencias

- ANDERSON, J.; HARDY, E; ROACH, J.; and WITMER, R. (1976) A land use land cover classification system for the with remote sensing data. Geological Survey Professional paper 964.
- BELL, E. (1998) Análisis Markov de cambio de uso de la tierra: potenciales aplicaciones en percepción remota. Mimemografeado.
- BELL, E. (1974) Markov analysis of land use change an application of stochastic processes to remotely sensed data. Socio Economic Planning Science, 8, 311-316 pp.
- BRICEÑO, F. (2001) Análisis de cambio en la cobertura de la tierra. Bases para la asignación de usos en la zona baja del estado Trujillo. Revista Geoterra Didáctica, Vol 1 , N° 1, 125-132, pp.
- GUTIÉRREZ, J. (1999) 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 Mucujun. Estado Mérida. Venezuela. Trabajo de grado para optar al título de Magister en manejo de cuencas. Facultad de ciencias Forestales y Ambientales. ULA. Mérida.
- LOGSDON, M.; BELL, E.; WESTERLUND, F. (1996) Probability Mapping of land use change: a GIS interface for visualizing. Computer, Environment and Urban Systems. Vol 20 N° 6 , 389-398, pp.

LOPEZ, J., PERNÍA, E. y POZZOBON, E. (1996). Avance de las deforestaciones en la Reserva Forestal de Caparo, entre 1987 y 1994, utilizando dos imágenes HRV de satélite SPOT y un Sistema de Información Geográfica. *Revista Forestal Venezolana*, 40 (2), 29-36, pp.

Organización de Estados Americanos (OEA) (1969) Investigación de los recursos físicos para el desarrollo económico. Un compendio práctico de experiencias de campo de la O.E.A. en América Latina. Washington D.C.

PYOTT, W. (1973) Computer classification of range vegetation ERTS-1 MSS vs Floristic. In: *Proceeding 47H Annual Conference in Remote Sensing in Arid Lands*. University of Arizona.

Rojas L., J. (1972) Aspectos del uso de la tierra en las cuencas de los ríos Chama y Capazón. Mérida. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Geografía. Trabajo de ascenso.

SCHERER, W. (1972) Aplicación de cadenas de Markov a la sedimentación cíclica de la formación Oficina. Cuarto Congreso Geológico Venezolano Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Caracas.

STAMP, D. (1965) *Geografía Aplicada*. Buenos Aires, EUDEBA.